

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>5</b>
<b>1. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 2-го ПОКОЛЕНИЯ</b> .....	<b>8</b>
1.1. Краткая история развития.....	8
1.2. Классификация систем 2-го поколения.....	12
1.3. Сравнение технологий многостанционного доступа.....	15
<b>2. НА ПУТИ К СИСТЕМАМ 3-го ПОКОЛЕНИЯ</b> .....	<b>18</b>
2.1. Что символизирует аббревиатура IMT-2000.....	18
2.2. Единый стандарт: миф или реальность.....	19
2.3. Услуги 3-го поколения.....	20
2.4. Концептуальные основы IMT-2000.....	26
2.5. Методологические основы IMT-2000.....	30
2.6. Пути перехода к системам 3-го поколения.....	35
<b>3. ЧАСТОТНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ IMT-2000</b> .....	<b>38</b>
3.1. Принципы распределения спектра.....	38
3.2. Распределение спектра в различных регионах мира.....	39
3.3. Передел спектра в России.....	42
3.4. Новые потребности в полосах частот.....	43
3.5. Дополнительные полосы-кандидаты.....	49
3.6. Пути повышения эффективности использования спектра.....	50
<b>4. СЕМЕЙСТВО СТАНДАРТОВ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ</b> .....	<b>52</b>
4.1. Концепция семейства стандартов IMT-2000.....	52
4.2. UMTS – европейский подход к IMT-2000.....	54
4.3. Радиointерфейсы для наземного сегмента IMT-2000.....	56
4.4. Сравнение систем на базе CDMA.....	58
4.5. Архитектура семейства стандартов.....	63
4.6. Базовые сети для IMT-2000.....	65
4.7. Развитие спутниковой связи в IMT-2000.....	67
<b>5. СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ TDMA</b> .....	<b>74</b>
5.1. На пути к единому стандарту TDMA.....	74
5.2. Высокоскоростная технология HSCSD.....	76
5.3. Служба передачи данных GPRS.....	77
5.4. Система радиодоступа EDGE.....	82
5.5. Цифровая сеть GSM-400.....	85
5.6. Эволюция от IS-136 к IS-136+.....	89
5.7. Радиointерфейс IS-136 HS.....	93
<b>6. ТЕХНОЛОГИЯ cdma2000</b> .....	<b>98</b>
6.1. Эволюция от cdmaOne к cdma2000.....	98
6.2. Принципы построения и архитектура.....	102

6.3. Сравнительный анализ cdma2000 и WCDMA.....	105
6.4. Услуги и протоколы .....	106
6.5. Канальная структура cdma2000.....	109
6.6. Кодирование и перемежение.....	112
6.7. Расширение спектра и модуляция.....	116
6.8. Организация связи и вхождение в синхронизм.....	119
6.9. Процедура мягкого и жесткого хэндовера.....	121
6.10. Способы разнесения на передаче.....	122
6.11. Особенности реализации режима TTD.....	124
<b>7. ТЕХНОЛОГИЯ WCDMA.....</b>	<b>127</b>
7.1. Исходные предпосылки .....	127
7.2. Обобщенная архитектура сети радиодоступа.....	129
7.3. Услуги и функции канального и сетевого уровней.....	132
7.4. Структура логических и транспортных каналов.....	134
7.5. Структура физических каналов.....	137
7.6. Принципы взаимного отображения каналов.....	141
7.7. Мультиплексирование, канальное кодирование и перемежение.....	143
7.8. Расширение спектра и модуляция.....	146
7.9. Проблемы управления мощностью.....	149
7.10. Установление синхронизации и вхождение в синхронизм.....	150
7.11. Обеспечение хэндовера.....	153
7.12. Методы борьбы с замираниями.....	155
<b>8. ТЕХНОЛОГИЯ UTRA TDD.....</b>	<b>159</b>
8.1. Сравнительный анализ характеристик систем с FDD и TDD.....	159
8.2. Особенности построения UTRA TDD .....	161
8.3. Пакетная структура .....	165
8.4. Управление мощностью в режиме TDD.....	167
8.5. Принципы обеспечения синхронизации.....	167
8.6. Технология ODMA.....	169
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Модель оценки характеристик системы cdma2000.....</b>	<b>171</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Принципы формирования сигналов в cdma2000.....</b>	<b>176</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Особенности кодирования и перемежения в WCDMA .....</b>	<b>182</b>
<b>Краткий англо-русский толковый словарь.....</b>	<b>185</b>
<b>Русские сокращения.....</b>	<b>204</b>
<b>Литература.....</b>	<b>205</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Мобильная связь развивается в мире стремительными темпами, непрерывно расширяя объем и качество предоставляемых услуг, делая их массовыми, общедоступными и приспособленными к индивидуальным потребностям пользователей. Реализация новых возможностей обеспечивается как за счет совершенствования существующих сетей, так и реализации новых технических решений, связанных с созданием глобальной сетевой инфраструктуры.

Одним из наиболее грандиозных проектов конца XX века является концепция IMT-2000. В ее основе лежит идея создания нового поколения семейства систем беспроводного доступа, сотовой и спутниковой связи. Ключевые требования, предъявляемые к стандартам семейства IMT-2000, – дешевые карманные терминалы, обеспечение глобального роуминга и универсальные решения для сетей разного класса (микросотовых, сотовых и спутниковых).

На современном этапе развития техники изготовление двухрежимных терминалов значительно упростилось и увеличение их стоимости, по сравнению с однорежимными, незначительно. Это факт стал переломным моментом в развитии мобильной связи. Появление многорежимных терминалов практически сняло вопрос о едином стандарте, который несколько лет назад стоял достаточно остро. Возможность переключения с одного диапазона на другой, перехода со стандарта на стандарт или со спутникового канала на сотовый позволяет абоненту выбрать тот вид услуг, который в наибольшей степени ему подходит. Поэтому терминалы будущего будут, как правило, многорежимными, работающими в сетях нескольких стандартов.

Прогнозы показывают, что определяющей тенденцией будущего явится слияние мобильной связи с другими технологиями. Начавшийся процесс конвергенции услуг фиксированной и мобильной связи продолжится, охватывая все новые области, включая определение местоположения и мобильную коммерцию. Сотовые телефоны с «электронным компаньоном» вскоре станут незаменимыми помощниками у автомобилистов и других категорий лиц, которым потребуются подобного рода услуги.

Однако наибольших успехов следует ожидать в области электронной коммерции. Будет значительно расширен вид банковских услуг, получаемых непосредственно с мобильного телефона. В их число войдут платные информационно-справочные услуги, различные виды электронных платежей (оплата авиабилетов, парковок), и в перспективе, – совершение всех видов банковских операций с мобильных сотовых телефонов, что фактически превратит их в «карманные банкоматы».

Цель настоящей книги – ознакомление читателей с особенностями реализации и техническими аспектами новых технологий, которые составят основу систем будущей мобильной связи.

Книга состоит из восьми глав, трех приложений, краткого англо-русского толкового словаря и списка используемых сокращений.

В первой главе описывается ретроспектива мобильной связи, приводятся сравнительные характеристики и анализируются тенденции развития. Вторая глава посвящена рассмотрению новых услуг для систем 3-го поколения и концептуальных основ IMT-2000. Переход к IMT-2000 потребует увеличения скорости передачи до 384 кбит/с (связь в пределах

соты) и до 2,048 Мбит/с (связь в пределах микросоты). Достижение таких высоких скоростей при ограниченном частотном ресурсе и работе в каналах с замираниями потребует разработки принципиально новых подходов к построению радиоинтерфейса.

Развитие телекоммуникационных систем в последние годы происходит лавинообразно. И этим мы во многом обязаны понятию «мультимедиа», которое стремительно ворвалось в нашу жизнь. Из-за отсутствия общепринятого названия или потому, что неопределенное название более всего подходит для данного периода развития связи, термин «мультимедиа» вобрал в себя все новое и прогрессивное, что связано с передачей высококачественной широкополосной и достаточно разнообразной информации. Говоря о системах 3-го поколения, услуги принято делить на две группы: немультимедийные (узкополосная речь, низкоскоростная передача данных, трафик сетей с коммутацией каналов) и мультимедийные (асимметричные и интерактивные услуги широкополосной связи, передача видео и мобильный доступ к Internet).

Быстро растущая потребность в мультимедийных услугах для мобильных абонентов приводит к необходимости искать значительно более широкие полосы частот, чем те, которые используются в системах 2-го поколения. Несмотря на то, что все наиболее «привлекательные» участки спектра лежат ниже 1 ГГц, «частотная планка» постепенно поднимается вверх. В рамках IMT-2000 верхняя граница частотного диапазона уже увеличена до 2,2 ГГц и это не предел. В ближайшие годы планируется поднять ее еще выше – до 2,5 ГГц. Проблемы, связанные с выделением частотного ресурса для IMT-2000, обсуждаются в третьей главе.

В главе четыре рассматривается организация работ по стандартизации систем 3-го поколения, проводимых под эгидой ITU. Приводится подробный анализ всех предложений по спутниковой и наземной связи, дается уточненная архитектура наземного семейства стандартов IMT-2000, которая состоит из сетей радиодоступа и базовых сетей.

Если по стандартам наземной связи достигнут в процессе гармонизации определенный компромисс как в странах Европы, так и мира в целом, то в отношении спутниковых сетей еще целый ряд вопросов ждет своего решения. Поэтому в рамках данной книги рассматриваются лишь ключевые характеристики спутниковой сети IMT-2000.

Следует отметить, что представленные в ITU проекты не исчерпывают всех возможных путей создания новых технологий. В пятой главе анализируются эволюционные пути развития GSM на базе новых технологий HSCSD, GPRS, EDGE. Технологии GPRS и EDGE представляют собой платформу, удобную для поэтапного внедрения услуг UMTS/IMT-2000. Усовершенствованные сети TDMA (IS-136) предполагается реализовать в стандарте UWC-136. Проведенный анализ показывает, что в настоящее время имеются все предпосылки для развития двух наиболее распространенных технологий GSM и TDMA по единому сценарию, хотя говорить об их глобальном слиянии еще рано.

Главы 6-8 посвящены рассмотрению трех ключевых технологий, реализованных на базе CDMA: cdma2000, WCDMA и TDMA/CDMA. Североамериканский стандарт cdma2000 представляет дальнейшее развитие системы cdmaOne, WCDMA – объединенное предложение, поступившее от разных регионов мира: WCDMA (Япония), UTRA (Европа), WCDMA NA и WIMS (США) и CDMA II (Ю.Корея). Третья технология TDMA/CDMA – объединенное предложение UTRA TDD (Европа) и SCDMA (Китай). В книге рассматриваются осо-

бенности построения и архитектура этих технологий, принципы кодирования и модуляции, вопросы управления мощностью и обеспечения синхронизации.

В Приложениях описана модель оценки характеристик системы cdma2000 и приведен ряд примеров, поясняющих особенности формирования сигналов в cdma2000 и WCDMA. В конце книги приводится краткий англо-русский толковый словарь, охватывающий новую терминологию по технологиям 3-го поколения.

Следует отметить, что перспективы создания систем 3-го поколения сегодня представляются более благоприятными, чем это было десять лет назад перед появлением цифровых систем 2-го поколения. Внедрение систем 2-го поколения проходило на мировом рынке за непродолжительное время и развивалось исключительно путем «вытеснения» старых технологий, с которыми не предполагалось обеспечение преемственности.

С внедрением систем 3-го поколения начнется продолжительный период совместного существования ИМТ-2000 и систем 2-го поколения. Благодаря различиям в ассортименте и стоимости предоставляемых услуг новые технологии будут не конкурировать, а гармонически дополнять друг друга.

Несмотря на резкий прорыв высокоскоростных технологий еще рано говорить о предоставлении услуг массовому пользователю. Основная причина в слишком высокой стоимости абонентского оборудования, по крайней мере, на начальном этапе развертывания систем мобильной связи 3-го поколения.

# 1. СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 2-го ПОКОЛЕНИЯ

## 1.1. Краткая история развития

### Ретроспектива

Первые системы двусторонней радиотелефонной связи между подвижными объектами появились более 50 лет назад. Связь осуществлялась на фиксированных частотах, а передаваемые сигналы занимали в эфире широкую полосу частот. С развитием техники традиционной (конвенциональной) радиосвязи возникли проблемы, связанные с ограниченным частотным ресурсом и низкой пропускной способностью таких систем.

Идея создания сотовых систем была основана на разбиении обслуживаемой территории на небольшие зоны (соты), в каждой из которых размещена, как правило, одна базовая станция. Такой принцип организации связи позволяет увеличить число абонентов и повысить качество связи за счет повторного использования одних и тех же частот в различных сотах [1, 2].

Однако прошло много лет, прежде чем такие системы были реализованы на практике. Лишь в начале 80-х годов в ряде стран были развернуты коммерческие системы сотовой связи, использующие для передачи речи аналоговую частотную модуляцию. Одной из первых начала предоставлять услуги система NMT-450 (Nordic Mobile Telephone), созданная в 1981 г. рядом Скандинавских стран. Вскоре появились и другие системы, работающие в диапазоне частот 400-500 МГц. Это были системы стандарта C-450 (Германия), Radiocom-2000 (Франция), RIMS-101H (Италия).

Наиболее мощный толчок к разработке новых систем сотовой и транкинговой радиосвязи был дан, когда началось интенсивное освоение диапазона частот 800-900 МГц. С появлением таких систем как AMPS (США), NMT-900 (Скандинавские страны), TACS и ETACS (Англия), HCMTS, J-TACS (Япония) началась эра систем подвижной сотовой связи (СПСС). Все перечисленные стандарты являются аналоговыми и относятся к первому поколению систем сотовой связи.

По своим характеристикам СПСС первого поколения выгодно отличались от используемых ранее систем двусторонней речевой связи. Благодаря сотовому принципу территориально-частотного планирования удалось добиться лучшего качества связи при более высокой эффективности использования частотного спектра.

Стандарт NMT-450 особенно удобен при обеспечении связи на больших территориях с относительно малой плотностью населения. Этот стандарт до сих пор занимает прочную позицию на рынке подвижной связи. В России на долю NMT-450 приходится около 10% всех абонентов сотовых сетей, и он принят наряду с GSM в качестве федерального [3].

Первый опыт эксплуатации аналоговых систем позволил выявить также и ряд присутствующих им недостатков: возможность прослушивания переговоров, наличие двойников, перегруженность частотного диапазона вследствие его неэффективного использования, ограниченность зоны действия. Кроме того, распространение радиоволн в условиях интенсивных городских застроек связано с возникновением глубоких селективных замираний, вызванных многолучевым распространением радиоволн. Наличие замираний приводит к ухудшению отношения сигнал/шум на выходе ЧМ приемника на 10-20 дБ [4]. Таким образом, с точки

зрения качества передачи речи системы первого поколения не оправдали возлагавшихся на них ожиданий.

Начиная с середины 80-х годов, в мире начался интенсивный рост числа подвижных абонентов, который превзошел все самые смелые прогнозы. Стало ясно, что существующие аналоговые системы, базирующиеся на большом числе несовместимых друг с другом стандартов, не отвечают современным требованиям, и переход от действующих аналоговых сетей к цифровым технологиям является неизбежным. Число абонентов аналоговых сетей с каждым годом стремительно уменьшается, а в некоторых странах наметился полный отказ от них.

В целом аналоговая абонентская база с 91,4 млн. (1997 г.) сократилась до 79,5 млн. (1999 г.), и прогнозируется ее дальнейшее уменьшение до 54,5 млн. к 2003 г. [5]. Однако темпы снижения числа абонентов, пользующихся аналоговыми стандартами AMPS и NMT-450, разные. Наиболее быстро «выдавливаются» с рынка абоненты стандарта AMPS, который не выдерживает конкуренции с перспективными цифровыми технологиями TDMA (IS-136) и CDMA (IS-95).

Что же касается сетей NMT-450, то в них отток абонентов пока не столь велик, а в районах Центральной и Восточной Европы даже наблюдается небольшой рост. Такая ситуация объясняется тем, что последняя версия стандарта NMT-450 доработана до такой степени, что она обладает некоторыми свойствами, которые присущи сетям 2-го поколения, например, услугами международного роуминга.

### Стандарты 2-го поколения

Первые проекты цифровых систем сотовой связи, которые сейчас принято относить ко второму поколению, появились в начале 90-х годов. Они отличаются от аналоговых систем двумя принципиальными отличиями [6]:

- а) возможностью использования спектрально-эффективных методов модуляции в сочетании с временным (TDMA) и кодовым (CDMA) разделением каналов вместо традиционно используемого в аналоговых системах частотного разделения каналов (FDMA);
- б) предоставлением пользователям широкого спектра услуг за счет интеграции передачи речи и данных с возможностью шифрования (засекречивания) данных.

Переход на цифровые способы передачи и обработки информации позволил существенно сократить число стандартов. К 1995 г. в мире действовали цифровые системы трех стандартов – GSM, D-AMPS (IS-54, впоследствии IS-136) и PDC.

Широкое распространение получил общеевропейский стандарт GSM, который был создан по инициативе специальной группы подвижной связи Group Special Mobile (GSM)<sup>1</sup>, организованной в рамках ETSI. Первая коммерческая сеть, работающая в стандарте GSM, была развернута в 1992 г. в Германии. С тех пор стандарт непрерывно развивается и совершенствуется. Он уже адаптирован для работы в частотном диапазоне 1800 МГц (GSM-1800) и 450 МГц (GSM-400) в Европе и 1900 МГц (PCS) в США.

Начало разработки цифровых технологий в США положил стандарт IS-54, который разрабатывался с целью повышения емкости действующих в США аналоговых систем AMPS, и был одобрен в 1989 г. подкомитетом TR45.3 TIA. В системе TDMA(D-AMPS)<sup>2</sup> заложены современные технические решения, позволившие реализовать 3 речевых канала в одном

<sup>1</sup> Позднее была предложена другая расшифровка названия стандарта GSM (Global System for Mobile Communications).

<sup>2</sup> Новое обозначение стандарта D-AMPS(IS-136).

частотном канале системы AMPS (ширина канала 30 кГц). Первые системы на базе этого стандарта были введены в эксплуатацию в 1992 г. В США стандарт TDMA является базовым – им пользуются более 40% абонентов. Распространение технологии TDMA не ограничивается Северной Америкой. Сегодня в мире действует более 100 сетей, развернутых в 36 странах мира (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Рынок систем 2-го поколения (по состоянию на июнь 1999 г.)

Стандарт	Число абонентов, млн.	Ежемесячный прирост, млн.	Число стран	Число развернутых сетей
GSM	183,3	7,6	120	284
TDMA	24,3	1,4	36	104
PDC	41,3	0,6	1 (Япония)	30
CDMA	31,5	1,5	12	31

В развитии цифровой сотовой связи от Европы и США не отставала и Япония, разработавшая собственный стандарт PDC (Personal Digital Cellular)<sup>3</sup> – персональная цифровая система сотовой связи. Японский стандарт подвижной связи был утвержден в 1994 г. Сети на базе PDC развертываются в основном для национального использования и не оказывают существенного влияния на мировой рынок. В Японии сеть PDC обеспечивает покрытие практически всей территории, на которой проживает около 99% ее населения.

Эксплуатация первой коммерческой сотовой системы подвижной связи на базе технологии CDMA была начата в сентябре 1995 г. в Гонконге. До этого момента стандарт IS-95 получил одобрение ИТУ и вошел в состав Рекомендации М.1073 ИТУ-Р. Число сотовых сетей, построенных на базе CDMA (IS-95) и предоставляющих услуги как фиксированной, так и подвижной связи, неуклонно растет. Система CDMA применяется в основном в тех случаях, когда требуется построить сеть повышенной емкости или с более высоким качеством передачи речи [7].

Следующий важный шаг в развитии сотовых систем после введения цифровых технологий – переход к микросотовой и пикосотовой структуре сетей. Использование таких сетей позволяет обслуживать абонентов в городских районах с интенсивной застройкой и закрытых зонах (офисы, подземные гаражи и др.). Принципы построения микросотовых систем отличаются от макросотовых систем. В них отсутствует частотное планирование, не обеспечивается хэндовер, не осуществляется измерение уровня сигнала. В 1992 г. был утвержден европейский стандарт DECT (Digital European Cordless Telecommunications) реализующий технологию радиодоступа с малой мощностью излучения (10-25 мВт) и обеспечивающий очень высокую плотность расположения абонентских устройств. Широкое внедрение технологии началось с 1995 г., когда было продано около 2 млн. терминалов. В те годы мало кто верил, что через 5 лет DECT фактически монополизует рынок беспроводной офисной связи и WLL. По прогнозу в 2001 г. число цифровых беспроводных телефонов достигнет 50 млн., превзойдя аналоговые (45 млн.).

Исторически так сложилось, что профессиональные системы радиосвязи (в последние годы они чаще называются транкинговыми) начали создаваться задолго до появления сотовых. К профессиональным системам, как известно, относятся различные ведомственные и корпоративные радиосети для скорой помощи, служб охраны порядка и др. Развитие таких сетей идет в направлении улучшения качества и конфиденциальности связи. Многие виды

<sup>3</sup> Прежнее название стандарта – JDC (Japanese Digital Cellular)



современных услуг не могли в полной мере предоставить системы первого поколения (SmartTrunk II, LTR, Multi-Net, Accessnet, Smartnet, EDACS, MPT 1327).

Отличительная особенность транкинговых систем – возможность эффективного использования полосы частот за счет организации свободного доступа к общему частотному ресурсу ретрансляционного пункта, содержащего обычно несколько ретрансляторов, связанных друг с другом с помощью общей шины управления. Гибкая архитектура транкинговых систем позволяет передавать как индивидуальные вызовы, так и вызовы абонентов нескольких групп или сразу всех абонентов сети. Работа станции на излучение в таких системах обычно осуществляется не непрерывно, а лишь по нажатию тангенты радиотелефона, что уменьшает перегруженность эфира.

Однако существующие сети профессиональной связи первого поколения не гарантируют высокой конфиденциальности и надежной защиты от несанкционированного доступа, и, что особенно существенно, не обеспечивают аутентификацию абонентов и идентификацию абонентского оборудования [8]. Эти задачи намечено решить при создании цифровых систем профессиональной связи второго поколения (APCO, TETRA), которые призваны заменить огромное число несовместимых друг с другом аналоговых стандартов.

Стандарт на цифровую систему транкинговой связи APCO 25 разработан в США. Его реализацию намечено осуществить в два этапа с целью плавного перехода от существующих аналоговых сетей к цифровым. С технической точки зрения переход ко второму этапу связан со снижением в 2 раза шага сетки частот (до 6,25 кГц) и использованием спектрально эффективной модуляции CQPSK.

Под влиянием впечатляющих успехов стандарта сотовой связи GSM в ETSI был разработан общеевропейский стандарт цифровой транкинговой системы радиосвязи TETRA (TransEuropean Trunked Radio). В TETRA заложены универсальные технические решения, которые позволяют с минимальными затратами реализовывать систему в разных диапазонах частот и с отличающимися протоколами связи. Наряду с экономией частотного ресурса система TETRA обеспечивает большие возможности в части наращивания технических возможностей, предусматривая в перспективе предоставление услуг 3-го поколения и реализацию разных сценариев внедрения.

Системы подвижной спутниковой связи появились около 30 лет назад, когда на орбиту был выведен геостационарный космический аппарат (КА) Marisat. Первоначально мобильные земные станции (ЗС) разрабатывались как системы специального назначения (морские, воздушные, автомобильные, железнодорожные) и были ориентированы на ограниченное число пользователей. Надежность связи была невысокой, что связано с низкой энергооборуженностью подвижных объектов и проблемами обеспечения устойчивости связи при сложном рельефе местности и малых рабочих углах места. Земные станции первого поколения (стандарт Inmarsat-A) предназначались в основном для создания ведомственных и корпоративных сетей с радиальной (или радиально-узловой) структурой с большими центральными станциями [9].

Революционные преобразования в области мобильной спутниковой связи произошли в начале 90-х и были обусловлены тремя факторами: коммерциализацией космических программ, использованием низкоорбитальных и средневисотных КА и повсеместным переходом на цифровую связь с использованием цифровых сигнальных процессоров (DSP). Процесс конверсии сопровождался заимствованием и переносом передовых военных технологий в коммерческие программы. В результате были реализованы несколько проектов глобальных систем спутниковой связи с КА на низких орбитах (Iridium, Globalstar), средневисотных (ICO), а также две региональные системы (AceS и Thuraya).

Глобальная система персональной спутниковой связи Iridium была введена в эксплуатацию в конце 1998 г. Проработав около полутора лет, она прекратила свое существование<sup>4</sup>. Детальный анализ случившегося еще предстоит, однако уже сейчас ясно, что великолепно задуманный и реализованный технический проект оказался не востребованным массовым рынком. Главные причины – низкий спрос на услуги голосовой связи и просчеты в маркетинговой политике.

На этапе формирования концепции системы (1987 г.), идея портативных спутниковых телефонов и пейджеров выглядела привлекательной и вполне конкурентоспособной. Одно-режимные (спутниковые) и двухрежимные (спутниковые/сотовые) абонентские терминалы должны были обеспечить гибкую стратегию предоставления услуг и развертывания системы Iridium.

Однако разработчики проекта Iridium не учли те серьезные изменения, которые произошли в мире за последние годы. Они прежде всего связаны с успехами наземной связи. Новые модификации сотовых телефонов легче и удобнее, а тарифы более привлекательные, чем в спутниковой связи. Кроме того, время работы без подзарядки аккумуляторных батарей в спутниковой связи меньше, а возможности работы из зданий ограничены. Что же касается обслуживания труднодоступных районов и океанов, в которых спутниковая связь не имеет себе альтернативы, то оказалось, что желающих общаться по объявленным тарифам не так уж и много, чтобы окупить эксплуатационные затраты.

В 2000 году планируется начать эксплуатацию трех систем: глобальной системы персональной спутниковой связи Globalstar и региональных систем ACeS и Thuraya, ориентированных не только на голосовую связь, но и передачу данных. В следующем 2001 г. должна быть введена в эксплуатацию система ICO.

Дальнейшее развитие систем подвижной спутниковой связи будет осуществляться в рамках реализации проектов систем 3-го поколения.

## 1.2. Классификация систем 2-го поколения

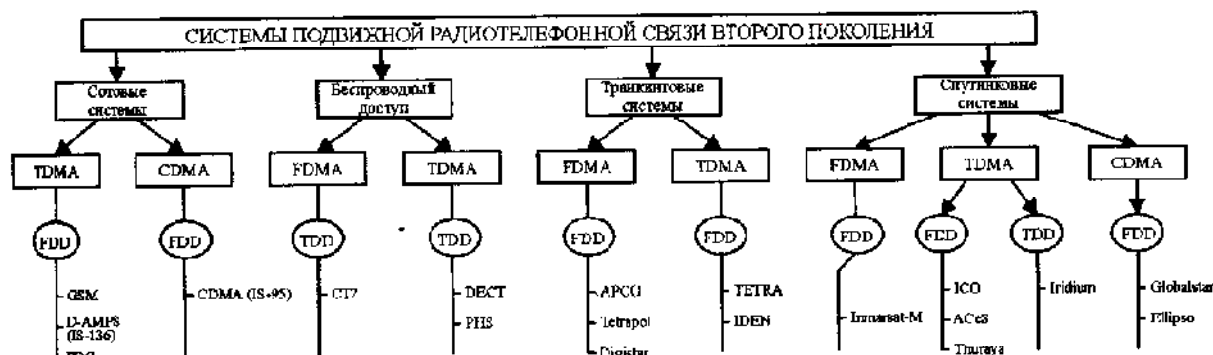
В основу предлагаемой классификации систем подвижной радиотелефонной связи 2-го поколения положены три основных признака: назначение системы, метод многостанционного доступа и схема дуплексирования каналов [10]. В зависимости от назначения и размеров зоны обслуживания все системы подвижной связи могут быть разделены на 4 класса (рис. 1.1):

- спутниковые системы связи с зоной обслуживания в одном луче 400-800 км и глобальной зоной обслуживания для одного спутника 3000-8000 км в зависимости от высоты орбиты;
- системы сотовой подвижной радиосвязи с радиусом действия от 0,3 до 35 км;
- транкинговые (профессиональные) системы радиосвязи с радиусом зоны обслуживания от 2 до 50 км в зависимости от высоты подъема антенны;
- системы беспроводного доступа с типовыми размерами соты до 0,3 км.

Различия между системами разных классов, прежде всего, состоят в составе и качестве предоставляемых услуг. Наиболее высокое качество обеспечивают сотовые сети и системы беспроводного доступа, предоставляющие услуги двусторонней радиосвязи в интересах как мобильных, так и стационарных абонентов (телефонные сети общего пользования, ISDN и др.). Аналогичные услуги, но с меньшими возможностями, реализованы в спутниковых системах. Что же касается транкинговых систем, то в них основным видом обслуживания является полудуплексная связь и групповой вызов абонентов.

<sup>4</sup> Официальная дата окончания эксплуатации системы – 17 марта 2000 г.

Рис. 1.1. Классификация систем подвижной связи второго поколения



Размеры соты зависят от плотности абонентов, приходящейся на единицу зоны покрытия, и характера распределения абонентов по обслуживаемой территории. В местах с повышенной плотностью абонентов создаются пиксоты с радиусом до 100 м, а в районах наиболее интенсивной застройки и с высокой плотностью населения организуются микросоты (0,1-0,5 км). Радиус действия макросотовых зон, которые охватывают город и пригородные зоны, не превышает 30-35 км. Что же касается обслуживания абонентов в сельской местности, удаленных и труднодоступных районах, то оно может осуществляться как с использованием наземных сотовых, так и спутниковых систем.

Сотовые сети и системы беспроводного доступа могут обслуживать районы с большой плотностью абонентов до 10 000 Эрл/кв. км на квадратный километр. Транкинговые сети более эффективны, когда объем трафика не превышает 1-2 Эрл/кв. км. Для повышения спектральной эффективности в сотовых системах используется широкополосная TDMA или CDMA, в то время как в транкинговых сетях в основном применяются узкополосная TDMA или FDMA.

Другое различие заключается в схеме организации связи. В сотовых системах и системах беспроводного доступа осуществляются индивидуальные вызовы между абонентами. Средняя длительность разговора может достигать несколько минут. Типовой режим работы транкинговых систем основан на передаче коротких вызовов (менее 1 мин), которые могут организовываться как индивидуально, так и через диспетчера. Время установления связи в транкинговых системах небольшое и, как правило, не превышает 0,3 с.

По способу использования частотного ресурса системы подвижной связи разделяются на два класса:

- системы связи с жестко закрепленными за абонентами каналами;
- системы с предоставлением канала по требованию при нахождении абонентов в общей зоне обслуживания.

В системах с фиксированным закреплением каналов обеспечивается высокая оперативность связи. Принцип фиксированного закрепления каналов получил широкое распространение в системах конвенциональной радиосвязи и ряде транкинговых систем. Транкинговые системы второго поколения относятся к системам со свободным доступом. Они позволяют работать на любом канале в пределах выбранной группы частот, причем конкретный канал закрепляется за выделенным ресурсом. В сотовых сетях и системах беспроводного доступа обеспечивается предоставление канала по требованию при нахождении абонентов в одной зоне обслуживания.

Сравнительные характеристики для систем наземной подвижной связи 2-го поколения приведены в табл. 1.2. Хотя перечень приведенных систем не является достаточно полным, тем не менее он позволяет оценить различия при построении той или иной системы.

Таблица 1.2. Сравнительные характеристики характеристики наземных систем подвижной связи 2-го поколения

Характеристика	Стандарт	Сотовые системы				Беспроводной доступ				Транкинговые системы			
		GSM	TDMA (IS-136)	CDMA (IS-95)	PDC	CT2	DECT	TETRA	APCO	Tetrapol			
Диапазон частот, МГц		890-915/1710-1785 935-960/1805-1880	824-849 869-894	824-849 869-894	810-826 940-956 1429-1453 1477-1501	864-868	1880-1900	380-400 410-430 (450-470)	138-174 406-512 746-869	70...520			
Ширина полосы частот, МГц		25	25	25	25	24	20	20	н/о	5			
Дуфлексионный разнос, МГц		45/95	45	45	48 (130)	Нет	Нет	10	н/о	10			
Канальный разнос, кГц		200	30	12,50	25 (50)	100	1728	25	12,5/6,25	12,5/10			
Число дуфлексионных каналов		124	832	20	640	40	10	н/д	н/д	400			
Метод доступа		TDMA	TDMA	CDMA	TDMA	FDMA	TDMA	TDMA	FDMA	FDMA			
Метод дуфлексионирования каналов		FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	FDD	FDD	FDD			
Число каналов на несущую		8 или 16	3 (6)	55	3 (6)	1	12	4	1	1			
Метод модуляции		GMSK	π/4 DQPSK	QPSK (BC) OQPSK (MC)	π/4 DQPSK	GFSK	GFSK	π/4 DQPSK	C4FM CQPSK	GMSK			
Скорость передачи, кбит/с		270,8	48,6	1288	42	72	1152	36	9,6	8			
Тип речевого кодека		RPE-LTP	VSELP	QCELP	VSELP	ADPCM	ADPCM	ACELP	IMBE	RPCELP			
Скорость речевого кодека, кбит/с		13 или 6,5	7,95	13 или 8,5	6,7	32	32	4,5	4,4	6			
Канальное кодирование для речи		R=1/2, K=5	R=1/2	R=1/3, R=1/2	R=1/2	н/д	CRC	R=2/3	R=1/2, Goley	н/д			
Длина кадра, мс		4,6	40	20	20	2	10	57	180	20			
Мощность MS, Вт средняя (пиковая)		GSM-900 2,5 (20), 8 (1), (0,6), 2 (0,25), 0,1 (0,8) GSM-1800: 1 (0,125), 0,25 (0,03)	3,0 (9), 1,6 (4,8), 1,6 (1,8)	0,6 (6,3) 2,5 1,0	0,66 (2)	0,005 (0,01)	0,01 (0,25)	2,5 (10) 0,75 (3) 1 (0,25)	н/о	10 (автом.)			
Отношение Е <sub>р</sub> /N <sub>0</sub>		9	16	6-7	17	20	12	19	н/о	н/о			
Хэндовер		Да	Да	Да (мягкий)	Да	Нет	Нет	Да	н/о	н/о			

Примечание: н/д – нет данных

н/о – конкретное значение параметра в стандарте не определено

Использование в системах 2-го поколения новых системных и технических решений позволило улучшить отношение сигнал/шум ( $E_b/N_0$ ). Если в аналоговых системах 1-го поколения, отношение  $E_b/N_0$  было равно 17-18 дБ, то в системах 2-го поколения этот показатель уже равен 7-9 дБ (табл. 1.2).

Системы подвижной связи второго поколения имеют ограниченные возможности по наращиванию пропускной способности и видов услуг в рамках выделенного частотного диапазона. Рост их емкости возможен лишь за счет перехода на полускоростные каналы (GSM), использования более эффективных методов модуляции и применения секторных антенн. Секторизация сот в сочетании с использованием спектрально-эффективных методов модуляции позволяет увеличить их пропускную способность, но не более чем в 10 раз.

### 1.3. Сравнение технологий многостанционного доступа

Принципы построения системы и организации связи определяют два ключевых понятия: многостанционный доступ и дуплексный разнос. Многостанционный доступ характеризует способность базовой станции (ретранслятора) одновременно принимать и передавать сигналы нескольких мобильных станций. Как видно из предложенной классификации, системы 2-го поколения строятся на базе трех конкурирующих технологий: методов многостанционного доступа с частотным (FDMA), временным (TDMA) и кодовым (CDMA) разделением каналов.

Что же касается дуплексного разноса, то он характеризует возможность информационного обмена по одной линии в обоих направлениях. Различают дуплексную передачу с частотным (FDD) и временным (TDD) разделением каналов. В большинстве существующих систем 2-го поколения, кроме DECT и Iridium, используется частотный дуплексный разнос. В режиме TDD двусторонняя связь между абонентами обеспечивается на одной несущей с временным уплотнением каналов передачи и приема, что позволяет сделать систему более гибкой в части использования выделенных полос частот. В отличие от FDD в режиме TDD не требуются парные полосы частот, что упрощает процедуру поиска сот и позволяет более эффективно распределять каналы между сотами. В прямом и обратном каналах трафик в режиме TDD может быть как симметричным, так и асимметричным. Другое преимущество TDD состоит в более простой реализации однорежимного терминала, что обусловлено отсутствием дуплексера.

Метод FDMA широко используется как в традиционных аналоговых системах подвижной связи, так и в цифровых системах 2-го поколения, как правило, в сочетании с другими методами. При частотном разделении каждому абоненту на время разговора из всего доступного диапазона частот выделяется отдельный канал (узкий участок спектра). В случае персональной связи ширина частотного канала составляет 25-30 кГц. Таким образом, не временной фактор, а только лишь различие по частоте используется для разделения абонентов. Подобный подход имеет ряд преимуществ. Вся информация передается в реальном времени. Удобно частотное разделение и с точки зрения организации связи. Основным недостатком FDMA – низкая пропускная способность при обслуживании большого числа абонентов с малой активностью.

Технология TDMA используется в большинстве систем 2-го поколения: GSM, TDMA (IS-136), PDC, DECT, TETRA и др. В отличие от систем с частотным разделением все абоненты работают в одном и том же диапазоне частот, при этом каждому из них выделяется свой временной интервал (канал), в течение которого разрешается передавать информацию. В GSM спектр шириной 200 кГц нарезается на 8 канальных интервалов (слотов), а в полосе 30 кГц (TDMA) организуется 3 канальных интервала.

С точки зрения абонента трафик носит пульсирующий характер. Чем больше абонентов, тем реже каждому из них предоставляется возможность передавать свои данные. Чтобы повысить пропускную способность, временное разделение, как правило, используется совместно с частотным разделением.

Технология CDMA<sup>5</sup> используется в cdmaOne (стандарт IS-95). Система cdmaOne построена по методу с прямым расширением спектра (DS-SS) на основе 64 кодовых псевдослучайных последовательностей, являющихся функциями Уолша. Сигнал, сформированный со скоростью 9,6 кбит, затем расширяется по полосе и передается с чиповой<sup>6</sup> скоростью 1,2288 Мбит/с. С технической точки зрения CDMA система характеризуется рядом особенностей, отличающих ее от других систем с частотным и временным разделением каналов. Прежде всего, необходима высокая точность выравнивания уровней принимаемых сигналов, а также обеспечение синхронизации мобильных станций с точностью до абсолютного значения шкалы системного времени.

Жесткие требования предъявляются и к коэффициенту качества формы сигналов, который определяется как нормированный коэффициент корреляции между используемым сигналом и его идеальной моделью. Это означает, что на достоверность приема сигналов влияют не только различного рода помехи и шумы, но и степень соответствия формы принимаемого и опорного сигналов. Согласно стандарту IS-95 коэффициент качества формы сигнала должен составлять величину не менее 0,944 при допустимых отклонениях по частоте 300 Гц и задержке не более  $\pm 1$  мс [11].

Сравнительные характеристики систем GSM, IS-136 (TDMA) и IS-95 (CDMA) приведены в табл. 1.3 [10].

Таблица 1.3. Сравнительные характеристики стандартов GSM, IS-136 и IS-95

Назначение \ Стандарт	GSM		IS-136	IS-95		
	мобил./фикс.		мобил./фикс.	мобильная		фиксир.
Ширина полосы частот, МГц	0,2	0,2	0,03	1,23	1,23	1,23
Скорость вокодера, кбит	13	6,5	8	8	13	8
Число информационных каналов на несущую	8	16	3	23	12	35
Коэффициент использования частот при трехсекторных сотах	4	4	7	1/3	1/3	1/3
Число информационных каналов на соту в полосе 3 МГц	30	60	42	138	72	258
Емкость системы (число каналов на 1 МГц на соту)	10	20	14,3	56,1	29,6	86,2

### Организация хэндовера

В системах подвижной сотовой и спутниковой связи важную роль играет метод автоматического переключения вызова на другой канал в момент, когда мобильная станция<sup>7</sup> пере-

<sup>5</sup> Описываемая технология CDMA базируется на стандарте IS-95, разработанном компанией Qualcomm (США).

<sup>6</sup> Чиповая скорость (от англ. chip rate) определяется как скорость следования символов сигнала с расширенным спектром (шумоподобного сигнала). Обычно измеряется как Мчип/с, что эквивалентно английскому сокращению Mcps (megachip per second).

<sup>7</sup> Для обозначения абонентского оборудования (терминалов пользователей) используются различные английские термины: MS (Mobile Station), UE (User Equipment), MT (Mobile Terminal) и ME (Mobile Equipment). В книге для их обозначения используется термин «мобильная станция» или «мобильный терминал».

мещается из соты в соту или переключается с одного спутника на другой. Такой метод получил название хэндовер (от английского handover). При переключении на соседнюю базовую станцию (в наземных системах) или другой луч бортовой антенны (в спутниковых сетях) обычно происходит смена частоты несущей, что может приводить к снижению качества связи.

Существуют два основных типа хэндовера: жесткий и мягкий. Жесткий алгоритм переключения каналов сопровождается кратковременным прерыванием связи в момент перемещения абонента из соты в соту. Такой метод автоматического переключения канала осуществляется в большинстве систем 2-го поколения, использующих метод TDMA (GSM, IS-136, PDC). Обрыв и восстановление связи воспринимается абонентом как «щелчок» в телефонной трубке, хотя возможно и более длительное прерывание разговора, когда связь с одной базовой станцией прекратилась, а с другой еще не установлена.

Мягкий хэндовер происходит без потери качества связи. Он осуществляется между различными секторами антенны базовой станции в пределах соты (работа на одной несущей частоте). В настоящее время он реализован в таких системах, как CDMA (IS-95) и Globalstar.

Управление процедурой хэндовера может быть организовано несколькими способами. В пределах одной соты может быть использовано макроразнесение, когда мобильная станция в процессе переключения связана одновременно с несколькими базовыми станциями (мягкий режим переключения).

В случае межчастотного хэндовера, т.е. с изменением несущей при переходе мобильной станции от одной соты к другой, непрерывность связи обеспечивается с использованием дополнительного приемопередатчика, либо за счет временного разделения, когда кадр разделяется на две части, а информация сжимается в два раза.

В случае, если произошел сбой при организации мягкого хэндовера, то реализуется обычный алгоритм жесткого хэндовера, который аналогичен тому, который используется в TDMA системах.

Принципы построения микросотовых систем беспроводного доступа отличаются от макросотовых тем, что в них частота переключений при хэндовере должна быть существенно выше, чем в сотовых системах. Следовательно, необходимы быстродействующие алгоритмы переключения каналов. Наиболее эффективно эта задача решена в сети беспроводного доступа DECT, где применяются распределенные алгоритмы управления, обеспечивающие принудительное переключение абонента.

Таким образом, проведенный анализ показал, что существующие системы 2-го поколения несовместимы друг с другом. В каждом из трех крупных регионов мира – Северной Америке, Европе и Азии использовались различные технологии и пути перехода от аналоговых систем первого поколения ко второму поколению. Более того, даже внутри каждого из регионов отдельные страны реализуют различные подходы к созданию и внедрению систем подвижной связи.

Тем не менее, основная задача, которая стояла перед цифровыми системами второго поколения – массовое обеспечение услуг речевой связи и низкоскоростной передачи данных – была достигнута.

## 2. НА ПУТИ К СИСТЕМАМ 3-го ПОКОЛЕНИЯ

### 2.1. Что символизирует аббревиатура IMT-2000

Одним из наиболее грандиозных проектов конца XX века является реализация концепции IMT-2000. В ее основу положена идея создания нового поколения семейства систем подвижной связи, охватывающего технологии беспроводного доступа, наземной сотовой и спутниковой связи.

Работы по созданию систем мобильной связи проводятся ИТУ (Международным союзом электросвязи) около 15 лет. Исходные предпосылки для создания системы будущего были заложены еще в 1986 году, когда в ИТУ были сформулированы требования к сотовым телефонам национальных и региональных сетей мобильной связи [12]. В тот период, как известно, сети были аналоговыми, а внедрение новых технологий происходило только в пределах одной страны, в том числе в США, Японии и ряде стран Европы.

Существование большого числа разобщенных мобильных сетей на фоне общей тенденции этих стран к экономической интеграции, требовало создание единого стандарта, способного обеспечить абонентам свободу перемещения и сохранение обслуживания в любой сети вне зависимости от места ее развертывания.

Это обстоятельство послужило поводом для разработки концепции единого стандарта под названием «Перспективная сухопутная мобильная телекоммуникационная система общего пользования» – известной ранее как FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System).

По мере разработки требований к системам нового поколения идеологам создания FPLMTS стало ясно, что несмотря на повсеместное развитие сотовой связи и беспроводного доступа и первые успехи международного роуминга огромная часть территории, включая мировые океаны, оказывается не охваченной связью. Даже в перспективе наземные сети мобильной связи смогут обслужить не более 20% земной поверхности. Следовательно, полное покрытие мирового пространства и обеспечение глобального мобильного доступа к услугам 21-го века может быть реализовано только с помощью спутниковых систем.

Изменение взглядов ИТУ на концепцию развития мобильной связи нашло отражение и в названии, которое было изменено с 1996 г. на IMT-2000 (International Mobile Telecommunications). Новое название отличается от прежней аббревиатуры FPLMTS не только тем, что из него был исключен термин «Land» (сухопутные), но и потому, что введено число две тысячи, символически указывающее на ориентировочный срок принятия стандарта (после 2000 года) и используемый частотный диапазон, расположенный в районе 2000 МГц.

Всемирная система мобильной связи, известная всем сегодня под названием IMT-2000, – это долгосрочная программа разработки, стандартизации и содействия внедрению национальных, региональных и международных систем, реализующих полный набор услуг в интересах наземной и спутниковой связи.

С организационной точки зрения IMT-2000 объединяет две предшествующие программы ИТУ, т.е. ранее упомянутую Перспективную сухопутную мобильную телекоммуникационную систему общего пользования FPLMTS и Глобальную персональную систему спутниковой связи GMPCS (Global Mobile Personal Communications by Satellite).

Объединение в рамках одной системы IMT-2000 нескольких магистральных базовых сетей позволит создать глобальную телекоммуникационную инфраструктуру, охватывающую все без исключения регионы мира, в том числе развивающиеся страны. За счет гибкого сочетания сетей наземного и спутникового радиодоступа и глобального роуминга будет



обеспечена бесперебойная связь между любыми уголками мира. Исходя из этого в рамках программы ИМТ-2000 наиболее приоритетными задачами являются: освоение новых полос частот для спутниковой и наземной связи в диапазоне частот 2 ГГц, увеличение скорости передачи до 2,048 Мбит/с, разработка новых технологий радиодоступа, расширение ассортимента услуг с одновременным снижением тарифов.

## 2.2. Единый стандарт: миф или реальность

Основной движущий мотив создания единого международного стандарта на мобильную систему, охватывающую беспроводный доступ, наземную сотовую и спутниковую связь – обеспечение глобального покрытия земного шара с предоставлением услуг массовому потребителю вне зависимости от его местонахождения, типа сети и используемого терминала (наземный или спутниковый).

Несмотря на неудачи последних лет, связанные с прекращением эксплуатации системы персональной спутниковой связи Iridium и замедлением темпов развертывания систем Globalstar и ICO, идея глобальной связи не утратила своего значения. Сегодня другой альтернативы обеспечению поистине глобальной связи на суше, на море и в воздухе, кроме спутниковой связи, – нет. Сочетание каналов спутниковой и наземной связи позволит создать гибкую систему с высокой оперативностью установления связи и малым временем развертывания новых сетевых инфраструктур, особенно в труднодоступных районах.

Основная идея создания единого международного стандарта – предоставление услуг с помощью недорогого портативного терминала с высокими эксплуатационными характеристиками (энергопотреблением, качеством связи, уровнем безопасности). С системных позиций единый стандарт означает гибкий радионтерфейс с однотипной сигнализацией и расширенным набором услуг, варьируемых в зависимости от требований пользователя и сценариев организации связи.

К ключевым требованиям, предъявляемым ИТУ к единому стандарту ИМТ-2000, относятся: высокая степень преемственности оборудования наземных и спутниковых систем в пределах всего земного шара, возможность конвергенции услуг типа «мобильный-мобильный» (для разных мобильных сетей) и «мобильный-стационарный» (при связи с абонентами ТфОП), а также обеспечение услуг мультимедиа в рамках глобальной информационной инфраструктуры. Терминалы 3-го поколения должны обеспечивать высокое качество передачи речи, небольшие размеры и возможность передачи асимметричных потоков данных в линиях «вверх» и «вниз».

Первоначально для решения этих задач были все предпосылки. ИТУ создал концепцию единого стандарта ИМТ-2000 в виде серии рекомендаций, которые определяли структуру радионтерфейса и его основных сетевых элементов [13]. Одновременно этот международный орган обратился ко всем странам-участникам с просьбой подготовить собственные проекты систем 3-го поколения. Было представлено 16 проектов, но ни один из них не мог претендовать на роль единого стандарта, охватывающего спутниковую и наземную связь. Работы сразу разделились на два направления – по наземной (10 проектов) и спутниковой связи (6 проектов).

Рассмотрение представленных проектов наземных и спутниковых систем 3-го поколения показало, что несмотря на практически одинаковые виды предоставляемых услуг, используемые в них технологии доступа TDMA и CDMA принципиально отличаются, т.е. ясных путей для их гармонизации или конвергенции на этом этапе проведения работ не было видно.

Тем не менее, еще оставались два подхода к решению этой проблемы: недискриминационный и дискриминационный. В первом случае выделенный частотный ресурс для систем 3-го поколения распределяется на равноправной основе между всеми участниками работ. Речь идет о двух полосах частот 1980-2100 МГц и 2170-2200 МГц. Под дискриминационным подходом понимается выбор одной-двух наиболее перспективных технологий и отбрасывание остальных предложений.

Нельзя не отметить, что ситуация с выработкой глобального стандарта спутниковой связи складывается еще более сложная, чем в наземных сетях. К двум несовместимым концепциям систем на базе технологий TDMA и CDMA добавляется еще 5-6 различных вариантов построения орбитальных группировок. Использование разных орбит, и соответственно, разных ретрансляторов (прозрачных или с обработкой на борту), бортовых антенн с разным числом лучей – неизбежно приведет к тому, что радиointерфейс, разработанный для одной технологии, окажется неоптимальным для другой [14].

В процессе перехода от этапа разработки концепции к конкретным проектам стало очевидным, что интересы различных международных и региональных организаций невозможно объединить в рамках единого стандарта. В связи с этим была выдвинута идея создания семейства систем 3-го поколения.

Таким образом, проблема создания единого стандарта 3-го поколения в рамках программы IMT-2000, по всей видимости, не будет решена. Однако надежды на то, что мобильный телефон все-таки будет универсальным, сохраняются. Исходя из 10-летнего цикла смены поколений<sup>8</sup>, вероятнее всего, к проблеме создания глобального стандарта вернуться в 2010-2012 г. когда начнется разработка систем 4-го поколения. А до этого времени абонентам придется пользоваться услугами двух- или трехрежимных терминалов, аналогичных тем, которые используются в системах сотовой связи.

## 2.3. Услуги 3-го поколения

### Динамика внедрения услуг

Сегодня мобильная связь является одной из наиболее динамично развивающихся телекоммуникационных отраслей. Согласно прогнозу Форума UMTS [15] число мобильных абонентов в 2000 г. составит 426 млн. (табл. 2.1).

Таблица 2.1.  
Прогноз роста числа абонентов в сетях наземной мобильной связи

Регион \ Год прогноза	Число пользователей, млн.		
	2000 г.	2005 г.	2010 г.
Европа	113	200	260
Весь мир	426	940	1730

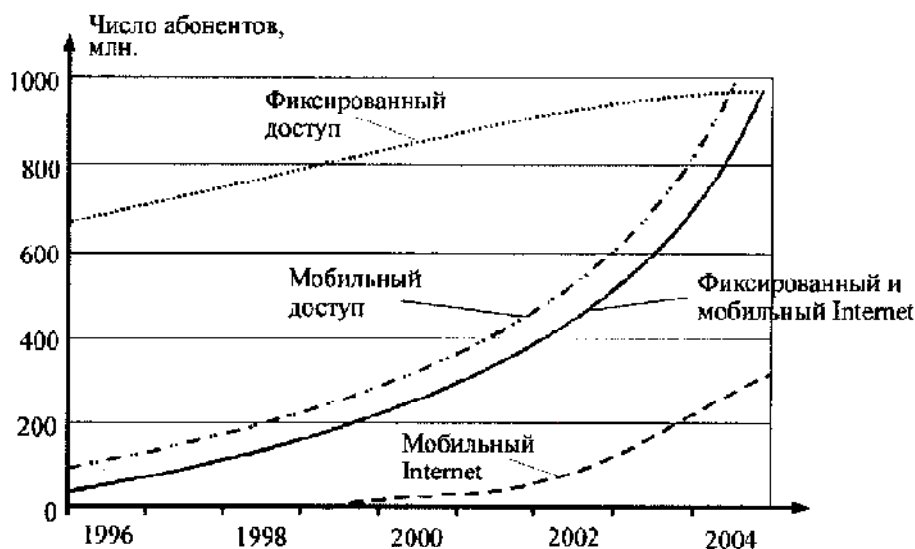
Из 200 млн. европейских абонентов услугами систем 3-го поколения (3G) в 2005 г. воспользуются 16%, т.е. 32 млн., а объем мультимедийного трафика превысит 60%. Данные

<sup>8</sup> Если проследить историю развития сотовой связи, то четко прослеживается 10-летний цикл смены поколений: 1981-1982 гг. – появление первых аналоговых систем (1G), 1991-1992 – разветвление цифровых сотовых систем (2G), 2001-2002 гг. – внедрение систем нового поколения (3G).

выводы справедливы при условии, что увеличение тарифов будет происходить существенно медленнее, чем рост трафика.

В последующие годы аналитики предсказывают еще более бурный рост пользователей услуг мобильной связи. Ожидается [16], что к 2005 г. мобильная связь превзойдет по числу пользователей традиционные проводные телефонные сети (рис. 2.1), а к 2015 г. абонентами мобильной связи могут стать 3 млрд. человек.

**Рис. 2.1.**  
Прогнозируемое количество абонентов в системах фиксированного и мобильного доступа

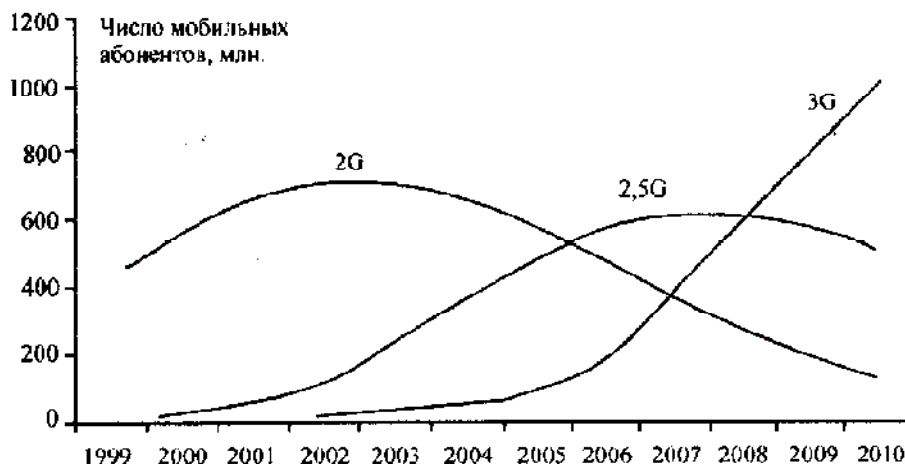


Мобильные сети 3-го поколения также обеспечат естественное расширение спектра немультимедийных услуг, предоставляемых в настоящее время с помощью сетей GSM, TDMA, cdmaOne и PDC. Перспективы создания 3G более благоприятные, чем это было десять лет назад перед появлением систем 2G. Внедрение систем 2G проходило на мировом рынке за непродолжительное время и развивалось исключительно путем «вытеснения» старых технологий, с которыми не предполагалась взаимосвязь и преемственность.

С появлением систем 3G начнется продолжительный период совместного существования IMT-2000 и систем 2G. Благодаря различиям в наборе и стоимости предоставляемых услуг, новые технологии будут не конкурировать, а гармонично дополнять друг друга. В дальнейшем по мере массового развития услуг 3-го поколения прогнозируется постепенная миграция абонентских сетей 2G в 3G [17]. Динамика изменения числа абонентов в сетях связи разных поколений приведена на рис. 2.2.

Говоря о взаимосвязи разных поколений, нельзя не упомянуть и о перспективных технологиях XXI века, которые сейчас принято относить к сетевым инфраструктурам будущего 4GW (4<sup>th</sup> General Wireless Infrastructures) или поколению 4G [18]. Хотя концепция создания систем будущего еще не сформирована, однако проблемы и возможные сценарии развития таких технологий широко обсуждаются на международном уровне. При переходе к 4G потребуются разработка глобальных высокоскоростных магистральных базовых сетей (в 3G предполагается только их модернизация), создание новых радиointерфейсов в диапазонах частот от 5 до 60 ГГц, оснащение практически всех профессиональных и бытовых приборов встроенными средствами радиодоступа, обеспечение мобильного доступа к базам данных (справочно-информационным, географическим, медицинским), а также реализация услуг телерадиовещания в интересах мобильных пользователей. Сравнительные характеристики технологий разных поколений приведены в табл. 2.2.

**Рис. 2.2.**  
Прогнозируемое количество абонентов в сетях мобильной связи разных поколений



**Таблица 2.2.** Сравнительные характеристики технологий мобильной связи разных поколений

Технологии	2G	2,5G	3G	4G
Базовые услуги	Речь	Речь, данные	Речь, данные, видеоданные, мультимедиа	Речь, данные, мультимедиа, мобильное теле-радиовещание
Скорость передачи, кбит/с	9,6-14,4	115 (фаза 1) 384 (фаза 2)	2048 (фаза 1) $10 \cdot 10^3$ (фаза 2)	$(10 - 44)10^3$
Тип коммутации	Коммутация каналов	Смешанная (преимущественно каналов)	Смешанная (преимущественно пакетов)	Требования не определены
Базовые технологии радиодоступа	GSM, TDMA, PDC, cdmaOne	GPRS, EDGE, IS-136+	Стандарты серии IMT	Стандарты не определены
Сроки эксплуатации	1995-2010 <sup>*)</sup>	2000-2015	2002-2020	2012-2025

<sup>\*)</sup> Срок окончания эксплуатации определяется для момента времени, когда прогнозируемый объем абонентской базы снизится до 5-10% от общего числа абонентов.

### Мультимедийные и немультимедийные услуги

В отличие от технологий предыдущих поколений, где речь была доминирующим видом услуг, в IMT-2000 предполагается обеспечить весь спектр современных услуг, включая передачу речи, работу в режиме коммутации каналов и пакетов, взаимодействие с приложениями Internet, симметричную и асимметричную передачу с высоким качеством – и в то же время гарантировать совместимость с существующими системами.

Третье поколение мобильной связи уже на первом этапе развертывания должно обеспечить высокую пропускную способность, которая может гибко изменяться в зависимости от степени мобильности абонента, т.е. разных скоростей его передвижения в зонах обслуживания:

- до 2,048 Мбит/с для обслуживания стационарных и передвижающихся внутри зданий абонентов (скорость менее 3 км/ч);

- до 384 кбит/с при низкой мобильности<sup>9</sup> (скорость от 3 до 12 км/ч) и локальной зоне покрытия;
- до 144 кбит/с при высокой мобильности (скорость от 12 до 120 км/час) и широкой зоне покрытия;
- до 64 (144) кбит/с при глобальном покрытии (спутниковая связь).

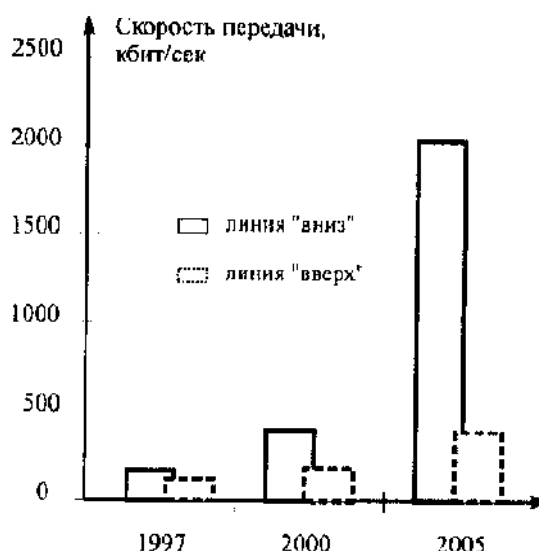
Что же касается набора услуг, то он фактически приближается к тому, который предоставляется в сетях фиксированной связи. Очевидно, что достижение таких высоких скоростей при ограниченном частотном ресурсе и работе в каналах с замираниями потребует разработки принципиально новых подходов к построению радиointерфейса.

Говоря о системах 3-го поколения, услуги принято делить на две группы: немультимедийные (узкополосная речь, низкоскоростная передача данных, трафик сетей с коммутацией каналов) и мультимедийные (асимметричные и интерактивные).

Новая информационная технология «мультимедиа» зародилась сравнительно недавно, однако она сразу же стала основой для создания новых услуг 3-го поколения – компьютерной видеогарфики (в том числе трехмерной), видео-, текстовой и графической информации. Путем синтеза частей аудиовизуальной информации и их передачи по радиоканалам пользователь может быть обеспечен всеми видами современных услуг.

Мультимедийные услуги принято разделять по виду трафика (асимметричный/симметричный) и способу взаимодействия пользователя с системой (интерактивный/вещательный обмен сообщениями и т.п.). Трафик при передаче мультимедийной информации и данных сети Internet имеют асимметричную структуру<sup>10</sup>. Интересно отметить, что по мере увеличения скорости передачи разница в объеме передаваемой информации в линиях «вверх» и «вниз» имеет тенденцию к увеличению (рис. 2.3). В перспективе прогнозируется [19], что коэффициенты асимметрии трафика увеличатся с 1:4 до 1:40 при передаче среднескоростной информации (384 кбит/с) и до 1:200 – для высокоскоростных потоков данных (2,048 Мбит).

**Рис. 2.3.**  
Динамика изменения  
асимметричности трафика  
в линиях «вниз» и «вверх»



<sup>9</sup> В зарубежной литературе для обозначения различных видов мобильности используются два термина: indoor (внутриофисная связь с низкой скоростью передвижения и скоростью передачи до 2,048 Мбит/с) и outdoor (наружная связь). В зависимости от скорости передвижения абонента различают два вида наружной связи: pedestrian – связь с пешеходами (384 кбит/с) и vehicular – связь с транспортными средствами (144 кбит/с).

<sup>10</sup> Под асимметрией трафика понимается разница в допустимых скоростях передачи в прямом и обратном направлениях, т.е. в линиях «вниз» и «вверх».

Широкое распространение в системах 3-го поколения получают интерактивные услуги мультимедиа. Такие услуги предоставляют удаленным абонентам возможности естественного общения в реальном времени, т.е. они могут не только слышать, но и видеть друг друга. До недавнего времени видеоконференцсвязь (базовая услуга мультимедиа с высокой интерактивностью) использовалась преимущественно в сетях ISDN, где видеоданные передавались со скоростью 144 кбит/с (1 канал BRI) или 384 кбит/с (3 канала BRI). Наиболее высокие требования к качеству мультимедиа предъявляются в телемедицине, где необходимо получать высококачественные изображения (на уровне телевизионной картинки) в реальном времени. Последние достижения в области сжатия видеоданных позволяют утверждать, что эта услуга также получит широкое применение в IMT-2000.

Стремительный рост популярности сети Internet и бурное развитие мобильной связи позволяет говорить в перспективе о слиянии этих двух технологий. Сегодня спрос на услуги доступа к ресурсам Internet начинает доминировать над всеми другими. Трафик в сети Internet удваивается каждые 100 дней [20]. Количество пользователей сети Internet по всему миру выросло с 62 млн. в 1996 г. до 170 млн. в 1999 г., причем темпы роста продолжают увеличиваться и к 2005 г. число пользователей достигнет 1 млрд. абонентов.

Несмотря на ряд трудностей, связанных с реализацией высокоскоростного доступа к Internet с портативного терминала, можно прогнозировать, что со временем эта услуга станет одной из основных в мобильной связи.

### Концепция виртуальной домашней среды

Услуги 3-го поколения включают сервис, предоставляемый технологией виртуальной домашней среды VHE (Virtual Home Environment). Концепция VHE базируется на следующих принципиальных отличиях [21]:

- персонализация услуг, т.е. предоставление абоненту таких видов услуг, профиль которых адаптирован под его конкретные требования и не зависит от среды обслуживания;
- прозрачный доступ абонента к услугам связи независимо от используемых технологий радиодоступа и сетевых стандартов;
- переносимость услуг без потери качества связи через границы различных мобильных и стационарных сетей (ТфОП, Internet);
- возможность использования в сети разнотипного абонентского оборудования или, другими словами, переносимость услуг с одного типа терминала на другой.

Совсем недавно эти услуги могли обеспечить только сети фиксированной связи. Сегодня мобильный пользователь может получать те же самые возможности, интерфейс и услуги независимо от того, какой сетью он пользуется в данный момент.

Благодаря IMT-2000 в ближайшем будущем станет возможной передача видеоизображений и мультимедийных данных в режиме реального времени, что позволит создать эффект «присутствия» для абонента, находящегося на большом удалении от места событий, фактически создавая эффект ощущения унифицированной (домашней) среды.

Общая архитектура среды VHE включает три функциональных уровня: мобильную сеть, ТфОП и Internet. Функции VHE, специфичные для мобильной сети, реализуются с использованием технологий CAMEL, INAP, WAP и др. В настоящее время завершен процесс стандартизации среды VHE на региональном уровне (VHE ETSI, 1999), и созданы все предпосылки для проведения аналогичных работ в рамках IMT-2000.

Беспроводные терминалы, в которых реализованы режимы VHE, располагают сходным набором персонализированных услуг, интерфейсных возможностей и характеристик обслужива-

живания, которые не зависят от конкретной сети, типа терминала и местоположения. Однако мобильным абонентам не следует обольщаться – будучи связанной со значительными технологическими трудностями такая услуга на начальном этапе внедрения обойдется недешево.

### **Определение местоположения**

Интеграция сотовой/спутниковой связи с автономной<sup>11</sup> или глобальной системой спутниковой навигации, такой, как GPS – одно из наиболее перспективных направлений развития мобильной связи. Привлекательность технологии глобального позиционирования для пользователей – это возможность в любом месте Земли в любой момент времени определить свои координаты и параметры движения. И, самое главное, платить за такие услуги не надо. Единственные расходы – затраты на покупку навигационного приемника и антенны. В случае, если навигационная плата встраивается в сотовый телефон или спутниковый терминал, то расходы еще меньше, причем стоимость такой услуги несоизмеримо ниже, чем, например, доступ в Internet. Оператор, зная координаты абонента, может ввести тарификацию звонков с дифференцированием их оплаты в зависимости от расстояния, а также оказывать абоненту информационно-справочные услуги конкретно в той местности, где в данный момент он находится. Это могут быть сведения о ближайших аптеках, длине дорожных пробок, расписании движения поездов и т.д.

Интегрированная технология мобильной связи и навигации получила широкое распространение при создании систем защиты от угона автомобилей. Выпущены сотовые телефоны, совмещенные с GPS приемником, позволяющие автоматически передавать данные о местоположении его владельца. Уже сегодня потерпевший с сотового телефона может автоматически извещать полицию о своем местоположении – достаточно нажать специальную кнопку. Сотовые телефоны с «электронным компасом» вскоре станут незаменимыми помощниками автомобилистов и других категорий лиц, которым требуются подобного рода услуги. В системах будущего абонентский терминал будет совмещен с электронной картой, что позволит ориентироваться в городе или незнакомой местности.

Во многих регионах мира уже начали действовать диспетчерские центры, обеспечивающие автоматический мониторинг подвижных объектов с отображением их передвижения на электронной карте в реальном времени. Появились средства автоматического протоколирования маршрутов передвижения транспортных средств, в том числе рейсовых автобусов (режим «черного ящика»).

### **Распознавание речи и управление голосом**

Общеизвестно, что одним из барьеров, стоящих на пути массового внедрения услуг передачи данных в мобильных системах, является сложность человеко-машинного интерфейса. Адаптеры громкоговорящей связи обеспечивают возможность ведения телефонной связи во время движения автотранспорта. Однако в случае передачи данных громкоговорящая связь не решает всех проблем и необходимы новые революционные технологии, основанные на распознавании речи. В этом направлении есть уже определенные сдвиги. Так, Motorola разработала специальный язык «речевых пометок» (VoxML) и предлагает его в качестве стандартного способа ведения речевого управления в движении [22]. Водитель может получать доступ к услугам с помощью устных команд.

<sup>11</sup> Метод определения координат, основанный на использовании собственных средств мобильной сети связи.

Распознавание речи позволит также идентифицировать звонящего по голосу на основании его речевых особенностей, т.е. использовать своего рода голосовой определитель. Возможны и другие приложения этой новой услуги.

Слияние мобильной связи с другими технологиями станет одной из ключевых тенденций развития услуг 3-го поколения. Наибольших успехов следует ожидать в области электронной коммерции. Будет значительно расширен объем банковских услуг, получаемых непосредственно с помощью мобильного телефона. В их число войдут платные информационно-справочные услуги, различные виды электронных платежей (оплата авиабилетов, парковок) и, в перспективе, совершение всех видов банковских операций с портативных или мобильных сотовых телефонов, что превратит их фактически в «карманные банкоматы».

Новым качеством этих систем является также то, что они позволят компаниям-операторам самостоятельно разрабатывать приложения, функции и услуги, ориентируясь на рыночные требования в конкретном регионе и тенденции роста спроса на конкретные услуги.

Большинство из перечисленных услуг являются, действительно, принципиально новыми по сравнению с традиционной телефонной связью или даже мобильной связью 2-го поколения. Революционные преобразования в области связи и технологиях доступа к информации произойдут в 2005-2010 годах, когда эти новые услуги станут массовыми и повсеместно используемыми в бизнесе, быту, учебе и медицине.

Массовый потребительский рынок, как известно, очень чувствителен к стоимости услуг. Если тарифы на новые услуги будут несоизмеримо выше, чем на традиционные, предоставляемые системами 2G, то они могут быть востребованы лишь ограниченным контингентом потребителей. Таким образом, успех систем 3-го поколения будет во многом зависеть от технологических решений. Ситуация на рынке может радикально измениться, если будут созданы относительно дешевые портативные двух-трехрежимные сотовые телефоны с малым энергопотреблением.

## 2.4. Концептуальные основы IMT-2000

Концепция IMT-2000 базируется на следующих принципах построения систем 3-го поколения.

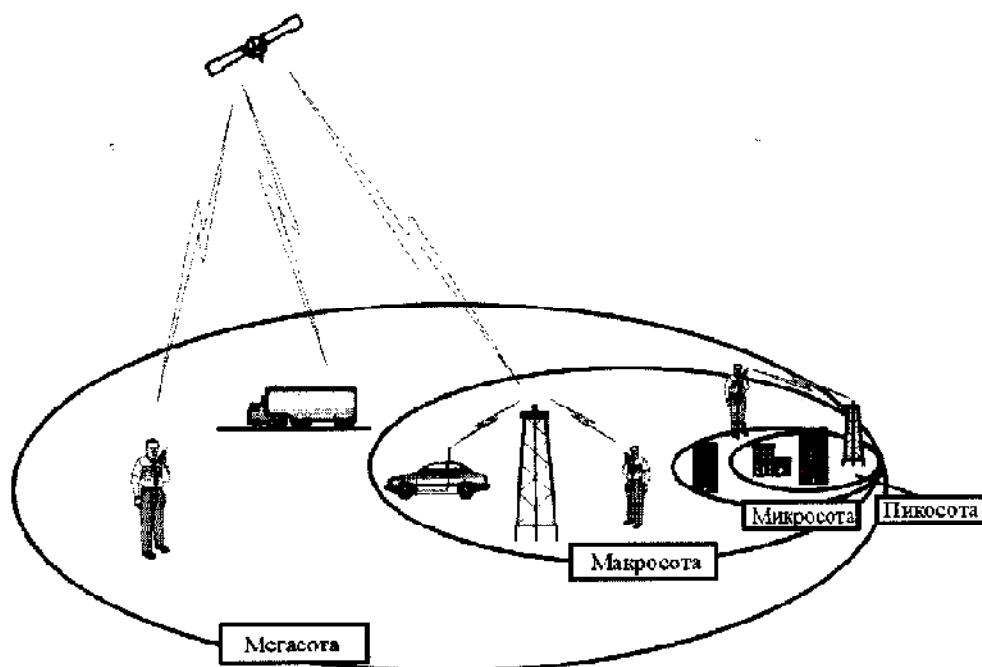
### Связь всегда и везде

Термин «связь всегда и везде» (Anywhere, Anytime) играет основополагающую роль в концепции IMT-2000 и подразумевает, что услуги связи должны быть доступны в любом месте на поверхности Земли и в любое время. Глобализация связи создает предпосылки, при которых пользователь может получить доступ ко всему спектру информационных услуг других сетей, распределенных по всей территории земного шара, т.е. независимо от окружающих условий. Реализация услуг осуществляется за счет межсистемного глобального роуминга через базовые станции сотовой сети или станции сопряжения сети персональной спутниковой связи (рис. 2.4). ITU разработал рекомендации, позволяющие интегрировать в рамках IMT-2000 внутриофисные, городские, региональные и глобальные системы подвижной связи.

В создании систем 3-го поколения важное место занимает технология Универсальной персональной связи UPT (Universal Personal Telecommunication). Согласно концепции UPT каждому жителю Земли должен быть выделен персональный телефонный номер, по которому он мог бы войти в любую сеть связи, в любое время суток и в любом месте, где бы не находился.



**Рис. 2.4.**  
Интеграция  
сетей наземной  
и спутниковой  
связи в рамках  
IMT-2000



С номером UPT ассоциирован профиль абонента, т.е. набор услуг связи, доступных конкретному абоненту, и персональные требования/режимы связи. Профиль UPT может разрешить отправку/прием факсимильных сообщений или включение в режим конференц-связи, мобильный доступ к Internet и Web-услугам в различных режимах поиска и просмотра мультимедийной информации.

### Единое информационное пространство

В основе концепции построения IMT-2000 лежит принцип мобильного доступа ко всем ресурсам единого общемирового информационного пространства. Новое поколение мобильной связи откроет большие возможности для получения различных видов информации за счет увеличения скорости передачи информации до 2,048 Мбит/с.

Задача построения глобальной общемировой телекоммуникационной сети подвижной связи предполагает разработку унифицированных методов доступа к узлам информационных сетей. Важная роль отводится спутниковым системам, которые в сочетании с сетями наземного доступа позволят довести информацию до любого уголка Земли. Для решения такой задачи необходимо создание гибкого радиointерфейса, обеспечивающего совместимость глобальных спутниковых и наземных сетей.

Универсальный мобильный доступ к общемировым информационным ресурсам реализуется путем интеграции радиосетей и Internet. На первом этапе мобильные терминалы получают доступ к фиксированным Web-узлам Internet. На последующих этапах подвижные узлы радиосетей смогут выполнять функции Web-узлов и хост-систем (серверов) Internet, что обеспечит глобальную связность локальных ресурсов сотовых сетей и доступ к ним с любых типов абонентских устройств. Например, абоненты смогут стандартным образом обращаться к узлам своих домашних локальных сетей, находясь в поездах, и работать с разнообразной персональной информацией (просмотр поступающих сообщений, контроль банковских счетов, поиск документов в домашних архивах и т.п.).

### Единое частотное пространство

В соответствии с концепцией ИМТ-2000 в системах 3-го поколения предполагается создание единого частотного пространства шириной 230 МГц с разными сценариями использования. Примечательно, что полосы частот, выделенные для наземной и спутниковой связи, расположены рядом, что позволяет в перспективе говорить о возможном объединении терминалов, работающих в соседних полосах частот.

Реализуются также два принципиально различающихся по концепции выделения частотного ресурса подхода – это работа в старых, уже освоенных диапазонах, с возможным в перспективе постепенным их расширением, и выделение «индивидуальных» полос частот для новых технологий 3-го поколения. За ИМТ-2000 уже закреплены «на всемирной основе» два сплошных участка спектра шириной 230 МГц в районе 2 ГГц, которые поделены между системами беспроводного доступа, сотовой и спутниковой связи.

Новый подход, который впервые реализован в ИМТ-2000, связан с выделением парных полос частот для систем, работающих с частотным дуплексным разносом (FDD) и непарных для систем с временным дуплексным разносом (TDD).

Комбинированное использование двух режимов FDD и TDD делает систему гибкой, позволяя изменять пропускную способность и способы организации связи. Так, режим FDD более эффективен при больших размерах сот и высокой скорости передвижения абонентов. Режим TDD, напротив, предназначен для применения в пико- и микросотах, т.е. там, где абонент передвигается с невысокой скоростью.

Преимущество режима TDD заключается в более эффективном использовании радиоканалов при асимметричных потоках информации, передаваемых в прямом и обратном направлениях связи.

### Мобильный терминал

Концепция систем 3-го поколения подразумевает предоставление услуг мультимедиа, включая высокоскоростную передачу информации, видео и речи, факсов и данных любому абоненту с использованием мобильного терминала, имеющего единый номер. В век информационных технологий мобильный телефон перестает быть просто средством голосовой связи, а становится мультимедийным абонентским устройством, способным передавать и принимать графические данные и видеозображения. Такие услуги должны предоставляться по минимальной цене, обеспечивать приемлемое качество и уровень безопасности. Конечная цель систем 3-го поколения – создание массового рынка для удовлетворения потребностей в персональной связи. Успех систем 3-го поколения будет зависеть как от размеров тарифов за услуги мобильной связи, платы за использование сетей общего пользования, так и стоимости абонентского терминала.

Ключевое требование концепции – использование портативных, дешевых и гибких абонентских терминалов. Абоненты новых систем будут располагать удобными и компактными терминалами, которые по своим возможностям значительно расширят традиционное представление о радиотелефонах. Абоненты получат массовые (доступные по цене и простоте использования) терминалы, которые будут обеспечивать новые возможности связи и обработки информации.

В системе ИМТ-2000 предполагается использовать перепрограммируемые терминалы, адаптирующиеся к требованиям пользователей. Такие терминалы должны конструироваться по модульному принципу с возможностью их модификации и гибкой комплектации в зависимости от требований пользователей. Предусматривается гибкая настройка терминала

на различные стандарты радиосвязи и обеспечение работы терминала в различных операционных средах. Одновременно с предоставлением такого широкого спектра услуг, новые терминалы будут очень просты и удобны в обращении, т.е. основаны на современном принципе «включи и пользуйся» [23].

### **Объединение сетей мобильной и фиксированной связи**

С проблемой организации роуминга тесно связана задача интеграции и конвергенции услуг фиксированной и мобильной связи (FMC), т.е. реализация принципа «один человек – один телефон».

Несмотря на стратегическое и очень существенное различие в сетевых архитектурах и способах реализации услуг фиксированной и мобильной связи – их стартовые возможности примерно одинаковы, т.е. абонентам требуется обеспечить примерно идентичный набор конвергируемых услуг и тарифов.

На первый взгляд кажется, что фиксированные и мобильные услуги – это вещи несовместимые, и что их реализация весьма проблематична. По мере того, как сотовая связь превращается из элитной услуги в массовую, все насущней становится проблема конвергенции.

Долгое время основным препятствием на пути конвергенции оставалось низкое качество передачи речи. Если на первом этапе развития мобильной связи это было как-то оправдано – «разумная цена» за выигрыш в мобильности. Однако современные речевые кодеки позволяют довести качество речи в беспроводной сети до уровня фиксированной связи. Ряд услуг для рядовых абонентов, реализуемых в GSM и корпоративных WATS, также фактически объединены, – в этом и состоит реальная конвергенция.

Современные службы на базе коммутации каналов уже сейчас в состоянии предоставить стационарному абоненту элементы мобильности. Услуги оказываются непосредственно там, где находится абонент. Ему предоставляется единый персональный номер с переключением между разными проводными сетями или радиосетями, работающими в прозрачном по отношению к вызываемому абоненту режиме.

Основные дискуссии в области FMC-конвергенции в настоящее время ведутся вокруг двух проблем: услуг и тарифов. Учитывая, что услуги prepaaid (предоплаченные услуги) уже оказали положительное влияние на растущие рынки мобильной связи, коммерческие выгоды от стабильного расширения роуминга для возрастающего парка абонентских средств благоприятно скажутся на операторской деятельности.

Какой бы подход не выбрали операторы для интеграции услуг фиксированной и мобильной связи, два фактора играют определяющую роль: преобладание поколений систем связи и оптимальная стратегия конвергенции. Чтобы выиграть у своих конкурентов, необходимо решить главную задачу – предоставлять широкий ассортимент услуг и по более низкой цене.

### **Преодоление «технологической пропасти»**

В последнее время в мире заметно увеличился дисбаланс между новыми возможностями систем 3-го поколения и реально существующей во многих странах телекоммуникационной инфраструктурой, т.е. образовалась так называемая «технологическая пропасть».

В связи с этим ITU просматривает другие возможности, которые смогли бы «навести мосты над пропастью» (Bridge the Telecommunications Gap) с учетом особенностей телекоммуникационной инфраструктуры слаборазвитых стран: малой плотности населения и больших территорий. Для таких регионов предлагается использование маловысотных летательных аппаратов с ретрансляторами на борту, позволяющими по сравнению с традицион-

ными базовыми станциями существенно расширить зону обслуживания и снизить время развертывания системы.

