

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ</b> .....	<b>6</b>
1.1. Тенденции развития мирового рынка.....	6
1.2. Разработки новых систем.....	7
1.3. Ключевые технологии перспективных ССС.....	10
1.4. Перспективные направления НИР/ОКР.....	11
<b>2. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ССС</b> .....	<b>15</b>
2.1. Персональная спутниковая связь.....	16
2.2. Корпоративные сети на базе технологии VSAT.....	24
2.3. Сети спутникового доступа к Интернету.....	45
2.4. Предварительные выводы.....	51
<b>3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОГРАММЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА</b> .....	<b>53</b>
3.1. Программы ESA в области спутниковой связи.....	53
3.2. Европейские проекты ACTS/IST.....	57
3.3. Перспективные программы НИР/ОКР Японии.....	65
3.4. Развитие спутниковой связи в США.....	65
3.5. Развитие спутниковой связи в программе ИМТ-2000.....	69
<b>4. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ССС С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НЕГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ</b> .....	<b>75</b>
4.1. Основные характеристики ССС.....	75
4.2. Выбор структуры и параметров группировок космических аппаратов.....	82
4.3. Проблемы обеспечения связности для в системах с многоспутниковыми группировками.....	87
4.4. Вероятностно-временные характеристики каналов связи в ССС с КА на круговых орбитах.....	92
4.5. О размещении наземных ретрансляторов в спутниковых системах с КА на круговых орбитах.....	97
4.6. Многофункциональная космическая телекоммуникационная система «Ростелсат».....	102
4.7. Сравнительные характеристики разрабатываемых ССС.....	122
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>128</b>
<b>Литература</b> .....	<b>130</b>
<b>Перечень сокращений</b> .....	<b>132</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Кардинальные перемены, происходящие за последние годы в отрасли телекоммуникаций, не могли оставить в стороне очень важную, особенно в условиях нашей необъятной страны, их составляющую – систему спутниковой связи и вещания. Известны различные точки зрения – от предсказаний перспективы утраты важности спутниковой связи и вещания в ближайшем будущем из-за быстрого роста наземных сетей до создания и развития всеохватывающих глобальных сетей персональной спутниковой связи и вещания, передачи данных, видеоконференций, спутниковой навигации и т. д. В этой ситуации особенно важной становится критическая оценка места и роли спутниковой связи сегодня и в будущем, определение приоритетов, разработка и определение перспективных направлений развития [1].

Стратегические вопросы развития спутниковой связи гражданского назначения решаются на правительственном, межведомственном (ГКРЧ) и ведомственном (Министерство связи РФ, Росавиакосмос и др.) уровнях. Кроме того, нельзя не упомянуть о международном уровне регулирования, реализуемом в рамках Устава и Концепции Международного Союза Электросвязи, активным членом которого Россия является с момента его основания.

По инициативе российской администрации связи была разработана система приоритетов, касающаяся применения спутниковых систем. Эти приоритеты были рассмотрены ГКРЧ и одобрены Постановлением Правительства РФ № 1016 от 2 сентября 1998 г., согласно которому при распределении орбитально-частотного ресурса ГКРЧ должна руководствоваться следующими приоритетами [1]:

- первый – использование российских спутниковых систем связи;
- второй – использование спутниковых систем связи международных организаций, членом которых является Российская Федерация (Интерспутник, Интелсат, Евтелсат, Инмарсат и т.п.);
- третий – использование спутниковых систем связи, находящихся под юрисдикцией иностранных государств, координация сетей которых с сетями администрации связи Российской Федерации завершена.

Реальное состояние орбитальной группировки системы спутниковой связи и вещания РФ не позволяет полностью удовлетворить существующие и тем более перспективные потребности российских государственных и коммерческих пользователей в услугах спутниковой связи и вещания.

С целью развития национальной системы спутниковой связи и вещания в рамках Федеральной космической программы России на период до 2000 г. планировалось за счет государственного и внебюджетного финансирования провести работы по созданию и развитию таких космических комплексов для связи и вещания, как «Экспресс» и «Экспресс-М», «Галс» и «Галс-Р», «Аркос» и «Маяк», «Ямал», «Купон» и др. Выполнение этой программы позволило бы полностью удовлетворить текущие и перспективные потребности народного хозяйства в космической связи, вещании и передаче данных, повысить уровень телефонизации страны и обеспечить всю территорию России многопрограммным поясным теле- и радиовещанием. Ряд спутников, в том числе несколько спутников «Экспресс», «Галс», «Ямал» и некоторые другие, были успешно запущены и их эксплуатация продолжается, однако в силу известных экономических ограничений программа в целом оказалась незавершенной.

С 1996 г. были начаты работы по реализации за счет средств государственного оператора ГП «Космическая связь» и привлекаемых средств инвесторов первого этапа программы, включающего создание трех спутников нового поколения «Экспресс А» совместного производства Красноярского НПО ПМ им. Решетнева и французской фирмы Alcatel. В июле 2000 г. ОАО «Ростелеком» ввел в эксплуатацию новый фрагмент российской сети спутниковой связи на базе спутника связи нового поколения LMI-1, благодаря чему цифровые услуги связи будут предоставляться во многих труднодоступных регионах России.

Основные направления использования спутниковых систем связи для обеспечения перспективных потребностей Российской Федерации были уточнены в работах НИИР, ЦНИИС, Гипросвязи и ГСП РТВ по корректировке «Программы развития системы спутниковой связи и вещания Российской Федерации до 2000 года» и обсуждены на коллегии Госкомсвязи России (постановление от 12.02.99 г.).

Проведенный анализ потребностей в спутниковых каналах показывает, что перспективная спутниковая система связи страны должна по-прежнему включать три подсистемы:

- фиксированной спутниковой связи для обслуживания взаимосвязанной сети связи России, а также наложенных и корпоративных сетей;
- спутникового теле- и радиовещания, в том числе непосредственного вещания, которое является новым этапом развития современных электронных средств массовой информации;
- подвижной персональной спутниковой связи в интересах подвижных и удаленных абонентов на территории России и за ее пределами.

Российской промышленностью разрабатывается несколько проектов подвижной персональной спутниковой связи («Ростелесат», «Сигнал», «Зеркало-РК» и др.).

Российские предприятия являются также участниками нескольких международных проектов персональной спутниковой связи («Иридиум», «Глобалстар», IСО и др.). Порядок допуска этих систем на телекоммуникационный рынок России регулируется постановлением Правительства Российской Федерации № 180 от 16 февраля 1999 г.

В мировой практике продолжается поиск новых технических решений и архитектур перспективных систем спутниковой связи (ССС). В ближайшие 5-7 лет планируется ввести в эксплуатацию более десяти СССР различного назначения: глобальной и региональной персональной связи, непосредственного телевидения, доступа к Интернету, высокоскоростных корпоративных сетей связи и др.

В последнее время опубликован ряд работ, в которых систематизируются и обобщаются тенденции развития спутниковой связи в мире [2, 3]. В Международном Союзе Электросвязи (ITU) завершается стандартизация радиоинтерфейсов систем мобильной связи 3-го поколения в рамках программы IMT-2000. Активно развивается сотрудничество европейских стран по созданию UMTS (Универсальной мобильной телекоммуникационной системы) и ее спутниковой подсистемы S-UMTS [4]. Европейское космическое агентство (ESA) приступило к реализации НИР/ОКР по системам спутниковой связи нового поколения.

Все это свидетельствует о расширении фронта исследований и разработок перспективных СССР. В значительной степени возросла роль международных организаций, как в стандартизации радиоинтерфейсов и общесистемных параметров СССР, так и в проведении совместных научно-исследовательских разработок. Результаты международных проектов становятся все более открытыми и доступными, что в условиях ограниченных ресурсов отечественных НИР/ОКР повышает естественный интерес научно-технической общественности страны к их анализу и возможному использованию.

Таким образом, анализ перспективных направлений развития СССР становится сегодня важной практической задачей. Результаты такого анализа непосредственно связаны с проблемой перехода к новому поколению СССР. Если в наземной сотовой связи контуры мобильных систем 3-го поколения уже определены достаточно четко, то в спутниковой связи концепция систем нового поколения еще только формируется и потребуется, по-видимому, не менее трех лет для разработки соответствующих исходных требований и технологических принципов новых СССР.

Настоящая работа является одной из первых попыток анализа перспективных СССР. Эта работа не претендует на полноту охвата всех направлений развития СССР, в частности, остались без рассмотрения такие важные технологии и области применения, как многостациональный доступ, новые методы модуляции и кодирования, широкополосные мультимедийные технологии, спутниковая навигация, мониторинг земной поверхности и ряд других.

Тем не менее, авторы считают, что к началу 2001 г. завершается определенный этап развития спутниковой связи, давший серию интересных проектов глобальных и региональных СССР. Новый этап, который условно можно определить границами 2001-2010 г.г., пройдет в эпоху повсеместного применения систем персональной мобильной связи, сетей доступа к Интернету и мультимедийных терминалов нового поколения.

Подготовка к новому этапу развития спутниковой связи уже активно ведется во многих странах. Российские исследования в области спутниковой связи будут все более широко включаться в международные программы научно-технического сотрудничества и все более полно использовать накопленный мировой опыт. Вот почему предметом настоящей публикации стал анализ перспективных направлений развития СССР, изучение возможностей международной кооперации при проведении НИР/ОКР, определение будущих позиций спутниковой связи в глобальной информационной инфраструктуре.

## 1. ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

В настоящее время спутниковая связь составляет относительно небольшой удельный вес в общем объеме телекоммуникационной индустрии, однако темпы развития спутниковой связи стремительно наращиваются в последние годы. Европейская спутниковая промышленность, охватывающая различные области применения (навигация, связь, научные исследования, наблюдения Земли, военные применения), к 2002 г. доведет число спутников связи до 70% общего объема спутниковых систем.

Спутниковая промышленность все активнее вовлекается в процессы консолидации и глобализации. Многочисленные промышленные альянсы, образовавшиеся в последние годы, ярко подтверждают эти тенденции: Hughes участвует в бизнесе PanAmSat, Loral – Orion, Boeing – Elipso, Alcatel – SkyBridge, Motorola, Boeing и Matra Marconi – Teledesic, Lockheed Martin – Comsat.

В Европе в настоящее время доминируют два промышленных альянса, определяющие техническую политику европейской спутниковой связи: Alcatel Space (объединение Aerospatiale и Thomson CSF) и альянс Matra Marconi Space, DASA-Raumfahrt-Infrastruktur, Dornier Satellitensysteme и Alenia Spazio.

### 1.1. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО РЫНКА

Как показывают различные маркетинговые анализы и прогнозы, мировой рынок спутниковой связи в ближайшие 5-10 лет будет развиваться значительными темпами.

Производство спутников остается относительно стабильным сегментом общего рынка космической промышленности с мировым годовым оборотом порядка 10 млрд. долл. Наиболее быстро будет развиваться рынок услуг спутниковой связи: от 18 млрд. долл. в 1997 г. к прогнозируемым 150 млрд. долл. в 2007 г. В настоящее время услуги спутниковой связи составляют около 2,7% (22 млрд. долл.) от общего глобального телекоммуникационного рынка услуг связи (800 млрд. долл.). К 2005 г. удельный вес спутниковой связи на глобальном рынке услуг возрастет до 5,5% (75 млрд. долл.) от общего оборота телекоммуникационного рынка (1 200 млрд. долл.). Значительный прирост объема мирового телекоммуникационного рынка (50% за 5 лет) объясняется прежде всего высокими темпами развития мобильной связи и широкополосных услуг мультимедиа.

Абонентская база ССС к 2005 г. может вырасти до 30 млн. пользователей, а к 2010 г. – до 50 млн. Однако, уход с этого рынка системы Iridium, а также задержки с вводом в эксплуатацию других глобальных систем могут привести к более осторожным прогнозным оценкам. Существует общее мнение, что только 2-3% общего числа абонентов мобильной связи в ближайшие 10-15 лет выберут для себя персональную спутниковую связь как один из основных видов услуг. Поэтому прогнозное значение 50 млн. абонентов ССС к 2010 г. должно коррелироваться с ростом общей абонентской базы мобильной связи к этому времени до 1,7-2,5 млрд. человек. В целом эти два прогнозных значения можно характеризовать как достаточно вероятные.

Если принять эту пропорцию (2-3%) абонентов «спутниковой-наземной» мобильной связи, как действующую и для России, то к 2010 г. можно прогнозировать число абонентов: 250 тыс. (персональная спутниковая связь) и 10 млн. (наземная мобильная связь).

Отметим общую степень условности этих оценок, так как они не учитывают темпы развития платежеспособного спроса и технико-экономические показатели будущих ССС в России, таких как тарифы связи, стоимость терминалов и др.

В 1998 г. на геостационарной орбите находилось примерно 215 коммерческих спутников. По данным МСЭ в период до 2006 г. планируется изготовить и запустить на орбиту свыше 2700 космических аппаратов (КА) общей стоимостью более 24 млрд. долл., в том числе около 1000 КА нового поколения, использующих диапазон Ка 20/30 ГГц. Производство спутников связи, по многим прогнозам, резко возрастет после 2005 г., а к 2015 г. общее число запущенных КА может увеличиться до 10-11 тыс.

Общие инвестиции на мировом рынке спутниковой связи за десятилетие 1997-2006 г.г. составят около 600 млрд. долл., в том числе в космический сегмент и средства выведения на орбиту – 60-80 млрд. долл., в наземные сети связи – 120-150 млрд. долл., в оборудование абонентского доступа и предоставления услуг (связи, вещания, доступа к Интернету, мультимедиа) – более 400 млрд. долл.

Потребности российского рынка на период до 2005 г. составляет около 250 стволов, в том числе 45 стволов – только для цифрового вещания. Общий ресурс всех КА, предполагаемых к запуску на отечественных спутниках связи, оценивается на уровне 200-220 стволов.

## 1.2 РАЗРАБОТКИ НОВЫХ СИСТЕМ

Глобальные системы спутниковой связи (Iridium, Globalstar и ICO), развертываемые в 1998-2000 г.г., позволяют на большом практическом материале всесторонне оценить технико-экономические параметры современных спутниковых технологий связи. Результаты испытаний и первых эксплуатационных этапов, хотя и не всегда положительные, подтверждают важное значение правильного выбора стратегических направлений перехода к новому поколению ССС.

Проекты будущих ССС, которые будут развернуты в ближайшие 2-5 лет (Ellipso, Constellation, SkyBridge, Teledesic и др.), определяют новые технические решения по реализации широкополосных и мультимедийных услуг связи.

Проект Teledesic все еще остается наиболее амбициозным предприятием, в котором в результате недавних финансовых инициатив Крейга МакКоу произошел важный поворот в сторону **комбинированной схемы ICO-Teledesic**.

Геостационарные широкополосные системы (после неудачи Iridium) получили дополнительные импульсы своего развития. В Европе новые проекты на базе геостационарных спутников реализуются по программам Eutelsat, MEDSAT, EuroSkyWay и др., в США – Asrolink, Cyberstar, EchoStar, KaStar.

На основе новых геостационарных ССС будут развиваться широкополосные системы мультимедийной связи, корпоративные интранет сети, высокоскоростные сети массового доступа к Интернету.

Для широкополосной спутниковой связи планируется осваивать новые частотные полосы в диапазонах Ka и Ku, которые уже частично используются для фиксированных телефонных сетей на базе широкополосных спутниковых служб.

Технологии малых низколетящих спутников (Little LEO) будут испытываться в глобальной ССС Orbcomm, а также в ряде проектов региональных спутниковых сетей: E-Sat, Final Analysis, LEO One.

Новая технология **внеземной связи** на базе высокоподнятых платформ HAPS (High Altitude Platforms) набирает в последнее время все более сильную поддержку у разработчиков и региональных администраций связи.

На состоявшейся в мае-июне 2000 г. в Стамбуле Всемирной конференции радиосвязи WRC-2000 впервые были приняты принципиальные решения об использовании платформ HAPS в рамках ИМТ-2000:

- платформы HAPS могут использоваться в качестве базовых станций для наземных компонент ИМТ-2000 в полосах 1885-1980 МГц, 2010-2025 МГц и 2110 и 2170 МГц (в Регионах 1 и 3), а также в полосах 1885-1980 МГц и 2110-2160 МГц (в Регионе 2); использование приложений ИМТ-2000 на основе HAPS как базовых станций не должно противодействовать использованию этих полос любой другой станцией, для которой эти полосы были выделены, и в то же время данная радиорегуляция ИТУ не устанавливает никакого приоритета;
- указанные полосы выделены для услуг фиксированной и мобильной связи на совместной первичной основе;
- рекомендации ИТУ-R не касаются вопросов распределения адресов и координации между HAPS и другими существующими, в том числе PCS, MMDS и фиксированных служб, работающих в настоящее время в некоторых странах в полосах 1885-2025 МГц и 2110-2200 МГц.

Платформы HAPS определяются новыми рекомендациями ITU как «станция, расположенная на объекте на высоте 20-50 км в определенной, фиксированной позиции относительно Земли». Платформы HAPS предназначены для минимальных сетевых инфраструктур. HAPS позволяют организовать предоставление услуг с большой зоной покрытия и высокой плотностью расположения абонентов. В настоящее время готовится к запуску первая платформа HAPS – проект Skystation, в котором участвуют Alenia Spazio (бортовые узлы связи) и Thomson CSF (наземная электроника и терминалы).

Таким образом, в ближайшие три-четыре года произойдет быстрый переход к ССС нового поколения. Новое поколение ССС будет характеризоваться рядом важных отличительных свойств:

- применение широкополосных спутниковых технологий связи, обеспечивающих высокоскоростную передачу данных;
- освоение новых диапазонов радиочастот Ka и Ku для работы широкополосных спутников GEO и LEO;
- значительное расширение спектра услуг связи для конечных пользователей: мобильная персональная связь, доступ к Интернету, передача видеoinформации, видеоконференцсвязь, мультимедийное ширококовещание, услуги определения местонахождения и т.п.;
- внедрение новых бортовых систем связи, спутниковых антенн, оптических систем межспутниковой связи, следящих антенн абонентских станций, портативных мобильных терминалов и т.п.;
- применение стандартных транспортных протоколов, адаптированных к особенностям физических спутниковых каналов: TCP/IP, ATM и т.п.

Проблемы освоения новых Ku и Ka диапазонов для спутниковой связи имеют сложный технологический характер для всех конфигураций ССС. Пример первой экспериментальной ССС ACTS (США, военные применения), начавшей действовать в 1993 г. в Ka-диапазоне на GEO орбите, показал сложность борьбы с атмосферными эффектами (дождь, влажность, температурные колебания) и необходимость разработки специального компенсационного протокола передачи данных.

Компания Loral планирует уже к 2002 году ввести в эксплуатацию одну из первых коммерческих систем Cyberstar в Ka-диапазоне. ССС Cyberstar разрабатывается как конфигурация 3-х спутниковых GEO (на первом этапе будет использован спутник ТВД в Ku-диапазоне). Интересно отметить, что с переходом к высоким частотам (от Ku к Ka-диапазону) планируется повысить производительность передачи данных от 400 кбит/с до 30 Мбит/с, а стоимость мобильных терминалов сохранить при этом на уровне 800-900 долл.

Табл. 1.1 иллюстрирует общие характеристики проблемы освоения высокочастотных диапазонов.

В целом проблемы разработки новых технологий ССС могут формулироваться и решаться только на основе долгосрочных (5-10 лет) целевых научно-технических программ. Примеры таких программ, на период 1999-2004 г.г. дают программы исследований космоса и новых спутниковых технологий, принятые в рамках Европейского космического агентства (ESA). Программы ESA (ARTES, Galileo и EOEP) и Европейской Комиссии (программы ACTS и IST) дают широкую панораму разработок новых ССС.

Общий бюджет ESA на НИР/ОКР составляет на 1999-2000 г.г. примерно 360 млн. долл./год. Проект новой спутниковой навигационной системы Galileo оценен в 3 млрд. евро на период 2000-2008 г.г. Более подробная характеристика европейских проектов ССС дана в разделе 3.