Особо большое значение эта проблема имеет для России, значительная часть территории которой расположена в труднодоступных районах, где организация полноценного наземного сегмента проводной или сотовой связи нерентабельна. Немаловажную роль может сыграть низкий платежеспособный спрос в ряде регионов на новые услуги, тем более, что даже «старые» в полной мере не востребованы. Люди, которые никогда ранее не пользовались услугами связи, не видят необходимости за них платить. Выход видится в постепенном наращивании услуг и создании, в первую очередь, недорогих систем мобильной связи, которые позволят быстро решить проблему информационной изоляции труднодоступных и малонаселенных районов [24].

## 2.5. Методологические основы IMT-2000

### Организация работ по стандартизации

Услуги 3-го поколения могут приобрести глобальный характер только при реализации в рамках IMT-2000 системы общих стандартов. Стандартизация семейства систем 3-го поколения проводится под эгидой ИТУ в рамках трех секторов: ИТУ-T (сетевые технологии), ИТУ-R (радиотехнологии) и ИТУ-D (сектор развития).

В секторе ИТУ-T вопросами стандартизации сейчас занимаются 16 исследовательских групп или комиссий, тематическая направленность которых отражена в табл. 2.2.

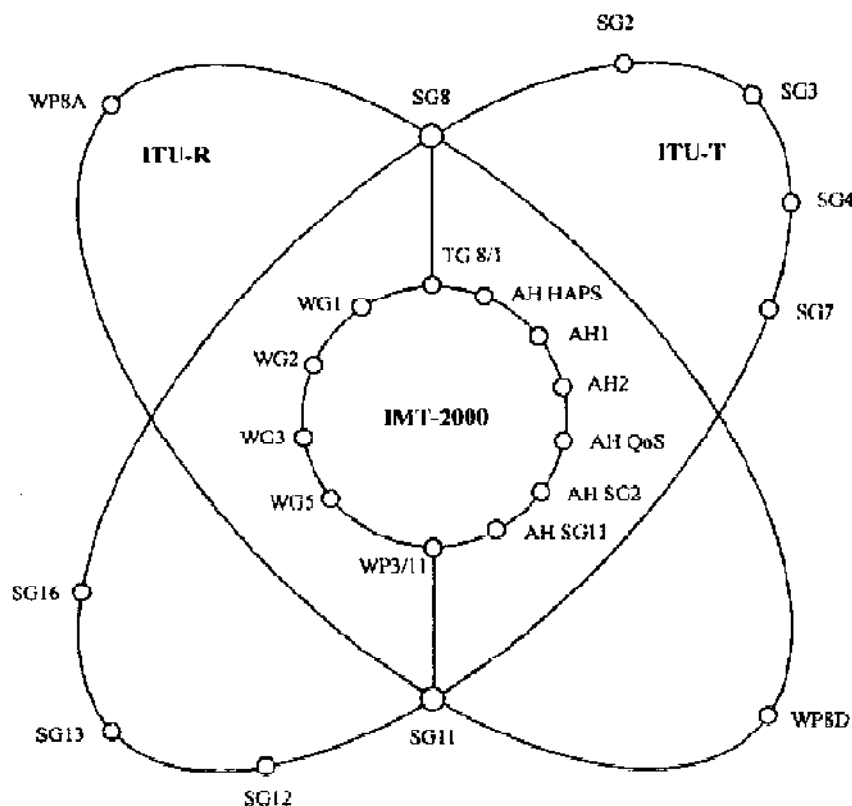
**Таблица 2.2. Состав исследовательских групп ИТУ-T**

SG1	Определение услуг
SG2	Услуги и эксплуатация сетей
SG3	Принципы тарификации и взаиморасчетов
SG4	Сетевое управление
SG5	Защита от электромагнитных воздействий окружающей среды
SG6	Линейные сооружения
SG7	Сети передачи данных и открытые системы
SG8	Терминалы для телематических служб
SG9	Телевидение и радиовещание
SG10	Языки для прикладных телекоммуникационных задач
SG11	Коммутация и сигнализация
SG12	Сквозные характеристики и качественные показатели для сетей и терминалов
SG13	Общесетевые аспекты
SG14	Модемы и технологии передачи данных и телематических сообщений
SG15	Системы передачи информации и оборудование
SG16	Услуги мультимедиа и кодеки

Для обозначения исследовательских групп используется аббревиатура SG (Study Group). Головной по стандартизации IMT-2000 является группа SG11, определяющая концептуальные аспекты систем 3-го поколения и требования к сетевой архитектуре. В рамках SG11 выделена рабочая группа WP 3/11 (WP – Working Party), ответственная за разработку требований к сигнализации и протоколам.

В общей сложности в процесс стандартизации IMT-2000 в ITU-T вовлечены восемь исследовательских групп [25], что иллюстрируется на рис. 2.5. В их задачи входит определение новых услуг и разработка требований к адресации и маршрутизации (SG2), исследование структуры и характеристик сетей передачи данных (SG7), выработка требований к мультимедийным услугам и кодекам (SG16), а также качественным показателям обслуживания (SG12). В группе SG3 определяются принципы взаиморасчетов и тарификации новых услуг.

**Рис. 2.5.**  
Организация работ по стандартизации IMT-2000



В секторе ITU-R образовано девять исследовательских групп (табл. 2.3). Вопросами подвижной радиосвязи в ITU-R занимается исследовательская группа SG8, в рамках которой созданы две рабочие группы WP (Working Party). В задачу группы WP8A входят вопросы стандартизации систем сухопутной мобильной связи, а группа WP8D является ответственной за мобильную спутниковую связь. Вопросами планирования частотных присвоений и оценкой эффективности использования спектра занимается группа SG1.

**Таблица 2.3. Состав исследовательских групп ITU-R**

SG1	Технологии управления частотным ресурсом
SG2	Распределение спектра между службами и обеспечение совместимости
SG3	Распространение радиоволн
SG4	Фиксированная спутниковая служба
SG6	Радиовещательные услуги
SG7	Научные исследования
SG8	Мобильная связь, радиоопределение и радиолобительская связь
SG9	Услуги фиксированной связи (для наземных линий)

На период проведения работ по стандартизации радиointерфейсов IMT-2000 в рамках сектора ITU-R в 1996 г. была создана целевая группа TG (Task Group) 8/1<sup>12</sup>, координирующая деятельность всех других групп.

Адаптация технологий IMT-2000 к нуждам развивающихся стран в секторе ITU-D осуществляет комиссия SG 2 (на рис. 2.5 сектор ITU-D не показан). Основная задача группы SG 2 – разработка предложений для внедрения в IMT-2000 такого ограниченного набора услуг, который был бы востребован в районах со слаборазвитой инфраструктурой связи и труднодоступных местах, где создание наземных сетей фиксированной связи проблематично или вообще невозможно.

Для решения оперативных вопросов в рамках ITU-T созданы рабочие группы WG (Working Group) и специальные группы АН (Ad Hoc).

Проблемами изучения потребностей слаборазвитых стран в услугах системы IMT-2000 занята группа WG1, а ключевые характеристики (рекомендация M.RKEY) разрабатываются в WG5. Особое внимание в программе IMT-2000 уделяется развитию спутниковой связи (WG3) и вопросам эффективного использования спектра (WG2). Группа WG2 также отвечает за подготовку материалов к WRC-2000 [12].

В задачи групп АН входит решение специальных вопросов, касающихся оценки качества (группа АН QoS) и создания станций на высокорасположенных платформах HAPS (High Altitude Platform Stations). Технология HAPS считается перспективной для развивающихся стран, где с помощью базовой станции, установленной на простейшем типе летательного аппарата, можно создать сети с большой зоной обслуживания. Для решения вопросов электромагнитной совместимости и рассмотрения путей внедрения этой новой технологии создана специальная группа АН HAPS.

### **Цикл разработки стандартов**

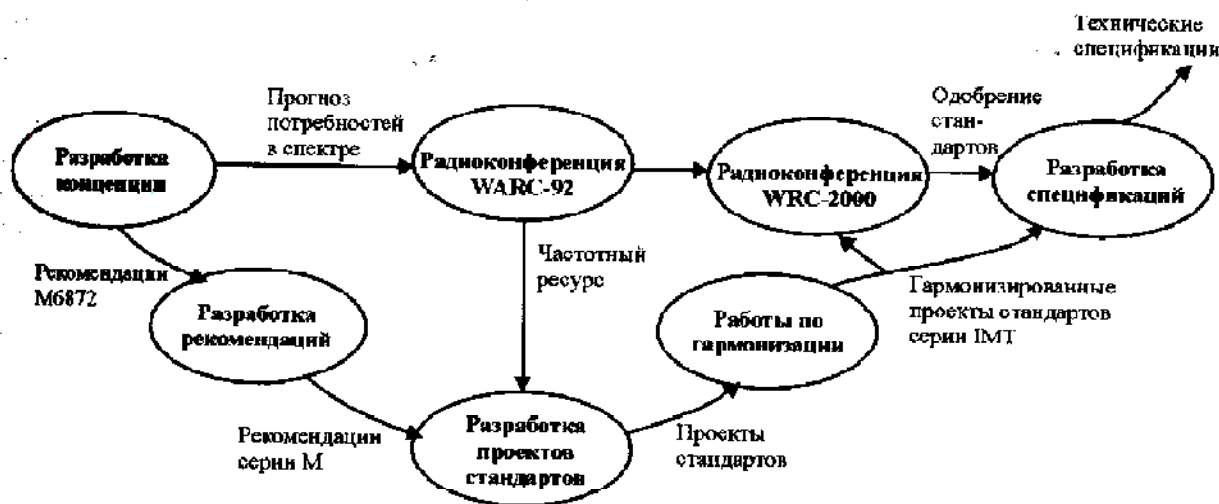
Разработка современных стандартов представляет собой трудоемкий и достаточно продолжительный процесс. Последующая востребованность на рынке во многом определяется умением разработчиков стандарта предвидеть перспективы развития рынка. Цикл разработки стандартов в ITU состоит из нескольких этапов, схематически представленных на рис. 2.6.

Первый и наиболее важный этап – определение ключевых требований к новым технологиям и разработка необходимых методических рекомендаций, рассылаемых всем членам ITU. Процесс разработки стандартов реализуется следующим образом. На предварительном этапе (1985-1992) Международный союз электросвязи совместно с региональными организациями по стандартизации определил потребность в частотных ресурсах для FPLMTS/IMT-2000. В 1992 г. в ITU была подготовлена рекомендация M.687-2, в которой были даны предложения по выделению полос частот для систем 3-го поколения.

После этого была разработана серия методических рекомендаций, предъявляющих требования к технологиям радиопередачи RTT (Radio Transmission Technologies), и был объявлен конкурс на создание новых радиointерфейсов. Одной из базовых явилась рекомендация M.1225, в которой всем участникам конкурса предлагалось ответить на ряд общих вопросов, касающихся особенностей эксплуатации и характеристик предлагаемого технического решения.

<sup>12</sup> Прежнее название – «Временная рабочая группа».

Рис. 2.6. Типовая схема разработки стандартов 3-го поколения



Следующий шаг – непосредственная разработка стандартов и их гармонизация. Работы по оценке систем радиодоступа, представленных в ITU в качестве кандидатов в члены семейства IMT-2000, проводятся экспертными группами в соответствии с методологией, изложенной в рекомендации ITU-R M.1225.

Для проведения работ по стандартизации в ITU были созданы 13 экспертных групп, представляющих интересы различных региональных органов стандартизации: TTA TR 45.3, TTA TR 46.1 (США), ETSI SMG2 (Европа), национальных ассоциаций и исследовательских центров EP DECT (Австрия), ANATEL (Бразилия), TDMA (Малайзия), CRC-BTN (Австралия), ARIB (Япония), TTA (Южная Корея) и национальных администраций связи Китая, Канады и Новой Зеландии.

Предложения, прошедшие конкурсный отбор, поступили на рассмотрение в группу TG 8/1 для определения возможности и целесообразности разработки соответствующих технических спецификаций.

### Методические рекомендации

В рамках проведения работ по стандартизации IMT-2000 Международный союз электросвязи разработал около 30 документов, получивших статус международных методических рекомендаций (серия «М»). В них определены основные функционально-технические требования к проектам 3G технологий.

Сформулированные рекомендации четко структурированы и охватывают все основные направления работ, проводимых ITU в рамках IMT-2000 (табл. 2.4). В ключевой рекомендации M.687-2 определена концепция построения системы и сценарии ее развертывания, а принципы обеспечения безопасности обоснованы в рекомендации M.1078. Эти рекомендации служат основой для разработки всего последующего пакета документов по стандартизации технологий RTT, разрабатываемых в ITU-R и ITU-T. Так, в рекомендации M.817 определена эталонная модель архитектуры для сети IMT-2000. В рекомендациях M.1034 и M.1035 описываются способы реализации радиоинтерфейсов и детализируются требования применительно к разным условиям эксплуатации. Требования к новым услугам определяет

рекомендация М.816, а концептуальные основы управлению сетью 3-го поколения изложены в рекомендации М.1168.

Серия рекомендаций посвящена организации спутниковой связи в рамках ИМТ-2000 (М.818, М.1167). В них определяются требования к спутниковым компонентам и особенностям их применения в ИМТ-2000.

**Таблица 2.4. Методические рекомендации, определяющие требования к ИМТ-2000**

ITU-R M.687-1	Цели и задачи ИМТ-2000
ITU-R M.687-2	Международная мобильная система связи ИМТ-2000 (концепция)
ITU-R M.816-1	Виды услуг, поддерживаемых ИМТ-2000
ITU-R M.817	Архитектура сети ИМТ-2000
ITU-R M.818	Организация спутниковой связи в рамках ИМТ-2000
ITU-R M.819-2	ИМТ-2000 для развивающихся стран
ITU-R M.1034-1	Требования к радиointерфейсу для ИМТ-2000
ITU-R M.1035	Требования к функционированию радиointерфейса ИМТ-2000 и его отдельных подсистем
ITU-R M.1036-1	Частотный ресурс для ИМТ-2000 (1885-2025 и 2110-2200 МГц)
ITU-R M.1038	Эволюция сухопутных мобильных систем в рамках ИМТ-2000
ITU-R M.1078	Принципы обеспечения безопасности для ИМТ-2000
ITU-R M.1079	Требования к передаче речи и данных в полосе речевого канала
ITU-R M.1167	Требования к спутниковым компонентам для ИМТ-2000
ITU-R M.1168	Требования к управлению для ИМТ-2000
ITU-R M.1223	Оценка механизмов безопасности для ИМТ-2000
ITU-R M.1224	Словарь терминов для ИМТ-2000
ITU-R M.1225	Общая методология оценки радиотехнологий ИМТ-2000
ITU-R M.1311	Структура модульного построения и унификация радиоподсистем в рамках ИМТ-2000
ITU-R M.1390	Методология оценки спектра для наземных подсистем ИМТ-2000
ITU-R M.1391	Методология оценки спектра для спутниковых подсистем ИМТ-2000
ITU-R SM.328	Спектры и полосы частот побочных излучений
ITU-R SM.329	Побочные излучения
ITU-R M [ИМТ.НAPS <sup>13</sup> ]	Требования к платформам, размещаемым на большой высоте
ITU-R M [ИМТ.RKEY]	Ключевые характеристики для радиointерфейсов ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSAT]	Требования к технологиям спутниковой связи ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSPC1]	Спецификация радиointерфейса для ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSPC2]	Спецификация физического уровня радиointерфейса для ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSPC3]	Спецификация протоколов радиointерфейса для ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSPC4]	Спецификация на мобильные станции и мобильные ЗС ИМТ-2000
ITU-R M [ИМТ.RSPC5]	Спецификация на базовые станции наземного сегмента ИМТ-2000
ITU-R Q.1701	Семейство сетей ИМТ-2000
ITU-R Q.1711	Функциональная архитектура сети

<sup>13</sup> Рекомендации и стандарты, номера которых начинаются с ИМТ, еще не утверждены.



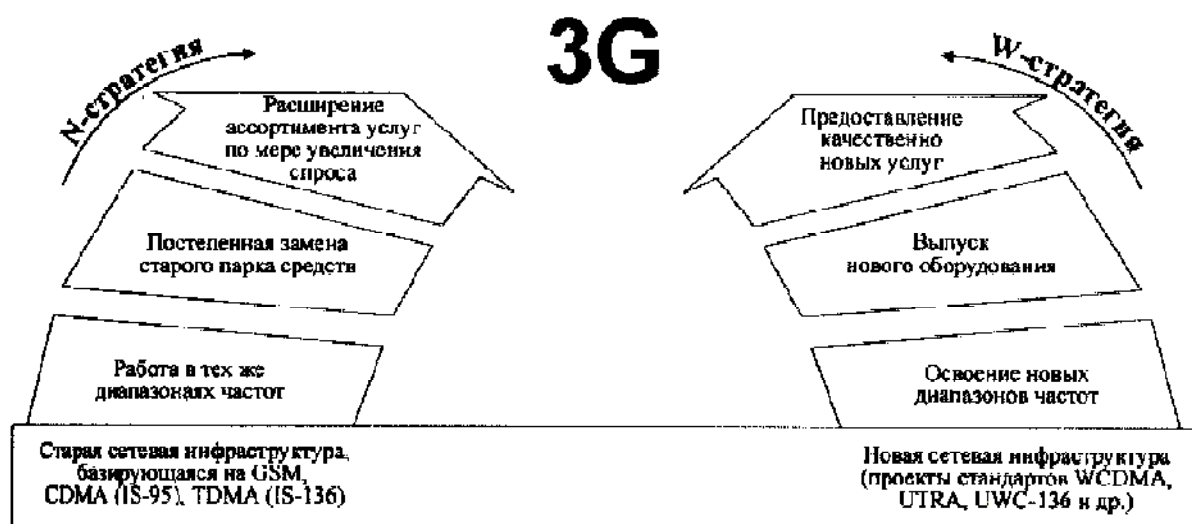
Проблеме распределения частотного ресурса посвящено несколько документов, в которых рассмотрены вопросы использования корневых полос спектра и путей повышения спектральной эффективности (M.1036), определены методики оценки требуемого ресурса для наземных (M.1390) и спутниковых (M.1391) подсистем. Оценка текущих и будущих потребностей в частотном ресурсе для IMT-2000 приведена в M.[IMT.SPEC] и M.[IMT.SURVEY]. На последней стадии разработки стандартов появился еще один ранее незапланированный проект рекомендации M.[IMT.UNWANT], в котором регламентируются вопросы электромагнитной совместимости различных технологий мобильной связи как между собой, так с другими средствами. В частности, более жестко определен уровень мешающих излучений, создаваемых наземными радиointерфейсами IMT-2000. Следует отметить, что окончательные решения по вопросам использования спектра будут приняты на Всемирной радиоконференции WRC-2000.

Проблемам адаптации технологий IMT-2000 к нуждам развивающихся стран посвящена рекомендация M.819-2. Основная ее идея состоит в создании такого ограниченного набора услуг, который был востребован в малонаселенных и труднодоступных районах, а также местах со слаборазвитой телекоммуникационной инфраструктурой.

## 2.6. Пути перехода к системам 3-го поколения

В рамках концепции IMT-2000 рассматриваются две стратегии перехода к услугам 3-го поколения: постепенное (эволюционное) и «одномоментное» (революционное). На западе эти подходы получили обозначение N (Narrowband) и W (Wideband) стратегии (рис. 2.7).

Рис. 2.7. Две стратегии перехода к системам 3-го поколения



Рассмотрим те преимущества и недостатки, которые таит каждая из стратегий. Революция предполагает внедрение всех новейших технологий и новых интерфейсов, однако предусматривает полную замену существующего оборудования и программного обеспечения, что сопряжено с большими капитальными затратами и определенным коммерческим риском. Для отработки данной стратегии в разных районах мира уже разворачиваются экспериментальные сети. Япония и азиатские рынки станут первыми массовыми полигонами, где

новые технологии будут испытаны уже к 2002 году. Эти результаты окажут решающее влияние на структуру мирового рынка мобильной связи 3-го поколения.

Один из важнейших признаков, принципиально разделяющих два подхода, – способ освоения частотного ресурса. При революционном сценарии требуется новый частотный ресурс. Япония и Европа намерены пойти по этому пути и выделить для систем 3-го поколения «индивидуальные» полосы радиочастот. Подход США абсолютно иной – там спектр, выделенный IMT-2000, уже занят службой PCS, и системы 3-го поколения будут работать в старых полосах частот вместе с сетями стандартов TDMA/AMPS.

Приверженцы двух наиболее массовых технологий 2-го поколения – TDMA/AMPS и GSM встали на эволюционный путь развития. Сегодня эти системы имеют ограниченные возможности по наращиванию пропускной способности и видам услуг в рамках выделенного частотного диапазона. Рост их емкости без дополнительного расширения спектра возможен лишь за счет перехода на полускоростные каналы (GSM), введения многосекторных антенн или использования спектрально-эффективных методов модуляции (8PSK и др.).

Эволюционное внедрение требует меньших капитальных затрат и предполагает плавную замену оборудования в зависимости от уровня спроса на конкретные виды услуг. Такой подход позволяет максимально использовать существующую инфраструктуру сети связи, внедряя новые сетевые элементы в процессе последовательной модернизации. Основным недостатком эволюционного подхода – отсутствие возможности использования всех преимуществ новых технологий и организации глобального роуминга (табл. 2.5).

**Таблица 2.5. Две стратегии освоения рынка мобильной связи**

Признак \ Стратегия	Эволюционный подход	Революционный подход
Метод использования частотного ресурса	Работа в старых диапазонах	Освоение новых диапазонов
Принцип предоставления услуг	Постепенно расширяемый ассортимент услуг	Новые услуги с начала разворачивания
Пропускная способность	Постепенно наращивается	Изначально высокая
Стратегия создания сетевой инфраструктуры	Медленный и постепенный переход от 2G к 3G по мере появления спроса на услуги	Создание опытных районов («островков») с полным набором услуг
Технологический уровень	Новые технологии, внедряемые в отдельных элементах	Все технологии – новейшие
Архитектура сети	Максимальное использование существующей инфраструктуры	Новая
Коммерческий риск	Низкий	Высокий
Состав операторов	В основном тот же, что и в 2G	Операторы, купившие лицензии на услуги 3G
Глобальный роуминг	С ограничениями	Без ограничений
Капитальные затраты	Незначительные	Значительные

Начальный этап внедрения сетей 3-го поколения планируется на 2001-2003 годы, когда общемировой рынок услуг мобильной связи достигнет 600 млн. абонентов. Капитальные вложения операторов связи в создание и развитие такого гигантского рынка по оценке экспертов превысят 60 млрд. долл. Очевидно, что массивность и инерционность общемирового рынка не позволит осуществить в короткие сроки переход всех сетей мобильной связи к новым техническим стандартам и режимам обслуживания абонентов. Естественно ожидать, что в некоторых регионах или отраслях народного хозяйства создание сетей 3-го поколения будет начато «с нуля». Однако для стран с развитой телекоммуникационной инфраструктурой типичными станут две стратегии перехода к 3-му поколению.

Очевидно, что рыночные факторы и особенности региональных рынков Европы, Северной Америки и Азии будут препятствовать быстрому переходу от существующих технологий к стандартам 3-го поколения. Этап развертывания новых технологий составит не менее 2-3 лет, а совместное существование продлится не менее десяти лет.

## 3. ЧАСТОТНОЕ ПРОСТРАНСТВО ДЛЯ IMT-2000

### 3.1. Принципы распределения спектра

#### Исходные предпосылки

Технология распределения спектра прошла в своем развитии несколько этапов, начиная от случайного (неупорядоченного) распределения частот, и современного, связанного с «переделом» спектра. Бесследно прошли те времена, когда частоты выбирались оптимальным образом, обеспечивая, с одной стороны, максимальную дальность связи или пропускную способность, а с другой стороны, приемлемые массогабаритные характеристики приемопередающей аппаратуры и антенн.

Сегодня в мире принята упорядоченная процедура распределения спектра, который поделен между службами телерадиовещания, связи, радионавигации, астрономии и т.п. Внутри каждой службы также существует свой иерархический принцип разделения частотного ресурса по видам связи: мобильная наземная радиосвязь, радиорелейная, тропосферная, мобильная спутниковая связь и т.п. На мировом уровне такое деление закреплено в Регламенте радиосвязи, содержащем таблицу распределения полос частот между службами в пределах от 9 кГц до 275 ГГц. В России процедура распределения спектра регламентируется «Таблицей распределения полос частот между радиослужбами РФ в диапазоне частот от 3 кГц до 400 ГГц» [26].

Частотный ресурс не безграничен, и сегодня он в дефиците. Если в фиксированной связи и сетях беспроводного доступа возможен переход в более высокочастотные диапазоны, то в мобильной связи поднимать верхнюю «частотную планку» выше 3 ГГц нецелесообразно.

На сегодняшний день спектр, выделенный для мобильной коммерческой связи, составляет 40% от общего ресурса (в полосах частот до 2,5 ГГц). Анализ распределения полос показывает, что большую часть спектра занимают сотовые системы (25%), а доля спутниковых систем (служба MSS) не превышает 9%.

#### Полосы частот для IMT-2000

Подход к распределению частотного ресурса, реализованный в концепции IMT-2000, основывается на следующих принципах:

- создание единого частотного пространства шириной 230 МГц для систем беспроводного доступа, сотовой и спутниковой связи;
- сочетание разных стратегий внедрения услуг 3-го поколения (революционной и эволюционной);
- гибкость в распределении спектра, предусматривающая возможность реализации разных сценариев использования полос частот в разных географических районах;
- выделение парных полос частот для дуплексной связи с частотным разделением и непарных полос для дуплексной связи с временным разделением.

В условиях острого дефицита частотного ресурса свободных участков с требуемой шириной полосы частот 230 МГц в наиболее «привлекательных» для мобильной связи полосах частот (450-960 МГц) просто не существовало.

Компромиссное решение было найдено в 1992 г. на Всемирной административной радиоконференции WARC-92, где на всемирной основе были выделены два участка спектра: 1885-2025 и 2110-2200 МГц для систем IMT-2000, планируемых к развертыванию после 2000 г.

Соответствующие изменения, хотя и с оговорками<sup>14</sup>, были внесены в Регламент радиосвязи (примечание № S5.388 к таблице распределения частот). Реально это означало передел спектра между службами мобильной и фиксированной связи.

Вскоре после этого была выпущена рекомендация WCR-95 (рез.716), согласно которой члены ИТУ должны принять меры к постепенному высвобождению полос частот 1885-2200 МГц от работающих в них радиосредств. Хотя такое решение в какой-то мере носило дискриминационный характер, т.к. в ряде стран, в том числе и в России, в этих участках спектра традиционно работали РРЛ и другие радиосредства, однако передел спектра стал одним из немногих способов высвободить частотный ресурс для IMT-2000 [27].

В решении этой проблемы каждая из стран пошла своим путем, предпринимая усиленные попытки освободить эти диапазоны частот к 2001 году, когда потребуются лицензировать спектр с тем, чтобы с 2002 года сделать его коммерчески доступным.

### Гибкость распределения спектра

Гибкость распределения спектра характеризуется возможностью использования разных режимов работы и параметров каналов, устанавливаемых в процессе радиообмена, а также различных вариантов предоставления частотных полос операторам.

В IMT-2000 реализованы два режима работы: в парных (режим FDD) и непарных (TDD) полосах частот. Для реализации FDD требуется минимальная полоса 2x5 МГц в корневых полосах частот 1920-1980<sup>15</sup>/2110-2170 МГц, а для TDD – 5 МГц в полосах 1900-1920 и 2010-2025 МГц. Режим FDD обладает преимуществом при больших размерах сот и высокой скорости передвижения абонентов. Режим TDD, напротив, предназначен для применения в пико- и микросотах, т.е. там, где абонент передвигается с невысокой скоростью.

Гибкое распределение спектра позволяет устранить искусственные барьеры на пути выхода операторов на рынок, предоставляя им возможность быстро реагировать на изменения спроса на услуги, т.е. на предоставление новых и разнообразных услуг в том же диапазоне без создания новой сетевой инфраструктуры.

Технологии 3G обеспечат нескольким операторам (имеющим соответствующие лицензии) возможность совместного использования одной и той же полосы частот без взаимных помех и снижения качества связи. Никакой частотной координации между операторами в этом случае не потребуется. Благодаря гибкой сетевой архитектуре оператор может создавать сети разной конфигурации (макросоты, микросоты и пикосоты) при экономном использовании радиоресурсов.

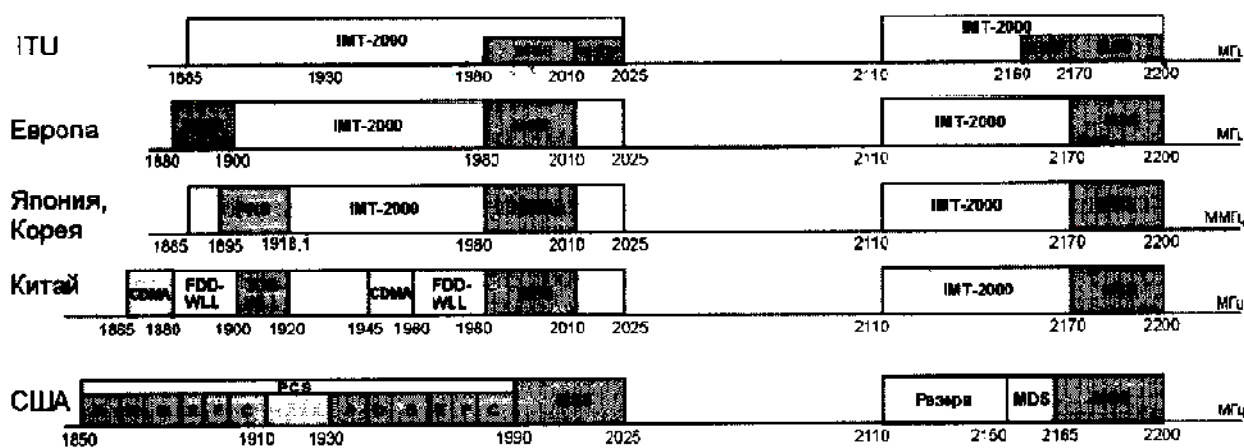
## 3.2. Распределение спектра в различных регионах мира

Создание глобальной телекоммуникационной инфраструктуры IMT-2000 немыслимо без выделения единых для всех регионов полос частот. Особенно это важно в спутниковом сегменте S-IMT-2000 (Satellite IMT-2000), где в силу глобального характера предоставляемых услуг спутниковой службы MSS (Mobile Satellite Service) распределение спектра производится «на всемирной основе» (рис. 3.1).

<sup>14</sup> Средства мобильной связи, разрабатываемые в рамках программы IMT-2000, не должны препятствовать использованию этих полос частот другими службами, которым эти полосы распределены.

<sup>15</sup> В UMTS планируется использовать гибкое перераспределение спектра 5 МГц между FDD и TDD в нижней из двух парных полос (1920-1980 МГц)

Рис. 3.1. Распределение частотного ресурса в разных регионах мира



\* - для региона 2 (Северная и Южная Америка)

Что же касается наземных сетей, то там частотный спектр представляет собой национальный природный ресурс и его распределение между операторами осуществляют национальные или региональные частотные органы. В результате в наземном сегменте T-IMT-2000 (Terrestrial IMT-2000) допускаются различные стратегии использования полос частот не только в отдельных регионах и государствах, но даже в пределах одной страны, если в ней предоставление услуг осуществляют несколько независимых операторских компаний.

### Европейский подход

В 1997 Европейский комитет радиосвязи ERC (European Radiocommunications Committee), входящий в состав СЕРТ, принял решение о резервировании частотных полос для начала коммерческой эксплуатации UMTS с 2002 года в следующих полосах частот:

- 1920-1980 и 2110-2170 МГц - для наземных сетей UMTS, работающих с частотным дуплексным разносом (FDD);
- 1900-1920 и 2010-2025 МГц - для наземных сетей UMTS, работающих с временным дуплексным разносом (TDD);
- 1980-2010 и 2170-2200 МГц для спутниковых сетей UMTS.

Европейский подход к распределению полос частот практически совпадает с тем, которое предлагает ITU в рамках концепции IMT-2000, кроме 15 МГц, ранее выделенных для DECT. Суммарный частотный ресурс UMTS составляет 155 МГц для наземных сетей и 60 МГц - для спутниковых.

Кроме освоения новых полос частот в Европе рассматривается возможность эволюционного пути развития, который, прежде всего, связывают с новыми технологиями GPRS и EDGE, внедряемыми в существующую наземную инфраструктуру сетей GSM-900 и GSM-1800. Существующий в настоящее время в Европе спектр шириной 240 МГц отведен для систем 2-го поколения GSM-900, GSM-1800 и DECT.

Для мобильной спутниковой службы MSS (Mobile Satellite Service) в UMTS отведены те же диапазоны частот 1980-2010 и 2170-2200 МГц, что и в предложении ITU.

**Северная и Южная Америка**

Политика США в распределении спектра частот кардинально отличается от европейского и азиатского подходов. Часть спектра, выделенного для PCS (1850-1910 и 1930-1990 МГц), уже разделена в соответствии с выданными лицензиями на участки 2x5 МГц и 2x15 МГц и распродана.

Правительство США считает, что на первом этапе потребность в спектре для IMT-2000 на территории США может быть обеспечена за счет внедрения новых услуг в полосах частот, которые сегодня используют системы 2-го поколения (190 МГц). Суть эволюционного сценария внедрения услуг 3-го поколения в США основана на постепенном наращивании возможностей системы TDMA (IS-136) и плавном переходе к UWC-136 по мере появления спроса на новые услуги. Аналогичный путь развития прогнозируется и для технологии cdmaOne (IS-95), которая в процессе эволюции будет заменена на систему 3-го поколения cdma2000 (табл. 3.1). Следует отметить, что участок спектра 2110-2160 МГц в районе 2<sup>16</sup> свободен и потенциально может быть использован для предоставления услуг 3-го поколения.

**Таблица 3.1. Полосы частот систем сотовой, микросотовой и спутниковой связи**

Полосы частот, МГц	Название системы	Полоса частот линии связи, МГц			Новые технологии
		«вверх»	«вниз»	ширина	
450-960	NMT-450	453-457,5	463-467,5	2x4,5	CDMA-450
	GSM-400	450,4-457,6	460,4-467,6	2x7,2	GSM-400
		478,8-486	488,8-496	2x7,2	
	CT-2	864-868,2		4,2	
	TDMA/AMPS	824-849	869-894	2x25	cdma2000, UWC-136
	GSM-900	890-915	935-960	2x25	GPRS, EDGE
PDC	810-826	940-956	2x16		
1427-1525	PDC	1477-1489	1429-1441	2x12	
		1501-1513	1453-1465	2x12	
1710 – 1990	GSM-1800	1710-1785	1805-1880	2x75	GPRS, EDGE
	PACS (США)	1850-1910	1930-1990	2x60	
	PHS (Япония)	1893,5-1919,6		26,1	
	DECT	1880-1900		10	DECT-EP
1900-2200	T-IMT-2000	1900-1920		20	UTRA TDD (кроме рег. 2)
		1920-1980	2110-2170	2x60	WCDMA FDD
		2010-2025		15	UTRA TDD (кроме рег. 2)
	S-IMT-2000	2010-2025	2160-2170	25	MSS (регион 2)
		1980-2010	2170-2200	2x30	MSS (на «всемирной основе»)

Спутниковая связь в Северной Америке осуществляется в расширенном диапазоне частот, включающим дополнительные полосы частот 2010-2025 МГц и 2160-2170 МГц (рез. 212 WRC-97). В Европе эти участки спектра отведены для наземных сетей, работающих в режиме TDD.

В Южной Америке ситуация с наземными и спутниковыми сетями мало чем отличается, однако будущие планы для развития систем 3-го поколения пока неизвестны.

<sup>16</sup> Регламент радиосвязи предусматривает распределение полос частот для трех регионов: Регион 1 – Европа, Африка, Средний Восток и СНГ; Регион 2 – Северная и Южная Америка; Регион 3 – Азия, Австралия и Океания.

### Азиатско-Тихоокеанский регион

Распределение частотного ресурса в Азиатско-Тихоокеанском регионе сходно с европейским. Так, в Японии принят революционный сценарий развития IMT-2000, базирующийся на внедрении новой технологии WCDMA и распределении спектра, аналогичном UMTS в режиме FDD. Однако в режиме TDD такая возможность отсутствует, т.к. часть диапазона IMT-2000 перекрывается с системой персональной связи с использованием портативных телефонов PHS (Personal Handy phone System). Что же касается планов Японии относительно дальнейшего развития наиболее популярной в стране системы PDC, то они неизвестны.

Принципы распределения спектра в Южной Корее и других странах Азии достаточно близки к японскому подходу. Несколько отличается ситуация с распределением спектра в Китае, где часть полос, выделенных IMT-2000, уже выделена для систем беспроводного доступа (рис. 3.1).

Сети спутниковой связи в Японии и Южной Корее, так же как и в других странах Европы, предполагается создавать в диапазонах частот 1980-2010 МГц и 2170-2200 МГц, выделенных на всемирной основе IMT-2000.

Для остальных регионов мира, в которых еще не выработана политика перехода к услугам 3-го поколения, вероятнее всего, будут приняты сценарии распределения спектра, основанные на предложениях IMT-2000. Однако следует иметь в виду, что на выбор частотного ресурса могут повлиять разные стратегии развертывания систем IMT-2000 в отдельных регионах мира, их географическое расположение и тяготение к тем или иным уже используемым технологиям. Следовательно, окончательное решение вопроса будет зависеть от позиции региональных или национальных операторов.

## 3.3. Передел спектра в России

### Национальные особенности России

В настоящее время удовлетворить все возрастающие потребности систем мобильной связи невозможно, поскольку наиболее освоенный участок спектра ниже 2,5 ГГц уже занят другими средствами связи. Данная проблема существует во всем мире, но для России, она особенно актуальна, поскольку все планируемые для связи участки частот в основном закреплены за государственными структурами и Министерством обороны (МО) РФ.

Освоение новых технологий в России идет своим, отличным от мирового, путем. Сотовая инфраструктура в нашей стране начала внедряться значительно позднее, чем в Западной Европе или скандинавских странах. Если в большинстве европейских стран уже переработаны национальные таблицы распределения частот в направлении их сближения к разрабатываемой в рамках СЕРТ общеевропейской таблице (официально вступит в действие с 1 января 2008 г.), то Россия находится лишь в начале этого пути [28].

Успех нашей страны в освоении новых технологий, учитывая, что Россия является европейским государством, будет в значительной степени зависеть от того, насколько она сумеет влиться в общеевропейское частотное пространство. Наиболее предпочтительным для России был бы эволюционный путь развития, при котором системы 1-го (NMT-450) и 2-го (GSM) поколений сотовой связи постепенно бы развивались, расширяя выделенные полосы частот, которые сегодня существенно меньше общеевропейских. По мнению экспертов, эволюционный сценарий, при котором смена поколений происходила бы в прежних участках спектра, был бы оптимален для России.



В РФ долгие годы частоты назначались по так называемому остаточному принципу, когда РЭС правительственной связи пользовались исключительным правом занятия радиочастот во всех уже освоенных диапазонах. Хотя принцип приоритетного распределения частот в интересах правительственных структур и МО РФ сохранится и в дальнейшем, однако новое положение о порядке назначения частот открывает широкие возможности для гражданских пользователей.

Первый шаг в направлении конверсии спектра был предпринят в 1996 г., когда была скорректирована национальная таблица частот. Принципиально новым стало то, что в ней были введены три категории использования полос частот. Первая «ПР» устанавливает полосы, предназначенные для преимущественного использования РЭС правительственного применения. Ко второй категории «ГР» отнесен частотный ресурс, предназначенный для преимущественного использования коммерческими структурами и гражданскими лицами и, наконец, третья категория «СИ» (совместное использование) предполагает выделение полос частот военным и гражданским РЭС на равных правах [29].

### Миграция по спектру

Сложная помеховая обстановка сложилась в диапазоне частот 1,5-1,6 ГГц, в котором совместно с отечественной спутниковой навигационной системой «Глонасс» функционирует служба MSS. Наличие взаимных помех между этими службами стало причиной «мигрирования» по спектру системы «Глонасс» на 4 МГц вниз. «Урезание» и смещение полос частот предполагается осуществить поэтапно с 1998 по 2005 годы.

Аналогичная судьба в ближайшем будущем ожидает и радиорелейные станции (PPC), которые будут вынуждены освободить полосы частот 1980-2010 и 2170-2200 МГц. Согласно решению ГКРЧ, планирование частотных присвоений для РЭС фиксированной службы в этих полосах частот прекращено.

Малоканальные тропосферные PPC, хотя и остались в прежних полосах частот, но отправлены в места «не столь отдаленные», т.е. в районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Сибири, где внедрение систем 3-го поколения в ближайшее время не планируется.

Очевидно, что вынужденная «миграция по спектру» потребует не только определенного времени, но и значительных материальных расходов, связанных с заменой уже работающего оборудования.

## 3.4. Новые потребности в полосах частот

### Общий подход к проблеме

Совсем недавно, когда закладывались основы создания систем IMT-2000/FPLMTS, приоритетной услугой считалась передача речи. Однако по мере развития цифровых сетей 2-го поколения возникла острая необходимость в передаче высокоскоростных потоков информации в режиме реального времени.

Анализ тенденций развития IMT-2000 позволяет прогнозировать стремительный рост трафика, обусловленный увеличением объема мультимедийных услуг. Очевидно, что выделенной полосы шириной в 230 МГц не хватит, и уже после 2005 г. будет ощущаться дефицит частот, как в наземных, так и спутниковых сетях IMT-2000. Поэтому уже сегодня в рамках ИТУ и ряде европейских организаций рассматривается возможность расширения полос частот для IMT-2000/UMTS.

Подход ИТУ к решению проблемы расширения спектра для IMT-2000 основан на выделении дополнительных участков спектра [27]:

- глобальных полос, которые будут использоваться во всех странах мира для расширения трафика при несоответствии ему возможностей первоначальных полос частот;
- региональных и субрегиональных полос, предназначенных для передачи дополнительного трафика в отдельных регионах, где пропускная способность существенно выше, чем в остальных. Эти полосы могут быть расположены в различных участках спектра и иметь разную ширину.

Значительно большей детализацией отличается концепция, предложенная на Форуме UMTS [30]. Весь частотный ресурс, пригодный для использования в системах 3-го поколения, предлагается разделить на несколько типов полос частот.

*Корневые полосы (Core Band).* Исходные полосы частот, в которых предполагается реализация концепции IMT-2000/UMTS. Корневые полосы шириной 230 МГц выделены на WARC-92 и рекомендованы СЕРТ для использования в UMTS.

*Полосы расширения 1.* Основные дополнительные полосы (полосы-кандидаты), которые не перекрываются по спектру с корневыми и занимают участки спектра в пределах от 470 МГц до 2,9 ГГц (планируются к выделению на радиоконференции WRC-2000). Распределение таких полос предполагается осуществлять на гармонизированной основе как в европейских странах, так и других регионах мира.

*Полосы расширения 2.* Дополнительные полосы с отличающейся шириной спектра, которые предполагается использовать для повышения пропускной способности в отдельных регионах Европы и мира. Хотя требования к полосам расширения 2 еще не конкретизированы, однако вероятнее всего они будут находиться в районе 2-3 ГГц и использоваться в сетях микросотовой связи и WLL.

*Полосы замещения.* Полосы, находящиеся в пределах от 0,3 до 3 ГГц и используемые в настоящее время существующими сетями мобильной связи (1G и 2G), телевидения или службами фиксированной связи (радиорелейными, тропосферными).

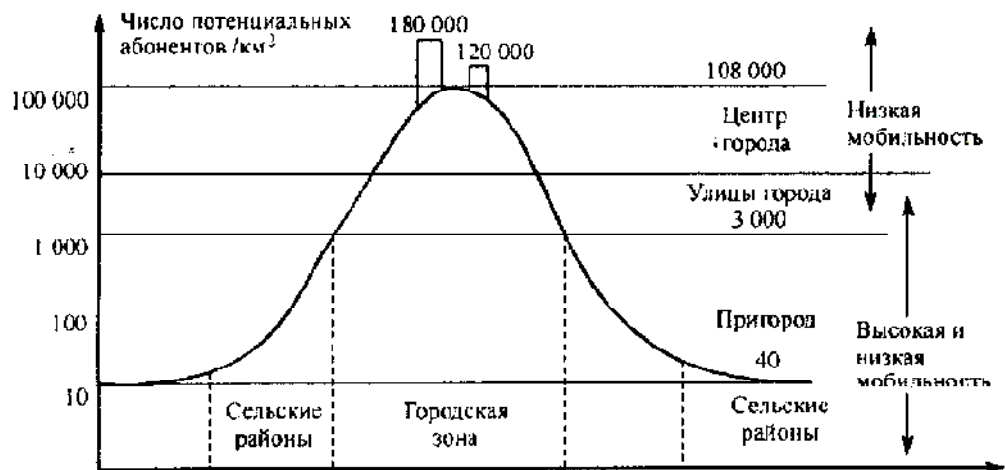
### Модель оценки спектра для систем IMT-2000/UMTS

В [31] предложена модель оценки потребностей спектра для UMTS на период 2005 и 2010 годов, которая основана на учете всех основных факторов, определяющих потенциальную потребность в частотном ресурсе. Расчет проводится для двух разных сценариев – европейского (15 стран ЕС) и мирового. Степень проникновения услуг систем 3-го поколения в указанный период принималась равной 50-60%. Предполагается, что в более отдаленном будущем (после 2010 года), степень проникновения существенно не будет увеличиваться, однако ожидается, что число пользователей, которым потребуются широкополосные услуги, возрастет, а это в свою очередь, приведет к увеличению спроса на частотный ресурс.

Анализ распределения населения в Европе показал, что, 50-60% населения сосредоточено в городских районах, а максимальная плотность трафика возникает в городской зоне с плотной застройкой. При этом предполагается, что 60% трафика внутри зданий будет осуществляться по нелицензируемым сетям [32].

При оценке потребностей спектра для мультимедийных услуг авторы модели исходили из плотности размещения потенциальных абонентов 180 тыс/км<sup>2</sup> для центрального делового района CBD (Central business district) с размерами соты 100 м (условия работы внутри зданий). Для эксплуатации в городских условиях (рис. 3.2) плотность потенциальных пользователей составляла 108 тыс/км<sup>2</sup> (пешеход) и 2,78 тыс/км<sup>2</sup> (автомобиль). Средний размер соты в городе – около 1 км в 2005 г. (к 2010 году размеры уменьшатся до 750 м).

**Рис. 3.2.**  
Плотность размещения потенциальных абонентов (по данным UMTS Форума)



Расчет потребностей в спектре производился для 6 видов услуг:

- а) речь с высоким качеством со скоростью 16 кбит/с;
- б) передача данных в пакетном режиме со скоростью 14,4 кбит/с;
- в) передача данных с коммутацией каналов со скоростью до 64 кбит/с;
- г) асимметричная высокоскоростная мультимедиа НММ (High Multimedia) с асимметричным трафиком – скорость 2048 кбит/с в линии «вниз» и 128 кбит/с в линии «вверх»;
- д) среднескоростная мультимедиа МММ (Medium Multimedia) с асимметричным трафиком – скорость 384 кбит/с в линии «вниз» и 128 кбит/с в линии «вверх»;
- е) мультимедиа с симметричным трафиком или так называемая мультимедиа с высокой интерактивностью НИММ (Highly Interactive Multimedia) со скоростью 128/128 кбит/с.

Передача симметричных потоков данных с более высокой скоростью – 384/384 кбит/с возможна за счет агрегирования трех каналов по 128/128 кбит/с.

Показатели обслуживания для немультимедийных услуг аналогичны существующим службам передачи данных в GSM (14,4 кбит/с). Типовое сообщение принималось равным 40 кбайт, а «приемлемая» задержка для данного вида услуг – 30 с, объем среднескоростных мультимедийных услуг – 0,5 Мбайт за 14 с., а для высокоскоростных – 10 Мбайт за 53 сек.

Интерактивная мультимедийная связь, или, другими словами, видеотелефонная связь, обеспечивалась со скоростью 128 кбит/с по симметричному каналу. Длительность интерактивного обмена сообщениями – 144 с (180 с при коэффициенте занятости канала 0,8). Затраты пропускной способности на корректирующие коды, служебные сигналы, обучающие последовательности для всех видов услуг составляли около 20%.

Считалось, что интерактивные мультимедийные услуги, коммутируемые данные и речь передаются в режиме, ориентированном на установление соединения с допустимым коэффициентом блокирования 0,02. В остальных трех режимах реализована пакетная передача с коэффициентом эффективности передачи пакетов 0,75.

При прогнозировании услуг систем 3-го поколения важную роль играет распределение трафика по зонам обслуживания. Ожидается, что услуги высокоскоростной мультимедиа будут необходимы на первом этапе развертывания систем 3-го поколения только в пикосотах (табл. 3.2), а наиболее интенсивный обмен остальными видами услуг будет происходить в микросотах.

Таблица 3.2. Распределение трафика по зонам обслуживания

Класс услуг	Макросота	Микросота	Пикосота
Высокоскоростная мультимедиа	0%	0%	100%
Среднескоростная мультимедиа	5%	70%	25%
Интерактивная мультимедиа	5%	70%	25%
Передача данных с коммутацией каналов	10%	65%	25%
Низкоскоростная передача данных	10%	65%	25%
Голосовые услуги	10%	65%	25%

### Частотный ресурс для наземных сетей

По оценкам UMTS Форума потребности для европейских стран в радиоресурсах для наземных сетей составят 369 МГц<sup>17</sup> в 2005 г. и 555 МГц в 2010 г. (табл. 3.3). Для работы внутри помещения (режим TDD) потребуют спектр 20 МГц в 2005 г. и 40 МГц в 2010 году.

Таблица 3.3. Потребности в спектре для наземных и спутниковых сетей (по данным UMTS Форума)

Услуги		Наземные сети		Спутниковые сети	
		2005	2010		
Мультимедийные	Асимметричные, МГц	113	241	2 x 18	2 x 28
	Интерактивные, МГц	22	82		
	Всего, МГц	135	323		
Немультимедийные	Передача данных, МГц	14	13	2 x 6	2 x 15
	Речь, МГц	220	220		
	Всего, МГц	234	233		
Итого с учетом запаса по полосе, МГц		406 (369)	580 (556)	48	86

Суммарный частотный ресурс, равный 555 МГц, образуется из следующих частотных полос:

- 155 МГц – общая полоса частот, выделенная в соответствии с решениями WRC-92 для наземных сетей IMT-2000, которая включает следующие участки спектра: 1900-1980; 2010-2025; 2110-2170 МГц;
- 240 МГц – существующая полоса частот, выделенная в Европе для наземных мобильных систем 2-го поколения;
- 160 МГц – дополнительные полосы 1, планируемые к выделению на радиоконференции WRC-2000, с целью обеспечения потребностей мобильной связи в Европе с 2010 года.

<sup>17</sup> В рекомендациях UMTS суммарная потребность в частотном ресурсе указана 406 МГц (2005) и 580 (2010). Эти данные получены с учетом эксплуатационного запаса, учитывающего неэффективность использования спектра и наличие защитных полос между сетями различных операторов. Запас принимался равным 10% в 2005 г. и 5% в 2010 г. Снижение величины запаса в 2 раза в 2010 г. обусловлено более эффективным использованием спектра.

Минимальная ширина полосы частот, необходимая для работы одного оператора по оценкам ETC составляет 2x20 МГц. Частотный ресурс, требуемый для работы несколькими конкурирующим операторам, предоставляющим современные мультимедийные услуги в одном крупном географическом регионе, оценивается в 300-500 МГц.

В рамках ITU специалисты разных стран также провели исследования по оценке необходимого дополнительного спектра, которые показали, что в 2010 году для наземных сетей IMT-2000 необходим частотный ресурс в 532 МГц (табл. 3.4). Как видно из табл. 3.4, прогнозы ITU и те оценки, которые получены европейскими специалистами, достаточно близки, хотя несколько и расходятся.

**Таблица 3.4. Требуемый частотный ресурс для наземных сетей IMT-2000 (прогноз ITU)**

Обозначение	Виды услуг	Полоса частот
1G, 2G, 2G+	Речь, пакетная передача, коммутируемые данные, МГц	211
3G	Асимметричные и интерактивные мультимедийные услуги, МГц	321
Суммарная потребность в частотном ресурсе для IMT-2000, МГц		532

Согласно оценкам ITU, общая ширина спектра существующего наземного сегмента (1G и 2G) с учетом корневых полос составляет: 395 МГц (регион 1), 230 МГц (регион 2) и 320 МГц (регион 3).

### Частотный ресурс для спутниковых сетей

Прогнозы показывают, что до 2010 года спутниковые системы нового поколения (S-IMT-2000) и традиционные спутниковые сети (служба MSS) будут развиваться параллельно, поделив между собой один и тот же рынок услуг. Для предоставления услуг будут использоваться два базовых типа терминалов: портативный и мультимедийный.

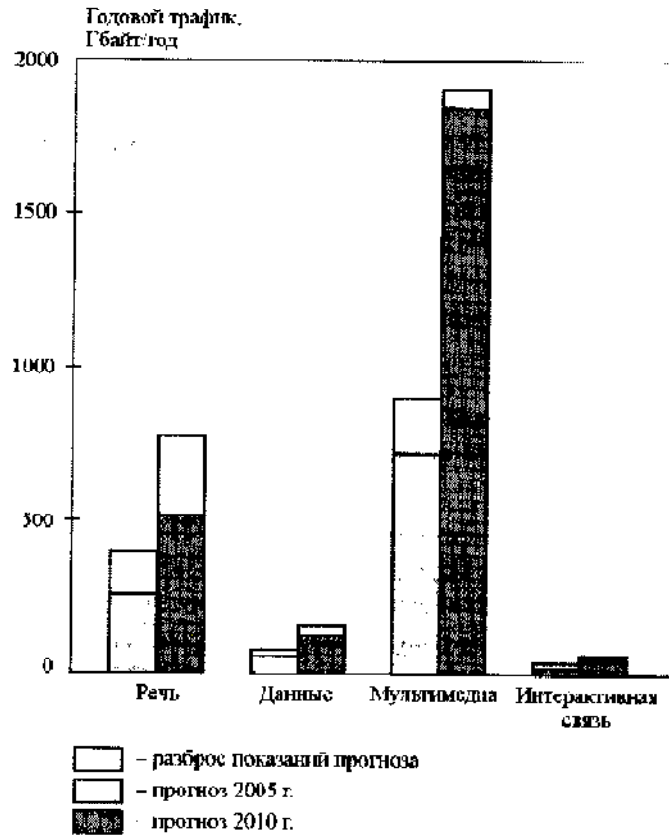
По оценкам европейских экспертов потребность в услугах спутниковой связи на территории Европы составляет 12,5% от общемирового спроса на немультимедийные услуги и 6% спроса – на мультимедийные услуги.

Необходимый дополнительный радиоспектр для спутниковых сетей составит 50 МГц (2005 г.) и 90 МГц (2010 г.), что обеспечит общеевропейское покрытие.

Теперь несколько слов о тенденции распределения трафика мультимедийных услуг в спутниковой связи. В силу того, что скорости передачи по каналам спутниковой связи ниже, чем в наземных сетях, рост услуг мультимедиа будет происходить не столь стремительно, как в наземной связи (см. рис. 3.3). Тем не менее, согласно данным ITU [12] уже с 2005 г. объем трафика мультимедиа превысит немультимедийные виды услуг, предоставляемые в спутниковых сетях.

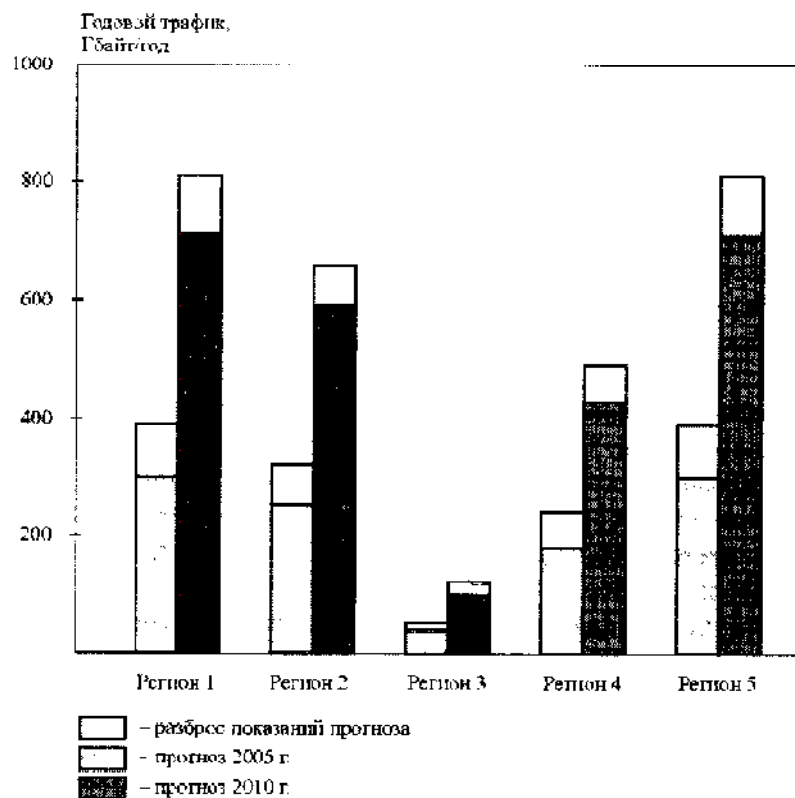
Анализ тенденций распределения трафика по регионам (рис. 3.4), проведенный ITU, показывает, что наибольший рост услуг спутниковых систем 3-го поколения ожидается в Северной и Южной Америке, Японии и Азии. Что же касается Европы, то здесь объем услуг спутниковой связи невелик по причине хорошего покрытия наземными сетями сотовой связи, которые уже «опутали» практически всю Европу.

**Рис. 3.3.**  
**Прогнозируемый**  
**годовой трафик**  
**для мобильной**  
**спутниковой**  
**службы IMT-2000**



**Рис. 3.4.**  
**Прогнозируемый**  
**годовой трафик**  
**для мобильной**  
**спутниковой**  
**службы IMT-2000**

- Регион 1**  
Северная и Южная Америка
- Регион 2**  
Япония и Тихоокеанский регион
- Регион 3**  
Западная Европа
- Регион 4**  
Восточная Европа и Евразия
- Регион 5**  
Средний Восток и остальная часть Азии



Согласно прогнозу ИТУ<sup>18</sup>, потребность в услугах спутниковых сетей несколько выше, чем в оценках, сделанных в отчетах UMTS Форума (табл. 3.5).

**Таблица 3.5. Прогнозируемая потребность в спектре для IMT-2000/MSS**

Вид услуг		2005 год	2010 год
Не IMT-2000 (1G, 2G, 2G+)	Немультимедийные, МГц	2×93	2×79
IMT-2000 (3G)	Немультимедийные, МГц	2×3	2×11
	Мультимедийные, МГц	2×27	2×55
Общий частотный ресурс для IMT-2000, МГц		2×30	2×66
Общий частотный ресурс для службы MSS, МГц		2×123	2×145

### 3.5. Дополнительные полосы-кандидаты

В настоящее время в международных организациях (ITU, Форум UMTS) активно исследуются дополнительные полосы частот для IMT-2000/UMTS. Предложения по выделению дополнительных полос будут рассмотрены в 2000 г. на Всемирной радиоконференции WRC-2000.

Ниже приведен анализ полос-кандидатов в диапазоне до 3 ГГц, которые могли бы быть использованы в наземных сегментах систем 3-го поколения.

**Полоса частот 470-806 МГц.** В Европе эта полоса используется для аналогового телевидения, радиорелейной и правительственной связи. При переходе на цифровое телевизионное вещание DVB возможно, что отдельные участки спектра станут доступны другим службам. Изыскивается возможность выделения полосы 1×40 МГц при условии выделения парной полосы 40 МГц в диапазоне 806-862 МГц. В США процесс перехода от аналогового к цифровому ТВ также связывают с возможностью освобождения полосы частот шириной 2×12 МГц (764-776/794-806 МГц).

**Полоса частот 806-960 МГц.** Во всем мире этот диапазон распределен для сотовых, транкинговых и систем беспроводного доступа. В России в нем работают системы воздушной радионавигации, посадки самолетов, а также спутниковые системы. В соответствии с рекомендациями UMTS Форума в этом диапазоне предлагается выделить полосу 1×40 МГц (в диапазоне 806-862 МГц) при условии выделения парной полосы 40 МГц в диапазоне 470-806 МГц.

**Полоса частот 1427-1525 МГц.** Полоса рассматривается для выделения вне европейского региона. В США с января 1999 г. участок спектра 1427-1435 МГц передан в коммерческую эксплуатацию. В Японии полосы частот 1435-1453/1447-1501 МГц отведены для работы систем 2-го поколения. В соответствии с решениями СЕРГ в Европе часть диапазона 1452-1492 МГц выделена для спутниковой и наземных служб цифрового радиовещания.

**Полоса частот 1710 – 1885 МГц.** Один из наиболее перспективных диапазонов для наземного сегмента систем 3-го поколения, который может быть выделен на всемирной основе для IMT-2000. Сегодня практически весь участок спектра отведен для системы сотовой связи 2-го поколения GSM-1800 (1710-1785/1805-1885 МГц). Предоставление услуг IMT-

<sup>18</sup> Прогноз подготовлен специалистами Международной системы Inmarsat.

2000 предполагается осуществить по мере роста спроса на такие услуги. Также планируется освоение участка между парными полосами частот GSM-1800 (1785-1805 МГц). В США произошло перераспределение полосы частот 1710-1755 МГц, которая с 1999 г. совместно используется правительственными и коммерческими структурами (с 2004 г. полоса становится полностью коммерчески доступной). В России эта полоса частот перекрывается с отдельными участками РРЛ (1550-2100 МГц) и малоканальных тропосферных РРЛ (1700-2100 МГц).

**Полоса частот 2290-2400 МГц.** Форумом UMTS было предложено несколько вариантов использования этого диапазона. Так, нижний участок спектра шириной 10 МГц (2290-2300 МГц) может быть выделен для нелицензируемых видов услуг в режиме TDD. Возможен вариант его использования в комбинации с другой полосой частот, выделяемой в верхней части этого диапазона. В случае, если будет успешно решен вопрос о перемещении служб воздушной телеметрии в другие участки спектра (не выше 3 ГГц), то просматривается несколько вариантов предоставления лицензируемых услуг: выделение полосы 110 МГц в режиме TDD, выделение полосы 2×40 МГц или 2×110 МГц (при условии парного выделения полосы частот в диапазоне 2520-2670 МГц). Что же касается США, то там только участок спектра 2385-2390 МГц пригоден для коммерческого использования и то после 2005 г.

**Полоса частот 2500-2690 МГц.** Считается, что эта полоса является наиболее вероятным кандидатом для развития систем IMT-2000 на 2-м этапе их совершенствования (после 2008 г.). Просматривается возможность выделения полосы 150 МГц для режима TDD или организация парных полос 2×70 МГц (если позволит дуплексный разнос). Планируется выделение полосы 1×110 МГц при условии парного выделения в диапазоне 2290-2400 или 2700-2900 МГц или 1×120 МГц в диапазоне 2535-2655 МГц.

**Полоса частот 2700-2900 МГц.** В соответствии с решением СЕРТ оценивается возможность выделения полосы 2×50 МГц или 1×110 МГц (парная полоса) для режима FDD или 100 МГц – для режима TDD.

### 3.6. Пути повышения эффективности использования спектра

Сегодня в мире существует острый дефицит спектра в диапазоне частот до 3 ГГц, что приводит к необходимости принятия рядом национальных администраций дополнительных жестких мер по повышению эффективности использования спектра. Так, в США с 1997 г. запрещены новые разработки РРЛ, если их спектральная эффективность ниже 6 Гц/бит. Аналогичные меры предприняты в Западной Европе. В России такие работы ведутся в рамках комплексной программы «Спектр-2000».

Увеличение эффективности спектра может быть осуществлено, в первую очередь, за счет усовершенствования приемопередающей аппаратуры, применения новых спектрально-эффективных технологий абонентского радиодоступа, методов модуляции и помехозащищенного кодирования. Большие надежды возлагаются на перспективные технологии разнесения, интеллектуальные следящие антенны и методы пространственной селекции помех.

Другое направление работ связано с повышением эффективности использования каналов за счет оптимальной обработки потоков данных, передаваемых как от асимметричных, так и от интерактивных источников информации. Значительные резервы по пропускной способности могут быть реализованы за счет более эффективных методов сжатия мультимедийной информации, а также гибкого управления радиоресурсами с целью снижения по-



терь пропускной способности при передаче потоков данных с разным качеством обслуживания (QoS).

Важная роль придается и организационно-техническим мерам по повышению эффективности использования спектра. Так, совместное использование несколькими операторами одних и тех же частотных полос может привести к более высокой загрузке соединительных линий и снижению потерь в защитных полосах.

Одним из проблемных является вопрос о совместном использовании общих полос частот наземными и спутниковыми сетями. Наличие существенной разницы в уровнях принимаемых и излучаемых сигналов в мобильных терминалах, особенно при работе внутри помещений, не позволяет пока найти приемлемое решение, что и обусловило выделение для наземных и спутниковых систем разных участков спектра.

В исследовательских комиссиях ИТУ прорабатывается вопрос о создании спектрально-эффективной системы радиодоступа, при которой мобильному абоненту предоставляется возможность доступа одновременно ко всем или нескольким операторам, работающим в одном и том же географическом регионе. В этом случае не операторы, а абоненты будут разделять общий частотный ресурс.

В условиях острого дефицита спектра большая роль придается конверсии спектра, как одному из наиболее рациональных путей перераспределения спектра в уже освоенных диапазонах частот. Другой радикальный путь – это так называемый «фарминг» частотного спектра, т.е. перенесение традиционных систем беспроводной связи, например, сетей широкополосной передачи данных на стационарные линии связи.

Если такими бурными темпами пойдет и дальше развитие подвижной связи, то не исключено, что в будущем у мобильной связи возникнет потребность «поглотить» и наиболее «привлекательные» радиочастотные диапазоны, оттеснив традиционное ТВ на кабельное и спутниковое телевидение. Однако, если это и случится, то только в далеком будущем.

## 4. СЕМЕЙСТВО СТАНДАРТОВ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

### 4.1. Концепция семейства стандартов IMT-2000

Концепция IMT-2000 была принята в сентябре 1997 г. на рабочей группе SG11 ITU-T в качестве идеологической основы объединения существующих систем 2-го поколения и будущих систем 3-го поколения. В то время она имела обозначение IFS (IMT-2000 Family of Systems).

В течение нескольких предыдущих лет Международный союз электросвязи совместно с рядом региональных организаций предпринимал безуспешные попытки разработать требования на глобальную систему связи. Однако устранить противоречия между представителями разных регионов так и не удалось.

Провозгласив концепцию семейства IFS, и отказавшись, тем самым, от принципа единого международного стандарта, ITU активизирует свои усилия на детализации рамочной структуры стандартов 3-го поколения. Рамочная структура развивается по уже хорошо отработанной логике многоуровневых эталонных моделей взаимосвязи OSI. Как известно, 7-уровневая модель OSI допускает большое разнообразие технологических решений на двух нижних уровнях (физическом и канальном) и множество прикладных протоколов на верхних уровнях. Наиболее жестко регламентированы механизмы межсетевого и транспортного уровней эталонной модели ISO, где фактически используются два стандарта: формальный стандарт ISO/ITU (ISO 8073) и стандарт «де-факто» TCP/IP.

Рамочная структура IMT-2000 содержит следующие базовые компоненты:

- эталонную модель протоколов и межсетевых взаимодействий;
- частотный ресурс, выделенный на WARC-92 и, возможно, уточняемый на WRC-2000;
- рекомендации ITU по совместному функционированию различных радиointерфейсов и их эволюции с учетом требований IMT-2000;
- рекомендации по принципам регулирования, обеспечивающим свободное перемещение мобильных терминалов (в глобальном масштабе);
- рекомендации по взаимодействию наземных и спутниковых сетей в рамках программы IMT-2000.

Основы концепции создания семейства IFS изложены в рекомендации ITU-T Q.1701, где определены предварительные требования к архитектуре и интерфейсам.

#### Базовые интерфейсы

Одной из главных проблем, с которой столкнулся ITU при разработке программы IMT-2000, является определение структуры интерфейсов. Предлагаемое семейство стандартов 3-го поколения базируется на двух типах интерфейсов: общих (базовых) интерфейсов ITU и открытых интерфейсов, используемых в региональных стандартах. В качестве базовых интерфейсов, которые регламентированы в семействе IFS, определены следующие 4 типа (рис. 4.1).

Для обеспечения глобального роуминга все указанные на рис. 4.1 интерфейсы должны быть стандартизованы в рамках IMT-2000. При этом внутреннее содержание каждого элемента сети может быть различным.

Рис. 4.1. Базовые интерфейсы IMT-2000



Архитектура IFS должна обеспечить как общие требования на радиointерфейс, сигнализацию, адресацию абонентов и другие протоколы, так и высокий уровень унификации межсетевых взаимодействий: протоколы хэндовера при переходе абонента из одной сети в другую, межсетевое управление, межсетевая адресация и т.п.

Что же касается межсистемного взаимодействия, то оно не охватывается рекомендациями ITU. Таким образом, возможно использование усовершенствованных региональных и межрегиональных стандартов.

Взаимодействие между различными типами магистральных сетей осуществляется через межсетевой интерфейс NNI (Network-to-Network Interface). В совокупности со стандартным модулем идентификации пользователя UIM (User Identity Module) будет поддерживаться глобальный роуминг независимо от используемого метода радиодоступа или транспортной сети в том или ином географическом регионе.

Сегодня наиболее важная задача – обеспечить всем операторам действующих сетей возможность использовать существующую инфраструктуру для предоставления новых услуг IMT-2000. В связи с этим в ITU поднимается вопрос о необходимости разработки единого протокола NNI для достижения глобального роуминга в рамках IMT-2000.

Одно из ключевых требований, предъявляемых к семейству стандартов, – возможность наращивать инфраструктуру путем последовательной модификации ее составных элементов. Чтобы гарантировать долгосрочную перспективу, необходимы терминалы с изменяемой конфигурацией, удовлетворяющие требованиям многих стандартов.

Концепция IFS предполагает использование многорежимных терминалов. При этом мобильный терминал (MT) может обслуживаться единственной сетью доступа (однорежимный MT) или работать с несколькими сетями доступа (многорежимный MT). Концепция IFS допускает для однорежимного MT работу через одну сеть доступа (например, через сеть GSM) со многими базовыми транспортными сетями, т.е. реализацию глобального роуминга через взаимодействие нескольких базовых сетей (например, по схеме GSM-UMTS-cdma2000). Естественно, что в этой цепочке речь идет о сетях, зарегистрированных в IFS, а не о существующих сетях 2-го поколения.

### Проблема IPR

В процессе разработки стандартов в ITU возникла конфликтная ситуация, связанная с соблюдением прав интеллектуальной собственности отдельных компаний на разрабатываемые ими наукоемкие технологии, так называемая проблема IPR (intellectual property rights).

Согласно патентной политике, проводимой ITU [12, с.6], любой обладатель IPR, представляющий свой проект международного стандарта, должен представить письменное заявление с отказом от своих прав, либо с заверением, что он готов вести переговоры по представлению лицензии на справедливых, разумных и недискриминационных условиях.

В ходе работ по стандартизации новых технологий, основанных на CDMA, компания Qualcomm заявила о своих правах более, чем на 500 IPR. Ericsson, также обладатель большого числа IPR, заявил о своих правах на отдельные технические решения по технологиям WCDMA и cdma2000. В результате завязалась острая полемика со взаимными претензиями и

судебными разбирательствами. Особенно бескомпромиссную позицию в этом споре заняла компания Qualcomm, которая заявила, что готова вести переговоры лишь при выполнении следующих условий. По мнению Qualcomm, для систем 3-го поколения необходим единый конвергируемый стандарт. Такой стандарт должен быть в равной степени адаптирован к двум базовым сетям – ANSI-41 и GSM MAP. Что же касается спорных вопросов, то они должны разрешаться выбором того предложения, которое продемонстрирует лучшие технические возможности и меньшие стоимостные показатели, либо, при отсутствии подобной демонстрации, будет в наибольшей степени совместимо с существующей технологической базой.

Конфликт получил неожиданную развязку. После двух лет полемики и судебных разбирательств в конце марта 1999 г. был заключен стратегический альянс между двумя конкурирующими компаниями [33]. В результате достигнутого соглашения Ericsson приобрела подразделение Qualcomm, разрабатывающее оборудование для сетей cdmaOne и cdma2000. В марте 2000 года аналогичный спор был разрешен между компаниями Qualcomm и Motorola, заключившими соглашение о кросс-лицензировании своих технологий.

Снятие ограничений на IPR открыло путь для успешной гармонизации проектов систем 3-го поколения. Новые соглашения предусматривают кросс-лицензирование и взаимное признание IPR, относящихся к технологиям cdmaOne, cdma2000 и WCDMA.

## 4.2. UMTS – европейский подход к IMT-2000

Идея создания UMTS возникла в начале 90-х годов на волне успехов европейской экономической интеграции и успешной реализации в очень сжатые сроки такого масштабного международного проекта как GSM. Разработка и принятие широкой номенклатуры стандартов GSM подтвердили высокую действенность общеевропейского подхода [34].

В 1994 г. Европейская Комиссия определила важнейшие принципы построения перспективной общеевропейской инфраструктуры систем мобильной и персональной связи. Эти требования изложены в Зеленой книге (*Green Paper on Mobile and Personal Communications*) – программном документе, определившем общеевропейское движение к системам 3-го поколения.

После этого под эгидой Европейской Комиссии началась реализация программы международных исследований по перспективным высокоскоростным технологиям мобильной и персональной связи, интеллектуальным сетям и др. Такая программа получила название ACTS (*Advanced Communications Technologies and Services*), одним из основных направлений ее развития стала разработка концепции UMTS [35].

Для объединения усилий всех заинтересованных сторон в 1996 г. был образован UMTS Forum – широкий по своим функциям и сферам компетенции международный координирующий орган, определяющий европейскую политику в области мобильной и персональной связи. Основной сферой его деятельности стала выработка согласованных решений по стандартизации UMTS и регулированию радиочастотных ресурсов.

Концепции UMTS и IMT-2000 во многих чертах сходны, однако с точки зрения реализации UMTS имеет ряд существенных преимуществ. Предлагаемые в UMTS технические решения были апробированы в ряде НИР/ОКР, проводимых с участием крупных фирм-производителей (Nokia, Ericsson, Alcatel, Siemens, Italtel).

UMTS разработана как глобальная система, включающая как наземные, так и спутниковые сети. Диапазон возможностей и областей применения UMTS необычайно широк. В отличие от GSM и других систем 2-го поколения в UMTS предлагается широкий спектр услуг по высококачественной передаче речи, данных, мультимедийных услуг при конкурирую-

щих ценах в условиях динамично изменяющегося рынка связи. При этом UMTS позволит организовать полное взаимодействие с системами GSM и ее модификациями (GPRS, EDGE и др.), чтобы не потерять уже вложенные инвестиции.

В связи с тем, что процесс стандартизации UMTS в настоящее время только коснулся выбора частотного диапазона и структуры радиointерфейса, различные компании предлагают самостоятельные технические решения.

Технология радиодоступа UMTS основана на трех методах: FMA1 на основе TDMA с расширением спектра (FMA1 S), FMA1 без расширения спектра (FMA1 NS) и FMA2 на основе CDMA. Методы FMA1 и FMA2 детально исследовались в рамках общего проекта FRAMES (один из проектов программы ACTS). Результаты этих исследований рассмотрены в [36] и представлены в табл. 4.1.

**Таблица 4.1. Сравнительные характеристики FMA1 и FMA2**

Наименование	FMA1 NS	FMA1 S	FMA2
Метод доступа	TDMA	TDMA/CDMA	WCDMA
Метод дуплексирования	FDD и TDD		FDD
Разнос несущих, МГц	1,6	1,6	5, 10 и 20
Скорость в канале Мбит/с (FMA1), Мчип/с (FMA2)	2,6 или 5,2	2,167	4,096 / 8,192 / 16,384
Длина кадра, мс	4,615	4,615	10
Число интервалов на кадр	16 или 64	8 x 0,577	—
Модуляция данных	BOQAM/QOQAM	QPSK/16QAM	OQPSK («вверх») QPSK («вниз»)
Расширяющая модуляция	Нет	Линеаризованная GMSK	Двухканальная/Балансная QPSK, комплексное 4-фазное расширение
Тактовая частота, Мбит/с	2,6	—	4096
Коэффициент сглаживания	0,35	Линеаризованная GMSK	0,22

В рамках ETSI были рассмотрены 5 базовых концепций радиодоступа для систем 3-го поколения [34]:  $\alpha$ -концепция (WB-CDMA), базирующаяся на FMA2 и предложениях ряда японских фирм,  $\beta$ -концепция (OFDMA),  $\gamma$ -концепция (WB-CDMA), базирующаяся на FMA1 без расширения спектра,  $\delta$ -концепция (WB-TD-CDMA), базирующаяся на FMA1 с расширением и  $\epsilon$ -концепция (ODMA). Три из этих концепций ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ) легли в основу спецификации UTRA – европейского предложения по радиотехнологии 3-го поколения, представленного в ITU (табл. 4.2).

**Таблица 4.2. Ключевые характеристики пяти концепций радиодоступа UMTS**

	WB-CDMA (концепция $\alpha$ )	OFDMA (концепция $\beta$ )	WB-TDMA (концепция $\gamma$ )	WB-TD-CDMA (концепция $\delta$ )	ODMA (концепция $\epsilon$ )
Метод доступа	CDMA	SFH-TDMA OFDM	TDMA	TDMA/CDMA	CDMA/TDMA
Разнос несущих	4,2-5,2 МГц (шаг 200 кГц)	100 кГц (24 несущих)	1,6 МГц	1,6 МГц	1 МГц 4 МГц
Скорость в радиоканале	4,096 Мчип/с	4,17 кбит/с на несущую	2,6 Мбит/с	2,1667 Мбит/с	0,8125 Мчип/с 3,25 Мчип/с

### 4.3. Радиоинтерфейсы для наземного сегмента IMT-2000

В июне 1998 г. в ИТУ поступили 10 предложений по проектам радиоинтерфейсов, восемь из которых разработаны на базе технологии CDMA и два – TDMA. Проекты заявлены от трех крупных регионов мира – Северной Америки, Европы и Азиатско-Тихоокеанского. Поступившие предложения достаточно хорошо отражают различия в технологиях и путях перехода к системам подвижной связи 3-го поколения.

Европейская Комиссия сумела выработать единую политику перехода к 3-му поколению, успешно координируя свою деятельность в рамках всех входящих в нее стран. Предложения от Европы в ИТУ были оформлены в виде двух проектов: UTRA и DECT EP [37,38].

Следует отметить, что представленные в ИТУ проекты не исчерпывают всех возможных путей создания новых технологий. Так, в число заявленных стандартов не попали предложения по совершенствованию GSM, которые будут развиваться ETSI на базе новых технологий GPRS и EDGE, представляющих собой платформу, удобную для внедрения услуг UMTS/IMT-2000.

В отличие от Европы, которая сумела выработать скоординированный подход к новому радиоинтерфейсу, представив объединенный проект, в США отказались от единого национального предложения. В ИТУ поступили четыре предложения, два из которых фактически подготовлены не институтами по стандартизации типа ANSI или TTA, а промышленными фирмами Qualcomm и Ericsson (Северо-Американское отделение).

Таким образом, США пошли по пути создания трех типов радиоинтерфейсов. Первый из них основан на дальнейшем совершенствовании технологии TDMA/AMPS, получившей широкое развитие не только в США, но и в мире. Концепция построения системы 3-го поколения на базе стандарта IS-136 изложена в проекте UWC-136 RTT [39], предложенным техническим подкомитетом TR-45.3 (США). В стандарте UWC-136 RTT обозначены три этапа совершенствования радиоинтерфейса TDMA, основанные на использовании трех типов радиочастотных каналов: IS-136+ (без расширения полосы канала 30 кГц), IS-136 HS (Outdoor/Vehicular) с шириной полосы канала 200 кГц и IS-136 HS (Indoor Office) с шириной полосы канала 1,6 МГц.

Второе предложение от США основано на постепенном наращивании пропускной способности системы cdmaOne<sup>19</sup> и эволюционном переходе от существующей инфраструктуры к технологии cdma2000 [40]. Что же касается двух других предложений США: WCDMA NA [41] и WIMS (TR-46.1), то они практически полностью совпадают с предложениями от Европы (UTRA) и Японии (WCDMA). В процессе дальнейшего рассмотрения эти предложения были объединены в единый проект (табл. 4.3).

Другая особенность подхода США к проблеме 3-го поколения, как уже говорилось ранее – это совершенно иной принцип распределения частотного ресурса. Регулирование осуществляется путем закрепления за операторами полос частот, которые уже распроданы с аукциона. Оператору, который приобрел полосу частот, предоставляется полная свобода в выборе типа стандарта и сроков реализации проекта.

Огромный рыночный потенциал Азиатско-Тихоокеанского региона с учетом большой численности населения стал решающим фактором в определении стратегии развития мобильной связи 3-го поколения. На этой территории, отнесенной Регламентом радиосвязи к Региону 3, активную позицию занимают Япония, Южная Корея, Китай, Малайзия. Их вклад в программу IMT-2000 убедительно характеризует амбиции этих стран стать мировыми лидерами в массовом применении новейших технологий связи. Несмотря на то, что каждая из стран имеет свои национальные особенности перехода к 3-му поколению, их общей чертой является смещение акцентов в сторону применения оборудования собственного производства.

<sup>19</sup> cdmaOne – коммерческое название системы, разработанной по спецификации стандарта IS-95.

Таблица 4.3. Проекты радиointерфейсов по наземной мобильной связи

Район	Проект	Краткая характеристика проекта
Европа (Регион 1)	UTRA (ETSI)	Объединяет две технологии: широкополосный метод доступа WCDMA FDD и комбинированный доступ TDMA/CDMA. Первоначально в качестве чиповой скорости была выбрана 4,096 Мчип/с, в процессе гармонизации значение уменьшено до 3,84 Мчип/с.
	DECT EP (ETSI)	Расширяет спектр услуг и пропускную способность системы микросотовой связи DECT.
Северная Америка (Регион 2)	UWC-136 (TIA TR45.3)	Базируется на технологии TDMA и предъявляет минимальные требования к частотным ресурсам.
	cdma2000 (TIA TR45.5)	Основан на эволюции стандарта cdmaOne (IS-95) и несовместим по чиповой скорости с предложениями WCDMA (ARIB) и UTRA (ETSI).
	WIMS (TIA T46.1)	Компромиссное решение, объединяющее стандарты UTRA (Европа) и WCDMA (Япония).
	WCDMA NA (T1P1 ATIS)	Во многом идентичен предложениям UTRA и WCDMA, но со своими особенностями применения режима TDD.
Азиатско-Тихоокеанский регион (Регион 3)	WCDMA (ARIB)	Основан на широкополосной технологии DS-CDMA и содержит базовые технические решения для систем 3-го поколения с частотным дуплексным разносом. Первоначально в качестве базовой чиповой скорости была выбрана 4,096 Мчип/с, впоследствии изменена на 3,84 Мчип/с (Япония).
	CDMA I (TTA)	Базируется на синхронной технологии DS-CDMA и технических решениях, предложенных в проекте стандарта cdma2000 (предложение от Южной Кореи).
	CDMA II (TTA)	Основан на широкополосной асинхронной технологии DS-CDMA и технических решениях стандартов WCDMA и UTRA (предложение от Южной Кореи).
	TD-SCDMA (CATT)	Комбинированный вариант синхронной системы TDMA/CDMA (Китай).

Япония представила в ITU проект радиointерфейса широкополосной технологии WCDMA [42]. Вместе с тем в стране рассматривается и возможность использования широкополосной cdmaOne. Однако основным препятствием к их объединению является различные «чиповые» скорости расширяющихся последовательностей: 3,6864 Мчип/с в CDMAone (утроенная скорость стандарта IS-95) и 3,84 Мчип/с в WCDMA.

Южная Корея с 1991 г. активно участвует в разработке и внедрении сетей CDMA. Для нее международные стандарты мобильной связи, и, прежде всего, будущие стандарты IMT-2000, особенно важны, так как южно-корейские гиганты Samsung и Hyundai имеют большие планы выхода на мировой рынок. Главный акцент в этой стране был сделан на производство собственного оборудования CDMA. Все эти факторы определили разработку проектов двух диаметрально отличающихся стандартов для IMT-2000 от Южной Кореи [43, 44].

Китай ориентируется на две технологии GSM и CDMA. Исходя из этого, там предложен комбинированный метод доступа, основанный на сочетании технологий TDMA и CDMA.

## 4.4. Сравнение систем на базе CDMA

### Преимущества и недостатки

В разрабатываемых в рамках IMT-2000 проектах представлены две конкурирующие технологии TDMA и CDMA. Однако наиболее многочисленная группа проектов-кандидатов базируется на технологии CDMA – на ней остановили свой выбор 8 из 10 предложений. Какие же достоинства определили интерес к этой технологии организаций по стандартизации от трех крупных регионов мира: Европы, Азии и Северной Америки.

Прежде всего, упомянем высокую помехоустойчивость технологии CDMA к узкополосным помехам, которые в процессе свертки полезного сигнала трансформируются в обычный шум. Причем по мере расширения спектра передаваемого шумоподобного сигнала (ШПС) выигрыш становится все больше. Другая важная характеристика, определившая привлекательность CDMA для мобильной связи – эффективная работа приемных устройств в условиях многолучевого распространения. Поскольку длительность одного символа ШПС меньше разности времен прихода двух лучей, то при приеме возможно суммирование энергии разных лучей, что в итоге позволяет повысить отношение сигнал/шум.

В системах CDMA процедура мягкого переключения каналов (soft handover) при перемещении абонента из одной соты в другую достаточно проста. Базовый принцип CDMA – «разрыв после установления нового соединения» (make before break), положенный в основу практической реализации стандарта, позволяет избежать скачков уровня сигнала и помех при переходе абонента из одной соты в другую. Отметим для сравнения, что в системах, основанных на стандарте TDMA, абонентская станция сначала завершает связь с базовой станцией одной соты (принцип break before make) и лишь затем устанавливает новое соединение.

Связь между соседними сотами или секторами одной базовой станции обеспечивается на одной несущей частоте, что позволяет более эффективно использовать частотный ресурс, особенно в тех случаях, когда положение абонента фиксировано. Это позволяет избежать частотного планирования, упрощает развертывание сети и последующее наращивание пропускной способности.

Архитектура систем CDMA позволяет гибко и эффективно управлять радиоресурсами (т.е. выделять полосы частот, интервалы времени, уровни мощности) и, что еще важнее, естественным образом реализовать процедуру динамического перераспределения каналов. Именно благодаря этим качествам CDMA стала основой большинства проектов систем 3-го поколения.

Каждому абоненту в системах CDMA присваивается своя индивидуальная кодовая последовательность, что обеспечивает конфиденциальность и защищенность от несанкционированного доступа.

Стандарт CDMA, использующий в качестве «ядра» шумоподобные сигналы, позволяет снизить пиковый уровень мощности, излучаемой абонентской станцией. Учет статистики активности абонентов, а также реализация в абонентских станциях дежурного приема обеспечивают энергосберегающий режим, а следовательно, приводят к увеличению ресурса непрерывной работы аккумуляторов батарей.

Недостатков у CDMA немного, хотя на устранение некоторых из них потребовался не один десяток лет. Главным сдерживающим фактором коммерческого применения CDMA долгое время была сложность оборудования. И хотя появление DSP-процессоров привело к его упрощению, круг производителей, которые способны реализовать такую аппаратуру, особенно базовые станции, пока ограничен.



Другой недостаток – возникновение взаимных помех, ухудшающих условия приема при возрастании числа активных абонентов, что начинает сказываться на качестве связи для периферийных абонентских станций. Так, по мере увеличения загрузки системы, могут уменьшаться размеры зоны обслуживания и ухудшаться помеховая обстановка, так называемое явление «дыхание» соты (cell breathing). Главные же камни преткновения на пути внедрения технологии CDMA – высокая чувствительность к разбросу мощностей абонентских станций и проблемы, связанные с синхронизации базовых станций. Первая из задач была успешно решена за счет создания уникальной высокоточной системы управления мощностью (с шагом 0,5-1 дБ и скоростью 0,8 или 1,6 кбит/с), а вторая – с помощью GPS.

Для повышения качества работы абонентской станции в режиме мягкого переключения каналов нужно одновременно выделить, как минимум, два канала, что приводит к снижению пропускной способности системы. Кроме того, у операторов связи, могут возникнуть проблемы, связанные с необходимостью выделения им широких участков спектра.

### Режим FDD

Сравнительные характеристики систем, работающих в парных полосах частот, приведены в табл. 4.4. Основное отличие систем cdma2000 и WCDMA заключается в использовании разных чиповых скоростей в базовом режиме (ширина полосы 5 МГц): 3,84 Мчип/с (WCDMA) и 3,6884 Мчип/с (cdma2000). В варианте MC-CDMA (cdma2000) скорость следования элементов сигнала равна утроенной скорости 1,2288 Мчип/с.

По способу синхронизации с базовой станцией все проекты разделяются на две группы: асинхронные и синхронные. К первой группе относится большая часть проектов систем 3-го поколения, в том числе UTRA (ETSI), WCDMA (ARIB) др. Обеспечение же взаимной синхронизации базовых станций требуется в системах cdma2000 и CDMA 1 (TTA).

Как известно, эффективность систем с кодовым разделением в значительной степени зависит от точности управления мощностью. Передача битов управления мощностью осуществляется со скоростью 800 бит/с в cdma2000 и 1600 бит/с – в остальных проектах. Достигаемая при этом точность составляет 0,25-1,0 дБ.

Одним из эффективных методов снижения требуемого отношения сигнал/помеха без усложнения мобильной станции (т.е. без введения дополнительного приемного оборудования) является разнесение антенн на базовой станции. Конкретная реализация такого разнесения зависит от выбранного варианта построения системы. Наиболее просто пространственное разнесение реализуется в варианте многочастотной CDMA (cdma2000), поскольку многочастотный сигнал передается через каждую из разнесенных антенн и не требует дополнительного усложнения терминала. Борьба с замираниями в WCDMA основана на использовании ортогонального разнесения на передаче (OTD), разнесения с временным уплотнением (TDTD) или с коммутацией каналов (TSTD).

Проблемных вопросов в области стандартизации технологии WCDMA FDD остается еще достаточно много, однако стратегические направления, которые выбраны в рамках IMT-2000, с большой определенностью позволяют говорить о перспективности этого направления (более подробно этот вопрос будет рассмотрен в разделе 7).

Таблица 4.4. Сравнительные характеристики проектов систем наземной подвижной связи 3-го поколения (режим FDD)

Название проекта	cdma2000	UTRA	W-CDMA	CDMA II	W-CDMA/LNA	WIMS	CDMA I
Разработчик	TTA TR 45.5 (США)	SMG2 ETSI (Европа)	ARIB (Япония)	TTA (Ю. Корея)	TTP1 (США)	TTA TR46.12 (США)	TTA (Ю. Корея)
Метод доступа	DS-SSMA или MC-SSMA	DS-SSMA	DS-SSMA	DS-SSMA	DS-SSMA	DS-SSMA	DS-SSMA
Числовая скорость, Мчип/с	3,6884 (базовая) 1,2288 x N (N=1, 6, 9, 12)	4,096 (базовая) 8,192/16,384	4,096 (базовая) 1,024/8,192/16,384	4,096 (базовая) 1,024/8,192/16,384	4,096 (базовая) 8,192/16,384	4,096 / 8,192 / 16,384	3,6884 (базовая) 0,9216/14,7456
Разнос несущих, кГц	н/д	200 (переменный)	200 (переменный)	н/д	200 (переменный)	200 (30 изучается)	12,50
Синхронизация между БС	Синхронная	Асинхронная (синхр. возможна)	Асинхронная (синхр. возможна)	Асинхронная (синхр. возможна)	Асинхронная (синхр. возможна)	Асинхронная (синхр. возможна)	Синхронная (синхр. возможна)
Схема поиска сот	Пилотный канал (1 этап поиска)	Поиск в 3 этапа по коду	Поиск в 3 этапа по коду	Двухэтапная схема поиска	Поиск в 3 этапа по коду	В 3 этапа с поиском кодов	Пилотный канал (1 этап поиска)
Коэффициент расширения	4-256 (N=3) 4-512 (N=3) 4-1024 (N=9, 12)	4-256	1-512	4-256	4-256	64	16-1024
Одночастотный хэндовер	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO
Межчастотный хэндовер	ННО	ННО со сжатием на передаче	ННО со сжатием на передаче	ННО с понижением скорости	ННО со сжатием на передаче	ННО	Жесткий
Метод разнесения на передаче (TD)	TD (MC-SSMA) OTD (DS-SSMA)	OTD/ TDTD	TDTD	OTD/ TSTD	OTD/ TSTD	OTD/ TSTD	н/д
Модуляция данных	"низ" "верх"	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
Расширяющая модуляция	"низ" "верх"	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Длина расширяющего кода	"низ" "верх"	1 символ	1 символ	1 символ	1 символ	1 символ	1 символ
Скремблирующий код, мс	"низ" "верх"	26,7 (2 <sup>15</sup> ) (2 <sup>4</sup> - 1)	10 10	10 10	10 10	0,625 (1 символ) (2 <sup>4</sup> - 1)	20 н/д
Длина кадра, мс		20 или 5	10	10	10	10	10 или 20
Суперкадр, мс		н/д	720	720	720	720	640
Управление мощностью		0,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Шаг упр., дБ		0,25 (0,5 или 1)	1	1	0,25-1,5	1	0,5 или 1

## Режим TDD

В проекте UTRA предполагается использовать два метода дуплексного разноса: FDD и TDD. Двусторонняя радиосвязь в режиме TDD обеспечивается на одной несущей с временным уплотнением каналов передачи и приема. Комбинированное использование двух режимов FDD и TDD делает систему гибкой в части использования выделенных полос частот и позволяет изменять пропускную способность в зависимости от условий эксплуатации и видов обслуживания.

Структура кадра в режиме TDD позволяет наиболее оптимально перераспределять ресурсы сети при асимметричном трафике. Так, в европейском проекте UTRA обеспечивается изменение соотношения трафика в направлении «вниз»/«вверх» с 15/1 до 2/14 соответственно. Некоторое отличие в коэффициенте асимметрии обусловлено тем, что, по крайней мере, два канальных интервала должны быть выделены в линии «вниз» (каналы синхронизации SCH) и один интервал в линии «вверх» (канал произвольного доступа RACH). Аналогичные возможности будут предоставлять в режиме TDD и другие проекты наземных систем подвижной связи 3-го поколения.

Сравнительные характеристики систем наземной подвижной связи 3-го поколения в режиме TDD приведены в табл. 4.5.

Основным отличительным признаком режима TDD является использование одной и той же частоты для линий «вверх» и «вниз», что дает ряд преимуществ:

- простота в реализации адаптивных («интеллектуальных») антенн;
- возможность использования корреляционного приемника;
- упрощение процедуры разнесения на передаче.

Так как в режиме TDD используется одна и та же частота для линий «вверх» и «вниз», то характеристики замираний в каналах в сильной степени коррелированы. Поэтому для компенсации замираний и других отрицательных эффектов распространения радиоволн используются общие методы управления мощностью и адаптивными антеннами.

В просках 3-го поколения структура кадра TDD идентична FDD, что упрощает процедуру их гармонизации. Тот факт, что базовые станции синхронизированы по кадрам, ускоряет поиск сот и обеспечивает более эффективное распределение каналов в динамическом режиме.

Следует обратить внимание на различие в стратегии использования режимов FDD и TDD в реальных условиях эксплуатации. Так, в соответствии с концепцией европейской системы UMTS технология FDD рекомендуется для использования в макросотах, а TDD – в микро- и пикосотах.

Кроме того, более простыми средствами в такой системе реализуется пространственное разнесение на базовой станции и регулировка мощности в радиолинии. Трафик в прямом и обратном каналах может быть как симметричным, так и асимметричным.

Другое преимущество режима TDD состоит в более простой реализации однорежимного TDD терминала, что обусловлено отсутствием дуплексера. Что же касается возрастания аппаратной сложности при создании двухрежимного абонентского терминала FDD/TDD, то она незначительна по сравнению с обычным FDD терминалом.

Таким образом, основные преимущества режима TDD заключаются в том, что обеспечивается двусторонняя передача в одной полосе частот, т.е. не требуются парные полосы частот, а следовательно упрощается процедура поиска сот.

Таблица 4.5. Сравнительные характеристики проектов систем наземной подвижной связи 3-го поколения (режим TD) (режим TD)

Название проекта	cdma2000	UTRA	W-CDMA	W-CDMA/NA	WIMS	TD-SCDMA
Разработчик проекта	TA TR 45.5 (США)	SMG2 ETSI (Европа)	ARIB (Япония)	T1 P1 (США)	TA TR46.12 (США)	SAIT (Китай)
Метод доступа	DS-SSMA/MS-SSMA (ТК), DS-SSMA (ОК)	TDMA/SSMA	TDMA/SSMA	TDMA/SSMA	TDMA/SSMA	TDMA/SSMA
Числовая скорость, Мчип/с	3,6884 (базовая) 1,2288 x N (1, 6, 9, 12)	4,096	4,096 (базовая) 1,024/8, 192/16, 384	4,096	4,096 8,192/16, 384	1,1136
Разнос несущих, кГц	1,25 МГц с шагом 50 кГц	200 (переменный)	200 (переменный)	200 (переменный)	200 (30 нулевых)	н/д
Синхронизация между БС	Синхронная	Синхронная	Синхронная	Синхронная	Синхронная	Синхронная
Схема поиска сот	Пилотный канал	Канал SCH (N раз повторяется в 240 мс)	Канал SCH (N раз повторяется в 240 мс)	Канал SCH (N раз повторяется в 240 мс)	Канал SCH (повторяется в 240 мс)	н/д
Коэффициент расширения	4-256 (N=3), 4-512 (N=3), 4-1024 (N=9, 12)	2-16	1-512	4-256	64	16-64
Одночастотный хэндовер	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO
Межчастотный хэндовер	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO	SHO
Метод разнесения на передаче (TD)	TD при MS-SSMA OTD при DS-SSMA	OTD/TDTD	TDTD	OTD/TSTD	OTD/TSTD	н/д
Модуляция данных	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK, 8PSK, 16QAM	QPSK	QPSK
"вниз"	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
"вверх"	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK	BPSK
Расширяющая модуляция	QPSK	BPSK	QPSK	BPSK	QPSK	QPSK
"вниз"	QPSK	BPSK	BPSK	BPSK	QPSK	QPSK
"вверх"	QPSK	BPSK	BPSK	BPSK	QPSK	QPSK
Скромблирующий код, мс	26,7 (2 <sup>15</sup> чипов)	10	10	10	0,625 (1 символ)	20
Длина кадра, мс	20 или 5	10	10	10	10	10
Суперкадр, мс	н/д	720	720	720	720	720
Управление мощностью	0,8	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Шаг упр., дБ	0,25 (0,5 или 1)	1	2	2	1	1

## 4.5. Архитектура семейства стандартов

IMT-2000 является системой открытых стандартов, создаваемых под эгидой ITU при участии региональных и национальных организаций. Для решения спорных вопросов при определении единых гармонизированных решений и разработки спецификаций по стандартам радиointерфейсов 3-го поколения (рис. 4.2) были созданы два партнерских объединения 3GPP и 3GPP2 [46].

В первое партнерское объединение 3GPP<sup>20</sup> входят Европейский институт телекоммуникационных стандартов ETSI (Европа), ARIB (Япония), Комитет T1 ANSI (США), а также три организации по стандартизации от Азиатско-Тихоокеанского региона – CWTS (Китай), Ассоциация технологий связи TTA (Корея) и Комитет по технологиям связи TTC (Япония).

Основной вклад партнерства 3GPP в программу IMT-2000 – это гармонизация пяти проектов UTRA FDD (ETSI), WCDMA (ARIB), WCDMA NA (T1P1, США), WIMS (TR-46.1, США) и CDMA II (TTA) в один вариант радиointерфейса IMT-DS (IMT-2000 Direct Spread), создаваемый на базе проектов WCDMA (UTRA FDD) с прямым расширением спектра (DS-SS) и частотным дуплексным разносом (FDD) для применения в парных полосах частот [47].

Второй тип радиointерфейса, который был представлен партнерством 3GPP в ITU, основан на кодово-временном разделении каналов TDMA/CDMA с временным дуплексным разносом (TDD) для применения в непарных полосах частот. Вариант, который получил название IMT-TC (IMT-2000 Time-Code), фактически представляет собой чисто формальное объединение двух различных технических решений – европейского предложения UTRA TDD и китайского TD-SS-CDMA.

С технической точки зрения основное отличие вариантов IMT-DS и IMT-TC от ранее поступивших в ITU предложений – это изменение в базовом варианте чиповой скорости с 4,096 Мчип/с на 3,84 Мчип/с (табл. 4.6).

Еще одному предложению DECT EP, которое поступило от ETSI, была присвоена новая аббревиатура IMT-FT (IMT-2000 Frequency Time). Стандарт на микросотовую систему DECT разрабатывается с комбинированным частотно-временным дуплексным разносом и предназначен для применения, как в парных, так и непарных полосах частот. В варианте IMT-FT предложены три градации скоростей передачи, т.е.  $R=1,152$  (2,304 и 3,456) Мбит/с. Такая возможность реализуется за счет введения новых методов модуляции  $\pi/2$ -DPSK,  $\pi/4$ -DQPSK,  $\pi/8$ -D8PSK.

Во второе партнерское объединение 3GPP2 входит Ассоциация промышленности связи ПА (представленная подкомитетами TTA TR-45.3 и TTA TR-45.5), а также организации ARIB, CWTS, TTA и TTC. Основная цель 3GPP2 – эволюционное развитие технологий сотовой связи 2-го поколения, которые в настоящее время получили широкое распространение в США – TDMA (IS-136) и cdmaOne (IS-95).

Предложения от этого партнерского объединения представлены в виде двух вариантов радиointерфейсов, получивших обозначение IMT-MC (IMT-2000 Multi Carrier) и IMT-SC (IMT-2000 Single Carrier). Радиointерфейс IMT-MC основан на варианте многочастотной системы cdma2000, в которой обеспечивается обратная совместимость с cdmaOne (IS-95). Увеличение пропускной способности реализуется за счет одновременной передачи информации на нескольких несущих.

Радиointерфейс IMT-SC базируется на проекте стандарта UWC-136 и предполагает поэтапное расширение возможностей существующей системы TDMA при работе в парных полосах частот.

\* Иногда для обозначения этого партнерства используется аббревиатура 3GPP1.

Таблица 4.6. Характеристики радиointерфейсов для IMT-2000

Спецификация	IMT-DS	IMT-MC	IMT-TC		IMT-SC	IMT-FT
Орган по подготовке спецификаций	3GPP, ARIB, ETSI	3GPP2, TTA TR-45.3	3GPP, ETSI, CWTS		3GPP2, UWCC, TTA TR-45.3	ETSI
Базовая технология	WCDMA, UTRA FDD	cdma2000	UTRA TDD, TD-SCDMA <sup>**</sup> )		UWC-136	DECT EP
Метод доступа	DS-CDMA	MC-CDMA	TDMA/CDMA		TDMA	MC-TDMA
Дуплексный разнос	FDD	FDD	TDD		FDD	FDD/TDD
Числовая скорость, Мчип/с	3,84	3,6884	3,84	1,288	—	—
Скорость передачи, кбит/с	—	—	—		384, 2048	1152, 2304, 3456
Вид модуляции	QPSK/BPSK/HPSK <sup>*)</sup>	QPSK/BPSK	QPSK/BPSK/HPSK <sup>*)</sup>		BOQAM, QOQAM	GFSK; $\pi/2$ -DPSK, $\pi/4$ -DQPSK, $\pi/8$ -DBPSK
Длина кадра, мс	10	5 или 20	10		4,6	10
Глубина перемежения, мс	10/20/40/80	5/20	10/20/40/80	10-130	0/20/40/140/240	Без перемежения
Число слотов на кадр	15	Нет	15	7	6/8/16/64	12/24/48
Длина суперкадра, мс	720	Нет	720	720	720/640	160

<sup>\*)</sup> HPSK (Hybrid Phase-Shift Keying) – гибридная фазовая манипуляция (известная также как OCQPSK)

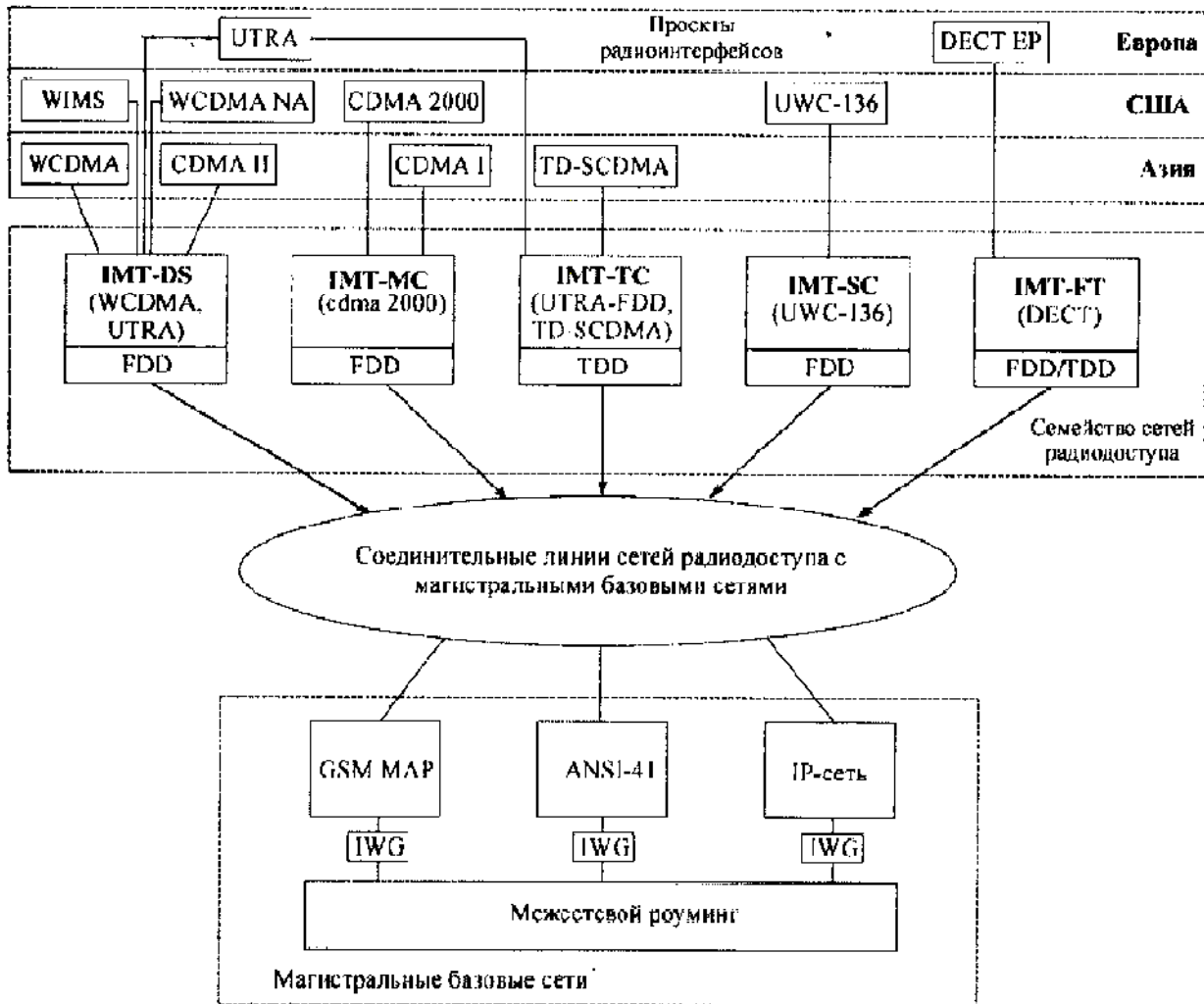
<sup>\*\*)</sup> Параметры, относящиеся к китайскому проекту TD-SCDMA, указаны во 2-ом столбце технологии IMT-TC

Согласно концепции IMT-2000 общая архитектура системы нового поколения подразделяется на две составные части: сети радиодоступа и базовые сети. После завершения процедуры гармонизации в состав семейства сетей радиодоступа (проект Рекомендации M(IMT.RSPC)) были включены 5 радиointерфейсов<sup>21</sup>. Схема их взаимосвязи с ранее представленными проектами стандартов приведена на рис. 4.2.

Сети радиодоступа (радиомодули) и магистральные базовые сети связаны между собой гибкими соединительными линиями. Модульная структура IMT-2000 обеспечивает возможность наращивать сетевую инфраструктуру путем последовательной модификации ее составных элементов.

<sup>21</sup> Фактически на рассмотрении в ITU находится не 5, а 6 предложений, т.к. спецификация IMT-TC лишь формально объединяет два различных проекта UTRA TDD и TD-SCDMA. Окончательный выбор предполагается произвести в конце 2000 г.

Рис. 4.2. Укрупненная архитектура наземной сети ИМТ-2000



#### 4.6. Базовые сети для ИМТ-2000

В ИМТ-2000 предлагается использовать три типа магистральных базовых сетей: GSM MAP (Европа), ANSI-41 (США) и универсальные сети с IP-протоколом. Глобальный роуминг между тремя типами сетей будет осуществляться через межсетевой интерфейс NNI (Network-to-Network Interface). Чтобы реализовать это требование на практике, необходимо разработать единый протокол NNI, который смог бы поддерживать глобальный роуминг независимо от типа базовой сети и протокола радиодоступа.

Очевидно, что глобальный роуминг в ИМТ-2000 может быть реализован только в том случае, если радиодоступ будет производиться с использованием многорежимных терминалов, а базовые сети будут содержать конверторы или межсетевые шлюзы IWG (Interworking Gateway).

Для сетей TDMA такое решение не требуется. Чтобы преодолеть указанные различия в архитектуре в состав IWG должен быть введен так называемый псевдо-AUC, включаемый на стороне ANSI-41 [48].

Существует еще одна проблема, связанная с переадресацией вызова. Если вызываемый абонент занят, недоступен или не отвечает, то входящий вызов перенаправляется на какой-либо другой номер. Этот процесс в сетях GSM происходит под управлением MSC/HLR, т.е. мобильного центра коммутации, который для абонента является «своим». В отличие от GSM протокол ANSI-41 предусматривает применение шлюзового MSC. По этой причине все вызовы из GSM в TDMA направляются через шлюзовой маршрутизатор.

Теперь несколько слов о взаимодействии GSM и UMTS. Как уже говорилось, существующие сети GSM базируются на применении мобильного центра коммутации MSC в качестве платформы, обеспечивающей коммутацию и предоставление услуг. Внедрение же UMTS будет происходить в условиях, когда сети фиксированной связи, по крайней мере, в Европе, будут мигрировать в широкополосные сети с коммутацией пакетов на основе платформы ATM. Это даст возможность использовать преимущества широкополосной архитектуры UMTS на базе существующих систем коммутации.

Таким образом, применение UMTS позволит устранить зависимость инфраструктуры GSM от специализированных MSC и за счет этого обеспечить быстрое внедрение мощных приложений, способных одинаково хорошо функционировать в любой сети.

Проблемы переходного периода можно решить за счет использования общей транспортной среды для всех видов трафика. Такая возможность может быть реализована на базе коммутатора U-MSC (UMTS Mobile Services Switching Center), который обеспечит коммутацию трафика GSM, пакетный режим GPRS и два новых режима WCDMA FDD и UTRA TDD.

## 4.7. Развитие спутниковой связи в IMT-2000

### Концепция спутниковой подсистемы S-IMT-2000

Если по стандартам наземной связи T-IMT-2000<sup>22</sup> достигнут в процессе гармонизации определенный компромисс, то в отношении спутниковых сетей еще целый ряд вопросов ждет своего решения. Поэтому в рамках данной книги ограничимся рассмотрением лишь ключевых характеристик S-IMT-2000.

При создании спутниковой подсистемы ключевыми требованиями являются: освоение нового S-диапазона частот, разработка эффективных радиointерфейсов, обеспечивающих интеграцию спутниковых и наземных систем связи. С помощью спутниковых сетей абонентам будет предложен расширенный ассортимент услуг:

- голосовая связь и низкоскоростная передача данных (короткие сообщения и электронная почта) со скоростью 2,4-16 кбит/с;
- асимметричные услуги, включающие передачу данных, доступ к базам данных, выход в сеть Internet, при скорости передачи до 144 кбит/с;
- интерактивные мультимедийные услуги (видеотелефония, видеоконференцсвязь) со скоростью до 144 кбит/с.

<sup>22</sup> Префиксы S (satellite) и T (terrestrial) в названиях S-IMT-2000 и T-IMT-2000 означают соответственно спутниковую и наземную подсистемы IMT-2000.

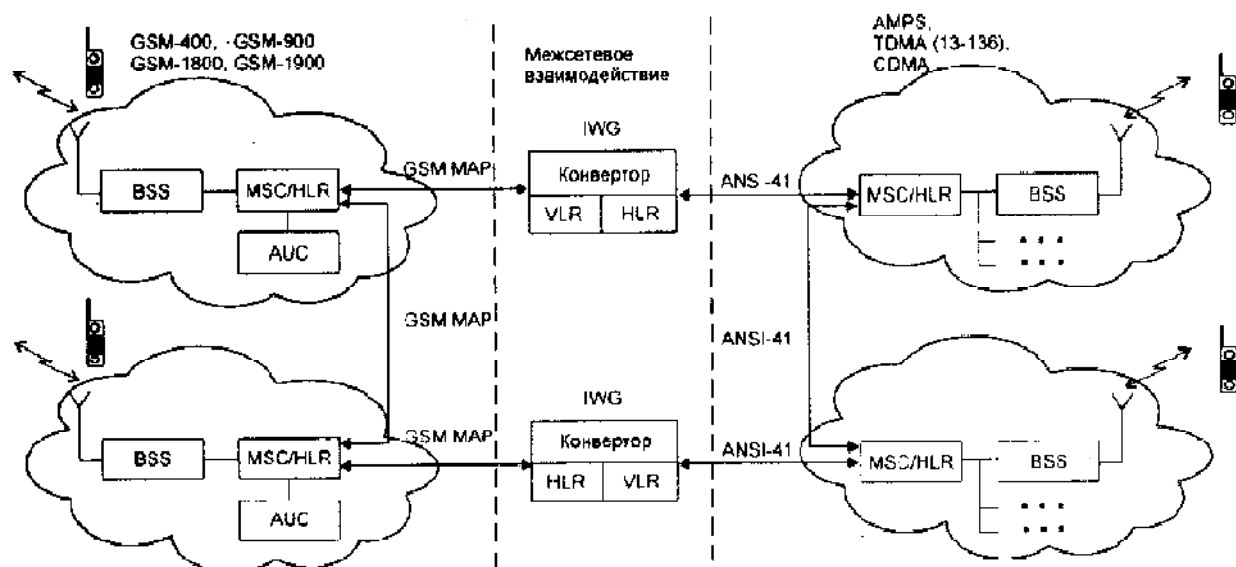


В отличие от сетей радиодоступа, которые очень чувствительны к смене идеологии построения системы, магистральные базовые сети более инерционны. В них вложены значительные инвестиции, которые операторы желают сохранить при переходе к 3-му поколению.

Новые технологии, разрабатываемые в рамках IMT-2000, должны обеспечивать возможность адаптации в равной степени к любой из трех доминирующих сетевых технологий: GSM MAP, ANSI-41 и IP. Магистральные сети должны быть «прозрачны», чтобы обеспечить доступ мобильных абонентов к новому профилю услуг «виртуальной домашней среды».

Принципы межсетевого взаимодействия между системами GSM (базовая сеть GSM MAP) и TDMA (ANSI-41) поясняются на рис. 4.3. Независимо от того, какая из сетей GSM или TDMA является домашней, в любом случае необходим конвертор или шлюз IWG, с помощью которого будет обеспечено взаимодействие партнеров по роумингу.

Рис. 4.3. Межсетевое взаимодействие сетей GSM и TDMA



Организация взаимодействия между сетями осуществляется с использованием единого протокола сигнализации SS7. Что же касается внутрисистемного взаимодействия в сетях GSM MAP и ANSI-41, то эти процедуры не охватываются рекомендациями IMT-2000, и в них могут быть использованы любые усовершенствованные протоколы.

Так, например, если домашней сетью является TDMA, а визитной GSM, то потребуются конвертирование протоколов для обмена между визитным регистром положения GSM VLR и основным регистром положения HLR. Когда абонент TDMA взаимодействует через сеть GSM, шлюз IWG будет сохранять информацию в HLR, что и обеспечит роуминг.

Некоторое отличие возникает, когда домашней сетью является GSM, а визитной TDMA. Эти особенности связаны с тем, что в архитектуре GSM предусматривается выделение центра аутентификации (AUC) – физически автономного устройства, которое может быть установлено в любом месте сети, в том числе и совмещено с центром коммутации MSC.

Скорость передачи в сетях спутниковой связи несколько ниже, чем в наземной связи, т.е. не более 144 кбит/с. Тем не менее, такой пропускной способности вполне достаточно, чтобы обеспечивать высокоскоростную передачу данных и мультимедиа. Введение новых видов услуг и протоколов будет происходить без предъявления дополнительных требований к существующим сетям радиотелефонной связи и передачи данных. Таким образом, спутниковые сети 3-го поколения уже на первой фазе развертывания будут предоставлять практически тот же набор услуг, что и наземные, но в глобальной зоне обслуживания.

Общий подход к разработке стандартов спутниковых систем в рамках проекта S-IMT-2000 несколько отличается от проектирования наземного сегмента T-IMT-2000. Прежде всего, для спутниковой связи выделен только парный диапазон: 1980-2010 МГц («Земля-спутник») и 2170-2200 МГц («спутник-Земля»), т.е. работа в режиме с временным дуплексным разносом (TDD) пока не планируется.

Чтобы обеспечить меньшие затраты пропускной способности на сигнализацию и передачу управляющей информации, длина кадра в спутниковых сетях выбрана больше, а скорость передачи битов управления мощностью ниже, чем в наземных. Один из основных путей наращивания пропускной способности и обеспечения заданной энергетике спутниковых линий – использование высокоэффективных многолучевых бортовых антенных систем. Максимально возможный запас по энергетике, реализуемый в современных системах, как правило, не превышает 20 дБ и реализуется в основном за счет снижения скорости передачи.

### Структура орбитальных группировок

Концепция построения систем 3-го поколения может быть реализована в системах с космическими аппаратами (КА) на геостационарной (ГСО) и негеостационарной (НГСО) орбите (табл. 4.8). Несмотря на перегруженность ГСО и наличия большой суммарной задержки (в среднем около 500 мс), эта орбита по-прежнему будет очень привлекательна для связи благодаря тому, что она не вносит перерывов в обслуживание. Система из 3-4 спутников на ГСО обеспечивает охват почти всей территории Земли. Однако системы с геостационарными КА будут потенциально эффективны лишь в случае, когда формируемые на поверхности Земли зоны обслуживания будут сравнительно невелики. Протообразом систем будущего может явиться система Thuraya<sup>23</sup>.

Построение космического сегмента на негеостационарной орбите будет практически совпадать с тем, которое используется в существующих системах 2-го поколения. Европейским космическим агентством (ESA) предложено использовать для связи 4 типа НГСО группировок, которые достаточно близки к тем, которые используются в системах Globalstar (LEO), Ellipso (Borealis), ICO (MEO), Archimedes (HEO). Переход к негеостационарным орбитам позволяет обеспечить более высокие характеристики обслуживания абонентов за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, находящихся одновременно в зоне радиовидимости абонентского терминала. Особенность негеостационарной орбиты со-

<sup>23</sup> Региональная система связи с двумя КА на геостационарной орбите (44<sup>0</sup> в.д. и 25<sup>0</sup> в.д.), разработанная Hughes (США) по заказу Объединенных арабских эмиратов (UAE). В системе достигнуты уникальные характеристики: 250-300 переконфигурируемых на борту лучей, пропускная способность на КА – 13750 каналов (в L диапазоне), мощность солнечных батарей – 13 кВт, скорость в радиоканале – 46,8 кбит/с. Система Thuraya планируется к введению в эксплуатацию в конце 2000 г. В ней предполагается реализовать весь спектр стандартных услуг, используемых в GSM сетях.

стоит в том, что по мере снижения высоты, с одной стороны, увеличивается энергетический запас в радиолинии, а, с другой стороны, снижается суммарная длительность сеансов связи и увеличивается доплеровский сдвиг частоты.

**Таблица 4.8. Варианты построения орбитальной группировки для систем 3-го поколения (ESA)**

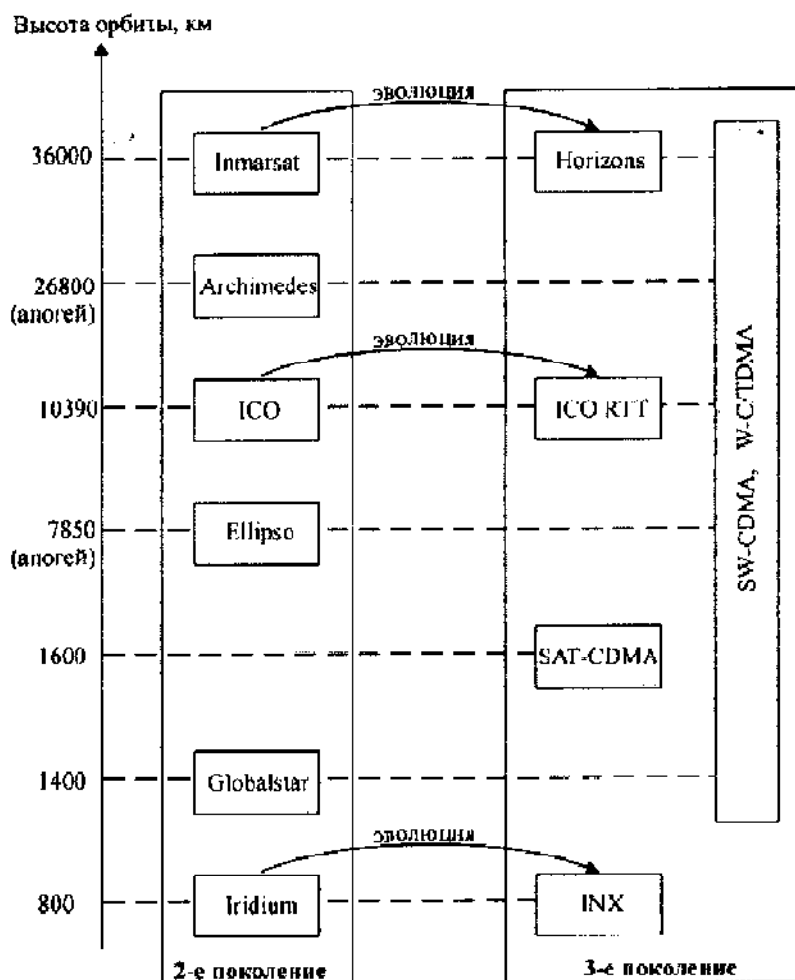
Обозначение орбиты <sup>*)</sup>	LEO	HEO		MEO	HEO	GEO
Тип орбиты	Круговая	Borealis		Круговая	Archimedes	Круговая
Число КА	48	8	6	10	6	4
Высота орбиты, км (апогей/перигей), км	1414	7846/520	7846/4223	10355	26784/1000	36000
Наклонение, град	52	116	0	45	63,4	0
Число плоскостей на КА в каждой плоскости	8 × 6	2 × 4	1 × 6	2 × 5	6 × 1	1 × 4
Высота переключения с заходящего на восходящий КА, км	—	7303		—	20500	—
Минимальный угол места, град	10	20		10	40	20
Диаметр зоны, км	5850	11340		12900	13380	15900
Число лучей	19	61		169	61	160
Ширина луча, град	21,5	5,5		2,9	2,3	0,94
Максимальная задержка при распространении, мс <sup>**)</sup>	11,7	38,2		48	101,8	131,9
Разброс по задержке, мс	6,95	14,1		13,4	33,4	12,6
Доплеровский сдвиг частоты, кГц	± 36,6	± 20,0		± 10,3	± 14,6	—
Время пребывания в ближнем луче, с	97	720		334	9500	Пост.
Время пребывания в дальнем луче, с	356	1040		1258	9870	Пост.

<sup>\*)</sup> GEO (Geostationary Earth Orbit) – геостационарная орбита (ГСО), HEO (High Elliptical Orbit) – высокоэллиптическая орбита, LEO (Low-Earth Orbit) – низкая околоземная орбита, MEO (Medium Earth Orbit) – средневысотная околоземная орбита.

<sup>\*\*)</sup> Вычисления максимального времени распространения радиоволн и доплеровского сдвига частоты для значений, приведенных в табл. 4.6, производилось для центральной точки луча на поверхности Земли. Центр самого ближнего луча находился в подспутниковой точке, а самый дальний луч лежал на границе зоны устойчивой связи.

Первоначально в ИТУ поступили на рассмотрение пять проектов (рис. 4.4), которые можно разделить на две группы. Первая из них основана на использовании технологии TDMA: Horizons (Inmarsat), ICO RTT (ICO Global Communications), а другая создается на базе CDMA: SAT-CDMA (Южная Корея), SW-CDMA и SW-CTDMA (ESA). Несколько позже был заявлен еще один проект INX (Iridium Next Generation), подготовленный компанией Motorola.

**Рис. 4.4.**  
Переход к спутниковым  
системам 3-го поколения



### Проекты, основанные на CDMA

Европейским космическим агентством (ESA) совместно с рядом ведущих компаний Европы разработаны два предложения: первое из них основано на широкополосном кодовом разделении каналов SW-CDMA (Satellite Wideband CDMA), а второе – на гибридном кодово-временном разделении каналов, получившем название SW-C/TDMA (Satellite Wideband Code and Time Division Multiple Access).

Основная идея проекта SW-CDMA заключается в адаптации технологии широкополосной системы с кодовым разделением WCDMA, разработанной в рамках проекта системы UTRA FDD, применительно к спутниковой связи [49].

В системе SW-CDMA используется структура логических каналов, сходная с той, которая реализуется в наземной сети UTRA. Длина кадра равна 20/10 мс и может изменяться в зависимости от чиповой скорости 1,92 или 3,84 Мчип/с. Структура кадра аналогична той, которая предложена в наземной сети UTRA. Кадр состоит из 15 канальных интервалов длиной 0,625 мс (3,84 Мчип/с) или 1,25 мс (1,92 Мчип/с).

Некоторые отличия от UTRA имеются в структуре передаваемых сообщений. Вместе с пилот-сигналом и командами управления излучаемой мощностью TPC (Transmit Power Control) по спутниковому каналу передается сигнал, в котором указана скорость передачи текущего кадра.

Вследствие того, что задержки в спутниковой системе больше, чем в наземной сети, для повышения быстродействия замкнутой петли регулирования использован 4-уровневый сигнал (2 бита на кадр). Суперкадр (мультикадр) длиной 600 мс образуется путем объединения 60 или 30 кадров (в случае половинной скорости). Модуляция данных осуществляется с использованием QPSK. Для снижения фазовых ошибок при малых скоростях передачи (менее 4,8 кбит/с), вместо QPSK применяется BPSK или двухканальная BPSK (dual BPSK).

В случае, если передача пейджинговых сообщений по вызывному каналу невозможна, то в системе SW-CDMA предусмотрен режим с пониженной скоростью, так называемый канал с высокой проникающей способностью HPPCH (High Penetration Paging Channel). Для обеспечения необходимого запаса по энергетике не менее 20 дБ скорость передачи понижается до 1,2 кбит/с (информационная скорость 100 бит/с и ниже). Для обеспечения нормального функционирования системы необходимо, чтобы различные спутники не излучали сигнал HPPCH одновременно в одном и том же географическом районе.

В системе W-C/TDMA реализуются два режима: традиционный двухчастотный дуплекс (FDD) и комбинированный частотно-временной дуплекс FDD/TDD (Frequency-Time Division Duplex). В режиме FDD/TDD каналы передачи и приема являются ортогональными во времени, однако передаются на разных частотах [50].

В спутниковой связи комбинированный метод FDD/TDD имеет ряд преимуществ по сравнению с «чистым» временным дуплексным разносом (передача на одной несущей). В отличие от сетей наземной подвижной радиосвязи, где выделены отдельные участки спектра для работы в непарных полосах частот (TDD), в спутниковой связи такого диапазона нет. Кроме того, нельзя забывать о том, что комбинированный режим FDD/TDD приведет к определенному усложнению абонентской аппаратуры.

Схемы многостанционного доступа в прямом и обратном каналах системы W-C/TDMA являются различными. В первом случае используется синхронная передача с кодово-временное разделением каналов W-O-C/TDMA (Wideband Orthogonal C/TDMA), а во втором – квазисинхронная передача W-QS-C/TDMA (Wideband Quasi-Synchronous C/TDMA).

Проект спутниковой системы SAT-CDMA подготовлен Ассоциацией телекоммуникационных технологий (ТТА, Южная Корея). Орбитальная группировка системы будет состоять из 48 КА находящихся на высоте 1600 км с наклоном 54°. Спутники расположены в 8 орбитальных плоскостях по 6 КА в каждой. Земные станции обеспечивают работу при углах места 17,5° (абонентские терминалы) и 10° (станции сопряжения).

Основу технологии SAT-CDMA составляют широкополосные CDMA-каналы (ширина полосы 5 МГц на несущую). На борту спутника должна быть установлена антенная система, формирующая 37 узких лучей, в каждом из которых передача осуществляется на 3-х несущих частотах. Планируемая скорость передачи – от 9,6 кбит/с до 144 кбит/с (табл. 4.9). В системе SAT-CDMA намечено задействовать эффективные способы борьбы с замираниями и методы компенсации потерь, обусловленных эффектом Доплера [51].

## Проекты, основанные на TDMA

В рамках программы IMT-2000 предложены два проекта систем спутниковой связи нового поколения: ICO RTT (ICO Global Communications) и Horizons (Inmarsat). Система персональной спутниковой связи ICO является одной из первых, которая реально будет предоставлять услуги в диапазоне частот 1980-2100 МГц и 2170-2200 МГц, начиная уже с 2001 года.

**Таблица 4.9. Сравнительные характеристики проектов стандартов спутниковых систем (по данным ITU)**

Название проекта	SW-CDMA	SW-CTDMA	SAT-CDMA	ICO RTT	Horizons	ING
Разработчик	ESA	ESA	Ю. Корея	ICO Global	Inmarsat	Motorola
Тип орбиты	Параметры зависят от типа орбитальной группировки (ОГ). Всего предложено 5 вариантов построения ОГ (см. табл. 4.8)		LEO	MEO	GEO	LEO
Число КА			48	10-12	3-4	96
Высота орбиты, км			1600	10390	36000	860
Наклонение, град			54	45	±5	поляр.
Число плоскостей			8	2	1	8
Число КА в плоскости			6	5-6	3-4	12
Число лучей			37	163	150-250	228 (перем)
Обработка на борту	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Метод доступа	DS-CDMA	Гибридная	CDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA	FDMA/TDMA, FDMA/CDMA
Метод дуплексирования	FDD	FDD FDD/TDD	FDD	FDD	FDD	TDD и FDD
Ширина полосы частот канала, МГц	2,35/4,7	2,35/4,7	5,0	0,025	0,1	0,27 (TDMA) 1,25 (CDMA)
Скорость передачи, кбит/с	1,2-144	1,2-144	4,8-64 (речь) 144 (данные)	4,8 (речь) 38,4 (данные)	4-64 (речь) 144 (данные)	2,4-4 (речь) 144 (данные)
Чиповая скорость, Мчип/с	1,92 или 3,84		3,84	Нет	Нет	1,228 до 4,096
Метод модуляции	QPSK или BPSK	QPSK или BPSK	QPSK/HPSK (OK), QPSK (ПК)	GMSK (OK), QPSK, BPSK (ПК)	QPSK, 16QAM	16QAM, QPSK
ЭИИМ терминала, дБВт	3 (портат.) 6 (мобил.) 16 (перен.)	8 (портат.) 11 (мобил.) 20 (перен.)	2 (портат.) 15,8 (мобил.) 21 (перен.) 36 (фиксир.)	7 (портат.) 10 (мобил.)	15 (тип 1) 10 (тип 2)	- 2 до 4
Г/Т терминала, дБ/К	Класс портативных терминалов: - 22 (GEO), - 23,5 (LEO/MEO)		-22,8 (портат.) -20,8 (перен.) -4 (фиксир.)	-23,8 (портат.)	-11 (тип 1) -16 (тип 2)	-24,8 (портат.)
Динамический диапазон, дБ	20	15	20	16	8	25
Шаг управления мощностью, дБ	0,2-1	0,2-1	±0,25; ±1,0	1	1	2 (TDMA) 0,5 (CDMA)
Скорость циклов управления, цикл/с	50-100	50-100	100	2	Перемен.	50
Развязка в терминале (прием/передача), дБ	> 169	>169	110	≥57	50	63
Запас на замирания, дБ	≤ 20	≤ 20	≤25	8	3	15-25 (речь) 45 (пейдж.)
Число канальных интервалов на кадр	15	8	15	6	18	4

Проект ICO RTT в целом повторяет конфигурацию системы ICO с узкополосной TDMA. В этих проектах используется один и тот же метод многостанционного доступа FDMA/TDMA, работа обеспечивается в общих полосах частот, орбитальная группировка также одинакова, т.е. включает 10 КА (2 плоскости по 5 КА в каждой) с высотой орбиты 10390 км над поверхностью Земли.

Ретрансляционный комплекс создается на базе прозрачного ретранслятора с антенной системой, формирующей 163 узких луча (на прием и на передачу). Кадр длиной 40 мс разделен на 6 канальных интервалов. Исходная канальная скорость для каждого интервала выбрана равной 2,4 кбит/с (без кодирования) или 4,8 кбит/с (с кодированием). Наземная инфраструктура строится на базе сети ICONET, что обеспечивает полную преемственность двух проектов. Фактически, проект ICO RTT – это дальнейшее развитие узкополосной системы с тем же названием [52].

Основные изменения связаны с повышением пропускной способности и спектральной эффективности системы за счет увеличения скорости передачи информации до 38,4 кбит/с. Однако увеличение скорости планируется реализовать лишь в терминалах профессиональных пользователей, используя в них объединенные канальные интервалы. Для передачи речи и данных в прямом канале задействуется модуляция QPSK/BPSK, а в обратном канале – GMSK. Для передачи речи применяется сверточное кодирование ( $R=1/3$ ), а для данных – код Рида-Соломона в сочетании со сверточным кодированием.

В проекте системы ICO RTT предложена гибкая канальная структура, позволяющая передавать информацию со скоростью от 1,2 до 38,4 кбит/с в прозрачном и непрозрачном режимах. В вокодерс, который оптимизирован под канальную структуру с длительностью кадра 40 мс, применяется алгоритм AMBE.

Разработчики ICO RTT намерены обеспечить управление мощностью за счет объединенного канала управления ACCH (Associated Control Channel), который состоит из двух подканалов: SACCH (Slow ACCH) и FACCH (Fast ACCH). Максимальная скорость передачи управляющей информации по низкоскоростному каналу SACCH 160 бит/с, а по высокоскоростному каналу FACCH – 80 бит за кадр 40 мс. С целью снижения уровня помех в ICO RTT планируется обеспечить управление мощностью с точностью  $\pm 1$  дБ.

В системе предусмотрено автоматическое переключение каналов между разными лучами одного и того же спутника, а также между лучами соседних спутников. Перерыв связи при жестком хэндовере не превышает 80 мс. Планируется также для отдельных пользователей обеспечить режим мягкого хэндовера. В качестве базовых в системе ICO RTT предполагается использовать портативные двухрежимные терминалы, совмещенные с сотовыми телефонами.

Проект создания системы спутниковой связи Horizons предложен международной организацией Inmarsat [53]. Система строится на базе нескольких геостационарных КА с большим числом узких лучей. В системе Horizons планируется реализовать спектрально-эффективные методы модуляции (1,4 бит/с/Гц),  $n$ -кратное повторное использование частот ( $n=5$ ), турбо-кодирование. Речь может передаваться с изменяемым качеством, т.е. с вероятностью ошибки от  $10^{-3}$  до  $10^{-6}$ . Достоверность в канале передачи данных лежит в пределах от  $10^{-7}$  до  $10^{-11}$ . Высокая скорость передачи (144 кбит/с) обеспечит предоставление широкого спектра услуг, в первую очередь, мультимедийных услуг, а также оперативный доступ в сеть Internet и корпоративные интрасети.

В качестве абонентского устройства предлагается малогабаритный мультимедийный терминал (масса не более 750 г) с малым энергопотреблением. Высокое качество связи достигается за счет автоматического переключения каналов в момент перехода мобильной станции с одного луча геостационарного КА на другой. Такая возможность достигается за счет использования двух каналов: узкополосного (связь в глобальном луче) и широкополосного (связь в узком луче).

## 5. СОТОВЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ TDMA

### 5.1. На пути к единому стандарту TDMA

В качестве будущих радиointерфейсов 3-го поколения ИТУ рассматривает два проекта на базе технологии TDMA: американский UWC-136 (IMT-SC) и европейский проект EP DECT (IMT-FC). Однако эти два варианта далеко не исчерпывают всех возможных путей создания перспективных систем с временным разделением каналов. Им предшествовали многочисленные НИОКР, проведенные в рамках европейской программы UMTS, в том числе: ATDMA (Advanced TDMA), R-TDMA (Reservation TDMA), WB-TDMA (FRAMES) и другие [54].

Выбор оптимальных направлений эволюционного развития сетей GSM и TDMA<sup>24</sup> (IS-136), так же как и сетей 3-го поколения, еще не завершен. Прогнозы показывают, что к 2005 г. доминирующую роль будут играть не речевые услуги, а передача данных. Однако еще предстоит обстоятельный анализ ситуации, складывающейся на рынке. Сегодня рынок беспроводной передачи данных, можно сказать, только зарождается, и доля абонентов, которые пользуются услугами передачи данных, если не считать службу коротких сообщений SMS, относительно невелика – не превышает 3% [55,56].

#### Эволюция сетей GSM

В конце 80-х годов, когда основы GSM только закладывались, бытовало мнение, что этот стандарт технически перенасыщен, и его возможности никогда реально не будут востребованы. Однако уже сегодня все базовые возможности стандарта не только реализованы, но и заложены основы для дальнейшей его модернизации. Совершенствование сетей GSM идет в направлении UMTS/IMT-2000 по нескольким взаимосвязанным направлениям:

- интеграция с другими сетями радиосвязи (DECT и узлами доступа к Internet/Intranet);
- создание интегрированных сетей GSM-900/GSM-1800, и в перспективе, GSM-400;
- внедрение новых технических решений, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных с коммутацией пакетов и взаимодействие с сетями ГФОП, X.25, ATM и ISDN.

В технологию GSM вложены немалые инвестиции, и это предопределило эволюционный путь ее развития. Происходит постепенное наращивание сетевых элементов, усовершенствование контроллеров и базовых станций, разработка и создание двухрежимных абонентских терминалов. Использование GSM в качестве базовой технологии для предоставления услуг 3-го поколения имеет и другое важное преимущество – практически с первых дней работы модернизированной сети она будет обладать потенциально большой абонентской базой.

К настоящему времени наметились следующие основные пути совершенствования систем на базе GSM (рис. 5.1):

- высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов HSCSD (High Speed Circuit Switched Data);
- обобщенные услуги пакетной радиопередачи GPRS (General Packet Radio Service);

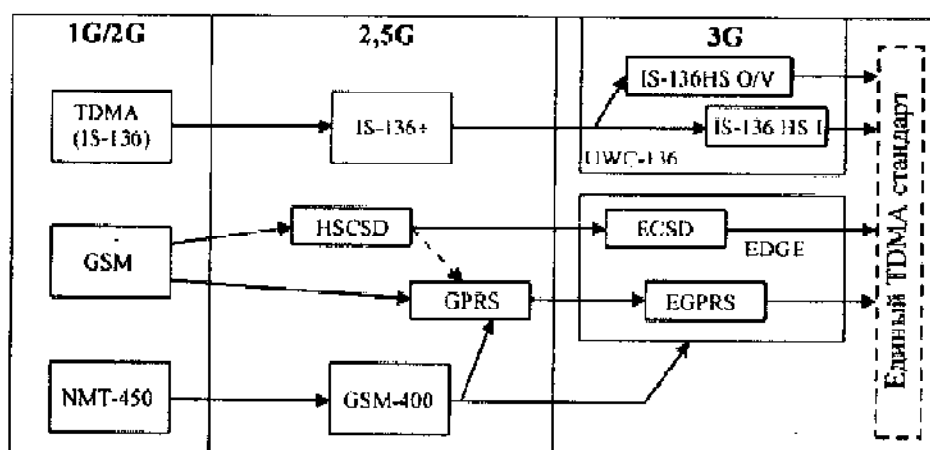
<sup>24</sup> В данном разделе аббревиатура TDMA имеет два значения: как технология многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA) и как новое название для сетей связи, построенных на базе стандарта IS-136 (прежнее название – D-AMPS).



- реализация системы радиодоступа EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution);
- внедрение системы GSM-400 для связи в сельских и малонаселенных районах.

В настоящее время уже очевидно, что модернизация GSM и развитие UMTS будут происходить в течение длительного времени, при этом обе технологии будут развиваться параллельно. Первый шаг – это начавшийся этап внедрения технологии HSCSD, ориентированной на передачу данных с коммутацией каналов. Значительно более широкие возможности могут быть реализованы при использовании новых версий стандарта GSM (GPRS и EDGE), представляющих собой платформу, удобную для внедрения услуг UMTS. Эту фазу развития стандарта GSM принято обозначать «2G+» или «2,5G» (рис. 5.1). Усовершенствованные TDMA (IS-136) планируется реализовать в рамках стандарта 3-го поколения UWC-136.

**Рис. 5.1.**  
Стратегия перехода к системам 3-го поколения на базе TDMA



Несмотря на успехи развития систем 2-го поколения, ряд новых требований лежат за пределами их возможностей. К их числу можно отнести предоставление услуг мультимедиа, асимметричную передачу со скоростью до 2048 кбит/с с гибким перераспределением трафика в прямом и обратном каналах.

### О возможности слияния GSM и TDMA

В условиях мощного наступления CDMA, особенно в перспективных проектах систем 3-го поколения, неверно было бы утверждать, что метод доступа с временным разделением – это неперспективная технология. Если бы сегодня произошло слияние GSM и TDMA (IS-136), то мир бы стал свидетелем рождения глобальной сети мобильной связи. Это является мощным стимулом для поиска вариантов взаимодействия и путей сближения этих двух, по сути, родственных, технологий.

Предпосылки для конвергенции GSM и TDMA (IS-136) на базе технологии EDGE/UWC-136 уже созданы. Между Всемирным консорциумом мобильной связи UWC и североамериканским альянсом GSM (The North American GSM) подписаны соглашения, которые закладывают основы для их глобального слияния. Достигнутые соглашения охватывают вопросы взаимной интеграции, разработку гармонизированных спецификаций для абонентских терминалов и применения новых технологий GPRS и EDGE. Такой подход обеспечит не только взаимную совместимость технологий GSM и TDMA, но и позволит уменьшить затраты на внедрение.

Принятию данного решения в немалой степени способствовало то, что членами консорциума UWC являются не только такие известные североамериканские компании-

производители оборудования, как Lucent, Motorola, Hughes, Nortel, IBM, Sun, Compaq, но также представители Европы (Ericsson, Nokia, Philips) и Японии (Mitsubishi, NEC, Sony).

Выбор UWC-136 в качестве ключевой технологии 3-го поколения не только не ущемит интересов основных поставщиков оборудования подвижной связи, но, по существу, может стать единственно возможным компромиссом между Америкой, Европой и Азией. Таким образом, появилась реальная возможность развития двух базовых стандартов GSM и TDMA по единому сценарию. Однако о полном слиянии двух технологий говорить еще рано.

Основное препятствие – несовместимость концепций развития мобильной связи в Европе и США, проявляющаяся, прежде всего, в различных подходах к распределению частот. Немаловажным является также тот факт, что требования североамериканских и европейских стандартов не гармонизированы, например, они отличаются по допустимому уровню помех по соседним каналам, мощности внеполосного излучения и другим параметрам, что может затруднить межсистемную ЭМС [57].

Достижение согласия по единому стандарту TDMA является многоаспектной задачей, которая преследует цель не только создать систему нового поколения, но и в максимальной степени учесть требования операторов и конечных пользователей.

## 5.2. Высокоскоростная технология HSCSD

Современные сети передачи данных GSM имеют низкую скорость передачи – до 9,6 кбит/с. Фактически ее достаточно только для организации работы электронной почты и передачи коротких сообщений длиной 160 символов (служба SMS). Маршрутизация данных в сетях GSM осуществляется с использованием оборудования с коммутацией каналов, что представляет определенные неудобства для пользователей. Время установления соединения при использовании модема достаточно велико – около 20 с. Все эти факторы свидетельствуют о том, что в рамках существующего стандарта GSM обеспечить выполнение требований IMT-2000 невозможно.

Одним из основных направлений совершенствования сетей GSM стало постепенное увеличение скорости передачи информации на один канальный интервал с 9,6 кбит/с до 69,2 кбит/с (рис. 5.2). Дальнейшее увеличение скорости возможно за счет выделения одному пользователю нескольких или всех канальных интервалов в кадре TDMA.

**Рис. 5.2.**  
Пропускная способность  
на один канальный  
интервал



Первый шаг в направлении совершенствования существующих сетей GSM – реализация на базе технологии HSCSD передачи данных со скоростью 19,2 кбит/с (2 канальных интервала по 9,6 кбит/с) или 28,8 (2x14,4) кбит/с. Следует отметить, что на этих скоростях в настоящее время работает большинство пользователей сети Internet в европейских странах.

Внедрение HSCSD со скоростью до 28,8 кбит/с потребует в основном модификации программных средств и протоколов обмена, при этом инфраструктура действующей сети GSM останется неизменной. При занятии двух канальных интервалов в одном кадре временной сдвиг между приемом сигналов базовой станции и последующей их передачей мобильной станцией не превышает 4 интервалов, что в принципе поддерживается существующими протоколами GSM.

В HSCSD используются две схемы кодирования. CS1 со скоростью передачи 9,6 кбит/с и CS2 со скоростью 14,4 кбит/с. По мере развития HSCSD планируется дальнейшее увеличение скорости за счет объединения четырех временных интервалов и передачи информации со скоростью 38,4 (4x9,6) кбит/с (схема CS1) или до 57,6 (4x14,4) кбит/с (схема CS2). Такой режим уже не поддерживается существующими GSM телефонами и не может быть реализован без их доработки.

Что же касается еще большего увеличения скорости до 76,8 кбит/с (CS1) или 115,2 (CS2) путем агрегирования 8 каналов по 9,6 кбит/с или 14,4 кбит/с, то реализация такой возможности потребует доработки магистральной базовой сети, где скорость обмена информацией между базовыми станциями и центром коммутации MSC ограничена величиной 64 кбит/с (A-интерфейс).

Несмотря на возможность увеличения в несколько раз скорости передачи технология HSCSD не позволяет избавиться от главного недостатка существующих GSM сетей – неэффективной обработки небольших по объему потоков данных, и соответственно, нерационального управления радиоресурсами. Принятый в сетях GSM метод начисления платы – за время соединения, а не за реальное использование канала – является, пожалуй, одним из основных тормозов на пути внедрения услуг передачи данных HSCSD.

Начиная с 2000 г., ряд компаний-операторов уже предлагают услуги HSCSD, такие как доступ в Internet, электронную почту, передачу факсимильных сообщений. Тем не менее, маловероятно, что технология HSCSD, базирующаяся на коммутации каналов, получит в будущем широкое применение в сетях GSM [17].

### 5.3. Служба передачи данных GPRS

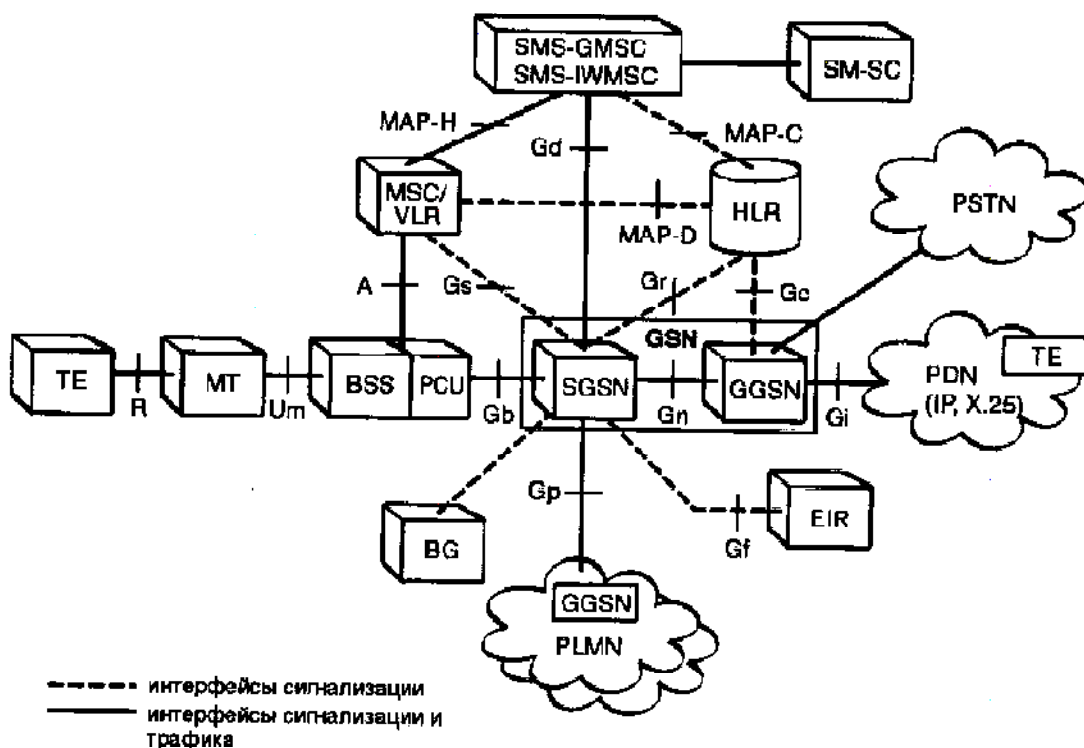
#### Архитектура GPRS

Существующие сети GSM, в том числе и новая технология HSCSD, могут поддерживать только трафик сетей с коммутацией каналов. Поэтому одним из важных шагов на пути эволюции сетей GSM к UMTS и IMT-2000 – стало внедрение услуг пакетной передачи GPRS (General Packet Radio Service). Система GPRS обеспечит сквозную передачу данных (от абонента до абонента) в пакетном режиме по IP-протоколу с повышением скорости передачи до 115,2 кбит/с. Здесь важно отметить, что именно служба GPRS способна предоставить новые виды услуг 3-го поколения уже сейчас, т.е. еще до начала развертывания сетей IMT-2000.

Поскольку служба передачи данных GPRS надстраивается над существующей сетью GSM, то не требуется кардинальной модернизации существующей сетевой инфраструкту-

ры. Что же касается новых функциональных возможностей и изменения принципа сопряжения с внешними сетями, то, по сути, они являются всего лишь расширением существующей сети GSM (рис. 5.3).

Рис. 5.3. Архитектура сети GPRS



BG	(Billing Gateway) – биллинговый шлюз	MT	(Mobile Terminal) – мобильный терминал
BSS	(Base Station System) – оборудование базовой станции	PCU	(Packet Controller Unit) – контроллер пакетов,
BTS	(Base Transceiver Station) – базовая приемопередающая станция	PDN	(Public Data Network) – сеть передачи данных общего пользования
EIR	(Equipment Identification Register) – регистр идентификации оборудования.	PLMN	(Public Land Mobile Network) – сеть сухопутной подвижной связи общего пользования
GGSN	(Gateway GPRS Support Node) – шлюзовой узел поддержки услуг GPRS	PSTN	(Public Switched Telephone Network) – коммутуруемая телефонная сеть общего пользования.
GMSC	(Gateway MSC) – шлюзовый мобильный центр коммутации	SGSN	(Serving GPRS Support Node) – сервисный узел поддержки услуг GPRS;
HLR	(Home Location Register) – основной регистр положения	SMS	(Short Message Service) – служба коротких сообщений
IWMSC	(Interworking MSC) – MSC для обеспечения межсетевых обмена	SM-SC	(Short Message Switching Center) – центр коммутации коротких сообщений
MSC/VLR	(Mobile Switching Center/Visitor Location Register) – мобильный центр коммутации, территориально совмещенный с визитным регистром положения	TE	(Terminal Equipment) – окончательное оборудование

С системных позиций внедрение GPRS связано с добавлением в развернутую сеть GSM, как минимум, двух базовых узлов для поддержки службы пакетной передачи данных: сервисного узла SGSN (Serving GPRS Support Node) и шлюзового узла GGSN (Gateway GPRS Support Node). Кроме того, необходима также модернизация контроллеров базовых станций (BSC) и доработка программного обеспечения.

Сервисный узел SGSN обеспечивает маршрутизацию пакетов, аутентификацию и шифрование, а также управление мобильностью для всех абонентов, находящихся в его зоне обслуживания. На более высоком сетевом уровне узел SGSN поддерживает функции, аналогичные тем, которые обеспечивает центральный коммутатор с визитным регистром положения MSC/VLR в сетях с коммутацией каналов. Исходящий трафик из узла SGSN перенаправляется на контроллер базовой станции, а от него – на мобильные терминалы абонентов.

Связь сети GSM с внешними сетями передачи данных по протоколам X.25 и IP реализуется через узел GGSN, который играет роль шлюза между SGSN и PDN. Узел GGSN перенаправляет пакеты данных, поступающие из внешней сети PDN в узлы SGSN, а от них по радиоканалу пакеты поступают к мобильным терминалам (MT).

В оборудовании GGSN реализованы функции обеспечения безопасности, обработки счетов абонентов и динамического выделения IP-адресов. С точки зрения внешней сети узел GGSN выглядит как некая «диспетчерская» станция, владеющая адресами всех IP-абонентов, обслуживаемых системой GPRS.

Узлы SGSN и GGSN могут взаимодействовать друг с другом, используя IP-маршрутизаторы. Обмен пакетами данных между ними осуществляется по магистральной линии с использованием туннельного протокола GTP (GPRS Tunnel Protocol), который обеспечивает капсулирование<sup>25</sup> пакетов в прозрачном режиме.

Вновь введенные узлы GPRS предназначены для наращивания сетевой инфраструктуры на базе IP-протокола. Что же касается их конкретного расположения в сети, то оно может быть различным – они могут быть физически объединены в одном узле сетевой структуры (GSN) или распределены по сети. Такой подход к построению совмещенной сети GSM/GPRS позволяет оператору начать предоставление услуг на небольших сегментах сети с малым числом узлов SGSN и GGSN при минимальных первоначальных затратах.

Когда SGSN и GGSN расположены в одном узле GSN, то они взаимодействуют через интерфейс Gn (интерфейс сети Frame Relay). В случае их расположения в разных сетях PLMN связь между ними осуществляется через интерфейс Gp (рис. 5.3). Отличие интерфейса Gp от Gn в том, что Gp не только выполняет все функции интерфейса Gn, но и дополнительно обеспечивает повышенные меры безопасности, которые необходимы при установлении межсетевых соединений между разными PLMN.

Каждый абонент в совмещенной сети GSM/GPRS «закрепляется» за одним или несколькими обслуживающими узлами SGSN с помощью основного регистра положения HLR. Узел SGSN может запрашивать сведения об абонентах, взаимодействуя с основным регистром HLR через интерфейс Gt. Для управления сигнализацией тех абонентов, которым предоставлена возможность работать одновременно в двух режимах передачи, т.е. с коммутацией пакетов и каналов, используется специальный интерфейс Gs между визитным регистром положения VLR и сервисным узлом SGSN [58].

Сведения об абонентах может также запрашивать шлюзовой узел GGSN, взаимодействуя с основным регистром положения HLR, через интерфейс Gc. Связь между внешней сетью PDN и сетью GSM/PLMN поддерживается с помощью GGSN через интерфейс Gi.

<sup>25</sup> Капсулирование (encapsulation) – процесс формирования (конвертирования) данных в соответствии со специальным туннельным протоколом, который позволяет передать пакеты между двумя узлами сети в прозрачном режиме с сохранением формата и структуры сообщений пользователей или прикладных задач.

Кроме этих двух базовых узлов в состав сети GPRS входит также еще один новый (нетиповой) для GSM-сетей элемент – центр услуг широковещательной передачи PTM-SC (Point-to-Multipoint Service Center), который предназначен для обработки широковещательного трафика между магистральным каналом сети и основным регистром положения – HLR (на рис. 5.3. не показан).

В стандарте GPRS определены три класса терминалов, которые предназначены для работы в разных режимах.

Терминалы класса А предоставляют самый полный спектр услуг. Они поддерживают *одновременно* два режима работы – в сети GSM (коммутация каналов) и в сети GPRS (коммутация пакетов). Обладатели терминалов класса В также смогут работать в двух режимах GSM/GPRS, но *поочередно*, т.е. в каждый момент времени обеспечивается передача одного вида трафика: с коммутацией каналов или пакетов.

И, наконец, терминалы класса С могут функционировать только в режиме пакетной передачи. Такая классификация позволяет новым абонентам с самого начала работать в широких зонах покрытия GSM-сетей. Терминалы каждого из трех классов способны поддерживать режим многоканальной (многослотовой) работы, обеспечивая при этом максимальную скорость на канальный интервал 21,4 кбит/с.

### Канальная структура и кодирование

Для передачи IP трафика в GPRS используется один или несколько выделенных логических каналов, называемых PDCH (Packet Data Channel) и оптимизированных для пакетной передачи данных.

Канальная структура GPRS включает три типа логических каналов [59]. Информационные пакеты передаются по логическому каналу PDTCH (Packet Data Traffic Channel). Широковещательная и общесистемная информация передается с базовой станции на мобильные по каналу PBCCCH (Packet Broadcast Control Channel).

Третий тип логического канала PCCH (Packet Common Control Channel) предназначен для передачи управляющей информации. В системе GPRS он выполняет несколько функций. По нему передаются сообщения о вызове, указывающие на начало пакетной передачи. Канал PCCH может также использоваться базовой станцией для передачи данных о распределении сетевых ресурсов между мобильными станциями. Однако использование PCCH не является обязательным во всех сотах сети GSM/GPRS. Вместо него мобильный абонент может прослушивать стандартный канал управления CCCH, используемый в GSM [58].

Один канал PDCH отображается в один временной интервал длиной 576,92 мкс, что позволяет использовать ту же канальную структуру, что в обычных сетях GSM. Передача информации в GPRS осуществляется со скоростью 270,833 кбит/с с использованием гауссовской манипуляции с минимальным сдвигом (GMSK). Как и в GSM один символ кодированной последовательности соответствует одному модулированному символу. Формат канального интервала в GPRS также идентичен GSM, т.е. он содержит 2×58 информационных битов (в том числе 2 служебных бита), 26 битов обучающей последовательности, 2×3 конечных символа (tail symbol). Соседние интервалы разделены защитным промежутком, равным по длительности 8,25 битам.

В GPRS предложена новая структура пакета, который состоит из 456 бит (4 информационных блока по 114 бит, что соответствует общей скорости передачи в канале 22,8 кбит/с (табл. 5.1)). Для целей резервирования в структуру сообщений GPRS введен статусный флаг в линии «вверх» USF (Uplink Status Flag).

Таблица 5.1. Основные характеристики схем кодирования в GPRS

Схема кодирования	Обозн.	CS1	CS2	CS3	CS4
Статусный флаг в линии «вверх»	f	3	6	6	12
Число информационных битов	d	181	268	312	428
Биты проверки на четность	p	40	16	16	16
Конечные биты	t	4	4	4	0
Скорость кодирования	r	1/2	1/2	1/2	1
Число вырезаемых битов	b	0	132	220	0
Общее число битов в кадре	m*	456	456	456	456
Общая скорость передачи в канале, кбит/с	R <sub>0</sub>	22,8	22,8	22,8	22,8
Скорость передачи информации, кбит/с	R <sub>i</sub> **	9,05	13,4	15,6	21,4

\*) Общее число битов в кадре, определяется по формуле  $m = (f+d+p+t) / r - b$

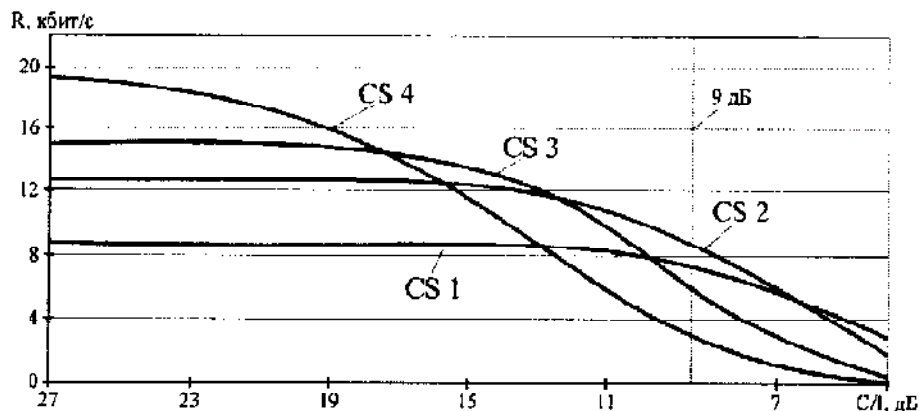
\*\*) Скорость R<sub>i</sub> определяется по формуле  $R_i = d/m \cdot R_0$ .

Для обеспечения гибкости и повышения пропускной способности в системе GPRS предложены 4 схемы кодирования данных: от CS1 до CS4. Для управления работой радиolini в режиме пакетной передачи разработан специальный протокол RLC, который обеспечивает ее адаптивную настройку, программную перестройку частоты (SFH) и управление мощностью. Адаптация радиolini включает выбор той или иной схемы кодирования CS1-CS4 в зависимости от видов передаваемой информации, характеристик радиоканала и уровня помех.

Таким образом, в режиме GPRS каждому абоненту может выделяться от 1 до 8 канальных интервалов. Во время пакетной передачи ресурсы линии связи «вверх» и «вниз» могут определяться независимо, т.е. в системе может быть применен асимметричный режим пакетной передачи. Реализованная на практике скорость передачи данных в GPRS составляет 115,2 (8×14,4) кбит/с, однако теоретически она может быть увеличена до 171,2 (8×21,4) кбит/с при использовании схемы кодирования CS4 (см.табл. 5.1).