Создание ССС нового поколения сегодня невозможно без трех важнейших составляющих: **долгосрочных целевых программ, высокого уровня финансирования на государственном уровне и глубокого международного сотрудничества**

Таблица 1.1. Использование в ССС радиочастотных диапазонов

Диапазон (ГГц)	Рабочие частоты (ГГц)	Проблемы освоения диапазона	Типичные применения	Абонентские станции	Примеры ССС
P 0,230–1,000	Различные полосы	Перегруженность радиоспектра	Пейджинг Определение местонахождения	Пейджеры	Orbcomm E-SAT
L 1,530–2,700	Различные полосы	ЭМС с системами класса ISM	Телефония Мобильная связь Низкоскоростная передача данных Пейджинг	Радиотелефоны Портативные компьютеры Мобильные АС	Iridium Globalstar ICO ACES Thuraya
S 2,700–3,500	Различные полосы		Те же, что и в L-диапазоне	Те же, что и в L-диапазоне	Globalstar
C 3,700–6,500	3,700–4,200 (вниз) 5,925–6,425 (вверх)	ЭМС с наземными линиями	Фиксированная связь Передача видео VSAT-применения	Фиксированные АС Антенны 1 м и больше	Intelsat Skynet
X 7,500–8,500	7,250–7,745 (вниз) 7,900–8,395 (вверх)	ЭМС с наземными линиями	нд	нд	нд
Ku (Европа) 11,000–14,000	FSS: 10,700–11,700 (вниз) 14,000–14,800 (вверх)  DBS: 11,700–12,500 17,300–18,100  Telecom: 12,500–12,750 14,000–14,800	Компенсация дождевых и температурных влияний	Фиксированная связь	Фиксированные АС	Direct TV Echostar Astra
			Непосредственное ТВ		
Ku (США) 11,000–18,000	FSS: 11,700–12,200 (вниз) 14,000–14,500 (вверх)  DBS: 12,200–12,700 17,300–17,800		Передача данных	Антенны 0,3–0,6 м	Spaceway Cyberstar Astrolink Teledesic Celestri
			Мобильная связь	Мобильные терминалы	
Ka 18,000–31,000	17,700–21,700 (вниз) 27,500–30,500 (вверх)	Высокая сложность и стоимость применения	Широкополосная связь	Мобильные терминалы Антенны 0,2 м	Teledesic Skybridge Cyberstar ACTS (военные применения)
			Высокоскоростная передача данных Доступ к Интернету Мультимедиа		
V (SHF, EHF) 31,000–70,000	В стадии исследования	Большой объем необходимых НИР/ОКР	Военные применения	Мобильные АС	Milstar (США) AFSATCOM (США) USTS (США)

Примечание: FSS – фиксированная связь; DBS – непосредственное широкок вещание; Telecom – телекоммуникации; нд – нет данных.

### 1.3. КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ССС

Ниже представлены ключевые технологии по оценке Спутниковой Рабочей Группы SWG (Satellite Working Group), работавшей в 1998-99 г.г. по заданию Европейской Комиссии.<sup>1</sup> На основе Рекомендаций SWG Европейская Комиссия подготовила программный документ «**The EU Action Plan: Satellite Communications in the Information Society**». Группой SWG были сформулированы базовые требования к перспективным ССС по основным технологическим категориям: бортовые комплексы, наземный сегмент, межсетевое взаимодействие и протоколы спутниковой связи.

Требования к бортовым ретрансляционным комплексам включают решение следующих задач:

- разработка высокопроизводительных бортовых комплексов, позволяющих перейти от сегодняшних скоростей порядка 2 ГГбит/с к скорости передачи данных на уровне 4-16 ГГбит/с;
- внедрение и широкое применение усовершенствованных антенных систем, способных генерировать десятки или даже сотни лучей;
- интенсивное использование бортовых цифровых компонент и систем передачи информации;
- создание систем с высоким уровнем перестраиваемости, обеспечивающих гибкое управление радиоресурсами (мощностью сигналов, каналов передачи и т.п.);
- использование в спутниковых системах технологий LEO и MEO, хотя для отдельных применений спутники GEO остаются эффективной альтернативой;
- интеграция с наземными телекоммуникационными сетями и применение стандартов наземных сетей связи во всех случаях, где против этого нет существенных причин.

По оценкам экспертов SWG ключевые технологии, необходимые для выполнения данных требований, наиболее продвинуты в разработках компаний США, что ориентируют европейские программы НИР/ОКР на достижение американских технологических позиций.

В табл. 1.2 приводятся шесть ключевых технологий, определяющих уровень развития и эффективность бортовых комплексов [5].

Требования к наземным сегментам и терминалам:

- дешевые терминалы на базе СБИС и развитых DSP с малым энергопотреблением;
- мультирежимные терминалы для использования как для спутниковой, так и наземной связи;
- программируемые радиоподсистемы для мобильных терминалов;
- использование спутникового разнесения для фиксированных терминалов в режимах широкополосной связи (Skybridge, WEST);
- использование технологии новых частотных полос (Ka, EHF, V);
- широкое применение эффективных методов модуляции и кодирования;
- максимальная стандартизация всех протоколов и интерфейсов на 2-м уровне и выше (кроме физического уровня, где параметры радиосигнала должны оставаться специфичными для спутниковой системы);
- использование стандартных транспортных протоколов для пакетной передачи данных (IP и ATM).

Кроме требований вышеприведенных двух групп в перспективных ССС все более важное значение приобретают требования **межсетевого взаимодействия**. Глобальные ССС особенно критичны к реализации этих требований и должны обеспечивать взаимодействие с другими телекоммуникационными системами на уровне всех наиболее распространенных и общепризнанных протоколов: SDH, ATM, TCP/IP, GSM/MAP, UMTS, IMT-2000.

К важным телекоммуникационным стандартам общего назначения (для спутникового и наземного сегментов) следует также отнести и протоколы сетевого управления: TMN, TINA, CORBA и др. Необходимо отметить, что тенденция интеграции сетевых технологий и стандартов спутниковых и наземных сегментов становится все более важной при развитии ССС. При этом «наземные» протоколы и стандарты будут играть все более определяющую роль в развитии широкополосных спутниковых технологий и мультимедийных услуг.

<sup>1</sup> The SWG Report. 1999.



Таблица 1.2. Ключевые технологии для бортовых комплексов

Технологии	Назначение	Уровень реализации в США	Оценка европейского уровня
Многочувствительные антенны	Концентрация мощности сигнала, повторное использование частот, максимизация системной емкости	Коммерчески доступная технология (например, производятся Raytheon для L диапазона)	Разработаны прототипы и частично испытаны. Обычные многочувствительные антенны разработаны Ialsat
Бортовые коммутаторы	Переключение радиоканалов на борту КА	Испытаны в системе Iridium. Планируются для внедрения в большинстве новых ССС	Ограниченные по возможностям прототипы разработаны Alenia Spazio (в рамках контрактов ESA). Планируется внедрение в системах Euroskyway и MMS WEST для широкополосных мультимедийных услуг. Простые варианты реализованы на борту Hot Bird 4 (Eutelsat) и системе WorldSpace DAB (Alcatel)
Высокомощные платформы	Обеспечение радиопередачи большой мощности с целью уменьшения габаритов абонентских терминалов	Начато производство 16 кВт платформ	Коммерческие платформы до 10 кВт; разрабатываются 15 кВт платформы (MMS, Aerospatiale)
Большие антенны	Обеспечение в GEO системах узконаправленных лучей для приема на частотах мобильных терминалов	Коммерчески доступные технологии (например, Harris разработана технология больших антенн для проекта MSAT)	В рамках исследовательских проектов ESA и CNES проводятся разработки экспериментальных систем (объем финансирования – 40 млн. долл.)
Межспутниковые линии связи	Взаимосоединения между спутниками одной группировки	Разработаны и протестированы в рамках проектов СОИ (SDI). Еще нет коммерческих реализаций на базе оптических технологий	Первое поколение оптических спутниковых линий ISL (InterSatellites Links) разработано в рамках проекта MMS ESA и будет испытываться в 2000 г. Второе поколение ISL, отвечающее требованиям ССС, находится в ранней стадии НИР/ОКР

#### 1.4. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НИР/ОКР<sup>2</sup>

В США, Западной Европе и Японии на развитие спутниковой связи выделяются значительные финансовые ресурсы по трем главным направлениям (табл. 1.3):

- военные (оборонные) программы;
- программы НИР/ОКР гражданского применения;
- международные исследовательские организации и совместные многонациональные проекты.

В США в 90-х годах проводились масштабные исследования по линии оборонных агентств (DoD, DARPA). Например, в спутниковую систему военного применения MILSTAR, спутниковые подсистемы СОИ (SDI) и экспериментальную систему ACTS было вложено более 20 млрд. долл. Благодаря крупным инвестициям и ряду стратегических инициатив США достигнуты лидирующие позиции по многим ключевым технологиям. Хотя результаты большинства

<sup>2</sup> Workshop on Global Assessment of Satellite Technologies and Systems, December 1997, Arlington VA, USA.

НИР/ОКР закрыты для публичного распространения, эксперты выделяют следующие области где приоритеты США общепризнаны. Отметим следующие важные для перспективных СТ технологические области:

- антенны с большой апертурой;
- управляемые антенны;
- высокомоощные платформы КА;
- бортовые коммутаторы и узлы связи;
- оптические технологии связи;
- аппаратура передачи в диапазоне 30-120 ГГц.

**Таблица 1.3. Сравнительные оценки затрат на НИР/ОКР в области спутниковой связи (данные на 1996 г. в млн. долл.)**

Страна	Общие затраты на спутниковую связь	Затраты на НИР/ОКР	Примечание
<b>США:</b>			
NASA	174	23,6	
Министерство обороны	1300	700	1300 (без запусков спутников) 700 (спутниковый и наземный сегменты)
<b>Всего США:</b>	1474	723	
<b>Европа:</b>			
ESA	260	75	С учетом обменного курса на 1995 г.
Франция	25	22	Гражданские применения (без долевого взноса в бюджет ESA)
Франция	151	15	Военные применения (без долевого взноса в бюджет ESA)
ФРГ	13	13	
Великобритания	5	5	Гражданские применения
Великобритания	100	10	Военные применения (грубые оценки)
Италия	26,6	10	(без долевого взноса в бюджет ESA)
Европейская Комиссия	—	20	
<b>Всего Европа (страны ЕС)</b>	580,6	170	
Канада	61	61	(оценки)
Япония	187	187	

Особого внимания заслуживает опыт разработки и тестирования системы ACTS (Advanced Communication Technology Satellite), работающей в Ka диапазоне<sup>3</sup>. Спутник ACTS был запущен в сентябре 1993 г. В 1994-98 г.г. были проведены многочисленные эксперименты по надежности

<sup>3</sup> R. Acosta, R. Bauer, and al. «Advanced Communication Technology Satellite (ACTS): Four-Years System Performance», IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 17, № 2, February 1999.

связи с использованием мощных VSAT станций (мощность передатчика – 12 Вт; размер антенны – 1,2-2,4 м; рабочие частоты – 29,236 ГГц и 29,291 ГГц (линия вверх) и 19,44 ГГц (линия вниз); модуляция SMSK – Serial Minimum Shift Keying; адаптивная компенсация замираний); скорость передачи данных – 1,792 Мбит/с.

Важные статистические результаты получены по оценке эффектов замирания сигнала от дождевых явлений, мокрых антенн, тепловых колебаний. Для компенсации дождевых и тепловых искажений сигнала разработан специальный протокол ACTS Fade Compensation Protocol<sup>4</sup>. Протокол обеспечивает высокий уровень компенсации на тракте «спутниковая антенна – VSAT» за счет снижения скорости потока данных и применения избыточных корректирующих кодов. Исходный поток 110 Мбит/с в зависимости от уровня искажений адаптируется к требуемой степени избыточности кода (эффективная скорость передачи становится 55 Мбит/с или 27,5 или 13,75 Мбит/с). Дождевые и термальные эффекты исследовались в течение непрерывных 10-месячных экспериментов в 7 географических пунктах США, Колумбии и Эквадора, выбранных по критериям высоких тропических и субтропических дождевых характеристик.

В США глобальные CCC в Ка диапазоне проектируются многими компаниями в качестве перспективных систем спутниковой связи нового поколения (табл. 1.4).

**Таблица 1.4. Перспективные CCC Ка диапазона (системы, получившие в США лицензии FCC)**

Компания	Система	Орбита	Охват	Кол-во спутников	Спутниковая производительность (ГГбит/с)	Межспутниковая связь	Бортовой коммутатор	Инвестиции (млрд. долл.)
Lockheed Martin	Astrolink	GEO	Глобальный	9	7,7	Да	FPC	4
Loral	Cyberstar	GEO	Огранич. глобальный	3	4,9	Да	BBS	1,05
Hughes	Galaxy/Spaceway	GEO	Глобальный	20	4,4	Да	BBS	5,1
GE Americom	GE*Star	GEO	Огранич. глобальный	9	4,7	Нет	BBS	4,0
Morning Star	Morning Star	GEO	Огранич. глобальный	4	0,5	Нет	Нет	0,82
Teledesic	Teledesic	LEO	Глобальный	286	13,3	Да	FPS	9

Лидирующая роль США в развитии перспективных спутниковых технологий объясняется многими факторами, среди которых важнейшее значение имеет объем финансирования космических проектов из национального государственного бюджета.

В табл. 1.5 приведены относительные характеристики объемов финансирования в промышленно развитых странах.

<sup>4</sup> C. Cox and T. Coney «ACTS Fade Compensation Protocol Impact on VSAT Bit Error Rate Performance», IEEE Selected Areas in Communications. Vol. 12, № 2, February 1999.

**Таблица 1.5. Доли внутреннего валового продукта (ВВП), выделяемые на космические программы**

США	Франция	Италия	Япония	Канада	ФРГ	Великобритания	Европейский союз (ESA)
0,187	0,157	0,048	0,048	0,042	0,041	0,028	0,034

В Европе на основе международных научно-исследовательских программ предпринимаются большие организационно-финансовые усилия по преодолению отставания от США и созданию самодостаточной индустрии спутниковой связи.

Европейское космическое агентство (ESA), европейский космический научно-технический центр (ESTEC), координационные органы Европейской Комиссии (КЕС) в 90-х годах выполнили большой объем НИР/ОКР, направленных на создание суперсовременных ССС к 2010 г. Одна из недавних общеевропейских инициатив GAMMA (Global Access to Multipoint Multimedia Architectures) – проект создания сети Глобального доступа к мультиузловой мультимедийной архитектуре – предусматривает выполнение комплекса исследований:

- разработка глобальной сети доступа пользователей к мультимедийным услугам по принципу «спутниковой высокоскоростной опорной сети» (High-rate satellite backbone);
- проведение экспериментов с сетью высокоскоростных спутниковых транспондеров (72 МГц), обеспечивающих передачу трафика АТМ со скоростью 34-155 Мбит/с (технологии IDR и G.832 PDH);
- организация высокоскоростной логической кольцевой сети, объединяющей мультимедийные серверы, доступные пользователям по асимметричным спутниковым каналам;
- предоставление массовых информационно-справочных услуг пользователям Европы, Японии, Южной и Северной Америки по технологии гибкого выделения полосы канала «по требованию».

Примерами европейских проектов являются разработки новых спутниковых технологий связи:

- мультимедийные терминалы (абонентские станции) для работы в диапазонах Ku/Ka;
- малогабаритные экономичные терминалы мобильной спутниковой связи;
- высокопроизводительные бортовые ретрансляторы, обеспечивающие обработку мультимедийных потоков данных;
- малогабаритные бортовые оптические терминалы для межспутниковых линий связи в геостационарных системах;
- специализированные спутники связи для мультимедийных применений на конкретных потребительских рынках.

Наиболее передовые европейские НИР/ОКР выполняются в рамках международной программы ASTE (Advanced Systems and Telecommunications Equipment). В рабочей программе ASTE на 2000 г. предусмотрено выполнение около 60 исследовательских проектов с общим объемом годового финансирования из бюджета ESA объемом 62 млн. евро.

Следует отметить, что в области мобильной спутниковой связи ESA кроме собственных НИР/ОКР перспективного характера (межспутниковая оптическая связь и др.) финансирует проекты спутникового сегмента S-UMTS, выполняемые в координации с проектами ACTS/IST Европейской Комиссии (см. раздел 3.2).

## 2. ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ССС

Судьба спутниковой связи в России способна повлиять на развитие многих отраслей промышленности, экономику страны, и конечно, интересы государственных структур и конечных пользователей. Любая неверная оценка того или иного фактора при развертывании или эксплуатации ССС может иметь негативные последствия.

В настоящее время развитие рынка спутниковой связи немыслимо без взаимосвязи ССС с наземными сетями. Те или иные изменения в инфраструктуре наземных сетей существенно влияют как на характеристики, так и на услуги спутниковых систем. Так, внедрение волоконно-оптических линий постепенно начало вытеснять с рынка магистральные линии спутниковой связи. Рынок немедленно отреагировал на это, предложив ряд новых услуг, таких как спутниковое непосредственное вещание, связь через VSAT и USAT станции. Это стало возможным благодаря коренной переработке космических аппаратов, резкому увеличению их пропускной способности и энерговооруженности.

Уже очевидны и последующие шаги в этом направлении. В первую очередь модернизация коснется ретрансляционных комплексов. КА значительно усложнятся: их заменят широкополосные спутники с ретрансляторами с обработкой информации, оснащенные бортовыми многолучевыми узконаправленными антеннами, с межлучевой коммутацией сигналов, что позволит переложить часть основных сетевых функций с наземного сегмента системы на космический. Другое перспективное направление развития – переход в более высокочастотные диапазоны 20–30 и 40–50 ГГц. Такие спутники обеспечат абонентам возможности широкополосного доступа к Интернету и передачи мультимедийной информации в интерактивном режиме.

Качественный скачок в развитии ССС произошел после появления новых проектов с КА на низких и средневысотных орбитах. Использование этих орбит позволяет расширить спектр и качество предоставляемых телекоммуникационных услуг, обеспечить пользователей глобальной персональной связью с помощью терминала типа «телефонная трубка».

Российский рынок спутниковой связи в своих основных структурных характеристиках повторяет этапы развития мирового рынка. В настоящее время в России уже сформировались три крупных сегмента этого рынка. Первый и самый молодой сегмент этого рынка связан с развитием таких сетей персональной спутниковой связи, как Iridium, Inmarsat, Globalstar, а в перспективе ICO, Ellipso и Thuraya. Терминалы персональной связи существенно отличаются от VSAT-станций. Они более компактны, универсальны, сопрягаются с сетями сотовой связи, а самое главное, работают при движении абонента. Вместе с тем персональная связь пока не способна обеспечить тот же комплекс и качество услуг, которые предоставляют VSAT-станции, да и тарифы в сетях персональной связи существенно выше.

Второй, достаточно крупный сегмент связан с развитием корпоративных сетей, базирующихся на технологии VSAT, т. е. на использовании малогабаритных спутниковых терминалов с антеннами диаметром от 1,8 до 2,5 м. На сегодняшний день в мире насчитывается около 300 тыс. станций VSAT. В России количество установленных VSAT-станций составляет не менее 3,2 % от общего числа этих земных станций в мире (около 10 тыс. станций). Однако все аналитики считают, что данный рынок далек от насыщения даже в развитых странах. Поэтому прогнозируется продолжение в 2000 г. роста объемов производства VSAT-терминалов: по некоторым данным, их общее число превысит 500 тыс., а в России может увеличиться до 20 тыс. станций.

Третий сегмент охватывает системы непосредственного телевизионного вещания, работающие главным образом в Ku-диапазоне частот (14/11 ГГц), что позволяет использовать на приеме малые земные станции, стоимость которых не превышает 500 долл. Этот вид спутникового вещания ориентируется в первую очередь на массовые услуги высокоскоростного доступа к Интернету, системы домашнего и офисного приема ТВ-программ, а также на сельское население и малые города со слаборазвитой кабельной инфраструктурой. В ближайшие годы, по оценкам АО «Телеком», наибольший доход на российском рынке ССС (до 60-70% от общего) ожидается именно в этом сегменте.

На каждом из этих трех сегментов в последние годы достигнуты крупные практические результаты. Анализ опыта разработки и применения ССС на данных рыночных сегментах имеет важное значение при определении перспективных направлений развития спутниковой связи.

## 2.1. ПЕРСОНАЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ

Традиционно инфраструктура связи России строилась на проводных линиях, а потому около 40 тыс. населенных пунктов нашей страны до сих пор не имеют никакой оперативной связи с внешним миром. Географически такие населенные пункты рассредоточены на севере страны, в Сибири и на Дальнем Востоке. В наши дни связь в этих районах можно обеспечить с помощью ССС, не требующих, в отличие от проводной связи, огромных средств на развертывание наземной инфраструктуры, тем более, что огромные пространства и низкая плотность населения на большей части этих территорий делают наземные каналы связи экономически неэффективными. Несмотря на бурный рост сотовых сетей связи различных стандартов, услуги персональной спутниковой связи в этих районах все еще предпочтительнее с экономической точки зрения.