Принципы оптимизации качества связи при использовании четырех вариантов кодирования данных в зависимости от отношения сигнал/помеха (C/I) иллюстрируются на рис. 5.4. Первая схема CS1 гарантирует соединение в любых условиях и наиболее удобна при передаче сигнализации и коротких сообщений. Вторая схема CS2 предназначена для передачи трафика и позволяет увеличить пропускную способность сети. Два других варианта кодирования обеспечивают наивысшую скорость передачи при высоком отношении сигнал/помеха (C/I), однако уступают CS1/CS2 при отношении C/I меньше, чем 9 дБ. Следует отметить, что реализация CS3, CS4 потребует модернизации Abis-интерфейса.

Рис. 5.4.  
Максимальная пропускная способность радиоинтерфейса GPRS на канал



### Биллинговая система для GPRS

Основное отличие технологии GPRS от высокоскоростной передачи HSCSD – новый механизм тарификации, допускающий возможность совместного использования несколькими абонентами одного канала (канального интервала), и одновременного предоставления нескольких видов услуг, например, прием сообщения от третьего абонента во время сеанса связи со вторым. В этом случае оплата перераспределяется между разными абонентами, использующими один и тот же канал. Фактически, абонент в GPRS платит не за время занятия канала, а только за объем передаваемой информации.

Традиционные биллинговые системы, в которых плата за услуги исчисляется за время разговора с учетом времени суток, непосредственно не могут быть применимы для пакетной передачи. Поэтому появление GPRS повлечет за собой изменения в организации работы биллинговой системы, которая станет неотъемлемой частью архитектуры GPRS.

В задачи биллингового шлюза BG (Billing Gateway) входит предварительная обработка биллинговой информации, поступающей со всех узлов SGSN и GPRS (рис. 5.3). Программный посредник обрабатывает весь IP-трафик и передает данные в существующий биллинговый центр компании-оператора.

Такой механизм сбора тарифной информации позволит избежать необходимости создания принципиально новой биллинговой системы для GPRS (а в дальнейшем и для UMTS), а ограничиться лишь модернизацией одного модуля. Забегая вперед, заметим, что при внедрении UMTS дополнительно потребуются лишь небольшие изменения, связанные с тарификацией мультимедийных услуг.

Хотя принципы начисления оплаты в сетях GPRS в окончательном виде еще не определены, однако уже сейчас ясно, что новые тарифы будут строиться на совершенно иных принципах оплаты, с использованием более сложных показателей: объема переданной информации или числа переданных пакетов, качества обслуживания, срочности доставки пакетов и др. Тарифы в GPRS будут гибко дифференцироваться в зависимости от потоков переданной информации, снижаясь по мере увеличения суммарного объема трафика.

### 5.4. Система радиодоступа EDGE

Предложение об использовании технологии высокоскоростного радиодоступа EDGE<sup>26</sup> в качестве эволюционной базы для стандарта GSM было предложено группой ETSI SMG в начале 1997 г. Позднее разработка EDGE велась параллельно в ETSI и UWC для обеспечения максимальной совместимости двух стандартов GSM и TDMA (IS-136). В США основные положения концепции EDGE легли в основу проекта стандарта UWC-136 [63].

Созданный на основе стандартов GSM новый радиointерфейс EDGE (фаза 1) обеспечивает плавный переход к 3-му поколению, позволяя увеличить скорость передачи данных до 384 кбит/с на несущую. Что же касается более высоких скоростей передачи 2048 кбит/с и выше, требуемых для новых поколений пико- и микросотовых сетей, то их реализацию предлагается осуществить на втором этапе развития EDGE (фаза 2).

Радиointерфейс EDGE надстраивается над существующей схемой радиодоступа GSM и не требует создания новых сетевых элементов. Он будет совместим с другими службами GSM, в том числе с HSCSD и GPRS. Кроме того, технология EDGE пригодна для использования в сетях GSM, работающих в диапазонах частот 400, 900 и 1800 МГц.

<sup>26</sup> EDGE (Enhanced Data for Global Evolution) – улучшенная передача данных для глобальной эволюции систем связи. В первоначальной расшифровке EDGE вместо термина «Global» использовался термин «GSM»



К основным преимуществам EDGE следует отнести использование спектрально эффективной модуляции и адаптивной настройки канала в зависимости от требований абонента и реальной помеховой обстановки. Первоначально в качестве базового метода модуляции в EDGE была предложена квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK), однако затем предпочтение было отдано 8-позиционной фазовой модуляции. По мнению разработчиков стандарта, использование модуляции 8PSK приводит к меньшему снижению средней мощности (около 2 дБ) по сравнению с OQPSK.

Эффективность использования спектра EDGE почти в 3 раза выше, чем в GPRS. При развертывании системы в полосе 600 кГц (модель повторного использования частот 1/3) может быть обеспечена спектральная эффективность более 0,45 бит/Гц на соту [63]. Сравнительные характеристики технологий EDGE и WCDMA приведены в табл. 5.2.

**Таблица 5.2. Сравнительные характеристики технологий EDGE и WCDMA**

Технология	EDGE	WCDMA
Скорость передачи в условиях высокой мобильности в локальных зонах покрытия, кбит/с	128	384
Скорость передачи в условиях низкой мобильности в широких зонах покрытия, кбит/с	384	2048
Используемые диапазоны частот, МГц	GSM (450, 900, 1800) и PCS (1900)	1920-1980/2110-2170
Ширина полосы канала, МГц	0,2	5
Метод доступа/модуляция	TDMA/8PSK	DS-CDMA/QPSK
Мощность передатчика мобильного терминала (при передаче речи), Вт	1 (макс)	0,125

Новые возможности стандарта EDGE – это автоматическое распознавание типа модуляции, используемого в радиолинии, с последующим переходом в требуемый режим. Усовершенствованный метод модуляции автоматически адаптируется к качеству канала радиосвязи, предлагая самые высокие скорости передачи в наиболее благоприятных условиях распространения радиоволн, особенно вблизи расположения базовых станций.

В EDGE организуются две службы: усовершенствованная служба пакетной передачи EGPRS (Enhanced GPRS) и усовершенствованная служба коммутации каналов ECSD (Enhanced Circuit Switched Data). По сравнению с GSM максимальная скорость передачи на один канал будет увеличена до 38,4 кбит/с для ECSD и до 69,2 кбит/с (EGPRS). Пропускная способность на несущую теоретически увеличится до 553,5 кбит/с.

Аналогичным образом, может быть повышена скорость передачи и в режиме коммутации каналов, путем объединения нескольких канальных интервалов. Для ECSD станет возможной передача в реальном времени потоков ISDN (64 кбит/с) с низкой вероятностью ошибки (BER), при этом будут заняты лишь 2 канальных интервала по 32 кбит/с.

### Кодирование в стандарте EDGE

В стандарте EDGE реализуются два метода модуляции GMSK и 8PSK с одинаковой скоростью передачи символов. Поскольку каждый символ 8PSK состоит из 3 битов, то в одном канальном интервале может быть передано 346 информационных битов. В остальном

структура мультикадра совпадает с GSM, т.е. каждый кадр состоит из 8 канальных интервалов, а каждый 13 кадр – кадр ожидания.

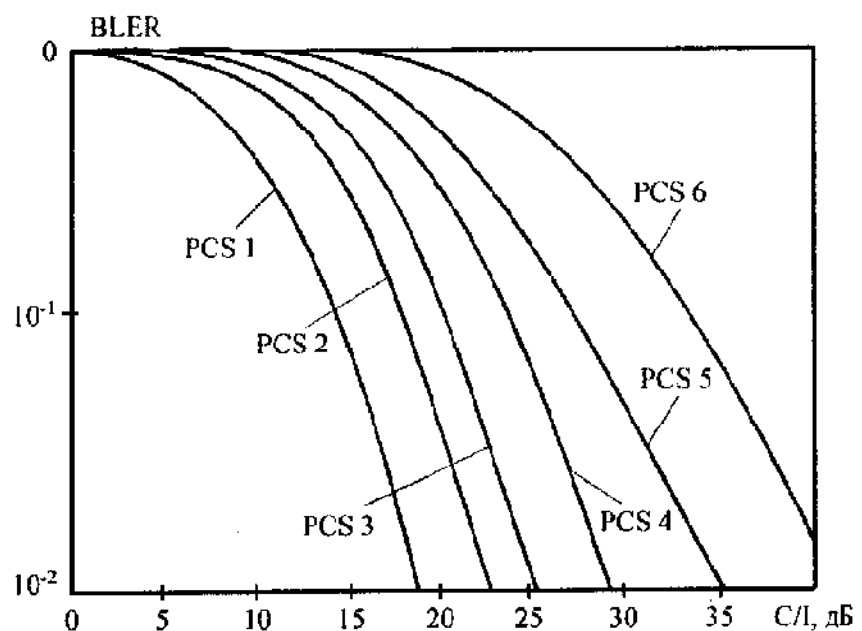
В EDGE предлагается адаптивная модуляция с коммутацией пакетов. В основе предложения также лежит использование 6 уровней кодирования от PCS 1 до PCS 6 с различными характеристиками помехоустойчивости (табл. 5.3). Смена режима кодирования производится каждый раз, когда декодируемый предыдущий блок принят с низкой достоверностью. В результате следующий блок данных передается с более высокой помехозащищенностью.

**Таблица 5.3. Основные характеристики схем кодирования в системе EDGE (модуляция 8PSK)**

Схема кодирования	Максимальная скорость, кбит/с	Скорость кодирования	Скорость радиointерфейса, кбит/с
PCS 1	69,2	0,33	22,8
PCS 2	69,2	0,5	34,3
PCS 3	69,2	0,6	41,25
PCS 4	69,2	0,75	51,6
PCS 5	69,2	0,83	57,35
PCS 6	69,2	1,0	69,2

Результаты расчета вероятности ошибки на блок (BLER) для различных схем кодирования в канале без разнесенного приема указаны на рис. 5.5. Оценка произведена для транспортного средства, движущегося со скоростью 3 км/ч, на частоте несущей 900 МГц при использовании передачи со скачкообразной перестройкой частоты. Из представленных графиков наглядно видно, что при одной и той же частоте появления ошибочных блоков BLER с понижением скорости передачи информации резко снижается требуемое отношение С/П, при котором обеспечивается заданное качество приема.

**Рис. 5.5. Зависимость частоты появления ошибочных блоков от отношения сигнал/помеха**



Предоставление абонентам услуг EDGE планируется обеспечить с помощью терминалов двух типов. В первом более простом и дешевом терминале будет обеспечен режим 8PSK в линии «вниз» и GMSK в линии «вверх». Использование высокоскоростной передачи в прямом канале хорошо согласуется со структурой трафика в пакетных сетях, который по своей природе асимметричен. Ко второму классу относятся абонентские терминалы, обеспечивающие симметричную передачу информации (8PSK) в обоих направлениях.

Новые возможности предоставит многоскоростной речевой кодек AMR (Adaptive MultiRate codec) с широким диапазоном переключаемых скоростей (до 32 кбит/с). Введение такого речевого кодека в EDGE (фаза 2) позволит предоставлять услуги в микросотовых сетях.

Таким образом, стандарт EDGE является прекрасной платформой для создания интегрированной TDMA технологии, которая обеспечит плавный переход от GSM и IS-136 к новым возможностям систем 3-го поколения.

## 5.5. Цифровая сеть GSM-400

### Эволюция технологии NMT к GSM

В диапазоне 450 МГц в настоящее время работает аналоговая система NMT-450, которая непрерывно совершенствуется в направлении увеличения пропускной способности и повышения качества связи. Так, последняя версия стандарта предоставляет расширенный набор услуг по сравнению с другими аналоговыми стандартами, в том числе автоматический роуминг с рядом стран, где распространен стандарт NMT-450.

К сожалению, существующие ограничения, такие как низкая пропускная способность и помехозащищенность, низкая скорость и неэффективный режим передачи данных, а также ряд других недостатков, присущих системам 1-го поколения, не позволит обеспечить качественно новый уровень обслуживания, соответствующий требованиям IMT-2000.

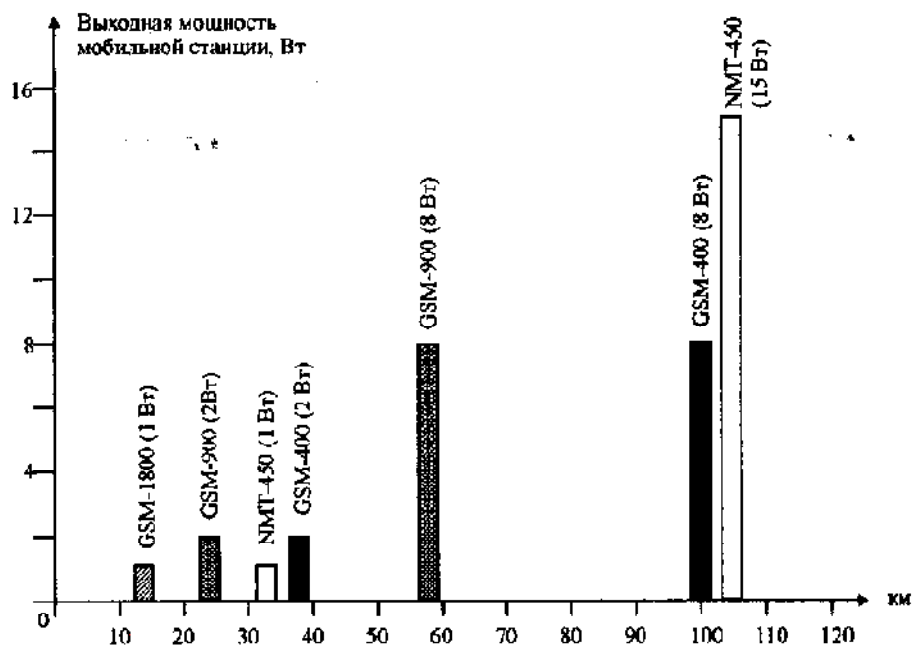
В рамках программы дальнейшей модернизации были рассмотрены три варианта преобразования аналогового стандарта NMT-450 в цифровой [68]:

- GSM-400<sup>27</sup>: объединенное предложение Nokia и Ericsson, базирующееся на технологии GSM-900/1800;
- CDMA-450: предложение Hughes, Samsung и Qualcomm, заявленное от группы CDG (CDMA Development Group); основано на технических решениях IS-95B и cdma2000;
- D-NMT (Digital NMT): вариант фирмы Radio Design AB (Швеция), представляющий собой комбинацию систем GSM и TETRA; в качестве промежуточной технологии предлагается расширенная аналоговая версия.

Рассмотрение этих вариантов в международной организации NMT MoU показало, что в наибольшей степени современным требованиям отвечает GSM-400. К числу основных преимуществ этой технологии можно отнести – использование существующей инфраструктуры сетей GSM и возможность организация глобального роуминга. Диапазон частот 450 МГц обеспечивает прекрасные возможности по покрытию обширных территорий. Дальность связи для GSM-400 почти в 2 раза больше, чем в GSM-900 (рис. 5.6), что особенно важно при организации связи в сельской местности.

<sup>27</sup> Прежнее название предложения – GSM-450.

**Рис. 5.6.**  
Сравнительные  
характеристики по-  
крытия для сель-  
ской местности



Один частотный канал в GSM занимает полосу в 8 раз шире, чем в NMT, т.е. в полосе 200 кГц можно разместить 8 частотных каналов NMT (или 16 в случае перемежающихся каналов). С учетом двух защитных интервалов по 200-250 кГц на краях диапазона, при полноскоростном кодировании можно обеспечить 160 каналов в полосе 4,5 МГц или 272 канала в полосе 7,2 МГц (табл. 5.4).

**Таблица 5.4.** Сравнительные характеристики систем GSM-400 и NMT-450

Характеристика		GSM-400		NMT-450
Диапазон частот, МГц	Передача	450,4-457,6	478,8-486,0	453-457,5
	Прием	460,4-467,6	488,8-496,0	463-467,5
Ширина полосы частот, МГц		2×7,2	2×7,2	2×4,5
Дуплексный разнос, МГц		10		10
Разнос несущих, кГц		200		25 (20)
Количество каналов		2×288		180 (225)

Как показали результаты моделирования [69], при низких скоростях перемещения GSM-400 проигрывает GSM-900 в отношении сигнал/шум 0,5-1 дБ на уровне 3% FER. Однако характеристики GSM-400 значительно лучше при высоких скоростях. Максимальная скорость, при которой еще обеспечивается приемлемое качество связи, составляет 500 км/ч, что в два раза выше предельной скорости для GSM-900.

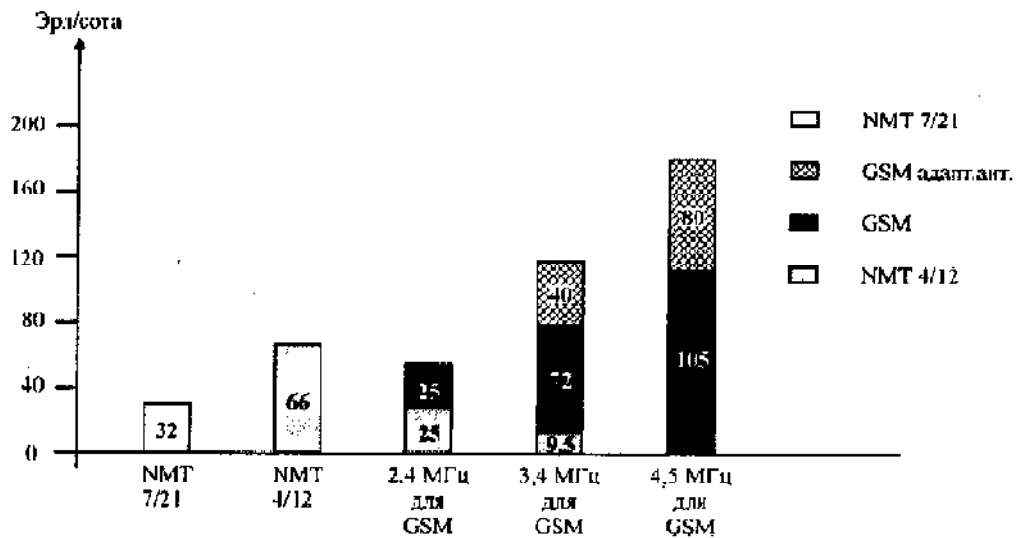
Благодаря большей дальности связи система GSM-400 обеспечивает экономически выгодное покрытие в сельской местности, на побережьях, автострадах. Соотношение максимально необходимого числа базовых станций в одном географическом регионе для GSM-1800/900/400 определяется в виде 5,5:2,2:1, т.е. для GSM-400 требуется в 5,5 раз меньше базовых станций, чем в GSM-1800.

Пропускная способность системы зависит от структуры сети и коэффициента повторного использования частот. При более плотной упаковке сот система имеет более высокую пропускную способность, однако усложняется частотное планирование из-за возрастания

уровня интермодуляционных помех, т.е. сигналов с той же частотой, приходящих из соседних сот. Снижение уровня помех может быть обеспечено применением специальных средств, например, адаптивных антенных решеток (рис. 5.7). При менее плотной упаковке, например, для частотного плана 7/21, требования по защите от интерференционных помех снижаются, а процедура частотного планирования сети упрощается [5].

Если сеть GSM-900/1800 может обеспечить высокую пропускную способность, то GSM-400 предназначена для использования в сотах с малым трафиком, но с большей зоной покрытия.

**Рис. 5.7.**  
Распределение емкости сетей NMT и GSM



NMT емкость (2,1 МГц): 25 Эрл/сота  
 NMT 4/12 емкость (4,5 МГц): 66 Эрл/сота --> загрузка 62 %  
 NMT 7/21 емкость (4,5 МГц): 32 Эрл/сота --> загрузка 22 %

Максимальный радиус соты составляет порядка 100-120 км, однако достичь его на практике представляется проблематичным, т.к. при больших дальностях начинает сказываться кривизна поверхности Земли, а также ухудшение условий распространения. (табл. 5.5).

**Таблица 5.5. Зоны покрытия для сельской местности**

Стандарт	NMT-450			GSM-400	
	1	7	15	2	8
Мощность мобильной станции, Вт					
Ослабление сигнала в радиоканале (макс.), дБ	141	149,5	152,8	149	166,6
Радиус соты (внутри помещения), км	8,35	15,40	19,57	14,92	53,42
Радиус соты (вне помещения), км	17,23	31,77	40,37	30,77	110,21

В GSM-400 планируется использовать адаптивный многоскоростной кодек AMR, который может гибко подстраиваться под скорость передачи информации в радиоканале. Кодек будет поддерживать 3-6 режимов передачи речи со скоростью от 5 до 13 кбит/с, причем в случае использования полускоростных каналов (6,5 кбит/с) качество связи будет сравнимо с тем, которое обеспечивает EFR (Enhanced Full Rate) кодер. Наиболее эффективно будет применение адаптивного многоскоростного кодека в сотах с большой зоной обслуживания и малой плотностью абонентов.

### Сценарии совместного использования GSM-400 и NMT-450

В зонах, где NMT-450 работает с полной нагрузкой, сеть GSM-400 позволит улучшить покрытие, а в существующих сетях GSM-900/1800, работающих также с полной нагрузкой, появится возможность добавить новые соты, чтобы увеличить емкость сети. В случае, когда пропускная способность невелика и нет необходимости обеспечивать сплошное покрытие территории, можно с помощью GSM-400 развернуть локальные сети, причем для этого достаточно иметь участок спектра шириной 0,2 МГц в соте с всенаправленной антенной (omnicell).

Возможны два сценария совместного использования GSM-400 и NMT-450. Базовые станции GSM-400 можно разместить как на новых площадках, так и совместить их с GSM-900/1800 или NMT-450. В случае их размещения на одной и той же площадке взаимное влияние будет минимальным, и, тем более, не возникнет ситуация, связанная с «блокированием» приемников NMT-450. Кроме того, при соответствующем частотном планировании возможна работа без защитных полос, что допустимо при частотном плане 7/21, широко используемом в NMT-450.

При размещении оборудования в разных пунктах, может возникнуть так называемый эффект «дальний-ближний», когда мобильная станция GSM-400, расположенная вблизи базовой станции NMT-450, может создать недопустимо высокий уровень помех даже при наличии защитных частотных интервалов. Чтобы снизить этот эффект, применяется метод частотного планирования, а также работа в расширенной части NMT диапазона частот (см. табл. 5.4).

### Перспективы

Технология GSM-400 привлекательна для операторов NMT по ряду причин. Прежде всего, она позволяет осуществить быстрый переход от 1-го к 3-му поколению, минуя промежуточный этап. Использование двух- или трехрежимных терминалов GSM-400/900/1800 позволит операторам гибко наращивать емкость сети, используя разные технологии в зависимости от требований пользователей. При этом будет обеспечен глобальный роуминг и прозрачный хэндовер между GSM-400 и GSM-900/1800.

В перспективе абонентские телефоны GSM-400 будут поддерживать режим высокоскоростной передачи данных по коммутируемым каналам (HSCSD) или в пакетном режиме (GPRS), обеспечивать высокую помехоустойчивость благодаря скачкообразной перестройке частоты. При использовании технологии EDGE скорость передачи в системе GSM-400 может быть увеличена до 384 кбит/с.

Для подтверждения преимуществ данного технического решения была создана экспериментальная двухдиапазонная система GSM-400/1800 и проведены полевые испытания [5]. Первый успешный звонок, сделанный в сентябре 1999 года, подтвердил высокое качество канала GSM-400.

В настоящее время завершается этап стандартизации системы в ETSI/SMG. Введение в эксплуатацию GSM-400 планируется осуществить в 2001 году. Прогнозируется, что общая абонентская база GSM-400 к концу 2004 года составит 10-15 млн. абонентов.

## 5.6. Эволюция от IS-136 к IS-136+

### Три версии радиointерфейса

Концепция построения системы 3-го поколения на базе стандарта IS-136 изложена в проекте UWC-136 (Universal Wireless Communications – 136), в котором обозначены три этапа совершенствования, основанные на использовании разных типов радиочастотных каналов [39]:

- IS-136+ (без расширения полосы существующего канала 30 кГц);
- IS-136 HS (Outdoor/Vehicular) с шириной полосы канала 200 кГц;
- IS-136 HS (Indoor Office) с шириной полосы канала 1,6 МГц.

В проекте UWC-136 предусмотрена возможность реализации услуг 3-го поколения в широком диапазоне частот – от 450 МГц до 2,5 ГГц. Все версии радиointерфейса UWC-136 основаны на использовании спектрально эффективных технологий, которые различаются как по ширине полосы канала, так и используемому методу модуляции (табл. 5.6). Благодаря использованию трех типов каналов, возможно гибкое наращивание возможностей существующих сетей TDMA/AMPS с учетом потребностей современного рынка услуг.

**Таблица 5.6. Сравнительные характеристики трех версий радиointерфейса UWC-136**

Название проекта	IS-136/136+	IS-136 HS (Outdoor/Vehicular)	IS-136 HS (Indoor)
Минимальные полосы частот, требуемые для развертывания системы	90 кГц x 2 (1 сота, 3-х секторная антенна)	3 x 200 кГц=600 кГц (коэф. повторного использования частот 1/3)	2 x 1,6 МГц – FDD 1,6 МГц – TDD
Метод доступа/схема дуплексирования	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD, TDMA/TDD
Канальный разнос	30 кГц	200 кГц	1600 кГц
Метод модуляции	$\pi/4$ DQPSK (136) QPSK (136+) 8PSK (136+)	QOQAM BOQAM GMSK	QOQAM BOQAM
Скорость передачи в радиоканале	48,6 кбит/с	722,2 кбит/с (QOQAM) 361,1 кбит/с (BOQAM) 270,8 кбит/с (GMSK)	5,2 Мбит/с (QOQAM) 2,6 Мбит/с (BOQAM)
Длина кадра	40 мс (1944 бит, QPSK) 40 мс (2832 бит, 8PSK)	4,615 мс	4,615 мс
Число канальных интервалов на кадр	6 по 6,67 мс	8 по 576,92 мкс	64 по 72 мкс 16 по 288 мкс
Мощность мобильной станции	36 дБм – класс 1 32 дБм – класс 2 28 дБм – класс 3 и 4	29,6 дБм (QOQAM) 29,3 дБм (BOQAM) 30 дБм (GMSK)	28 дБм
Шаг управления мощностью	4 дБ	4 дБ	0,5-4,0 дБ

### Канальная структура IS-136+

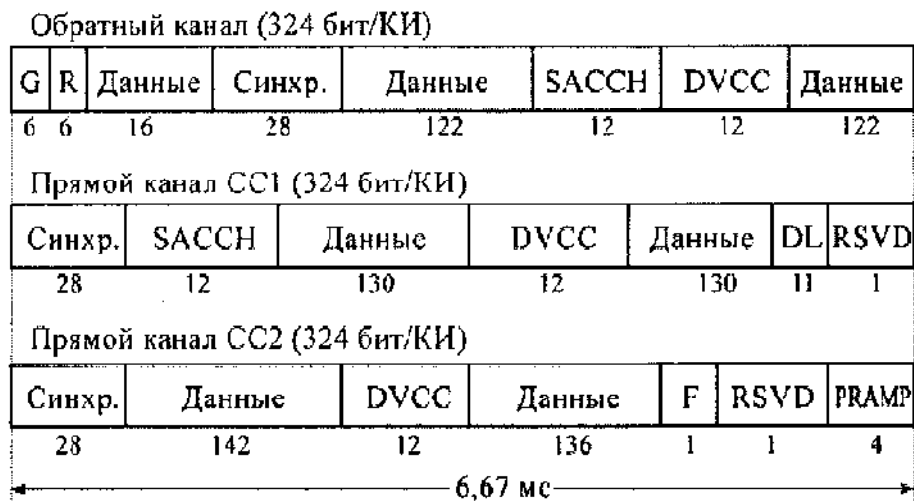
Реализацию радиointерфейса IS-136+ предлагается осуществить с использованием новых спектрально эффективных методов модуляции и высокоэффективных вокодеров в двух вариантах:

- на основе модуляции QPSK и вокодера ACELP<sup>28</sup> со скоростью речевого кода 7,4 кбит/с;
- с использованием модуляции 8PSK и вокодера US1 со скоростью 12,2 кбит/с, реализованного на базе EFR (Enhanced Full Rate) кодера.

Кроме того, предполагается обеспечить обратную совместимость с терминалами старого парка, использующими модуляцию  $\pi/4$  DQPSK и речевой кодек VSELP (8 кбит/с).

В стандарте IS-136+ вводится новая схема канального кодирования CC2 (Channel Coding 2), позволяющая повысить качество связи информационного канала DTCH (Digital Traffic Channel) в прямом канале (базовая станция-абонент). По аналогии с ранее используемой схемой кодирования CC1 (Channel Coding 1), в новом варианте кодирования используется QPSK или  $\pi/4$ DQPSK модуляция, при которой два информационных бита отображаются в один модулированный символ. Символы передаются со скоростью 24,3 кбит/с. В каждом канальном интервале (КИ) длительностью 6,67 мс передаются 324 бита, что соответствует информационной скорости 16,2 кбит/с для полноскоростного канала, занимающего два КИ в кадре 40 мс. Структура канального интервала для радиointерфейса IS-136+ приведена на рис. 5.8.

**Рис. 5.8.**  
**Структура**  
**канального**  
**интервала IS-136+**  
(вариант с  
вокодером ACELP)



**Используемые обозначения:** DL (Digital Locator) – цифровой локатор канала управления, DVCC (Digital Verification Color Code) – цифровой код верификации, F (Fast) – бит быстрого управления мощностью, G (Guard Time) – защитный временной интервал, P (Pilot) – пилот-сигнал, R (Ramp Time) – линейно изменяющийся сигнал управления мощностью, PRAMP (Power control RAMP) – команда для линейного изменения мощности, RSVD (Reserved for Future Use) – резервное поле, SACCH (Slow Associated Control Channel) – низкоскоростной совмещенный канал управления мощностью.

<sup>28</sup> ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction) – вокодер, в котором реализовано алгебраическое кодирование данных, полученных на основе линейного предсказания. Основные характеристики вокодера определяются стандартом IS-641A.



Сравнение двух вариантов кодирования CC1 и CC2 показывает, что из CC1 исключен низкоскоростной совмещенный канал управления мощностью SACCH и 11-битовое поле цифрового локатора DL. Вместо них дополнительно включены 18 битов полезной информации, один бит для быстрой регулировки мощности и 4-х битовое поле для передачи команд изменения мощности мобильной станции PRAMP. В новой структуре канального интервала CC2 сохранены поля цифрового кода верификации DVCC и резервное поле RSVD.

### Вокодеры ACELP и US1

В стандарте IS-136+ используется схема с неравномерной защитой от ошибок речевого потока с выхода вокодера ACELP. В каждом канальном интервале передается речевой поток из 148 битов, который разделен на три пакета, каждый из которых имеет разную степень защиты от помех или, так называемый, класс кодирования. Самая высокая помехозащищенность обеспечивается для первого пакета из 48 битов, отнесенного к классу 1a, что обусловлено наиболее высокой ценностью содержащейся в нем информации. На передачу данного пакета затрачивается 137 битов. Для второго пакета из 48 битов, содержащего менее значащую информацию, реализуется сверточное кодирование со скоростью  $r=1/2$  и «выкалывание» (исключение) 7 битов. Наименьшую информационную ценность имеет третий пакет из 52 битов (класс 2), который передается вообще без кодирования (табл. 5.7).

**Таблица 5.7. Параметры кодирования речи для ACELP с неравномерной защитой от ошибок**

Параметры	Обозначение	Класс 1a	Класс 1b	Класс 2
Длина входного пакета	a	48	48	52
Код CRC <sup>29</sup>	b	7	—	—
Скорость кодирования	r	1/3	1/2	—
Кодовое ограничение	k	5	5	—
Число битов на выходе сверточного кодера	$c=(a+b)/r$	165	96	—
«Вырезанные» биты	b	28	7	—
Общее число битов	$m_1=(a+b)/r - b$	137	89	52
	$m_{1a}+m_{1b}+m_2$	278		

Выходной информационный поток из 278 битов перемежается внутри канального интервала длительностью 6,67 мс, а весь поток из 324 битов дополнительно перемежается в пределах нескольких канальных интервалов. Перемежение символов позволяет повысить помехозащищенность передачи информации в каналах с замираниями. Однако следует иметь в виду, что увеличение глубины перемежения приводит к соответствующему увеличению задержки, которая в соответствии с рекомендациями ИМТ-2000 при одностороннем распространении не должно превышать 40 мс.

В табл. 5.8. обобщаются задержки, реализуемые в радиointерфейсе IS-136+ для двух типов вокодеров. В ACELP (IS-641-A) используется QPSK модуляция с перемежением символов в пределах одного слота. В варианте US1 применяется вокодер с модуляцией 8PSK, который не использует прогнозирование, обеспечивающее дополнительную задержку до 5 мс (табл. 5.8).

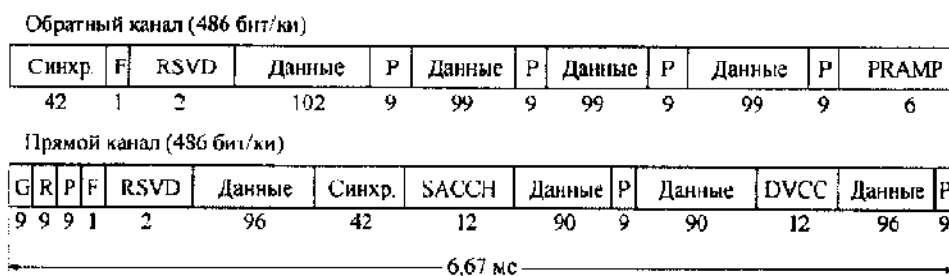
<sup>29</sup> CRC (cyclic redundancy code) – блочный код, который предназначен для обнаружения ошибок за счет добавления к группе информационных битов нескольких проверочных битов.

Таблица 5.8. Общая задержка при использовании двух типов вокодеров ACELP и US1

Тип вокодера	ACELP (QPSK)		US1 (8PSK)	
	2	1	2	1
Глубина перемежения (число канальных интервалов)	2	1	2	1
Буферизация кадра, мс	20	20	20	20
Прогнозирование, мс	5	5	—	—
Перемежение, мс	20	—	20	—
Время передачи, мс	6,7	6,7	6,7	6,7
Время обработки, мс	5	5	5	5
Суммарная задержка, мс	56,7	36,7	51,7	31,7

Вокодер US1 используется в сочетании с 8-позиционной фазовой манипуляцией 8PSK, при которой 3 бита отображаются в один модулирующий символ, передаваемый со скоростью 24,3 кбит/с, что эквивалентно передаче 486 битов на канальный интервал длительностью 6,67 мс. Структура одного интервала TDMA кадра приведена на рис. 5.9. Отличительной его особенностью является введение 9-битовых пилот-сигналов P, с помощью которых обеспечивается когерентное детектирование сигналов на приеме.

**Рис. 5.9.**  
Структура канального интервала IS-136+ (вариант с вокодером US1)



Используемые обозначения: DVCC – цифровой код верификации, F – бит быстрого управления мощностью, G – защитный временной интервал, P – пилот-сигнал, R – линейно изменяющийся сигнал управления мощностью, PRAMP – команда изменения мощности, RSVD – резервное поле, SACCH – низкоскоростной совмещенный канал управления мощностью.

Аналогично, как и в случае с вокодером ACELP, в варианте с US1 реализована неравномерная защита от ошибок. При этом длина передаваемого речевого пакета увеличена со 148 битов (ACELP) до 244 битов (US1). Входной поток из 244 битов разделен на три пакета: 80 битов (класс 1a), 76 битов (класс 1b) и оставшиеся 88 битов (класс 2), которые передаются без кодирования. Повышение помехоустойчивости пакетов, отнесенных к классу 1a, осуществляется за счет сверточного кодирования ( $r=1/2$ ,  $k=6$ ) и циклического кода CRC (8 бит). Поток данных класса 1b после сверточного кодера ( $r=1/2$ ,  $k=6$ ) прореживается со скоростью 2/3. Суммарный поток после кодирования с неравномерной защитой от ошибок включает 399 и 372 битов соответственно для обратного и прямого каналов (рис. 5.9).

### Технология GPRS-136

Услуги пакетной передачи данных в существующих сетях TDMA (IS-136) реализуются со скоростью 19,2 кбит/с в сетях 2-го поколения CDPD (Cellular Digital Packet Data). Кроме того, благодаря методу CS-CDPD (Circuit Switched CDPD) предусмотрена возможность адап-

тации режима пакетной передачи данных применительно к сетям с коммутацией каналов, что позволяет абонентам аналоговых сетей AMPS или сетей общего пользования ТФОП пользоваться услугами передачи данных.

В рамках стандарта IS-136+ планируется скорость передачи данных увеличить до 52 кбит/с за счет реализации «облегченного» варианта GPRS, получившего название GPRS-136 [59]. Развертывание GPRS в сети TDMA относительно несложно и экономически эффективно – основные затраты будут связаны с введением маршрутизатора и разработкой программных средств взаимодействия с внешними сетями.

В GPRS-136 физический канал передачи данных PDCH состоит из двух логических каналов в линии «вверх» – произвольного канала доступа RACH и канала трафика. В линии «вниз» PDCH включает четыре логических канала: широковещательный, вызывной, информационный и канал обратной связи с пакетной передачей PCF (Packet Channel Feedback). Последний тип канала используется для подтверждения ранее переданных пакетов.

Таким образом, при работе с шагом сетки частот 30 кГц базисом для конвергенции сетей GSM и TDMA может служить технология GPRS, а при смене шага сетки частот на 200 кГц в качестве основы для слияния двух технологий больше подходит EDGE.

## 5.7. Радиointерфейс IS-136 HS

### Версия IS-136 HS для сетей с микросотовой структурой

На этапе перехода к 3-му поколению в США были рассмотрены 7 вариантов систем, жестко увязанных с эволюционным развитием существующего стандарта TDMA (IS-136). Из них был выбран один вариант IS-136 HS O/V (IS-136 High Speed Outdoor/Vehicular), который основан на технологии EDGE. Главный аргумент в пользу такого выбора – возможность использования универсальной сетки частот с шагом 200 кГц и 8-канального TDMA кадра GSM.

Внедрение EDGE в стандарт IS-136 предполагается осуществить в 2 этапа. На первом реализуется вариант со скоростью передачи до 384 кбит/с, получивший название EDGE Compact, а на втором – EDGE Classic со скоростью передачи до 2,048 Мбит/с. Требуемая ширина полосы частот в EDGE Compact составляет 600 кГц (три канала по 200 кГц), а в EDGE Classic – 2,4 МГц<sup>30</sup>. Предоставление услуг на этом этапе будет осуществляться с помощью двухрежимных телефонов с изменяемой шириной полосы канала (30 кГц/200 кГц).

В версии стандарта IS-136 HS O/V вводятся два новых метода модуляции: квадратурная АМ с двоичным смещением BOQAM (Binary Offset QAM) и квадратурная АМ с четверичным смещением QOQAM (Quaternary Offset QAM). Новые виды модуляции обладают повышенной спектральной эффективностью, имеют меньший диапазон изменения огибающей по сравнению с обычной квадратурной модуляцией (QAM) и предъявляют менее жесткие требования к линейности выходных каскадов передатчика.

Формат кадра и механизм повторной передачи в стандарте IS-136 HS O/V сходен с тем, который используется в GSM. Некоторые отличия возникают в структуре канального интервала при использовании новых видов модуляции BOQAM/QOQAM (табл. 5.7).

<sup>30</sup> Полосы частот указаны без учета защитных промежутков.

Таблица 5.7. Структура канального интервала в стандарте IS-136 HS O/V

Содержание полей	IS-136 HS O/V (GMSK)		IS-136 HS O/V (QOQAM)	
	Номер	Длина поля	Номер	Длина поля
Конечные символы	0-2	3	0-1	2
Данные	3-60	58*)	2-83	82*)
Обучающая последовательность	61-85	26	84-111	28
Данные	86-143	58 *)	112-193	82*)
Конечные символы	144-146	3	194-195	2
Защитный интервал	147-155	8,25	196-207	12,333
Общее число символов	156,25		208,333	

\*) В состав информационных блоков данных включен 1 контрольный бит (stealing bit), т.е. в одном канальном интервале передается 114 битов при GMSK или 162 битов при BOQAM/QOQAM.

### Версия IS-136 HS для внутриофисной связи

Дальнейшее повышение пропускной способности возможно за счет перехода на каналы с полосой частот 1,6 МГц, а также использования режима временного дуплексного разноса (TDD). Скорость передачи символов на несущую увеличится до 2,6 Мсим/с (BOQAM) или 5,2 Мсим/с (QOQAM). Версия стандарта IS-136 HS I (Indoor Office) предназначена для передачи информации со скоростью 2,048 Мбит/с в микро- и пикосотовых зонах обслуживания.

Канальная архитектура в IS-136 HS I (Indoor) построена аналогичным образом, как в GSM, т.е. ее основным элементом является TDMA кадр, имеющий длину 4,615 мс. Каждый кадр состоит из 12 000 символов, которые могут быть распределены по 64 или 16 канальным интервалам (табл. 5.8). Возможен и смешанный вариант, при котором в одном кадре, могут передаваться данные разной длины. Асимметричный трафик, свойственный сети Internet, может быть реализован путем выделения различного количества канальных интервалов (КИ) в линиях «вниз» и «вверх».

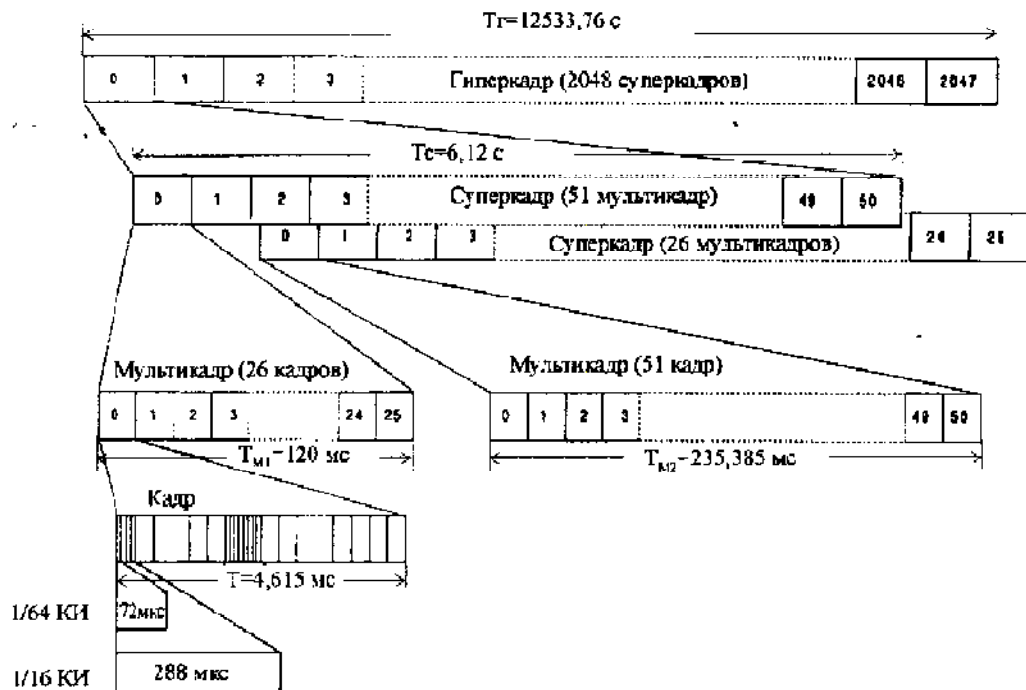
Таблица 5.8. Структура канального интервала в стандарте IS-136 HS

Длина канального интервала			Число символов в КИ	Версия стандарта
в долях кадра	в мкс	в мс		
1/64	72,115	15/208	187,5	IS-136 HS I
1/16	288,46	15/52	750	IS-136 HS I
1/8	576,92	15/26	208,33	IS-136 HS O/V

В одном канальном интервале 1/64 могут передаваться 187,5 символов, используемых для передачи различных видов трафика без каких-либо ограничений. В интервале 1/16 число передаваемых символов увеличивается до 750, что позволит организовать передачу мультимедийной информации со средней или высокой скоростью. Что же касается интервала 1/8, то он предназначен для использования только в сетях мобильной связи (версия стандарта IS-136 HS O/V).

В стандарте IS-136 HS I используются два типа мультикадров: первый из которых включает 26 кадров, а второй – 51 кадр. Суперкадр (длина 6,12 с) может объединять 26 или 51 мультикадр, а гиперкадр включает 2048 суперкадров (рис. 5.10).

Рис. 5.10.  
Временная  
канальная  
структура  
IS-136 HS I



Для передачи трафика в IS-136 HS I используются три типа пакетов: длинные пакеты LB (Long Burst), короткие пакеты SB1 (Short Burst 1) и SB2 (Short Burst 2).

Структура пакета выбрана с таким расчетом, чтобы приемлемое качество связи обеспечивалось при значительном разбросе задержки (delay spread). Канальные интервалы 1/64 предполагается использовать для передачи коротких сообщений, речи и других видов сообщений (пакеты SB1 и SB 2), а интервалы 1/16 – для передачи длинных пакетов LB. Пакеты могут различаться числом передаваемых символов данных и длительностью обучающей последовательности (табл. 5.9). В стандарте IS-136 HS I предложены два типа обучающих последовательностей (короткая и длинная), что позволяет устранить зависимость качества приема от импульсной характеристики канала, ожидаемого доплеровского сдвига частоты и отношения сигнал/шум.

Таблица 5.9. Содержание полей коротких и длинных пакетов (IS-136 HS I)

Содержание полей	Короткий пакет 1		Короткий пакет 2		Длинный пакет	
	Номер	Длина	Номер	Длина	Номер	Длина
Конечные символы	0-2	3	0-2	3	0-2	3
Данные	3-63	61	3-74	72	3-344	342
Обучающая последовательность	64-112	49	75-101	27	345-393	49
Данные	113-173	61	102-173	72	394-735	342
Конечные символы	174-176	3	174-176	3	736-738	3
Защитный интервал	177-187	10,5	177-187	10,5	739-749	11
Общее число символов	187,5		187,5		750	

### Канальное кодирование в IS-136 HS

Предложенная концепция высокоскоростной версии стандарта IS-136 обладает высокой гибкостью и позволяет адаптироваться в различных условиях эксплуатации за счет использования большого числа кодовых скоростей и разных комбинаций методов модуляции и кодирования. В IS-136 HS реализована идея мультискоростного режима работы, при котором производится гибкий выбор длины канального интервала, скорости кодирования и вида модуляции (табл. 5.10).

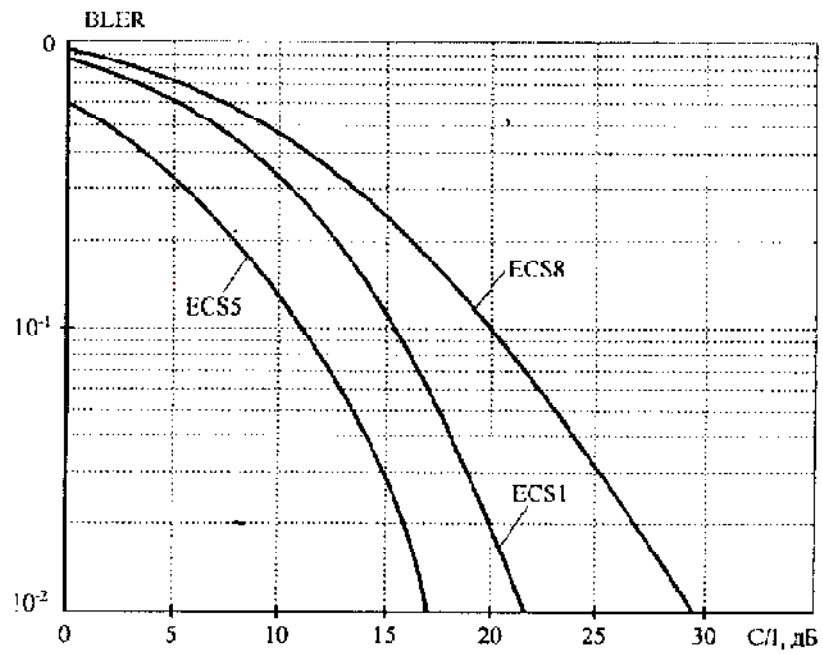
**Таблица 5.10. Основные характеристики схем кодирования в IS-136 HS (для одного канального интервала)**

Система кодирования	ECS1	ECS2	ECS3	ECS3b	ECS4	ECS5	ECS6	ECS7	ECS8
Показатель избыточности	0,51	0,63	0,74	0,84	1	0,35	0,45	0,52	0,7
Метод модуляции	QOQAM	QOQAM	QOQAM	QOQAM	QOQAM	BOQAM	BOQAM	BOQAM	BOQAM
Входной поток битов (20 мс на блок)	660	820	960	1094	1304	224	290	334	456
Скорость кодирования	1/3	1/2	1/2	1/2	нет	1/3	1/3	1/2	1/2
Выходной поток битов	1304	1304	1304	1304	1304	648	648	648	648
Суммарная скорость, кбит/с	65,2	65,2	65,2	65,2	65,2	32,4	32,4	32,4	32,4
Скорость передачи радиointерфейса, кбит/с	33,0	41,0	48,0	54,7	65,2	11,2	14,5	16,7	22,8

Результаты расчета частоты появления ошибок на блок (BLER) для трех схем кодирования в радиоканале без скачкообразной перестройки частоты приведены рис. 5.11. Оценка произведена для транспортного средства, движущегося со скоростью 3 км/ч, на частоте несущей 900 МГц.

Повышение достоверности передачи осуществляется с использованием протокола управления радиоресурсами и доступа к среде RLC/MAC. В отличие от протокола RLC, используемого в GPRS, новый протокол RLC/MAC включает не только адаптивную настройку радиолинии, но и автоматический запрос повторной передачи в соответствии с алгоритмом ARQ.

Рис. 5.11.  
Зависимость  
частоты  
появления  
ошибочных  
блоков от  
отношения  
сигнал/помеха  
(C/I) для кодов  
ECS1, ECS5 и ECS8



## 6. ТЕХНОЛОГИЯ cdma2000

### 6.1. Эволюция от cdmaOne к cdma2000

#### Основные характеристики cdmaOne

Одно из важных требований, предъявляемых к системам 2-го поколения – гибкость технологии и возможность ее эволюционного развития за счет наращивания пропускной способности при сохранении существующей инфраструктуры. Реализация новых требований в cdmaOne<sup>31</sup> возможна как в существующем диапазоне частот 824-849/869-894 МГц, так и в диапазоне 1900 МГц [20]. Основные технические параметры оборудования сетей cdmaOne определены в стандарте IS-95 и его модификациях.

Передача речи и данных в cdmaOne осуществляется кадрами длительностью 20 мс. Скорость передачи в процессе сеанса связи может изменяться от 1,2 до 9,6 кбит/с, однако в течение одного кадра она остается неизменной. В случае, если число ошибок в кадре превышает допустимое, то искаженный кадр стирается.

В cdmaOne обеспечивается высококачественная передача речи с использованием нескольких модификаций речевых кодеков: 8 и 13 кбит/с (QCELP – Qualcomm CELP) или 8 кбит/с (EVRC, IS-127). Базовый вариант основан на использовании алгоритма линейного предсказания с кодовым возбуждением CELP (code excited linear prediction) и переменной скоростью передачи. В зависимости от текущих параметров речи скорость может изменяться, принимая четыре значения: 1,2, 2,4, 4,8 и 9,6 кбит/с. Типовые оценки качества речи по шкале MOS – 3,7 балла (9,6 кбит/с) и 3,0 балла (4,8 кбит/с). Вносимая алгоритмом CELP задержка – не более 30 мс. Качество передачи речи, достигаемое в вокоде QCELP (13 кбит/с), очень близко к качеству проводных линий (4,02 балла).

Система на базе стандарта IS-95 построена по методу прямого расширения спектра (DS-SS/CDMA) на основе кодовых псевдослучайных последовательностей, сформированных на базе ансамбля ортогональных функций Уолша.

Преобразование сигналов на базовой станции осуществляется в несколько этапов. Вначале входной сигнал с переменной информационной скоростью (1,2-9,6 кбит/с) преобразуется в кодированный поток данных с фиксированной скоростью 19,2 кбит/с. Затем он расширяется по полосе и передается с чиповой<sup>32</sup> скоростью 1,2288 Мчип/с. И, наконец, на третьем завершающем этапе выходной поток в каждом канале разделяется на синфазную (I) и квадратурную (Q) составляющие. После линейного сложения с весами образуются групповые I и Q составляющие сигналов, которые передаются с использованием QPSK.

<sup>31</sup> cdmaOne – коммерческое название системы, разработанной по спецификации стандарта IS-95. Первая версия IS-95 была разработана компанией Qualcomm в 1994 г. Полная аббревиатура стандарта TIA/EIA/IS-95 указывает, что стандарт был одобрен Ассоциацией телекоммуникационной промышленности TIA (Telecommunications Industry Association) и Альянсом представителей электронной промышленности EIA (Electronic Industries Alliance).

<sup>32</sup> Чиповая скорость (от англ. chip rate) определяется как скорость следования элементарных символов сигнала с расширенным спектром. Обычно измеряется в Мчип/с, что эквивалентно английскому сокращению Mcps (megachip per second).



### Принципы формирования сигналов

В стандарте IS-95 используются три группы кодов: Уолша, короткие и длинные коды. Все эти коды являются общими для базовых и мобильных станций; однако выполняют разные функции (табл. 6.1).

**Таблица 6.1. Кодовые последовательности, используемые в стандарта IS-95**

Тип сигнала	Длина кода	Выполняемые функции	
		Базовая станция	Мобильная станция
Код Уолша	64	Кодовое уплотнение или разделение 64 CDMA-каналов	Обеспечение помехоустойчивого кодирования информации
Короткий код	32768	Разделение сигналов базовых станций по величине циклического сдвига	Короткий код с фиксированным циклическим сдвигом, используемый в качестве опорного сигнала в скремблере
Длинный код	$2^{42} \cdot 1$ ( $4,4 \cdot 10^{12}$ )	Прореженный длинный код, используемый в качестве опорной последовательности в скремблере	Длинный код с заданным циклическим сдвигом, используемый в качестве адресной последовательности

С базовой станции могут одновременно передаваться 64 канала, в том числе канал пилот-сигнала, синхроканал, 7 вызывных каналов (РСН) и 55 каналов трафика (ТСН). Сигналы всех каналов ортогональны, что гарантирует отсутствие взаимных помех между ними на одной станции. Внутрисистемные помехи в основном возникают от передатчиков других базовых станций, работающих на той же частоте, но с иным циклическим сдвигом псевдослучайной последовательности (ПСР).

Для передачи пилот-сигнала используется нулевая функция Уолша ( $W_0$ ), а для синхронизации – функция  $W_{32}$ . В синхроканал данные поступают со скоростью 1,2 кбит/с, а на входе модулятора их скорость увеличивается до 4,8 кбит/с. Так как скорость в синхроканале в 4 раза меньше, чем в вызывном или информационном каналах (19,2 кбит/с), то, соответственно, в нем обеспечивается более высокая помехоустойчивость.

Синхросообщение содержит данные о точном системном времени, параметрах короткого и длинного кодов, скорости передачи в вызывном канале, т.е. о всех параметрах, необходимых для установления начальной синхронизации.

Все базовые станции (БС) используют идентичные по структуре короткие коды, но с разным циклическим сдвигом, кратным 64, т.е. всего в сети могут функционировать не более 511 базовых станций. Правильная работа БС в cdmaOne гарантируется только в том случае, если их сигналы не накладываются друг на друга. Чтобы выполнить это условие, необходима жесткая синхронизация, которая в настоящее время обеспечивается с помощью спутниковой навигационной системы GPS.

В мобильной станции возможен когерентный прием сигналов с захватом несущей и регулировкой мощности. Прием сигналов базовых станций осуществляется с использованием RAKE приемника, имеющего в своем составе несколько каналов параллельной обработки.

После завершения процедуры синхронизации мобильная станция (МС) настраивается на канал персонального вызова и постоянно контролирует его в ожидании поступления сигнала вызова. Скорость передачи адаптивно изменяется от 1,2 до 9,6 кбит/с, что позволяет гибко адаптировать трафик к условиям распространения радиоволн. В МС используются два типа каналов: доступа АСН и трафика ТСН. Основные параметры канального кодирования и модуляции, используемые в базовых и мобильных станциях cdmaOne (IS-95), приведены в табл. 6.2.

**Таблица 6.2. Параметры канального кодирования и модуляции в IS-95 (чиповая скорость 1,2888 Мчип/с)**

Тип базовой станции	Базовая станция				Мобильная станция	
	PI	SYNC	PCH	TCH	ACH	TCH
Тип канала	PI	SYNC	PCH	TCH	ACH	TCH
Число одновременно передаваемых каналов	1	1	7	55	1	1
Входная скорость, кбит/с	—	1,2	2,4 4,8 9,6	1,2 2,4 4,8 9,6	4,8	1,2 2,4 4,8 9,6
Скорость кодирования	—	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3
Скорость на выходе сверточного кодера, кбит/с	—	4,8	4,8 9,6 19,2	2,4 4,8 9,6 19,2	14,4	3,6 7,2 14,4 28,8
Выходная скорость кодированного потока, кбит/с	—	4,8	19,2	19,2	28,8	28,8
Скорость после кодового преобразователя, кбит/с	—	—	—	—	307,2	307,2
Метод модуляции	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	OQPSK	OQPSK

В мобильной станции ортогональные функции Уолша также используются, но для других целей, т.е. не для уплотнения каналов, а для повышения помехоустойчивости. Каждой группе из 6 битов соответствует при передаче одна из 64 последовательностей Уолша. При передаче каждая МС использует длинный код с индивидуальным циклическим сдвигом, что дает возможность базовой станции ее однозначно идентифицировать.

Все МС в сети используют один и тот же длинный код. По величине его сдвига базовые станции различают сигналы обслуживаемых абонентов. Маски длинных кодов в прямом и обратном каналах совпадают. Стандарт IS-95 предполагает использование одной и той же частоты во всех сотах сети. Все МС используют тот же короткий код, что и в базовой станции. Однако циклический сдвиг фиксирован и одинаков для всех МС. Помехи, создаваемые другими базовыми станциями, работающими в той же полосе частот, в итоге и определяют предел пропускной способности.

В cdmaOne мобильная станция не излучает пилот-сигнал, а поэтому на базовой станции осуществляется некогерентная обработка. Этот недостаток будет устранен в новом стандарте cdma2000, где в прямом канале передается три разных типа пилот-сигнала, а в обратном – один.

Число абонентов в системе CDMA зависит от уровня взаимных помех. Чтобы его снизить, вводится управление излучаемой мощностью у мобильных станций. В стандарте IS-95 обеспечивается управление мощностью МС в динамическом диапазоне 84 дБ с шагом 1 дБ. Данные управления мощностью передаются регулярно со скоростью 800 бит/с. При передаче они добавляются к информационным символам.

В стандарте применяется раздельная обработка многолучевых сигналов с последующим их сложением, что обеспечивает отношение сигнал/шум 6-7 дБ. При раздельной обработке лучей используется несколько параллельно работающих каналов, что позволяет осуществить мягкий режим переключения мобильной станции при переходе из одной зоны связи в другую.

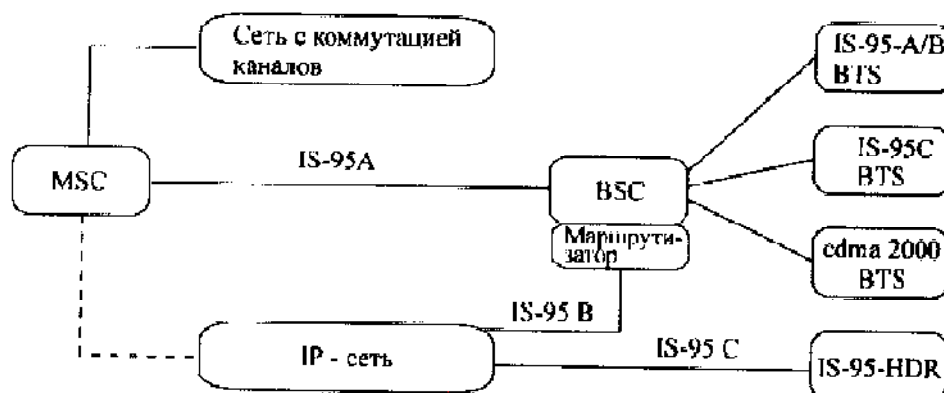
### Основные модификации cdmaOne

Технология стандарта CDMA непрерывно развивается, при этом основные принципы (версия IS-95A) сохраняются неизменными.

Новые возможности предоставляет версия стандарта IS-95B, в которой определены условия объединения нескольких каналов CDMA, организуемых в прямом направлении (от базовой станции к мобильной). Скорость передачи в IS-95B увеличивается до 28,8 кбит/с за счет объединения 2 каналов со скоростью 14,4 кбит/с, или в перспективе, до 115,2 кбит/с (8 x 14,4 кбит/с). Данная версия стандарта позволит еще до появления систем 3-го поколения предоставлять услуги Internet и других мультимедийных приложений с асимметричным трафиком.

Более совершенная версия стандарта IS-95C (рис. 6.1) направлена на повышение частотной эффективности и увеличения емкости телефонной сети в 2 раза. Данное предложение основано на введении квадратурного канала, по которому может передаваться такой же кодовый ансамбль сигналов (т.е. 64 кода Уолша), что и по синфазному каналу. Несмотря на эти изменения, система сохранит обратную совместимость со стандартами IS-95A и IS-95B, и будет занимать прежнюю полосу частот, равную 1,25 МГц. По сравнению с предыдущими версиями стандарта система позволит увеличить скорость передачи до 144 кбит/с. Предлагаемые усовершенствования обеспечивают возможность сокращения энергопотребления терминала.

Рис. 6.1.  
Эволюция стандарта IS-95



Помимо этого разрабатывается модификация стандарта IS-95-HDR, которая призвана расширить возможности существующего стандарта IS-95 по высокоскоростной передаче данных. Новая версия дает возможность организовать канал передачи данных со скоростью выше 1 Мбит/с в прямом канале при значительно более низкой скорости в обратном канале. Возможности, которые предоставит IS-95-HDR, в первую очередь, ориентированы на асимметричный трафик сетей передачи данных. Совместное использование IS-95C и IS-95-HDR позволит сблизить характеристики существующих технологий с требованиями систем 3-го поколения.

Несмотря на то, что предлагаемые усовершенствования продлят срок жизнеспособности cdmaOne, однако имеющиеся в радиоинтерфейсе IS-95 ограничения не позволят обеспечить предоставление новых видов услуг. Последующее развитие технологии CDMA будет происходить в рамках создания семейства сетей IMT-2000.

### Технология CDMA-450

Ранее уже говорилось о том, что на пленуме MoU NMT (см. раздел 5.5) было принято решение о замене аналогового стандарта NMT-450 на цифровой GSM-400. Однако такое ре-

шение носило компромиссный характер, так как допускало к использованию два варианта: GSM-400 и CDMA-450. Поэтому весьма вероятно, что CDMA-450 будет использована в качестве промежуточной технологии на пути к cdma2000.

Вариант CDMA-450 был разработан совместно компаниями Hughes, Samsung и Qualcomm, входящими в группу CDG (CDMA Development Group). Концепция построения CDMA-450 основана на структуре сигналов cdmaOne и cdma2000. Одна несущая в CDMA-450 занимает полосу 1,775 МГц (с учетом защитных полос), две несущие – полосу 3,025 МГц и три – 4,275 МГц. Таким образом, в частотном диапазоне NMT-450 (2x4,5 МГц) можно реализовать систему с 1-3 несущими при возможном параллельном функционировании аналоговой сети NMT-450.

Расчеты, проведенные группой CDG<sup>33</sup>, показывают, что при меньшей мощности мобильных станций может быть обеспечена большая, чем в GSM-400, зона покрытия (табл. 6.3). Пропускная способность CDMA-450 при использовании одной несущей (полоса 1,775 МГц) и вероятности блокирования вызова не более 2% составляет 44,7 Эрл/соту (мобильная связь) и 106,8 Эрл/соту (WLL). В случае полнодиапазонной реализации CDMA-450, т.е. с использованием трех несущих (общая полоса 4,275 МГц), пропускная способность составит 165,9 Эрл/соту.

**Таблица 6.3. Сравнительные характеристики покрытия для сельской местности (варианты CDMA-450 и GSM-400).**

Зона обслуживания	Пригородная зона		Сельская местность	
	CDMA-450	GSM-400	CDMA-450	GSM-400
Стандарт				
Мощность мобильной станции, Вт	0,2	2	0,2	2
Радиус соты (внутри помещения), км	6,04	5,19	20,8	14,92
Радиус соты (вне помещения), км	11,95	10,27	41,23	30,77

Для сравнения отметим, что пропускная способность в варианте GSM-400 с одной несущей (полоса 2,4 МГц) и при той же вероятности блокирования вызовов – 24,6 Эрл/соту. Для того, чтобы достичь тех же показателей, что в CDMA-450, потребуется применение специальных методов повышения помехоустойчивости, например, применение адаптивных антенн или переход на половинную скорость передачи.

## 6.2. Принципы построения и архитектура

### Отличительные особенности

В основе cdma2000 лежит принцип эволюционного перехода от существующего стандарта IS-95 и его последующих модификаций к широкополосной CDMA системе. В проекте системы cdma2000 выполняются все требования, предъявляемые к перспективным системам 3-го поколения, а также обеспечивается обратная совместимость с системой cdmaOne.

Отличительными особенностями cdma2000 являются: широкий диапазон скоростей передачи информации от 1,2 кбит/с до 2,048 Мбит/с с возможностью гибкого изменения ширины спектра излучаемых сигналов, использование когерентного приема на мобильных и базовых станциях, введение быстродействующей схемы управления мощностью в прямом и обратном каналах, а также работа с переменной длиной кадра 5 мс и 20 мс.

<sup>33</sup> CDMA-450 Proposal. NMT MoU, 1998

Архитектура системы cdma2000 предусматривает возможность гибкого изменения конфигурации в зависимости от требований оператора и выделенной полосы частот. Полоса частот системы может изменяться от 1,25 МГц до 15 МГц в зависимости от региона обслуживания и требований по частотной совместимости с другими сетями подвижной связи.

Отличительными особенностями предлагаемой архитектуры cdma2000 являются:

- *универсальность* в предоставлении широкого ассортимента услуг (передача речи, пакетной информации, коммутируемых данных и мультимедиа) с возможностью выполнения требований IMT-2000 к качеству обслуживания для различных категорий пользователей;
- *эффективность* в построении системы сигнализации за счет снижения затрат пропускной способности на ее реализацию при передаче различных видов информации (речь, данные или одновременно речь и данные);
- *гибкость* в обеспечении интерфейса с существующими и перспективными IP-сетями или сетями с коммутацией каналов ISDN;
- *расширяемость* в части введения новых видов услуг и протоколов без предъявления дополнительных требований к существующим сетям;
- *наращиваемость* пропускной способности сети за счет введения новых сот, секторных антенн и базовых станций;
- *главная деградируемость* в случае отказа отдельных элементов сети;
- *согласованность* с иерархической структурой систем 3-го поколения, описанной в рекомендации ITU M.1225;
- *эволюционный переход* от существующих систем cdmaOne к перспективным сетям 3-го поколения.

При выборе концепции построения системы cdma2000 одним из основных условий являлось обеспечение обратной совместимости с существующими сетями 2-го поколения. Это обстоятельство предопределило выбор в качестве чиповой скорости  $R=1,2288$  Мчип/с и ширины спектра по уровню 3 дБ – 1,25 МГц.

Дальнейшее расширение спектра основано на  $N$ -кратном увеличении ширины спектра. В cdma2000 предложены следующие пять значений ширины спектра:  $1X$ ,  $3X$ ,  $6X$ ,  $9X$  и  $12X$ , где  $X = 1,25$  МГц.

### Варианты MC-CDMA и DS-CDMA

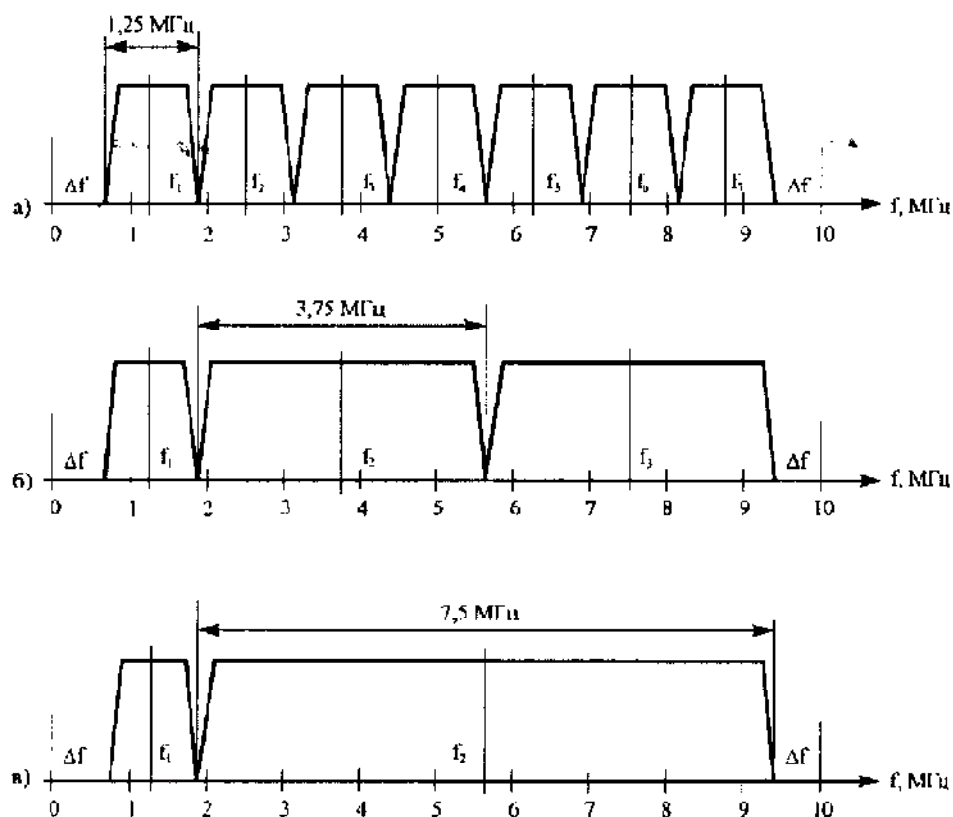
В проекте cdma2000 предлагаются два варианта построения системы: с многочастотной несущей MC-CDMA (Multi Carrier CDMA) и с прямым расширением спектра DS-CDMA (Direct Sequence CDMA).

В варианте многочастотной CDMA модулированные символы уплотняются на нескольких несущих с шириной спектра 1,25 МГц на каждой поднесущей. Число поднесущих  $N$  может изменяться в зависимости от ширины спектра ( $N=1, 3, 6, 9$  и  $12$ ). На каждой поднесущей информация передается с чиповой скоростью 1,2288 Мчип/с.

Такой принцип построения cdma2000 позволяет эффективно использовать весь рабочий диапазон с шириной полосы 5, 10, 15 или 20 МГц. В качестве примера на рис. 6.2 приведены три способа использования полосы частот при различных вариантах построения системы cdma2000.

**Рис. 6.2.**  
**Варианты**  
**использования**  
**полосы частот**  
**10 МГц при**  
**различных**  
**вариантах**  
**построения**  
**системы**

- а) MC-CDMA ( $N=7$ )  
 б) DS-CDMA  
 ( $1X + 3X + 3X$ ),  
 где  $X = 1,25$  МГц  
 в) DS-CDMA ( $1X + 6X$ )



Например, в полосе 10 МГц можно разместить 7 каналов по 1,25 МГц (вариант MC-CDMA) или 1 канал с шириной спектра 1,25 МГц и 2 канала с шириной спектра 3,75 МГц (вариант DS-CDMA) или 1 канал с шириной спектра 1,25 МГц и 1 канал с шириной спектра 7,5 МГц (вариант DS-CDMA). Для обеспечения совместимости с другими системами по краям спектра введены защитные интервалы шириной 625 кГц.

Предлагаемый подход к проектированию широкополосной системы обеспечивает не только совместимость с существующими системами, но и позволяет гибко использовать полосы частот в эфире, реализуя различные стратегии развертывания сети.

Система cdma2000 обеспечивает непрерывный режим передачи, что позволяет снизить пиковую мощность излучаемого сигнала, минимизировать уровень помех и обеспечить возможность работать с низкими скоростями передачи.

Длина кадра составляет 5 и 20 мс при передаче управляющей информации и 20 мс при передаче данных и речи. Перемежение и повторение данных осуществляется по всей длине кадра, что обеспечивает улучшение качества обслуживания за счет временного разнесения. Использование более коротких кадров могло бы снизить задержку при передаче речи, но это привело бы к снижению показателей помехоустойчивости вследствие более короткого интервала перемежения.

Во втором варианте сигнал передается с расширением спектра на одной несущей с чиповой скоростью, кратной 1,2288 Мчип/с, при этом может быть получен следующий ряд скоростей  $R=N \times 1,2288$  Мчип/с, где  $N=1, 3, 6, 9, 12$ . Базовая скорость в проекте cdma2000 принята равной  $R=3,6864$  Мчип/с ( $N=3$ ).

### 6.3. Сравнительный анализ cdma2000 и WCDMA

Ранее уже говорилось о конкурентной борьбе, которая развернулась на этапе гармонизации проектов cdma2000 и WCDMA, и чем окончилось противостояние между компаниями Ericsson и Qualcomm. Принятое в конце 1999 г. компромиссное решение открыло дорогу к 3-му поколению сразу двум технологиям. Североамериканский проект cdma2000 окончательно дорабатывается в рамках стандарта IMT-TC (вариант MC-CDMA), а работы по WCDMA и UTRA разделились на два направления. Первый стандарт IMT-DS базируется на технических решениях WCDMA FDD и UTRA FDD (для парных полос частот), а второй IMT-TC (для непарных полос частот) основан на технических решениях европейского проекта UTRA TDD и китайского проекта TD-SCDMA.

Ключевое отличие cdma2000 и WCDMA, которое стало предметом острой полемики, – разные чиповые скорости 3,6884 и 3,84 Мчип/с. Выбор чиповой скорости в проекте cdma2000 произведен из условия обеспечения обратной совместимости с cdmaOne (3х1,2288 Мчип/с) и возможности использования на переходном этапе к IMT-2000 двухрежимных терминалов типа cdma2000/cdmaOne. В отличие от cdmaOne, разрабатываемый в Европе и Японии стандарт WCDMA не преследует целей обеспечения совместимости с существующими сетями связи, хотя заложенные в нем решения базируются на использовании единых базовых сетей GSM MAP, ANSI-41 и IP-сетей.

Для разделения сигналов базовых станций в cdma2000 используются короткие коды длиной  $2^{15}$  с разными циклическими сдвигами, что требует их взаимной синхронизации. Асинхронный принцип построения сети WCDMA делает ее независимой от внешнего источника синхронизации. Такая возможность обеспечивается за счет использования разных кодов Голда (для разделения базовых станций).

Начальная синхронизация мобильных станций в системе cdma2000 обеспечивается по общему пилот-сигналу, излучаемому каждой базовой станцией. Так как все БС в сети синхронны, то никакой дополнительной синхронизации не потребуется. После захвата пилот-сигнала мобильная станция определяет все параметры, необходимые для когерентной демодуляции сигнала и обеспечения хэндовера.

Процедура начального поиска в системе WCDMA более сложная, так как осуществляется в три этапа. Однако с точки зрения быстродействия она обладает преимуществом, т.к. на каждом этапе область неопределенности сравнительно невелика. Время установления начальной синхронизации в cdma2000 несколько выше из-за большой априорной неопределенности [72].

Между рассматриваемыми технологиями есть и много общего. Прежде всего, для увеличения пропускной способности в них используется мультикодовая передача, позволяющая выделить одному пользователю сразу несколько каналов. Оба стандарта предусматривают динамическое управление мощностью в прямом и обратном каналах связи, хотя в проекте WCDMA используется более быстродействующая схема управления мощностью. Повышение помехоустойчивости обеспечивается за счет разнесения на передаче, использования сверточных и турбо-кодов и др. Более подробно особенности каждой из двух технологий будут рассмотрены в последующих разделах книги. Краткие сравнительные характеристики системы cdma2000 и WCDMA приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Сравнительные характеристики cdma2000 и WCDMA

Характеристика \ Система	cdma2000	WCDMA	
Диапазон частот, МГц	824-849 / 869-894 и 1900	1920-1980; 2110-2170	
Полоса частот, МГц	3,75 (3 x 1,25) – базовая 1,25 x N, где N=1, 6, 9, 12	5 – базовая 1,25; 10 и 20	
Метод доступа	MC-CDMA	DS-SSMA	
Совместимость	Обратная совместимость с cdmaOne	Совместная эксплуатация с GSM и обеспечение хэндовера	
Чиповая скорость, Мчип/с	3,6864 (3x1,2288) – базовая Nx1,2288, где N = 1, 6, 9, 12	3,84 (базовая), 7,78 и 15,56	
Кодирование	Сверточный код (K=9; R=1/2, 1/3, 1/4), турбо-код (K=4)	Сверточный код (K=9; R=1/2, 1/3) + код Рида-Соломона, турбо-код (K=3)	
Синхронизации базовых станций	Синхронная работа	Асинхронная работа (возможна синхронная)	
Ортогональные коды	Функции Уолша и квазиортогональные коды	Ортогональные коды переменной длины OVSF с коэффициентом расширения 1-512 (4-256 в UTRA)	
Расширяющие последовательности	Короткие коды длиной $2^{15}$ и длинные коды длиной ( $2^{42}-1$ )	Коды Голда	
Схема поиска сот	По пилот-сигналу	Трехэтапный поиск (поиск кода Голда, кадровая синхронизация, идентификация скремблирующего кода)	
Длина кадра, мс	5, 20	10	
Модуляция данных	«вниз»	QPSK	QPSK
	«вверх»	BPSK	BPSK
Расширяющая модуляция	«вниз»	QPSK	QPSK
	«вверх»	QPSK	QPSK или HPSK (OCQPSK)
Метод автоматического переключения каналов	Мягкий, жесткий (межчастотный)	Мягкий, жесткий (межчастотный или межсистемный)	
Управление мощностью	Скорость 0,8 кбит/с, шаг управления 0,25; 0,5 и 1,0	Скорость 1,6 кбит/с, шаг управления 0,25-1,5	

## 6.4. Услуги и протоколы

### Услуги верхних уровней

Технология cdma2000 имеет открытую архитектуру с гибко изменяемой конфигурацией и протоколами, которые охватывают физический, каналный и верхние уровни<sup>34</sup>. Обобщенная диаграмма функционально взаимосвязанных физического, каналного и более высоких уровней приведена на 6.3. Рассмотрим подробнее функции, обеспечиваемые на каждом из перечисленных выше уровней.

<sup>34</sup> Верхние уровни охватывают все уровни эталонной модели 3GPP выше второго.



Рис. 6.3. Канальная архитектура системы cdma2000

Верхние уровни	IS-95 2G сигнализация (уровень 3)	cdma 2000 сигнализация (верхние уровни)	Другие виды сигнализации	Услуги передачи пакетов	Речевые услуги	Услуги коммутируемых сетей
LAC подуровень	Интерфейс услуг подуровня LAC					
	IS-95 2G сигнализация (уровень 2)	cdma 2000 сигнализация (уровень 2)	Другие виды сигнализации (уровень 2)	Пакетные данные (уровень 2)	Нуль протокол (уровень 2)	Коммутируемые данные (уровень 2)
MAC подуровень	PLICF тип 1 (сигнализация)			PLICF тип 2 (данные)		
	PLDCF тип 1			PLDCF тип 2		
	PLICF уплотнение и QoS подуровень					
Физический уровень	Физический уровень					

Основной задачей верхних уровней является обработка потоков данных конечного пользователя, служебных сообщений и сигнализации. Различают три основные категории услуг:

- речевые услуги, включающие доступ в сети общего пользования (ТФОП), радиотелефонную связь между мобильными станциями, IP телефония;
- услуги передачи данных (IP, ISDN, B-ISDN, SMS, мультимедиа);
- передача управляющей и контрольной информации (сигнализация).

Иерархическая структура cdma2000 ориентирована на обеспечение широкополосных видов услуг, включая мультимедиа. Предоставление таких услуг потребует объединения нескольких или даже всех видов обслуживания (т.е. речи, пакетной информации и потоков с коммутацией каналов), которые будут передаваться по одному радиоканалу.

Механизм управления имеет гибкую структуру, позволяющую динамически изменять показатели обслуживания (QoS) для каждого активного сеанса связи. Наличие гибкой архитектуры обеспечивает возможность совместимости системы cdma2000 с существующими сетями. Речевой трафик от совместимых декодеров (например, EVRC) может переноситься непосредственно на основной канал (fundamental channel) без предоставления дополнительных возможностей LAC и MAC уровней. В случае передачи речевого трафика в пакетном режиме (IP телефония) система cdma2000 также сможет предоставлять все услуги канального уровня. И, наконец, в случае передачи речевого трафика сетей с коммутацией каналов будет реализован режим с динамическим изменением показателей качества обслуживания QoS.

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 (Connectionless Internetworking Protocol).

Протоколы сигнализации, реализованные в системе cdma2000, способны поддерживать два режима:

- IS-95 2G сигнализацию, обеспечивающую совместимость со стандартом IS-95;
- cdma2000 сигнализацию, предоставляющую расширенные возможности и обеспечивающую поддержку услуг IMT-2000.

Кроме того, система cdma2000 обеспечивает совместимость с верхними уровнями сигнализации других систем, определенных в рекомендациях ITU. Это достигается двумя способами:

- эмуляторная сигнализация (emulated signaling), позволяющая непосредственно преобразовывать совместимый запрос, например, обычный телефонный вызов, в соответствующий запросный сигнал системы cdma2000 (или IS-95);
- инкапсулированная сигнализация (encapsulation signaling), позволяющая транслировать в прозрачном режиме на канальный уровень запросы услуг сигнализации, которые непосредственно не совместимы с возможностями, предоставляемыми системой cdma2000 (или IS-95).

### Услуги LAC и MAC подуровней

Канальный уровень является транспортной средой между верхними и физическим уровнем. Он обеспечивает механизмы управления сетевыми ресурсами и поддержку протоколов с учетом различных требований по достоверности, качеству обслуживания и времени ожидания.

Канальный уровень подразделяется на два подуровня: управление доступом к каналу LAC (Link Access Control) и управление доступом к среде MAC (Medium Access Control).

Основное назначение LAC подуровня – организация прямых логических каналов (типа «точка-точка») между равноправными объектами верхнего уровня. Чтобы обеспечить логическое управление на этом уровне необходимы гибкие процедуры, удовлетворяющие требованиям различных видов обслуживаемых объектов. На канальном уровне используется стек протоколов, который включает: протокол сигнализации IS-95, протокол сигнализации cdma2000, протокол пакетной передачи, протокол передачи коммутируемых потоков данных и так называемый нулевой протокол (null protocol). Последний протокол используется в том случае, когда данные с одного уровня непосредственно передаются на другой, т.е. услуги, предоставляемые MAC уровнем, адекватны требуемому качеству обслуживания (отпадает необходимость в использовании ARQ протоколов и т.п.).

Подуровень MAC обеспечивает управление доступом к радиоканалам и координирует использование радиоресурсов между различными логическими каналами подуровня LAC. Цель MAC добиться такого распределения ресурсов, чтобы свести к минимуму конфликты между обслуживаемыми объектами, т.е. мобильными станциями. И, наконец, подуровень MAC ответственен за доставку показателей качества обслуживания, которые могут запрашиваться обслуживаемыми LAC объектами (напр., резервные радиоресурсы, приоритеты и др.).

Подуровень MAC, в свою очередь, также подразделяется на три слоя, выполняющие следующие функции:

- PLICF (Physical Layer Independent Convergence Function) – функция физического уровня с независимой конвергенцией;
- PLDCF (Physical Layer Dependency Convergence Function) – функция физического уровня с зависимой конвергенцией;
- PLICF Mux и QoS подуровень.

Функция PLICF – элемент MAC уровня, который обеспечивает обслуживание LAC подуровня и объединяет все рабочие процедуры и функции, которые не являются специфическими для физического уровня. Типы логических каналов, формируемых на этом подуровне, и их функции приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5. Типы логических каналов подуровня MAC PLICF

Тип канала	Название канала	Выполняемые функции
CSCH	Common Signaling Channel Общий канал сигнализации	Канал типа «точка-многоточка» для передачи данных сигнализации верхних уровней
CTCH	Common Traffic Channel Общий канал трафика	Канал типа «точка-многоточка» для передачи коротких пакетов LAC подуровня в прямом и обратном направлениях
DMCH	Dedicated MAC Channel Выделенный канал MAC уровня	Канал типа «точка-точка», используемый для передачи сообщений MAC подуровня в прямом и обратном направлениях
DSCH	Dedicated Signaling Channel Выделенный канал сигнализации	Канал типа «точка-точка» для передачи данных сигнализации верхних уровней (PLICF тип 1)
DTCH	Dedicated Traffic Channel Выделенный канал трафика	Канал типа «точка-точка», используемый для передачи данных в прямом и обратном направлениях (PLICF тип 2)

MAC PLDCF подуровень объединяет все рабочие процедуры, которые являются специфическими для физического уровня. Таких процедур несколько: уплотнение и разуплотнение потоков данных, объединение служебных сообщений с информационными потоками и др.

Существует два основных типа функций на каждом из подуровней PLICF и PLDCF. Первая из них связана с предоставлением услуг сигнализации, а вторая – с услугами пакетной передачи информации или данных коммутируемых сетей с коммутацией каналов.

В системе cdma2000 предполагается использовать 4 типа протоколов радиобмена:

- каналный протокол радиосвязи (RLP), обеспечивающий повышенную надежностью доведения информации в прозрачном и непрозрачном режимах работы;
- пакетный протокол радиосвязи (RBP), который реализует алгоритм надежной доставки относительно коротких фрагментов данных по информационному каналу общего пользования;
- каналный протокол радиосигнализации (SRLP), аналогичный RLP, но со структурой, оптимизированной для передачи данных сигнализации по выделенному каналу связи;
- пакетный протокол радиосигнализации (SRBP), аналогичный RBP, но со структурой, оптимизированной для передачи управляющей и контрольной информации по общему каналу сигнализации.

В непрозрачном режиме (протокол типа ARQ) обеспечивается повторная передача сегментов данных, которые не были доставлены собственными средствами физического уровня. Очевидно, что непрозрачный режим связан с введением дополнительной задержки в радиоканале.

В прозрачном режиме не осуществляется повторная передача пропущенных сегментов данных, т.е. не вводится дополнительная задержка. Этот режим наиболее подходит для передачи речевых сообщений.

## 6.5. Канальная структура cdma2000

Взаимодействие между объектами разных уровней осуществляется с использованием логических каналов, структура и выполняемые функции которых определяются видом передаваемой информации. Сегодня логические каналы стали неотъемлемой частью любых цифровых стандартов сотовой и транкинговой связи 2-поколения (cdmaOne, GSM, TETRA), однако используемый в cdma2000 канальная структура имеет ряд особенностей.

### Об используемой терминологии

В стандарте cdma2000 все логические каналы, также как и в системе cdmaOne, разделены на две группы. Каналы, предназначенные для передачи информации с базовой на мобильную станцию, называются прямыми, а каналы для передачи с мобильной станции на базовую – обратными.

При формировании названия логических и физических каналов используются буквы, обозначающие специальные характеристики (признаки) данного класса. Первая буква всегда указывает на направление связи: F (Forward) – прямой канал, R (Reverse) – обратный канал, а две последние буквы – всегда признак канала – CH (channel). Другие буквы в обозначении канала характеризуют следующие признаки:

*назначение канала* – передача трафика T (Traffic) или управляющей информации C (Control);

*тип канала* – основной F (Fundamental) или дополнительный S (Supplemental);

*способ организации связи* – выделенный канал D (Dedicated) типа «точка-точка», организуемый между базовой и одной из мобильных станций или общий канал C (Common) типа «точка-многоточка», доступный группе или всем мобильным станциям, расположенным в одной соте;

*функции, выполняемые в общем канале* – канал доступа A (Access) или пейджинговый (вызывной) канал P (Paging);

*служебные и вспомогательные каналы*: вспомогательный A (Auxiliary), канал пилот-сигнала PICH (Pilot), синхροканал SYNC.

В cdma2000 сохранена существующая в стандарте IS-95 канальная структура, однако число логических каналов увеличено с 9 до 15 (табл. 6.6). Прежде всего, введены 3 дополнительных пилот-сигнала: два вспомогательных CAPICH (Common Auxiliary PICH) и DAPICH (Dedicated Auxiliary PICH) в прямом канале и R-PICH – в обратном канале. Новые каналы используются в случае разнесения антенн на базовой станции (CAPICH), при применении антенн с узким лучом у абонента (DAPICH) и для установления начальной синхронизации на базовой станции (R-PICH).

### Пилотные и вызывные каналы

Канал передачи пилот-сигнал PICH (Pilot Channel) в CDMA играют важную роль. Он излучается каждой базовой станцией непрерывно в широкополосном 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 обеспечение хэндовера.

Использование общего пилот-сигнала PICH позволяет более точно и эффективно оценить характеристики каналов с замираниями и обеспечить ускоренное обнаружение слабых сигналов по сравнению со случаем использования индивидуальных пилот-сигналов. 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 снизить суммарные затраты пропускной способности.

Измерение уровня пилот-сигнала позволяет оценить коэффициент передачи радиоканала и фазу принимаемых сигналов, однако не во всех случаях. Если антенна базовой станции разделена на секторы, в каждом из которых формируется узкий луч, то такой пилот-сигнал не может быть использован для оценки характеристик каналов.

Таблица 6.6. Типы логических каналов

Тип канала	Название канала	
F-CAPICH	Forward Common Auxiliary Pilot Channel	Прямой общий вспомогательный пилотный канал
F-CCCH	Forward Common Control Channel	Прямой общий канал управления
F-DAPICH	Forward Dedicated Auxiliary Pilot Channel	Прямой выделенный вспомогательный пилотный канал
F-DCCH	Forward Dedicated Control Channel	Прямой выделенный канал управления
F-FCH	Forward Fundamental Channel	Прямой основной канал
F-PCH	Forward Paging Channel	Прямой пейджинговый канал
F-PICH	Forward Pilot Channel	Прямой пилотный канал
F-SCH	Forward Supplemental Channel	Прямой дополнительный канал
F-SYNC	Forward Sync Channel	Прямой синхроканал
R-ACH	Reverse Access Channel	Обратный канал доступа
R-CCCH	Reverse Common Control Channel	Обратный общий канал управления
R-DCCH	Reverse Dedicated Control Channel	Обратный выделенный канал управления
R-FCH	Reverse Fundamental Channel	Обратный основной канал
R-PICH	Reverse Pilot Channel	Обратный пилотный канал
R-SCH	Reverse Supplemental Channel	Обратный дополнительный канал

Применение антенных решеток и пространственного разнесения потребует для оценки характеристик каналов формирования специальных пилот-сигналов F-CAPICH и F-DAPICH. Вспомогательные пилотные каналы уплотняются аналогичным образом, как и другие логические каналы, т.е. на основе использования различных ортогональных кодов Уолша. Вследствие этого структура таких сигналов имеет вид, отличный от традиционного кода пилот-сигнала типа «все нули».

Образование  $N$  вспомогательных каналов F-CAPICH осуществляется с использованием коротких кодов Уолша  $W_i^m$  (где  $i$  – индекс,  $m$  – длина кода Уолша). Длинная последовательность Уолша формируется путем последовательного повторения  $N$  раз кода  $W_i^m$ , причем в каждой из последовательностей символы изменяют свою полярность на противоположную. Таким образом, могут быть образованы биортогональные вспомогательные пилот-сигналы, отличающиеся лишь видом последовательности  $W_i^m$ .

Прямой выделенный канал F-DAPICH 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-DAPICH передается в каждом узком луче, выделенном для обслуживания отдельных мобильных станций.

Обратный канал R-PICH используется для установления начальной синхронизации, отслеживания временных меток, когерентного восстановления несущей в RAKE приемнике и измерения уровня мощности сигнала.

Синхроканал F-SYNC используется мобильной станцией для установления начальной синхронизации. Структура синхроканала сходна с той, которая используется в стандарте IS-95. Что же касается различных модификаций синхроканала для систем DS-CDMA при  $N > 3$ , то вопрос о выборе их структуры требует дальнейшего изучения.

В системе cdma2000 на базовой станции формируется несколько пейджинговых каналов F-PCH. По этим каналам передаются вызывные сигналы для мобильных абонентов со скоростью 4,8 или 9,6 кбит/с.

Многостанционный доступ осуществляется по каналу ACH (Access Channel). Кроме него, в прямом и обратном направлении связи дополнительно введены общий CCH и выделенный DCCN каналы управления, которые по своему назначению аналогичны PCH в прямом и ACH в обратном канале, однако с более расширенными функциональными возможностями. Принципы формирования различных типов физических каналов (пилотных, пейджинговых, выделенных и др.) иллюстрируются в Приложении 2.

### Основные и дополнительные каналы

В системе cdma2000 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 используются четыре типа логических каналов: два в направлении «базовая станция-абонент» (F-FCH и F-SCH) и два в обратном направлении (R-FCH и R-SCH).

Отличительной особенностью основного и дополнительного каналов является возможность работать с переменной скоростью и обеспечивать формирование различных размеров кадра (20 мс 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 cdma2000 могут адаптироваться под различные виды обслуживания и размеры кадра с использованием двух скоростных рядов RS (rate set), параметры которых приведены в табл. 6.7. Определение и выбор скорости на приеме осуществляется в автоматическом режиме по входному информационному потоку.

Таблица 6.7. Скоростные ряды RS1 и RS2, используемые в cdma2000

Номер режима	1	2	3	4
RS1, бит/с	1500	2700	4800	9600
RS2, бит/с	1800	3600	7200	14400

## 6.6. Кодирование и перемежение

### Сверточное кодирование и перемежение

Помехоустойчивое кодирование в cdma2000 обеспечивается с использованием сверточных и турбо-кодов. Сверточный код ( $K=9$ ) используется во всех каналах F-FCH и F-SCH, а также ряде других физических каналов, если их скорость не превышает 14,4 кбит/с. При более высоких скоростях сверточный код, хотя и может применяться, однако уступает более эффективному турбо-коду.

Как известно [79], выбор скорости кодирования ниже  $R=1/4$  невыгоден, так как реально получаемый выигрыш незначителен, а сложность декодирования резко возрастает. Так, сверточный код с параметрами ( $K=9$ ,  $R=1/4$ ) обеспечивает выигрыш около 0,5 дБ по сравнению с кодом ( $K=9$ ,  $R=1/2$ ) даже в каналах с замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом. В проекте cdma2000 сверточный кодер реализован с параметрами, приведенными в табл. 6.8.

**Таблица 6.8. Коэффициенты многочлена для сверточного кода с кодовым ограничением  $K=9$  (значения коэффициентов даны в восьмеричной форме)**

Скорость кодирования	Коэффициенты многочлена			
	$g_0$	$g_1$	$g_2$	$g_3$
1/2	753	561	—	—
1/3	557	663	711	—
1/4	765	671	513	473

Для борьбы с замираниями используется блочное перемежение, при котором изменяется порядок следования символов в пределах одного кадра длительностью 20 мс. В основном и выделенном канале управления перемежение символов осуществляется внутри кадра длительностью 20 с или 5 мс.

Операция скремблирования данных применяется в пейджинговом и выделенном канале управления, основном и дополнительном каналах. Скремблирование осуществляется путем сложения по модулю два выходного потока данных внутриблочного перемежителя с длинным кодом.

Наличие большого количества логических каналов привело к необходимости согласования входного информационного потока с переменной скоростью передачи с фиксированным потоком данных на входе широкополосного модулятора. Такая операция реализуется за счет  $n$ -кратного повторения кодированных символов блоков данных и/или периодического исключения («выкалывания») данных.

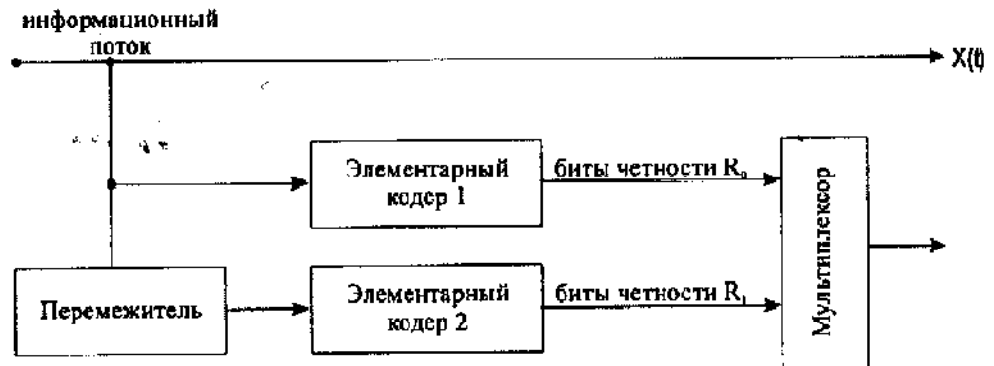
Коэффициент повторения в различных конфигурациях логических каналов может быть равен  $2^n$ , где  $n_{\max}=4$ . При максимальной скорости входного потока  $R_{\max}=9,6$  кбит/с (или 14,4 кбит/с) символы не повторяются. При снижении скорости в  $1/2^n$  кодированные символы могут повторяться  $2^n$  раз.

В случаях, когда объем кодированных данных будет превышать требуемое значение выходной скорости, применяется процедура периодического «выкалывания» данных, например, путем исключения каждого 5 или 9 символа из кодированной последовательности.

### Турбо-кодирование

Принцип формирования турбо-кода иллюстрируется на рис. 6.4, где представлена обобщенная структурная схема турбо-кодера. Процедура кодирования основана на использовании двух систематических рекурсивных сверточных кодов. Входной сигнал  $x$ , состоящий из  $k$  битов, подается на первый элементарный кодер непосредственно, а на второй — через перемежитель, который осуществляет перестановку элементов в блоке из  $k$  битов в псевдослучайном порядке. Перемежитель позволяет предотвратить появление последовательностей коррелированных ошибок при декодировании турбо-кодов, что очень важно, так как способ декодирования является итеративным. Что же касается информационных символов, то они передаются на выход кодера без какой-либо обработки и задержки.

Рис. 6.4.  
Структурная  
схема  
турбо-кодера

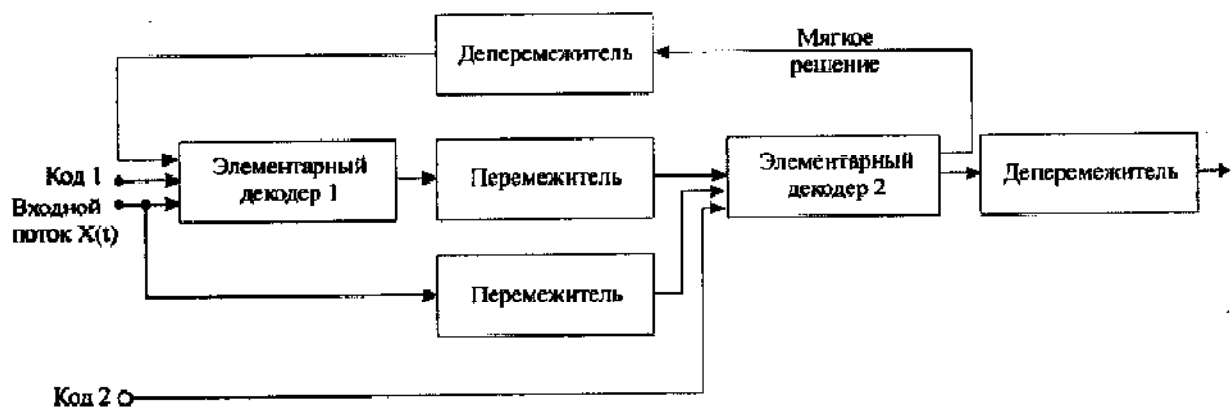


С выхода перемежителя символы с измененным порядком следования поступают на второй элементарный кодер. Двоичные последовательности  $x_i$  на выходе кодеров представляют собой проверочные символы, которые вместе с информационными битами составляют единое кодовое слово.

Элементарные коды могут быть разными и иметь различные скорости. Число элементарных кодеров  $N$  также может быть произвольным. Результирующая скорость турбо-кодера в общем случае определяется по формуле  $R = \frac{1}{N+1}$ . В частности, при использовании двух идентичных элементарных кодов результирующая скорость кодирования равна  $R=1/3$ , а при  $N=3$  уменьшается до значения  $R=1/4$  и т. д.

Схема турбо-декодера, состоящего из двух элементарных декодеров, приведена на рис. 6.5. В каждом из декодеров используется алгоритм с мягким решением, а обмен данными между ними осуществляется в конце каждой итерации.

Рис. 6.5. Структурная схема турбо-декодера



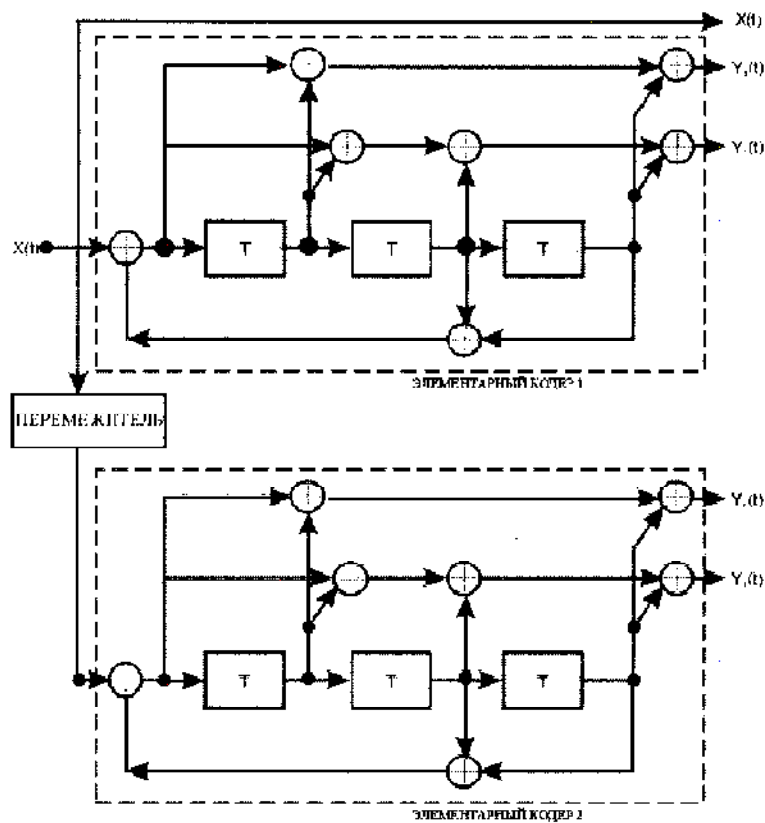
На вход первого элементарного декодера поступают искаженные в канале информационные и проверочные символы кода 1, а также мягкие решения, вычисленные на предыдущей операции вторым декодером. Используя эти входные данные, декодер осуществляет очередную итерацию декодирования. В результате вычислений формируется вектор оценки максимальной апостериорной вероятности декодируемых символов. Вектор оценки, также как и информационные биты, поступает на второй элементарный декодер через перемежитель, изменяющий порядок следования символов по тому же закону, что был использован в кодере. Кроме того, на второй декодер поступают проверочные символы кода 2.



Другими словами, идея метода итеративного декодирования заключается в том, что на каждой итерации декодеры могут получать друг от друга дополнительную информацию о декодируемых символах в виде мягких решений. По мере приближения числа итераций к бесконечности оценка на выходе первого (или второго) декодера приближается к решению по максимуму апостериорной информации. Обычно необходимо относительно небольшое число итераций, чтобы принять решение. Жесткое решение принимается лишь после завершения последней итерации. На выход сигнал поступает через демультиплексор, восстанавливающий исходный порядок следования символов.

Схема турбо-кодера, реализованного на сдвиговых регистрах, приведена на рис. 6.6. Он состоит из двух элементарных кодеров, каждый из которых использует генератор полиномов, значения которого для турбо-кода с кодовым ограничением  $K=4$  приведены в табл. 6.9.

**Рис. 6.6.**  
Структурная схема турбо-кодера в прямом канале



**Таблица 6.9.** Коэффициенты генератора турбо-кода прямого канала (значения коэффициентов даны в восьмеричной форме)

Тип канала	Скорость кодирования, R	Кодовое ограничение	Коэффициенты многочлена		
			d (обратная связь)	$n_0$	$n_1$
F-SCH	1/2, 1/3, 1/4	$K=4$	13	15	17
R-SCH	1/2, 1/3, 1/4	$K=4$	15	13	17

Что же касается практической реализации турбо-декодера, то она связана с рядом трудностей, главным образом, вызванных большой вычислительной сложностью алгоритмов декодирования. В настоящее время реализованы практически схемы турбо-декодеров на DSP процессорах, позволяющие реализовать модифицированный алгоритм Витерби с мягкими решениями, известный под названием SOVA (Soft-decision Outputs Viterbi Algorithm).

## 6.7. Расширение спектра и модуляция

В системе cdma2000 используются ортогональные каналы для передачи пилот-сигналов, управляющей информации и данных, что позволяет снизить уровень взаимных помех. Для передачи высокоскоростной и низкоскоростной информации применяются, соответственно, длинные и короткие ортогональные последовательности. В качестве таких кодов, аналогично, как и в стандарте IS-95, используются последовательности Уолша. Квадратурная модуляция QPSK осуществляется до расширения спектра сигнала. Каждые два информационных бита отображаются в один QPSK символ. В результате необходимое число последовательностей Уолша снижается в два раза по сравнению со случаем, если бы использовалась BPSK модуляция. Кроме того, длина последовательностей Уолша может регулироваться, что позволяет гибко изменять скорость передачи информации в радиоканале.

### Квазиортогональные последовательности Уолша

Как известно, совокупность последовательностей Уолша, обеспечивающих минимальный уровень взаимных помех, ограничена. Для расширения ансамбля последовательностей Уолша [70] предложен метод генерирования квазиортогональных последовательностей Уолша с хорошими взаимокорреляционными свойствами.

Квазиортогональные функции QOF (Quasi-Orthogonal Function) генерируются путем умножения кодов Уолша на специальную маскирующую функцию. Данный метод позволяет с помощью одной такой функции и ансамбля кодов Уолша генерировать ряд квазиортогональных последовательностей QOFS (QOF set). Значения коэффициентов корреляции для QOF различной длины приведены в табл. 6.10.

Таблица 6.10. Коэффициенты корреляции между последовательностями QOF и кодами Уолша

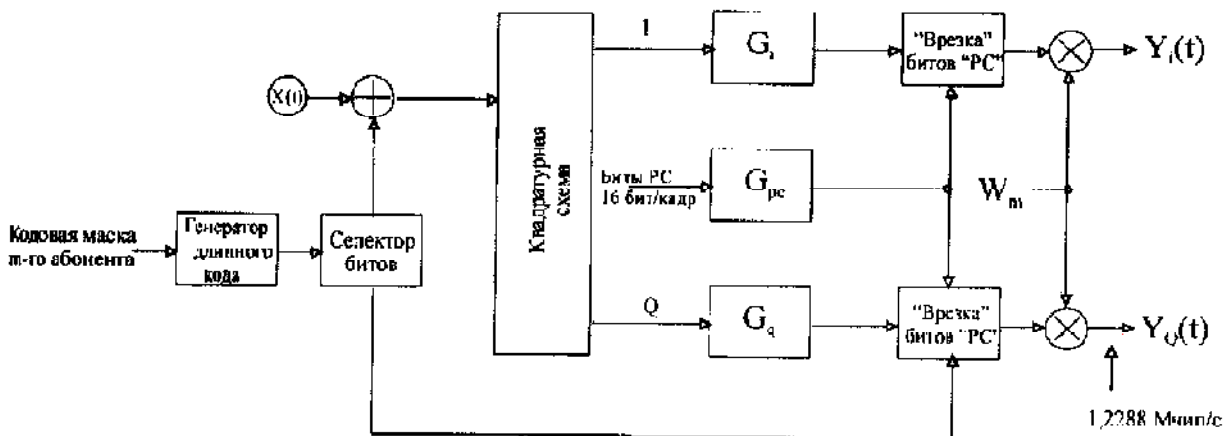
Длина QOFS	Длина кодов Уолша							
	512	256	128	64	32	16	8	4
512	0, ±32	±16	0, ±16	±8	0, ±8	±4	0, ±4	±2
256	0, ±32	±16	0, ±16	±8	0, ±8	±4	0, ±4	±2
128	—	0 ±32	0, ±16	±8	0, ±8	±4	0, ±4	±2
64	—	—	0, ±16	±8	0, ±8	±4	0, ±4	±2

Квазиортогональные последовательности QOFS обеспечивают расширение спектра аналогичным образом, что и коды Уолша. С помощью  $m$  маскирующих функций и ансамбля кодов Уолша длиной  $2^n$  число генерируемых кодов увеличивается в  $(m+1) 2^n$  раз. Квазиортогональные последовательности QOFS используются вместо кодов Уолша в выделенных каналах управления (DCCH).

### Схема квадратурного модулятора

Схема квадратурного модулятора с расширением спектра приведена на рис. 6.7. На его входе установлен скремблер, в котором абонентский поток складывается по модулю 2 с длиной прореженной кодовой последовательностью, являющейся адресом абонента.

Рис. 6.7. Схема квадратурного CDMA модулятора



После скремблирования кодированный поток данных расщепляется на синфазную I и квадратурную Q составляющие. Далее в I и Q последовательности добавляются биты управления мощностью (биты «РС» – power control). Команды управления мощностью передаются только в выделенном канале управления (DCCN). Расширение спектра осуществляется путем перемножения I и Q модулированных последовательностей с кодами Уолша. Кодированные последовательности имеют период, равный  $2^{15}$ , т.е. они повторяются 75 раз каждые 2 секунды. Длина последовательностей Уолша при чиповой скорости 1,2288 Мчип/с изменяется от 4 до 128 символов.

На каждой несущей модулированные символы расширяются с использованием ортогональных функций Уолша, длина которых изменяется в зависимости от скорости передачи данных. Например, если входной поток поступает со скоростью 9,6 кбит/с, то после квадратурной схемы его скорость понижается в два раза и, таким образом, длина последовательности Уолша равна 256 символов (при чиповой скорости, равной 3,6864 Мчип/с).

Аналогичным образом при скорости 614,4 кбит/с QPSK символы передаются со скоростью 307,2 кбит/с и длина последовательности Уолша равна 4. Взаимосвязь между скоростью модуляции и длиной кодов Уолша приведена в табл. 6.11. В табл. 6.12 приведена зависимость базы сигнала от скорости передачи информации.

Таблица 6.11. Взаимосвязь между скоростью модулирующих символов и длиной кодов Уолша

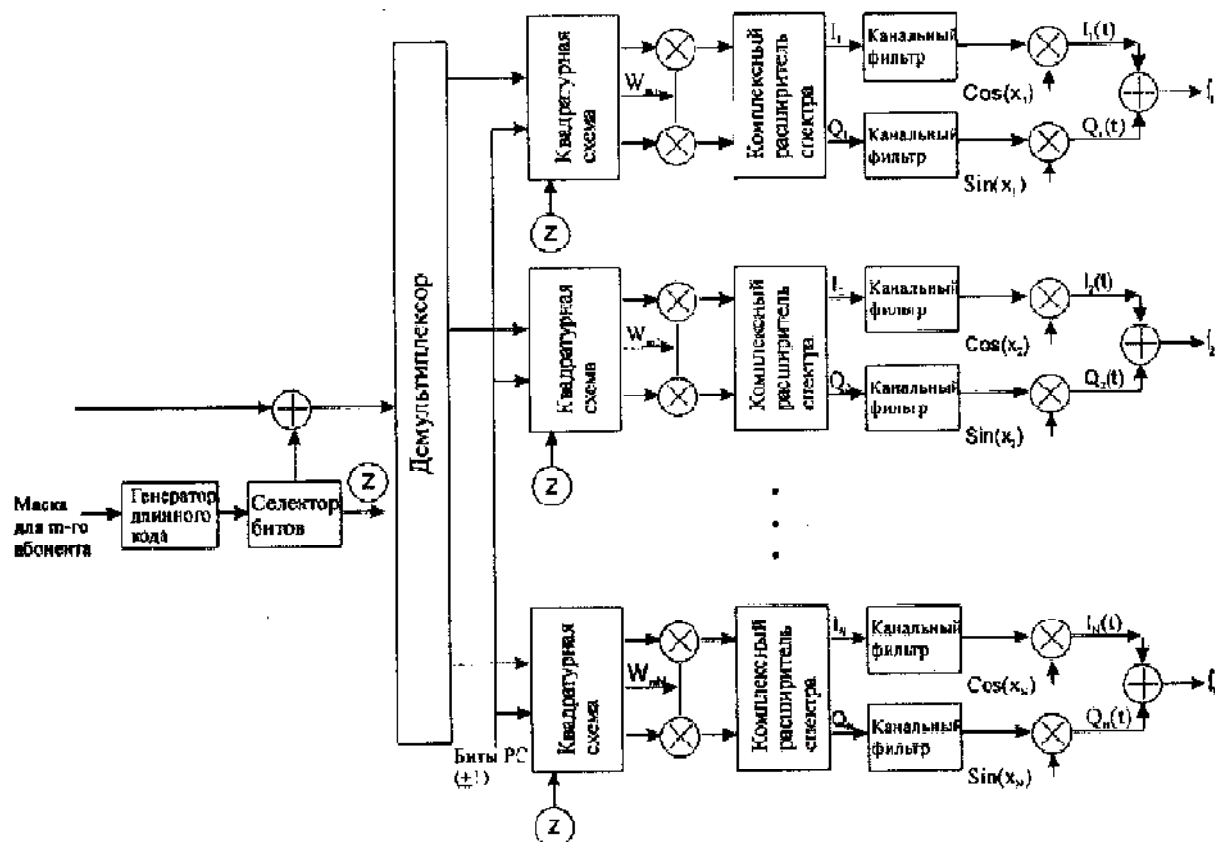
Порядковый номер	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость модулирующих символов, кбит/с	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	38,4	76,8	153,6	307,2
Длина последовательности Уолша	1024	512	256	128	64	32	16	8	4

Таблица 6.12. База сигнала для различных значений скорости передачи информации (чиповая скорость 1,2288 Мчип/с)

Ряд скоростей	RS1				RS2			
Скорость передачи информации, кбит/с	1,5	2,7	4,8	9,6	1,8	3,6	7,2	14,4
Скорость модулируемых символов, кбит/с	9,6	9,6	9,6	9,6	19,2	19,2	19,2	19,2
Длина последовательности Уолша	128	128	128	128	64	64	64	64
База сигнала, дБ	29,1	26,6	24	21,1	28,3	25,3	22,3	19,3

Структура многочастотного модулятора в режиме MC-CDMA (При  $N > 1$ ) приведена на рис. 6.8. В отличие от режима передачи на одной несущей в устройство введен демультиплексор, который расщепляет информационный поток на  $N$  параллельных каналов. После скремблирования с использованием длинного кода, соответствующего адресу  $m$ -го абонента, входной поток разделяется на  $N$  каналов, где  $N=3, 6, 9, 12$ . Число каналов соответствует числу поднесущих частот. После этого образуются две квадратурные составляющие сигнала. После расширения спектра с использованием последовательностей Уолша составляющие  $I$  и  $Q$  ортогонально складываются и передаются на одной несущей.

Рис. 6.8. Схема многочастотного CDMA модулятора



Квадратурное расширение спектра осуществляется на каждой поднесущей за счет операции комплексного умножения. QPSK последовательность складывается по модулю 2 с квадратурной псевдослучайной последовательностью (ПСП). Действительные и мнимые части квадратурной ПСП такие же как и в стандарте IS-95B, т.е. в качестве  $I$  и  $Q$  последовательностей используются короткие псевдослучайные последовательности с периодом, равным  $2^{15}$ .

## 6.8. Организация связи и вхождение в синхронизм

### Кодовое планирование

Все базовые станции (БС) в системе cdma2000 используют одну и ту же пару коротких I и Q кодовых последовательностей, каждая длиной  $p \times 2^{15}$  символов. Идентификация соседних БС осуществляется по величине так называемого псевдосдвига (PN offset). Измеряя псевдосдвиг одной и той же кодовой последовательности, мобильная станция может легко отличить одну базовую станцию от другой.

Минимальный сдвиг между кодами разных БС принят равным  $p \times 64 \times P$ , где  $P$  – параметр повторного использования кодов, зависящий от топологии сети и ряда других факторов. В многочастотной системе MC-CDMA параметр  $p$  равен 1. Это означает, что величина кодового сдвига будет фиксированной, несмотря на то, что общая занимаемая полоса возрастает по мере роста числа несущих частот  $p$  ( $p=1, 3, 6, 9$  и  $12$ ).

В варианте системы DS-CDMA величина минимального сдвига прямо пропорциональна чиповой скорости, т.е.  $p=1$  для  $R=1,2288$  Мчип/с,  $p=3$  для  $R=3,6864$  Мчип/с,  $p=6$  для  $R=7,3728$ ,  $p=9$  для  $R=11,0592$  Мчип/с,  $p=12$  для  $R=14,7456$  Мчип/с.

Использование одной и той же кодовой последовательности с различными псевдосдвигами между базовыми станциями упрощает процедуру поиска, начального вхождения в синхронизм и распределения кодов между пользователями различных сот.

### Принципы организации абонентского доступа

Еще до выхода в эфир мобильная станция осуществляет поиск наиболее предпочтительных кодов для приема пилот-сигнала. Процедура поиска начинается с вычисления взаимокорреляционных характеристик коротких абонентских кодов и кодов сигналов, принимаемых от разных базовых станций. Вычисление продолжается до тех пор, пока подходящая пара не будет обнаружена. Мобильная станция выбирает тот код прямого пилотного канала, который соответствует наиболее сильному сигналу базовой станции.

После того, как произошел захват пилот-сигнала, начинается процесс выделения синхросигнала прямого канала (F-SYNC). Такая процедура возможна, поскольку границы кадра всегда синхронизированы с разверткой пилот-сигнала. Другими словами, граница кадра синхроканала всегда сдвинута относительно системного времени на величину псевдослучайного сдвига принимаемого сигнала F-PICH. Пилот-сигнал содержит синхросообщение, позволяющее однозначно идентифицировать базовую станцию и определить состояние генератора длинного кода. В синхросообщении также указывается номер версии протокола и скорость передачи по вызывному каналу. Суперкадр F-SYNC равен 80 мс и состоит из трех временных интервалов, каждый длительностью 26,67 мс.

Механизм установления связи основан на использовании понятия «попытка доступа» (access attempt). В сетях пакетной передачи под успешной попыткой доступа подразумевается процедура передачи одного сообщения и приема сигнала подтверждения приема. Одна попытка доступа состоит из одной или более субпопыток (subattempt). Каждая субпопытка, в свою очередь, включает несколько пробных последовательностей доступа (рис. 6.9).

Каждый короткий запросный пакет, передаваемый по каналам R-ACH или R-CCCH, называется пробой доступа (access probe). Он состоит из преамбулы и запросного сообщения. Преамбула передается только по пилотному каналу R-PICH. Длина преамбулы равна целому числу интервалов  $N$ , каждый длительностью 1,25 мс. Число интервалов в преамбуле указывается базовой станцией и зависит от скорости поиска кодовых последовательностей, ра-

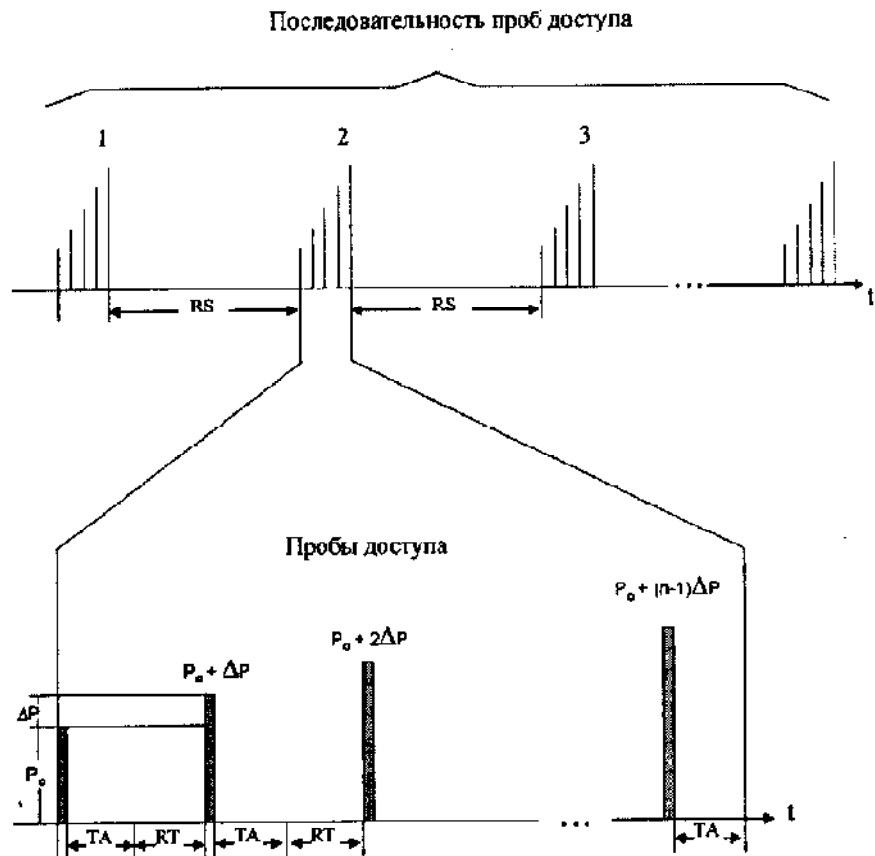
диуса соты, характеристик многолучевости и др. Допускается также нулевая длина преамбулы (т.е. преамбула отсутствует). Скорость поиска зависит от конфигурации аппаратных средств базовой станции (параллельный поиск и т.д.). Длина слотов указывается базовой станцией. Чтобы уменьшить задержку для различных каналов доступа, начало передачи каждого канала смещено во времени.

В системе cdma2000 применяются ортогональные широкополосные сигналы, которые при асинхронной работе мобильных станций становятся квазиортогональными. Вследствие этого такая система очень чувствительна к помехам неортогональности, возникающим между мобильными станциями.

Чтобы снизить уровень помех при установлении доступа, предложен метод передачи, при котором в каждом последующем запросе уровень мощности увеличивается от исходного значения  $P_0$  до максимального  $P_{\max} = P_0 + \Delta P (m - 1)$ , где  $m$  – число проб доступа в одной субпопытке.

В системе используется алгоритм с настойчивой стратегией осуществления доступа. Передача запросов продолжается до тех пор, пока не будет получено подтверждение приема. Чтобы избежать конфликтов при доступе, время повторной передачи для каждой мобильной станции рандомизировано и задается случайным образом. Если не получено подтверждение приема, то мобильная станция ждет в течение определенного времени.

**Рис. 6.9.**  
Последовательность  
попыток  
установления  
доступа



- RS – случайный интервал между последовательностями проб доступа.  
 TA – время ожидания ответа на запрос.  
 RT – случайное время, изменяемое при каждой пробе доступа.  
 $P_0$  – мощность сигнала в первой попытке доступа.  
 $\Delta P$  – приращение мощности.

## 6.9. Процедура мягкого и жесткого хэндовера

В процессе работы мобильная станция непрерывно контролирует уровень пилот-сигнала от разных базовых станций и регистрируется в той сети, в которой обеспечиваются наилучшие условия приема сигналов, если уровень принимаемого сигнала превышает установленные пороги.

В cdma2000 используются два типа порогов. Первый порог выбирается таким, чтобы обеспечить нормальный режим когерентной демодуляции пилот-сигнала. Второй порог определяет уровень, до которого может спадать входная мощность. Ниже этого значения когерентное детектирование становится малоэффективным. Запас между двумя пороговыми уровнями (так называемый гистерезис) позволяет избежать эффекта «пинг-понга», который может возникнуть вследствие быстрых флуктуаций уровня принимаемого пилот-сигнала. Основываясь на этой информации, мобильная станция определяет наиболее предпочтительный набор базовых станций.

Когерентное сложение разнесенных сигналов осуществляется с помощью следящего многоканального RAKE приемника. Когда сигнал от одной базовой станции становится слабым, то RAKE приемник автоматически переключается на тот канал, уровень пилот-сигнала в котором максимальный.

Что же касается сигналов, передаваемых мобильной станцией, то они обрабатываются на базовой станции в режиме мягкого хэндовера. Принимаемые сигналы от различных секторов одной базовой станции могут объединяться в контроллере на посимвольной основе, а принимаемые сигналы от различных базовых станций – на покадровой основе. В результате такой процедуры хэндовера увеличивается зона покрытия и пропускная способность обратного канала.

Механизм мягкого хэндовера обеспечивает соединение без прерывания обслуживания. Пространственное разнесение позволяет уменьшить вероятность ошибок в зоне обслуживания и повысить помехоустойчивость в областях приема с напряженной электромагнитной обстановкой.

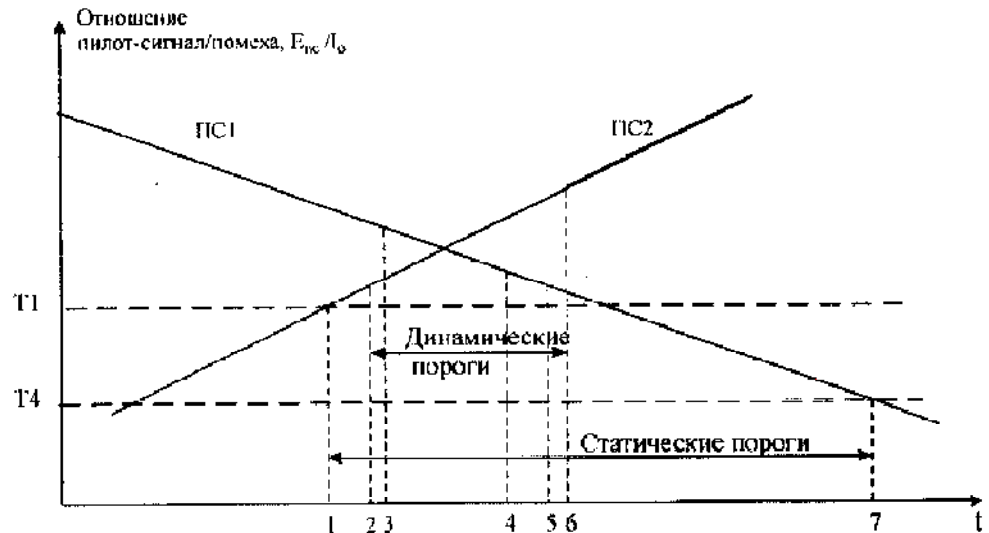
Несмотря на то, что мягкий хэндовер улучшает в целом характеристики системы, на его организацию неизбежно расходуются сетевые ресурсы, что при неблагоприятных условиях приводит к снижению пропускной способности. В прямом канале избыточный хэндовер уменьшает пропускную способность системы, т.к. для его реализации потребуется большая мощность на базовой станции. Что же касается организации хэндовера в обратном канале, то на это расходуется больше сетевых ресурсов, что, в конечном итоге, увеличивает стоимость аппаратуры.

Введение динамического регулирования уровней, при которых происходит переключение каналов на базовой станции, позволяет эффективно решить проблему мягкого хэндовера. Дело в том, что существуют области, в которых уровень принимаемого сигнала очень мал, т.е. в них требуется низкий порог принятия решения. В ряде других областей, наоборот, уровень пилот-сигнала может быть чрезмерно высок, а следовательно, для принятия решения необходим более высокий порог.

Принципы динамического регулирования порогов при приеме двух пилот-сигналов (F-PCN1 и F-PCN2) от разных базовых станций иллюстрируются на рис. 6.10. Обнаружение пилот-сигнала 2 (ПС2) происходит в тот момент времени, когда он пересекает заданный фиксированный пороговый уровень T1 (т.1). При дальнейшем нарастании уровня сигнала, т.е. по мере приближения мобильной станции к базовой, он пересекает второй пороговый уровень T2 (динамический). В этот момент происходит регистрация и начинается контроль за его изменениями. В т.3 мобильная станция получает команду добавить ПС2 в так называемый «активный набор» (active set). При движении мобильной станции в противополож-

ном направлении от первой базовой станции пилот-сигнал 1 (ПС1) убывает и в т.4 его уровень спадает ниже ПС2. В точке 5 измеряется уровень пилот-сигнала 1 и включается таймер (это необходимо, чтобы избежать ложных переключений при флуктуациях сигнала). При дальнейшем спадании уровня в т.6 мобильная станция получает приказ удалить пилот-сигнал 1 и после того, как его уровень спадает ниже второго порога, он удаляется из «активного набора» мобильной станции.

**Рис. 6.10.**  
Временная диаграмма мягкого хэндовера с использованием динамических порогов



- t1 ПС2 превышает порог T1
- t2 ПС2 превышает порог T2 (динамический)
- t3 МС принимает команду добавить ПС2 в число активных БС
- t4 ПС1 падает ниже T3 (относительно ПС2)
- t5 Включается таймер начала хэндовера ПС1
- t6 МС принимает команду удалить ПС1
- t7 ПС1 спадает ниже порога T4

Система cdma2000 обеспечивает возможность предоставлять услуги для всех абонентов, работающих в сетях cdmaOne (IS-95). Переключение на сеть стандарта IS-95 в режиме мягкого хэндовера может происходить на границе зоны обслуживания при работе на одной и той же частоте. Возможность предоставления хэндовера осуществляется для абонентов как в прямом, так и в обратном направлениях.

Жесткий (или межчастотный) хэндовер с существующими CDMA системами обеспечивается на основе известной процедуры MAHO (Mobile Assisted HandOff). Однако, чтобы обеспечить обратную совместимость и организовать режим частотного сканирования, в системе cdma2000 процедура жесткого хэндовера должна быть расширена. Предлагаемые усовершенствования позволяют осуществить эту процедуру без прерывания связи, но этот режим обеспечивается лишь в варианте многочастотной CDMA.

## 6.10. Способы разнесения на передаче

Одним из эффективных методов снижения требуемого отношения сигнал-помеха является пространственное разнесение. В системе cdma2000 это обеспечивается за счет разнесения антенн на базовой станции. Конкретная реализация варианта разнесения зависит от выбранного варианта построения системы: MC-CDMA или DS-CDMA.

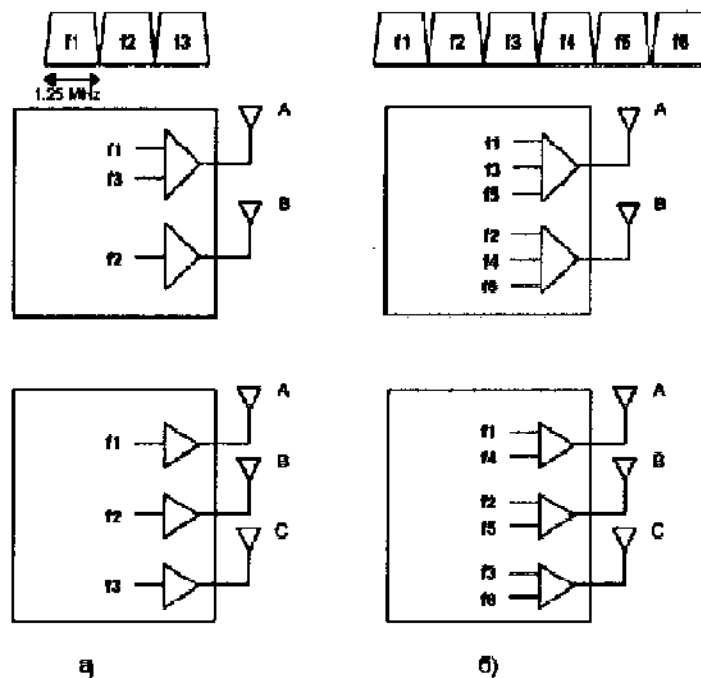


Наиболее просто пространственное разнесение реализуется в варианте многочастотной CDMA, поскольку многочастотный сигнал передается через каждую из разнесенных антенн и не требуется дополнительного усложнения терминала. Прием сигнала осуществляется одновременно на нескольких несущих.

Принцип многочастотного разнесения на передаче иллюстрируется на 6.11, где приведена многоантенная конфигурация системы при разном числе несущих частот ( $N=3$ ,  $N=6$ ). Частотно-пространственное разнесение осуществляется следующим образом. Входной поток данных расщепляется на  $N$  независимых потоков, каждый из которых передается на отдельной несущей. Если все несущие будут переданы через одну антенну, то это соответствует обычному варианту построения системы (разнесение отсутствует). В варианте трехантенной системы излучение каждой из 3-х несущих может осуществляться через отдельную антенну, что обеспечивает трехкратное пространственно-частотное разнесение. Чтобы повысить эффективность системы, частотный разнос между несущими на первой антенне, по возможности, должен быть максимальным. Аналогичным образом может быть реализовано разнесение при 6 несущих. Как видно из рис. 6.11, несущие на входах разных антенн подобраны таким образом, чтобы они обеспечивали максимальную эффективность частотного разнесения.

**Рис. 6.11.**  
Многочастотное разнесение на передаче при различных конфигурациях антенн А, В, С и числе несущих частот  $N$

- а) 3 несущих ( $N = 3$ )
- б) 6 несущих ( $N = 6$ )



На мобильной станции прием пространственно разнесенных сигналов обеспечивается с помощью многоканального RAKE приемника, который обрабатывает одновременно все  $N$  несущих. Каждый канал RAKE приемника настроен на прием многолучевых составляющих какой-либо несущей. Так как пилот-сигнал распределен равномерно по всем каналам, то нет необходимости вводить вспомогательные пилот-сигналы для оценки характеристик многолучевого канала.

Повышение помехоустойчивости системы cdma2000 с расширением спектра (вариант DS-SS-CDMA) основано на использовании так называемого ортогонального разнесения на передаче OTD (Orthogonal Transmit Diversity). Метод OTD реализуется следующим образом. Кодированные биты разделяются на два или более потоков в зависимости от числа используемых антенн. Потоки передаются через разные антенны с использованием кодов Уолша.

Чтобы ослабить взаимное влияние сигналов в каналах с гладкими замираниями, коды в каждой из антенн являются ортогональными.

Следует отметить, что процедура расщепления информационной последовательности на два потока и их передача с помощью ортогональных кодов не снижает эквивалентного числа абонентских кодов, которое остается таким же, как и в случае отсутствия ОТД.

Алгоритм выбора кодовых последовательностей Уолша при двух антеннах следующий. Допустим, что в канале без разнесения код Уолша  $W_k$  имел длину  $2^m$ , при этом скорость передачи символов в канале равна  $R$ . Кодированный поток данных при разнесении на передаче расщепляется на два потока, каждый из которых передается с половинной скоростью  $R/2$ . Вследствие этого каждый из двух потоков может расширяться последовательностью Уолша, имеющей длину  $2^{m+1}$ . Из этого следует простой способ формирования двух кодов Уолша на основе  $W_k$ , т.е.  $[W_k, W_k]$  и  $[W_k - W_k]$ .

В отличие от многочастотного метода, где энергия одного и того же пилот-сигнала равномерно распределена по всем несущим, ортогональное разнесение требует использования различных пилот-сигналов в каждой из антенн. Другими словами, общий пилот-сигнал может передаваться, как и ранее через первую антенну, а вспомогательный пилот-сигнал — через вторую антенну. При этом обеспечивается когерентная демодуляция сигналов, принимаемых с двух антенн.

### 6.11. Особенности реализации режима TDD

В режиме cdma2000/TDD используются те же схемы кодирования, модуляции и обработки сигналов, что и в случае cdma2000/FDD. Что же касается отличий, то они в основном связаны с различной структурой кадра и необходимостью введения защитных канальных интервалов. В схеме разделения входного потока на I и Q каналы, применяется тот же алгоритм передачи символов управления мощностью. По сравнению с FDD принципиально потребуется лишь введение двух дополнительных устройств: формирователя защитных интервалов и генератора пакетов TDD.

Двусторонняя радиосвязь в режиме TDD обеспечивается на одной несущей с временным уплотнением каналов передачи и приема, что позволяет сделать систему CDMA более гибкой в части использования выделенных полос частот. Кроме того, более простыми средствами в такой системе реализуется пространственное разнесение на базовой станции и управление мощностью в радиолинии. Трафик в прямом и обратном каналах в режиме TDD может быть как симметричным, так и асимметричным.

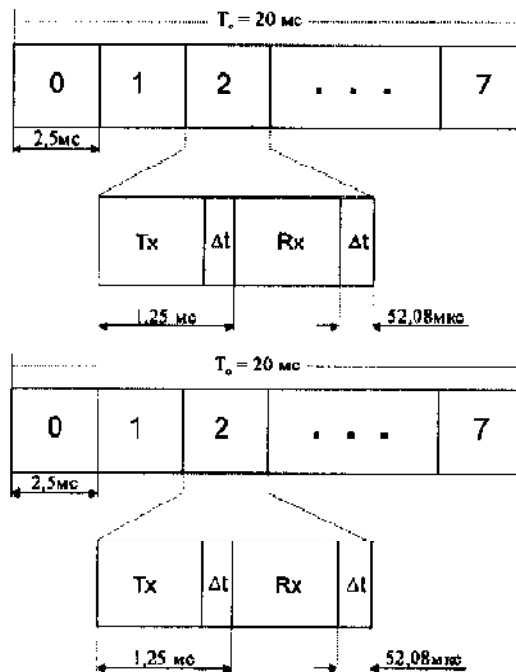
Основные преимущества режима TDD заключаются в том, что двусторонняя передача данных обеспечивается в одной полосе частот, т.е. не требуется парный диапазон частот, упрощается процедура поиска сот и более эффективно распределяются каналы между сотами.

Максимальная зона обслуживания в режиме TDD ограничена величиной защитного промежутка  $\Delta t$ , вводимого на границе канального интервала (рис. 6.12). При защитном промежутке 52,08 мкс и точности синхронизации временных интервалов на базовой станции  $\pm 3$  мкс максимальный радиус зоны обслуживания равен 7 км.

Мобильная станция имеет сходную с БС структуру кадра, но приемные и передающие временные интервалы инвертируются, т.е. переставляются местами. В кадре длительностью 20 мс организуется 8 пар канальных интервалов. Каждая пара состоит из одного передающего Tx и одного приемного Rx интервала. Все интервалы имеют одинаковую длительность, равную 1,25 мс. Аналогичным образом может быть организован кадр длительностью 5 мс, однако он будет содержать всего две пары канальных интервалов.

**Рис. 6.12.**  
**Структура кадра в режиме TDD**

Tx канал передачи  
Rx канал приема  
 $\Delta t$  защитный временной интервал  
 $T_0$  длина кадра



В проекте cdma2000 минимальный защитный временной интервал выбран равным 52,08 мкс (в варианте MC-CDMA) или 69,44 мкс (в варианте DS-CDMA). Схема реализации режима TDD для скорости передачи 76,8 кбит/с приведена на рис. 6.13. На вход системы поступает кодированный поток, состоящий из 1536 символов на кадр (длина кадра 20 мс). После его разделения на синфазный и квадратурные потоки, число символов в каждом канале соответственно уменьшается до 768. При 16-интервальной структуре кадра в каждом канальном интервале передается пакет из 96 символов. Формирование защитных интервалов осуществляется путем исключения в каждом из 16-ти каналов 4-х последних символов. После введения защитных интервалов в QPSK сигнале образуются четыре «пустых» интервала с общей длительностью 104,17 мкс.

**Рис. 6.13. Структурная схема TDD модулятора**

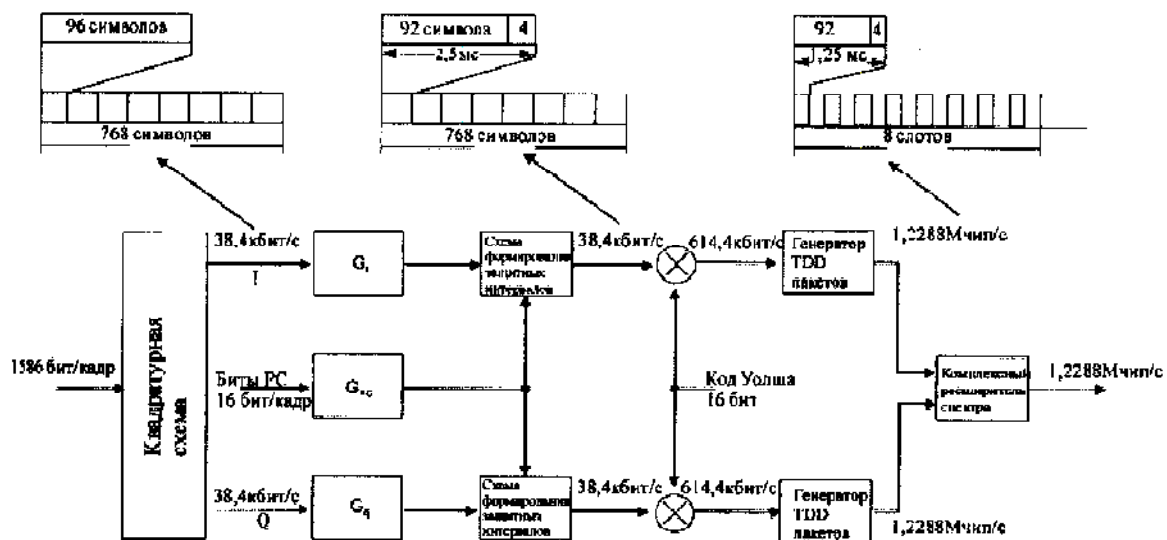


Схема формирования защитных интервалов функционально объединена с устройством, обеспечивающим «вставление» битов управления мощностью РС в кодированный поток данных. Эта операция осуществляется аналогичным образом, что и в режиме FDD.

Расширение спектра осуществляется путем перемножения входного потока со скоростью 38,4 кбит/с с 16-битовым кодом Уолша. Выходной поток со скоростью 644,4 кбит/с поступает на генератор TDD пакетов. В нем он разделяется на 8 сегментов с защитным интервалом между ними, равным четырем символам. Прерывистый поток с синфазного и квадратурного каналов объединяется в комплексном перемножителе.

Предложения по использованию режима TDD в системе cdma2000 проработаны еще недостаточно глубоко и требуют дальнейших исследований.

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ WCDMA

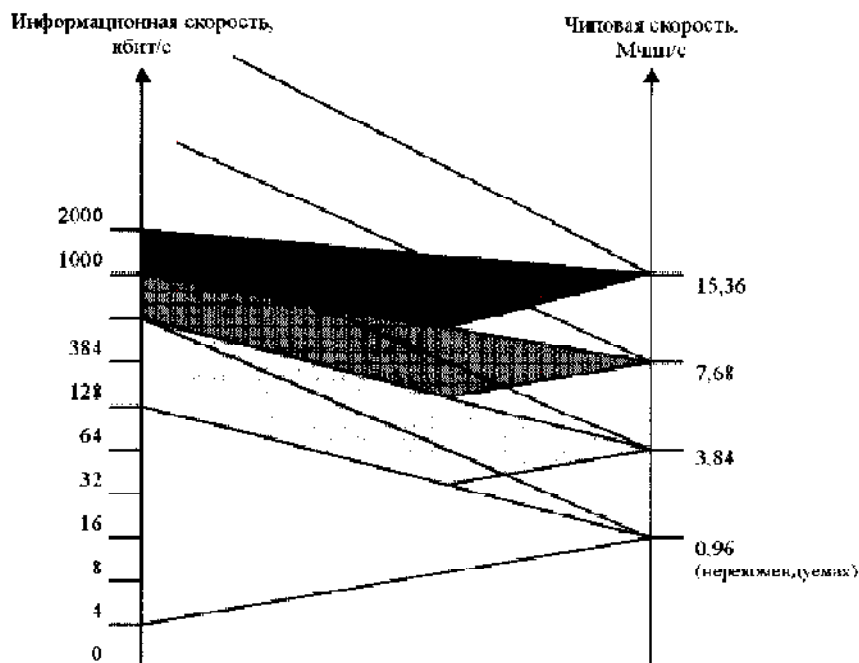
### 7.1. Исходные предпосылки

Концепция WCDMA была практически одновременно разработана в Японии (ARIB) и Европе (ETSI SMG2). В Европе работы проводились в рамках программы UMTS (концепция  $\alpha$ ), и такой проект получил название UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access). Именно его идеология и легла в основу еще трех предложений, поступивших в ITU от разных регионов мира: WCDMA NA, WIMS (США) и CDMA II (Ю.Корея). В дальнейшем практически идентичные проекты были объединены в единое предложение, в котором за основу взяты технические решения, предложенные в WCDMA и UTRA<sup>35</sup> для парного диапазона частот.

Концепция перехода к IMT-2000, которую исповедуют в Японии (WCDMA), достаточно близка к европейскому подходу UTRA. В обоих проектах выбраны идентичные чиповые скорости (базовый вариант), практически одинаковая канальная структура, методы расширения спектра, принципы организации хэндовера и др.

Система WCDMA обеспечивает возможность работать в широком диапазоне чиповых скоростей: от 3,84 Мчип/с до 15,36 Мчип/с<sup>36</sup>. Взаимосвязь между чиповой скоростью и скоростью передачи данных в системе WCDMA иллюстрируется на рис. 7.1.

**Рис. 7.1.**  
Взаимосвязь между информационной и чиповой скоростью



В качестве базовой в обоих проектах выбрана чиповая скорость 3,84 Мчип/с. При такой скорости обеспечивается передача информационного потока 2,048 Мбит/с, что гарантирует возможность обеспечения межсистемного хэндовера типа PDC/WCDMA (Япония) или GSM/WCDMA (Европа).

<sup>35</sup> В ITU данному варианту присвоено новое обозначение IMT-DS (IMT-2000 Direct Spread). Для краткости дальнейшего изложения будем пользоваться аббревиатурой WCDMA.

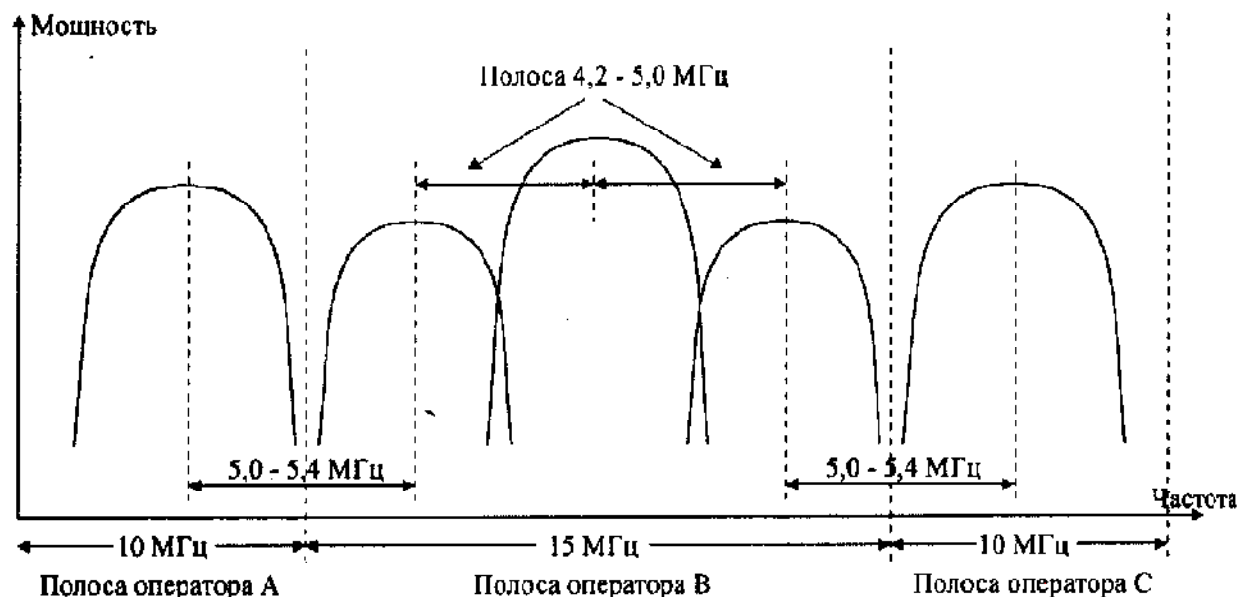
<sup>36</sup> В первоначальном предложении указаны скорости: от 1,024 Мчип/с до 16,384 Мчип/с.

Чтобы обеспечить независимые условия работы базовых станций (внутри и вне помещений) в случаях, когда не требуется точная взаимная синхронизация, применяется режим асинхронной синхронизации между разными сотами. В отличие от cdma2000 не требуется внешний источник синхронизации, например, приемник сигналов спутниковой системы GPS. Это особенно важно для внутриофисных применений (подвальные этажи зданий, метрополитен и т.п.), где могут устанавливаться малогабаритные базовые станции, которые в короткие сроки должны подключаться к общей сети.

Шаг сетки частот в WCDMA, так же, как и в проекте UTRA, выбран кратным 200 кГц, что позволяет гибко изменять разнос несущих и, таким образом, повышает спектральную эффективность системы в реальной помеховой обстановке. Частотный план системы зависит от конкретных сценариев развертывания.

Поскольку ширина спектра на одной несущей не превышает 5 МГц, то для операторов, располагающих, например, спектром 15 МГц, появляется возможность организации связи одновременно на трех несущих в рамках единой иерархической сотовой структуры. Разнесение каналов с шагом 200 кГц позволяет на границах полосы пропускания иметь различные защитные полосы от 4,2 до 5,4 МГц. В зависимости от конкретной помеховой обстановки можно выбирать разные защитные интервалы между соседними участками спектра, выделенными двум различным операторам. Данная ситуация иллюстрируется на рис. 7.2.

Рис. 7.2. Частотный план WCDMA (с тремя операторами А, В и С)



Двухуровневая схема расширения спектра основана на использовании расширяющих и скремблирующих кодов. В канале «вниз» скремблирующие коды назначаются отдельно для каждой сети, а в канале «вверх» определяются уникальным образом для каждого абонента. Расширяющие коды являются ортогональными, что позволяет сделать их общими для всех сот сети и минимизировать таким образом уровень взаимных помех между абонентами внутри одной соты.

Обнаружение сигнала обеспечивается путем когерентного детектирования пилот-сигнала. Чтобы уменьшить задержку в схеме управления мощностью передатчика, пилот-

сигналы в канале «вниз» мультиплексируются по времени. Это решение также положительно сказывается на упрощении схемы приемника мобильной станции. С другой стороны, для режима «вверх» предлагается I/Q мультиплексирование пилотных символов совместно с передаваемыми данными. Метод I/Q мультиплексирования обеспечивает непрерывную передачу символов пилот-сигнала и данных, учитывая, что их расширяющие коды различаются. Такое решение позволяет также уменьшить влияние электромагнитной обстановки и снизить требования к усилителю мощности передатчика мобильной станции. Что же касается основных технических характеристик технологии WCDMA в режиме FDD, то они были приведены в предыдущем разделе (см. табл. 6.4).

## 7.2. Обобщенная архитектура сети радиодоступа

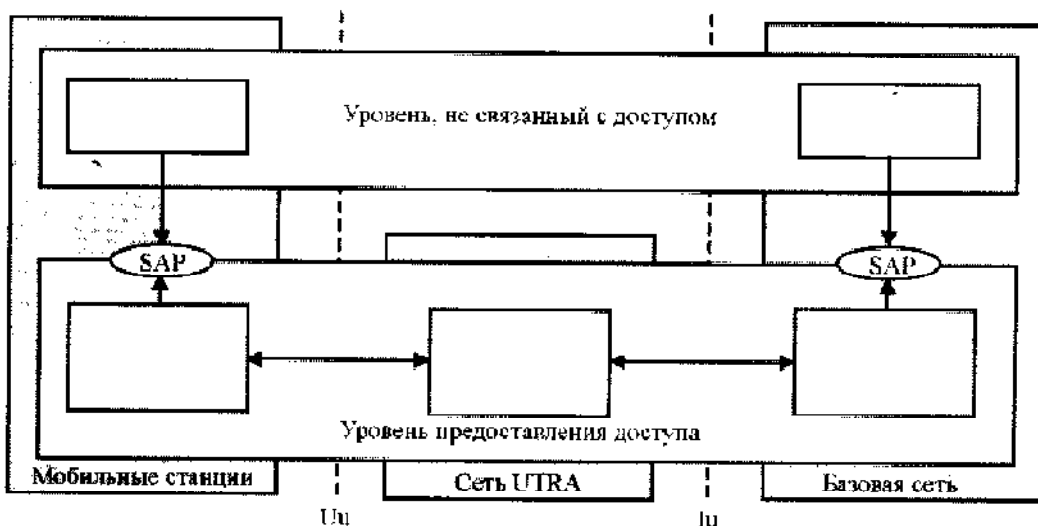
### Состав сети WCDMA

На рис. 7.3 представлена обобщенная архитектура системы IMT-2000/UMTS, которая в общих чертах отражает ее концепцию построения. Разработанная на основе системного подхода, архитектура содержит два укрупненных уровня декомпозиции:

- верхний, который не связан непосредственно с предоставлением доступа (non-access stratum);
- нижний, который обслуживает все элементы системы, в той или иной степени связанные с организацией радиосвязи и обеспечением доступа (access stratum).

Для верхнего уровня услуги предоставляются через так называемые точки доступа к услугам SAP (Service Access Point), которые на рис. 7.3 показаны в виде овалов.

Рис. 7.3. Обобщенная архитектура UMTS (SAP – точка доступа к услугам)



Кроме горизонтальных уровней (верхнего и нижнего) существуют три вертикальных сетевых слоя: абонентский, наземная сеть WCDMA/UTRAN (UTRA Network) и базовая сеть CN (Core Network). На рис. 7.3 двумя вертикальными пунктирными линиями показаны интерфейсы между этими сетевыми элементами.

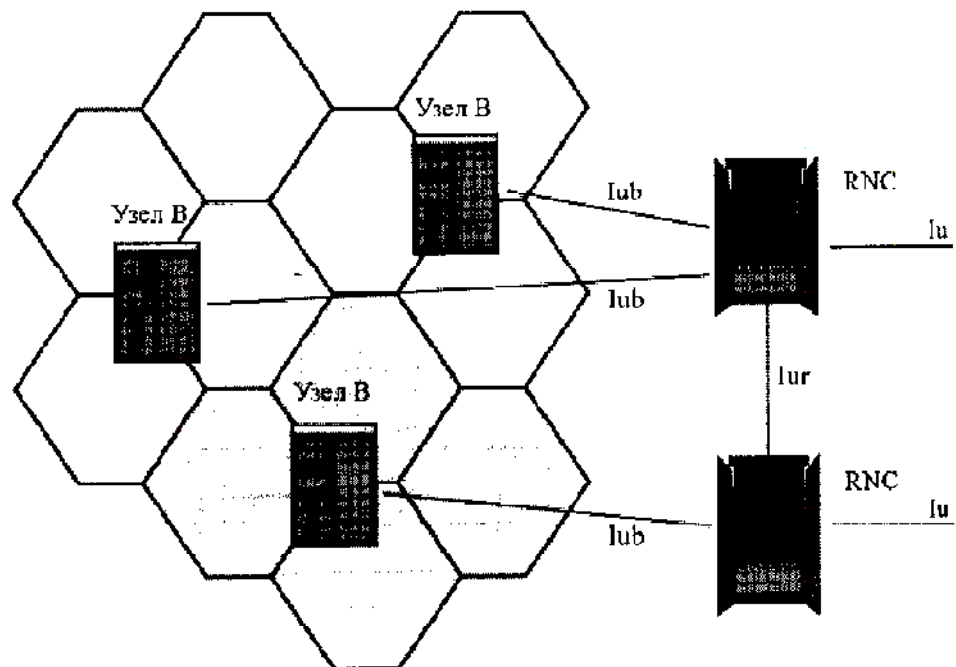
- Отличительными особенностями предлагаемой архитектуры являются:
- логическое разделение сигнализации и каналов трафика;

- макроразнесение, которое полностью обрабатывается в сети UTRAN;
- разделение функций сети UTRAN и базовой сети CN, хотя принципиально они могли бы быть реализованы в одном и том же оборудовании.

Сеть UTRAN состоит из нескольких RNS (Radio Network Subsystem) подсистем, соединенных с базовой сетью через интерфейс Iu и связанных друг с другом через интерфейс Iur. Каждая RNS подсистема ответственна за предоставление ресурсов, необходимых для установления соединения между определенной мобильной станцией и сетью UTRAN (WCDMA). Если мобильная станция связана с двумя RNS подсистемами (что возникает в процессе ее перемещения), то одна из них является обслуживающей (serving RNS), а другая – пассивной (drift RNS). Хотя пассивная RNS непосредственно не связана с базовой сетью, но, взаимодействуя через обслуживающую RNS, она способна оперативно предоставлять ресурсы для установления соединения с мобильным абонентом.

Важную роль в RNS выполняет контроллер RNC (Radio Network Controller), который обеспечивает рациональное использование радиоресурсов и осуществляет хэндовер. К каждому контроллеру подключены от одного до нескольких логических узлов В, которые соединены с RNC через интерфейс Iub. В задачу логических узлов входит контроль за сложением и разделением разнесенных сигналов и обеспечение макроразнесения в пределах одного узла В (рис. 7.4).

Рис. 7.4.  
Наземная сеть  
радиодоступа  
UMTS (UTRAN)



Логический узел В реализует функции базовой станции (БС), которая обеспечивает обслуживание до 3-х секторов, предоставляя до 3-х несущих на один сектор. В сети обеспечивается многопользовательское детектирование, мягкий хэндовер и реализация всех остальных функций радиointерфейса: прием и передача радиосигналов, их обработка и формирование групповых потоков данных. В задачи узла В также входит осуществление межсетевых интерфейсов и взаимодействие с контроллером радиосети RNC.



### Интерфейсная структура

В сети UTRA используются три типа интерфейсов, каждый из которых выполняет определенные функции:

**Iu** – определяет точку взаимодействия между подсистемой RNS и базовой сетью;

**Iur** – предназначен для соединения между двумя RNS (обслуживающей и пассивной RNS)

**Iub** – определяет стык между контроллером RNC и узлом B.

Сигнализация через интерфейс Iu осуществляется с помощью протокола RANAP (Radio Access Network Application Part), который определяет все процедуры взаимодействия между базовой сетью и сетью радиодоступа WCDMA. Протокол RANAP также обеспечивает возможность конвейерной передачи сообщений в прозрачном режиме между базовой сетью и абонентским оборудованием, т.е. без промежуточной обработки информации в радиосети WCDMA.

С помощью протокола RANAP обеспечивается распознавание конкретного абонентского оборудования на протокольном уровне, что необходимо для управления сигнализацией. Протокол обеспечивает передачу в прозрачном режиме управляющей информации верхних уровней (не связанных с обеспечением радиодоступа и определяемых на уровне SAP), трансляцию различных типов запросов о выделении ресурсов, а также выполнение функций выбора оптимальной конфигурации.

Интерфейс Iur является открытым. Он определяет характеристики взаимодействия между двумя подсистемами (обслуживающей и пассивной RNS). Функции, выполняемые интерфейсом Iur, зависят от вида обслуживания (информационный обмен, сигнализация). Информационные потоки включают в себя кадры данных, текущие оценки качества услуг, синхропараметры и др. Потоки сигнализации содержат сведения об удалении/добавлении соты в пассивную RNS, используемых радиоресурсах и т.д.

Между обслуживающей и пассивной RNS регулярно передаются так называемые Iur потоки данных (Iur data streams), с помощью которых обеспечивается макроразнесенный прием. Так, если пассивная RNS выполняет сложение разнесенных сигналов, то все необходимые данные она получает от обслуживающей RNS и наоборот.

Сигнализация через интерфейс Iur осуществляется с помощью протокола RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part), который определяет все процедуры взаимодействия между обслуживающей и пассивной RNS. Интерфейс Iub регламентирует характеристики стыка между контроллером RNC и узлом B (логический узел ответственен за обеспечение радиобмена с мобильной станцией). Вопрос о том, будет ли интерфейс Iub открытым или нет, пока не решен.

Можно выделить три группы потоков, передаваемых через интерфейс Iub и определяющих процедуры взаимодействия контроллера RNC и узла B:

- прикладные потоки, связанные с сигнализацией (добавление или исключение сот, контролируемых узлом B и др.);
- блоки данных радиобмена в линиях «вниз» и «вверх»;
- оценки качества каналов «вверх» и синхропараметров.

Между контроллером и узлом B передаются Iub потоки данных, которые обеспечивают макроразнесенный прием. Их характеристики такие же, как и ранее описанного Iur потока данных.

### 7.3. Услуги и функции канального и сетевого уровней

#### Архитектура радиointерфейса WCDMA

Архитектура сети радиодоступа WCDMA является трехуровневой и включает: физический (L1), канальный (L2) и сетевой (L3) уровни. В свою очередь каждый канальный уровень L2 подразделяется на два подуровня: управление доступом к каналу (L2/LAC) и управление доступом к среде (L2/MAC).

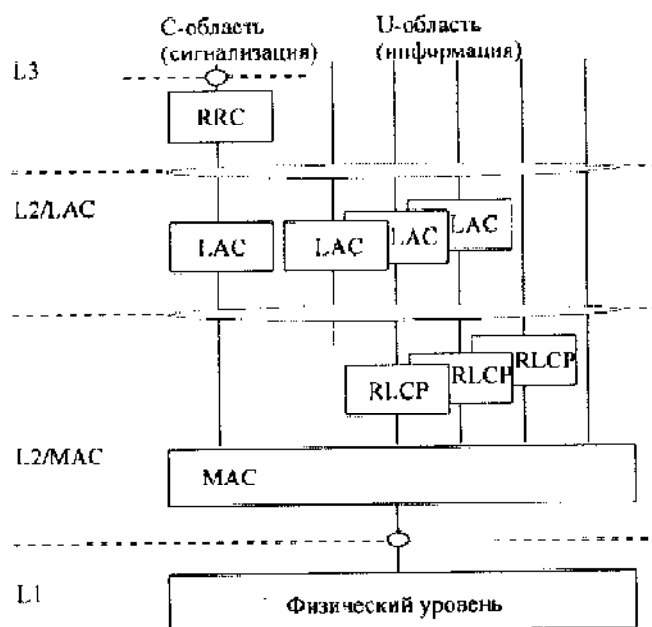
На сетевом уровне (L3) и подуровне LAC совокупность протоколов разделяется на две области: управления или сигнализации (C-plane) и абонентскую (U-plane). В C-области имеется несколько сетевых подуровней, самый нижний из которых отвечает за управление радиоресурсами и обозначается как RRC (Radio Resource Control). Подуровень RRC имеет непосредственный интерфейс с подуровнем LAC.