Персональная спутниковая связь (как в мире, так и в России) с самого начала развивалась не как «чисто» спутниковая, а как ее сочетание с наземными сетями сотовой связи. Основная задача сетей персональной спутниковой связи – дополнение и расширение возможностей сотовой за пределами ее зон покрытия, где создание инфраструктуры других видов связи по экономическим либо технологическим причинам нецелесообразно.

Многорежимные абонентские терминалы при работе в зонах сотового покрытия автоматически устанавливают связь с сотовой сетью одного из стандартов (GSM, AMPS, TDMA, CDMA), а за его пределами используют спутниковый ретранслятор.

Стационарные спутниковые абонентские терминалы особенно выгодно применять в тех районах, где связь отсутствует вообще, поскольку они обеспечивают (через спутник) подключение к наземным сетям общего пользования (в том числе и телефонным – ТФОП).

### Опыт системы Iridium

В России коммерческая эксплуатация системы Iridium осуществляла компания ОАО «Иридиум-Евразия» около 1,5 года. На момент ее закрытия в марте 2000 г. она насчитывала 80 тыс. абонентов в мире, из них примерно 1% – в России.

Motorola изготовила портативный спутниковый терминал со сменными картриджами, которые обеспечивают его использование в качестве сотового аппарата (для каждого стандарта: GSM, AMPS, TDMA, CDMA – свой картридж). Средняя мощность абонентского передатчика 0,57 Вт, чувствительность приемника – 118,4 дБм. Штатная батарея рассчитана на непрерывную работу до 2 ч в режиме разговора, до 16 ч в режиме ожидания. Каждый спутниковый телефон имеет свой модуль идентификации абонента (SIM-карту), содержащий единый в системе индивидуальный номер телефона, данные об абоненте, блокирующие коды и т. д.

Кроме телефонных трубок Motorola выпустила автомобильный и офисный терминалы, которые обеспечивают весь спектр услуг спутниковой телефонной связи. Автомобильный имеет выдвижную антенну, а офисный – выносную. Последний представляет собой многофункциональный телефонный адаптер массой до 1,5 кг и габаритами 240×200×64 мм с возможностью питания от сети (в штатный комплект входят четыре батареи).

Телефон японской фирмы Куосега более изящен, чем выпускаемый Motorola. Одномодовый его вариант имеет массу 400 г и габариты 57×146×48 мм. Время работы без подзарядки аккумулятора в режиме разговора 100 мин, в режиме ожидания 24 ч. Двухмодовый телефон выполнен в виде базовой конструкции, в которую вставляется обыкновенный сотовый телефон одного из стандартов: GSM, CDMA, AMPS или PDC (последний распространен только в Японии). Компактный телефон (40×130×23 мм) можно использовать автономно. Если необходимо работать через спутниковый канал, то аппарат вставляется в «базовую» станцию (масса 400 г).

Речевой кодек Iridium использует алгоритм с линейным предсказанием VSELP (скорость передачи 2,4 кбит/с). В линии связи речь передается дискретными блоками с защитой от ошибок при помощи помехоустойчивого кода с прямым исправлением ошибок. Средний уровень качества работы составляет 3,2 балла (по оценке MOS). Кроме телефонной связи в сети Iridium обеспечивается глобальный персональный радиовывоз. В спутниковом пейджере Motorola Satellite Series 9501 реализована передача цифровых (20 знаков) и буквенно-цифровых (200 символов) сообщений и прозрачная передача данных (например, иероглифов).

Прогнозирование рынка является одним из важных аспектов маркетинговой политики и его, по уже сложившейся традиции, проводят сами разработчики спутниковых систем. Формирование концепции Iridium происходило в период 1993-1995 г.г. Разработчиками системы была изучена экономическая целесообразность создания такой системы, и картина (на тот момент) выглядела вполне радужной. Однако в оценку числа абонентов персональной связи вошли потенциальные абоненты сотовых сетей, находящиеся вне городской зоны. В то время трудно было предположить бурный рост сотовой связи и, что через пять лет она охватит практически всю Европу, Северную Америку, а также ряд других регионов мира. Предлагаемые сотовыми операторами расценки оказались настолько низкими по сравнению с заложенными первоначально в бизнес-план Iridium, что конкурировать с ними оказалось невозможно.

В конкурентной борьбе с сотовыми операторами в системе Iridium были сделаны важные ценовые изменения, связанные с отказом от ранее используемой дифференцированной сетки оплаты, которая учитывает конкретный регион вызова. Для абонентов системы Iridium был введен единый тариф за международные звонки. Для звонков со спутникового телефона Iridium в ТФОП он составлял 3 долл./мин, а при связи двух абонентов Iridium и того дешевле – 1,43 долл./мин. Российский оператор – компания «Иридиум-Евразия» – установила еще более низкие расценки для абонентов российского сегмента: звонок со спутникового телефона в ТФОП – 2,08 долл./мин, а обратный – 1,5 долл./мин.

Опыт Iridium как технической системы заслуживает глубокого изучения (см. раздел 4). Рыночные стратегии и коммерческие аспекты, принятые менеджерами Iridium при развертывании системы, многими экспертами оцениваются как ошибочные.

## Первые шаги Globalstar

Вторая низкоорбитальная система глобальной персональной спутниковой связи, которая начинает действовать в России в конце 2000 г. – это Globalstar. Территорию России она охватывает почти полностью – до 70° с. ш, включительно. В настоящее время процесс формирования орбитальной группировки завершен полностью. На орбиту выведено 52 КА (в том числе 4 резервных). В начале августа 2000 г. объявлено о вводе в эксплуатацию российского сегмента Globalstar.

Спутники Globalstar имеют простые («прозрачные») ретрансляторы без бортовой коммутации сигналов, что обуславливает их малый вес (450 кг), высокую надежность, длительный срок жизни (7,5 года), а также более низкую стоимость по сравнению с другими проектами аналогичного назначения. Для связи с абонентами в L (1610-1626,5 МГц, линия «вверх») и S (2483,5-2500 МГц, линия «вниз») диапазонах частот на КА используется активная антенная решетка, формирующая 16 лучей. Межспутниковые линии связи не предусмотрены. Принятый бортовым ретранслятором поток ретранслируется на Землю с помощью рупорных антенн в С диапазоне частот: 6875,95-7052,9 МГц (передача) и 5091-5250 МГц (прием).

Globalstar будет иметь свыше 50 станций сопряжения по всему миру, из которых уже построено более 10. Центр управления связью и полетами располагается на территории США, а центры управления национальными поставщиками услуг – на территории соответствующей страны. В состав каждой станции сопряжения входят четыре идентичных приемо-передающих комплекта, оснащенных слеящими параболическими антеннами, подсистемой формирования и обработки ШПС-сигналов, интерфейсное оборудование и оборудование автоматизированных рабочих мест операторов. Коэффициент усиления слеящей параболической антенны (диаметром 3,4 м) равен 42,4 дБ. Шумовая температура приемного устройства не превышает 190 К.

В России будут установлены три станции сопряжения: в Московской области, Новосибирске и Хабаровске. В настоящее время на Московской и Новосибирской станциях проводится тестирование, сертификационные и опытные испытания. Станция сопряжения в Хабаровске будет введена в строй несколько позднее, сейчас там завершено строительство и идет поставка оборудования. Каждая станция сопряжения связана с сетью общего пользования РФ и интегрирована с действующими стационарными и сотовыми сетями.

На территории РФ сеть Globalstar будет иметь выделенный междугородный код DEF («город ГлобалТел» – код 954). Российским станциям сопряжения присвоен статус междугородных станций национальной сети, и они будут подключены к сети ТфОП через узлы автоматической коммутации. Кроме того, три станции сопряжения российского сегмента связаны друг с другом магистральными цифровыми каналами. Для взаимодействия по сети сигнализации должен использоваться национальный ресурс сети ОКС-7R. Время установления соединения в сети 5 с (в среднем) при вероятности потерь вызовов в часы наибольшей нагрузки менее 5%.

Технологической основой Globalstar является стандарт CDMA с адаптивным управлением мощностью бортового и абонентского передатчиков, что обеспечивает (как уже показали пробные звонки) более высокое качество речи и лучшую защищенность от прослушивания по сравнению с другими системами. Речевой кодек с линейным предсказанием и переменной скоростью от 1,2 до 9,6 кбит/с обеспечивает среднюю скорость передачи (с учетом шумоподавления) 2,4 кбит/с. Качество восстановленной речи оценивается в 3,5 балла (по методике MOS). На станциях сопряжения Globalstar применяются вокодеры с эхоподавителями.

Использование технологии CDMA в сочетании с непрерывным охватом каждого региона несколькими спутниками позволяет осуществить плавную эстафетную передачу сигнала со спутника на спутник и сводит к минимуму потери из-за экранирования сигналов городскими строениями и рельефом местности.

Абонентское оборудование системы Globalstar представлено многорежимными «трубками» и стационарным телефонным аппаратом. Общая стоимость проекта системы составляет примерно 4 млрд. долл. Из них 353 млн. были выделены на производство спутниковых телефонов компаниями Ericsson (204 млн.), Qualcomm (117 млн.) и Telit (32).

В России предполагается использовать GSM-совместимые аппараты Ericsson (модель R-290) и Telit (модель SAT 550). Что же касается трехрежимного аппарата Qualcomm (модель GSP 1600), совместимого с сетями сотовой связи стандартов AMPS и CDMA, то пока поставки его в нашу страну не планируются. (Главная причина в том, что, в отличие от Северной Америки, в России стандарт CDMA используется преимущественно в сетях фиксированной связи, а AMPS не получил широкого распространения).

Двухрежимный абонентский терминал R-290 производства Ericsson предназначен для передачи речи и данных (через порт RS-232). Терминал имеет встроенный факс-модем, который обеспечивает передачу сообщений со скоростями 9,6 кбит/с (режим GSM) и 7,2 кбит/с (спутниковый режим). Размеры терминала со сложной антенной 162×62×39 мм, масса 350 г. Терминал оснащен плоской ионно-литиевой батареей емкостью 1,05 мАч (возможно применение батареи большей емкости – до 1,65 мАч). Время непрерывной работы при использовании плоской батареи в режиме сотовой связи (GSM 900) 75 ч (ожидание) и 5 ч (разговор), а в спутниковом режиме соответственно 6 и 1,5 ч.

Стационарный телефон состоит из наружного блока FAU (Fixed Access Unit), устанавливаемого на мачте, и обычного телефона, находящегося в помещении пользователя. Блок FAU работает в диапазоне температур от –40 до +55°С, имеет массу 7,3 кг и размеры 525×300×175 мм.

Одна из дополнительных услуг, которая предоставляется абонентам Globalstar, – это возможность автономного определения координат по сигналам собственных спутников, т. е. без непосредственного использования сигналов GPS. И хотя в этом случае точность определения координат несколько ниже, чем в GPS, – от 300 м до 5 км, но для многих практических задач этого вполне достаточно.

Система Globalstar, как и Iridium, относится к классу низкоскоростных ССС. Опыт развертывания Globalstar и коммерческие результаты в 2000-2002 г.г. будут иметь большое влияние на практические оценки рынков ССС.



## Система ICO

Международная система спутниковой связи ICO построена на основе средневысотных спутников, а ее название происходит от английского сокращения ICO – Intermediate Circular Orbit. Разработку системы осуществляет компания ICO Global Communications – международная организация, которая выделилась из Inmarsat в январе 1995 г. В нее входит более 50 компаний-инвесторов из 46 стран, в том числе ряд национальных операторов сотовой связи.

Глобальный охват обеспечит орбитальная группировка из 10 спутников (по 5 КА в каждой из двух орбитальных плоскостей). Круговая орбита расположена между первым и вторым радиационными поясами Ван-Аллена на высоте 10 390 км (наклонение – 45°). Максимальное время пребывания КА в зоне радиовидимости – 6 ч.

Предусмотрены также два резервных КА, по одному в каждой плоскости. Вследствие перекрывания зон соседних спутников земная станция может видеть от двух до четырех КА. Схема построения вокодера основана на алгоритме AMBE и оптимизирована под кадровую структуру (40 мс) системы ICO.

Ретрансляционный комплекс КА создан на базе прозрачного ретранслятора с антенной системой, формирующей 163 отдельных луча на прием и на передачу. Первоначально предполагалось, что ICO будет обеспечивать такие услуги персональной связи, как телефония (скорость 4,8 кбит/с) и передача коротких сообщений. Однако недавно приняли решение пересмотреть технические решения проекта, чтобы дополнить ICO еще одной услугой – передачей данных со скоростью не ниже 64 кбит/с.

Наземная инфраструктура строится на базе сети ICONET (ICO network), которая объединяет 12 спутниковых узлов доступа SAN (Satellite Access Node), размещенных в разных странах мира. Большинство из них уже смонтировано и готово к вводу в эксплуатацию. Сегмент управления системой состоит из двух центров управления полетами и двух центров управления сетью, размещенных в Лондоне и Токио. Создание российских узлов SAN первоначально планировалось в центральной части страны и в районе Новосибирска.

В качестве базового терминала в системе ICO предполагается использовать мобильный двухрежимный терминал, совмещенный с сотовым телефоном.

Стоимость системы оценивается в 1,2 млрд. долл., из них запуск КА – около 900 млн. долл. По предварительным оценкам, абонентский терминал будет стоить 1000–1500 долл., а поминутная оплата не превысит 2 долл./мин.

В России в 1999 г. было создано ЗАО ICO-R, учредителями которого стали ОАО «Вымпелком», ГУП «Морсвязьспутник» и компания ICO Global Communications. ICO-R будет представлять интересы ICO на российском рынке и станет провайдером услуг ССС. Свою работу данная компания начала с маркетинговых исследований, направленных на изучение спроса на услуги ICO и выявления категорий потенциальных пользователей по всем видам услуг, которые планируется предоставить на первом этапе ее развертывания. По официальным сообщениям ICO, ввод в эксплуатацию планируется на начало 2001 г.

## Система Inmarsat

Международная организация спутниковой связи Inmarsat сегодня насчитывает 86 стран-участниц и обеспечивает работу (по состоянию на 2000 г.) более около 150 тыс. земных станций спутниковой связи. За 20 лет своего существования эта система, пожалуй, единственная из всех прошла все этапы развития и внедрения подвижной спутниковой связи, «опробовала» абонентское оборудование практически любого типа (начиная от первых судовых станций, весивших до 200 кг, до современных портативных терминалов не тяжелее 1,5 кг). Сейчас портативный мобильный терминал стоит примерно 2 тыс. долл., а одна минута разговора – не более 3 долл.

ГУП «Морсвязьспутник», представляющее в Inmarsat интересы России, является не только административным органом системы Inmarsat, но и эксклюзивным провайдером ее услуг в нашей стране. Услуги (в том числе телефонная и факсимильная связь со скоростью 2,4–9,6 кбит/с, высокоскоростная передача данных в зональном луче со скоростью 56/64 кбит/с) предоставляются через береговые станции Inmarsat с единым для всех зон действия (океанских регионов) российским кодом доступа 015.

В настоящее время ГУП «Морсвязьспутник» начинает реализацию в рамках проекта Inmarsat-M4 новой услуги, которая позволит интегрировать международные и корпоративные информационные сети с глобальной спутниковой связью, впервые обеспечив высокоскоростную передачу данных (64 кбит/с) практически в любой точке земного шара.

Основными производителями портативных абонентских терминалов M4 являются фирмы Thrane&Thrane (Дания), Nera (Норвегия) и STN Atlas (Германия). В качестве базового используется терминал Inmarsat Mini-M, но помимо традиционного для него набора услуг персональной спутниковой связи (телефония, факсимильная связь и передача данных – 2,4 кбит/с) новая модель – M4 – будет обеспечивать высокоскоростную передачу данных с подключением к сетям ISDN, Интернет и двухпроводным аналоговым линиям связи.

Стоимость нового проекта Inmarsat-4 оценивается в 1,4 млрд. долл. Космический сегмент Inmarsat-4 будет состоять из двух геостационарных КА (масса каждого 5 т), расположенных в точках стояния 54° з. д. и 64° в. д. Скорость передачи информации – 144 кбит/с. Спутниковый ретранслятор будет иметь 200 узких лучей L-диапазона (ЭИИМ 67 дБВт), 19 широких C-диапазона (ЭИИМ 56 дБВт) и один глобальный (ЭИИМ 39 дБВт). Вывод на орбиту предполагается осуществить с помощью европейской ракеты-носителя «Ариан-5». Планируемый срок развертывания группировки – 2004 г.

В настоящее время все услуги системы M4 предоставляются с использованием спутников третьего поколения Inmarsat. Первоначально основным рынком для Inmarsat был морской и воздушный транспорт. Однако с 1993 г., после ввода в эксплуатацию нового поколения спутников и станций – Inmarsat-M, услуги этой системы стали широко применяться и на «сухопутном» рынке.

Inmarsat со своим широким спектром услуг и надежной глобальной связью имеет вполне устойчивые позиции на российском рынке и, видимо, еще долго будет их удерживать, даже в секторе персональной телефонии.

## Региональные системы связи

В настоящее время наряду с глобальными системами персональной спутниковой связи начинают все более активно развиваться и региональные системы. Уже начата опытная эксплуатация региональной системы ACeS, предназначенной для обслуживания Азиатско-Тихоокеанского региона. В стадии, близкой к завершению, находится и еще один проект – система Thuraya с зоной покрытия, которая включает 99 стран Европы, Северной и Центральной Африки, Среднего Востока, Центральной Азии и Индии. На покрываемой территории, простирающейся по долготе от – 20° з.д. до 100° в.д. и по широте от 20° ю.ш. до 60° с.ш., проживает около 40% мирового населения.

В России также планируется создание региональной системы «Зеркало-КР». Одним из важных преимуществ проекта региональной системы «Зеркало-КР» по сравнению с проектами систем глобальной спутниковой связи – существенно меньшая сложность и стоимость разработки.

Принципиально новым для мировой практики стало появление новых технологий, которые сделали возможным создание и развертывание в космосе многолучевых антенн с рефлектором больших размеров (диаметром 12 м и более). Сравнительные характеристики трех типов региональных систем приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Сравнительные характеристики трех систем – Thuraya, ACeS и «Зеркало-КР»

Характеристика	Региональная система		
	Thuraya	ACeS	«Зеркало-КР»
Страна-владелец ресурса	ОАЭ	Индонезия	Россия и страны СНГ
Тип спутника	ГСО	ГСО	ГСО
Планируемое число абонентов в системе	1 750 000	2 000 000	350 000
Стартовая масса КА, кг	5250	4400	2600
Срок активного существования КА (лет)	12-15	12	12
Число лучей на КА	250-300	140	30-40
Энергопотребление КА, Вт	13000	4000	5700-6300*
Средства вывода на орбиту	Ariane 5, Sea Launch	РН «Протон»	РН «Протон»
Тариф, долл./мин	Нет данных	1,0	0,4-0,6
Стоимость проекта, млн.долл	1000	900	360

\*) Для разных вариантов реализации полезной нагрузки

Стоимость создания региональных систем в 2-5 раз меньше, чем глобальных, т.е. является привлекательным фактором для инвесторов. Немаловажным является также тот факт, что для развертывания региональной сети на начальной стадии требуется минимальный состав оборудования как на Земле, так и в космосе – всего один КА и комплект наземного оборудования для контроля и управления работой системы. Архитектура и принципы построения различных систем во многом совпадают. Система включает три основных сегмента: космический, пользовательский и наземный сегмент управления. Орбитальная группировка состоит из 1-2 КА на геостационарной орбите. Управление работой системы осуществляется с помощью центральной земной станции, называемой также первичной станцией сопряжения (PGW – Primary Gateway). В наземный сегмент могут входить также независимые региональные станции сопряжения (СС) которые могут устанавливаться независимо в разных странах. Их использование позволит сделать тарифную политику более гибкой за счет сокращения объема международного трафика.

Особенности построения региональных систем рассмотрим на примере системы Thuraya, наиболее интересной для стран европейского континента.

Идея создания региональной системы связи для арабских и европейских стран возникла около 4-х лет назад. Для проведения работ в январе 1997 была учреждена компания Thuraya Satellite Communication Company (ОАЭ) со штаб-квартирой в г. Абу-Даби. Начальный капитал составлял 25 млн. долл., к августу 1997 г. он увеличился до 500 млн. долл. (взносы 17 компаний-акционеров), в декабре 1997 г. недостающие средства в 600 млн. долл были предоставлены банковскими структурами.

Контрактом с компанией Hughes Space and Communications предусмотрено изготовление двух КА, запуск первого из них, изготовление и монтаж наземных средств управления и изготовление 250 000 портативных терминалов.

На первом этапе система Thuraya строится на базе одного геостационарного КА, который планируется вывести в точку стояния 44° в.д. Запуск КА на орбиту запланирован на середину 2000 г. (Thuraya 1). В опытную эксплуатацию система будет введена к концу 2000 г. Второй спутник Thuraya 2 также планируется вывести на орбиту (точка стояния 25° в.д.), однако точные сроки запуска пока не определены.

Первичная станция PGW расположена в г. Sharjan (ОАЭ). В ее состав входят несколько специализированных земных станций с вынесенными антенными постами. Центр управления и контроля работоспособности спутника (SOC) обеспечивает обработку телеметрической информации, поступающей с КА по фидерным линиям в С-диапазоне, и контролирует правильность функционирования всех его подсистем. Для оценки характеристик распространения сигналов в L-диапазоне на линии «вверх» в состав первичной станции сопряжения введена земная станция-радиомаяк UBS (Uplink Beacon Station).

Пропускная способность на КА в L диапазоне составляет 13 750 симплексных каналов, что несколько больше, чем в системе аналогичного назначения ACeS (11 000 каналов).

Абонентские и фидерные линии работают в тех же диапазонах частот, что и в системах Inmarsat и ACeS. В L диапазоне (ширина полосы 24 МГц) организуется работа абонентских линий, а в С-диапазоне планируется обеспечить связь с помощью фидерных линий (табл. 2.2).

**Таблица 2.2. Диапазоны частот системы Thuraya**

Направление связи	Тип линии связи	
	Абонентская (L-диапазон)	Фидерная (С-диапазон)
Земля-Космос	1626,5-1660,5 МГц	6425 – 6725 МГц
Космос-Земля	1525 – 1559 МГц	3400 – 3625 МГц

По сравнению с другими ССС аналогичного назначения, в том числе и ACeS, компанией Hughes для системы Thuraya разработана уникальная антенная система (диаметр 12,25 м), обеспечивающая формирование 250-300 «узких» лучей. Такая возможность реализована за счет использования на борту цифровой диаграммообразующей схемы, позволяющей изменять конфигурацию лучей в зоне покрытия или создавать новые лучи. С помощью такой схемы может быть обеспечено гибкое перераспределение мощности между разными лучами, что позволяет сосредоточить до 20% общей излучаемой мощности в одном луче. Высокая спектральная эффективность системы достигается за счет 30-кратного повторного использования рабочих частот.

Бортовой ретранслятор Thuraya позволяет организовать прямую связь между мобильными абонентами, работающими через разные лучи. Это очень важно, так как позволяет избежать «двойного скачка», возникающего в случае, когда групповой поток вначале сбрасывается вниз, перекоммутируется на наземных станциях сопряжения и затем возвращается на борт КА. Что же касается организации связи мобильных абонентов с абонентами сетей общего пользования, то она осуществляется в режиме bent-pipe, т.е. вся обработка информации осуществляется на Земле.

Высокая энергетическая эффективность ретранслятора Thuraya (запас в абонентской линии достигает 10 дБ) реализована за счет использования не только «узких» лучей, но высокоэффективной системы электропитания с солнечными батареями, обеспечивающими выходную мощность, равную 13 кВт. Основные характеристики КА Thuraya приведены в табл. 2.3.

**Таблица 2.3. Основные характеристики КА Thuraya**

Параметр*	Значение	Примечание
Стартовая масса КА,	5250 кг	*) Основные технические характеристики КА, такие как масса, излучаемая мощность и напряжение солнечных батарей имеют максимальные значения в начальный момент работы на орбите и по мере увеличения срока службы эксплуатации деградируют. Их значения обычно характеризуют двумя параметрами: в начале эксплуатации на орбите (BOL) или в конце гарантированного ресурса работы (EOL).
Масса на орбите	3200 кг (BOL)	
Размеры антенны	12,25 м	
Число «узких» лучей в L диапазоне	250-300	
Размах панели солнечных батарей	34 м	
Мощность системы электропитания	13 кВт (BOL), 11 кВт (EOL)	
Емкость аккумуляторной батареи	250 Ач	

Персональная связь в системе Thuraya организуется по уже хорошо апробированной схеме. В тех районах, где существуют сотовые зоны покрытия, связь организуется через наземные сети, а за их пределами – в спутниковом режиме. Важным отличием от низкоорбитальных систем Iridium и Globalstar, которые вынуждены обеспечивать сопряжение с большим числом разнотипных станций, используемых в разных регионах мира (GSM, AMPS, TDMA, CDMA, PDC), является то, что региональная связь обеспечивается только в двух режимах – GSM/Thuraya.

В системе Thuraya предполагается реализован весь спектр стандартных GSM-услуг, включая передачу речи, данных и факсимильных сообщений со скоростью от 2,4 до 9,6 кбит/с. Планирует

ся также предоставление услуг по определению местоположения – одному из наиболее интенсивно развиваемых направлений связи в последние годы. Определение местоположения осуществляется с помощью GPS приемников с точностью 100 м.

Речевой терминал является двухрежимным и совместим с GSM. Качество речи соответствует средней экспертной оценке 3,4 по шкале MOS. Во всех режимах связи используются стандартные алгоритмы шифрования, используемые в GSM.

Базовым абонентским устройством в Thuraya является портативный терминал типа «телефонная трубка», который обеспечивает работу в двух режимах: непосредственно через спутник или наземную сеть GSM. В качестве антенны в терминале используется четырехзаходная спираль.

Электропитание портативного терминала осуществляется от ионно-литиевых батарей емкостью 650/1200 мАч. Время разговора в режиме спутниковой связи 2,4 ч (батарея 650 мАч) или 4 часа в случае использования батареи 1200 мАч. Время ожидания приема в режиме спутниковой связи равно 34,1 ч (650 мАч) и 63 ч (1200 мАч)

Портативные терминалы для системы Thuraya разработаны двумя изготовителями: Acsom и Hughes Network Systems. Их технические характеристики приведены в табл. 2.4.

**Таблица 2.4. Основные характеристики терминалов Thuraya**

Параметр	Значение
Метод доступа к КА	FDMA/TDMA
Скорость передачи в радиоканале	46,8 кбит/с
Число интервалов в кадре	8
Тип модуляции	$\pi/4$ QPSK
Полоса пропускания канала	27,7 кГц
Скорость передачи данных	2,4, 4,8 и 9,6 кбит/с
Стоимость терминала типа «телефонная трубка»	1500 долл

Двухмодовый портативный терминал GSM/Thuraya будет интегрирован в наземные и спутниковые службы связи, что позволит расширить границы местных телекоммуникационных компаний-операторов и обеспечит роуминг в широкой зоне обслуживания без перерывов связи или сбоев. По своему внешнему виду и дизайну терминалы практически не отличаются от обычных сотовых GSM-телефонов.

Мобильный терминал состоит из портативного терминала и набора дополнительных средств, обеспечивающих его работу в движении. Максимальная излучаемая мощность передатчика – 2 Вт, т.е. сходна с той, которая реализована в мобильных терминалах GSM. Полуфиксированный терминал (типа таксофона) также создается на базе портативного терминала и дополнительно содержит набор средств для его развертывания.

В последние годы в России установилась практика, когда отечественные операторы ССС все чаще прибегают к услугам зарубежных систем. В сетях фиксированной спутниковой связи – это обусловлено недостатком пропускной способности на отечественных КА. Что же касается персональной связи, то из-за отсутствия конкурентоспособных отечественных систем – это единственная возможность предоставлять подобного рода услуги. Непременным условием допуска зарубежных систем на отечественный рынок – создание на российской территории станций сопряжения и обеспечение их взаимодействия с существующими сетями общего пользования<sup>5</sup>. И хотя отдельные части территории России и стран СНГ попадают в основную зону покрытия систем AceS и Thuraya, вопрос об их использовании на российском рынке остается пока открытым. Прежде всего, такие системы не в полной мере учитывают особенности телекоммуникационной инфраструктуры России и не позволят обслужить одновременно всю территорию нашей страны от Калининграда до Камчатки. Для этого необходимо использовать, как минимум, два КА («западный»

<sup>5</sup> «О порядке регулирования допуска и использования на телекоммуникационном рынке России глобальных систем подвижной персональной спутниковой связи». Правительство РФ, Постановление № 180 от 16 февраля 1999 г.

и «восточный»). Кроме того, и это особенно важно, нашей стране нужна система, которая управлялась бы с российской территории и обслуживала бы как коммерческих, так и государственных пользователей.

Вместе с тем следует отметить, что создание региональных систем мобильной связи наиболее эффективно лишь на низких и средних широтах, где геостационарный КА виден с земных станций под сравнительно большими углами места. В России углы радиовидимости геостационарного КА существенно ниже, чем, например, в Индонезии или Объединенных Арабских Эмиратах, а следовательно, энергетические запасы будут ниже. Кроме того, система с КА на геостационарной орбите принципиально не сможет обслужить мобильных абонентов, находящихся на территории России, которая лежит выше 70-75° с.ш. На этих широтах наиболее эффективно использование систем с КА на низких и средних орбитах.

Предложенные тарифы в региональных системах несколько ниже, чем в глобальных системах персональной спутниковой связи – 1 долл. в минуту. Такой тариф уже действует в Азиатско-Тихоокеанском регионе, который обслуживается региональной системой ACeS. В системе Thuraya тарифы пока не объявлены, одна вряд ли следует ожидать, что они будут существенно ниже тех, которые установлены в ACeS. Несмотря на то, что пропускная способность на КА в Thuraya в 1,25 раза выше, чем в ACeS, однако и суммарная стоимость проекта также выше на 100 тыс. долл (см.табл. I), так что ожидать каких-либо существенных изменений в стоимости услуг не приходится. Что же касается эксплуатационных затрат, то они, как известно, в региональных системах значительно ниже, чем в глобальных сетях персональной связи.

Таким образом, региональные ССС становятся важным классом ССС, использующих спутники ГЕО. Новые технологии мультилучевых антенн и высокий уровень интеграции с наземными мобильными сетями делает эти системы весьма перспективными на рынке персональной спутниковой связи.

## 2.2. КОРПОРАТИВНЫЕ СЕТИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ VSAT

### 2.2.1. Рынок VSAT-сетей

Как показывает мировой опыт, наиболее перспективным направлением создания и развития корпоративных сетей является применение спутниковых систем, базирующихся на технологии VSAT (Very Small Aperture Terminal), т.е. малогабаритных спутниковых терминалов и антенн диаметром от 1,0 до 2,5 м.

Одной из основной причин отсутствия массового спроса на абонентское оборудование VSAT до недавнего времени была его высокая стоимость. Однако, за прошедшее десятилетие цены на VSAT-терминалы упали в 5–10 раз, особенно на модели, предназначенные для работы в сетях типа «звезда» в режиме многостанционного доступа с временным разделением каналов (TDMA). Вместе со снижением цен на VSAT-терминалы наметилась тенденция и снижения тарифов на услуги, которые в ближайшие годы могут составить 5-10 центов за минуту.

Таким образом, дорогостоящие магистральные системы типа «точка-точка», долгое время монополизировавшие спутниковые радиоресурсы, сегодня уступили место корпоративным сетям типа «точка-многоточка», состоящим обычно из мощной центральной станции, выполняющей роль концентратора-маршрутизатора, и набора периферийных станций типа VSAT.

В ближайшие годы прогнозируется бурный рост индустрии VSAT, что обусловлено рядом преимуществ этой технологии: относительно малым диаметром антенн, возможностью размещения VSAT-терминалов непосредственно в помещении пользователя, достаточно высокой скоростью передачи (до 2048 кбит/с) и возможностью гибкого увеличения скорости передачи информации путем повышения размеров антенны.

Этот сектор рынка спутниковой связи характеризуется высокой динамикой. Если в конце 1999 г. в мире было установлено около 300 тыс. приемопередающих терминалов VSAT, то к концу

2000 г. их число достигнет 500 тыс. Такие терминалы уже успешно функционируют более чем в 120 странах мира, обеспечивая трафик с суммарной пропускной способностью около 3 Гбит/с. Среднегодовые мировые темпы роста количества VSAT-терминалов составляет примерно 14-18%, а прогнозы показывают, что рынок VSAT еще далек от насыщения даже в развитых странах, таких как США, Великобритания и Япония.

Выделенные сети на базе VSAT-терминалов способны предоставить своим удаленным пользователям широкий спектр услуг, включая высококачественную телефонную и факсимильную связь, передачу данных с различной скоростью, организацию видеоконференций и распределение телепрограмм.

VSAT-сети телефонной и факсимильной связи могут иметь различную топологию, начиная от простейшей двухточечной до полнодоступной схемы типа «каждый-с-каждым». Выделение спутникового канала может быть организовано по-разному: в постоянное использование или по требованию. Для передачи речи в этих сетях применяется несколько типов речевых кодеков, обеспечивающие необходимые скорости передачи: 64 кбит/с – ИКМ (G.711), 32 кбит/с – ADPCM (G.721), 8-16 кбит/с – RELP, CELP и др. Разнообразны виды аналоговых интерфейсов: 2-проводной Loop Start, 4-проводной E&M или DTMF.

При создании сетей корпоративной связи в сельской местности или при подключении удаленных станций к существующим сетям, в том числе к коммутируемой сети общего пользования, данный вид связи является весьма эффективным. Прямое соединение с VSAT-станцией увеличивает оперативность доступа и исключает расходы на «последнюю милю».

Современное VSAT-оборудование обеспечивает возможность типового подключения к наземным сетям ISDN. Типовая скорость передачи данных при таком соединении (один интерфейс BRI) – 128 (144) кбит/с. Использование современных алгоритмов сжатия позволяет «упаковать» речевой канал в полосу пропускания 6,4 или 4,8 кбит/с, благодаря чему пропускная способность спутникового канала при передаче речи повышается в 10-12 раз.

Передача среднескоростных и высокоскоростных потоков информации по каналам VSAT обеспечивается с вероятностью ошибки не хуже  $10^{-7}$ . VSAT-терминалы поддерживают практически все типовые сетевые интерфейсы: RS 232, RS 449/422, Ethernet (IEEE 802.3), Token Ring (IEEE 802.5), а потому могут использоваться для объединения локальных сетей на базе наиболее популярных протоколов IP, IPX, Net-BIOS. Кроме того, применение многопротокольной среды и технологии frame relay позволяет создавать многопрофильные сети (с гибкой сменой профиля обслуживания), в которых трафик может изменяться в широких пределах (от 64 кбит/с до 8,448 Мбит/с).

Основными потребителями таких услуг высокоскоростной передачи данных и мультимедиа являются банки и страховые компании, средства массовой информации, государственные учреждения, промышленные компании и операторы связи.

Технология VSAT допускает также создание корпоративных многоцелевых сетей пакетной коммутации с большим числом удаленных станций. Скорость передачи в таких сетях обычно не превышает 64 кбит/с, а передача данных осуществляется с использованием стандартных протоколов X.25, X.3/X.28, LAP-B, HDLC, SNA/SDLC. Эти сети с множеством узлов характеризуются асимметричным трафиком с лавинообразной или непредсказуемой нагрузкой. Однако VSAT-технология позволяет организовать постоянный или дополнительный канал «по требованию» и обеспечить введение приоритетов для разных категорий трафика. В качестве примера можно назвать сети бензозаправочных станций с проверкой кредитных карточек в режиме реального времени, сети контроля за банкоматами, сети сбора и обработки телеметрической и метеорологической информации и т. п.

Для предоставления услуг широковещания чаще всего используются VSAT-сети многоточечной топологии, используемые для одновременного обслуживания многих объектов в режиме реального времени. Пропускная способность вещательного канала может варьироваться от низкой (2,4–64 кбит/с) до весьма высокой скорости (2,048–8,448 Мбит/с). В качестве абонентского оборудования используются малые VSAT-терминалы с диаметром антенны до 1 м. Стандартные интерфейсы – RS 232, RS 449/422, V.35.

Сети распределенного вещания обычно создаются организациями с разветвленной структурой филиалов или компаниями, занимающимися массовым обслуживанием, например информационными агентствами, торговыми фирмами, имеющими множество территориально разнесенных магазинов, пейджинговыми компаниями. Удаленные сети могут быть объединены в подсети, принимающие только какой-то определенный поток информации.

Стремительный рост популярности Интернета и бурное развитие сетей VSAT дает основание говорить о слиянии в перспективе двух этих технологий в одну. Сегодня через геостационарный КА можно напрямую подключить сервер корпоративной сети к шлюзам Интернета в США, Европе, Австралии и получить полный пакет услуг широкополосной связи по выбранному каналу – от 19,2 кбит/с до 8,448 Мбит/с. Доступ к Интернету может быть организован как по асимметричной, так и по симметричной схеме. Интерфейс передачи данных – RS 232, Ethernet (IEEE 802.3) или Token Ring (IEEE 802.5).

Обычно для спутникового доступа к Интернету выбирается асимметричная схема, при которой запрос осуществляется через телефонную сеть общего пользования (ТФОП) или по каналам других низкоскоростных сетей, а ответная информация передается обычно по широкополосному каналу с пропускной способностью до 2 Мбит/с. При таком подходе коэффициент асимметрии может составлять от 1:10 до 1:100.

### 2.2.2. Структура космического сегмента

Одним из главных факторов, сдерживающих сегодня в России развитие корпоративных VSAT-сетей, является состояние отечественной орбитальной группировки (ОГ). Дело даже не в том, что большая часть КА «Горизонт», составляющая ее основу, уже давно выработала свой ресурс, и число стволов на наших КА существенно меньше, чем на аналогичных спутниках западного производства (табл. 2.5). Главная проблема заключается в низкой энерговооруженности российских КА. Действующая российская ОГ неэффективна для создания VSAT-сетей с большим числом терминалов, так как не в состоянии поддерживать работу с малыми терминалами VSAT с небольшими антеннами. Для работы через КА «Горизонт» необходимо использовать земные станции с диаметром антенн 2,5-4 м, а обеспечиваемая ими скорость передачи составляет от 9,6 до 128 кбит/с.

**Таблица 2.5. Характеристики спутниковых ретрансляторов, применимых для сетей VSAT на территории РФ**

Спутник	Число	Полоса частот, МГц	Радиоресурсы стволов	Сроки разверты- вания, годы	Владелец спут- никового ресурса
	стволов				
	С	Ku			
«Горизонт»	6	1	6×36+40	1979	ГПКС
«Поток»	2	–	20+10	1992	НПАО «Элас»
«Экспресс»	12	2	14×36	1995	ГПКС
«Экспресс-А»	12	5	17×36	2000	ГПКС
«Экспресс-АЯ»	12	5 (10)	17(22)×36	2000-2001	ГПКС
«Экспресс-К1»	25	12	37×36	2001	ГПКС
«Экспресс-К2/К3»	32	20	52×36	2002-2003	ГПКС
«Ямал-100»	10	–	10×36	2000	АО «Газком»
«Ямал-2002»	31	16	47×36	2002	АО «Газком»
«Ямал-300»	31	20	51×36	2003	АО «Газком»
LMP-1	28	16	42×36	1999	Intersputnik
Eutelsat-2F4	–	16	9×36+7×72	1992	Eutelsat
Intelsat-604	38	10	12×36+4×72+2×150	1990	Intelsat
Intelsat-704	26	10 (14)	10×36+22×72+8×112	1995	Intelsat
Intelsat-804	38	6	36 и 72 (С) 72 и 112 (Ku)	1997	Intelsat



Другой существенный недостаток российских КА – недостаточно высокая точность удержания «Горизонтов» на орбите. В результате зарубежные компании вынуждены дооснащать терминалы VSAT для работы с отечественными КА специальными системами наведения антенны, что естественно удорожает их стоимость. Так, например, поступают такие зарубежные поставщики, как Hughes и NEC. Что же касается мирового парка станций VSAT, не работающих с КА «Горизонт», то они не требуют систем слежения, поскольку стандартная нестабильность КА на геостационарной орбите сегодня не превышает  $\pm 0,1^\circ$ .