Полная структура протоколов приведена на рис. 7.5. Уровни и подуровни на рисунке представлены в виде блоков, а точки доступа к услугам SAP (Service Access Point) показаны в виде овалов. Каждый из перечисленных уровней и подуровней имеет четко определенный интерфейс. В результате реализация какого-либо протокола не зависит от остальных уровней. Что же касается протоколов более высоких подуровней (L3), таких как управление мобильностью (MM – Mobility Management) и управление вызовами (CC – Call Control), то они не отображены на рисунке.

Отметим, что данная модель составлена в соответствии с рекомендациями ITU-R M.1035 и рассматривается как эталонная (справочная) модель анализа структуры протоколов, определяющих порядок взаимодействия между объектами разных уровней.

**Рис. 7.5.**  
**Архитектура**  
**радиointерфейса**  
**WCDMA**

RRC Radio Resource Control  
RLCP Radio Link Control Protocol



#### Подуровни MAC и LAC

Канальный уровень является транспортной средой между верхними и физическим уровнями. Он обеспечивает механизмы управления сетевыми ресурсами и поддержку протоколов с учетом различных требований по достоверности, качеству обслуживания и времени ожидания. Согласно приведенной на рис. 7.5 структуре радиointерфейса, подуровни L2/MAC и

L2/LAC образуют границу раздела между физическим и сетевым уровнями. Разделение канального уровня на два подуровня позволяет разграничить их области управления.

Каждый из двух рассматриваемых подуровней выполняет свои функции. Первый подуровень L2/LAC отвечает за организацию логических каналов (типа «точка-точка») между равноправными объектами сетевого уровня.

Функции второго подуровня MAC значительно расширены. Он управляет доступом к радиоканалам и координирует использование радиоресурсов между различными логическими каналами подуровня LAC. Протоколы подуровня MAC должны обеспечить такое распределение ресурсов, чтобы свести к минимуму конфликты между обслуживаемыми объектами (мобильными станциями). И, наконец, подуровень MAC ответственен за доставку показателей качества обслуживания, которые могут запрашиваться обслуживаемыми LAC объектами (напр., резервные радиоресурсы, приоритеты и др.).

В число основных задач, решаемых на подуровне MAC, входят все рабочие процедуры, связанные с доступом к физическому уровню. Таких процедур несколько: уплотнение и разуплотнение потоков данных, объединение служебных сообщений с информационными потоками и другие. В течение сеанса связи на подуровне MAC обеспечивается выбор формата для каждого транспортного канала в зависимости от скорости источника и имеющихся ограничений по радиоресурсам. В зависимости от выбранного формата один или более протокольных блоков (PDU) более верхних уровней могут быть отображены в один или несколько транспортных блоков, состоящих из одного или более кадров (10 мс). Процесс установления или модификации транспортных каналов, и соответственно, выбора транспортных форматов обрабатывается RRC протоколом.

В процессе отображения данных в транспортные каналы и выбора транспортных форматов MAC может присваивать сообщениям различные категории срочности. Выбор приоритета будет зависеть от вида обслуживания, требований по допустимым задержкам и др.

Идентификация производится при передаче данных по транспортным каналам общего пользования. Когда адрес мобильной станции содержится в сообщении, передаваемом по каналу вниз, или, когда MS использует канал доступа RACH, возникает необходимость идентификации MS в рабочей полосе. Поскольку на подуровне MAC обрабатывается вся информация о доступе и осуществляется мультиплексирование услуг, то логично, что идентификация абонентов так же будет производиться на этом уровне.

При работе нескольких мобильных станций в общем канале доступа RACH неизбежно возникают конфликты. Их обработку также осуществляют MAC-протоколы.

Представленный перечень выполняемых функций, конечно, не является полным. В функции подуровня MAC также входят динамическое распределение радиоресурсов, осуществляемое с помощью протокола RLCP (Radio Link Control Protocol). Такой протокол поддерживает 3 режима взаимодействия мобильной станции с сетью:

- достоверный режим, в котором RLCP использует специальные протоколы с защитой от ошибок (ARQ и др.), что гарантирует надежную доставку сообщений;
- недостоверный режим, характеристики которого в основном определяются радиоканалом и в меньшей мере сетевыми процедурами;
- прозрачный режим, при котором RLCP пропускает поток данных без обработки и добавления служебных символов.

Самый нижний уровень стека протоколов – физический. На этом уровне реализуются все функции, связанные с обеспечением непосредственного доступа к радиоканалу: обработка модулирующих и демодулирующих последовательностей, синхронизация, переключение режимов приема и передачи и управление мощностью передатчика.

### Услуги и функции сетевого подуровня RRC

На сетевом уровне управление ресурсами обеспечивает подуровень RRC (С-область на рис. 7.5). Он выполняет все сетевые процедуры, связанные с обработкой управляющей информацией, циркулирующей между мобильными абонентами и сетью WCDMA. В число его основных функций входит установление, переконфигурирование и разъединение соединений в каналах сигнализации и радиодоступа, включая процедуры, связанные с перемещением мобильных станций. Построение базовой сети на основе протоколов CC и MM, уже используемых в GSM, является одним из основных вариантов в UMTS.

Сетевые процедуры предусматривают два режима управления: общий и выделенный. В режиме общего управления обеспечивается обработка ширококвещательной информации (не связанной с предоставлением доступа конкретной станции) в определенной географической зоне. Ширококвещательная информация передается в непомехозащищенном режиме, т.е. без подтверждения приема, а улучшение вероятности доставки обеспечивается за счет многократной передачи одних и тех же сообщений. Протокол RRC может реализовывать различные алгоритмы повторной передачи.

В выделенном режиме управления обеспечиваются услуги, связанные с установлением/разъединением соединения и обработкой сообщений, передаваемых по этим соединениям. По сравнению с общим режимом управления для выделенных каналов должны использоваться более надежные линии связи, гарантирующие, что сообщения типа CC и MM передаются в пункт назначения с заданной достоверностью, и что они не будут потеряны, например, в процессе хэндовера. Наряду с вышеперечисленными функциями сигнализации и управления доступом протокол RRC будет обеспечивать управление мощностью с помощью внешней схемы регулирования.

## 7.4. Структура логических и транспортных каналов

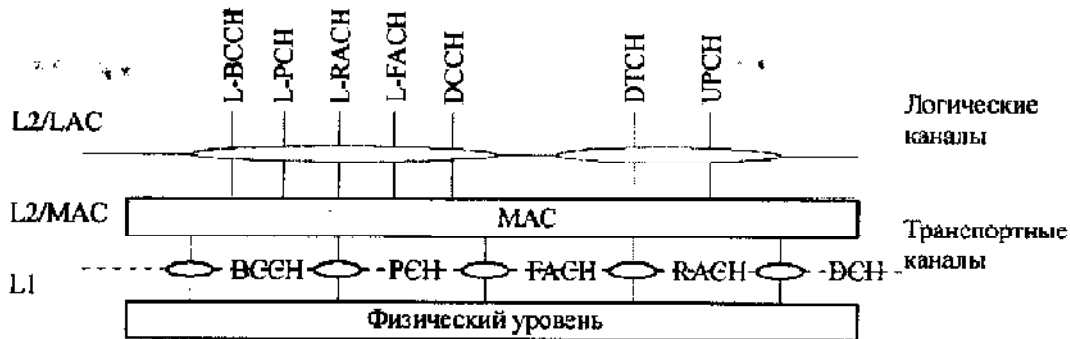
### Логические каналы

Одна из отличительных особенностей технологии WCDMA – гибкая и многовариантная конфигурация каналов радиообмена и протоколов установления связи (рис. 7.6), которая характеризуется тремя типами каналов:

- логические каналы (logical channel), обслуживаемые на подуровне L2/LAC и обеспечивающие взаимодействие между протоколами L2/MAC и более высокими уровнями;
- транспортные каналы (transport channel), обслуживаемые на подуровне L2/MAC и обеспечивающие взаимодействие между протоколами физического и более высоких уровней;
- физические каналы (physical channel), формируемые на самом нижнем уровне L1 (на рис. 7.6 не показаны).

Логические каналы предназначены для организации взаимодействия между равноправными объектами сетевого уровня, причем каждый из них выполняет свои определенные функции. В соответствии с рекомендацией ITU-R M.1035 все логические каналы разделяются на две группы: каналы управления (CCH) и каналы трафика (TCH). По каналам управления передаются вызывные и служебные сообщения, сигнализация, команды управления мощностью и диаграммой направленности антенны. Каналы трафика, как следует из их названия, служат для передачи информационных потоков.

Рис. 7.6. Архитектура WCDMA на канальном и физическом уровнях



В свою очередь каналы управления подразделяются на три типа: общие каналы (CCCH), выделенные каналы (DCCH) и жестко закрепленные каналы управления (за определенной мобильной станцией). Сообщения, которые передаются по общему каналу, подразделяются на широковещательные, запросы на предоставление доступа, квитанции, вызывные и короткие абонентские пакеты.

Рассмотрим кратко функции основных каналов, используемых в WCDMA:

BCCH – широковещательный канал управления с конфигурацией типа «точка-многоточка», который предназначен для передачи управляющей информации в широковещательном режиме от базовой станции ко всем мобильным.

FACH – однонаправленный канал для передачи управляющей информации со стороны сети в сторону мобильных станций (используется в случае, если местонахождение мобильной станции известно).

PCCH – однонаправленный канал, который предназначен для передачи вызывных сигналов со стороны сети к мобильным станциям.

RACH – однонаправленный канал, предназначенный для обеспечения произвольного доступа в линии связи от мобильных станций к базовой. При одновременном доступе нескольких станций возможны конфликты при доступе.

В системах WCDMA организуются три типа выделенных каналов с конфигурацией типа «точка-точка» (DCCH, DTCH и UPCH), которые обеспечивают организацию двусторонней радиосвязи между базовой и мобильной станцией. Основное отличие между разными каналами в том, что они предназначены для передачи различного вида информации. Так, управляющая информация передается по каналу DCCH, трафик сетей с коммутацией каналов – по DTCH, а пакетная информация – по каналу UPCH.

При передаче данных в широком диапазоне скоростей принят метод пакетной передачи данных, обеспечивающий асимметричный трафик в направлениях связи («вверх/вниз»). Метод пакетной передачи хорошо согласуется с принципом адаптивных каналов, скорость передачи которых изменяется в зависимости от трафика. Например, для низкоскоростного трафика в каждом направлении «вверх» и «вниз» может использоваться общий физический канал типа FACH или RACH. Если же объем трафика достаточно высокий, то для передачи выбирается канал типа UPCH.

Последний тип канала управления, получивший обозначение LCCH (Leash Control Channel), был предложен ITU [12] для систем, работающих в режиме, ориентированном на установление соединения. Низкоскоростной канал LCCH закреплен за мобильной станцией и передача по нему осуществляется регулярно, в том числе и при отсутствии полезной на-

грузки (с целью контроля). В настоящее время в протоколах CDMA такой канал не используется. Типы логических каналов, которые применяются в WCDMA, приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Типы логических каналов

Тип	Название канала	
ACCH	Associated control channel	Совмещенный канал управления
BCCH	Broadcast Control Channel	Широковещательный канал управления
CCCH	Common Control Channel	Общий канал управления
CCH	Control Channel	Канал управления
DCCH	Dedicated Control Channel	Выделенный канал управления
DTCH	Dedicated Traffic Channel	Выделенный канал трафика
FACH	Forward Access Channel	Прямой канал доступа
FACCH	Fast Associated Control Channel	Высокоскоростной совмещенный канал управления
PCH	Paging Channel	Пейджинговый канал
RACH	Random Access Channel	Канал произвольного доступа
SACCH	Slow Associated Control Channel	Низкоскоростной совмещенный канал управления
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel	Автономный выделенный канал управления
TCCH	Traffic Channel	Канал трафика
UPCH	User Packet Channel	Канал передачи абонентских пакетов

### Транспортные каналы

Основной задачей транспортных каналов является предоставление услуг физического уровня для более высоких уровней. Такие каналы описывают, как и с какими характеристиками данные передаются через радиointерфейс. Транспортные каналы, так же как и логические, в зависимости от способа организации связи подразделяются на две группы (рис. 7.7):

- общие каналы CCH (типа «точка-точка»), в которых не требуется идентификация мобильной станции в рабочей полосе частот;
- выделенные каналы DCH (типа «точка-точка»), в которых мобильная станция однозначно идентифицируется физическим каналом, т.е. определенным кодом и частотой.

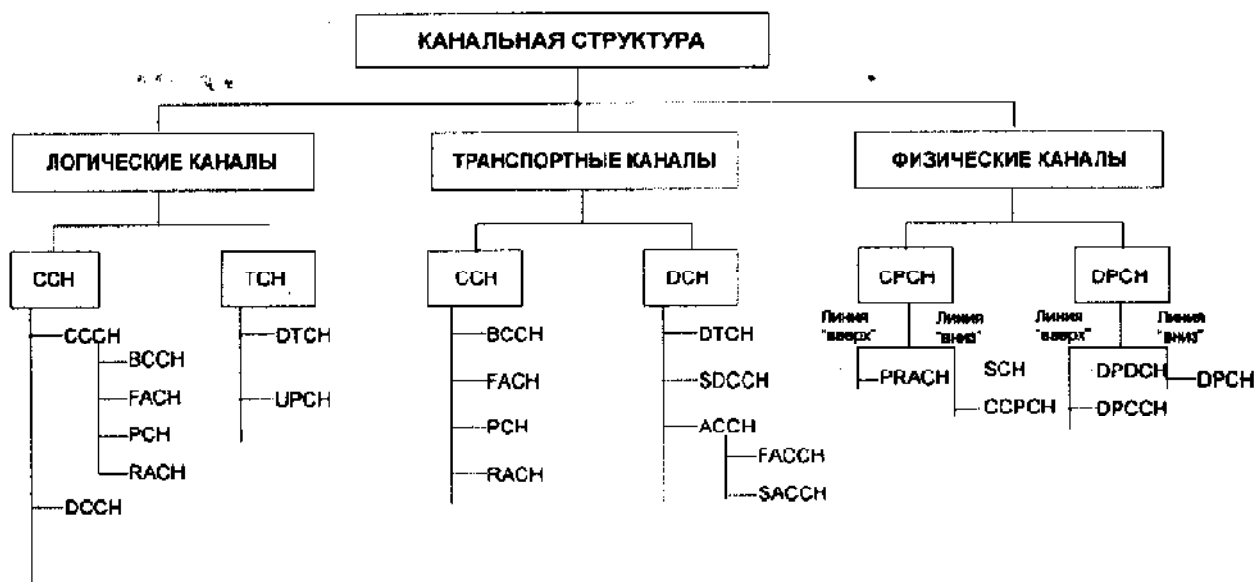
Общие каналы доступны группе абонентов, т.е. связь организуются одновременно между базовой и несколькими мобильными станциями. В этом режиме не требуется идентификация мобильных станций в рабочей полосе частот.

В проектах WCDMA и UTRA нашли применение четыре типа общих (BCCH, FACH, PCH, RACH) и три типа выделенных каналов (DTCH, SDCCH и ACCH). По выделенному каналу связь осуществляется между базовой и одной из мобильных станций. Каждая мобильная станция имеет свой отличительный признак «код-частота».

По каналу FACH передается управляющая информация по линии «вниз» (от базовых станций к мобильным). Канал может быть использован также для управления диаграммой направленности антенны. Возможно использование медленного и быстрого управления мощностью. Запрос об идентификации мобильной станции передается в рабочей полосе.

При работе нескольких мобильных станций в одном канале доступа RACH неизбежно возникают конфликты. Их обработку осуществляют протоколы MAC подуровня. Управление мощностью осуществляется по схеме с разомкнутой обратной связью. Когда мобильная станция использует канал доступа RACH, то возникает необходимость ее идентификации в рабочей полосе.

Рис. 7.7. Иерархическая канальная структура WCDMA



Совмещенный канал ACCH используется для передачи управляющей информации совместно с потоком данных. Обычно он состоит из двух подканалов, один из которых низкоскоростной (SACCH), а другой высокоскоростной (FACCH). Первый тип канала SACCH обычно используется для управления мощностью. По нему с базовой станции передаются команды изменения уровня выходной мощностью передатчика, а с мобильной на базовую – данные измерения уровня входного сигнала приемника. Второй тип канала FACCH служит для передачи команд переключения частоты при переходе мобильной станции из одной соты в другую. Некоторое различие между проектами WCDMA и UTRA в том, что в первом используется только один тип выделенного канала (DTCH), а во втором – три (DTCH, SDCCCH и ACCH).

## 7.5. Структура физических каналов

### Типы физических каналов

Различают три типа физических каналов: общие, выделенные и маркерные (последний тип каналов на рис. 7.7 не показан). По общему физическому каналу передается вызывная, управляющая и абонентская информация, а также символы пилот-сигнала, которые могут приниматься одновременно всеми абонентами, обслуживаемыми данной секторной антенной.

Выделенный канал, предназначен для организации связи с конкретным пользователем. По нему передаются абонентские данные, управляющая информация, вспомогательные пилот-символы управления диаграммой направленности антенны, биты управления мощностью и информация о скорости передачи в канале.

Физические каналы определяют качественные характеристики передаваемой информации и способы (или режимы) ее передачи. Отличительными признаками физического канала являются: код, частота и фазовый сдвиг (I/Q) каналов. Радиointерфейс WCDMA/UTRA позволяет образовывать 7 общих или выделенных физических каналов, приведенных в табл. 7.2.

Таблица 7.2. Типы физических каналов

Тип	Название канала	
CCPCH	Common Control-Physical Channel	Общий физический канал управления
CPCH	Common Physical Channel	Общий физический канал
DPCCCH	Dedicated Physical Control Channel	Выделенный общий физический канал
DPCH	Dedicated Physical Channel	Выделенный физический канал
DPDCH	Dedicated Physical Data Channel	Выделенный общий физический канал
PRACH	Physical Random Access Channel	Физический канал произвольного доступа.
SCH	Synchronization Channel	Синхроканал

### Выделенные и общие каналы

Разделение каналов передачи данных и управления осуществляется на физическом уровне. Технология WCDMA поддерживает два режима пакетной передачи данных, выбор которых зависит от размеров передаваемых сообщений. Короткие пакеты передаются по общему каналу, что не требует выделения отдельного канального ресурса. Передача длинных пакетов осуществляется по выделенному каналу. В случае, когда длина пакета превышает допустимую (время устанавливается по таймеру), то сообщение автоматически разбивается на два или более пакетов.

Выделенный канал DPDCH может разделяться между несколькими абонентами (от кадра к кадру) при передаче «вниз». При этом абоненты могут использовать один ортогональный код, так как каждый пакет сопровождается независимой служебной информацией. Выделенный канал наиболее подходит для работы в условиях пиковой нагрузки, когда в одном направлении («вниз») группе абонентов передаются интенсивные потоки данных, например, целые Web-страницы.

Передача информации по линии «вверх» осуществляется по двум каналам DPDCH и DPCCCH. Первый из них предназначен для передачи данных, генерируемых на канальном или сетевом уровне, т.е. доставляемых по транспортному каналу DCH. На каждое соединение может приходиться один или несколько каналов DPDCH. Возможен также вариант, когда канал DPDCH не передается.

Другой канал DPCCCH предназначен для передачи управляющей информации: пилот-сигнала, команд управления мощностью TPC (Transmit Power Control) и указателя транспортного формата TFI (Transport Format Indicator). Указатель транспортного формата используется для оповещения приемника о текущем состоянии и параметрах транспортных каналов, передаваемых в DPDCH.

В WCDMA кадр длиной  $T=10$  мс разделен на 15 канальных интервалов<sup>37</sup>, каждый длиной 0,625 мс. Суперкадр образуется из 72 кадров и имеет длину  $T=720$  мс. Структура кадра для выделенных каналов DPDCH и DPCCCH приведена на рис. 7.8 (линия «вверх») и рис. 7.9 (линия «вниз»).

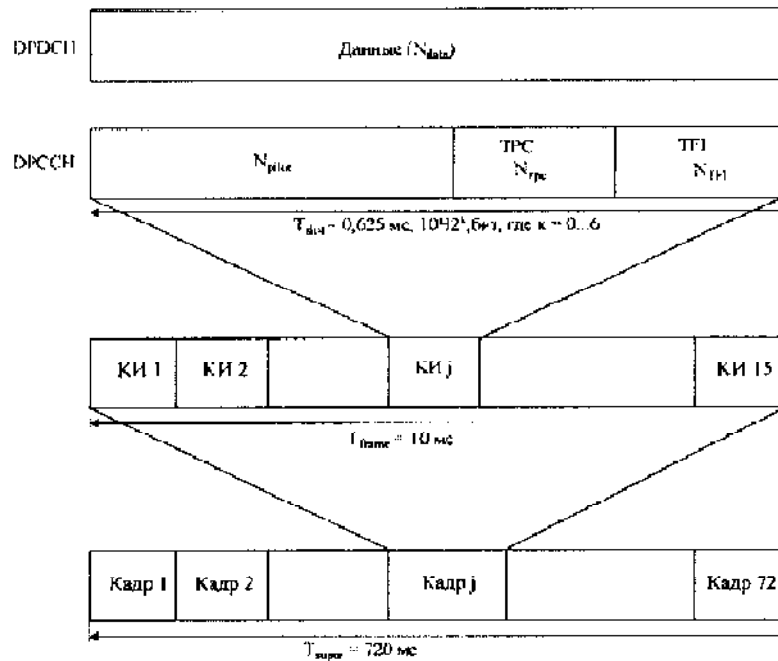
Основное различие в структуре кадров DPDCH и DPCCCH в линиях связи «вверх» и «вниз» состоит в том, что в первом случае каналы передаются с кодовым уплотнением

<sup>37</sup> Изменение в проекте WCDMA чиповой скорости с 4,096 Мчип/с на 3,84 Мчип/с повлекло за собой соответствующее уменьшение числа интервалов в кадре с 16 (первоначальное предложение) до 15. При этом длина канального интервала осталась неизменной (0,625 мс).

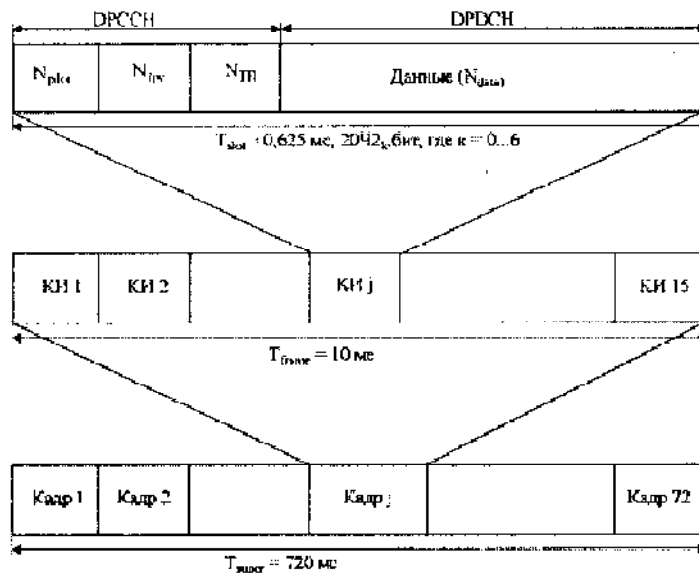


(рис. 7.8), а во втором – с мультиплексированием во времени (рис. 7.9). На рисунках число передаваемых битов во временном интервале обозначается индексами:  $N_{pilot}$  (пилот-сигнал),  $N_{TPC}$  (биты управления мощностью) и  $N_{TFI}$  (указатель формата кадра).

**Рис. 7.8.**  
Структура кадра для каналов DPDCH/DPSSCH (линия «вверх»)



**Рис. 7.9.**  
Структура кадра для каналов DPDCH/DPSSCH (линия «вниз»)



Параметр  $k$  (рис. 7.8) определяет общее число битов на каналный интервал. Он связан с коэффициентом расширения спектра соотношением  $SF=256/2^k$ , где  $k=0..6$ , т.е. коэффициент расширения  $SF$  может изменяться в пределах от 4 до 256.

Заметим, что DPDCH и DPSSCH каналы могут передаваться с различными скоростями и иметь различные коэффициенты расширения  $SF$ . В случае, когда требуемая скорость

передачи по одному каналу «вниз» превышает пропускную способность одного физического канала, может применяться мультикодовая передача, при которой организуется несколько параллельных каналов в одном и том же канальном интервале длиной 0,625 мс. При мультикодовой передаче коэффициенты расширения SF в различных каналах могут отличаться.

В прямом канале WCDMA общий пилот-сигнал не предусматривается. Пилот-символы передаются персонально каждому абоненту в начале каждого КИ. По сравнению с системой cdma2000 такой способ организации связи в прямом канале имеет недостаток, так как энергия пилот-сигнала расходуется нерационально (общая энергия пилот-сигнала велика, в то время как абонент получает только небольшую ее часть). Естественно, что это сказывается на условиях когерентного приема особенно при высокой скорости движения мобильной станции, так как за время, прошедшее между символами пилот-сигнала (10 мс), параметры о фазе принимаемого сигнала могут устаревать.

Кроме выделенных каналов в линии «вниз» организуются два типа общих каналов СРСН (первичные и вторичные). Первичный канал используется для передачи широкополосной информации, поступающей с транспортного канала ВССН с фиксированной скоростью 32 кбит/с (SF=256). Кадр имеет аналогичную структуру, что и выделенный канал (рис. 7.8), однако размеры временного интервала являются фиксированными. В одном таком интервале передаются пилот-сигнал (8 битов) и данные (12 битов), т.е. отсутствуют биты управления мощностью TPC и указатель формата TFI.

Вторичный общий канал используется для передачи вызывных и служебных сигналов (FACH и RCH). В отличие от первичного канала скорость передачи в нем может быть переменной. Структура канального интервала совпадает с ранее описанной, однако длина передаваемого сегмента может быть переменной, т.е.  $20 \cdot 2^k$ , где  $k=0..6$ .

### Perch канал

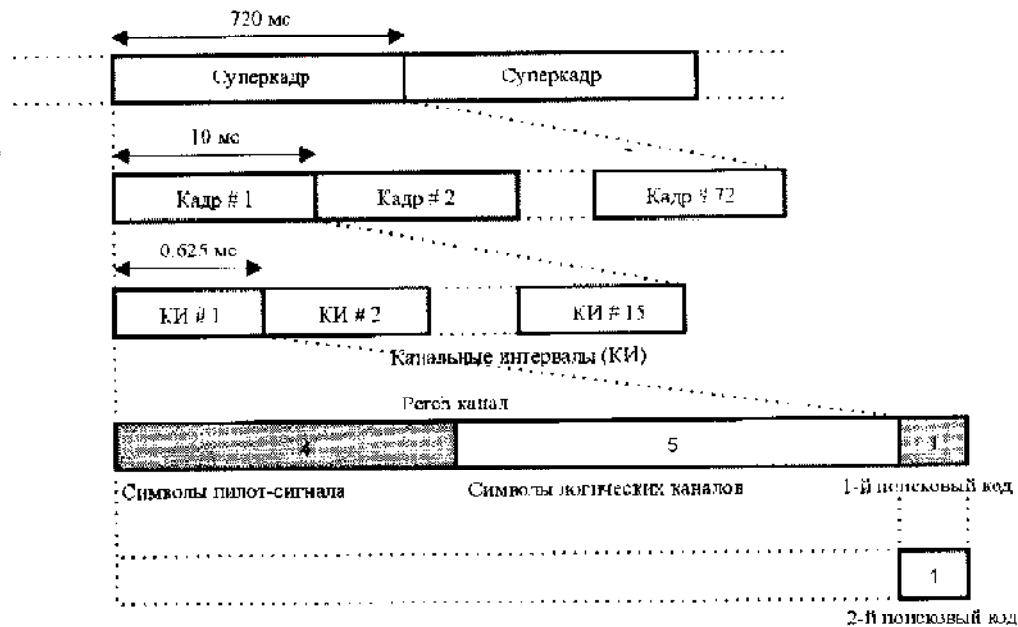
Кроме двух основных типов физических каналов (общих и выделенных) в системе WCDMA организуется третий, так называемый, маркерный канал (Perch channel). Такой канал аналогичен по своему назначению пилотному каналу, который передается базовой станцией в широкополосном режиме, но с расширенными функциональными возможностями.

Структура Perch канала отличается от обычного пилотного канала и состоит из трех мультиплексированных во времени частей (рис. 7.10). Первая часть канального интервала – это общий пилот-сигнал, используемый для установления первоначальной синхронизации мобильной станции с базовой. Во второй части канального интервала содержатся данные об используемых логических каналах. Третья часть – поисковые коды, с помощью которых мобильная станция может идентифицировать базовую станцию.

Чтобы убыстрить процедуру поиска все символы Perch канала (кроме поисковых кодов), передаются с использованием только одного сигнала с расширением спектра. Два различных немодулированных поисковых кода объединяются в групповой сигнал, что позволяет использовать ортогональные кодовые последовательности Голда.

К достоинствам предлагаемой структуры относится ее высокое быстродействие. Что же касается недостатков, то они, в основном, связаны со снижением доли излучаемой энергии пилот-сигнала, поскольку он занимает лишь часть канального интервала.

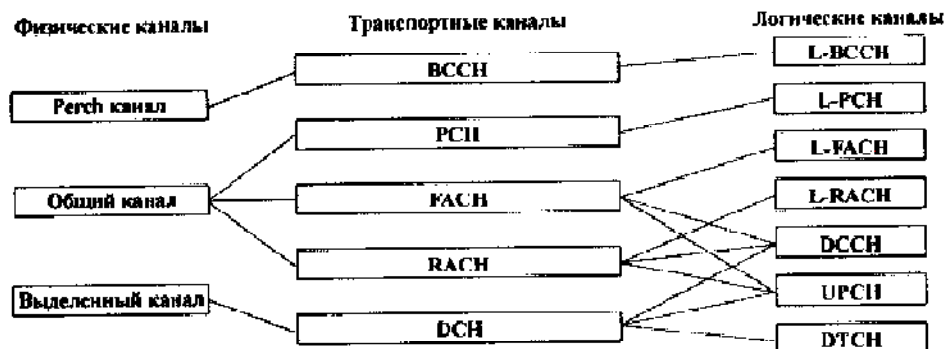
Рис. 7.10. Кадровая структура Perch канала



### 7.6. Принципы взаимного отображения каналов

Между логическими, транспортными и физическими каналами существует однозначная взаимосвязь. Число логических каналов обычно значительно больше, чем транспортных, т.е. каждый транспортный канал соответствует одному или нескольким логическим каналам (рис. 7.11).

Рис. 7.11. Взаимосвязь логических, транспортных и физических каналов



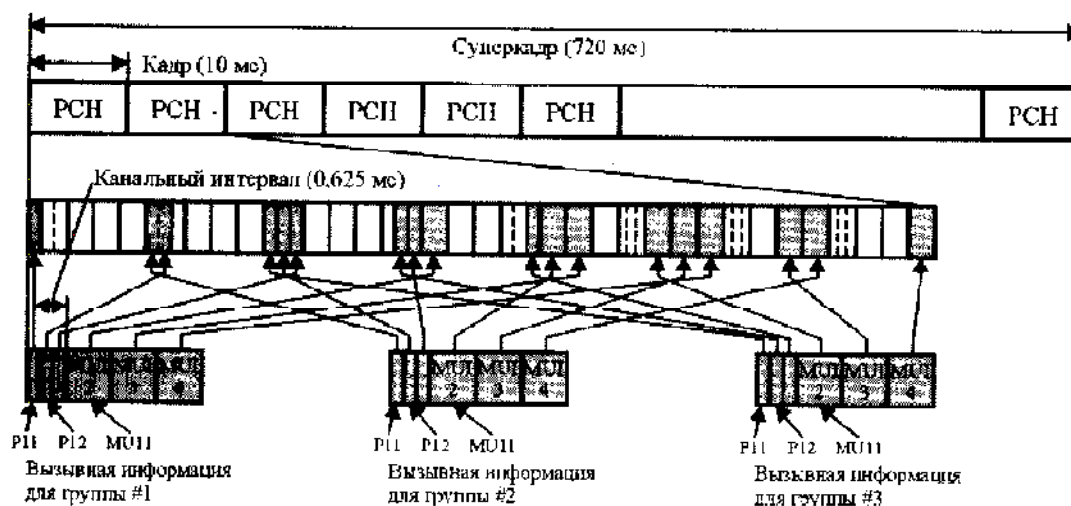
Переход от транспортных к физическим каналам также сопровождается уменьшением их числа, т.е. каждый физический канал может соответствовать одному или нескольким транспортным каналам. Поток данных при переходе информации из одного канала в другой трансформируется на уровне канальных интервалов, кадров и данных сигнализации.

Отметим, что пейджинговый канал PCCH и канал доступа FACH отображаются на общий физический канал «вниз», а канал доступа RACH -- на общий физический канал «вверх».

Пейджинговый канал разделяется на несколько групп в одном суперкадре и вызывная информация передается в каждой группе (рис. 7.12). Каждая группа PCCH может занимать до 4 канальных интервалов и состоять из 6 информационных частей: 2-х блоков PI (Paging Indication – индикации входящих вызовов) и 4-х блоков MUI (Mobile User Identifier – идентификация мобильных абонентов).

В каждой группе блок исходящих вызовов P1 передается перед MUI. Во всех группах 6 блоков данных распределены по определенному закону в 24 канальных интервалах, т.е. фактически образуется 144 группы. Путем сдвига исходной группы на 4 КИ образуется новая группа. Все 288 групп могут быть распределены в одном вторичном физическом канале управления общего пользования Secondary CCPCH.

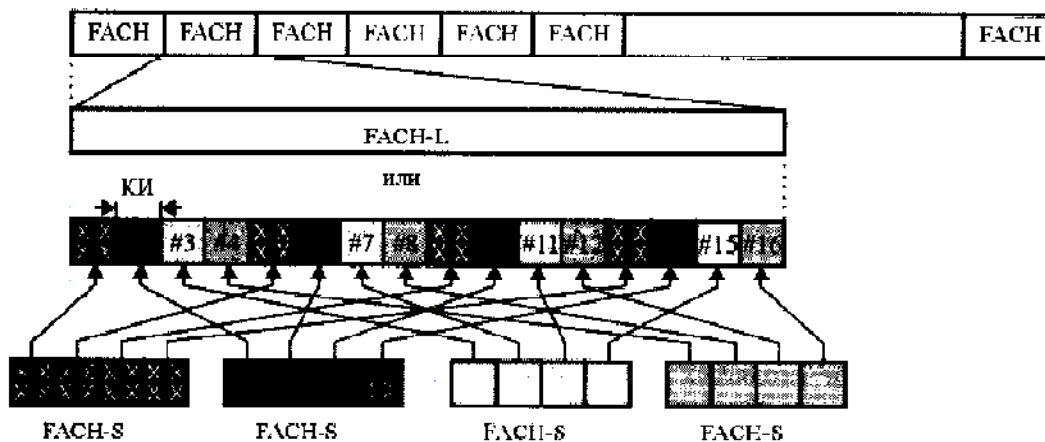
Рис. 7.12. Диаграмма отображения пейджингового канала PCN в физический канал



Метод пакетной передачи хорошо согласуется с принципом адаптивных каналов, скорость передачи которых изменяется в зависимости от трафика. Например, для низкоскоростного трафика в каждом направлении «вверх» и «вниз» может использоваться общий физический канал типа FACH или RACH. Если же трафик достаточно интенсивный, то выбирается для передачи канал типа UРСН.

Схема отображения прямого канала доступа в общий физический канал иллюстрируется на рис. 7.13. Возможны 2 режима передачи управляющей информации в направлении от базовой станции к мобильным: FACH-L (FACH Long) и FACH-S (FACH Short). В первом режиме передаются длинные сообщения, а во втором – более короткие. Формат кадра предусматривает образование до 4 подканалов FACH-S, которые уплотнены во времени в одном кадре (см. рис. 7.13).

Рис. 7.13. Метод отображения транспортного канала FACH в физический канал



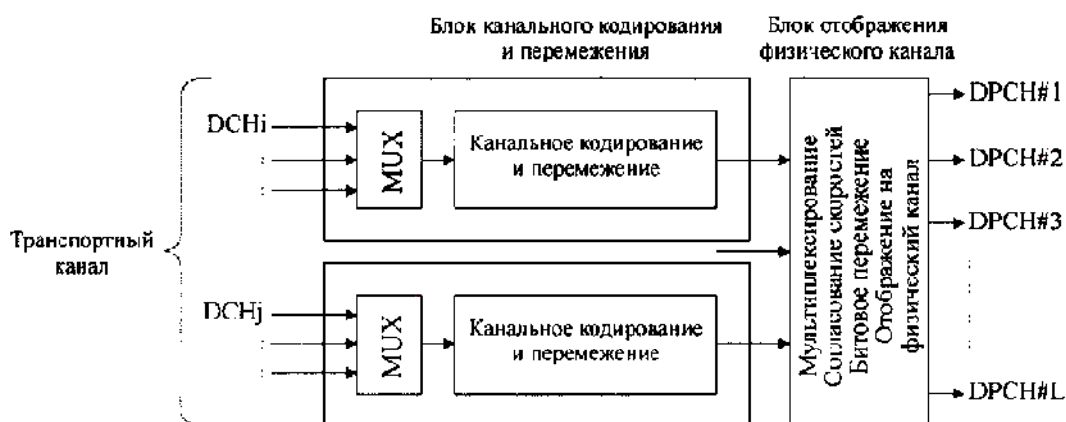
## 7.7. Мультиплексирование, канальное кодирование и перемежение

### Мультиплексирование услуг

Для более эффективного использования физического канала WCDMA при передаче низкоскоростной информации предусматривается мультиплексирование в одном физическом канале DPDCH нескольких низкоскоростных потоков данных. Процедура отображения транспортных каналов с разными показателями качества (QoS) в один или несколько физических каналов получила название мультиплексирование услуг (рис. 7.14).

Наиболее простая ситуация возникает, когда мультиплексируются услуги с одинаковым показателем качества QoS. Для этих видов услуг достаточно процедуры сверточного кодирования и перемежения. При передаче данных с различными требованиями к обслуживанию реализуется механизм согласования скорости, который позволяет обеспечить заданные требования к качеству связи и помехоустойчивости. Выходные потоки с блока канального кодирования и перемежения (см. рис. 7.14) являются одинаковыми во всех каналах.

Рис. 7.14. Структура мультиплексирования услуг



Если же объем информации в одном транспортном канале слишком велик и не может быть обработан в одном канале, то такой поток разбивается на блоки меньшего размера, которые могут независимо кодироваться и перемежаться.

### Канальное кодирование

Полная процедура формирования закодированного потока данных включает 2 этапа (рис. 7.15). На первом осуществляется канальное кодирование (возможно, совмещенное с мультиплексированием и перемежением), статическое согласование скоростей, межкадровое перемежение и мультиплексирование транспортных каналов. Основным фактором, определяющим выбор кодирующей цепочки, является требуемое отношение сигнал/шум  $E_b/N_0$  для различных типов трафика. Такое согласование является статическим, т.е. не изменяется от кадра к кадру.

Когда различие в требованиях к  $E_b/N_0$  для различных видов информации устранено, начинается второй этап кодирования. Основная его цель – привести в соответствие переменную скорость мультиплексированного потока данных со скоростью передачи в радио-

канале. Такое согласование скоростей является динамическим в линии «вверх», т.е. изменяющимся от кадра к кадру, и статическим в линии «вниз». Рассмотрим кратко характеристики каждого из перечисленных методов кодирования.

**Рис. 7.15.**  
**Схема кодирования**  
**транспортных каналов**



В WCDMA применяются четыре типа кодирующих цепочек: сверточное кодирование, каскадное кодирование (внешний код Рида-Соломона + перемежение внешнего кода + сверточный код), турбо-кодирование и специальное кодирование. Благодаря использованию нескольких схем кодирования появляется возможность получить выигрыш в различных условиях эксплуатации. Так, сверточный код обычно используется для передачи трафика от речевых кодеков, где требуется обеспечить вероятность ошибки на бит (BER) не более  $10^{-3}$ . Сверточный код со скоростью  $R=1/3$  может найти применение в низкоскоростных каналах, а со скоростью  $R=1/2$  – в каналах управления. Кодовое ограничение во всех вариантах выбрано равным  $K=9$ . Турбо-кодирование осуществляется со скоростью  $R=1/3$  или  $R=1/2$  при кодовом ограничении  $K=3$ . Параметры кодирования для различных транспортных каналов приведены в табл. 7.3.

При передаче данных требуется обеспечить вероятность ошибки не более  $10^{-6}$ . В этих каналах сверточное кодирование используется в сочетании с кодом Рида-Соломона и перемежением. Основные параметры для сверточного кодера приведены в табл. 7.4.

Таблица 7.3. Параметры кодирования для различных типов транспортных каналов

Тип транспортного канала	Кодовое ограничение	Скорость кодирования
Широковещательный (BSCH)	K=9	1/2
Пейджинговый (PSCH)	K=9	1/2
Прямой канал доступа (FACH)	K=9	1/2
Канал произвольного доступа (RACH)	K=9	1/2
Выделенный канал (DCH)	До 32 кбит/с	K=9
	32 кбит/с и более	K=3 (турбо-код)

Таблица 7.4. Коэффициенты многочлена сверточного кода (значения даны в восьмеричной форме)

Скорость кодирования	Кодовое ограничение	Многочлен 1	Многочлен 2	Многочлен 3
R=1/2	K=9	561	753	-
R=1/3	K=9	557	663	711

Турбо-кодирование предполагается применять в высокоскоростных каналах со скоростью передачи 32 кбит/с и вероятностью ошибки не более  $10^{-6}$ . Турбо-коды со скоростью кодирования R=1/3 или R=1/2 предназначены для замены составного кода (Рид-Соломон + сверточный код).

Сравнительные характеристики помехоустойчивости для двух вариантов кодирования приведены в Приложении 3. Более детально эти вопросы в настоящее время исследуются в ETSI.

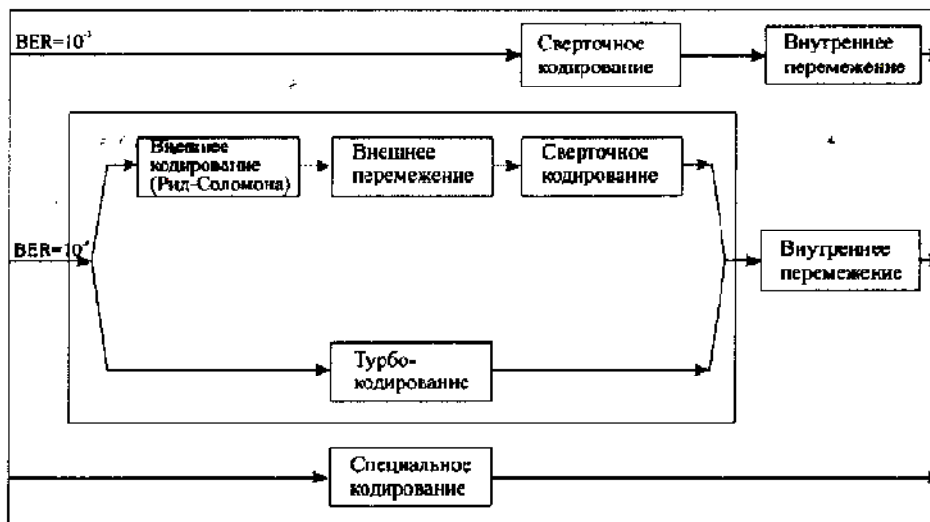
### Перемежение и согласование скоростей

Глубина перемежения в транспортных каналах зависит от требований к задержке информации и может принимать четыре градации: 10 мс (перемежение в пределах одного кадра), 20 мс, 40 мс и 80 мс. Закон перемежения основан на использовании метода многошагового перемежения MIL (Multi-Stage Interleaving). Примеры законов канального перемежения символов в случае использования сверточного кодирования приведены в приложении 3. Аналогичные законы перемежения могут быть реализованы для выделенного канала DCH и при турбо-кодировании.

Внешнее перемежение используется в тех случаях, когда передача осуществляется на интервале, превышающем длину одного кадра (10мс). Перемежение осуществляется на ширину блока, определяемого длиной кода Рида-Соломона. Глубина поблочного перемежения изменяется в пределах от 20 мс до 150 мс.

Специальные коды применяются для расширения функциональных возможностей радиоинтерфейса и позволяют адаптировать определенный класс кодов под конкретные виды услуг (рис. 7.16). Одним из типичных применений таких кодов является неравномерная защита от ошибок для некоторых типов речевых кодеков. Речевой поток разбивается на пакеты, каждый из которых передается с разной степенью помехозащищенности. Возможны и другие варианты специального кодирования.

**Рис. 7.16.**  
Виды канального кодирования и перемежения



В системе WCDMA предполагается использовать два режима согласования скоростей:

- статическое согласование, осуществляемое достаточно редко, обычно каждый раз, когда транспортный канал добавляется в сеть или удаляется из нее;
- динамическое согласование, изменяемое от кадра к кадру, т.е. каждые 10 мс.

Статическое согласование скорости преследует цель изменить скорость кодированного транспортного канала таким образом, чтобы, с одной стороны, выполнялись заданные требования к качеству обслуживания, а, с другой стороны, затрачивались минимальные ресурсы системы. Кроме того, если скорость источника сообщений превышает максимальную скорость транспортного канала, то также требуется согласование скорости.

Технически статическое согласование реализуется путем использования двух процедур: периодического исключения каждого  $j$ -го символа и  $n$ -кратного повторения символов. Следует отметить, что хотя статическое согласование всегда осуществляется до операции мультиплексирования транспортных каналов, скорости согласования в разных транспортных каналах должны быть взаимосвязаны.

Динамическое согласование каналов осуществляется после операции мультиплексирования и позволяет согласовать мгновенную скорость группового транспортного канала с пропускной способностью физического канала.

Другая альтернатива мультиплексированию услуг – многокодовая передача, при которой информация одновременно передается по нескольким каналам OFDM. Выбор параметров для однокодовой и мультикодовой передачи иллюстрируется в Приложении 3.

## 7.8. Расширение спектра и модуляция

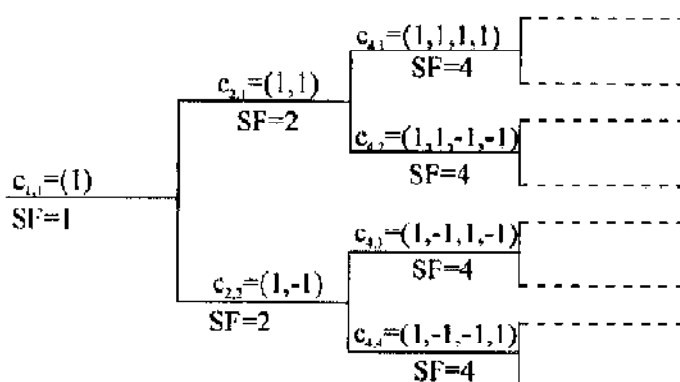
### Ортогональные коды переменной длины

Возможность адаптации системы к различным скоростям передачи обеспечивается за счет использования специальных каналобразующих кодов (channelization code). Принцип их образования иллюстрируется на рис. 7.17, где приведено кодовое дерево, позволяющее генерировать ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения спектра, т.е. OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) коды.



Каждый уровень кодового дерева определяет кодовые слова длиной SF (SF – коэффициент расширения спектра). Полное кодовое дерево содержит 8 уровней, что соответствует коэффициенту SF=256 (на рис. 7.17 показаны лишь 3 нижних уровня).

**Рис 7.17.**  
**Кодовое дерево**  
**для генерации**  
**OVSF кодов**  
 (SF – коэффициент расширения)



Из рисунка видно, что каждый последующий уровень удваивает возможное число каналообразующих кодов. Так, если на уровне 2 может быть образовано только 2 кода (SF=2), то на следующем 3-ем уровне уже генерируется 4 кодовых слова (SF=4) и т.д.

Таким образом, ансамбль OVSF кодов не является фиксированным, а зависит от коэффициента расширения SF, т.е. фактически от скорости передачи в канале.

Важно отметить, что не все последовательности, генерируемые кодовым деревом, могут одновременно быть реализованы в одной и той же соте. Код не может быть выбран для использования, если на пути от него до корня дерева существует хотя бы один уже используемый код, иначе нарушится их ортогональность.

Каналообразующие коды для широкополосного транспортного канала WCDMA выбраны одинаковыми во всех сотах системы, а следовательно, они не изменяются в процессе сеанса связи. В других случаях каналообразующий код может изменяться (например, в процессе хэндовера или в случае оперативной смены режима работы). Оповещение о смене канала «вниз» осуществляется по выделенному каналу DCH.

Для передачи кодовых слов транспортного формата (TFI) используется биортогональный блочный код (32,6). Кодовое слово TFI длиной 32 бита равномерно распределяется по 15 канальным интервалам (КИ) в пределах одного кадра, т.е. два самых старших разряда (бита) передаются в первом КИ, следующих два бита – во втором КИ и т.д.

### Короткие и длинные коды

В линии «вверх» могут быть использованы короткие и длинные скремблирующие коды. В первом случае кодовые последовательности  $c_s$  могут быть представлены в виде комплексной последовательности  $c_s = c_1 + jc_0$ , где  $c_1$  и  $c_0$  – расширенные коды Касами, каждый длиной 256 символов. Такие коды в проекте WCDMA называют короткими кодами, и их используют, если предполагается выполнить многопользовательское (совместное) детектирование. Короткий код принципиально может быть изменен в течение сеанса связи, однако это происходит лишь в исключительных ситуациях. Как уже говорилось ранее, его использование требует кодового планирования в сети.

Во втором случае последовательности  $c_s = c_1 + jc_0$  представляют собой фрагменты кода Голда длиной 40 960 чипов. Такие коды в системе WCDMA называют длинными кодами и используют в прямом канале для разделения базовых станций. Так как система асинхронна,

то соседние БС имеют различные ПСП, повторяемые каждые 10 мс. Асинхронный принцип построения сети базовых станций делает систему WCDMA независимой от внешнего источника синхронизации.

Длинный код предполагается применять в тех сотах в линии «вверх», где не используется режим многопользовательского детектирования. Информация о том, какой длинный код может быть использован в линии, мобильная станция определяет лишь после того, как был принят короткий код. В этом случае никакого предварительного кодового планирования в сети не требуется.

Длинный код образуется путем посимвольного сложения по модулю 2 двух  $m$ -последовательностей, генерируемых различными генераторами. Первая последовательность формируется с использованием многочлена вида  $g_1(x) = 1 + X^3 + X^{41}$ , а вторая – многочлена  $g_2(x) = 1 + X^{20} + X^{41}$ . Результирующая последовательность образует ансамбль кодов Голда.

Код квадратурной компоненты генерируется путем циклического сдвига на 1024 бит кода синфазного канала. Период длинного кода в линии «вверх» ограничен длиной одного кадра (10 мс).

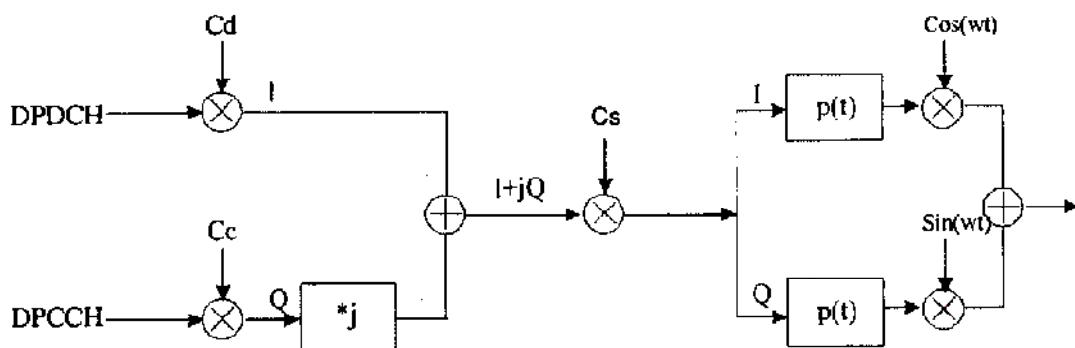
В линии «вниз» используется 512 скремблирующих кодов, которые разделены на 32 группы по 16 кодов в каждой. Группирование кодов позволяет обеспечить более быстрый поиск сот, особенно при первоначальном вхождении в синхронизм. В этом случае код образуется путем сложения по модулю 2 двух  $m$ -последовательностей, генерируемых генераторами, многочлены которых имеют вид  $g_1(x) = 1 + X^7 + X^{18}$  и  $g_2(x) = 1 + X^5 - X^7 + X^{10} + X^{18}$ .

## Модуляция

Модуляция в WCDMA осуществляется в два этапа. Вначале осуществляется QPSK модуляция в канале данных. Каждая пара битов входного потока отображается в один символ в I и Q каналах. Расширение спектра осуществляется с использованием двух различных кодов. После сложения действительной и мнимой части сообщения осуществляется операция скремблирования кодом  $c_s$ .

На втором этапе для расширения спектра также используется QPSK модуляция, но со сглаживанием. Фильтры  $p(t)$  обеспечивают коэффициент сглаживания равный 0,22. Упрощенная схема, поясняющая принципы расширения спектра и модуляции для выделенных каналов DPDCH и DPCCCH, приведена на рис. 7.18.

Рис. 7.18. Схема расширения спектра и модуляции для каналов DPDCH и DPCCCH (линия «вверх»)



## 7.9. Проблемы управления мощностью

Эффективная работа системы CDMA возможна лишь в случае, когда осуществляется регулировка мощности, обеспечивающая выравнивание уровней сигнала от различных мобильных станций на входе базовой станции. Управление мощностью позволяет не только снизить уровень взаимных помех, но и уменьшить энергопотребление мобильной станции, поэтому такая процедура применяется как в режиме частотного, так и временного дуплексного разделения. Возможны три способа управления мощностью в линии «вверх»:

- замкнутая схема управления;
- разомкнутая схема управления;
- внешняя петля регулирования.

Замкнутая петля управления обеспечивает более высокую точность и меньшую инерционность, обеспечивая отслеживание достаточно быстрых изменений сигнала, вызванных многолучевыми замираниями.

Основным критерием, по которому оценивается уровень мощности, является отношение сигнал/шум ( $S/N$ ), измеряемое в замкнутой петле БС-МС-БС на базовой станции по тестовому сигналу. Базовая станция оценивает уровень сигнала в канале DPCH на выходе RAKE приемника. Одновременно базовая станция оценивает общий уровень помех на заданной частоте и генерирует оценку отношения сигнал-помеха ( $SIR$  – Signal Interference Ratio). После этого формируется TPC (Transmit Power Control) команда в соответствии со следующим правилом:

если  $(S/N)_i > (SIR)_0$ , то команда  $\Delta_{TPC} = -1$  (мощность уменьшить)

если  $(S/N)_i < (SIR)_0$ , то команда  $\Delta_{TPC} = +1$  (мощность увеличить).

Регулировка мощности осуществляется с шагом  $\Delta_{TPC}=0,25-1,5$  дБ. Размер шага является переменным, что необходимо при работе в различных режимах работы.

В случае мягкого хэндовера применяется следующая процедура управления мощностью. На базовой станции оценивается качество канала по принимаемому сигналу. В случае, если значение входного сигнала ниже заданного порога, то передается команда на увеличение мощности. Мобильная станция сравнивает команды  $\Delta_{TPC}$ , принимаемые от различных базовых станций, и увеличивает свою мощность только в том случае, если все команды указывают на необходимость увеличения мощности, т.е. принимаемые уровни от всех БС на приемнике ниже заданного порога. Если хотя бы одна из команд указывает на необходимость снижения мощности, то мобильная станция будет по-прежнему уменьшать мощность передатчика. В случае же, когда одновременно приняты несколько команд на снижение мощности от разных базовых станций, то мгновенно увеличивается шаг управления мощностью, что обеспечивает ее еще более быстрое снижение.

Разомкнутая схема управления позволяет лишь грубо отрабатывать изменения уровня сигнала от мобильной станции на входе приемника базовой станции. Ее основная задача – обеспечение одинаковых уровней входящей мощности от отдельных мобильных станций.

Внешняя петля регулирования основана на косвенной оценке отношения сигнал-помеха  $SIR$ , которая определяется расчетным путем. Такая оценка качества вычисляется независимо для каждого соединения. Кроме того, внешняя петля регулирования может перераспределять мощность между различными каналами, например, между DPCH и DPCH в линии «вверх».

Предполагается, что линия «вниз» менее подвержена искажениям из-за системных помех и многолучевых замираний сигнала, поскольку на базовой станции всегда имеется энергетический запас.

Кроме поддержания качества канала линии «вниз» функции регулирования мощности придается другое значение – выравнивание нагрузки от разных сот системы. Чем больше

сота загружена, тем меньшую мощность излучает базовая станция и тем больше сокращается радиус соты, а следовательно, тем меньшую помеху создают абоненты в соседних сотах.

Рассмотрим процесс регулирования мощности в обратном канале. Каждый абонентский терминал непрерывно передает информацию об уровне ошибок в принимаемом сигнале. На основании этой информации базовая станция распределяет излучаемую мощность между абонентами таким образом, чтобы в каждом случае обеспечивалось приемлемое качество речи. Абоненты, на пути к которым радиосигнал испытывает большее затухание, получают возможность излучать сигнал большей мощности. Основная цель регулировки мощности в обратном канале – оптимизация площади соты.

Предлагаемые алгоритмы обеспечивают работу мобильной станции при минимально возможном уровне мощности, который достаточен для сохранения качества. В случае, когда один абонент использует одновременно режим реального и нереального времени, то замкнутая схема регулирования применяется в обоих режимах. Обобщенные параметры управления мощностью приведены в табл. 7.5.

**Таблица 7.5. Основные характеристики управления мощностью в режиме FDD**

Направление связи	Линия «вверх»	Линия «вниз»
Шаг управления мощностью	0,25-1,5 дБ (переменный)	0,25-1,5 дБ (переменный)
Число циклов контроля	1600 цикл/сек	1600 цикл/сек
Динамический диапазон управления мощностью	80 дБ	30 дБ

## 7.10. Установление синхронизации и вхождение в синхронизм

Синхронизирующий канал SCH создается в линии «вниз» и используется для поиска сот. Выполнен он в виде двух каналов: первичного и вторичного SCH. Первичный синхрокод состоит из немодулированного ортогонального кода Голда длиной 256 битов и имеет хорошую апериодическую автокорреляционную функцию. Кодовая последовательность конструируется с использованием двух  $m$ -последовательностей длиной 255 символов. Первая последовательность использует многочлен вида  $g_1(x) = 1 + X^2 + X^3 + X^4 + X^8$ , вторая –  $g_2(x) = 1 + X^3 + X^5 + X^6 + X^8$ .

Вторичный синхрокод состоит из 16 периодически повторяющихся последовательностей немодулированных ортогональных кодов Голда, каждый длиной 256 символов. Он передается параллельно с первичным синхросигналом. Каждый вторичный синхрокод выбирается из 17 различных кодов Голда  $\{C1, \dots, C17\}$ .

### Трехэтапная процедура поиска

Начальная синхронизация осуществляется в три этапа. Первая фаза установления соединения основана на сегментированной синхронизации (slot synchronization) мобильной станции с базовой. На этом этапе происходит поиск первичного синхросигнала SCH, передаваемого по выделенному физическому каналу. В первичном синхросигнале в начале каждого временного интервала передается ПСП длиной 256 элементарных символов (чипов). В качест-

ве такой последовательности используется немодулированный ортогональный код Голда, передаваемый один раз в течение кадра длительностью 10 мс. Первичный синхросигнал является общим для всех базовых станций.

Мобильная станция отслеживает первичный синхрокод с помощью согласованного фильтра или другого аналогичного устройства. Поскольку первичный код Голда – общий для всех базовых станций, то на выходе согласованного фильтра наблюдается большое число «пиков», каждый из которых соответствует определенной базовой станции. Выделяя наибольший из «пиков», можно точно определить начало временного интервала.

Таким образом, на первом этапе мобильная станция реализует процедуру вхождения в синхронизм по наиболее сильному сигналу базовой станции. Для обеспечения большей надежности накопления выборок на выходе согласованного фильтра применяется некогерентный прием первичного синхрокода.

Успешно завершив первый этап синхронизации, мобильная станция переходит ко второй фазе – установлению кадровой синхронизации и определению кодовой группы обнаруженной базовой станции. Эта процедура основана на выделении вторичного синхронизирующего сигнала, в котором в начале каждого слота передается один из 17 возможных кодов Голда длиной 256 чипов.

Посылка во вторичном синхросигнале повторяется каждый кадр. Поскольку вторичный синхрокод выбирается из 17 различных кодовых последовательностей, то для его обнаружения используется соответственно 17 корреляторов. Обработывая сигналы с выходов всех 17 корреляторов, приемник записывает в память 32 возможных комбинации ПСП в кадре и 16 циклических сдвигов (всего 512 значений). После этого решающая схема определяет, у какой пары «код Голда/циклический сдвиг» коэффициент корреляции максимальный. Наибольшее значение определяет номер кодовой группы, а следовательно, и наборы кодов, используемых в канале ВССН.

На третьей заключительной фазе установления синхронизации производится идентификация одной из 16 возможных последовательностей в кодовой группе. Процедура определения длинного кода сводится к посимвольной корреляции первичного ССРСН кода со всеми кодовыми последовательностями, входящими в кодовую группу. Зная исходную кодовую последовательность, мобильная станция однозначно идентифицирует ширококвещательное сообщение ВССН и, при необходимости, устанавливает суперкадровую (мультикадровую) синхронизацию.

## Организация доступа

Процедура доступа мобильной станции к обслуживающей базовой станции строго регламентирована и включает следующие шаги.

- 1 шаг. Вхождение в синхронизм с базовой станцией, реализуя вышеописанную трехэтапную процедуру установления синхронизации.
- 2 шаг. Прием ширококвещательного сообщения ВССН и извлечение из него следующих параметров: преамбулы и используемых в сети скремблирующих кодов, рабочей сигнатуры (последовательность символов преамбулы), канальных интервалов доступа, коэффициентов расширения SF, текущего уровня помех на входе приемника базовой станции и уровня излучаемой мощности в канале ССРСН.
- 3 шаг. Выделение кода преамбулы и скремблирующих кодов сообщения.

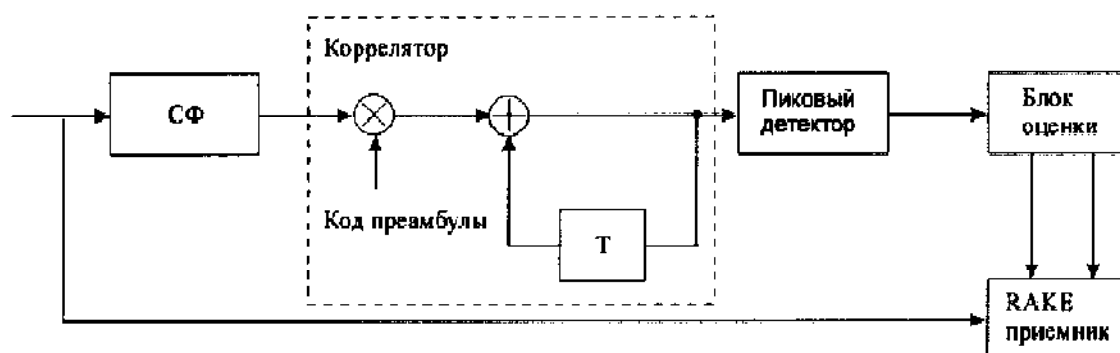
- 4 шаг. Определение коэффициента расширения SF для информационной части сообщения.
- 5 шаг. Оценка уровня сигнала в линии «вниз» по первичному SSРСН и определение требуемого уровня мощности в линии «вверх» на основании полученной от базовой станции информации о помеховой обстановке.
- 6 шаг. Применение рандомизированной процедуры определения окна доступа и сигнатуры.
- 7 шаг. Ожидание в течение установленного контрольного времени подтверждения приема с базовой станции. Если подтверждение не получено, то по истечении установленного тайм-аута станция повторяет процедуру установления связи, начиная с шага 5.

Типичная реализация приемника базовой станции для выделения кода преамбулы пакета доступа приведена на рис. 7.19. Входной сигнал поступает одновременно на согласованный фильтр (СФ) и RAKE приемник. На выходе СФ включен коррелятор преамбулы. На опорный вход коррелятора поступает код преамбулы.

С помощью пикового детектора и блока оценки выделяются границы пакета доступа для принимаемого кода преамбулы. Эта оценка используется для синхронизации RAKE приемника.

Многостанционный доступ обеспечивается с использованием протокола типа «сегментированная Алоха» по физическому каналу PRACH (Physical RACH). Различные каналы доступа сдвинуты относительно начальной границы кадра на произвольное число временных интервалов. Длительность элементарного интервала доступа равна 1,25 мс.

Рис. 7.19. Приемник базовой станции в канале доступа



Пакет доступа состоит из преамбулы длиной 1 мс и информационной части сообщения длиной 10 мс. Между преамбулой и сообщением предусмотрен защитный временной интервал длиной 0,25 мс. Код преамбулы является основным признаком, по которому можно отличить одну базовую станцию от другой, т.е. любые две соседние соты должны использовать различные коды преамбулы. Такой принцип организации доступа требует введения кодового планирования в сети.

Преамбула состоит из 16-символьной сигнатуры, вид которой указан в табл. 7.6. Каждый символ сигнатуры  $\{P_i\}$  является комплексным числом вида  $(\pm 1 \pm j)$ . Символы  $\{P_i\}$  расширяются с использованием 256-элементного ортогонального кода Голда.

Информационная часть пакета доступа генерируется аналогичным образом, что и в выделенном канале «вверх», т.е. включает два подканала, передаваемые параллельно. По синфазному (I) каналу передаются данные, по квадратурному (Q) каналу чередуется передача пилот-сигнала и полезной информации (запросный пакет или короткие абонентские сообщения). Коэффициент расширения SF подканала данных может принимать значения SF<sub>e</sub> {256,128,64,32}, которые однозначно определяют скорость передачи 16, 32, 64 или 128 кбит/с. Управляющая часть пакета, содержащая пилот-сигнал и информацию о скорости, передается с коэффициентом расширения SF =256. Пакет содержит следующие поля данных: идентификатор мобильной станции (16 битов), запрашиваемый вид услуг (3 бита), исходный абонентский пакет и проверочные символы (8 битов).

**Таблица 7.6. Структура сигнатуры преамбулы кода доступа**

Сигнатура	Символы преамбулы															
	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
1	A	A	A	-A	-A	-A	A	-A	-A	A	A	-A	A	-A	A	A
2	-A	A	-A	-A	A	A	A	-A	A	A	A	-A	-A	A	-A	A
3	A	-A	A	A	A	-A	A	A	-A	A	A	A	-A	A	-A	A
4	-A	A	-A	A	-A	-A	-A	-A	-A	A	-A	A	-A	A	A	A
5	A	-A	-A	-A	-A	A	A	-A	-A	-A	-A	A	-A	-A	-A	A
6	-A	-A	A	-A	A	-A	A	-A	A	-A	-A	A	A	A	A	A
7	-A	A	A	A	-A	-A	A	A	A	-A	-A	-A	-A	-A	-A	A
8	A	A	-A	-A	-A	-A	-A	A	A	-A	A	A	A	A	-A	A
9	A	-A	A	-A	-A	A	-A	A	A	A	-A	-A	-A	A	A	A
10	-A	A	A	-A	A	A	-A	A	-A	-A	A	A	-A	-A	A	A
11	A	A	A	A	A	A	-A	-A	A	A	-A	A	A	-A	-A	A
12	A	A	-A	A	A	A	A	A	-A	-A	-A	-A	A	A	A	A
13	A	-A	-A	A	A	-A	-A	-A	A	-A	A	-A	-A	-A	A	A
14	-A	-A	-A	A	-A	A	A	A	A	A	A	A	A	-A	A	A
15	-A	-A	-A	-A	A	-A	-A	A	-A	A	-A	-A	A	-A	-A	A
16	-A	-A	A	A	-A	A	-A	-A	-A	-A	A	-A	A	A	-A	A

### 7.11. Обеспечение хэндовера

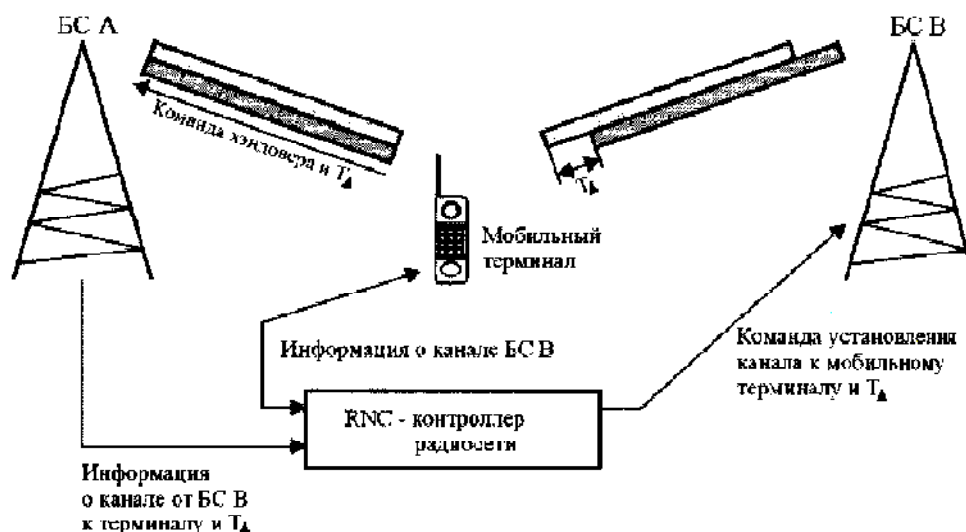
В WCDMA предложена гибкая схема обеспечения автоматического переключения вызова на другой канал, основанная на использовании одночастотного, межчастотного и межсистемного хэндовера.

Различают хэндовер без смены частоты, когда связь осуществляется в пределах одной соты на одной несущей частоте, и хэндовер со сменой частоты несущей, когда речь идет о переключении на соседнюю базовую станцию.

На рис. 7.20 показана типичная ситуация, возникающая при организации хэндовера. Мобильная станция постоянно контролирует уровень принимаемого сигнала от соседних базовых станций и сравнивает его с заданными порогами. Отчет о полученных оценках регулярно высылается на базовую станцию. В нем указывается активный набор базовых станций, уровень которых превышает установленные пороги. Измеренные данные передаются через «старую» БС (А) в контроллер радиосети RNC, который устанавливает в новой БС (В) синхронизацию режима передачи от станции В к терминалу абонента. Синхронизация производится с шагом 256 чипов, что обеспечивает ортогональность между кодами в линии «вниз» и дает возможность использовать когерентный RAKE-приемник в мобильном терминале.

Интересное решение предложено в WCDMA для осуществления межчастотного хэндовера. Скорость передачи по физическому каналу увеличивается в два раза, так что все данные одного кадра оказываются переданными за время, равное  $T/2$ , где  $T$  – длина кадра. В освободившемся временном интервале мобильная станция может осуществлять поиск сигнала на других частотах, перестроив свой радиоканал. Таким образом, технология WCDMA принципиально допускает выполнение межчастотного хэндовера мобильной станцией с единственным радиоканалом.

**Рис. 7.20.**  
Асинхронные операции мягкого хэндовера



Межчастотный хэндовер очень важен при организации сетей сотовой связи с разветвленной структурой. Для реализации этих операций используются эффективные измерительные процедуры: сегментированная передача «вниз» и двухканальный приемник. В сегментированном режиме приемник мобильного терминала осуществляет поиск на других частотах, не ухудшая условий приема данных от базовой станции, соединение с которой уже установлено.

Для мобильных терминалов, оборудованных антенной с мультиразнесенным приемом, возможно периодическое переключение на другие измеряемые частоты, при этом ранее установленное соединение не разрывается.

Переключение канала связи между сетями WCDMA и GSM – принципиальное требование при разработке систем нового поколения. Предлагаемое решение заключается в использовании мультикадровой структуры, в которой суперкадр или последовательность кадров по 120 мс обеспечивают эквивалентные временные сегменты, что и в сети GSM.



Межсистемный хэндовер менее критичен, чем внутрисистемный, к помеховой обстановке. Поэтому оценки отношения сигнал/шум у терминалов WCDMA не обязательно должны совпадать с теми измерениями уровня сигнала, которые получены в терминале GSM.

Терминал WCDMA FDD может проводить параллельные измерения уровня сигнала на других частотах и в других режимах работы FDD, TDD или на несущих GSM. Чтобы обеспечить плавный хэндовер между различными системами (UTRA и GSM), обе технологии должны обмениваться информацией об используемых частотах в зоне обслуживания и обеспечить синхронизацию терминала, что может быть реализовано на совмещенной базовой станции WCDMA/GSM. Терминал, работающий в режиме GSM, должен получать от совмещенной базовой станции по общему каналу дополнительную информацию о параметрах сигналов WCDMA.

Процедура хэндовера в режимах FDD/TDD может быть реализована при использовании двухрежимного терминала. Длина кадра в обоих режимах одинакова и равна 10 мс, что упрощает процедуру автоматического переключения вызова на другой канал, когда терминал переходит из соты WCDMA FDD в соту WCDMA TDD или наоборот.

В режиме FDD это достигается за счет того, что в кадре имеются свободные интервалы, которые могли бы быть использованы для приема сигнала на другой частоте. Еще проще провести измерения сигналов на другой частоте в режиме TDD, где передаваемая информация уже сжата во времени. Таким образом, можно не прерывая передачу FDD, осуществить прием на несущей частоте TDD или наоборот.

Задача межрежимного FDD/TDD хэндовера может быть значительно упрощена, если базовые станции в своих широковещательных сообщениях будут указывать номера сот, работающих в том или ином режиме (FDD или TDD), а также используемые расширяющие/скремблирующие коды.

## 7.12. Методы борьбы с замираниями

Одна из основных проблем, которая успешно решена в системах 3-го поколения – это обеспечение устойчивой работы абонентского терминала (мобильной станции) без использования традиционных методов разнесенного приема, которые требуют введения дополнительных каналов разнесенного приема. Классификация методов разнесенной обработки сигналов, используемых в мобильной связи, приведена в табл. 7.7.

Таблица 7.7. Методы разнесенной обработки сигналов, используемые в WCDMA

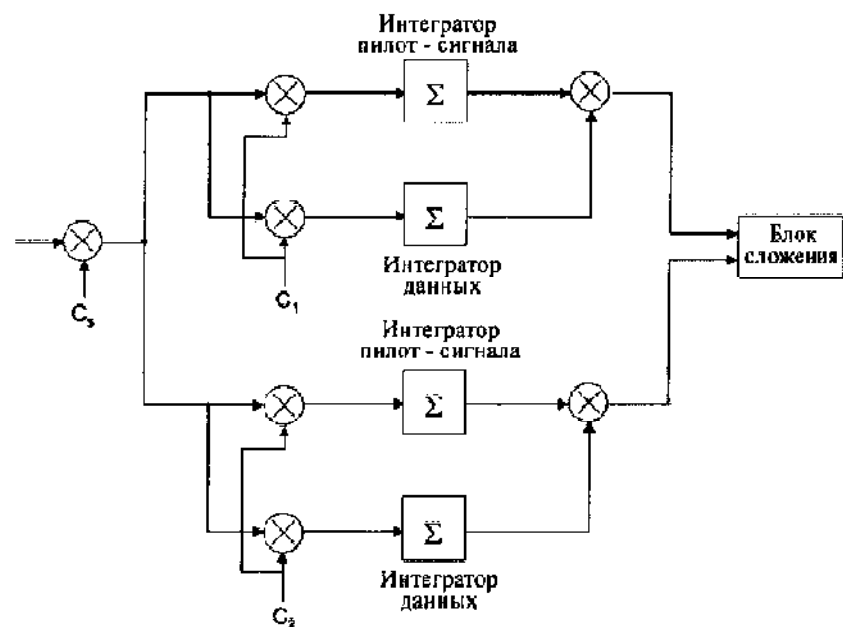
Тип разнесения	Методы борьбы с замираниями
Временное разнесение	Обеспечение перемежения символов в линиях «вверх» и «вниз»
Многолучевое разнесение	Использование RAKE приемника и введение режима совместного детектирования (joint detection)
Пространственное разнесение	Разнесение передающих (линия «вниз») и приемных (линия «вверх») антенн со сложением сигналов по максимуму отношения сигнал/помеха
Частотное разнесение	Использование сигналов с расширением спектра, что эквивалентно многолучевому разнесению
Макроразнесение	Мягкий хэндовер со сложением сигналов в линии «вниз» и прием с автовыбором в линии «вверх»

Среди методов, приведенных в табл. 7.7, не все в одинаковой степени эффективны при их использовании в WCDMA. Так, наиболее простой способ разнесенной передачи, связанный с введением задержки, практически непригоден, так как вызовет увеличение уровня взаимных помех и потребует введения дополнительного RAKE приемника в мобильной станции. Основное отличие нижеприведенных технических решений основано на обеспечении ортогональности между сигналами различных передающих антенн за счет использования кодового или временного разделения.

Рассмотрим принцип ортогонального разнесения на передаче OTD (Orthogonal Transmit Diversity), который для случая двух антенн реализуется следующим образом. Кодированные биты разделяются на два потока, каждый из которых передается через одну из антенн. Для расширения спектра используются различные каналообразующие коды, что обеспечивает ортогональность между передаваемыми потоками разных антенн и подавление взаимных помех в каналах с гладкими замираниями. Следует отметить, что процедура расщепления информационной последовательности на два потока данных и их передачи с помощью ортогональных кодов не снижает эквивалентного числа абонентских кодов, которое остается таким же, как и в случае без OTD.

Схема обработки разнесенных сигналов в RAKE приемнике с OTD иллюстрируется на рис. 7.21.

**Рис. 7.21.**  
**Схема RAKE**  
**приемника**  
**в режиме OTD**

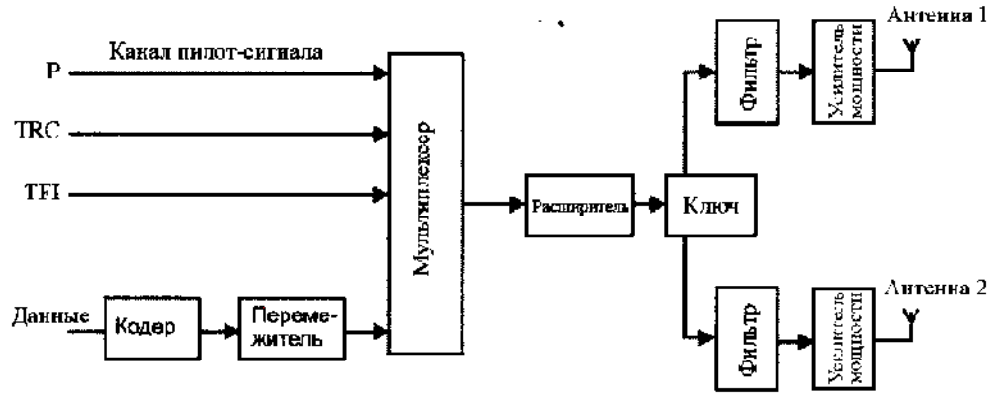


Следует отметить, что пилот-сигнал также расщепляется и передается через две антенны, что обеспечивает возможность его когерентного детектирования на приеме. Данные обрабатываются в двух параллельных каналах RAKE приемника. Поскольку сигналы принимаются одновременно с одной и той же задержкой (в каждом луче), то никакой дополнительной буферизации или временного сдвига данных не требуется. Этот значительно упрощает реализацию и снижает стоимость приемника мобильной станции.

Предлагаемая структура является достаточно гибкой и может быть легко расширена на большее число антенн. Что же касается реализации режима OTD на базовой станции, то в ней обеспечивается групповая обработка и используются те же методы модуляции, коди-

вания и мультикодовой передачи. Таким образом, все усложнения в основном связаны лишь с введением дополнительной антенны и приемопередающей аппаратуры.

**Рис. 7.22.**  
**Структурная схема передатчика базовой станции с коммутацией каналов**

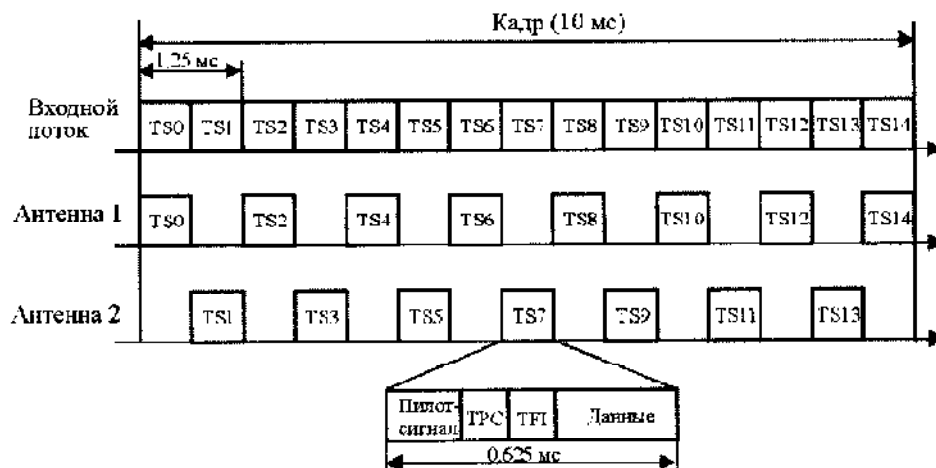


Упрощенная схема разнесения на передаче с коммутацией каналов для WCDMA в режиме FDD приведена на рис. 7.22. Канал пилот-сигнала, биты управления мощностью TPC и указатель формата TFI вместе с потоком данных объединяются в групповой сигнал, который после расширения спектра коммутируется и передается через одну из антенн. Закон коммутации задается на базовой станции или определяется на мобильной станции, которая по каналу сигнализации связана с базовой.