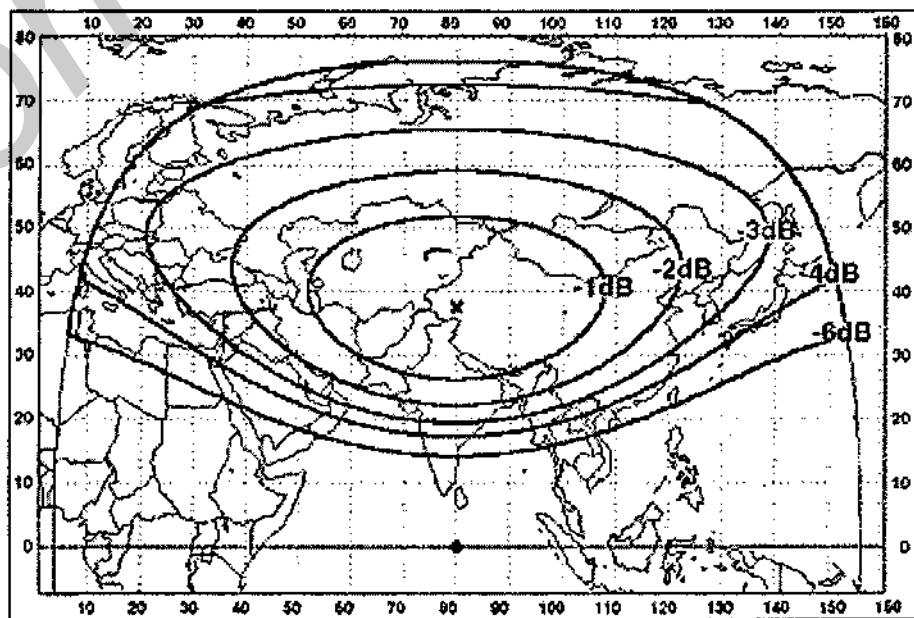
Отечественная орбитальная группировка отличается от любой зарубежной еще и тем, что наибольшее число транспондеров КА работают в С-диапазоне, причем такая ситуация сохранится как минимум до 2005 г. (табл. 2.6). Зарубежные VSAT-сети в основном используют Ku и Ka диапазоны частот. А ведь работа в более высокочастотных диапазонах означает переход к VSAT-терминалам с меньшей массой и габаритами, и самое главное, – с меньшими размерами антенн.

**Таблица 2.6. Прогноз распределения транспондеров**

Диапазоны частот	Число транспондеров (в %)			
	В мире		В России	
	1997	2005	1997	2005
С	40	25	90	63
Ku	58	50	10	37
Ka	2	25	–	–

Слабым утешением для российских операторов служит тот факт, что в С-диапазоне обеспечивается более устойчивое прохождение радиоволн на полярных широтах. Напомним, что зона обслуживания геостационарных спутников в России для VSAT-терминалов ограничена широтой  $70-80^\circ$  с.ш. из-за низких углов радиовидимости КА (рис. 2.1). Что же касается высокоширотных районов, то в них более эффективна организация связи через КА, расположенные на высокоэллиптических или низких приполярных орбитах.

**Рис. 2.1.**  
Зона обслуживания КА «Экспресс-б» (ствол 7)



В северных и северо-восточных регионах России спутниковая связь имеет первоочередное значение. В настоящее время НПО «Кросна» производит в этих регионах замену устаревшего оборудования тропосферных радиорелейных линий на VSAT-станции, которые будут работать

через КА «Горизонт». В условиях острого дефицита спутникового ресурса российские операторы вынуждены либо использовать недостаточно эффективные для создания VSAT-сетей КА отечественного производства, либо арендовать частотный ресурс на зарубежных КА, способных обслуживать территорию России (в основном на спутниках, принадлежащих международным организациям Intelsat и Eutelsat). Однако аренда стволов стоит недешево и многие крупные российские компании пытаются создавать собственные космические сегменты. К их числу относятся РАО «Газпром» (КА «Ямал»), Центробанк РФ (КА «Купон») и др.

Следует отметить, что создать российские конкурентоспособные спутники полностью на отечественной элементной базе в настоящее время невозможно. Поэтому доведение характеристик отечественных КА «до мирового уровня» осуществляется путем сотрудничества с ведущими зарубежными космическими фирмами. Активную работу в этом направлении проводит ГП «Космическая связь», которое организовало производство спутников «Экспресс-А» с ретрансляторами французской компании Alcatel. В 1999 г. к российской группировке присоединился спутник «Ямал-100» с десятью транспондерами С-диапазона на борту. Аналитики российского рынка ССС утверждают, что лишь после запуска КА «Экспресс-К», LMI-2 и «Ямал-200» станет возможным создание полноценных сетей VSAT с малыми размерами антенн.

### 2.2.3. Принципы организации связи

В VSAT-сетях вся зона обслуживания на поверхности Земли обычно делится на узкие парциальные области, каждая из которых образована одним узким лучом. На территории России, где инфраструктура систем общего пользования развита довольно слабо (или полностью отсутствует) прогнозируемая нагрузка на спутниковую сеть может быть достаточно высока. С целью снижения общего уровня нагрузки в сети VSAT наряду с абонентскими каналами с низким уровнем трафика обычно организуется несколько направлений связи с большим количеством групповых трактов реализуемых на закрепленных спутниковых каналах PAMA (Permanently Assignment Multiple Access), имеющих различную пропускную способность.

### Технологии доступа

В сетях VSAT разных технологий используются различные базовые технологии доступа: для двухточечной схемы – один канал на несущую – SCPC (Single Channel Per Carrier), для схем «каждый-с-каждым» – многостанционный доступ по требованию – DAMA (Demand Assignment Multiple Access) и для «звезды» – многостанционный доступ с временным разделением каналов – TDMA.

SCPC позволяет обеспечить прямую дуплексную связь между двумя удаленными пунктами и лучше всего подходит для создания небольших корпоративных сетей с малым числом ЗС (15-20) обычно расположенных в труднодоступных регионах. Сеть отличается сравнительно недорогим оборудованием, однако в ней невозможно организовать взаимодействие с локальными сетями. Еще один существенный недостаток технологии SCPC – неэффективное использование спутникового ресурса.

Технология доступа с предоставлением каналов по требованию (DAMA) обеспечивает прямые соединения между любыми точками сети. Такая полностью доступная структура позволяет устанавливать связь с минимальной задержкой, без повторного приема информации на центральной станции, так называемую, связь за один скачок. Данная технология доступа оптимальна при создании телефонных сетей в удаленных и труднодоступных районах, где доля трафика на направлениях между абонентами выше, чем в направлении центральной станции. Используя DAMA, можно организовать передачу данных и взаимодействие с локальными сетями, но эффективность такого взаимодействия не очень высока. Сети на основе технологии DAMA обладают повышенной «живучестью» и гибкостью, однако стоимость абонентских VSAT-терминалов для них значительно выше, чем для сетей на базе SCPC.

Сети с топологией «звезда», основанные на технологии TDMA, применяются наиболее часто. Их сфера – многоточечные сети передачи данных с большим числом удаленных терминалов (не имеющих взаимного трафика) и центральной станцией (телепортом). Типичный пример – сеть по продаже авиабилетов. Данное техническое решение для VSAT-сети позволяет использовать на центральной станции (Hub) антенны большого диаметра и мощные передатчики, а для абонентских периферийных терминалов – относительно дешевые VSAT-станции с малыми антеннами без потерь скорости передачи (32-2048 кбит/с).

В сетях VSAT с централизованным управлением, создаваемых крупными операторами связи, часто применяются так называемые комбинированные сети на основе топологии «звезда», в которых существуют собственные сети типа «звезда» или «каждый-с-каждым», организованные на базе крупных периферийных станций.

#### 2.2.4. Корпоративные VSAT-сети России [42]

Новые российские коммерческие операторы оперативно реагируют на требования рынка. В результате в России за относительно короткое время появилось несколько компаний, предлагающих отечественному потребителю современные телекоммуникационные услуги VSAT-сетей. Основным фактором, сдерживающим развитие VSAT-сетей в нашей стране, являются высокая стоимость оборудования и юридического оформления ЗС и, как следствие, очень высокие тарифы. Поэтому разворачивать собственные сети могут позволить себе в первую очередь лишь крупные ведомства или компании, такие как ГП «Космическая связь», РАО «Газпром», ЦБ РФ.

##### Сети ГП «Космическая связь» (ГПКС)

В России наиболее известным разработчиком сетей, базирующихся на VSAT-оборудовании семейства NEXTAR компании NEC, является ГПКС. Предприятие разворачивает сети двух типов – NEXTAR-AA/TDMA и NEXTAR-BOD (табл. 2.7), основное различие между которыми заключается в принципе разделения ресурса ретранслятора.

Таблица 2.7. Характеристики сетей на базе ЗС NEXTAR-AA/TDMA и NEXTAR-BOD

Характеристика	NEXTAR-AA/TDMA	NEXTAR-BOD
Топология сети	Звезда	Звезда или полносвязная
Тип канала	Интерактивный	Прозрачный
Режим организации связи	Усовершен. AA/TDMA	SCPC/MCPC
Метод доступа	AA/TDMA/DAMA	PAMA/DAMA
Скорость передачи, кбит/с	64/128	19,2-2048
Интерфейс пользователя	RS-232C, V.35, EIA-530, IEEE 802.3	RS-232C, V.35 RS-449/422, G.703
Метод кодирования речи	—	—

Для организации связи используются геостационарные КА (в основном – «Экспресс-б», ствол 7, расположенный в точке 80° в. д.). Станции VSAT могут быть установлены практически в любом месте на территории России и стран СНГ (рис. 2.1).

Топология NEXTAR-AA/TDMA и NEXTAR-BOD во многом схожа: имеется одна центральная и большое число периферийных (абонентских) станций. От центральной станции к абонентской групповой поток передается в режиме временного уплотнения. В обратном направлении связь реализуется по различным протоколам доступа (AA/TDMA, RA/TDMA, DA/TDMA).

По протоколу AA/TDMA (Adaptive Assignment TDMA) осуществляется эффективный доступ группы VSAT-станций к относительно небольшому числу каналов в едином потоке данных. Эф-

эффективность обеспечивается за счет адаптивного выбора метода доступа. Для передачи относительно коротких сообщений используется метод случайного доступа RA/TDMA (Random Access TDMA). При необходимости передавать большие массивы данных наиболее эффективен протокол доступа с предоставлением канала по требованию DA/TDMA (Demand Access TDMA).

Посредством многостанционного доступа в сети VSAT NEXTAR-BOD<sup>6</sup> реализуется связь по выбранной топологической схеме – «звезда», «каждый-с-каждым» (DAMA) или двухточечной (SCPC). Технология NEXTAR-BOD позволяет эффективно управлять спутниковыми каналами поддерживающими режим DAMA непосредственно на центральной станции управления (Hub).

Однако VSAT-терминалы сети NEXTAR-BOD работают не только с каналами DAMA. При начальной установке любому терминалу можно присвоить одну из двух рабочих конфигураций: с закрепленными каналами (PAMA) или с предоставлением их по требованию (DAMA).

Система NEXTAR-BOD способна поддерживать сети, работающие через разные стволы разных спутников. Это полезное свойство, благодаря которому можно в пределах одного ретранслятора поделить общий диапазон частот на отдельные частотные участки таким образом, чтобы использовать в конкретной VSAT-сети определенную полосу частот, или сконфигурировать несколько сетей, работающих в различных полосах частот одного ретранслятора.

ГПКС обеспечивает предоставление каналов для обмена речевыми сообщениями и факсами как в пределах корпоративной сети VSAT, так и с выходом в междугородную, международную и московскую городскую телефонные сети через специализированные коммутаторы.

### Тарифная политика

Мировой рынок связи, в том числе и спутниковой, относится к областям бизнеса с высокой нормой прибыли и характеризуется значительными темпами роста. Но предоставлять услуги спутниковой связи гораздо сложнее, чем просто сдавать в аренду стволы КА. Поэтому именно аренда ретрансляторов получила широкое распространение во всем мире. Средняя стоимость годовой аренды спутникового ресурса с шириной полосы частот 36 МГц составляет около 1000 долл. и зависит от режима его использования (табл. 2.8). Международные компании, владеющие КА с многоствольными ретрансляторами, такие как Intelsat и Eutelsat, могут не только сдавать стволы в аренду, но и продавать их, т. е. сдавать в аренду на весь срок активного существования КА. Однако такие виды услуг для многих российских операторов достаточно дороги.

**Таблица 2.8. Стоимость годовой аренды стволов спутниковых ретрансляторов (по данным ГП «Космическая связь»)**

Ретранслятор	Тип луча или полоса частот	Стоимость аренды, млн долл.	
		C	Ku
«Горизонт»	Глобальный луч (17x17)	0,85	—
«Экспресс»	Полуглобальный (9x18)	0,945	—
	Зоновый (6x12 / 5x5)	1,05	1,1
Intelsat	Полоса частот – 36 МГц	1,2 (6,4)*	—
	Полоса частот – 72 МГц	1,8 (9,4)*	2,7 (14,1)
	Полоса частот – 150 МГц	—	5,0 (26,5)
«Интерспутник»	Полоса частот – 36 МГц	2,1	2,8

Примечание. В скобках указана стоимость покупки ствола на весь срок активного существования спутника.

ГП «Космическая связь» предлагает несколько сценариев использования спутниковых ресурсов. В основу тарифной сетки положена зависимость стоимости услуг от скорости и режимов информационного обмена. Ежемесячная плата за подключение или переключение каждого канала составляет 1500 долл. Наиболее высокие тарифные ставки за использование ЗС на постоянной ос-

<sup>6</sup> BOD – Bandwidth On Demand (предоставление полосы частот по требованию).

нове (табл.2.9) для режима с закреплением каналов (РАМА). При предоставлении канала связи по расписанию или по требованию (ДАМА) стоимость услуг определяется по формуле:

$$ДАМА \text{ (долл./мин)} = РАМА \text{ (долл./мес)} / T,$$

где  $T$  – временной ресурс в одном месяце.

Несложные подсчеты показывают, что тарифы на телефонную связь в подсети NEXSTAR-BOD (ДАМА) составляют 0,15 долл./мин при использовании речевого кодека со скоростью 16 кбит/с и 0,2 долл./мин при скорости в канале 32 кбит/с.

Такие расценки приближаются к общемировым, которые, по данным аналитиков VSAT Форума ([www.gvf.org](http://www.gvf.org)), составляют от 0,03 до 0,17 долл. за минуту.

**Таблица 2.9. Тарифы для VSAT-сети ГПКС, долл./мес (на начало 2000 г.)**

Тип арендуемого канала	Скорость передачи в канале, кбит/с				
	9,6	64	512	2048	
Канал земной станции (на постоянной основе)	1100	2000	5300	8600	
Канал ЗС РАМА– СICh (канал передачи данных)	374	680	1802	2924	
Симплексный канал ретранслятора в режиме BOD РАМА при диаметре антенны, м	1,3	300	1128	8466	23 277
	1,8	225	846	6350	17 458
	2,4	195	733	5503	15 130
	3,5	114	429	3217	8845
	4,8	95	355	2667	7332
	12	75	282	2117	5819

Тарифы на пакетную передачу данных в подсети VSAT-AA/TDMA (протоколы IP и X.25) зависят от схемы организации связи. Наиболее высока абонентная плата в полностью выделенной для заказчика VSAT-сети с одним контроллером доступа – 5598 долл./мес. (за один канал 128 кбит/с – Hub-VSAT и три канала по 64 кбит/с – VSAT-Hub).

Значительно более низкие расценки установлены при совместном использовании каналов AA/TDMA нескольких сетей. В этом случае абонентная плата составляет 575 долл./мес.

### Корпоративная сеть «Ямал»

Сегодня РАО «Газпром» владеет сетью газопроводов протяженностью более 140 тыс. км, значительная часть которых расположена в местах полного отсутствия проводной наземной связи. Работы по созданию системы фиксированной спутниковой связи «Ямал», предназначенной для обеспечения современными видами связи предприятий российской газовой промышленности, ведется РКК «Энергия» по заказу АО «Газком» с 1993 г. С этой задачей создания ССС РАО «Газпром» сопряжена еще одна – контроль за состоянием экологически опасных объектов. Структурная схема сети «Ямал» показана на рис. 2.2.

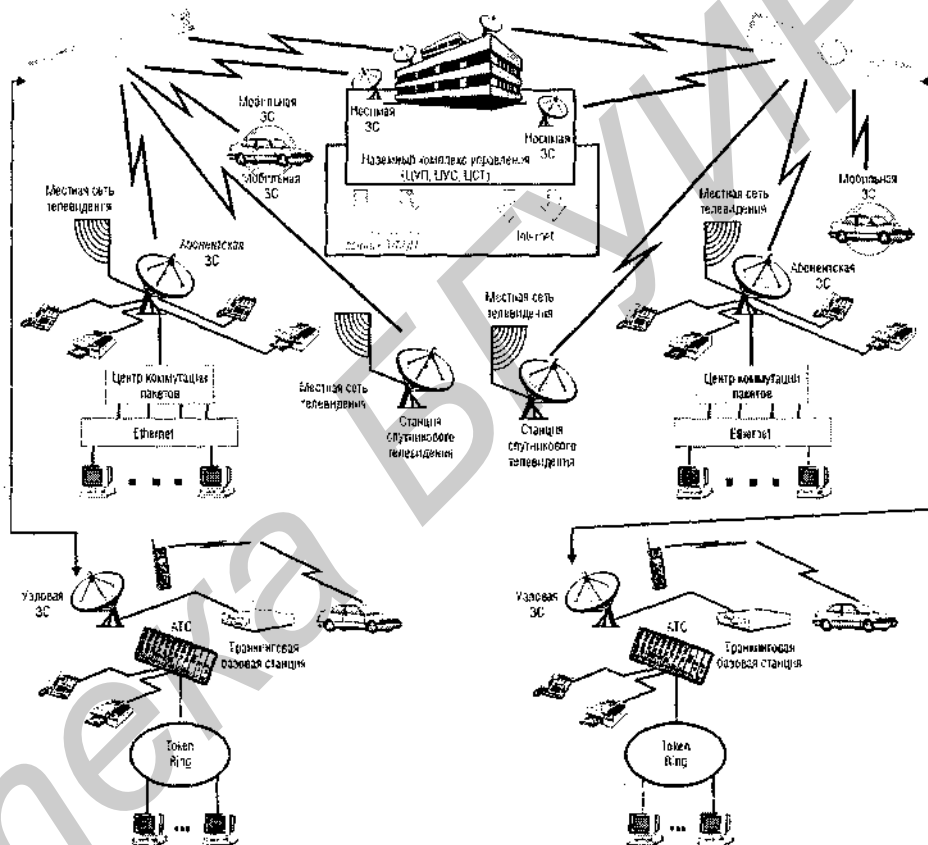
С самого начала основные усилия разработчиков были направлены на создание собственного космического сегмента и развертывание на его базе корпоративных сетей связи для отделений «Газпрома». Архитектура сети из-за большой рассредоточенности объектов ориентирована главным образом на технологию ДАМА (для всех объектов сети) и РАМА на отдельных направлениях, характеризующихся более высоким трафиком.

Земной сегмент «Ямала» включает три типа ЗС, которые имеют возможность наращивания числа каналов (без отключения рабочих) и оснащены автоматическим управлением:

- узловые станции сопряжения с пропускной способностью до 8448 кбит/с, мощностью передатчиков 125-700 Вт и диаметром антенн 4,5-7 м;
- абонентские станции VSAT, обеспечивающие скорость передачи до 2048 кбит/с и имеющие передатчики мощностью 2-40 Вт и антенны диаметром 2,5-3,7 м;

– малогабаритные возимые, стационарные и носимые станции с передатчиками мощностью до 5 Вт и антеннами диаметром 0,6-1,5 м, позволяющие передавать данные со скоростью до 64 кбит/с.

**Рис. 2.2.**  
Структурная схема  
сети «Ямал»



Общее число земных станций – около 60. Работа с КА «Ямал-100» (вместо устаревшего К «Горизонт» (40° в. д.) позволит в 4-5 раз увеличить пропускную способность наземного сегмента и вновь вводимые станции оснастить более компактными антеннами диаметром 1,5 м и менее.

Ретранслятор КА «Ямал» обеспечивает обмен данными с ЗС, расположенными в девяти зонах с помощью девяти лучей. Переключение стволов с одного луча на другой производится по командам с Земли. Формирование лучей выполняется на этапе создания КА. Адаптация к возможным изменениям трафика производится в процессе эксплуатации путем перекоммутации каналов по лучам.

В ССС «Ямал» реализована транспортная среда, объединяющая в единое информационное пространство существующие выделенные сети передачи данных предприятий газовой промышленности и сеть аварийной радиосвязи. Сеть передачи данных АСУ связывает вычислительные комплексы РАО «Газпром» в единую сеть («центр-регион» и «регион-регион»), а также обеспечивает связь регионов с сетями передачи данных (СПД) России и международными сетями (рис. 2.3).