В системе с коммутацией каналов не требуется вносить никаких изменений в канальную структуру. В этом варианте используются те же методы канального кодирования, перемежения и согласования скоростей, которые обычно применяются в выделенных каналах связи. Что же касается общих транспортных каналов и канала синхронизации SCH, то они передаются в режиме FDD без разнесения (только через одну из антенн).

Диаграмма формирования коммутируемых потоков данных (для двух антенн) приведена на рис. 7.23. Кадр состоит из 15 временных интервалов, которые расщепляются на 2 потока: в одном из них собраны только четные, а другом – нечетные временные интервалы. Каждый из потоков передается через свою антенну. В этом варианте структура передаваемых пакетов и их содержание сохраняется без изменения, однако пропускная способность снижается.

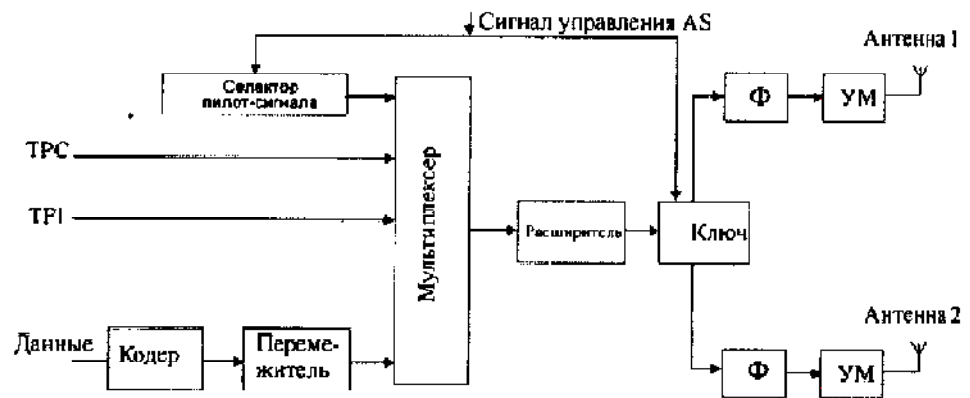
**Рис. 7.23.**  
**Временная диаграмма расщепления потоков данных**



Еще один вариант разнесения на передаче STD (Selection Transmit Diversity) основан на использовании информации об уровне пилот-сигнала и введении быстродействующего замкнутого контура управления мощностью.

Вариант разнесения реализуется следующим образом. В случае отсутствия мягкого хэндовера антенна базовой станции динамически переключается на основании данных анализа условий распространения, передаваемых с мобильной станции. Сигнал управления антенной AS (antenna selection) формируется и передается аналогичным способом, что и биты управления мощностью TRP, однако с более низкой скоростью (ориентировочно 400 Гц). Упрощенная схема передающей части базовой станции для этого варианта приведена на рис. 7.24.

**Рис. 7.24.**  
**Схема**  
**разнесения с**  
**автоселекцией**  
**антенн**



## 8. ТЕХНОЛОГИЯ UTRA TDD

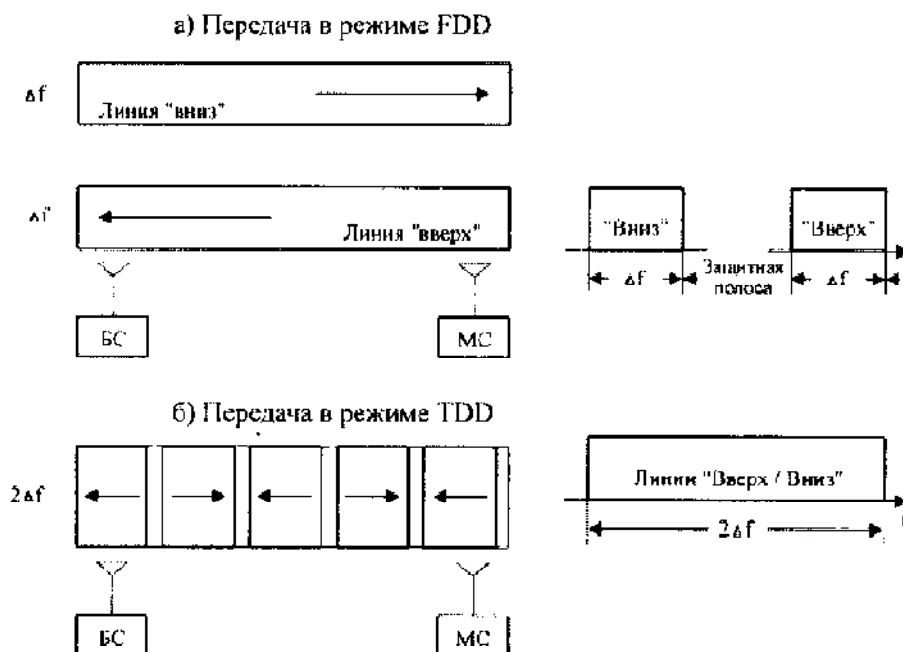
### 8.1. Сравнительный анализ характеристик систем с FDD и TDD

В соответствии с концепцией IMT-2000 в системах 3-го поколения предполагается использовать два метода дуплексного разнеса: FDD для парного диапазона частот и TDD для непарного. В режиме FDD в качестве базового варианта выбран метод радиодоступа WCDMA, а в режиме TDD – метод TD-CDMA (предложение UTRA TDD). При чиповой скорости 3,84 Мчип/с (базовая скорость) минимально необходимая полоса для работы системы 3-го поколения равна  $2 \times 5$  МГц (FDD) и 5 МГц (TDD).

Комбинированное использование двух режимов FDD и TDD делает систему гибкой и позволяет изменять пропускную способность в зависимости от условий распространения сигналов, выделенного оператору частотного ресурса и видов услуг. Принципы функционирования системы в режимах FDD и TDD иллюстрируются на рис. 8.1.

Рис. 8.1.

Принципы функционирования системы в режимах FDD и TDD



Канальная структура для логических и физических каналов в режимах TDD и FDD принята стандартной. Все физические каналы TDD также имеют трехуровневую структуру и содержат суперкадры, кадры и каналные интервалы (КИ). Большинство основных параметров, таких как чиповые скорости, методы кодирования и демодуляции, являются общими для обоих вариантов построения системы.

Так как в режиме TDD используется один и тот же частотный диапазон для линий «вверх» и «вниз», то характеристики замираний в прямом и обратном каналах в сильной степени коррелированы. Поэтому для компенсации замираний и других отрицательных эффектов распространения радиоволн используются одинаковые методы управления мощностью и перестройки адаптивных антенн.

В UTRA TDD не требуется высокая точность управления мощностью при реализации мягкого хэндовера. Дуплексный режим с временным разделением особенно подходит для

передачи асимметричного трафика. Для связи по линиям «вверх» и «вниз» используется одна и та же частота, что упрощает конструкцию адаптивных антенн, приемопередатчиков и реализацию базовых станций.

Другое преимущество режима TDD состоит в более простой реализации однорежимного TDD терминала, что обусловлено отсутствием дуплексера. Что же касается возрастания аппаратурной сложности при реализации двухрежимного абонентского терминала FDD/TDD, то она также незначительна по сравнению с обычным FDD терминалом.

Трафик в сети может быть симметричным или асимметричным. При частотном дуплексном разделении назначение каналов в линиях «вниз» и «вверх» осуществляется независимо, т.е. можно выделить разное число несущих в каждом из направлений связи. В режиме TDD асимметричный трафик обеспечивается за счет выделения различного числа временных интервалов в линиях «вверх» и «вниз». Сравнительные характеристики технологий WCDMA FDD и UTRA TDD приведены в табл. 8.1.

**Таблица 8.1. Сравнительные характеристики WCDMA FDD и UTRA TDD**

Радиоинтерфейс		WCDMA FDD	UTRA TDD
Характеристика			
Диапазон частот, МГц		2110-2170 («вниз»); 1920-1980 («вверх»)	1900-1920; 2010-2025
Метод доступа		DS-SSMA	TD-SSMA
Полоса частот, МГц		2x5; 2x10; 2x20	5; 10; 20
Разнос между несущими		с шагом 200 кГц	с шагом 200 кГц
Чиповая скорость (базовая), Мчип/с		3,84	3,84
Синхронизация базовых станций		Асинхронная (возможна синхронная)	Синхронная
Схема поиска сот		Трехэтапная процедура (первичный и вторичный SCH)	Канал SCH (N раз повторяется в 240 мс)
Коэффициент расширения, SF		1-512	1-16
Модуляция в канале данных	«вниз»	QPSK	QPSK
	«вверх»	BPSK	QPSK
Расширяющая модуляция	«вниз»	QPSK	QPSK
	«вверх»	QPSK или HPSK (OCQPSK)	QPSK
Глубина перемежения, мс		10/20/40/80	10/20/40/80
Кадровая структура (КИ – канальный интервал), мс		0,625 (КИ), 10 (кадр) 720 (суперкадр)	0,625 (КИ), 10 (кадр) 720 (суперкадр)
Скорость передачи в канале управления мощностью, кбит/с		1,6	0,1-0,8
Точность управления мощностью, дБ		0,25-1,5	1-3
Макс. излучаемая мощность (8 кбит/с, речь), дБм		24	27,2
Пропускная способность при передаче речи (полоса 30 МГц), Эрл/МГц/соту		56,5 («вниз») 57,0 («вверх»)	68,0 («вниз») 106 («вверх»)
Пропускная способность при передаче данных со скоростью 144 кбит/с (полоса 30 МГц) Мбит/с/МГц/соту		0,657 («вниз») 0,753 («вверх»)	0,846 («вниз») 0,452 («вверх»)
Максимальная дальность между мобильным терминалом и базовой станцией, км		5,787 («вниз») 4,475 («вверх»)	6,041 («вниз») 5,279 («вверх»)

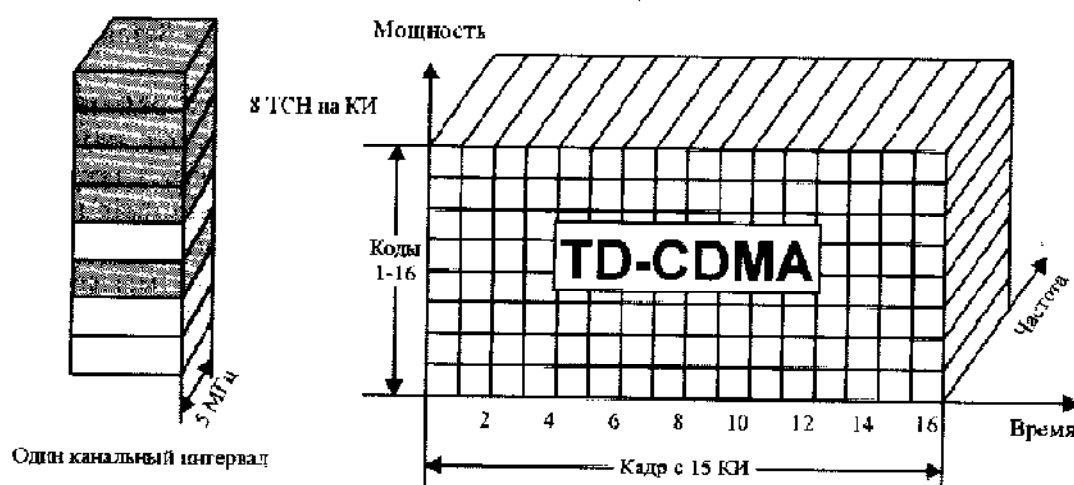
Главное преимущество совместимости режимов TDD и FDD состоит в упрощении и удешевлении реализации двухрежимных FDD/TDD терминалов. Это достигается за счет использования одних и тех же микросхем, что и в однорежимных радиотелефонах. На верхних уровнях протоколы в режимах TDD и FDD обрабатываются идентичным образом. В результате применения общих процедур и единой канальной структуры свойства режима TDD могут полностью совпадать с общими свойствами WCDMA (набор протоколов верхних уровней, услуги для прикладных служб, гибкость в предоставлении услуг).

## 8.2. Особенности построения UTRA TDD

### Кодово-временное разделение каналов

Технология UTRA TDD реализует комбинированную схему многостанционного доступа с кодово-временным разделением каналов TD-CDMA. Длина кадра в режиме TDD выбрана равной 10 мс, т.е. такой же, как и в режиме FDD. Полный кадр разбивается на 15 канальных интервалов по 0,625 мс. Внутри одного канального интервала может быть организовано до 8 транспортных каналов, что позволит за время 0,625 мс передать 2560 элементарных символов кодово-временной матрицы (рис. 8.2).

Рис. 8.2. Принципы кодово-временного разделения каналов



Выбор длины канальных интервалов в UTRA TDD произведен на компромиссной основе. Так, при уменьшении длины канального интервала упрощается процедура организации радиодоступа, увеличивается число одновременно обслуживаемых абонентов, и, что самое главное, не так быстро устаревает информация об изменениях параметров многолучевого канала, а следовательно, допускается больший разброс по задержке. Однако, с другой стороны, уменьшение канального интервала приводит к увеличению затрат пропускной способности на передачу служебной информации и специальной обучающей последовательности. Исходя из этих соображений в проекте UTRA TDD показано, что наибольшая эффективность достигается при длительности канального интервала равной 625 мкс и указанной ниже структуре кадра.

Передаваемый блок информации в режиме TDD определяют три параметра (частота, код и время передачи), что позволяет однозначно идентифицировать сигналы мобильных станций и устранить взаимные помехи между сотами (в рамках одного канального интервала).

Абонентские терминалы в режиме TDD работают с одинаковой тактовой частотой, что и в режиме FDD (3,84 Мчип/с), используя QPSK модуляцию. Для снижения уровня внепо-

лосного излучения генерируются импульсы радиосигнала со сглаженной огибающей (коэффициент сглаживания 0,22).

### Однокодовая и мультикодовая передача

В проекте UTRA предложены два способа расширения спектра:

- мультикодовая передача с фиксированным коэффициентом расширения спектра ( $Q=16$ );
- однокодовая передача с переменным коэффициентом расширения спектра  $Q=2^n$ , где  $n=1...5$ .

Комбинируя эти два способа и выбирая требуемое количество канальных интервалов, можно реализовать высокоскоростные каналы с различной пропускной способностью. При мультикодовой передаче с фиксированным коэффициентом расширения спектра внутри каждого канального интервала длиной 625 мкс может использоваться несколько кодов фиксированной длины ( $Q=16$ ). Кодово-временной ресурс одного канального интервала может выделяться как одному, так и различным абонентам.

В случае однокодовой передачи с переменным коэффициентом расширения спектра по линии «вверх» мобильный терминал всегда использует один код, адаптируясь к требуемой скорости передачи внутри каждого КИ. Благодаря этому разница между пиковой и средней мощностью может быть существенно снижена, что в конечном итоге позволит увеличить ресурс работы аккумуляторных батарей мобильного терминала. Технология UTRA TDD с кодово-временным разделением каналов позволяет также реализовать на базовых станциях режим многопользовательского детектирования.

По линии «вниз» базовая станция передает в широкополосном режиме каждому терминалу один пакет сигналов. Скорость передачи варьируется выбором коэффициента расширения спектра. При высокой скорости терминалу может выделяться несколько канальных интервалов подряд. В этом случае вызывает опасение, что терминал из-за своей ограниченной процессорной мощности сможет обработать пакет данных, содержащийся только в первом из выделенных интервалов и не успеть принять пакеты, переданные в последующих интервалах. Исходя из этих соображений, базовая станция будет формировать единый пакет для всех канальных интервалов, выделенных данному абоненту. Следовательно, мобильный терминал при работе в нескольких канальных интервалах должен принять все адресованные ему пакеты. В случае обнаружения в них «чужих» данных, он может их отбрасывать в процессе детектирования.

Кодирование данных в UTRA TDD осуществляется в 2 этапа. На первом осуществляется разбиение данных на блоки, размеры которых зависят от выбора типа кодирующей цепочки, скорости передачи и требований к отношению сигнал/шум  $E_b/N_0$ , которые различаются для речи и данных. Эта процедура аналогична той, которая используется в режиме FDD. На втором этапе мультиплексированный поток данных разбивается на 2 пакета. Характеристики выходного кодированного сигнала приведены в табл. 8.2.

**Таблица 8.2. Число физических каналов, требуемых в режиме UTRA TDD**

Скорость передачи, кбит/с	Пакет 1		Пакет 2	
	Число битов	Число каналов	Число битов	Число каналов
8	488	1	552	1
144	244	10	276	9
384	244	26	276	24
512	244	36	276	32
2048	244	117	276	104



**Асимметричная структура кадра**

Отличительной особенностью технологии UTRA TDD является гибкая структура кадра, позволяющая адаптироваться под различные источники сообщений и сценарии развертывания. Распределение канальных интервалов может быть произвольным, однако в любой конфигурации, по крайней мере, один интервал должен быть отведен в каждом направлении связи. Примеры организации кадра с многоточечной и одноточечной конфигурацией для симметричных и асимметричных линий в прямом и обратном направлениях связи приведены на рис. 8.3. Разница между двумя способами организации кадра состоит в том, что в одном случае КИ распределены по длине кадра (рис. 8.3а), а в другом (рис. 8.3б) – сгруппированы в одной части кадра.

**Рис. 8.3. Структура TDD кадра**



Структура кадра UTRA TDD обеспечивает настройку на широкий диапазон асимметричных каналов с соотношением числа канальных интервалов в линиях «вниз»/«вверх», изменяемым в пределах от 15:1 до 2:14. Различие в коэффициентах асимметрии обусловлено тем, что, по крайней мере, 2 канальных интервала должны быть выделены в линии «вниз» (каналы синхронизации SCH) и 1 канальный интервал в линии «вверх» (канал произвольного доступа RACH).

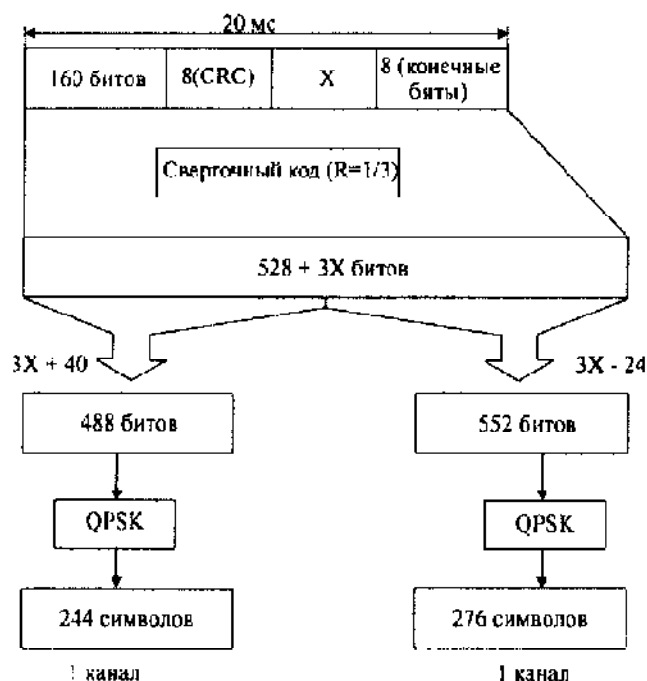
**Примеры канального кодирования в UTRA TDD**

Чтобы оценить те конкретные преимущества, которые обеспечивает технология CDMA при дуплексной передаче с временным разделением каналов (TDD), рассмотрим несколько конкретных примеров для различных видов обслуживания.

Речепреобразующее устройство в UTRA TDD формирует цифровой сигнал со скоростью 8 кбит/с. Речевой поток разбивается на блоки по 160 битов, которые генерируются кодером каждые 20 мс. К ним добавляются 8 проверочных символов, «X» битов сигнализации, кото-

рые генерируются на подуровне LAC и конечные биты (tail bits). Кодирование исходного потока битов осуществляется сверточным кодером ( $R=1/3$ ). Далее групповой поток из  $(528 + 3X)$  битов разбивается на два типа пакетов. Необходимость их введения обусловлена тем, что в каждом из них на сигнализацию затрачивается разное число символов:  $(3X+40)$  или  $(3X-24)$  битов. В режиме TDD, аналогично как и FDD, используется QPSK модуляция, при которой каждые 2 бита отображаются в один модулированный символ. Процедура канального кодирования и модуляции в режиме передачи речи иллюстрируется на рис. 8.4.

**Рис. 8.4.**  
Канальное кодирование  
при передаче речи  
(скорость 8 кбит/с)



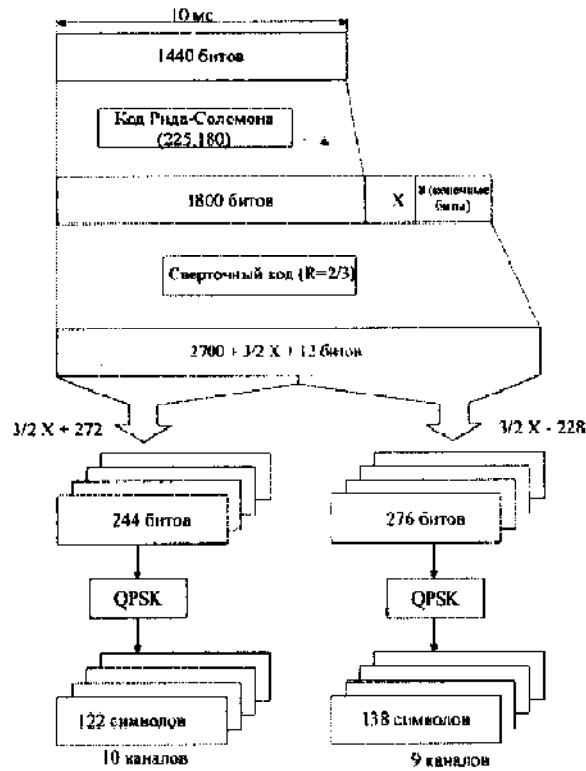
В отличие от режима передачи речи, где достаточно обеспечить вероятность ошибки на бит равную  $10^{-3}$ , в канале передачи данных используются каскадные коды (внутренний код Рида-Соломона, внешний код – сверточный) или турбо-коды, что позволяет снизить вероятность ошибки до  $10^{-6}$ . Принципы канального кодирования данных со скоростью 144 кбит/с поясняются на рис. 8.5.

Информационный поток в режиме передачи данных со скоростью 144 кбит/с разбивается на блоки по 1440 битов в каждом. После этого осуществляется кодирование кодом Рида-Соломона (225, 180). В результате кодирования размер блока данных увеличивается до 1800 битов. В процессе формирования группового потока к данным добавляются «X» битов сигнализации и конечные биты (8). Сформированный таким образом поток данных кодируется с использованием сверточного кода со скоростью  $R=2/3$ .

Кодированный поток данных отображается в два блока данных: пакет 1 (10 физических каналов) или пакет 2 (9 каналов). Кроме того, может быть использована процедура периодического исключения битов (puncturing), что позволит согласовать скорость источника сообщений с физическим каналом (на рис. 8.5 процедура согласования скоростей не отображена).

При передаче потока с более высокой скоростью 384 кбит/с используются аналогичные принципы кодирования, однако изменяются конкретные размеры блоков данных, в частности параметры кодера Рида-Соломона (245, 200). Кроме того, увеличивается необходимое число физических каналов с 9/10 до 24/26 соответственно.

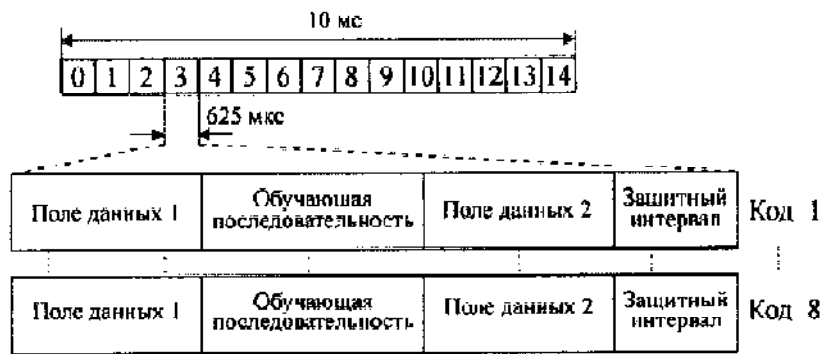
**Рис. 8.5.**  
Канальное кодирование при передаче данных со скоростью 144 кбит/с



**8.3.Packetная структура**

Типовая структура одного канального интервала в режиме TDD показана на рис. 8.6. Он состоит из 8 кодовых последовательностей, каждая из которых включает четыре поля: два поля данных, обучающую последовательность, расположенную между двумя полями данных (midamble), и защитный временной интервал.

**Рис. 8.6.**  
Структура канального интервала



В UTRA TDD применяются 2 вида информационных пакетов. Основное различие между ними заключается в использовании разной длины обучающей последовательности. Пакет с длинной обучающей последовательностью из 512 символов предназначен для линий «вверх». С его помощью можно оценить до 8 различных импульсных характеристик многолучевых каналов. Пакет с короткой обучающей последовательностью, состоящий из 256 элементов, рекомендован для линии «вниз». Он позволяет обслуживать до 4 активных абонентов в одном канальном интервале. Основные параметры для пакетов обоих типов приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.3. Структура пакетов данных 1 и 2 типа

Содержание полей пакета		Номера чипов	Длина поля		
			в чипах	в символах	в мкс
Пакет 1	Поле данных 1	0-975	976	61	238,3
	Обучающая последовательность	976-1487	512	—	125,0
	Поле данных 2	1488-2463	976	61	238,3
	Защитный интервал	2464-2559	96	—	23,4
Пакет 2	Поле данных 1	0-1103	1104	69	269,55
	Обучающая последовательность	1104-1359	256	—	62,5
	Поле данных 2	1360-2463	1104	69	269,55
	Защитный интервал	2464-2559	96	—	23,4

Структура TDD кадра для каналов управления BCCH и RACH содержит три типа полей: для пакета радиомаяка, каналов RACH (линия «вверх») и канала BCCH (линия вниз).

Пакет радиомаяка излучается в начале кадра и передается с максимальной мощностью, что обеспечивает возможность покрытия всей географической зоны. Для того, чтобы мобильная станция могла одновременно принимать сигналы от 8 разных базовых станций, необходимо использовать более длинную обучающую последовательность, позволяющую оценивать характеристики каналов при наличии временных сдвигов между базовыми станциями.

С учетом задержки на распространение, погрешностей установления синхронизации и запаздывания сигнала в согласованном фильтре общая задержка при приеме сигнала одной БС может достигать 20-25 мкс. Когда требуется обнаружить сигналы 8 базовых станций одновременно, длина обучающей последовательности должна быть не менее 200 мкс.

Для передачи пакета радиомаяка всегда отведен первый временной интервал в кадре. Если этого недостаточно, то могут быть выделены дополнительные интервалы, что позволяет гибкая структура кадра.

Мобильная станция передает пакеты доступа по RACH каналу в случайные моменты времени, что связано с возникновением конфликтов. Чтобы снизить вероятность конфликтов и увеличить пропускную способность RACH канала в каждом временном интервале, дополнительно используется 8 ортогональных кодов. Дальнейшее улучшение состоит в разделении одного временного интервала (625 мкс) на два подинтервала, каждый длительностью 312,5 мкс. В каждом подинтервале передается свой пакет доступа.

Все базовые станции передают сигналы BCCH на жестко закрепленных позициях в кадре (временные позиции для радиомаяка), причем каждая из них использует один из 8 выделенных системных кодов. Передача BCCH осуществляется с повышенным уровнем мощности. Остальные интервалы, незадействованные для BCCH, могут быть использованы для передачи PCH, SCH и FACH сигналов. Положения этих каналов в кадре обычно указывается в сообщении BCCH.

Обеспечение высокой эффективности режима TDD возможно при использовании мультикадровой структуры, кратной  $n \times 120$  мс, или суперкадровой структуры (720 мс). Такое решение не только упрощает реализацию двухрежимного FDD/TDD терминала, но и позволяет обеспечить совместимость с GSM. Пакетная структура, свойственная TD-CDMA кадру, позволяет мобильной станции использовать свободные позиции в мультикадре для оценки характеристик несущих сигналов. Важно отметить, что это будет осуществляться одновременно с приемом полезной информации.

## 8.4. Управление мощностью в режиме TDD

Возможность использования комбинированного кодово-временного метода детектирования, а не чисто кодового разделения, резко снижает требования к точности управления мощностью сигнала по сравнению с технологией WCDMA. В UTRA TDD управление мощностью сигнала осуществляется на уровне кадров, что является несомненным преимуществом данной технологии.

Фактически механизм управления мощностью в режиме TDD аналогичен тому, который используется в системе GSM. Сбой в радиоканале возникает лишь в том случае, когда невозможно улучшить прием сигналов с недопустимым качеством за счет управления мощностью или переключения абонента на соседнюю базовую станцию. В режиме TDD реализуются следующие принципы управления мощностью:

- все коды, расположенные в пределах одного и того же канального интервала и относящиеся к одному и тому же виду услуг, передаются с одинаковой мощностью;
- при работе в режиме реального времени (RT) в линиях «вверх» и «вниз» используется замкнутая схема регулирования;
- при работе в режиме нереального времени (NRT) может применяться как замкнутая, так и разомкнутая схема регулирования (выбор той иной схемы зависит от оператора);
- определение исходного значения мощности осуществляется путем оценки потерь на трассе распространения сигнала от МС до обслуживающей базовой станции.

Предлагаемые в UTRA TDD алгоритмы обеспечивают работу мобильной станции при минимально возможном уровне мощности, который достаточен для сохранения качества. В случае, когда один абонент использует одновременно режим реального и нереального времени, то замкнутая схема регулирования применяется в обоих режимах. Что же касается уровня излучаемой мощности, то его значение может отличаться в режимах RT и NRT. Обобщенные параметры управления мощностью в режиме TDD приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Основные характеристики управления мощностью при TDD

Линия связи	«вверх»	«вниз»
Динамический диапазон управления мощностью	80 дБ	30 дБ
Шаг управления мощностью	2 дБ	2 дБ
Число циклов управления (периодичность)	2-100 циклов в сек	2-100 циклов в сек

## 8.5. Принципы обеспечения синхронизации

### Вхождение в синхронизм

Принцип синхронизации в режиме TDD во многом схож с тем, который был реализован в варианте FDD. Синхронизирующий канал SCH также разделяется на два канала, один из которых – первичный SCH, а другой – вторичный SCH. В качестве первичного синхрокода SCH используется немодулированный ортогональный код Голда длиной 256 символов.

Принципиальное отличие от режима FDD состоит в том, что первичный и вторичный синхрокоды излучаются не одновременно, а поочередно: вначале первичный SCH, а затем, с временным сдвигом на  $t_{off}$ , вторичный SCH. Величина сдвига выбирается с учетом задержки, необходимой для проведения вычислений, связанных с определением характеристик радиоканала.

Установление синхронизации осуществляется в два этапа. На первом мобильная станция производит поиск первичного синхрокода SCH, который выбирается одинаковым для всех базовых станций сети. Обнаружение сигнала осуществляется с помощью согласованного фильтра, максимальный сигнал на выходе которого соответствует выделяемой базовой станции.

На втором этапе осуществляется установление точной кадровой синхронизации и, кроме того, производится вычисление временного сдвига  $t_{\text{об}}$ , измерение характеристик радиоканала с помощью обучающей последовательности и определение параметров кодовой последовательности ВССН. Для этих целей используется вторичный синхронизирующий код, выбираемый из 17 различных кодов Голда  $\{C1, \dots, C17\}$ . При использовании в каждом канальном интервале 8 кодовых последовательностей область неопределенности при приеме сигналов составит  $17^8$  позиций.

Вторичный синхронизирующий код содержит всю необходимую информацию о канале ВССН (номер канального интервала, тип кода и др.). Структура канала ВССН, такая же, как и у обычного канала трафика ТСН. Разница лишь в том, что для повышения надежности в одном кадре для ВССН отводится больший системный ресурс.

### Принцип синхронизации базовых станций

Для обеспечения нормальной работы системы UTRA TDD требуется точная кадровая синхронизация между базовыми станциями. Концепция построения синхронной сети основана на использовании трех иерархических уровней:

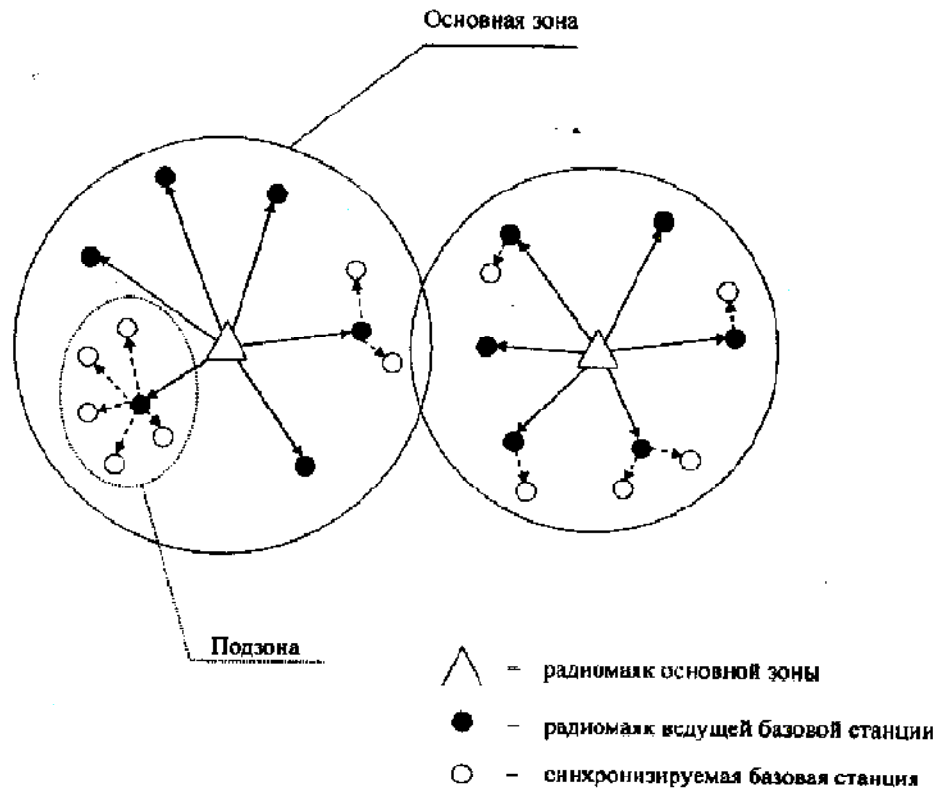
- синхронизация в подзоне (строго регламентируется)
- синхронизация в основной зоне (регламентируется);
- синхронизация на глобальной основе (факультативная).

Принцип синхронизации базовых станций поясняется на рис. 8.7. Синхронизация в подзоне может быть осуществлена с помощью радиомаяка основной зоны. Радиомаяки всех базовых станций должны быть засинхронизированы с радиомаяком основной зоны. Два первых уровня синхронизации могут быть обеспечены с использованием наземных станций или магистральных каналов. Каждая основная зона/подзона фактически является синхронизируемой сетью. Третий уровень синхронизации может быть реализован за счет использования спутниковых, радиорелейных или кабельных линий. Для целей синхронизации также пригодна GPS система, однако европейские компании опасаются, что до тех пор, пока эксплуатацию системы обеспечивает Министерство обороны США, нет гарантий, что информация GPS всегда будет доступна.

Основное достоинство предлагаемой концепции в том, что каждая подзона может работать автономно, даже если синхронизация в ней будет потеряна.

Синхронизация базовых станций может быть осуществлена по радиомаяку ведущей базовой станции (обычная БС с расширенными возможностями) через системный радиointерфейс. Синхропараметры передаются по специальным логическим каналам в линии «вниз». Для этих целей могут быть зарезервированы временные интервалы в каждом 10-м или 100-м кадре, что эквивалентно потерям пропускной способности не более 0,1%.

**Рис. 8.7.**  
Принципы  
синхронизации  
базовых  
станций в  
режиме TDD



## 8.5. Технология ODMA

Режим TDD является достаточно гибким, позволяющим реализовывать новые протоколы ретрансляции, такие как многостанционный доступ с управляемыми возможностями ODMA (Opportunity Driven Multiple Access). Дополнительные возможности предоставляются при незначительном увеличении сложности и стоимости аппаратно-программных средств.

Технология ODMA является перспективной платформой для обеспечения прямой ретрансляции между мобильными станциями, позволяя увеличить зону покрытия и максимальную скорость передачи информации, а также снизить излучаемую мощность и, как следствие, уменьшить уровень взаимных помех.

Метод ODMA обеспечивает пакетную передачу между источником и получателем информации через промежуточные ретрансляционные узлы (выдсленные стационарные ретрансляторы или мобильные станции-ретрансляторы). Благодаря TDD каждый узел может принимать сообщения от других узлов, что позволяет ему формировать таблицу связности и оценивать потери на трассе, а также задержку в сети. С помощью таблиц связности обеспечивается маршрутизация пакетов и отслеживается динамическое состояние сети. Следует отметить, что на формирование маршрутной таблицы расходуются незначительные сетевые ресурсы.

Метод ODMA позволяет передавать данные от одного абонента к другому, минуя базовую станцию. Каждый абонент может принимать широковещательное сообщение в большой зоне обслуживания. В широковещательном сообщении указывается, какой из физических каналов пригоден для конвенционального использования, и какой канал резервируется для организации прямой связи, обеспечиваемой в непарных полосах частот.

Общий канал базовой станции может быть использован для начальной идентификации и определения местоположения мобильного абонента. Дополнительное преимущество ре-

жима широковещательной передачи состоит в том, что он позволяет избежать любых нарушений на приеме до начала регулярной передачи данных.

На рис. 8.8 приведен пример того, как режимы TDD и традиционной двусторонней радиосвязи «мобильный-мобильный» могут быть организованы в одном и том же кадре, разделенном на две части. Первая часть кадра используется для обычного TDD, а вторая отведена для конвенциональной связи. Общий ресурс конвенциональной связи подразделяется на ресурсы вызывных каналов и каналов трафика. Вызывной канал имеет аналогичные характеристики, что и канал доступа RACH, т.е. обеспечивает доступ с конфликтами. Передача по каналу трафика осуществляется лишь после того, как завершена процедура согласования по вызывному каналу.

**Рис. 8.8.**  
Структура кадра  
в совмещенном  
режиме  
ODMA/TDD



Для повышения пропускной способности используется многокодовая передача, что позволяет избежать дополнительной задержки, возникающей при ODMA.

В процессе работы каждой мобильной станции требуется информация о своих соседях, с которыми она может поддерживать связь. Технология ODMA предоставляет такую возможность. Система может генерировать зондирующие (пробные) пакеты аналогично процедуре RACH, чтобы определить ближайших соседей и найти адрес сквозной адресации. Когда мобильная станция первоначально входит в сеть, она не имеет информации о своих соседях, и ее лист регистрации пустой. Используя механизм передачи коротких пакетов (проб доступа), мобильная станция постепенно накапливает информацию о соседних станциях, работающих в активном режиме.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

### Модель оценки характеристик системы cdma2000

#### Модель развертывания системы

Модель развертывания системы IMT-2000 охватывает 5 вариантов организации связи: внутренняя (внутриофисная) связь (indoor), наружная/внутренняя связь (indoor/outdoor), связь с малоподвижными объектами (скорость до  $V=3$  км/час), связь с высокоподвижными объектами (скорость до  $V=120$  км/час) и смешанный режим организации связи.

Моделирование проводилось для четырех типов каналов, которые выбраны в соответствии с рекомендациями ITU-R M.1225:

- речевой канал с малой задержкой;
- LDD (Low Delay Data) – передача данных с коммутацией каналов, при которой допускается малая задержка в сети;
- LCD (Long Constrained Data) – передача данных с коммутацией каналов, при которой допускается ограниченная задержка;
- UDD (Unconstrained Delay Data) – передача данных, ориентированная на пакетный режим работы сети.

Основные характеристики для четырех типов каналов и трех вариантов организации связи приведены в табл. П1.1.

Таблица П1.1. Основные параметры IMT-2000 для различных режимов работы

Условия испытаний		Способ организации связи		
Тип канала	Параметр	Внутри помещений	Вне/внутри помещений	Связь с транспортными средствами
Канал передачи речи	R, кбит/с	8-16-32	8-16-32	8-16-32
	$P_{ош}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$
	$K_{кадр}$	50%	50%	50%
Коммутируемый канал (LDD или LCD)	R, кбит/с	64-144-384-512-1024-2048	64-144-384	64-144
	$P_{ош}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$
	$K_{кадр}$	100%	100%	100%
Канал передачи пакетной информации (UDD)	R, кбит/с	64-144-384-512-1024-2048	64-144-384	64-144
	$P_{ош}$ Вид потока	$10^{-6}$ Пуассоновский	$10^{-6}$ Пуассоновский	$10^{-6}$ Пуассоновский

При передаче пакетной информации длина блока данных распределена по экспоненциальному закону со средним значением 12 кбайт в прямом канале и 2,25 кбайт в обратном канале. Требования по допустимой вероятности ошибки для различных видов услуг в IMT-2000 изменяются от  $10^{-3}$  (речь) до  $10^{-6}$  (данные). В качестве базового показателя помехозащищенности используется вероятность ошибки на кадр FER (Frame Error Rate), равная 5–15% (табл. П1.2).

### Модель системного уровня

Цель создания системной модели – адекватное отображение всех условий функционирования системы с учетом различных механизмов ее управления и условий распространения радиоволн, а также ряда других вопросов, возникающих на физическом и сетевом уровне.

Таблица П1.2. Требования по допустимой вероятности ошибки

Скорость передачи информации, кбит/с	Скорость в канале cdma2000, кбит/с	Вероятность ошибки на кадр FER (без повторной передачи)	Число повторных передач
64	76,8	10%	3
144	153,6	5%	2
384	460,8	15%	3

Методика основана на оценке спектральной эффективности по двум ключевым показателям. Первый из них характеризует суммарную пропускную способность в Мбит/с на соту, а второй определяется как отношение рабочей нагрузки (в Эрл) к размеру зоны обслуживания (в км).

При оценке эффективности системы предполагается, что интенсивность переходов абонента из одной соты в другую (хэндовер) зависит от числа доступных (активных) пилот-сигналов в каждой точке обслуживаемой территории. Выигрыш за счет хэндовера численно определяется как отношение числа удачных соединений к общему числу попыток.

Движение мобильных станций не моделируется, т.е. они располагаются в фиксированных точках на все время разговора. В каждой позиции вычисляются уровни пилот-сигналов, приходящие от всех базовых станций данной зоны, и мобильная станция переводится в режим хэндовера, если сигналы от всех базовых станций ниже «X» уровня (например, X=6 дБ).

Предлагаемая методика основана на разделении всей зоны обслуживания на соты с примерно одинаковой плотностью размещения базовых станций. Области с высокой плотностью размещения абонентов обычно находятся в центральной части города, а с низкой – в периферийной части города или пригороде. В качестве примера в табл. П1.3 приведены результаты расчета числа попыток вызова (ВНСА) в ЧНН<sup>38</sup>, заимствованные из [31].

Таблица П1.3. Число попыток вызова в ЧНН

Услуги	Центральные деловые районы города		Условия города, внутри зданий		Условия города, на улице	
	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Высокоскоростные мультимедийные	0,12	0,12	0,06	0,06	0,004	0,004
Среднескоростные мультимедийные	0,12	0,12	0,06	0,06	0,004	0,004
Интерактивные мультимедийные	0,12	0,24	0,06	0,12	0,004	0,008
Передача данных с коммутацией каналов	0,06	0,06	0,03	0,03	0,002	0,002
Низкоскоростная передача данных	0,06	0,06	0,03	0,03	0,002	0,002
Голосовые услуги	1	1	0,6	0,85	0,6	0,85

<sup>38</sup> ЧНН – час наибольшей нагрузки определяет время суток, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность абонентских вызовов.

Результирующая спектральная эффективность определяется по формуле [40]:

$$\text{рабочий трафик} = \text{плотность абонентов} \times (\text{ВНСА}/\text{абонента}/3600) \times T_{\text{выз}}$$

где ВНСА – число попыток вызова в ЧНН,  $T_{\text{выз}}$  – длительность вызова.

Оценка пропускной способности производилась только для внутренних (окруженных другими) сот в гексагональной структуре. Вокруг исследуемой соты должны располагаться, как минимум, две мешающие соты. Число мобильных станций в каждой соте является случайным числом, определяемым в соответствии с пуассоновским распределением. Для речевых вызовов показатель активности определялся стандартной марковской моделью.

### Модель передачи данных

При определении характеристик системы в режиме пакетной передачи использовались две модели. Первая, традиционная модель обслуживания  $M/M/1$ <sup>39</sup>, и вторая, более реалистичная, основанная на трафике сети Internet. В случае, когда использовалась модель  $M/M/1$ , среднее время между моментами прихода пакетов определялось по пуассоновскому закону. Трафик в сети Internet имеет асимметричный характер и характеризуется тремя типами потоков данных.

#### Класс А

Модель трафика класс А (типа telnet) определяет сеансовую структуру в случае передачи коротких пакетных сообщений в прямом и обратном каналах. Трафик имеет следующие характеристики:

Закон распределения сеансов связи	Пуассоновский с интенсивностью $\lambda_A$
Закон распределения вызывных пакетов за сеанс	Геометрическое распределение со средним значением 114
Закон распределения интервалов между моментами поступления пакетов	Геометрическое распределение со средним значением 1 с
Число вызывных пакетов на пакет данных	1
Закон распределения длины пакетов	Геометрическое распределение со средним размером одного пакета 90 байт

#### Класс В

Модель класса В описывает трафик web-сервера в прямом канале, т.е. ориентируется на передачу длинных файлов. Трафик имеет следующие характеристики:

Закон распределения сеансов связи	Пуассоновский с интенсивностью $\lambda_B$
Закон распределения вызывных пакетов за сеанс	Геометрическое распределение со средним значением 5
Число пакетов на вызывной пакет данных	Распределение Парето с параметрами $\alpha=1,1$ ; $k=2,27$ (среднее значение 25), определяемое в виде: $F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha$ $x \geq k > 0$ , $F(x) = 0$ $x < k$
Закон распределения интервалов между моментами поступления пакетов	Геометрическое распределение со средним значением 0,01 с
Размер одного пакета (фиксированный)	480 байт

<sup>39</sup> Модель системы передачи данных с одним обслуживающим прибором.

**Класс С**

Класс С определяет трафик, который соответствует модели web-сервера в обратном канале. Данный трафик характеризует поток запросов и пакетов подтверждения приема, переданных по прямому каналу.

Закон распределения сеансов связи	Пуассоновский с интенсивностью $\lambda_B$
Распределение числа вызывных пакетов за сеанс	Геометрическое со средним значением 5
Распределение интервалов между моментами поступления пакетов	Геометрическое со средним значением 120 с
Число пакетов на вызывной пакет	Распределение Парето с параметрами $\alpha=1,1$ ; $k=2,27$ (среднее значение 25)
Закон распределения интервалов между моментами поступления пакетов	Геометрическое распределение со средним значением 0,01 с
Размер пакета (фиксированный)	90 байт

**Модель распространения**

Сети сотовой связи моделируются в предположении, что базовая станция расположена в центре гексагональной соты. Диаграмма направленности каждой базовой станции может быть всенаправленной или секторной. Потери на трассе определяются в соответствии с рекомендацией ITU-R M.1225.

Расчет энергетики радиолиний проводился для случая, когда мобильные станции равномерно распределены по обслуживаемой территории, а базовые станции оснащены двумя передающими и двумя приемными антеннами.

Выигрыш за счет хэндовера определяется как разница между запасом на замирания для изолированной соты (аналитическая модель расчета в виде круга) за вычетом реального значения, получаемого на модели многосотовой структуры. В случае жесткого хэндовера запас вычисляется как разница между двумя наилучшими путями переключения каналов. В случае мягкого хэндовера выигрыш определялся как запас на замирания, вычисляемый как среднее для двух путей мягкого переключения каналов.

Спектральная плотность помех в прямом канале рассчитывалась в виде отношения уровня помех в остальных сотах (с которыми не поддерживается хэндовер) к уровню помех в данной соте. При этом предполагается, что мобильная станция принимает два сигнала равной интенсивности (разные пути хэндовера), а третий сигнал на 6 дБ ниже. Моделирование производилось для случая, когда приращение спектральной плотности шума и внутрисистемных помех  $(I_0+No)/No$  изменялось дискретно с шагом 0,01 дБ.

Расчет энергетики линий «вниз» и «вверх» для различных условий эксплуатации и чиповой скорости 3,6884 Мчип/с (базовый вариант) приведен в табл. П1.4-П1.5.

**Таблица П1.4. Энергетика линии «вниз» (условия эксплуатации Vehicular/Pedestrian)**

	Скорость передачи в кбит/с (вид услуг)	9,6 (речь)	153,6 LDD	9,6 (речь)	460,8 LDD
	Условия эксплуатации	Vehicular		Pedestrian	
a	Мощность передатчика на канал трафика, дБмВт	24,0	24,0	14,0	14,0
b	Потери в передающем кабеле, дБ	0,0	0,0	0,0	0,0
c	Усиление передающей антенны, дБи	0,0	0,0	0,0	0,0
d	ЭИИМ (d=a-b+c) дБм	24,0	24,0	14,0	14,0
e	Усиление приемной антенны, дБи	13	13	10	10
f	Потери в приемном тракте, дБ	2	2	2	2
g	Спектральная плотность смеси шума и внутрисистемных помех, дБм/Гц	-162	-162	-162	-162
h	Полная скорость передачи в дБ	39,8	51,9	39,8	56,6
i	Требуемое отношение Eb/No	2,5	2,0	5,0	3,9
j	Чувствительность приемника, дБм	-119,7	-108,1	-117,2	-101,5
k	Выигрыш хэндовера, дБ	5	5	5	5
l	Дополнительные потери, дБ	0	0	0	0
m	Запас на медленные замирания, дБ	11,4	11,4	11,2	11,2
n	Максимальные потери на трассе, дБ	148,3	136,7	133,0	117,3
r1	Радиус действия (максимальный), м	3429,6	1691,6	420,4	170,2
r2	Радиус действия (незагруженная сота), м	5265,2	2597,0	629	254,6

**Таблица П1.5. Энергетика линии «вверх» (условия эксплуатации Vehicular/Pedestrian)**

	Скорость передачи в кбит/с (вид услуг)	9,6 (речь)	153,6 LDD	9,6 (речь)	460,8 LDD
	Потери в передающем кабеле, дБ	Vehicular		Pedestrian	
a	Мощность передатчика на канал трафика, дБм	30,0	30,0	14,0	14,0
b	Потери в передающем тракте, дБ	2,0	2,0	0,0	0,0
c	Усиление передающей антенны, дБи	13,0	13,0	0,0	0,0
d	ЭИИМ, дБм	24,0	24,0	14,0	14,0
e	Усиление приемной антенны, дБи	13	13	10	10
f	Потери в приемном тракте, дБ	0	2	2	2
g	Спектральная плотность смеси шума и внутрисистемных помех, дБм/Гц	-166,0	-162	-162	-162
h	Полная скорость передачи в дБ	39,8	51,9	39,8	56,6
i	Требуемое отношение Eb/No	5,5	2,0	5,0	3,9
j	Чувствительность приемника, дБм	-118,3	-108,1	-117,2	-101,5
k	Выигрыш хэндовера, дБ	6,2	5	5	5
l	Дополнительные потери, дБ	0	0	0	0
m	Запас на медленные замирания, дБ	11,4	11,4	11,2	11,4
n	Максимальные потери на трассе, дБ	159	136,7	133,0	136,8
r1	Радиус действия (максимальный), м	6811,0	1691,6	420,4	170,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

### Принципы формирования сигналов в cdma2000

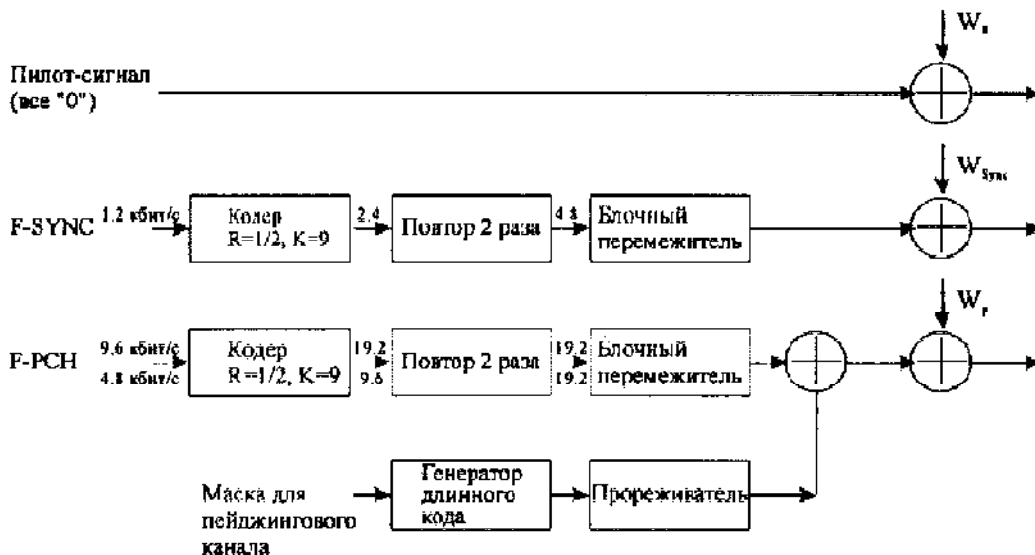
В разделе 6 были рассмотрены различные типы логических каналов и методы отображения транспортных каналов в физические. Однако их простой анализ не дает полного представления об особенностях построения cdma2000. В данном приложении более детально освещены вопросы, каким же образом происходит преобразование информационных символов в кодированный поток данных. Уникальность технологии с кодовым разделением каналов состоит в том, что каждый логический канал отображается в физический индивидуальным образом, т.е. отличается не только своими функциональными возможностями и скоростью передачи, но и типом используемого кода и его параметрами.

Для иллюстрации возможностей технологии cdma2000 рассмотрим особенности формирования кодированных потоков данных для разных типов каналов.

#### Пилотные и пейджинговые каналы

Схема формирования общего пилот-сигнала в прямом канале приведена на рис. П2.1. Для передачи пилот-сигнала используется код Уолша, состоящий из одних «0». Как видно из рис. П2.1, при его формировании не используются дополнительные методы кодирования и перемежения. Излучение пилот-сигнала осуществляется непрерывно в широкополосном режиме. При такой передаче он может быть принят одновременно всеми мобильными станциями, расположенными в зоне обслуживания базовой станции.

Рис. П2.1. Схема пилотного, пейджингового и синхронизирующего каналов



Однако общий пилотный канал применим не во всех случаях. Так, если антенна базовой станции разделена на секторы, в каждом из которых формируется узкий луч, то такой пилот-сигнал не может быть использован для оценки характеристик каналов. Во вспомогательных каналах передачи пилот-сигнала (CAPICH и DAPICH) используются более сложные алгоритмы формирования физических каналов (в данном приложении не приводятся).

### Структура выделенных и общих каналов

Параметры кодирования в общем канале управления F-CCCH аналогичны тем, которые реализованы в пейджинговом канале F-PCN.

В случае выделенного канала управления F-DCCN (скорость передачи равна 9,6 кбит/с) используется циклический избыточный код CRC из 16 или 12 символов при длине кадра 5 или 20 мс соответственно, а также сверточный код с параметрами  $R=1/2$ ,  $K=9$  и блочный перемежитель.

Обратный общий канал управления R-CCN предназначен для первоначального установления соединения с базовой станцией и передачи ответов на сообщения, принятые по прямому пейджинговому каналу F-PCN. Для связи в канале R-CCN используется протокол случайного доступа. Канал однозначно идентифицируется по длинному адресному коду. По каналу R-DCN передается в направлении базовой станции абонентский трафик, управляющая информация и сигнализация.

Функции канала доступа R-ACH и общего канала управления R-CCCH во многом совпадают. Оба канала предназначены для организации доступа и передачи сообщений подуровня MAC с мобильной станции на базовую. Основное отличие R-CCCH от канала доступа R-ACH заключается в обеспечении больших функциональных возможностей. Например, по каналу R-CCCH осуществляется процедура доступа с малым временем ожидания, требуемым для эффективной работы в режиме передачи пакетов.

Многостанционный доступ, осуществляемый по каналам R-ACH и R-CCCH, основан на использовании алгоритма типа «сегментированная Алоха», что обеспечивает высокую вероятность доставки пакетов при конфликтах. Для организации доступа выделяются один или несколько физических каналов.

Принципы формирования сигналов в канале R-ACH сходны с основным каналом R-FCH. Основная разница лишь в том, что по нему данные передаются с фиксированной скоростью 9,6 кбит/с или 4,8 кбит/с (табл. П2.1). В обычном режиме используется скорость 9,6 кбит/с. Переход на более низкую скорость 4,8 кбит/с осуществляется в случае ухудшения условий приема по команде базовой станции. Такая команда обычно передается в широкополосном сообщении. Если же мобильная станция не в состоянии обеспечить требуемые характеристики радиосвязи, то она может автономно переходить на более низкую скорость, однако только в следующей попытке доступа (в течение одной попытки скорость не изменяется).

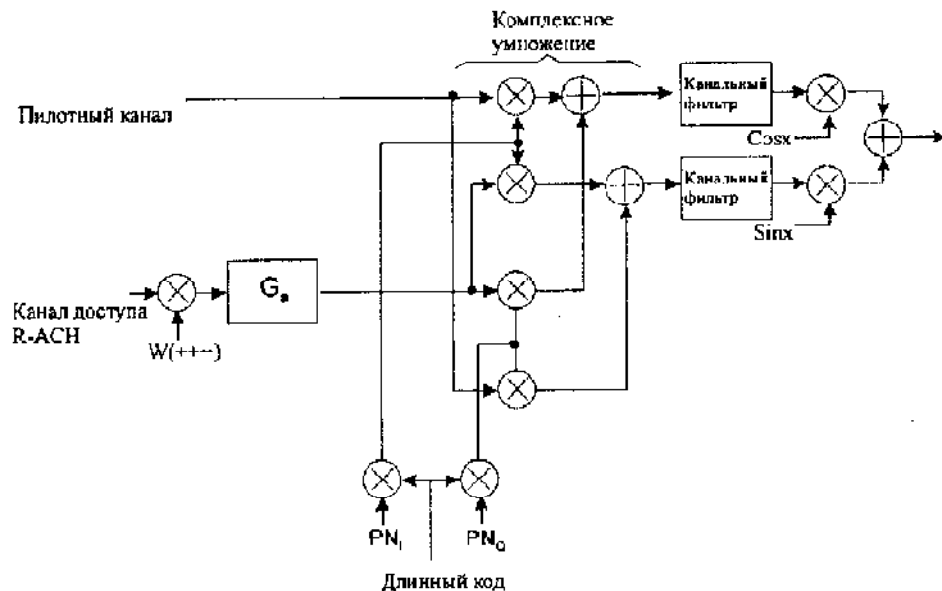
Таблица П2.1. Основные характеристики каналов R-ACH и R-CCCH

Тип канала	R-ACH		R-CCCH		
	9,6	4,8	9,6	19,2	38,4
Скорость передачи, кбит/с	9,6	4,8	9,6	19,2	38,4
Входной поток данных, бит	172	80	172	360	744
Число проверочных битов	12	8	16	16	16
Число избыточных символов	8	8	8	8	8
Параметры сверточного кодера	$R=1/4$ $K=9$	$R=1/4$ $K=9$	$R=1/4$ $K=9$	$R=1/4$ $K=9$	$R=1/4$ $K=9$
Число повторных передач	1	2	1	1	1
Выходной поток данных, бит	768	768	768	1536	3072

Канал R-CCCH обеспечивает передачу информации со скоростью 9,6 кбит/с, 19,2 кбит/с и 38,4 кбит/с. Режим работы со скоростью 9,6 кбит/с идентичен тому, который используется

в R-ACH (рис. П2.2). Более высокоскоростные режимы требуют увеличения мощности мобильной станции на 3 дБ (19,2 кбит/с) или 6 дБ (38,4 кбит/с) относительно той, которая была установлена в режиме 9,6 кбит/с. В зависимости от помеховой обстановки основные параметры доступа могут изменяться по команде с базовой станции. Длина кадра зависит от скорости передачи и может принимать следующие значения: 20 мс (9,6 кбит/с), 10 и 20 мс (19,2 кбит/с) и 5, 10 и 20 мс (38,4 кбит/с).

**Рис. П2.2.**  
**Структурная**  
**схема канала**  
**доступа**



### Основные и дополнительные каналы

Конфигурация логического канала F-FCH для режима передачи RS1 приведена на рис. П2.3. Всего образуются 5 логических цепочек с выходной скоростью 576 бит/кадр (длина кадра 20 мс) или 144 бит/кадр (длина 5 мс). В реальных условиях работы выбор схемы кодирующей цепочки будет зависеть от помеховой обстановки и может динамически изменяться в процессе работы.

Параметры канального кодирования в свою очередь также зависят от скорости входного потока  $R/n$  (где  $R=9,6$  кбит/с для режима RS1, а  $n=1, 2, 4, 8$ ). В каждой цепочке (канале) используется циклический избыточный код (CRC). Число добавляемых проверочных символов зависит от скорости передачи  $R/n$  и составляет от 12 до 6. Кроме того, во всех кодирующих цепочках добавляются 8 конечных битов. Эти биты необходимы, чтобы упростить процедуру декодирования сверточного кода на приеме.

Для кодирования данных во всех режимах работы основного канала используется сверточный код с параметрами  $R=1/3$ ,  $K=9$ . При передаче со скоростью  $R/n$  ( $n>1$ ) применяется  $n$ -кратная повторная передача. Чтобы обеспечить согласование переменного входного и фиксированного кодированного потока данных (576 бит/кадр), применяется процедура периодического исключения («вырезания») битов. Так, в цепочке 3 (скорость  $R/4$ ) исключается каждый 9-й символ.

Приведенный выше пример описывает только один режим работы системы. Аналогичные кодирующие цепочки могли бы быть построены и для других логических каналов. Чтобы упростить описание параметров кодирования в различных вариантах построения cdma2000, они представлены в табличном виде (табл. П2.2 и П2.3). В случае расширения спектра при более высоких скоростях передачи (число несущих  $N=6, 9$  или 12) сохраняется тот же принцип формирования логических каналов, хотя и с другими параметрами сверточно-



го кодирования:  $(R=1/2, K=9)$ ,  $(R=1/3, K=9)$  или  $(R=1/4, K=9)$ . Чтобы не усложнять описание системы эти варианты не приводятся.

Рис. П2.3. Конфигурация логического канала F-FCH для скоростного ряда RS1

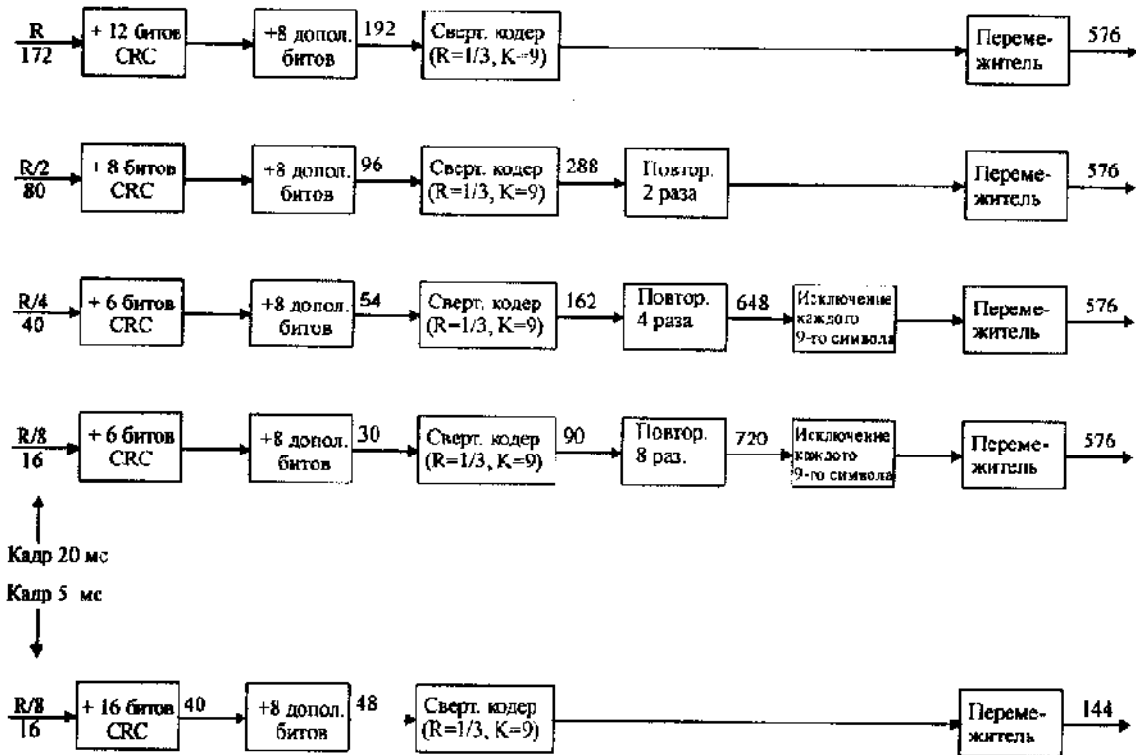


Таблица П2.2. Структура организации каналов F-FCH и R-FCH (длина кадра 20 мс)

Направление связи		F-FCH				R-FCH		
		N=1		N=3		N=1		N≥3
Число несущих		RS1	RS2	RS1	RS2	RS1	RS2	RS2
Скоростной ряд		RS1	RS2	RS1	RS2	RS1	RS2	RS2
Входной поток данных, бит	R/2	172	267	172	267	172	267	267
	R/2	80	125	80	125	80	125	125
	R/4	40	55	40	55	40	55	55
	R/8	16	21	16	21	16	21	21
Число проверочных символов	R/2	12	12+1	12	12+1	12	12+1	12+1
	R/2	8	10+1	8	10+1	8	10+1	10+1
	R/4	6	8+1	6	8+1	6	8+1	8+1
	R/8	6	6+1	6	6+1	6	6+1	6+1
Число избыточных символов		8	8	8	8	8	8	8
Параметры сверточного кодера		R=1/2 K=9	R=3/8 K=9	R=1/3 K=9	R=1/4 K=9	R=1/4 K=9	R=1/4 K=9	R=1/4 K=9
Число повторных передач		1, 2, 4 и 8	1, 2, 4 и 8	1, 2, 4 и 8	1, 2, 4 и 8	2, 4, 8 и 16	1, 2, 4 и 8	1, 2, 4 и 8
Коэффициент понижения скорости		1/9 (R/4), 1/5 (R/8)	-	1/9 (R/4), 1/5 (R/8)	-	1/3	1/3	-
Скорость на выходе перемежителя, бит		384	768	576	1152, 576, 288, 144	1536	1536	1152

Таблица П2.3. Структура организации каналов F-FCH и R-FCH (длина кадра 5 мс)

Тип канала	F-FCH				R-FCH		
	N=1		N=3		N=1		N≥3
Скоростной ряд	RS1	RS2	RS1	RS2	RS1	RS2	RS2
Входной поток данных, бит	24	24	24	24	24	24	24
Число проверочных битов	16	16	16	16	16	16	16
Число избыточных символов	8	8	8	8	8	8	8
Параметры сверточного кодера	R=1/2 K=9	R=1/2 K=9	R=1/3 K=9	R=1/3 K=9	R=1/4 K=9	R=1/4 K=9	R=1/3 K=9
Число повторных передач	1	1	1	1	1	2	2
Выходная скорость, бит	96	96	144	144	192	384	288

Дополнительный канал F-SCH может функционировать в двух различных режимах. В первом режиме скорость передачи данных не превышает 14,4 кбит/с. Определение скорости на приеме осуществляется в автоматическом режиме по входному потоку данных. Аналогично, как и при приеме данных по основному каналу F-FCH, в канале F-SCH реализованы два скоростных ряда RS1 и RS2. Структура и параметры кодирования данных в них аналогичны F-FCH (длина кадра 20 мс).

Во втором режиме обеспечивается высокоскоростная передача данных. Номинал скорости передачи заранее известен на приеме, т.е. отпадает необходимость в его автоматической селекции на приеме. Вместо сверточного кодирования в дополнительном канале используется турбо-кодирование (K=4). Если при сверточном кодировании передается избыточная последовательность из 8 битов (encoder tail), то в случае турбо-кодирования формируются 6 избыточных и 2 резервных бита.

Другое отличие состоит в том, что в один и тот же момент одновременно могут быть задействованы несколько F-SCH каналов (мультикодовая передача). Каналы с отличающимися кодами и разными законами перемежения имеют различные уровни мощности на приеме, а следовательно, обеспечивают различную вероятность ошибок на кадре. Кроме того, повышение достоверности может быть обеспечено за счет повторной передачи недостоверных кадров. Значения скоростей передачи в дополнительном канале при различных чиповых скоростях приведены в табл. П2.4.

Структура каналов в обратном направлении имеет некоторые отличия. В направлении «абонент-базовая станция» используются: один основной канал R-FCH, один или два дополнительных каналов, а также пилотный и выделенный канал управления R-DCCCH. Структура обратного канала приведена на рис. П2.4.

Образование двух дополнительных каналов R-SCH1 и R-SCH2 обеспечивается за счет использования двухсимвольной функции Уолша (на рис. П2.3 не показана). Такая структура обеспечивает большие функциональные возможности по сравнению со случаем, когда используется только один дополнительный канал.

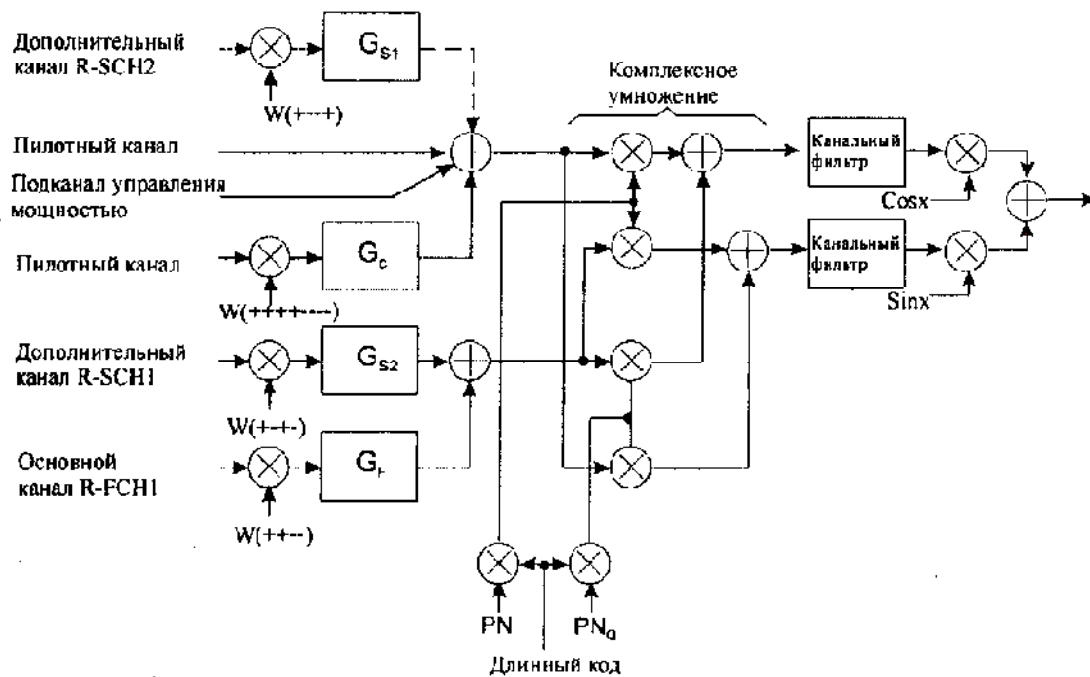
Увеличение числа основных и дополнительных каналов осуществляется с помощью 4-х символьного кода Уолша, а канала управления R-DCCCH – 8-символьным кодом Уолша.

Пилотный канал R-PCCH, дополнительный канал R-SCH2 и выделенный канал управления R-DCCCH передаются по синфазному каналу, а основной R-FCH и дополнительный R-SCH1 каналы – по квадратурному каналу. Расширение спектра осуществляется за счет комплексного умножения с I и Q псевдослучайными последовательностями, имеющими период, равный  $2^{15}$  (26,66 мс).

Таблица П2.4. Скорости передачи в дополнительном канале F-SCH

Числовая скорость, Мчип/с	1,2288 (N=1)	3,6864 (N=3)	7,3728 (N=6)	11,0592 (N=9)	14,7456 (N=12)
Скорость передачи информации, кбит/с (информационные потоки кратны максимальной скорости RS1, равной 9,6 кбит/с)	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
	19,2	19,2	19,2	19,2	19,2
	38,4	38,4	38,4	38,4	38,4
	76,8	76,8	76,8	76,8	76,8
	153,6	153,6	153,6	153,6	153,6
	307,2	307,2	307,2	307,2	307,2
			614,4	614,4	614,4
			1036,8	1036,8	1036,8
			1228,8	1228,8	1228,8
				2073,6	2073,6
			2457,6	2457,6	
Скорость передачи информации, кбит/с (информационные потоки кратны максимальной скорости RS2, равной 14,4 кбит/с)	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4
	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8
	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6
	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2
	230,4	230,4	230,4	230,4	230,4
	2073,6	460,8	460,8	460,8	460,8
		921,6	921,6	921,6	921,6
		1036,8	1036,8	1036,8	1036,8
			1843,2	1843,2	1843,2
			2073,6	2073,6	2073,6

Рис. П2.4. Структура обратных основных и дополнительных каналов



## ПРИЛОЖЕНИЕ 3.

### Особенности кодирования и перемежения в WCDMA

#### Однокодовая и мультикодовая передача данных

В системе WCDMA возможны два режима работы системы: однокодовая и мультикодовая передача. Длина передаваемого пакета после кодирования и согласования скорости определяется в виде:

Однокодовая передача:  $640 \times 2^N - M$  битов;

Мультикодовая передача:  $(640 \times 2^N - M_1) + (L-1) \times (640 \times 2^N - M_2)$  бит, где  $L$  – число блоков из  $M_2$  битов.

Значения коэффициентов  $N$ ,  $M$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  приведены в табл. ПЗ.1.

**Таблица ПЗ.1. Значения коэффициентов  $N$  и  $M$  при однокодовой и мультикодовой передаче**

Скорость передачи кбит/с	№	Однокодовая передача		Мультикодовая передача	
		M(min)	M(max)	M1	M2
32	-1	96	112	112	96
64	0	112	128	128	112
128	1	144	160	160	144
256	2	272	288	288	272
512	3	400	416	416	400
1024	4	656	672	672	656

Для обеспечения вероятности ошибки не более  $10^{-6}$  в режимах однокодовой и мультикодовой передачи данных возможны две альтернативные схемы кодирования. В первом случае используется каскадный код, в котором в качестве внешнего кода используют код Рида-Соломона (RS), а внутреннего кода – сверточный код (CC). Вторая схема кодирования основана на использовании только турбо-кодирования.

Сравнительные характеристики помехоустойчивости в режимах LCD и UDD для различных условиях эксплуатации приведены в табл. ПЗ.2. Данные получены путем моделирования в каналах с замираниями и аддитивным белым гауссовским шумом. Моделирование проводилось в соответствии с рекомендациями ITU-R M.1225.

**Таблица ПЗ.2. Сравнительные характеристики помехоустойчивости для двух вариантов кодирования**

Тип канала, кбит/с	Условия эксплуатации	Линия «вверх»			Линия «вниз»		
		Требуемое $E_b/N_0$ , дБ		Выигрыш, дБ	Требуемое $E_b/N_0$ , дБ		Выигрыш, дБ
		CC+RS	Турбо-код		CC+RS	Турбо-код	
LCD 64	Indoor-A	2,3	2,1	0,2	1,9	1,0	0,9
	Pedestrian-A	2,4	2,2	0,2	1,9	1,1	0,8
	Vehicular-A	3,8	3,8	0,0	3,7	3,3	0,4
LCD 144	Vehicular-A	3,1	2,9	0,2	2,5	2,0	0,5
	Vehicular-B	3,6	3,2	0,4	2,6	2,0	0,6

Таблица П3.2. (продолжение)

Тип канала, кбит/с	Условия эксплуатации	Линия «вверх»			Линия «вниз»		
		Требуемое $E_B/N_0$ , дБ		Выигрыш, дБ	Требуемое $E_B/N_0$ , дБ		Выигрыш, дБ
		CC+RS	Турбо-код		CC+RS	Турбо-код	
LCD 384	Pedestrian-A	1,3	0,6	0,7	1,1	0,1	1,0
	Pedestrian-B	2,6	1,8	0,8	2,5	1,6	0,9
	Vehicular-A	3,1	2,7	0,4	3,2	2,4	0,8
LCD 2048	Indoor-A	1,8	0,25	1,55	1,6	0,4	1,2
	Indoor-B	2,9	2,1	0,8	2,6	1,0	1,6
UDD 64	Indoor-A	1,5	1,4	0,1	1,2	1,1	0,1
	Pedestrian-A	1,5	1,4	0,1	1,2	1,1	0,1
	Vehicular-A	3,8	3,6	0,2	3,0	3,0	0,0
UDD 144	Vehicular-A	3,0	2,9	0,1	2,9	2,8	0,1
	Vehicular-B	2,9	2,8	0,1	2,9	2,8	0,1
UDD 384	Pedestrian-A	0,4	0,2	0,2	0,1	-0,1	0,2
	Pedestrian-B	1,4	1,1	0,3	1,2	1,1	0,1
	Vehicular-A	2,4	2,3	0,1	2,0	1,9	0,1
UDD 2048	Indoor-A	0,6	0,2	0,4	0,1	0,0	0,1
	Indoor-B	0,9	0,5	0,4	0,3	0,0	0,3

**Канальное многошаговое перемежение**

Закон перемежения в WCDMA основан на использовании метода многошагового перемежения MIL (Multi-Stage Interleaving). Метод MIL основан на преобразовании исходной кодированной последовательности, состоящей из L символов, где  $L_{вх} = \{0, 1, 2, \dots, (L-1)\}$  в матрицу  $L = [N \times M]$ , которая имеет следующий вид

$$L[N \times M] = \begin{Bmatrix} 0 & 1 & \dots & M-1 \\ M & M+1 & \dots & 2M-1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (N-1)M & (N-1)(M+1) & \dots & NM-1 \end{Bmatrix}$$

Таким образом, принцип MIL перемежителя заключается в последовательной построчной записи входных кодированных символов и последующем их считывании по столбцам. Выходная последовательность, в которой изменен порядок следования символов, имеет следующий вид:

$$L_{вых} = \{[0, M, \dots, (N-1)M][1, (M+1), \dots, (N-1)(M+1)][(M-1), (2M-1), \dots, (NM-1)]\}$$

В зависимости от типа логического канала и метода кодирования законы перемежения могут быть разные. Данная ситуация для случая канального сверточного кодирования иллюстрируется в табл. П3.3.

Таблица П3.3. Законы перемежения символов для разных типов логических каналов

Тип канала	Число битов	Закон перемежения
VCH	320	$20[4[2 \times 2] \times 5[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
PCH	272	$17[4[2 \times 2] \times 5[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
FACH-L	1152	$72[8[4[2 \times 2] \times 2 \times 9[3 \times 3]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
FACH-S	288	$18[3 \times 6[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
RACH-L	1280	$80[8[4[2 \times 2] \times 2] \times 10[5[3 \times 2] \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
RACH-S	320	$20[4[2 \times 2] \times 5[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (480 бит/кадр DCCH)	480	$30[5[2 \times 3] \times 6[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (640 бит/кадр DCCH)	640	$40[5[2 \times 3] \times 8[4[2 \times 2] \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (384 бит/кадр DCCH)	384	$24[4[2 \times 2] \times 6[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (8 кбит/с, 10мс DTCH)	312	$20[4[2 \times 2] \times 5[3 \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (8 кбит/с, 20мс DTCH)	552	$35[5[2 \times 3] \times 7[3 \times 3[2 \times 2]]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (32 кбит/с, 10мс DTCH)	1032	$65[9[3 \times 3] \times 8[4[2 \times 2] \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (32 кбит/с, 80мс DTCH)	8256	$65[9[3 \times 3] \times 8[4[2 \times 2] \times 2]] \times 128 \times [16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]] \times 8[4[2 \times 2] \times 2]]$
DCH (64 кбит/с, 10мс DTCH)	1992	$125[12[4[2 \times 2] \times 3] \times 11[3 \times 5[2 \times 3] \times 2]] \times 16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]]$
DCH (64 кбит/с, 80мс DTCH)	15936	$125[12[4[2 \times 2] \times 3] \times 11[3 \times 5[2 \times 3]]] \times 128[16[4[2 \times 2] \times 4[2 \times 2]] \times 8[4[2 \times 2] \times 2]]$

Гибкая канальная структура WCDMA позволяет адаптироваться под различные виды трафика и условия эксплуатации. Глубина перемежения в транспортных каналах зависит от требований к задержке информации и может принимать 4 градации: 10 мс (перемежение в пределах одного кадра), 20 мс, 40 мс и 80 мс. Следует отметить, что перемежение не вносит избыточности, а только производит перестановку символов или битов.

## Краткий англо-русский толковый словарь

**2,5 G (2,5-th Generation)** – технологии переходного периода, основанные на использовании усовершенствованных средств 2-го поколения, но способные предоставлять услуги 3-го поколения.