Используемое в ССС «Ямал» каналообразующее оборудование позволяет организовать как синхронные (скорость передачи 9,6-2048 кбит/с), так и асинхронные (0,075-19,2 кбит/с) цифровые каналы.

Основой аппаратного обеспечения СПД являются многофункциональные мультиплексоры CX-1000 фирмы Memotec (Канада), мосты-маршрутизаторы Vanguard 300 и модемное оборудование компании Motorola, обеспечивающее подключение пользователей по выделенным или коммутируемым физическим линиям связи. Характеристики оборудования достаточны для того, чтобы создать на базе первичных спутниковых каналов связи вторичную сеть, реализующую обмен телефонными/факсимильными сообщениями и передачу телеметрической информации с датчиков. Мультиплексор CX 1000 служит основой для организации центров коммутации пакетов и

гистральных каналов, использующих для передачи информации стандарты X.25 и frame relay. Эти центры коммутации пакетов включены в состав оборудования узловых ЗС. Абонентские ЗС оснащены устройствами доступа к сети, роль которых выполняют мосты-маршрутизаторы Vanguard 300.

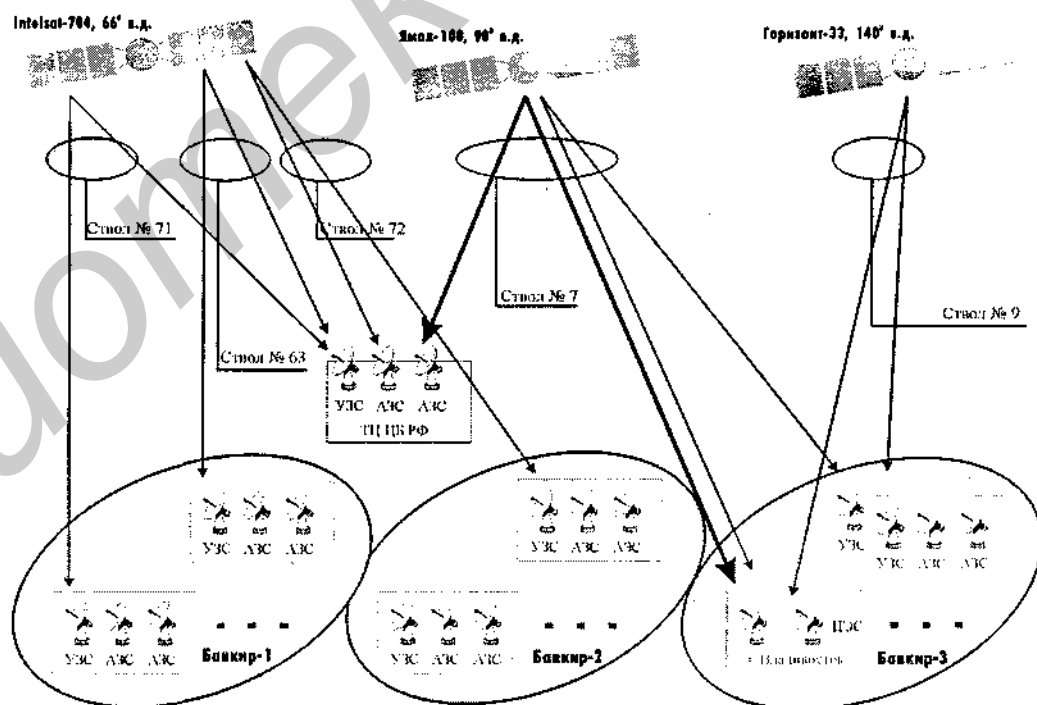
Развертывание СПД в полном масштабе позволит создать транспортную среду для разрабатываемых в АО «Газком» систем экологического мониторинга, управления буровыми, контроля и управления электроснабжением, сбора геофизической информации.

### Сеть Центрального Банка РФ

Несоответствие инфраструктуры первичных наземных сетей на районном уровне высоким требованиям к надежности и достоверности передачи информации по каналам frame relay не позволяет строить сеть Центрального Банка РФ с использованием только магистральных каналов ВОЛС и оборудования существующих наземных сетей. Поэтому было принято решение о создании банковской ССС «Банкир» на основе цифровых спутниковых каналов со скоростью передачи от 64 до 512 кбит/с. Многоуровневая архитектура сети объединяет три выделенные ССС, которые строятся на базе единого принципа, но имеют различную техническую реализацию (рис. 2.3.):

- «Банкир-1» – строится на основе ЗС японской фирмы NEC (Ku-диапазон) и развертывается в Северо-Западном, Волго-Вятском, Поволжском, Сибирском регионах;
- «Банкир-2» на базе земных станций «Стела» (Ku-диапазон) отечественного производства – охватит Центральный, Центрально-Черноземный, Северо-Кавказкий и Уральский регионы.
- «Банкир-3» – будет работать на ЗС (С-диапазон) с VSAT-терминалом фирмы NEC и антенной системой НПО ПМ; ориентирована на Дальний Восток.

**Рис. 2.3.**  
Структурная  
схема сети  
ЦБ РФ



Основными пользователями ССС ЦБ РФ являются Главный вычислительный центр (ГВЦ) Банка РФ, 78 Главных управлений ЦБ РФ и Национальных Банков республик и 1096 расчетно-кассовых центров. Общая емкость сети – около 1200 ЗС. Число ЗС трех перечисленных выделенных сетей соотносится примерно как 6:5:1.

Первоначально предполагалось организовать связь через два КА отечественного производства «Кулон», первый из которых был выведен на орбиту в конце 1997 г. Однако отказ первого КА

после четырех месяцев работы (сбой в системе частотообразования) радикально изменил ситуацию. ЦБ РФ решил приостановить работы по разработке собственных КА и арендовать частотный ресурс на других спутниках (табл. 2.10). В настоящее время заключено соглашение с международной организацией Intelsat на предоставление частотной емкости КА Intelsat-704 (три ствола) для сетей «Банкир-1» и «Банкир-2», а частотный ресурс для сети «Банкир-3» арендуется на отечественных КА «Горизонт-33» и «Ямал-100».

**Таблица 2.10. Основные характеристики КА, арендуемых ЦБ РФ**

Тип арендуемого КА	Типы арендуемых КА				
	Intelsat-704			«Ямал-100»	«Горизонт-33»
Точка стояния	66° в. д.			90° в. д.	140° в. д.
Диапазон частот	Ku	Ku	Ku	C	C
Номера стволов	63	71	72	7	9
Полоса ствола, МГц	45	45	72	16	19
Число обслуживаемых ЗС	622		442	101	

Управление банковской сетью будет осуществляться с помощью двух центральных ЗС (ЦЗС): общей ЦЗС сетей «Банкир-1» и «Банкир-2» (ТЦ Нудоль) и ЦЗС сети «Банкир-3» (Владивосток), который связан с ГВЦ по магистральному каналу со скоростью 512 кбит/с (рис. 2.3).

ССС «Банкир» предоставляет следующие услуги: передача данных по протоколам frame relay и X.25; телефонная связь через учрежденческие АТС; проведение видеоконференций.

Передача данных (электронные платежи) осуществляется через спутник: на магистральном уровне (между ЦЗС и УЗС) – каналы FDMA/SCPC/PAMA (скорость 256 кбит/с), на региональном уровне (между УЗС-АЗС) – каналы FDMA/SCPC/PAMA (скорость 64 кбит/с) и FDMA/TDM FDMA/TDMA (скорость 128 и 64 кбит/с). Для передачи речи используется спутниковый канал FDMA/SCPC/DAMA (скорость 16 кбит/с).

### **Сеть ЗАО «Московский Телепорт»**

Компания ЗАО «Московский Телепорт» приступила к созданию и обслуживанию VSAT-сетей в интересах корпоративных пользователей России в 1997 г. после подписания договора с фирмой DeTeSat – дочерним предприятием Deutsche Telekom AG (Германия). Итогом их сотрудничества стал ввод в эксплуатацию в 1998 г. комплекса технических средств, включающих 100 VSAT станций и центра управления (диаметр антенны 7 м) в Медвежьих озерах (недалеко от Москвы).

Распределительная спутниковая телерадиовещательная сеть недавно была развернута в Алтайском крае. Технической основой ее построения является спутник NSS-703 (луч № 2) в точке стояния 57° в. д., принадлежащий компании New Skies Satellite. С целью экономии ресурса (пропускной способности) спутникового ретранслятора при обеспечении высокого качества распределения теле- и радиопрограмм и возможности развития ТВ-трафика в системе был использован телевизионный стандарт MPEG-2/DVB с эффективной цифровой компрессией.

Услуга по организации спутникового канала для передачи теле- и радиопрограмм предоставляется компанией «Московский Телепорт», которая также поставила оборудование центральной земной станции (ЦЗС). Поставщиком оборудования цифровой компрессии телевизионного сигнала стандарта MPEG-2/DVB является компания Philips.

Данная сеть способна предоставлять и дополнительные услуги, такие как организация сбора и распространения информации за пределами края (спутник NSS-703 хорошо покрывает центральную часть России, включая Москву, а также ряд стран СНГ), трансляцию в прямом эфире, проведение теле- и радиомостов и телеконференций, а также обеспечивать передачу служебной информации. В настоящее время сеть состоит из 24 передающих ЗС. В 2000 г. предполагается расширить их число до 210.



Основные характеристики услуг сети ЗАО «Московский Телепорт» приведены в табл. 2.11. Услуги передачи данных предоставляются с использованием антенн диаметром 0,9 м в центральных районах России и 1,8 м – в районе Урала. Тарифы компании – от 7 до 16 центов за 1 Мбайт (в зависимости от тарифного плана). «Московский Телепорт» предлагает также оборудование спутниковой связи в аренду (новая услуга для российского рынка), при этом ежемесячная плата при контракте на три года составит около 90 долл.

**Таблица 2.11. Основные характеристики услуг сети «Московский Телепорт»**

Тип услуги	Топология	Скорость передачи, кбит/с	Интерфейсы
T-SkyNet Cast	«Точка–многоточка»	2,4-8448	RS232, RS449/422, V35
T-SkyNet Flex	Любая	32,0-2048	RS449/422, V35, X.21
T-SkyNet IP	«Точка–точка», полно-смешанная, звездообразная	19,0-8448	Ethernet, Token Ring, RS232, RS449/422, V35
T-SkyNet ISDN	Звезда, полно- и частичносмешанная	128 или 160	ISDN BRI (RJ45), PRI
T-SkyNet LAN	«Точка–точка», полносмешанная	9,6-2048	Ethernet, Token Ring
T-SkyNet Line	«Точка–точка», звезда	32-8448	RS232, RS449/422, V35
T-SkyNet Packet	Звезда, частичносмешанная	19,2 (асинхрон.); 64 (синхрон.)	RS232, RS449/422, V35
T-SkyNet Phone	«Точка–точка», звезда, смешанная	8-32	2-проводной Loop Start, 4-проводной E&M, импульсные или DTMF, ISDN BRI, E1 G.703, PCM G711/712
T-SkyNet Relay	Полно- и частичносмешанная	32-512	RS449/422, V35, V.11, X.21 2-проводной Loop Start, 4-проводной E&M

Кроме перечисленных ССС на базе технологии VSAT в настоящее время развернуто еще несколько подобных сетей, предназначенных для передачи речи и данных. В топливно-энергетическом комплексе эксплуатируются VSAT-сети, созданные ОАО «Связьтранснефть» (40 ЗС) и ЗАО «Уголь-Телеком» (20 ЗС). Сети связи для сельских районов на базе оборудования израильской компании Gilat Satellite разрабатывает ЗАО «Комбеллга» (80 ЗС). Начала успешно функционировать сеть по автоматизированной продаже и бронированию авиабилетов «Сирена-3» (150 ЗС). Собственные корпоративные сети развернули компании ЗАО «Сабтел» (60–80 ЗС), ОАО «САТ-ТЕЛ» (20–30 ЗС) и ряд других крупных компаний и ведомств.

### 2.2.5. Особенности построения VSAT-терминалов

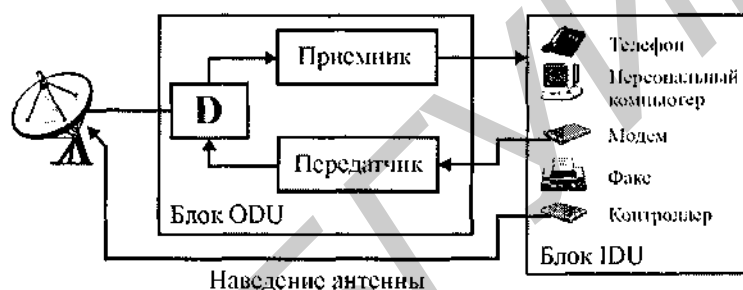
Малогабаритные терминалы VSAT относятся к классу станций фиксированной спутниковой связи (ФСС) и должны удовлетворять требованиям Регламента радиосвязи на ЗС данного класса. Прежде всего это касается выбора рабочих диапазонов частот: С (6/4 ГГц), Ku (14/11 ГГц) и Ka (20/30 ГГц), принятых для фиксированной спутниковой службы. И хотя терминалы VSAT не предназначены для работы при движении объекта, однако, по своим возможностям и назначению их, пожалуй, можно отнести к средствам персональной связи. Существуют терминалы VSAT, которые вполне достойны называться портативными, не говоря уже о настольных, размещаемых вблизи рабочих мест пользователей. Наличие у VSAT-терминалов разнообразных интерфейсных портов допускает подключение различного оконечного оборудования, в том числе компьютеров, принтеров и т. п. Важным достоинством VSAT-станций является то, что типовой режим их работы – автоматический, и обычно они не нуждаются в обслуживании.

Терминал VSAT состоит из трех основных элементов: антенной системы, наружного блока (OutDoor Unit, ODU), размещаемого непосредственно на антенне, и внутреннего (InDoor Unit, IDU), устанавливаемого в помещении пользователя (рис. 2.4).

Производители станций VSAT выпускают широкую номенклатуру антенн, диаметр которых определяется скоростью передачи информации, диапазоном частот, энергетикой радиоканала (ЭИИМ и G/T) и условиями эксплуатации.

Наружный блок ODU обычно состоит из двух элементов: маломощного усилителя (МШУ) преобразователем частоты и передатчика. Для уменьшения потерь в антенно-фидерном тракте МШУ размещается непосредственно на облучателе, а приемопередатчик – на элементах конструкции антенны.

**Рис. 2.4.**  
Типовой состав оборудования абонентской станции VSAT



В абонентских станциях VSAT обычно используется маломощный передатчик на 5-20 Вт. Скорость передачи может изменяться в пределах от 1,2 кбит/с до 2,048 Мбит/с.

Внутренний блок IDU включает спутниковый модем, контроллер и интерфейсные платы. Разнообразие поддерживаемых протоколов позволяет подключить к такой ЗС различные оборудование обработки данных, компьютеры или обеспечить ее связь с телефонной сетью общего пользования (ТФОП).

При современных энергетических показателях бортовых комплексов терминалы VSAT могут быть оснащены антеннами диаметром 0,5-0,6 м (Ka-диапазон), 1-1,5 м (Ku-диапазон) и 1,2-1,8 м (C-диапазон), а также твердотельными усилителями мощности 2-5 Вт. Земные станции с диаметром антенн менее 0,5 м обычно называются USAT (Ultra Small Aperture Terminal).

На мировом рынке оборудования для VSAT сетей доминируют американские фирмы – их доля составляет около 75% рынка против примерно 20%, приходящихся на европейские компании. При этом первое место принадлежит США (250-300 тыс. земных станций, ЗС), второе делят Япония и Австралия. В Азиатско-Тихоокеанском регионе и Китае рост потребности во VSAT-станциях заметнее, чем в других странах. Если в 1997 г. в этих странах насчитывалось около 10 тыс. ЗС, то только в Китае к 2005 г. их число превысит 60 тыс. В Европе самый большой парк VSAT-терминалов имеется в Великобритании.

Лидером среди мировых поставщиков терминалов VSAT является американская компания Hughes (более половины всех контрактов). Далее следуют компании NEC, AT&T-Tridon, GT Spacenet, Scientific Atlanta. Эти фирмы в настоящее время активно осваивают ведущие рынки развивающихся стран, в том числе и российский.

В нашей стране представлена не только продукция многих ведущих фирм – производителей оборудования класса VSAT, но и отечественные разработки, которые вполне успешно работают на нашем рынке. И хотя объем выпускаемого ими оборудования невелик, но оно способно составить конкуренцию многим зарубежным моделям VSAT-терминалов.

В число основных разработчиков и производителей VSAT-станций в России входят РК «Энергия», УГП НПЦ «Элсов» (Зеленоград), ЗАО «Сатис-ТЛ-94», Ижевский радиозавод и др. Для всех разработчиков характерна одна тенденция – при выпуске основных модулей ЗС используются зарубежные комплектующие. Что же касается антенных систем, то эта российская продукция традиционно не уступает зарубежным образцам, а по ряду параметров и превосходит их.

### Оборудование компании Hughes

Оборудование HNS появилось в странах бывшего СССР в начале 90-х гг., а среди последних контрактов этой компании можно указать поставку более 20 ЗС TES Quantum фирме «Сател» (они будут использованы в корпоративной сети «Связьтранснефть»).

Сегодня компания Hughes предлагает на российском рынке несколько типов VSAT-терминалов (табл. 2.12), предназначенных для работы в сетях разной топологии («точка-точка», «звезда», полносвязная).

**Таблица 2.12. Основные характеристики VSAT-терминалов компании Hughes**

Тип станции	PES	TES	GES	TRES
Размер антенн, м	1,8; 2,4 (C, Ku) 0,75; 1; 1,2 (Ku)	1,2; 2,4	1,8; 2,4; 3,8 (C) 1,2; 1,8; 2,4 (Ku)	1,8; 2,4; 3,8 (C, Ku)
Скорость передачи, кбит/с	1,2–64 (синхр.) 19,2 (асинхр.)	9,6–32	9,6–8448	32-2048
Мощность передатчика, Вт	0,5; 1; 2 (Ku) 0,5; 1,0 (C)	5 (C) 2 (Ku)	20 Вт (C) 8 и 16 (Ku)	5; 20 (C) 2; 8 (Ku)
Энергопотребление, Вт	Н/д	75 (20 – режим ожидания)	Н/д	2
Размеры, мм	380x300x90	439x109x482	190x150x310	330x66x272 (модем)
Масса, кг	–	8,5 10,2	(IDU) 8,2 (ODU) 1,5	(модем) +2,7 (питание)

Терминалы работают в двух диапазонах частот: расширенном C-диапазоне – 5,85-6,425 ГГц (передача), 3,625-4,2 ГГц (прием) и Ku-диапазоне – 14,0-14,5 ГГц (передача) и 11,7-12,2 ГГц, 12,25-12,75 ГГц и 10,95-11,7 ГГц (прием).

Терминал TES Quantum относится к новому поколению. Он способен реализовать оптимальные способы маршрутизации, основываясь на анализе нагрузки с использованием новейшей технологии доступа к каналам связи, так называемой «интеллектуальной DAMA» (Smart DAMA). Оборудование TES Quantum позволяет связывать устройства, работающие по различным протоколам, и обеспечивает высококачественную передачу речи со скоростью 32 кбит/с (кодирование ADPCM, G.721) или 16 кбит/с (кодирование LD-CELP, G.728) и факсимильную связь со скоростью до 14,4 кбит/с (V.17).

TES Quantum подключается к ТФОП и поддерживает протоколы сигнализации R1, R2, SS5, а также двухтональный многочастотный набор номера (DTMF). Ряд дополнительных функций позволяет реализовать автоматическое определение номера, проверку линии, набор местных номеров служб специального назначения и подключение таксофона. Станция TES Quantum интегрируется в магистральные линии T1 или E1 без дополнительного интерфейсного оборудования (цифровые потоки T1/E1 преобразуются в индивидуальные каналы (64 кбит/с), которые затем автоматически маршрутизируются).

Эти качества обусловили выбор международной организацией Intelsat станции TES в качестве базовой для предоставления своих спутниковых каналов в режиме по требованию.

К семейству станций TES относится также терминал, обеспечивающий меньшую, чем TES Quantum, пропускную способность, – TES Quantum-Direct, предназначенный для организации сельской связи. Он имеет низкое энергопотребление в режиме ожидания (не более 20 Вт) и небольшие массу и габариты. Речевой кодек TES Quantum-Direct обеспечивает сжатие голосовой информации и передачу ее со скоростью 8 кбит/с (рекомендация Q.729) с эхоподавлением. Параметры этой станции ориентированы на сельских пользователей, которым требуется дешевый доступ к ТФОП без установки дополнительного оборудования. Станция имеет двухпроводной интерфейс для подключения телефонных и факсимильных аппаратов и поддерживает сигнализацию R1, R2, SS5. Кроме того, каждая такая станция может взаимодействовать с многофункциональной шлюзовой станцией TES Quantum, обеспечивающей выход в магистральные и международные линии связи.

Персональная земная станция PES – это недорогой и высокоэффективный терминал для корпоративных сетей, который устанавливается на удаленном объекте и обеспечивает связь с центральной станцией, расположенной в главном информационном центре офиса или штаб-квартире компании.

С точки зрения удобства развертывания сети одной из важных особенностей удаленных станций PES является простота установки и технического обслуживания. Удаленная станция подключается к сети. Главная «ручная» операция при установке станции – это наведение антенны по стрелочному прибору, но и она выполняется только однократно, так как при работе современных спутников подстройка не нужна. Все остальные операции автоматизированы. Станция способна эффективно обслуживать системы связи с интенсивным обменом, в том числе и в интерактивном режиме. Вероятность возникновения ошибок на бит  $10^{-9}$  (пороговое значение  $10^{-7}$ ). По всему миру установлено и работает более 100 тыс. станций PES.

Другая станция – Hughes TRES – применяется в качестве периферийного терминала в спутниковых сетях с топологией «точка–точка» и «звезда». Она включает в себя спутниковый модем, систему распределенного питания, внешний блок и антенну. TRES обеспечивает передачу информации с любой скоростью в диапазоне 64 кбит/с – 2,048 Мбит/с; наращивание скорости осуществляется с шагом 64 кбит/с.

Станция TRES способна работать как на одной, так и на нескольких (до четырех) несущих частотах (в последнем случае она имеет несколько модемов и один ВЧ-блок). Минимальный шаг между несущими –  $1,2R$ , где  $R$  – скорость передачи. Модем TRES позволяет работать с BPSK или QPSK-модуляцией.

Интересна и еще одна разработка HNS – земная станция GES (Gemini Earth Station), в которой используются универсальный радиомодем 9100 (UMOD) и экономичный по энергопотреблению наружный блок ODU. Она часто используется для организации сетей двухточечной топологии с асимметричными каналами связи. GES допускает программное изменение скорости в канале с 9,6 кбит/с до 8,448 Мбит/с с шагом 1 кбит/с, что само по себе уже уникально для VSAT класса VS. Для сопряжения с источниками, обладающими разной скоростью передачи, на станции используется плездохронный буфер емкостью до 64 Кбайт.

### Оборудование NEC

Больше всех других VSAT-терминалов в российских сетях связи распространены станции семейства NEXSTAR корпорации NEC. В состав типовой абонентской станции NEXSTAR входят наружный (ODU) и внутренний (IDU) блоки и двухрефлекторная перенацеливаемая по азимуту и высоте антенна (диаметр зеркала от 1,2 до 3,8 м), разработанная на базе схемы Кассегрейна. Важная характеристика – максимальная ветровая нагрузка – 108 км/час.

Оборудование наружного блока состоит из трех компактных влагонепроницаемых блоков: МШУ, преобразователя частоты и усилителя мощности. В условиях низких температур применяется дополнительный обогреватель, что позволяет эксплуатировать станцию в условиях северных районов страны (при температурах ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ ). МШУ обеспечивает коэффициент усиления 14 дБ при шумовой температуре 60 К, а выходная мощность передатчика составляет от 5 до 20 Вт (табл. 2.13).

Таблица 2.13. Основные характеристики блока NEXSTAR ODU

Передача		Прием	
Входная частота, МГц	180±20	Входная частота, МГц	3,7–4,2
Выходная частота, ГГц	5,925–6,425	Выходная частота, МГц	1135±20
Уровень входного сигнала, дБмВт	От –5 до 40	Усиление, дБ	72
Выходная мощность, Вт (насыщение)	От 5 до 20	Разброс усиления, дБ	От –8 до +12
Пределы регулировки выходной мощности, дБ	14 (с шагом 0,5 дБ)	Шумовая температура, К	60

Станция может быть сконфигурирована для работы как в режиме с предоставлением каналов по требованию DAMA, так и в режиме с закрепленными каналами PAMA. Требуемый тип соединения устанавливается оператором.

VSAT-сеть на базе станций NEXTAR обычно состоит из двух взаимно независимых по способу доступа сетей: NEXTAR AA/TDMA и NEXTAR BOD, построенных на разных принципах разделения ресурса спутникового ретранслятора. Такой принцип построения сети нашел отражение и в структуре VSAT-станции. В состав земной станции NEXTAR входят два внутренних блока: BOD IDU и AA/TDMA IDU.

Блок AA/TDMA IDU расположен рядом с оконечной аппаратурой обработки данных DTE (data terminal equipment); он поддерживает протокол X.25 и имеет три синхронных интерфейса RS-232 (скорость 1,2-19,2 кбит/с).

Плата голосового канала (VO CH Card) поддерживает три вида телефонных интерфейсов: 2W FXS и 2W FXO и 4W E&M. Режим двухпроводного интерфейса FXS обеспечивает прямую телефонную или факсимильную связь (скорость от 0,3 до 9,6 кбит/с). Режим FXO обеспечивает эмуляцию связи с местной или учрежденческой АТС, при этом может использоваться как импульсный, так и тоновый набор номера.

Алгоритм кодирования программно загружается из системы управления сетью в каждую плату VO CH. Стандартно поддерживаются два алгоритма кодирования речи – ADPCM, G.721 (со скоростью 32 кбит/с) и LD-CELP, G.728 (16 кбит/с). Передача информации осуществляется со скоростью 64 кбит/с (BPSK) и 128 кбит/с (QPSK).

Плата свободного канала (CL CH Card) имеет один синхронный интерфейс, который может поддерживать скорость передачи данных от 9,6 до 2048 кбит/с. Стандартный синхронный интерфейс соответствует спецификации RS-449/442. Интерфейсы V.35 или G.703 реализуются с помощью соответствующих дополнительных плат.

Оборудование центральной Hub-станции, обычно называемой шлюзом, способно обслужить до 3 тыс. абонентских станций или до 8 тыс. каналов, а информационная нагрузка может достигать 16 тыс. вызовов в час.

В состав радиочастотной части Hub-станции входят МШУ, преобразователи частоты, усилители мощности. Однако в отличие от абонентских станций все перечисленные компоненты оборудования имеют 100% резервирование по схеме 1+1 для обеспечения высокой надежности. Интерфейс между радиочастотным и сетевым оборудованием обеспечивается по каналу на промежуточной частоте 140 МГц.

Четырехканальный модем представляет собой функционально законченный блок, который кроме канальных плат (VO CH Card или CL CH Card) имеет модем ОКС (общего канала сигнализации) и блок питания. Полностью укомплектованная стойка из шести модемов дает возможность организовать 24 канала.

Система управления сетью, реализованная на базе шлюза, построена как локальная сеть с одним сервером и несколькими рабочими станциями операторов. Первичный DAMA-контроллер (PDC) управляет процессом установления соединений с абонентскими терминалами в режиме реального времени автоматически, без участия оператора. Он же осуществляет сбор биллинговой информации о каждом звонке. Биллинговая информация поступает в подсистему хранения данных BISE (Billing Information Storage Equipment).

Конфигурация центральной станции имеет модульную структуру, что позволяет рационально наращивать трафик и расширять ассортимент предоставляемых услуг по мере развития сети.

### **Оборудование Scientific Atlanta**

Весомый вклад в создание VSAT-оборудования внесен компанией Scientific Atlanta (США), которая ориентируется на рынок малоканальных и экономичных станций с числом каналов от одного до четырех, обеспечивающих связь в С- и Ku-диапазонах частот.

На российском рынке эта компания предлагает терминалы Skylinx серии 8000, которые уже используется рядом отечественных компаний (НПО «Кросна», «Телепорт-ТП»).

На базе Skylinx могут быть созданы сети недорогой спутниковой связи с удаленными объектами в сельской местности или районах Крайнего Севера, а также сети обслуживания клиентов и кредитным карточкам (в банкоматах Сбербанка, на заправочных станциях и др.).

Исходя из требований минимального энергопотребления, Scientific Atlanta предложила использовать единый модуль ODU для двух диапазонов частот с выходной мощностью 5 Вт (C-диапазон) и 2,5 Вт (Ku), а обеспечение заданной энергетике радиолинии осуществляется за счет выбора размеров антенн. Терминалы Skylinx серии 8000 поставляются с пятью типами антенн различного диаметра – 0,95; 1,2; 2,4; 3,8 и 4,5 м, что обеспечивает возможность работы через спутники с разными характеристиками транспондеров.

Модульная структура терминала с четырьмя канальными слотами позволяет расширить пропускную способность. Приобретая терминал с одним канальным блоком, можно наращивать ее по мере необходимости. Примечательно, что конструкция терминала допускает установку радиочастотного модуля в любой свободный его слот, что удобно, если терминал и антенна расположены в непосредственной близости друг от друга.

Максимальная скорость в радиоканале равна 160 кбит/с. Метод модуляции – BPSK/QPSK со сверточным кодированием ( $r=1/2, 3/4$ ). Что же касается остальных характеристик терминала Skylinx серии 8000, то они мало отличаются от показателей абонентских станций других производителей.

Наряду с абонентским оборудованием компания Scientific Atlanta выпускает центральные станции с емкостью сети до 6 тыс. линий связи, способные обслужить до 20 тыс. вызовов в час. Система управления сетью включает два сетевых сервера, один из которых служит резервным; при сбоях управление на него передается автоматически.

### Земные станции «Ямал»

Оборудование для сети «Ямал» разрабатывает и производит РКК «Энергия». В настоящее время в сети «Ямал» используются три типа ЗС, которые различаются по пропускной способности: центральная ЗС (ЦЗС) для телепортов, узловая ЗС (УЗС) и абонентская ЗС (табл. 2.14).

Таблиц 2.14. Основные технические характеристики ЗС системы «Ямал»

Основные характеристики		Тип земной станции		
		Центральная	Узловая	Абонентская
Суммарная пропускная способность, кбит		Более 8448	До 4096	До 2048
Диапазон частот, МГц	Прием	3620-4200	3620-4200	3620-4200
	Передача	5850-6425	5850-6425	5850-6425
Диаметр антенны, м		4,5/5,0/6,0	4,5/5,0/6,0	2,5/3,5/4,5
Мощность передатчика, Вт		400/700	125/150	5/10/20/40
Шумовая температура МШУ, К		35-65	35-65	35-65
Метод модуляции		ФМ-2/ФМ-4	ФМ-2/ФМ-4	ФМ-2/ФМ-4
Кодирование		сверточное, $R = 1/2, 3/4, 7/8$		
Потребляемая мощность, кВт		18	6,0	1,5

Земные станции сети «Ямал» обеспечивают передачу информации со скоростью до 2048 Мбит/с (магистральные каналы) и до 192 кбит/с (VSAT-терминалы) и предназначены для организации радиотелефонной связи с различными типами сигнализации, факсимильной связи со скоростью 2,4–9,6 кбит/с, передачи данных со скоростью не выше 115 кбит/с (синхронные), а также видеоконференцсвязи.

ЗС комплектуются различными типами антенн (в основном антенным постом «Пихта», оснащаемым позиционером «Бусна», в котором используются экстремальные методы наведения, и усилителями мощности фирм MATRA MARCONI, 125 Вт и SKY DATE, 20 Вт). В этих ЗС применяются модемы типа SDM (SDM-100, SDM-600) и мультиплексоры CX-1000.

Модульная структура ЗС «Ямал» обеспечивает замену любого блока и наращивание пропускной способности без изменения конфигурации, что позволяет легко модернизировать ее при моральном устаревании, а также вводить новые функции без всяких дополнительных доработок станции. Такой подход гарантирует также независимость от какого-либо определенного производителя, допуская применение аппаратуры любого типа. Например, в качестве каналообразующего оборудования на первом этапе в составе ЗС использовался модем MD70000, затем SDM-100 и SDM-6000, что позволило без доводки оборудования перейти на новые методы кодирования речи.

ЗС сети «Ямал» используют расширенный С-диапазон частот: 5760-6125 МГц (передача) и 3460-3800 МГц (прием). Серийно выпускаемая приемопередающая аппаратура имеет нижнюю границу диапазонов 5850 и 3650 МГц соответственно. Многие международные организации (Intelsat, Inmarsat и др.) и администрации связи (в Индии, Китае, Сингапуре, Индонезии и других странах) подали заявки в МСЭ на этот расширенный диапазон как на рабочий. Поэтому следует ожидать его активного освоения и разработки соответствующего оборудования, начиная от антенных постов и заканчивая преобразователями частоты.

Ограниченный запас частотного ресурса на российских КА приводит к необходимости работать одновременно через несколько стволов одного и того же ретранслятора. Для этого в ЗС предусматриваются дополнительные тракты приема-передачи, которые выполняют также функции резервирования, предотвращая полный отказ станции. Еще одна особенность ЗС «Ямал» – совмещение нескольких функций в одном аппаратном средстве, что делает ее более универсальной и в конечном счете, более рентабельной.

Специфика условий эксплуатации ЗС «Ямал» (чаще всего в северных и труднодоступных районах), а также назначение системы (для газодобывающей промышленности) определили высокие требования к надежности станций: коэффициент готовности ЗС должен составлять не менее 0,9999. Чтобы обеспечить высокую надежность, в ЗС используются схемы как «холодного», так и «горячего» резервирования. Подтвержденная наработка на отказ уже установленных ЗС составляет в настоящее время более 10 000 ч для телепортов и УЗС и более 15 000 ч для VSAT-станций. Ожидаемая наработка на отказ новых, разрабатываемых ЗС будет не менее 50 000 ч.

Станция полностью автоматизирована: контроль и управление, архивирование сведений об отказах, определение неисправностей, переключение режимов работы и т. д. происходят с помощью встроенных микропроцессоров. Разработка новых блоков ведется также с учетом современных требований контроля и управления. В частности, предусматривается шлейфовый контроль по промежуточной частоте и по радиочастоте, а также измерения излучаемой мощности, что позволяет отслеживать параметры не только ЗС, но и спутниковой радиолинии.

ЗС оснащена стандартными интерфейсами и станционным контроллером, что обеспечивает возможность работы станции как в автономном режиме, так и с помощью дистанционного управления по командам из центра управления связью.

Поскольку большую часть частотного ресурса КА «Ямал» планируется использовать за пределами России, разработка земных станций ССС «Ямал» ведется с учетом требований как отечественных, так и международных стандартов.

Необходимым условием при создании ЗС «Ямал» стала преемственность оборудования, работающего через КА «Горизонт» в существующей сети, и аппаратуры, предназначенной для связи через КА «Ямал». Последний существенно отличается от КА «Горизонт» и «Экспресс» по техническим параметрам бортовых комплексов, влияющих на конфигурацию и стоимость ЗС. Так, по сравнению с «Горизонтом» выигрыш по добротности при приеме у КА «Ямал» составляет 13 дБ, по ЭИИМ – 10 дБ.

Следует отметить, что при переходе ССС на работу через КА «Ямал» станции не будут нуждаться в системах наведения, да и размер антенны станет меньше. Общее снижение стоимости ЗС при этом составит 30-45%.

Действующий наземный фрагмент сети связи ОАО «Газком» включает 74 земные станции, два телепорта, более 300 каналов связи, наложенную сеть передачи данных frame relay. Основными заказчиками ЗС «Ямал» являются: «Ямбурггаздобыча», «Уренгойгазпром», «Тюменьбурггаз», «Надымгазпром», предприятия РАО «Газпром» и др.

## Земные станции «Стела»

ЗС серии «Стела» разработаны по заказу ЦБ РФ в УГП НПЦ «Элсов» (г. Зеленоград) и изготавливаются на Ижевском радиозаводе. Они предназначены как для организации связи двухточечной топологии, так и для многоуровневых корпоративных сетей и выпускаются двух типов: узловая станция и малый спутниковый терминал (МСТ).

«Стела» работает в Ku-диапазоне частот: 14,020-14,5 ГГц (передача) и 10,96-11,2 и 11,4-11,7 ГГц (прием). Между центральной и узловой ЗС связь обеспечивается в режиме РАМА по магистральному каналу с пропускной способностью не более 512 кбит/с. Каждый магистральный канал может быть использован также для передачи видеoinформации со скоростью 384 кбит/с. Связь между узловой станцией и МСТ осуществляется в режиме DAMA со скоростью 64 кбит/с (до трех каналов одновременно).

В состав малых терминалов (серии «Стела-110» или «Стела-111») входит антенна диаметром 2,5 м, наружный и два внутренних блока: блок передачи данных, работающий в режиме РАМА/TDM/TDMA, и блок телефонной связи (РАМА/DAMA). Изменение режимов работы осуществляется программно.

Для кодирования речи используется алгоритм GSM (скорость 13,6 кбит/с) с эхоподавлением (G/165). Вероятность ошибки на бит не более  $10^{-7}$  при отношении сигнал/шум не хуже 7, 6 дБ.

МСТ «Стела» оснащен маломощным передатчиком ( $P = 1$  Вт) с шагом сетки частот 100 кГц, в котором предусмотрена возможность изменения выходной мощности в пределах 20 дБ с шагом +0,5 дБ. Эквивалентная шумовая температура приемного тракта 120 К. Связь между наружным и внутренним блоком осуществляется в L-диапазоне по кабелю длиной до 50 м.

Ведутся также работы с целью пополнения семейства VSAT-станций «Стела» и модификации терминалов для использования других частотных диапазонов (С и LMI-1). В планах разработчиков – увеличение скорости передачи до 32-48 Мбит/с.

Таблица 2.15. Основные характеристики ЗС серии «Стела»

Основные характеристики	Тип земной станции		
	Центральная	Узловая	МСТ
Диаметр антенны, м	4,8	2,5; 3,7	2,5
Мощность передатчика (макс.), Вт	50	10, 16	1
Добротность, дБ/К	28	23; 27	25
ЭИИМ в режиме насыщения, дБВт	70	58; 63	49
ЭИИМ в линейном режиме, дБВт	63	55; 60	46
Число магистральных каналов (скорость 512 кбит/с)	5	1	Не используются
Число абонентских каналов (скорость 64 кбит/с)	10	5-8	2

## Мультимедийные VSAT-терминалы

Описание VSAT-оборудования было бы неполным без упоминания о мультимедийных терминалах. Они обеспечивают своих абонентов целым спектром услуг от простой электронной почты до организации видеоконференций и интерактивного телевидения. Термин «мультимедиа» указывает на конвергенцию услуг связи и вещания, когда-то очень далеких друг от друга. А по прогнозам аналитиков рынка, слияние связи и вещания неизбежно приведет к созданию широкополосных VSAT-технологий.

Сегодня разработкой мультимедийных терминалов, способных объединить традиционную телефонную связь, низкоскоростную передачу информации, телевидение, радиовещание, IP и DVB-поток данных, в мире занят не один десяток фирм. Безусловным лидером среди них является американская компания HNS.

С появлением мультимедийных VSAT-терминалов возникла и новая аббревиатура MMV (Multimedia VSAT). Терминалы MMV предназначены для высокоскоростной передачи информации, телевизионного и звукового вещания. Их базовой областью применения является доступ к



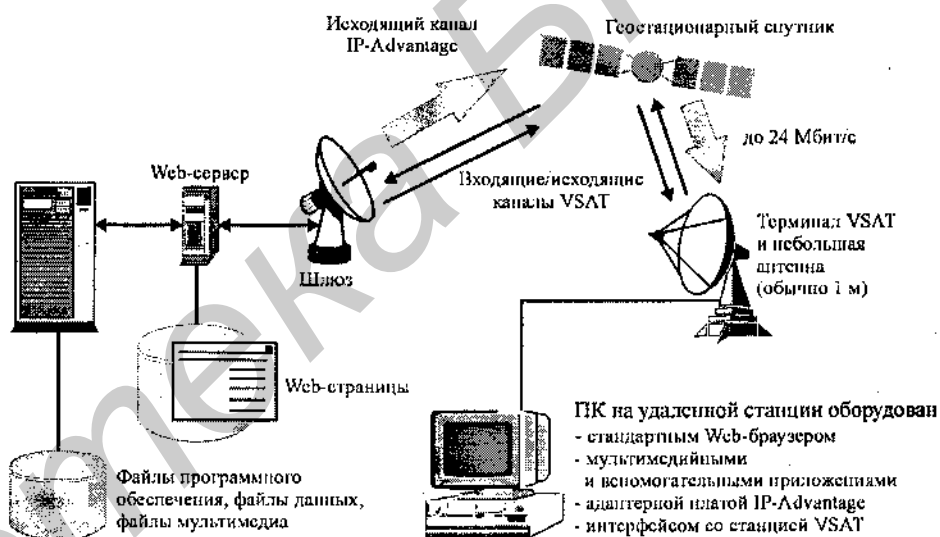
Интернету, работа в корпоративных интрасетях, интерактивное дистанционное обучение, а также однонаправленные передачи типа циркулярных широковещательных трансляций, деловое телевидение, широковещательное распространение файлов.