**3G (3-rd Generation)** – 3-е поколение. Новое поколение систем мобильной связи, разрабатываемых в рамках программы IMT-2000. Сети радиодоступа 3-го поколения будут обеспечивать обмен информацией со скоростью до 144 кбит/с для абонентов с высокой мобильностью (скорость движения до 120 км/час), 384 кбит/с для абонентов с низкой мобильностью (скорость от 3 до 12 км/час) и 2,048 Мбит/с для внутриофисной связи.

**3GPP (3-rd Generation Partnership Project)** – проект партнерства 3-го поколения. Организация, созданная 4 декабря 1998 г с целью проведения практических работ по стандартизации систем 3-го поколения WCDMA и UTRA TDD в рамках программы IMT-2000 [84].

**3GPP2 (3-rd Generation Partnership Project-2)** – проект 2 партнерства 3-го поколения. В задачи 3GPP2 входит разработка технических спецификаций на основе действующих в Северо-Американском регионе магистральных базовых сетей ANSI-41 [85].

**$\mu$ -law** –  $\mu$ -закон компандирования. Логарифмический закон компандирования, принятый в Северной Америке, позволяющий улучшить отношение сигнал/шум по сравнению с равномерным квантованием. При использовании 128 уровней  $\mu$ -закон позволит получить качество, эквивалентное 2048 уровням (11 разрядов) при равномерном квантовании.

**$\pi/4$  DQPSK** – фазовая манипуляция, использующая алфавит из четырех символов  $\{-\pi/4; \pi/4; -3\pi/4; 3\pi/4\}$ , каждому из которых ставится в соответствие два бита данных {00, 01, 10, 11}. Модуляция  $\pi/4$  DQPSK применяется в стандартах IS-136, TETRA и др.

## A

**A-Band carrier** (син. A-carrier) – оператор сотовой связи в A-диапазоне частот (824-849 МГц). В США

весь рынок сотовой связи в диапазоне 800-900 МГц поделен между двумя группами операторов, условно названными А и В. Операторы второй группы работают в диапазоне 869-894 МГц.

**abbreviated alert** – краткое оповещение. Повторное оповещение, используемое для напоминания, что ранее переданный вызов или другая дополнительная информация еще не устарела.

**aborted packet** – отброшенный пакет. Пакет, который принят с низкой достоверностью или недопустимо большой задержкой, и вследствие этого отбрасываемый на приемной стороне. Обычно такая ситуация возникает при перегрузке сети, когда время доставки пакета адресату превышает предел, определяемый протоколом связи.

**access attempt** – попытка доступа. 1. Процесс взаимодействия одного или нескольких абонентов с системой связи с целью получения разрешения на передачу информации. Попытка доступа заканчивается как в случае успеха, так и отказа в доступе. 2. Последовательность из нескольких запросов или проб доступа, передаваемых по радиоканалу. Попытка доступа обычно считается успешной, если в течение определенного интервала со стороны сети будет послан сигнал подтверждения.

**access probe** – проба доступа. Короткий пакет, передаваемый по каналу доступа и обычно состоящий из преамбулы и запроса. В широкополосных системах для снижения уровня помех используется метод передачи, при котором в каждой последующей пробе уровень мощности дискретно увеличивается на величину  $\Delta P$ . Текущее значение мощности определяется соотношением  $P = P_0 + \Delta P (n - 1)$ , где:  $P_0$  – исходное значение мощности,  $n$  – номер пробы в одной попытке доступа ( $n = 1 \dots n_{\max}$ ).

**ACCH (Associated Control Channel)** – совмещенный канал управления. Канал передачи управляющей информации, который обычно состоит из двух подканалов: низкоскоростного канала SACCH и высокоскоростного канала FACCH.

**ACELP (Algebraic Code-Excited Linear Prediction)** – линейное предсказание с алгебраическим кодовым возбуждением. Вокодер, ис-

пользующий алгебраическое кодирование данных, полученных на основе линейного предсказания. Основные характеристики вокодера соответствуют стандарту IS-641A.

**activation fee** – плата за активацию. Одноразовая плата за первоначальное подключение абонента к сети связи.

**active set** – активный набор. Совокупность показателей качества принимаемых сигналов, на основе которых мобильная станция производит выбор базовой станции. В системах с кодовым разделением определение активности станций осуществляется по специальному пилот-сигналу, который излучается каждой базовой станцией в широкополосном режиме.

**adjacent channel interference** – помеха от соседних каналов. Помеха, возникающая от частот других каналов, отстоящих от рабочего канала на шаг сетки частот (например 25 или 12,5 кГц), приводящая к искажению полезного сигнала. В английском языке этот термин обычно имеет уточнения: *next-channel interference* (помеха от последующего) и *neighboring-channel interference* (помеха от соседнего), которые конкретизируют источник помех.

**ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)** – адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция, АДИКМ. Метод импульсно-кодовой модуляции, который обеспечивает вычисление корреляции между двумя соседними отсчетами дискретизируемого сигнала и передачу только их разности. Метод ADPCM (G.726) широко используется в системах беспроводного доступа (стандарты CT2, DECT, PHS, PACS). Основные характеристики ADPCM (G.726): выходная скорость – 32 кбит/с, сжатие динамического диапазона по А- или  $\mu$ -закону, средняя оценка качества 4,1 (по шкале MOS).

**air interface** – радиointерфейс. Совокупность протоколов и процедур, определяющих порядок установления соединений и организацию связи по радиоканалу между базовой и мобильными станциями. Спецификации радиointерфейса описывают механизмы управления и передачи информации на физическом уровне.

**A-law** – А-закон. Логарифмический закон сжатия динамического диапазона речевого сигнала в ADPCM и PCM кодеках, применяемых в Европе. Обеспечивает постоянное отношение сиг-

нал/шум при восстановлении сигналов малого уровня.

**AMBE (Advanced Multi-Band Excitation)** – усовершенствованное многополосное возбуждение. Алгоритм сжатия речи, обеспечивающий скорость передачи до 4,8 кбит/с, а качество, сравнимое с VSELP (8 кбит/с).

**amount of diversity** – кратность разнесения. Число независимых направлений распространения сигналов в каналах с замираниями. Например, кратность разнесения равна двум, если на базовой станции используются две передающих, а у абонента одна приемная антенна или наоборот.

**AMR (Adaptive MultiRate codec)** – адаптивный многоскоростной кодек. Универсальный речевой кодек, обеспечивающий работу с несколькими значениями скоростей и с разными алгоритмами преобразования речи.

**ANSI (American National Standards Institute)** – Американский национальный институт стандартов (прежнее название ASI), занимающийся вопросами стандартизации с 1918 г. Стандартизацию и координацию работ в области связи в ANSI осуществляет технический комитет T1.

**anycast** – адресация любому. Вещание в распределенной сети с множеством объектов, при котором источник сообщений может адресовать сообщение любому из них.

**API (Application Program Interface)** – интерфейс прикладного программирования. Программный интерфейс, используемый для обеспечения взаимодействия между разными прикладными программами.

**ARIB (Association of Radio Industries and Businesses)** – Ассоциация радиопромышленности и бизнеса, которая была учреждена Министерством Почты и Связи (МРТ) Японии 15 мая 1995 г. Аналогично ETSI в Европе организация ARIB осуществляет национальную стандартизацию в Японии [87].

**ARQ (Automatic Request for Retransmission)** – автоматический запрос повторной передачи, АЗП. 1. Метод защиты от ошибок, основанный на поблочной передаче данных, автоматическом контроле ошибок на приемной стороне и повторном запросе тех блоков данных, в которых обнаружены ошибки. 2. Протокол связи, обеспечивающий автоматическое инициирование по-



второй передачи пакетов при обнаружении ошибок

**ATM (asynchronous transfer mode)** – асинхронный метод передачи. Метод передачи, в основе которого лежит технология коммутации коротких пакетов (ячеек) фиксированной длины, обеспечивающая их транспортировку практически без ограничений по скорости передачи и протяженности линий связи, а также передачу любых видов информации (речь, данные, видео, мультимедиа).

**attempt-and-defer mechanism** – процедура «попытка вызова-отсрочка». Процедура доступа, которая осуществляет попытку вызова, если канал свободен, и откладывает передачу, если обнаружен конфликт.

**AUC (Authentication Center)** – центр аутентификации. Совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих проверку прав и полномочий абонента, с помощью которых реализуется механизм защиты от несанкционированного доступа в систему.

## В

**V-Band carrier** – оператор сотовой связи в В-диапазоне частот 869-894 МГц. В США весь рынок сотовой связи в диапазоне частот 800-900 МГц поделен между двумя группами операторов. Операторы второй группы (*A-band carrier*) работают в диапазоне 824-849 МГц.

**barring of all incoming calls** – запрет всех входящих вызовов. Дополнительная услуга в сети связи, которая ограничивает прохождение всех входящих вызовов, при этом все исходящие вызовы передаются без каких-либо ограничений.

**barring of all outgoing calls** – запрет всех исходящих вызовов. Дополнительная услуга, которая ограничивает исходящие вызовы, содержащие номер вызываемого абонента или данные о местоположении вызываемого терминала. Данная услуга не распространяется на экстренные вызовы, которые принимаются без каких-либо ограничений. Существуют разновидности этой услуги, например, запрет всех международных вызовов и др. Более подробное описание услуги можно найти в документах по стандартам сотовой связи.

**BBER (Bulletin Board Error Rate)** – вероятность появления ошибок в информационной таблице. Показатель достоверности приема данных, содержащихся в информационной таблице, определяемый как отношение количества ошибочно принятых знаков к их общему числу.

**BCCH (Broadcast Control Channel)** – широко-вещательный канал управления. Канал управления, по которому осуществляется низкоскоростная передача служебной информации, такой как номер кадра, уровень мощности в линии «вверх» и др.

**BER (Bit Error Rate)** – вероятность ошибки на бит. Показатель достоверности приема двоичных символов, используемый для оценки качества каналов связи на физическом уровне. Численно определяется, как отношение количества ошибочно принятых битов к общему числу переданных.

**BERT (Bit Error Rate Test)** – тест для оценки вероятности ошибки на бит. Тестовая, обычно псевдослучайная последовательность, используемая для оценки достоверности передачи данных по каналам связи.

**BHCA (Busy Hour Call Attempt)** – число попыток установления соединения в ЧНН. Показатель, определяющий число попыток установления соединения в час наибольшей нагрузки и характеризующий качество телефонных каналов при перегрузке

**bit synchronization** – тактовая синхронизация. Процесс установления временного соответствия между принимаемым сигналом и последовательностью тактовых импульсов.

**BLER (Block Error Rate)** – вероятность ошибки на блок. Показатель достоверности приема блоков с ошибками. Численно определяется как отношение количества ошибочно принятых блоков к общему числу переданных.

**BOD (Bandwidth On Demand)** – полоса частот по требованию. Метод организации абонентского доступа к спутниковому ретранслятору, при котором канал с заданной шириной полосы предоставляется по запросу, а не жестко закрепляется за определенным пользователем.

**BOQAM (Binary Offset Quadrature Amplitude Modulation)** – квадратурная амплитудная модуляция с двоичным смещением. Вид квадратурной

амплитудной модуляции, используемый в проекте стандарта IS-136 IS. Модуляция ВОQAM обладает повышенной спектральной эффективностью, имеет меньший диапазон изменения огибающей по сравнению с обычной QAM и предъявляет менее жесткие требования к линейности выходных каскадов передатчика.

**borrowing** – перераспределение каналов. Метод увеличения пропускной способности сети сотовой связи за счет динамического перераспределения каналов между соседними сотами. В тех сотах, где возникает перегрузка, число рабочих каналов увеличивается за счет заимствования рабочих каналов из соседних сот.

**BSC (Base Station Controller)** – контроллер базовой станции. Элемент сети сотовой или транкинговой связи, который управляет работой нескольких базовых приемопередающих станций BTS.

**BSS (Base Station System)** – оборудование базовой станции. Оборудование, обеспечивающее интерфейс между MSC и мобильными станциями, и включающее в свой состав контроллер базовой станции, несколько базовых приемопередающих станций и устройства управления радиоресурсами.

**BTS (Base Transceiver Station)** – базовая приемопередающая станция. Стационарная приемопередающая станция, обеспечивающая передачу и прием радиосигналов, управление выходной мощностью мобильных станций и т.д. Работа BTS осуществляется под управлением контроллера BSC.

## С

**CAMEL (Customized Applications Mobile Enhanced Logic)** – усовершенствованная логика мобильной связи для пользовательских приложений. Гибкая технология управления сетями мобильной связи, основанная на принципах интеллектуальной сети, адаптируемая к требованиям конкретных пользователей.

**CCN (Control Channel)** – канал управления. Логический канал, организуемый в направлении от базовой станции к мобильной, по которому передается служебная информация, в том числе запросы на предоставление канала связи.

**CDG (CDMA Development Group)** – Ассоциация по развитию технологии CDMA, включающая около 90 компаний, которые расположены в основном в США. Ассоциация содействует внедрению сетей cdmaOne и развитию систем 3-го поколения на базе cdma2000 [93].

**CDMA (Code Division Multiple Access)** – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов. Метод многостанционного доступа, основанный на использовании сигналов с расширенным спектром и одновременной передачей большого числа сигналов в общей полосе частот. Каждому абоненту доступен любой канал, т.е. в системе нет жесткого закрепления каналов. Разделение каналов осуществляется по виду кодовых последовательностей, поступающих от каждого абонента.

**CDMA I** – проект системы 3-го поколения, который разработан в рамках программы IMT-2000 организацией TTA (Ю. Корея). По основным параметрам радиointерфейса данное предложение в наибольшей степени гармонизировано с проектом cdma2000 (США).

**CDMA II** – проект системы 3-го поколения, который разработан в рамках программы IMT-2000 организацией TTA (Ю. Корея). По своим принципам построения он имеет много общего с проектами WCDMA (ARIB) и UTRA (ETSI), в частности, в нем используются такие же числовые скорости и параметры кадра.

**cdma2000** – проект стандарта широкополосной системы 3-го поколения, который разработан в рамках программы IMT-2000 комитетом TTA TR 45.5 (США) на базе предложений компании Qualcomm. В проекте представлены два варианта построения системы: с многочастотной несущей (MC-CDMA) и с прямым расширением спектра (DS-SS-CDMA).

**cdmaOne** – название системы связи 2-го поколения, реализованной на базе стандарта IS-95. Основные технические параметры сетей cdmaOne определены в стандартах TTA (IS-95, IS-96 и др.).

**CDPD (Cellular Digital Packet Data)** – цифровая сотовая пакетная передача данных. Торговая марка первой в США коммерческой сотовой сети пакетной передачи данных. Сеть CDPD может взаимодействовать с существующими сетями сотовой телефонной связи (например, TDMA/AMPS). Обеспечивает передачу данных

со скоростью до 19,2 кбит/с, выход в Internet и межсетевой роуминг.

**CDR (Call Detail Records)** – записи параметров вызова. Регистрируемые параметры вызовов абонента. Сведения о всех вызовах с учетом роуминга заносятся в базу данных и в дальнейшем используются для проведения биллинговых операций.

**cell breathing** – дыхание соты. Изменение размеров зоны обслуживания базовой станции в зависимости от нагрузки сети CDMA, помеховой обстановки и других факторов (явление характерно для сетей CDMA).

**cell broadcast** – сотовое ширококочествование. Распространение по каналам сотовой связи информационно-справочной информации, доступной всем зарегистрированным абонентам. Зона ширококочествования может динамически изменяться от части здания, локальной городской зоны до размеров всей сети.

**CELP (Code Excited Linear Prediction)** – линейное предсказание с кодовым возбуждением. Алгоритм низкоскоростного сжатия речевого сигнала, основанный на использовании модели его передачи с линейным предсказанием и анализом спектра огибающей, что позволяет определить период основного тона речи. Основные характеристики вокодера CELP: выходная скорость – 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с (стандарт IS-95), 8000 бит/с (ITU-CELP); средняя оценка качества по шкале MOS – 3,7 (9600 бит/с) и 3,0 (4800 бит/с); вносимая задержка не более 30 мс.

**CEPT (Conference of European Post and Telecommunications)** – Европейская конференция администраций почт и связи, которая учреждена 19 европейскими странами в 1959 г. По состоянию на июнь 1999 г. членами CEPT являются представители 43 стран. Штаб-квартира CEPT находится в Норвегии. CEPT имеет три комитета: один по почтовой связи (CERP) и два по телекоммуникациям технологиям (ERC и ECTRA).

**channel coding** – канальное кодирование. Согласованный с характеристиками канала метод кодирования сигналов, передаваемых по каналу связи. Например, в речевых каналах, где требуется обеспечить вероятность ошибки BER не более  $10^{-3}$ , широко используются сверточные коды, а в каналах передачи данных с вероятностью ошибки  $10^{-6}$  и менее, используется сочетание

сверточного кодирования с кодом Рида-Соломона или турбо-кодирование.

**CN (Comfort Noise)** – комфортный шум. Искусственно сформированный шум, который вводится в принимаемый речевой сигнал, чтобы исключить раздражающий эффект, связанный с вырезанием фонового шума на выходе приемника в паузе работы передатчика. Заполнение пауз комфортным шумом используется в большинстве систем, использующих технологию прерывистой передачи речи (DTX).

**code planning** – кодовое планирование. Распределение кодов между базовыми и мобильными станциями в общей зоне обслуживания. Подход к распределению кодов базируется на минимизации уровня взаимных (внутрисистемных) помех.

**code rate** – скорость кодирования. Отношение длины исходной информационной последовательности к длине закодированной последовательности. Скорость кодирования характеризует меру избыточности, вносимую кодом, т.е. определяет относительную долю информационной нагрузки, приходящуюся на один закодированный символ.

**code transparency** – прозрачность кода. Инвариантность кодовой последовательности относительно операции инвертирования символов.

**codebook** – кодовая книга. Упорядоченная совокупность всех возможных значений кодовых слов, которые используются в вокодерах для сжатия речевых сигналов на передающей стороне и их восстановления при приеме. Кодовая книга может содержать несколько наборов реализаций сигналов и выборок некоррелированного гауссовского шума.

**coding gain** – выигрыш от кодирования. Коэффициент снижения отношения сигнал/шум при заданной вероятности ошибки в системе с кодированием по сравнению с его отсутствием (при той же скорости и используемых методах модуляции и демодуляции). Выигрыш обычно выражается в децибелах.

**core band** – корневые полосы. Исходные полосы частот, выделенные для IMT-2000 на WARC-92. Суммарная ширина корневых полос 155 МГц для наземного сегмента и 60 (2x30) МГц для спутникового сегмента.

**core network** – базовая сеть. Подсистема сотовой связи, связывающая между собой коммутацион-

ное и сетевое оборудование, установленное на различных пунктах связи. В IMT-2000 предлагается использовать три типа магистральных базовых сетей: GSM MAP (Европа), ANSI-41 (США) и универсальные сети в IP-протоколом.

**CPE (Customer Premises Equipment)** – оборудование, устанавливаемое у пользователя. Термин используется для определения класса оконечного оборудования пользователя для соединения с сетью общего пользования. Простейшие примеры: телефон (обычный или беспроводной), персональный компьютер с модемом, приставка для непосредственного телевизионного вещания.

**CS ACELP (Conjugate Structure Algebraic Code-Excited Linear Prediction)** – линейное предсказание с алгебраическим кодовым возбуждением и сопряженной структурой. Усовершенствованный алгоритм вокодера, который содержит две взаимосвязанных кодовых книги, одна из которых является рабочей, а вторая – тестовой. Использование двух книг позволяет повысить качество распознавания речи при большом уровне шума.

**CTIA (Cellular Telecommunication Industry Association)** – Ассоциация производителей сотовой связи, созданная в США в мае 1984 г. В настоящее время в нее входят более 90% компаний сотовой связи США.

**CWTS (China Wireless Telecommunication Standard Group)** – китайская некоммерческая организация по стандартизации беспроводной связи [90].

## D

**DCA (Dynamic Channel Allocation)** – динамическое распределение каналов. Метод распределения каналов, основанный на периодическом сканировании всех или какой-то части рабочих частот с целью выбора свободных от помех каналов.

**DCH (Dedicated Channel)** – выделенный канал. Канал типа «точка-точка», организуемый между базовой и одной из мобильных станций. Такой канал может использоваться для передачи трафика, сигнализации или комбинированного потока, включающего трафик и сигнализацию.

**DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)** – цифровая усовершенствованная беспроводная связь. Европейский

стандарт беспроводного доступа, который был одобрен ETSI в 1995. Стандарт DECT описывает технологию организации микросотовых сетей для зон с высокой плотностью абонентов (порядка 100 тыс. абонентов/кв.км). Одно из важных преимуществ стандарта – он не требует частотного планирования. Выбор рабочей частоты происходит в процессе регулярного сканирования всех доступных частот, при этом свободные рабочие каналы выбираются в динамическом режиме.

**DECT EP (Digital Enhanced Cordless Telecommunications ETSI Project)** – расширенный стандарт системы с микросотовой структурой, подготовленный ETSI. В стандарте введены 3 значения скоростей передачи: 1,152, 2,304 и 3,456 Мбит/с.

**delayed handover** – хэндовер с задержкой. Метод переключения частоты при переходе мобильной станции из соты в соту не мгновенно, а с задержкой. Эта процедура реализуется за счет введения двух порогов уровня мощности (минимального и максимального). Наличие запаса между двумя порогами (так называемый гистерезис) позволяет избежать эффекта «пинг-понга», который может неизбежно возникнуть при работе на границе зон обслуживания двух базовых станций.

**direct sequence (DS)** – прямая последовательность. Метод расширения спектра при передаче сигнала, основанный на умножении информационной последовательности на опорный псевдослучайный сигнал с заведомо известными свойствами. При приеме полезная информация выделяется из сигнала известной структуры с помощью алгоритмов свертки.

**diversity gain** – выигрыш от разнесения. Отношение уровня сигнала, полученного в системе со сложением разнесенных сигналов, к уровню сигнала, полученного по одному каналу в системе без разнесения.

**diversity handover** – хэндовер с разнесением каналов. Процедура мягкого переключения каналов, при которой в момент смены частот связь с мобильной станцией поддерживается, как минимум, по двум каналам. Это позволяет выбрать сигнал с лучшим качеством связи и исключить возможную задержку при переключении каналов.

**DS-CDMA (Direct Sequence CDMA)** – много-станционный доступ с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра. Метод

широкополосной передачи сигналов в CDMA системах, основанный на использовании двухступенчатой модуляции кодированного потока данных. На первом шаге кодированный поток данных модулирует несущую, обычно методом BPSK или QPSK, а на втором – осуществляется модуляция с расширением спектра прямой последовательностью.

**DSSS (Direct Sequence Spread Sequence)** – расширение спектра методом прямой последовательности. Метод формирования широкополосного сигнала, при котором исходный двоичный сигнал преобразуется в псевдослучайную последовательность для манипуляции несущей. В эфир передается шумоподобный сигнал, обладающий всеми свойствами аддитивного белого шума.

**dual-mode terminal** – двухрежимный терминал. Абонентский терминал, который обеспечивает связь с использованием протоколов разных стандартов. Модификаций двухрежимных терминалов достаточно много, например, терминал сотовой связи TDMA/AMPS, работающий в аналоговом и цифровом стандартах, терминал GSM-900/GSM-1800 и др.

## E

**EDGE (Enhanced Data for Global Evolution)** – улучшенная передача данных для глобальной эволюции систем связи. Проект стандарта, разработанный группой ETSI SMG в начале 1997 г. и предназначенный для эволюции системы GSM (ранее в расшифровке EDGE вместо термина «Global» был термин «GSM»). Радиоинтерфейс EDGE надстраивается над существующей системой радиодоступа GSM, позволяя увеличить скорость передачи до 384 кбит/с.

**EIA (Electronic Industries Alliance)** – Альянс представителей электронной промышленности, который объединяет 7 крупных некоммерческих организаций (США).

**EIR (Equipment Identification Register)** – регистр идентификации оборудования. Регистр содержит централизованную базу данных, которая состоит из трех списков: белого, в котором указаны номера зарегистрированных абонентских станций; черного, включающего номера станций, которые были украдены или им было отказано в

обслуживании; серого списка, в который внесены номера станций, у которых существуют проблемы с регистрацией.

**ETSI (European Telecommunications Standards Institute)** – Европейский институт телекоммуникационных стандартов. Организация ETSI учреждена собранием директоров CEPT 14 января 1988 г. Основу ее деятельности составляет разработка стандартов в области связи [83].

**EVRC (Enhanced Variable Rate Codec)** – усовершенствованный кодек с переменной скоростью передачи (средняя скорость 8,5 кбит/с), разработанный в соответствии со спецификацией IS-127.

## F

**FAC (Frequency Advisory Committee)** – Консультативный комитет по частотам. Комитет подчинен Федеральной комиссии связи (США). Его основная сфера деятельности – обеспечение частотной координации.

**FACCH (Fast Associated Control Channel)** – высокоскоростной совмещенный канал управления. Двусторонний канал управления, который обычно служит для передачи команд переключения частоты при переходе мобильной станции из одной соты в другую.

**FACH (Forward Access Channel)** – прямой канал доступа. Однонаправленный канал для передачи управляющей информации со стороны сети в сторону мобильных станций. Обычно используется, если местонахождение мобильной станции известно.

**FCA (Fixed Channel Assignment)** – фиксированное распределение каналов (в сотовой связи). Метод распределения каналов, основанный на использовании частотно-территориального планирования, при котором каждой соте на достаточно длительный период времени выделяется фиксированное число несущих. Выделяемое число несущих обычно зависит от плотности трафика и размеров соты.

**FCC (Federal Communication Commission)** – Федеральная комиссия связи, ФКС. Правительственный орган США, созданный в 1934 г. и ответственный за распределение частотного ресурса.

са. Штаб-квартира FCC расположена в Вашингтоне.

**FDD (Frequency Division Duplex)** – частотный дуплексный разнос; дуплексная передача с частотным разделением каналов. Режим работы линии связи, при котором передача и прием осуществляются на разных частотах.

**FEC (Forward Error Correction)** – прямое исправление ошибок; помехоустойчивое кодирование. Метод защиты от ошибок, основанный на использовании кодов с исправлением или обнаружением ошибок, позволяющий повысить помехоустойчивость без введения обратной связи, т.е. без повторной передачи данных.

**FER (Frame Error Rate)** – вероятность ошибки на кадр. Отношение числа кадров, принятых с ошибками, к общему числу кадров. Вероятность ошибки на кадр и вероятность стирания кадров достаточно близки по смыслу, однако полностью не идентичны. Стертые кадры всегда считаются ошибочными, однако обратное утверждение не совсем верно, т.е. не все ошибочные кадры являются стертыми. Связано это с тем, что имеются кадры, в которых приемник не смог обнаружить ошибки.

**FFH (Fast Frequency Hopping)** – быстрое скачкообразное изменение частоты. Метод псевдослучайной перестройки частоты, при котором период переключения частоты выбирается меньшим или равным, чем длительность временного интервала, занимаемого одним информационным символом. При быстрой перестройке за время передачи одного символа может происходить один или более скачков по частоте. Данный метод защиты от помех наиболее эффективен при высокой скорости перемещения мобильных станций.

**FH (Frequency Hopping)** – скачкообразное переключение частоты; псевдослучайная перестройка рабочей частоты, ППРЧ. Метод широкополосной частотной манипуляции, при котором мгновенное значение несущей частоты периодически изменяется в соответствии с законом, определяемым генератором псевдослучайных последовательностей. При ППРЧ требуемая полоса частот в эфире значительно шире, чем необходимо для обычной частотной манипуляции.

**FHMA (Frequency-Hopping Multiple Access)** – многостанционный доступ со скачкообразной перестройкой частоты. Метод доступа, при кото-

ром несущая частота в процессе передачи скачкообразно изменяется в заданной полосе частот по псевдослучайному закону. Сигналы от разных станций передаются с несовпадающими законами перестройки частоты, а следовательно, не мешают друг другу, даже в случае их случайного совпадения в нескольких частотных позициях.

**FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)** – расширение спектра со скачкообразной перестройкой частоты. Метод формирования сигнала, основанный на использовании широкополосных сигналов со скачкообразной перестройкой частоты.

**FMC (Fixed/Mobile Convergence)** – конвергенция фиксированный/мобильный. Объединение услуг передачи речи и данных в единый пакет предложений для фиксированных и мобильных абонентов. Конечной целью конвергенции является реализация принципа «один человек – один телефон», т.е. предоставление абоненту единого номера и одного телефона.

**FMD (Follow Me Function)** – функция «следуй за мной». Функция, которая позволяет организовать связь без поиска абонента в сети.

**follow me roaming** – роуминг типа «следуй за мной». Роуминг, при котором осуществляется автоматическая пересылка всех входящих вызовов на мобильную станцию вне зависимости от места ее первоначальной регистрации в сети.

**foreign roamer** – роумер «чужой» сети. Мобильная станция, находящаяся в зоне обслуживания с другой системой идентификации, чем в сети, в которой она обычно обслуживается.

**FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System)** – перспективная сухопутная мобильная телекоммуникационная система общего пользования. Первоначальное название концепции по созданию систем беспроводного доступа и наземной сотовой связи 3-го поколения (новое название – IMT-2000).

**frame masking** – маскирование кадра. Процедура замены испорченного речевого кадра, т.е. кадра, в котором были обнаружены ошибки, на предыдущий кадр. При длительности кадра до 40 мс такие изменения практически незаметны для слушателя.

**frequency reuse distance** – расстояние повторного использования частот. Координационное рас-

стояние между двумя сотами, начиная с которого допускается повторное использование частот. Например, при числе повторно используемых частот  $K=7$  расстояние равно  $D=4,6 R$ , где  $R$  – радиус соты.

**fundamental channel** – основной канал. Канал в системах cdmaOne и cdma2000, который может адаптироваться под различные виды услуг и размеры кадра с использованием двух скоростных рядов: RS1 (1500, 2700, 4800 и 9600 бит/с) или RS2 (1800, 3600, 7200 и 14400 бит/с). Определение и выбор скорости на приеме осуществляется в автоматическом режиме по входному информационному сигналу.

## G

**GAA (GPRS Applications Alliance)** – Альянс по применению GPRS. Межотраслевое промышленное объединение, созданное в 1999 г. с целью содействия развитию GPRS и обеспечения координации работ по внедрению этой новой технологии в GSM.

**gateway** – шлюз. Аппаратно-программный комплекс, который обеспечивает межсетевое сопряжение, обычно в сетях с разнородной архитектурой, где используются различные протоколы и форматы сигналов. Шлюз, как правило, является элементом только одной сети, хотя и выполняет ряд специальных функций, обеспечивающих переход между разными сетями, например, между сетью сотовой связи и телефонной сетью общего пользования. В задачи межсетевого интерфейса также входит преобразование одного формата сигналов в другой, а также конвертирование протоколов разных сетей.

**go-ahead transmission** – эстафетная передача. Переключение мобильной станции с одной базовой станции на другую в процессе ее перемещения по сети.

**Gold sequence** – последовательность Голда. Псевдослучайная последовательность, образуемая путем сложения по модулю 2 двух псевдослучайных последовательностей.

**GPRS (General Packet Radio Service)** – общая служба пакетной радиопередачи. Название службы пакетной передачи, созданной в рамках

системы GSM. Протокол GPRS обеспечивает передачу информации со скоростью до 115 кбит/с.

**gross bit rate** – суммарная скорость. Выходная скорость канального кодера, превышающая исходную скорость речевого кодера на  $R$  дополнительных битов, используемых декодером для обнаружения и исправления ошибок.

## H

**handover gain** – выигрыш за счет хэндовера. Численно определяется как отношение числа удачных соединений к общему числу попыток их установления. Потери вследствие разрыва соединения из-за неудачного хэндовера определяются как вероятность того, что звонок будет прерван при переходе абонента из одной обслуживающей соты в другую.

**harmonized standards** – гармонизированные стандарты. Стандарты, которые разработаны различными организациями, но их спецификации разработаны таким образом, что они соответствуют друг другу по своим характеристикам, а реализованные на их основе устройства совместимы.

**ННО (Hard Handover)** – жесткий хэндовер. Процесс автоматической передачи управления от одной базовой станции к другой, сопровождающийся кратковременным прерыванием связи в момент переключения частоты, но без разрыва соединения. Обрыв и восстановление связи воспринимается абонентом как «щелчок» в телефонной трубке, хотя возможно и более длительное прерывание разговора, когда связь с одной базовой станцией прекратилась, а с другой еще не установлена.

**HLR (Home Location Register)** – основной регистр положения. База данных в системе мобильной связи, в которой хранятся справочные данные о постоянно зарегистрированных в сети абонентах: их адреса, информация об услугах и др. Фактически в HLR хранится та часть информации о местоположении, которая позволяет центру коммутации обеспечить маршрутизацию вызовов мобильным станциям от других абонентов. Данные, необходимые для отслеживания за перемещением мобильных станций, хранятся в регистре VLR.

**HPSK (Hybrid Phase-Shift Keying)** – гибридная фазовая манипуляция (известная также как OCQPSK)

**HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)** – высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов. Технология базируется на использовании существующих каналов GSM, в которых каналные интервалы объединяются в группы, что позволяет, например, увеличить скорость передачи до 19,2 кбит/с (2 канала по 9,6 кбит/с) или до 38,4 (4×9,6) кбит/с.

|

**idle handoff** – переключение в паузе. Процедура переключения мобильной станции с одной базовой станции на другую в момент отсутствия связи.

**IMBE (Improved Multi-Band Excitation)** – вокодер с улучшенным многополосным возбуждением (используется в системе APCO). Кадр, преобразуемый вокодером IMBE, имеет длительность 20 мс и содержит 88 битов речевой информации, что эквивалентно скорости 4,4 кбит/с. Средняя оценка качества 3,6 (по шкале MOS).

**implicit diversity** – неявное разнесение. Метод разнесения, при котором не требуется передача избыточных сигналов, как это необходимо при явном разнесении. Сигнал передается только один раз, однако за счет эффекта его декорреляции в канале с многолучевым распространением происходит разделение на несколько лучей. Примером неявного разнесения является RAKE приемник.

**IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000)** – название международной программы, проводимой под эгидой ИТУ (прежнее название – FPLMTS). В ее основе лежит концепция создания гармонизированного семейства стандартов, которое охватывает сотовую связь, беспроводный доступ и спутниковую связь [81].

**IMT-DS (IMT-2000 Direct Spread)** – стандарт на широкополосную систему с прямым расширением спектра (DS-CDMA) и частотным дуплексным разнесом (FDD) для применения в парных полосах частот (объединенное предложение WCDMA и UTRA FDD).

**IMT-FT (IMT-2000 Frequency Time)** – стандарт на микросотовую систему DECT с комбинированным частотно-временным дуплексным разнесом для применения, как в парных, так и непарных полосах частот (основан на проекте DECT EP).

**IMT-MC (IMT-2000 Multi Carrier)** – стандарт на многочастотную систему CDMA с одновременной передачей нескольких несущих и частотным дуплексным разнесом для применения в парных полосах частот (проект cdma2000).

**IMT-SC (IMT-2000 Single Carrier)** – стандарт на одночастотную систему TDMA для применения в парных полосах частот (проект UWC-136).

**IMT-TC (IMT-2000 Time-Code)** – стандарт на комбинированную систему TDMA/CDMA с временным дуплексным разнесом (TDD) для применения в непарных полосах частот (объединенное предложение UTRA TDD и SCDMA).

**IN (Intelligent Network)** – интеллектуальная сеть. Сеть с расширенными функциональными возможностями, которая представляет собой дальнейшее развитие ISDN за счет введения программируемой логики в различные элементы сети. Интеллектуальные сети позволяют создавать справочные службы, предоставляющие доступ к различным базам данных, а также услуги, которые создают крайне высокую нагрузку на относительно коротком интервале времени (например, телеголосование).

**intelligent platform** – интеллектуальная платформа. Программно-аппаратная интеллектуальная надстройка, обеспечивающая адаптацию оборудования к требованиям абонентов и расширение ассортимента предоставляемых услуг.

**intelligent terminal** – интеллектуальный терминал. Терминал с развитой логикой, который способен обеспечить подготовку, редактирование и обработку принятых сообщений. Загрузка программного обеспечения осуществляется через SIM карту или путем перепрограммирования по эфиру.

**interfrequency handoff** – межчастотный хэндовер. Автоматическое переключение частоты мобильной станции в процессе ее перемещения от одной базовой станции к другой.

**interleaving** – перемежение. Процесс перестановки символов в кодированной последовательности до модуляции, а также восстановление исходной последовательности после демодуляции. Перемежение позволяет разнести рядом стоящие символы и разделить их другими, передаваемыми в том же блоке данных. В каналах с замираниями операция перемежения позволяет декоррелировать пакеты ошибок, преобразуя их в



группу случайных (обычно одиночных) ошибок, которые эффективно исправляются, например, сверточным декодером. Операция перемежения не вносит избыточности, а только изменяет порядок следования символов, сохраняя неизменным их количество.

**ISDN (Integrated Services Digital Network)** – цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦИО). Концепция создания ISDN основана на использовании единого цифрового канала со скоростью 64 кбит/с, одних и тех же цифровых коммутаторов и цифровых трактов для передачи различных видов информации: речи, данных и др. В сети реализованы два вида абонентского доступа: базовый (2B+D) со скоростью 144 кбит/с и первичный (30B+D) со скоростью 2048 кбит/с.

**ITU (International Telecommunication Union)** – Международный союз электросвязи, МСЭ [82].

**ITU-R (International Telecommunication Union – Radio Sector)** – Международный союз электросвязи – сектор радиосвязи (МСЭ-Р). Сектор МСЭ-Р был образован в 1993 г. и является правопреемником Международного консультативного комитета по радиосвязи (МККР).

**ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector)** – Международный союз электросвязи – сектор стандартизации в области телекоммуникаций (МСЭ-Т). Сектор МСЭ-Т был образован в 1993 г. и является правопреемником Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии (МККТТ).

**IVR (Interactive Voice Response)** – интерактивный голосовой ответ. Ответное сообщение с автоответчика или других устройств, в которых реализованы функции голосового ответа.

**IWG (Interworking Gateway)** – шлюз для взаимодействия. Устройство межсетевое сопряжения или конвертор протоколов, обеспечивающий возможность организации роуминга между сетями с разными протоколами связи.

## J

**joint detection** (син. multiuser detection) – совместное детектирование. Метод обнаружения полезного сигнала, который основан на совместной

обработке кодовых последовательностей. Обычно применяется на базовой станции при идентификации сигналов от многих работающих станций. В отличие от обычного режима выделения одного сигнала при совместном детектировании не требуется точное вычисление взаимокорреляционных функций каждого из принимаемых сигналов. На мобильной станции также используются алгоритмы совместного детектирования и компенсации взаимных помех, но они значительно проще, т.к. осуществляют демодуляцию сигналов лишь от малого числа базовых станций.

**JTC (Joint Technical Committee)** – объединенный технический комитет. Орган стандартизации, который представляет интересы двух организаций: Международной организации по стандартизации (ISO) и Международного электротехнического комитета (IEC).

## L

**LAC (Link Access Control)** – управление доступом к каналу. Канальный подуровень, на котором обеспечивается организация прямых логических каналов между равноправными объектами сетевого уровня. На канальном уровне используется стек протоколов, позволяющий согласовать качество услуг, требуемое для каждого подуровня LAC.

**LCD (Long Constrained Data)** – данные с ограниченной задержкой. Данные, передаваемые в сетях с коммутацией каналов и ограниченной задержкой.

**LDD (Low Delay Data)** – данные с малой задержкой. Данные, передаваемые в сетях с коммутацией каналов, где недопустима длительная задержка.

**logical channel** – логический канал. Канал, который позволяют организовать взаимодействие между равноправными объектами разных сетевых уровней. Все логические каналы разделены на две группы: управления и трафика. Структура и выполняемые функции таких каналов определяются видом передаваемой информации.

**LPC (Linear Predictive Coding)** – кодирование с линейным предсказанием. Техника низкоскоростного кодирования и аналого-цифрового преобразования аналоговых сигналов (например, ре-

чи), которая основана на модели предсказания. В кодере LPC используется фильтр, параметры которого медленно изменяются во времени.

## М

**macrocell** – макросота. Зона покрытия сети сотовой связи, охватывающая территорию с радиусом от 1 км до 35 км. Она может перекрывать несколько микро и множество пикосот. В макросоте возможно поддерживать одновременно два или более параллельных соединений, обслуживающих один вызов.

**macrodiversity (macroscopic diversity)** – макро-разнесение, макроскопическое разнесение. Метод борьбы с замираниями, обусловленными затенениями сигналов, при котором информация передается по разным маршрутам, что позволяет обойти препятствия, расположенные внутри зоны. Приставка «макро» свидетельствует о том, что для обеспечения декорреляции необходимо осуществить разнесение радиосигналов на расстояние много больше длины волны. На практике это означает, что две или три базовых станции способны обеспечить лучшее качество связи в одной и той же зоне, которую ранее обслуживала одна традиционно расположенная в центре зоны станция.

**macros (macro messages)** – набор макросообщений. Набор заранее подготовленных коротких сообщений, обычно хранимых в памяти радиостанции.

**MAHO (Mobile Assisted Handover)** – полуавтоматический хэндовер. Метод автоматического переключения, при котором измерение уровня сигнала, выполняется на мобильной станции, которая высылает отчет о результатах измерения на базовую станцию.

**MC-CDMA (Multi Carrier CDMA)** – многочастотная CDMA. Комбинированный метод доступа с частотно-кодированным разделением каналов, при котором высокоскоростной поток данных разбивается на несколько низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на своей несущей с кодовым разделением каналов.

**MER (Message Error Rate)** – вероятность ошибки на сообщение. Отношение числа ошибочно принятых сообщений к их общему числу.

**messaging** – обмен сообщениями, передача сообщений. Метод передачи сообщений не в реальном времени с возможностью их накопления и хранения. В число технологий, относящихся к классу «messaging», входят: голосовая и электронная почта, факсимильные, телексы и любые виды короткие сообщений.

**microcell** – микросота. Зона покрытия в сети сотовой связи с малым радиусом действия – от 100 до 1000 м, характеризующаяся высокой пропускной способностью каналов.

**microdiversity (microscopic diversity)** – микро-разнесение, микроскопическое разнесение. Метод разнесения, основанный на использовании частотного, временного или микропространственного разнесения (на длину волны или меньше). Выигрыш от микро-разнесения зависит от метода обработки разнесенных сигналов. В настоящее время широко используются такие методы обработки, как прием с автовыбором, сложение по максимуму отношения сигнал/шум и применение RAKE приемников.

**midamble sequence** – обучающая последовательность. Последовательность, используемая для оценки характеристик канала распространения радиоволн. Символы обучающей последовательности обычно располагаются в середине кадра.

**MIL (Multi-Stage Interleaving)** – многошаговое перемежение. Метод перемежения символов, основанный на последовательном построчном (пошаговом) преобразовании исходной кодовой последовательности, записи ее в виде матрицы и последующем считывании по столбцам.

**MIN (Mobile Identification Number)** – идентификационный номер мобильной станции. Сетевой номер, по которому мобильная станция может быть однозначно идентифицирована в другой сети. Номер MIN обычно отличается от серийного номера (ESN), который присваивается заводом-изготовителем. Чтобы предотвратить несанкционированный доступ MIN и ESN могут контролироваться электронным способом.

**MM (Mobile Management)** – управление мобильностью. Процедура, связанная с регистрацией, аутентификацией и распределением сетевых ресурсов для мобильных станций. Управление мобильностью осуществляется на сетевом уровне.

**mobile IP** – мобильный IP. Протокол IP, разработанный для применения в системах мобильной

связи. В нем допускаются более длительные тайм-ауты и поддерживается режим переключения станций (хэндовер) без разрыва соединения.

**MOS (Mean Opinion Score)** – средняя экспертная оценка разборчивости речи. Метод субъективного тестирования качества речи, часто используемый для сравнения характеристик речевых кодеков, при котором слушатели выставляют оценки по пятибалльной шкале. Результирующая оценка MOS получается как среднее арифметическое для большого числа отсчетов.

**MSC (Mobile Switching Center)** – мобильный центр коммутации. Центр коммутации, который обеспечивает обслуживание мобильных абонентов в пределах определенной географической зоны, включающей несколько базовых станций. По выполняемым функциям MSC аналогичен коммутационной станции ISDN или станции сопряжения, так как фактически обеспечивает интерфейс между фиксированными и мобильными сетями. На MSC возлагаются также функции маршрутизации, переключения рабочих каналов в процессе перемещения абонента из соты в соту, а также постоянное слежение за мобильными станциями.

**multicasting** – мультивещание. Многоадресная передача данных нескольким выделенным адресатам. Термин «multicasting» не следует путать с «broadcasting» (широковещание), где пересылка информации идет ко всем работающим станциям одновременно.

**multicode transmission** – мультикодовая передача. Метод передачи высокоскоростной информации, при котором входной поток из  $N$  битов преобразуется в  $N$  параллельных низкоскоростных последовательностей, передаваемых с кодовым разделением каналов.

**multiuser detection (син. joint detection)** – многопользовательское детектирование. Метод совместного детектирования сигналов от многих работающих станций.

**multi-vendor equipment** – оборудование, собираемое из комплектующих различных поставщиков.

## N

**NBH (Network Busy Hour)** – час наибольшей сетевой нагрузки. Час наибольшей нагрузки (ЧНН), определяемый для полной сетевой конфигурации.

**N-ISDN (Narrowband ISDN)** – узкополосная цифровая сеть интегрального обслуживания, узкополосная ЦСНО. Сеть, построенная на основе цифровых каналов со скоростью передачи 64 кбит/с или 144 кбит/с (2B+D).

**NIST (National Institute of Standards and Technology)** – Национальный институт по стандартам и технологиям (бывший NBS). Правительственная организация США, отвечающая за разработку стандартов (в частности, NIST разработаны стандарты шифрования данных).

**NNI (Network-to-Network Interface)** – межсетевой интерфейс. Интерфейс, обеспечивающий взаимосвязь между различными типами магистральных базовых сетей. Реализация NNI обеспечивается с помощью стека протоколов, способных поддерживать глобальный роуминг независимо от типа базовой сети и схемы радиодоступа.

**NMC (Network management center)** – центр управления сетью. Центральный элемент сети связи, ответственный за управление трафиком и обеспечение нормального функционирования на сетевом уровне.

**NTIA (National Telecommunications and Information Administration)** – Национальная администрация по информатике и телекоммуникациям (США).

## O

**ODMA (Opportunity Driven Multiple Access)** – многостанционный доступ с управляемыми возможностями. Технология, базирующаяся на CDMA/TDMA (бывшая концепция  $\epsilon$ ), предложенная ETSI в 1997 г. Протокол ODMA обеспечивает возможность прямой ретрансляции данных между мобильными станциями.

**omnicell** – всенаправленная сота. Зона обслуживания одной базовой станции с всенаправленной антенной.

**open standard** – открытый стандарт. Стандарт, использующий общепринятые интерфейсы и протоколы, обеспечивающий совместимость оборудования разных производителей и сетей различных телекоммуникационных компаний.

**open system** – открытая система. Система, составные элементы которой удовлетворяют тре-

бованиям открытых стандартов, а ее архитектура является наращиваемой.

**OQPSK (Offset Quadrature Phase-Shift Keying)** – квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом. Метод квадратурной манипуляции, при котором вводится временной сдвиг на  $T/2$  ( $T$  – длительность символа) между сигналами в синфазном и квадратурном каналах, вследствие чего фаза манипулированного сигнала изменяется с шагом  $\pm \pi/2$ . Применение OQPSK позволяет снизить требования к линейности усилителя мощности передатчика и сгладить провалы огибающей радиосигнала.

**OSI (Open System Interconnection)** – взаимодействие открытых систем (ВОС). Концептуальная основа, определяющая характеристики и свойства систем на основе семиуровневой модели протоколов передачи данных в открытых системах, предложенной ISO.

**OTAR (Over The Air Reprogramming)** – перепрограммирование по эфиру. Процедура обновления старых версий программного обеспечения или изменения параметров настройки приемников и передатчиков по радиоканалу.

**OTD (Orthogonal Transmit Diversity)** – ортогональное разнесение на передаче. Метод разнесения, основанный на разделении исходной последовательности на два или более потоков данных, с последующей передачей каждого из них либо на своей поднесущей частоте (FDMA), либо с использованием ортогональных кодовых последовательностей (CDMA).

**OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor codes)** – ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения. Ансамбль кодов с переменной длиной, определяемой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды генерируются на основе кодового дерева, каждый последующий уровень которого удваивает число возможных кодовых комбинаций.

## Р

**paired bands** – парная полоса частот. Совместно используемые две полосы частот с защитным промежутком между ними, одна из которых выделена на прием, а вторая – на передачу. Парная полоса частот обычно используется в системах, работающих с частотным дуплексным разносом (FDD).

**pedestrian user** – абонент-пешеход. В наземных сотовых сетях 3-го поколения все абоненты условно разделены на 3 категории (ITU-R M.1225): высокоподвижные (vehicular), малоподвижные (pedestrian) и стационарные (fixed). К категории малоподвижных объектов относятся абоненты-пешеходы, скорость передвижения которых принята равной 3 км/час, а скорость передачи информации – до 384 кбит/с.

**Perch channel** – Perch канал. Маркерный канал, который аналогичен по своему назначению каналу передачи пилот-сигнала, но с расширенными функциональными возможностями. По нему передаются пилот-сигнал, абонентские данные и ортогональные кодовые последовательности Голда. Используется в проекте стандарта WCDMA (ARIB, Япония).

**physical layer (PhL)** – физический уровень. Самый нижний уровень системного протокола, который ответственен за передачу и прием данных по радиоканалу. На физическом уровне реализуются функции, связанные с модуляцией/демодуляцией сигналов, переключением режимов приема/передачи, смесной частоты, управлением мощностью передатчика, установлением тактовой синхронизации.

**picocell** – пикосота. Сота с очень малыми размерами (обычно меньше 100 м).

**pilot channel** – канал пилот-сигнала. Канал, по которому передается немодулированный сигнал, используемый мобильными станциями при установлении синхронизации и обеспечении хэндовера.

**POTS (Plain Old Telephone Service)** – обычная телефонная служба. Традиционная телефонная сеть, построенная на принципах коммутации каналов и предоставляющая услуги междугородной и международной связи.

**prescribed data** – данные с заданным форматом. Типовые сообщения фиксированной длины, хранящиеся в памяти радиостанции и обычно используемые при установлении связи. К числу таких данных относятся статусные сообщения и др.

**pseudo (PN) offset** – псевдосдвиг. Циклический сдвиг между кодовыми последовательностями разных базовых станций, обеспечивающий возможность разделения станций, с одной и той же псевдослучайной последовательностью.

**PCN (Paging Channel)** – 1. пейджинговый канал. Широковещательный канал, предназначенный для передачи коротких сообщений в сетях общего пользования. Прием пейджинговых сообщений осуществляется с помощью приемников с фиксированной настройкой частоты (пейджеров) 2. вызывной канал. Канал для передачи вызывных сигналов от базовой станции к мобильным, по которому могут также передаваться короткие телеграммы. Для организации оповещения о вызове требуется полный охват географической зоны.

**PSTN (Public Switched Telephone Network)** – коммутируемая телефонная сеть общего пользования, ТфОП. Традиционная сеть проводной телефонной связи, в США известная как Bell System.

**puncturing** – «выкалывание», исключение. Метод прореживания потока данных путем периодического исключения из него части битов с целью согласования скорости суммарного кодированного потока с фиксированной скоростью передачи информации в радиоканале.

**PVC (permanent virtual circuit)** – постоянный виртуальный канал, ПВК. Логическое соединение, которое организуется по выделенному каналу и не требует установления соединения на сетевом уровне. Выделенный канал с нужными параметрами, настраивается администратором сети один раз, и в процессе ведения связи такое соединение не может быть разорвано. Каналы PVC практически не требуют обслуживания, однако их применение приводит к снижению пропускной способности сети.

## Q

**QOQAM (Quaternary Offset Quadrature Amplitude Modulation)** – квадратурная амплитудная модуляция с четверичным смещением. Метод модуляции с повышенной спектральной эффективностью и относительно небольшим диапазоном изменения огибающей по сравнению с обычной квадратурной амплитудной модуляцией QAM. Он предъявляет менее жесткие требования к линейности усилителей мощности передатчиков.

**QoS (Quality of Service)** – показатель качества обслуживания. Гарантированный показатель качества, определяющий тип трафика и его основ-

ные вероятностно-временные характеристики: допустимую задержку в обслуживании, достоверность передачи информации, вероятность отказа в обслуживании и др.

**quadrature multiplexing** – квадратурное мультиплексирование. Метод уплотнения двух каналов на одной несущей с использованием синфазного и квадратурного опорных сигналов.

## R

**RACH (Random Access Channel)** – канал произвольного доступа. Канал управления в линии «вверх», используемый мобильной станцией для передачи запросов о предоставлении каналов и других видов коротких сообщений.

**raised cosine spectrum** – спектр типа «приподнятый косинус». Спектр с огибающей, которая спадает к нулю в соответствии с законом приподнятого косинуса.

**RAKE receiver** – RAKE приемник. Приемник, используемый для выделения сигналов с расширенным спектром в каналах с многолучевым распространением радиоволн. Принцип действия приемника основан на независимом выделении энергии каждого из лучей с последующим сложением сигналов всех лучей с весовыми коэффициентами.

**roamer** – роумер. Мобильная станция, которая приписана к одной системе или сети связи, но временно работающая в другой. При переходе из соты в соту мобильная станция проходит регистрацию и временно становится абонентом новой сети. Данные регистрации мобильной станции временно хранятся в регистре VLR.

**RTT (Radio Transmission Technology)** – технология радиодоступа. Совокупность аппаратных и программных средств, протоколов организации связи, методов модуляции, кодирования и шифрования, определяющих способ передачи информации по радиоканалам.

## S

**SACCH (Slow Associated Control Channel)** – низкоскоростной совмещенный канал управле-

ния. Двусторонний канал, обычно используемый для управления мощностью. По нему с базовой станции передаются команды изменения уровня выходной мощности передатчика, а в обратном направлении – данные измерений уровня входного сигнала приемника.

**SCH (Synchronization Channel)** – синхронизирующий канал, синхроканал. Канал, создаваемый в линии «вниз» и используемый для поиска сот. В системе WCDMA используются два вида синхронизирующих каналов: первичный и вторичный SCH. По первичному синхроканалу передается немодулированный код Голда длиной 256 битов, а по вторичному SCH – 16 периодически повторяющихся последовательностей, выбираемых из 17 различных кодов Голда.

**scrambling** – скремблирование. Преобразование входного потока данных в выходной путем его побитового сложения по модулю 2 с опорной псевдослучайной последовательностью.

**SDCCN (Stand-alone Dedicated Control Channel)** – автономный выделенный канал управления. Канал двусторонней связи между базовой и мобильной станциями, обычно используемый для предоставления специальных видов услуг.

**seamless interface** – прозрачный интерфейс. Интерфейс, не требующий изменения передаваемых через него характеристик сигналов и структуры данных.

**selective transmit diversity (STD)** – разнесение на передаче с автовыбором каналов. Метод разнесения с использованием нескольких антенн, при котором с помощью быстродействующего замкнутого контура управления осуществляется измерение уровня принимаемого пилот-сигнала в каждой из антенн в режиме временного разделения и выбор пути распространения, обеспечивающего наилучшие условия приема.

**service access point (SAP)** – точка доступа к услугам. Точка, в которой предоставляются услуги для следующего вышестоящего уровня.

**SFH (Slow Frequency Hopping)** – медленное скачкообразное изменение частоты. Метод псевдослучайной перестройки частоты, при котором период смены частоты выбирается всегда больше, чем длительность временного интервала, занимаемого одним информационным символом. Вследствие этого на интервале одной частотной позиции всегда передается более, чем один ин-

формационный символ. Данный метод защиты от помех наиболее эффективен при малой скорости перемещения мобильных станций.

**SHO (Soft Handoff)** – мягкий хэндовер. Метод автоматического переключения мобильного абонента с одной базовой станции на другую в процессе его перемещения по сети без разрыва соединения и потери информации. Процедура SHO реализуется за счет одновременной работы абонента более, чем с одной базовой станцией. Такой режим работы обычно продолжается до тех пор, пока абонент не покинет старую базовую станцию.

**slot** – временной интервал; канальный интервал (КИ). Часть TDMA кадра, обычно содержащая синхропакет, служебные символы и один или несколько пакетов полезной информации, между которыми может передаваться обучающая последовательность (midamble sequence).

**smart antenna** – интеллектуальная антенна. Следящая антенна с программным управлением диаграммы направленности, позволяющая улучшить качество связи или увеличить пропускную способность.

**SNR (Signal-to-Noise Ratio)** – отношение сигнал/шум. Безразмерная величина, равная отношению энергии сигнала на бит к спектральной плотности шума. Обычно выражается в децибелах.

**software radio** – радиостанция с программным управлением. Радиостанция, в которой загрузка программного обеспечения осуществляется через SIM карту или путем перепрограммирования по эфиру.

**spread spectrum** – расширенный спектр. Спектр передаваемого сигнала, ширина полосы частот которого во много раз шире, чем полоса исходного информационного сигнала.

**stealing channel** – заимствованный (захваченный) канал. Совмещенный с информационным канал управления, который формируется путем замены небольшой части информационных символов на команды управления и служебные символы. В случае использования помехозащищенных методов кодирования «выбивание» информационных символов не приводит к искажениям полезного сигнала.

**store-and-forward mode** – режим коммутации с буферизацией. Метод коммутации, при котором

входной пакет декодируется целиком, производится обнаружение ошибок (например, по контрольной сумме), и если пакет не содержит ошибок, то он передается на выходной порт коммутационной станции или маршрутизатора. Такой метод обеспечивает хорошую фильтрацию пакетов с ошибками, но обеспечивает меньшую пропускную способность, чем, например, в транзитном режиме коммутации.

**supplemental channel** – дополнительный канал. Канал в системах cdmaOne или cdma2000, который может адаптироваться под различные виды услуг и размеры кадра с использованием двух скоростных рядов: RS1 и RS2. Определение скорости на приеме осуществляется в автоматическом режиме по входному информационному сигналу.

**SVC (Switched Virtual Circuit)** – коммутируемый виртуальный канал. Тип логического соединения, устанавливаемый только на ограниченное время по запросу со стороны вызывающего абонента, т.е. фактически на время передачи пакетов или ретрансляции кадров. После окончания информационного обмена канал сразу же «закрывается».

## Т

**TCH (Traffic Channel)** – канал трафика. Выделенный логический канал, по которому передается полезная информация.

**TD-CDMA (Time Division CDMA)** – многостанционный доступ с кодово-временным разделением каналов. Комбинация методов разделения каналов, при которых кадр TDMA разбивается на небольшое число канальных интервалов, в каждом из которых обеспечивается режим кодового разделения каналов.

**TDD (Time Division Duplex)** – временной дуплексный разнос; дуплексная передача с временным разделением каналов. Метод обмена информацией по одной линии связи с уплотнением каналов приема и передачи в разных временных интервалах одного кадра. Режим TDD обычно предназначен для применения в микро- и микросотах, где абоненты передвигаются с невысокой скоростью в ограниченном пространстве.

**TDMA 1. (Time Division Multiple Access)** – многостанционный доступ с временным разделением

каналов. Метод доступа, при котором все абоненты передают свои сообщения на одной несущей частоте, но поочередно и в разные интервалы времени. Каждому абоненту выделяется один или несколько временных (канальных) интервалов, в течение которых ему разрешается передавать информацию. 2. Аббревиатура, которая используется для обозначения системы связи, разработанной на базе стандарта IS-136 (прежнее название D-AMPS).

**TDR (Transaction Detail Records)** – подробная запись транзакции. Метод регистрации текущего вызова с подробной записью всех регистрируемых параметров.

**TD-SCDMA (Time-Division Synchronous CDMA)** – название китайского проекта системы 3-го поколения (3G), разработанного на основе метода многостанционного доступа с синхронным кодовым разделением каналов.

**telemedicine** – телемедицина. Вид услуг, при котором может быть обеспечен интерактивный обмен с удаленным абонентом (передача текстовых файлов, кардиограмм, рентгеновских снимков и др.). Первичный съем данных о состоянии больного и консультациях с врачом осуществляется со скоростью от 128 до 384 кбит/с. Более высококачественные изображения передаются со скоростью от 1,544 до 50 Мбит/с.

**TIA (Telecommunications Industry Association)** – Ассоциация телекоммуникационной промышленности (США).

**transcoder (XCDR)** – транскодер. Устройство, преобразующее цифровые потоки речевых сигналов из одного цифрового формата в другой. Например, преобразование цифрового речевого потока со скоростью 64 кбит/с (PCM) в низкоскоростной речевой поток со скоростью 4,5 кбит/с (ACELP) и 8 кбит/с (VSELP).

**transparency** – прозрачность. Свойство канала передачи данных сохранять неизменной структуру передаваемой последовательности

**transport channel** – транспортный канал. Канал, предоставляющий услуги физического уровня для более высоких уровней. В зависимости от назначения транспортные каналы подразделяются на общие и выделенные.

**TTA (Telecommunication Technology Association)** – Ассоциация телекоммуникационных технологий (Ю.Корея).

**TTC (Telecommunication Technology Committee)** – Комитет телекоммуникационных технологий (Япония).

**turnkey system** – система, сдаваемая «под ключ». Полностью укомплектованная система, пригодная к эксплуатации без каких-либо доработок или доводочных испытаний.

**type approval** – одобрение типа. Сертификат, выданный разработчику на весь класс оборудования, которое может изготавливаться независимыми производителями в соответствии с техническими спецификациями организации разработчика. Модель оборудования, получившая сертификат «одобрение типа», не требует получения индивидуального сертификата.

## U

**UDD (Unconstrained Delay Data)** – данные с неограниченной задержкой. Вид услуг, который характеризует трафик сетей с коммутацией пакетов (рекомендация ITU-R M.1225 для систем 3-го поколения).

**UEP (Unequal Error Protection)** – неравномерная защита от ошибок. Метод защиты от ошибок обычно речевого потока, который разбивается на пакеты, каждый из которых имеет разную степень защиты от помех. Самая высокая помехозащищенность обеспечивается для данных, отнесенных к первому классу (обычно класс 1a). В этих данных содержится наиболее значащая информация, ошибки в которой могут привести к резкому снижению разборчивости речи. Что же касается менее значащей информации (класс 2), то она, как правило, передается вообще без кодирования.

**UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** – универсальная мобильная телекоммуникационная система. Европейская концепция создания систем 3-го поколения, которая во многих чертах сходна с IMT-2000, однако с точки зрения реализации имеет ряд преимуществ. Предлагаемые в UMTS технические решения апробированы в ряде НИР/ОКР, проводимых с привлечением таких крупных фирм-производителей, как Alcatel, Ericsson, Nokia Siemens и др.

**uniform-coverage cell** – сота с равномерным покрытием. Соты, не содержащая участков с малым уровнем сигнала или областей тени.

**unified messaging** – унифицированный обмен сообщениями. Метод передачи сообщений различного вида (факс, электронные письма и голосовые сообщения), позволяющий их обрабатывать одинаковым образом и хранить в едином почтовом ящике пользователя.

**unpaired bands** – непарная полоса частот. Общая полоса частот, в которой средства радиосвязи работают как на прием, так и на передачу. Непарная полоса частот выделяется для систем, работающих с временным дуплексным разносом (режим TDD).

**UPT (Universal Personal Telecommunications)** – универсальная персональная связь. Технология, которая основана на предоставлении абоненту единого номера вне зависимости от его местонахождения и используемой сетевой инфраструктуры.

**user transparency** – прозрачность на уровне абонентов. Возможность подключения абонентов к сети, независимо от их местоположения и используемой топологии сети.

**UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)** – проект стандарта радиointерфейса, обеспечивающего наземный радиодоступ в систему UMTS, разработанный рабочей группой SMG2 ETSI.

**UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)** – наземная сеть радиодоступа, построенная на базе радиointерфейса UTRA.

**UWC-136** – стандарт, базирующийся на технологии TDMA, который разработал UWCC и подкомитетом TIA TR45.3 (США).

**UWCC (Universal Wireless Communications Consortium)** – Всемирный консорциум по беспроводной связи (США), в число членов которых входят более 20 международных компаний, в частности, AT&T Wireless, Bell South Cellular, Nokia и Ericsson [92].

## V

**VAD (Voice Activity Detection)** – детектор активности речи. Устройство анализа спектральных характеристик речи и шума, обнаружения и



выделения интервалов речи с шумом или шума без речи. Используется для отключения передатчика в паузах или после окончания разговора.

**vehicular user** – мобильный абонент. В наземных сотовых сетях 3-го поколения все абоненты условно разделены на 3 категории (ITU-R M.1225): высокоподвижные (vehicular), малоподвижные (pedestrian) и стационарные (fixed). К категории высокоподвижных объектов относятся транспортные средства со скоростью передвижения от 12 км/час до 120 км/час и скоростью передачи информации – до 144 кбит/с.

**VNE (Virtual Home Environment)** – виртуальная домашняя среда. Технология предоставления абоненту прозрачного доступа к телекоммуникационным услугам, профиль которых адаптирован под его конкретные требования и не зависит от среды обслуживания, технологий радиодоступа и сетевых стандартов. Одно из важных свойств VNE – переносимость услуг через границы мобильных и стационарных сетей, в том числе с одного типа терминала на другой, без потери качества связи. Реализация этой процедуры в реальном времени позволяет создать эффект «присутствия» для абонента, находящегося на большом удалении от места событий, фактически создавая эффект ощущения унифицированной (домашней) среды.

**Viterbi algorithm** – алгоритм Витерби. Алгоритм декодирования по отношению максимального правдоподобия для решетчатых кодов, при котором отбрасываются маловероятные пути в каждом состоянии решетчатого кода, и за счет этого уменьшается общее число рассматриваемых путей.

**VLR (Visitors Location Register)** – визитный регистр положения. Сетевая база данных, в которой хранятся сведения о перемещениях абонентов. Накопленная информация хранится временно, только до тех пор, пока абонент находится в его контролируемой зоне.

## W

**WAP (Wireless Applications Protocol)** – протокол беспроводных приложений. Стандартный протокол, обеспечивающий интерактивный радиодоступ в сеть Internet с мобильного терминала.

**WCDMA (wideband code division multiple access)** – 1. Широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов. Общее название высокоскоростной технологии многостанционного доступа, основанной на использовании сигналов с расширенным спектром (DS-SSMA) 2. Название проекта системы 3-го поколения с чиповой скоростью 3,84 Мбит/с (базовый вариант), предложенного ARIB (Япония) и ETSI (Европа).

**WIMS (Wireless Multimedia and Messaging Services)** – 1. Беспроводная служба передачи сообщений и мультимедиа (США). 2. Проект стандарта системы 3-го поколения WCDMA, подготовленный подкомитетом TR-46.1 (США).

**WPBX (Wireless Private Branch Exchange)** – учрежденческая беспроводная АТС. Оборудование, которое позволяет служащим офиса или абонентам сети с ограниченным радиусом действия использовать беспроводные телефоны для подключения к сети общего пользования.

**WRC (World Radio Conference)** – Всемирная радиоконференция. Высший орган МСЭ для обсуждения и принятия решений по распределению спектра частот. Прежнее название (WARC) – Всемирная административная радиоконференция.

## Z

**zero-knowledge protocol** – протокол с нулевым знанием. Метод защиты от несанкционированного использования программы, основное назначение которого воспрепятствовать накоплению новых машинных знаний, кроме информации, содержащейся в запросе.

## РУССКИЕ СОКРАЩЕНИЯ

БС	базовая станция
ВОС	взаимодействие открытых систем
ГКРЧ	Государственная комиссия по радиочастотам
ГСО	геостационарная орбита
дБи (dBi)	децибелы, отсчитываемые относительно изотропного излучателя
дБм (dBm)	децибел-милливатт (единица измерения мощности, отсчитываемая относительно 1 мВт)
ЗС	земная станция
КА	космический аппарат
КИ	канальный интервал
МС	мобильная станция
МСЭ	Международный союз электросвязи
НГСО	негеостационарная орбита
ОК	обратный канал
ПК	прямой канал
ПС	пилот-сигнал
ПСП	псевдослучайная последовательность
РРЛ	радиорелейная линия
РРС	радиорелейная станция
РЭС	радиоэлектронное средство
СПСС	система подвижной сотовой связи
ТфОП	телефонная сеть общего пользования
УАТС	учрежденческая автоматизированная телефонная станция
ЧНН	час наибольшей нагрузки
ШПС	шумоподобный сигнал
ЭИИМ	эквивалентная изотропно излучаемая мощность
ЭМС	электромагнитная совместимость

## Литература

1. «Mobile Communications Handbook». Под ред. J. Gibson, CRC Press in cooperation with IEEE Press, США, 1996.
2. Boucher N.J. «The Cellular Radio Handbook: a Reference for Cellular System Operation», Third Edition. Mill Valley, CA: Quantum Publishing Inc., 1995.
3. «Концепция развития в России до 2010 года сухопутной подвижной связи общего пользования». Вестник связи, 1994, № 4, с.17.
4. Варакин Л.Е., Анфилофьев С.А. «Технология CDMA в современных системах радиосвязи». Труды конференции «CDMA-800 в России», Кипр, Ноябрь 1998, с.3.
5. Васкес С. «Цифровая связь в диапазоне 400 МГц», NMT Customer Seminar, Ericsson, 1999, 12-14 декабря.
6. Громаков Ю. А. «Стандарты и системы подвижной радиосвязи». Мобильные телесистемы – Эко-Трендз, М., 1997.
7. Viterbi A.J. «CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication», Addison-Wesley, 1995.
8. Овчинников А.М., Воробьев С.В., Сергеев С.И. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи, М., МЦНТИ, 2000.
9. Невдяев Л.М., Смирнов А.А. «Персональная спутниковая связь». Эко-Трендз, М., 1998.
10. Горностаев Ю.М., Невдяев Л.М. «Новые стандарты широкополосной радиосвязи на базе технологий WCDMA», М., МЦНТИ, 1999.
11. Калиновска Б., Памухин Ю. «Особенности и технические возможности оборудования фирмы Motorola для созданий сетей CDMA в диапазоне 800 МГц. Труды конференции «CDMA-800 в России», Кипр, Лимассол, ноябрь 1998, с.56.
12. IMT-2000. «Report ITU-R Task Group 8/1, Jersey», 9-20 November 1998.
13. Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for FPLMTS, ITU TG8/1, April 1996.
14. Невдяев Л. «Долг путь к единому стандарту», Сети, 2000, №1, с.39.
15. «The Future Mobile Market». UMTS Forum, report 8, 1999.
16. Mohr W. «Impact of the ACTS Frames Project on the International Standardization of the UMTS Radio Interface». 5-й Бизнес-Форум «Мобильные системы-2000», 20-24 марта, М., 2000, т.2, с.48.
17. Громаков Ю.А. «3-е поколение – динамика развития». Мобильные системы, 2000 №3, с.4.
18. Горностаев Ю.М. «Перспективные рынки мобильной связи». М., МЦНТИ, 2000.
19. «Minimum spectrum demand per public terrestrial UMTS operator in the initial phase». UMTS Forum, 1998, report № 5.
20. Shneyderman A. «IP Based Mobile Networks, Architecture and Implementation». 5-й Бизнес-Форум «Мобильные системы-2000», 20-24 марта, М., 2000, т.2, с.38.
21. Peters M. et al. «The Virtual Environment (VNE) – Basic Concepts and Principals». 4<sup>th</sup> ACTS Mobile Communications Summit, Sorrento, Italy, June 10-12, 1999, p.213.
22. Ставчий Я. «UMTS – Комплексное решение компании Motorola». UMTS в России, Мальта, Сентябрь 1999, с.51.
23. Невдяев Л.М. «Смена поколений на рубеже веков. И опять за рубежами России». ИнформКурьер-Связь, 1999, №5, стр.19.
24. Гусельников А.В., Кудин Л.В., Пестов С.И. «Перспективы развития систем подвижной связи IMT-2000 в России». UMTS в России, Мальта, Сентябрь 1999, с.36.

25. Трофимов Ю.К. «Результаты деятельности целевой группы ЦГ 8/1 сектора радиосвязи МСЭ по разработке стандартов для систем подвижной 3-го поколения». Мобильные системы, 2000 №3, с.41.
26. «Использование радиочастотного спектра и развитие в России сетей подвижной связи 3-го поколения». Под. ред. Зубарева Ю.Б., Быковского М.А., М., МЦНТИ, 2000, 80 стр.
27. Волкова Ю.В. «Где взять частоты для IMT-2000». 5-й Бизнес-Форум «Мобильные системы-2000», 20-24 марта, М., 2000, т.2, с.9.
28. Быховский М.А. «Экономические и технические аспекты внедрения систем подвижной связи 3-го поколения в России». «UMTS в России», Мальта, Сентябрь 1999, с.95.
29. Логинов Н.А., Александров В.В. «На пути конверсии радиочастотного спектра». Технологии и средства связи, 1999, №1, с.6.
30. «Report on Radio Spectrum. UMTS Forum», 1998, report № 6.
31. «Minimum Spectrum Demand per Public Terrestrial UMTS Operator in Initial Phase», UMTS Forum, 1998, report № 5.
32. Сергиенко А.Э. «Использование радиочастотного спектра для систем третьего поколения UMTS». 5-й Бизнес-Форум «Мобильные системы-2000», 20-24 марта, М., 2000, т.1, с.41.
33. «Сенсационное соглашение Ericsson и Qualcomm». Мобильные телекоммуникации, 1999, №1, с.12.
34. Anderson P-O. «Frames contribution to UMTS». Proceedings of Frames Workshop, January 18-19, 1999, p.2.
35. Горностасв Ю.М. «Мобильные системы 3-го поколения». М., МЦИИИ, 1998.
36. Berruto E. и др. «Research Activities on UMTS Radio Interface – Network Architecture and Planning», IEEE Communication Magazine, 1998, v.36, №2, p.82.
37. «The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R Candidate Submission», ETSI, June 1998.
38. «A Guide to DECT Services, Features and Standards». ETSI EP DECT and STF10, June 17, 1998.
39. «Updated UWC-136 RTT», TTA Technical Sub-Committee TR45.3, USA, September 28, 1998.
40. «cdma2000 ITU-R RTT Candidate Submission». TTA, June 2, 1998
41. «Wireless/Mobile Services and Systems Technical Submission». TTP1 Proposal, USA, June 12, 1998.
42. «WCDMA: Japan's Proposal for Candidate Radio Transmission Technology on IMT-2000», Japan, ARIB, June 26, 1998.
43. «Global CDMA I: Multiband Direct-Sequence CDMA RTT System Description». TTA, Korea, June 17, 1998.
44. «Global CDMA II for IMT-2000 Requirement and Objectives Compliance Template», TTA, Korea, June 17, 1998.
45. Viterbi A.J. «CDMA: Past, Present and Future», CDG Home Page, October 14, 1997.
46. Nilsson M. Third-Generation Radio Access Standards. Ericsson Review, 1999, № 3, p.110.
47. Chaudhury P., Mohr W., Onoe S. «The 3GPP Proposal for IMT-2000». IEEE Communications Magazine, v.37, № 12, December 1999, pp.72.
48. Дэниелс Г. «TDMA устремляется в будущее на крыльях EDGE». Мобильные телекоммуникации, 2000, № 3, с.22.
49. «Wideband CDMA Option for Satellite Component of IMT-2000». ESA Proposal of a Candidate RTT, June 27, 1998.
50. «Wideband Hybrid CDMA/TDMA Option for the Satellite Component of IMT-2000», ESA Proposal of a Candidate RTT, June 29, 1998.
51. «TTA: ITU-R RTT Candidate Submission of Satellite Component». June 25, 1998.

52. ICO Global Communications. «Submission of Candidate Satellite Radio Transmission Technology for IMT-2000 Radio Interface», June 1998.
53. Inmarsat Horizons: «IMT-2000 Radio Transmission Technology Outline Description». November 2, 1998.
54. Proceeding of the ACTS Mobile Telecommunications Summit, Granada, November 27-29, 1996.
55. Ирфорс Х. Беспроводные системы 3-го поколения: что это означает для основных сетей стандарта GSM, Мобильные системы, 1999, 6, с.37.
56. Эланская Ю. «Миграция существующих технологий к системам 3-го поколения». Мобильные системы, 1999, № 7, с.27.
57. Громаков Ю.А. «Пути эволюционного перехода от сетей связи второго поколения к сетям третьего поколения». UMTS в России, Мальта, Сентябрь 1999, с.9.
58. Granbohm H., Wiklund J. «GPRS – General Packet Radio Service». Ericsson Review, 1999, № 2, p.12.
59. Steinbugl J. «Evolution Toward Third Generation Wireless Networks». November 1999, <http://www.cis.ohio-state.edu>.
60. Ollerenshaw T. «Strategies for Identifying High-value GPRS Applications». GPRS Conference, May 17-19, 1999.
61. Napolitano A., Panaioli F. «Evolution of the GSM Platform». International Conference on Universal Personal Communications, Florence, Italy, October, 1998.
62. Шютт Й. «От GSM к системе 3-го поколения UMTS. Перспективы создания в России сетей подвижной связи 3-го поколения». Труды конференции UMTS в России, Мальта, 1999, с.41.
63. Шляконов А. и др. «EDGE – Эволюция системы улучшенной передачи данных для GSM и IS-136». Мобильные системы, 1999, № 7, с.16.
64. Furuskar A., Naslund J., Olofsson H. «EDGE – Enhanced Data Rates for GSM and TDMA/136 Evolution». Ericsson Review, 1999, № 1, p.28.
65. Pirhonen R., Rautava T., Penttinen J. «TDMA Convergence for Packet Data Services», IEEE Personal Communications, June 1999, p. 68.
66. Dahlin S., Ormluf E. «Network Evolution the Ericsson Way». Ericsson Review, 1999, № 4, p.174.
67. Невдяев Л. «Сравнительные характеристики схем кодирования для GPRS, EDGE и IS-136HS». Мобильные телекоммуникации, 2000, №1, с.32.
68. Хибберд М. «Как научить собаку старым трюкам». Мобильные коммуникации, 1999, №3, стр.38.
69. Коломенский К.Ю. «Предпосылки и перспективы цифровизации стандарта NM1-450». Мобильные системы, 1999, №10, стр.37.
70. «Evaluation Report for cdma2000», Proposed by TTA TR-45.5. Japan, ARIB, September 30, 1998.
71. «Network Reference Model for cdma2000, Spread Spectrum Systems». 3GPP2, December 13, 1999.
72. Борисов В.И., Гармонов А.В., Савинков А.Ю. «Сравнительный анализ радиointерфейсов систем подвижной связи 3-го поколения». Мобильные системы, 1999, 7, с.21.
73. Невдяев Л. «CDMA: Архитектура радиointерфейса». Сети, 2000, №1, с.34.
74. Eldstahl J, Nasman A. «WCDMA Evaluation System – Evaluating the Radio Access Technology of Third-Generation Systems». Ericsson Review, 1999, № 2, p.56.
75. Dahlmash E. et al. «UMTS/IMT-2000 Based on Wideband CDMA», IEEE Communications Magazine, September 1998, p.70.
76. Garg V.K. et al. «Applications of CDMA in Wireless. Personal Communications. Digital and Wireless Communication Series». Prentice Hall, 1997.
77. Glisic S., Vucetic B. «Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications». Mobile Communications Series. Artech House, 1997.

78. Yang S.C. «CDMA RF System Engineering». Artech House Mobile Communications Library. 1998
79. Kalliojarvi K., Nikula E. «Physical Layer of UTRA FDD mode – WCDMA». Frames Workshop, Delft University of Technology, Netherlands, January 18 и 19, 1999, p.9.
80. Schindler J. et al. «TDD Performance Evaluation». The First International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Yokosuka, Japan, November, 1998, p.52.
81. Материалы сервера IMT-2000 – <http://www.imt-2000>.
82. Материалы ITU – <http://www.itu.ch>.
83. Материалы ETSI – <http://www.etsi.org>.
84. Материалы Партнерского объединения 3GPP – <http://www.3gpp.org>
85. Материалы Партнерского объединения 3GPP2 <http://www.3gpp2.org>
86. Материалы Комитета по разработке стандартов T1P1 (США) – <http://www.t1.org/t1p1>.
87. Материалы организации ARIB (Япония) – <http://www.arib.or.jp>.
88. Материалы Комитета по технологиям связи TTC (Япония) – <http://www.uwcc.org>.
89. Материалы Ассоциации TTA (Ю.Корея) – <http://www.tta.or.kr>, [www.wireless.kotel.co.kr](http://www.wireless.kotel.co.kr).
90. Материалы организации по стандартизации CWTS (Китай). <http://www.cwts.org/tdd>.
91. Материалы Ассоциации TIA (США) – <http://www.tiaonline.org/standards>.
92. Материалы Консорциума UWCC (шт. Вашингтон, США) – <http://www.uwcc.org>.
93. Материалы Ассоциации CDG (США) – CDMA Group – <http://www.cdg.org>.
94. Материалы сервера UMTS Forum – <http://www.umts-forum.org>.

ЛР № 065980 от 29.06.98

Подписано в печать с оригинал-макета 06.03.2000.

Формат 70×100/16. Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Таймс».

офсетная. Усл. печ. л. 13. Заказ № 191 .  
технический центр «Мобильные коммуникации».  
итано в ППП «Типография «НАУКА»,  
1099, Москва, Шубинский пер., 6

Невдяев Мобильная св  
язь 3-го поколения  
НДС 0% Цена 83,00