До недавнего времени одним из главных препятствий на пути создания корпоративных мультимедийных сетей являлась низкая пропускная способность спутниковых станций, не позволяющая доставлять удаленным пользователям Web-страницы или организовывать видеопросмотры. Несколько лет назад компанией HNS было предложено решение проблемы в виде малогабаритной VSAT-станции IP-Advantage с антенной диаметром 1 м.

На удаленные станции данные передаются через центральную со скоростью до 24 Мбит/с с помощью исходящего канала IP-Advantage (рис. 2.5). В обратном направлении короткие запросы транспортируются со скоростью в 3 раза выше, чем в ISDN канале – до 200 кбит/с.

Мультимедийный терминал DirecWay, разработанный этой компанией в 1999 г., является результатом интеграции хорошо себя зарекомендовавших в реальных условиях эксплуатации изделия PES с оборудованием DirectPC, которое обеспечивает работу широкополосных сетей доступа к Интернету.

**Рис. 2.5.**  
Сеть мультимедийной связи на базе терминала IP-Advantage



## 2.2.6. Проблемы развития сетей VSAT

ССС на базе технологии VSAT имеют большие рыночные перспективы благодаря своим техническим возможностям интеграции с высокоскоростными наземными сетями и экономичной реализации многих приложений Интернета. В качестве самостоятельного класса ССС сети VSAT развиваются в нескольких направлениях:

- сетевые архитектуры и протоколы передачи данных;
- технологии спутниковой связи (транспондеры для новых диапазонов частот, земные станции, мультимедийные терминалы и др.);
- развитие нормативно-правовой базы массового применения терминалов VSAT.

В архитектурном плане для перспективных VSAT-сетей большое значение имеет внедрение новых системных концепций: экономичных двунаправленных каналов связи; прозрачных протоколов выделения частотных полос по запросу (BOD), адаптивных протоколов управления режимами передачи данных с учетом перегрузки трафика и погодных эффектов замирания сигналов.

Новый протокол IP Multicast рассматривается в настоящее время как наиболее эффективный механизм мультимедийного вещания для VSAT-сетей, доставляющих потоки данных Интернета конечным пользователям. При этом возможны различные варианты построения транспортной среды (IP-сеть, frame relay, ATM), выбор которой определяется доступными в России технологиями высокоскоростного Интернета.

Одним из главных препятствий на пути массового внедрения корпоративных сетей связи на базе технологии VSAT в России является несовершенная нормативно-правовая база. Для того, чтобы ввести в эксплуатацию VSAT-терминал требуется его юридическое оформление, т.е. соблюдение всех разрешительных процедур и получение необходимых разрешительных документов на ЗС, а таковых сегодня немало.

VSAT-станции относятся к классу станций фиксированной связи, а следовательно, на них распространяется общеустановленный порядок назначения частот. Нормативно правовой основой выделения частотных ресурсов для ЗС типа VSAT в настоящее время является ряд документов. Перечислим их: федеральный закон «О связи», постановление Правительства РФ «О порядке изготовления, приобретения, ввоза в РФ и использования на ее территории РЭС». Внес свою лепту в этот перечень и ГКРЧ, разработавший «Положение о порядке назначения (присвоения) частот для РЭС всех назначений» и выпустивший решение «О применении на территории РФ малых станций с диаметром антенны 3,8 м и более» вместе с инструкцией «О порядке оформления и выдачи разрешений на ввоз и эксплуатацию малых земных станций».

Действующая процедура назначения радиочастот состоит из документальной и технической экспертизы. Документальная экспертиза включает проверку представленных материалов на их полноту и правильность заполнения, а также определение необходимости проведения работ по международно-правовой защите заявленных ЗС. Техническая экспертиза выявляет конкретные номиналы частот и характеристик и оборудования для мест установки заявляемых для эксплуатации VSAT-станций.

Как уже говорилось, частотные присвоения действуют строго на определенное место установки станций и конкретный ствол КА. Любые изменения требуют переоформления заявки, даже в тех ситуациях, которые они возникли не по вине пользователя. Так, выход из строя или деградация пропускной способности спутника, в частности отказ одного ствола ретранслятора, автоматически приводит к необходимости переоформления частотной заявки, т. е. к новым затратам времени и денег.

Положение несколько улучшилось после принятия упрощенной процедуры регистрации. Основные изменения коснулись малых ЗС. В 2–2,5 раза сокращены сроки получения разрешительных документов, а стоимость их получения снижена на 35–40 тыс. руб. Разрешено также параллельно вести согласование с радиочастотными органами Минобороны России и ФАПСи частотных присвоений и мест размещения станций и ввозить в страну сертифицированные станции без предварительного согласования частотных присвоений по месту планируемой установки.

Однако до выпуска единого базового документа, определяющего правовую базу сетей связи VSAT в России, еще далеко. Отсутствие до недавнего времени государственных стандартов на гражданские системы спутниковой связи предопределило большой разброс по параметрам аппаратуры ЗС отечественных производителей. Выпущенные Министерством связи 17 марта 1995 г. «Общие технические требования (ОТТ) на станции земные для линий спутниковой связи, работающие с КА на геостационарной орбите» регламентируют параметры ЗС. Однако в настоящее время в России нет ни одной ЗС, полностью удовлетворяющей этим требованиям.

Следует отдельно отметить также, что при реализации ОТТ возникает ряд проблем. Прежде всего, режимы работы ЗС, указанные как обязательные для приема/передачи телевидения, изображений газетных полос и звукового вещания, могут не соответствовать функциональному назначению ЗС. Как следствие, заданные требования для некоторых параметров ЗС (групповое время запаздывания, неравномерность АЧХ) являются явно завышенными для связных станций, не предназначенных для приема/передачи сигналов ТВ и звукового вещания. Например, регламентированный шаг сетки частот для модема (2,5 кГц) ограничивает возможность оптимальной расстановки частот в стволе ретранслятора, хотя многие зарубежные фирмы уже сейчас производят модемы с шагом 1 Гц (например, ComStream, Radyne). Есть и другие ограничения, которые не оправданы для организации обычной связи. Однако пока новых документов не предвидится.

В то же время в большинстве стран мира введена упрощенная процедура введения VSAT-терминалов. В Европе вопросами упрощения правового обеспечения занимаются комитеты и комиссии ETSI, CEPT, а также ряда других организаций. Одним из важных факторов ускорения получения разрешений является взаимопризнание лицензий и сертификатов, однако даже в рамках Европы положительного решения по этому вопросу пока не достигнуто. В границах каждой страны обычно действуют несколько типов лицензий: на виды предоставляемых услуг (обычно выдается оператору), на выделенную сеть VSAT, на каждый конкретный терминал (индивидуальное лицензирование) и даже лицензия на место размещения ЗС. Проблема унификации процедур лицензирования является одной из главных задач Европейского комитета по радиосвязи (ERC). Проблема лицензирования тесно связана с ценовой политикой, которая должна основываться только на учете реальных затрат, связанных с обработкой поступивших заявок.

Одним из важных решений в области сертификации является расширение сферы действия сертификата. Так, если основой сертификата станет процедура «Одобрение типа», то это позволит отказаться от индивидуальных сертификатов, а подтверждения на соответствие заданным техническим требованиям VSAT-терминала или его частей должны предоставлять сами разработчики или поставщики оборудования.

### 2.3. СЕТИ СПУТНИКОВОГО ДОСТУПА К ИНТЕРНЕТУ

В настоящее время абонентская база Интернета продолжает быстро развиваться: в мире к 2001 г. количество пользователей достигнет 170-180 млн. человек, а в России – 4-5 млн. Спутниковая связь оказалась способной предложить для массового рынка услуг доступа к Интернету новую концепцию широкополосной высокоскоростной связи. В России реализация спутникового доступа к Интернету началась в 1997 г., когда российская компания Diamond Communications приступила к продвижению во многих регионах (европейская часть, Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия) технологии и маркетинговых программ спутниковой системы DirecPC.

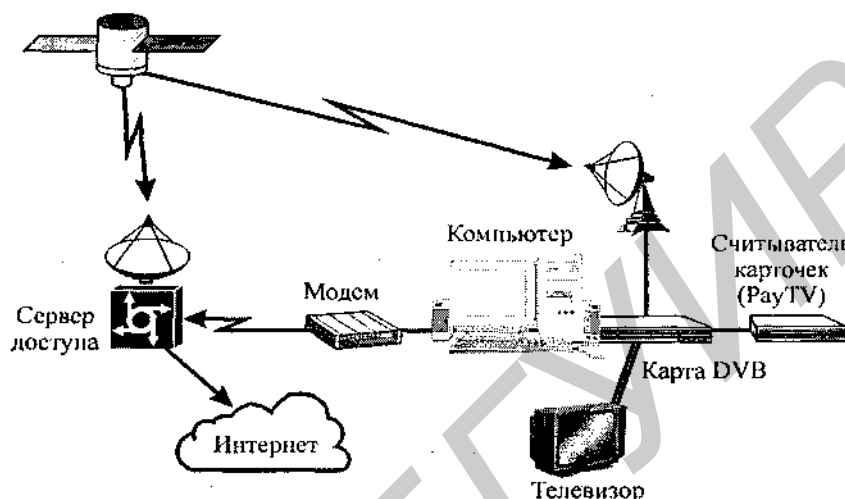
Технологические возможности DirecPC и других аналогичных ССС позволяют на рынке услуг Интернета сформировать специальный сегмент массового спроса, который непрерывно расширяется и в ближайшие годы, по оценкам экспертов, достигнет 20-30 млн. пользователей. Тем самым это сегмент рынка станет вторым по массовости (после фиксированных сетей широкополосного доступа) рынком спутниковой связи.

На примере набора услуг DirecPC приведем перечень типовых применений спутникового доступа к Интернету:

- TurboInternet – высокоскоростной (64-2048 кбит/с) асимметричный доступ к Интернету;
- File Broadcast – высокоскоростной широкополосный режим распространения больших пакетов информации;
- Video&Business TV/Real-Time Datastream – передача абонентам корпоративной сети мультимедийной информации;
- Turbo WebCast – широкополосная рассылка подписчикам веб-контента информационных агентств, электронных газет и товарных каталогов.

Спутниковый доступ к Интернету обеспечивает стандартными транспондерами геостационарных спутников (HotBird, Intelsat, Бонум-1, Astra и др.). В последнее время все более широко используется технология непосредственного цифрового ТВ на базе стандартов DVB/MPEG-2. Например, российский проект НТВ-Интернет (спутник Бонум-1), используя технологию DVB для непосредственного телевидения, позволяет абонентам на базе стандартного ТВ-комплекта (тарелка НТВ, конвертер, ресивер) расширить систему приема ТВ-каналов (дополнительные устройства: DVB-карта для персонального компьютера, модем для телефонного канала) и обеспечить доступ к Интернету со скоростью 365 кбит/с (рис. 2.6).

**Рис. 2.6.**  
Схема асимметричного доступа к Интернету



### Сценарии широкополосного доступа

Широкополосная спутниковая связь позволяет при доступе к Интернету решить несколько задач: а) обеспечить массовые услуги связи; б) реализовать высокоскоростные каналы обмена данными; в) организовать передачу мультимедийной информации с гарантированным качеством предоставления услуг.

Существует несколько схем организации широкополосного доступа пользователей к услугам спутниковой связи:

#### Системы с однонаправленными или асимметричными спутниковыми каналами – HSIAS (Hybrid Satellite Internet Access Systems).

Широкополосная связь реализуется в одном направлении по линии «вниз». Обратный канал по линии «вверх» от абонента к хост-системе является узкополосным низкоскоростным и реализуется при помощи наземной телефонной или сотовой сети связи. Эта схема имеет ряд экономических достоинств. В техническом плане наиболее эффективно применение стандарта DVB (Digital Video Broadcast) и режимов непосредственного телевидения DTH (Direct to Home), позволяющих организовать в домах и офисах комбинированную схему сеансов приема телевизионных программ и связи с серверами Интернета (рис. 2.6).

#### Системы с узлами (шлюзами) маршрутизации в наземной сети.

Широкополосная связь обеспечивается по двунаправленным спутниковым каналам. Функции управления каналами связи могут быть реализованы в: а) абонентской станции; б) бортовом комплексе (при межлучевом переключении каналов); в) наземных сетевых узлах.

Этот сценарий доступа проектируется в Skybridge.

#### Системы с узлами (шлюзами) маршрутизации в спутниковом сегменте.

В этой схеме спутниковые виртуальные соединения могут проходить через несколько спутников, что требует реализации межспутниковых линий и бортовых маршрутизаторов (коммутаторов).

Данный сценарий принят в проекте Teledesic.

Системы асимметричного доступа получают в России все более широкое распространение<sup>7</sup>. В табл. 2.16 приведены сравнительные характеристики шести ССС этого класса, доступных в России для массового обслуживания абонентов в 2000 г. Развитие этих систем идет по направлениям: а) расширение зон обслуживания; б) развитие технологии обратных каналов от абонентов к провайдерам, в частности, на основе перспективных режимов мобильной связи типа GPRS; в) расширение спектра предоставляемых услуг (рассылка новостных и мультимедийных контентов в ши-

<sup>7</sup> Л. Семенов. «Выбирая спутниковый доступ». PC Week/RE, № 27, 1 августа, 2000.

роковещательном режиме; г) передача корпоративной мультимедийной информации в вещательном режиме; д) обслуживание сервис-провайдеров файлами (пакетами информации).

Система CyberStar компании Loral, вводимая в эксплуатацию в 2002 г., видимо, станет одной из первых ССС глобального действия, где будет реализован полный набор услуг доступа к Интернету.

Следует отметить, что сегодня термином «спутниковый Интернет» обозначается достаточно широкая совокупность методов доступа пользователей к ресурсам Интернета, при которых существенная часть трафика проходит по каналам спутниковой связи. На практике всегда при этом ресурсы Интернета (веб-сайты, провайдеры Интернет-услуг, прикладные процессы и др.) располагаются в наземных сетях и сетевых узлах. Методы доступа к Интернету по каналам спутниковой связи различаются в основном способом организации и использования спутниковой части трафика:

а) пользователям предоставляется по протоколу DVB канал доступа (симметричный или асимметричный с соотношением пропускных способностей 1/2, 1/4 или 1/8);

б) пользователям предоставляется переключаемый канал системы VSAT, выделяемый по методу доступа DAMA; при этом могут использоваться как симметричные так и несимметричные каналы;

в) вещательный режим передачи веб-информации пользователям Интернета, при котором спутниковый канал используется в одном направлении (провайдер-пользователь), а запросы и данные пользователя передаются по наземной сети (системы типа DirectPC).

Таблица 2.16. Спутниковые системы асимметричного Интернет-доступа [10]

Система	DirecPC	NetSat Access Plus Ro	Speedcast	Heliosnet	Europe Online	НТВ-Интернет
Оператор	HOT Telecommunications	NetSat Express	PhoenixNet	«Классика», «Демос-Интернет»	Europe Online	НТВ-Интернет
Спутник	HotBird3 (13° з.д.)	Telstar12 (15° в.д.)	Asiasat3S (105,5° з.д.)	Intelsat 604 (60° з.д.)	Astra 1F (19,2° з.д.)	«Бонум-1» (36° з.д.)
Стандарт	DirectPC	SCPC	DVB/MPEG2	DVB/MPEG2	DVB/MPEG2	DVB/MPEG2
Гарантированная полоса пропускания (CIR)	400 кбит/с	64-2048 кбит/с	До 1,5 Мбит/с	До 128 кбит/с	Нет	Нет
Оплата трафика	Помегабайтная	По CIR	Повременная/ по CIR	Повременная/ по CIR	Без ограничений	Без ограничений
Оборудование	PCI-плата DirectPC, DirectPC USB	Блок SDR-54A	Плата DVB PCI	Плата DVB PCI	Плата DVB PCI	Плата DVB PCI
Категории пользователей	DTH, SoHo	ISP	DTH, SoHo, ISP	SoHo, ISP	DTH	DTH
Зона обслуживания	Европейская часть России, Урал, Западная Сибирь, Средняя Азия, Закавказье	Европейская часть России	Вся территория России, Средняя Азия, Закавказье	Европейская часть России, Урал	Европейская часть России	Европейская часть России, Урал
Антенны, м	От 0,6 м	2-2,4 м	1,6-2,5 м	От 1,2 м	От 0,9 м	От 0,6 м
Примечание. CIR (Committed Information Rate – Гарантированная скорость передачи); DTH (Direct to Home – Непосредственное вещание); SoHo (Small Office and Home – Офисные и домашние применения); ISP (Internet Service Provider – Провайдер Интернет-услуг).						

Вышеназванные методы фактически используют технологию фиксированной связи, реализованной в спутниковой сети. Современные ССС, например, Inmarsat, Globalstar, CyberStar, позволяют организовать двусторонние спутниковые каналы доступа к Интернету, для которых характерными свойствами являются: а) узкополосная передача трафика; б) ограниченная скорость передачи данных (4,8-9,6 кбит/с); в) собственный транспортный протокол связи (отличный от стан-

дартного протокола TCP/IP сети Интернета), имеющий, как правило, определенные недостатки при передаче Интернет-трафика.

Для перспективных ССС при организации эффективных спутниковых каналов доступа к Интернету необходимо обеспечить выполнение нескольких общесистемных требований:

- реализация «спутниковой версии» TCP/IP, оптимизированной для применения в физических каналах спутниковой связи;
- широкополосные технологии связи, необходимые для высокоскоростной передачи мультимедийных потоков;
- оптимизация архитектуры общей сети и взаимодействия спутниковых и наземных компонент, включая вопросы проектирования сценариев широкополосного доступа;
- разработка специальных протоколов для мультимедийных приложений, критичных к характеристикам спутниковых каналов.

С общесистемной точки зрения применение протокола TCP/IP для спутникового сегмента является наиболее перспективным решением. Однако многочисленные эксперименты, проведенные с целью оценки эффективности IP-передачи в спутниковых каналах, показали невозможность «прямого продолжения» Интернета в спутниковые подсети. Распределение спутниковых радиочастотных ресурсов между многими пользователями требует развития протоколов Интернета, например, создания широковещательных версий типа IP Multicast.

### Использование протокола TCP/IP в спутниковой сети связи

Протокол TCP/IP определенный первоначально в документе RFC 793 (уточненная версия представлена в RFC 1122, а базовые расширения в RFC 1323), является важнейшим механизмом управления потоками данных в спутниковом Интернете. Фактически TCP/IP – это механизм управления потоком байтов (не сообщений) в виде сегментов длиной 65 535 байтов (в новой версии IPv6 поддерживаются сегменты большей длины). В каждой подсети Интернета фиксирован максимальный блок передачи MTU (Maximum Transfer Unit), составляющий обычно несколько тысяч байтов и ограничивающий допустимый размер сегмента.

Так как спутниковые каналы существенно отличаются по своим физическим параметрам от каналов наземной связи, то ряд свойств спутниковой связи может значительно повлиять на ухудшение производительности TCP/IP. Проблема адаптации TCP/IP к спутниковым каналам является одной из центральных при разработке нового класса ССС, которые условно обозначаются термином «спутниковый Интернет».

Адаптация TCP к использованию в ССС необходима для решения следующих практических вопросов:

- **Длительный цикл обратной связи.** Из-за протяженности спутникового канала источник передаваемого пакета данных может ожидать в течение 0,3–0,6 с подтверждения правильности приема пакета хост-системой. Большие задержки отрицательно влияют на интерактивные приложения и приводят к перегрузке трафика.
- **Большое значение величины «пропускная способность × задержка».** Параметр BDP (bandwidth-delay product) определяет объем данных, находящихся «на лету» (т.е. уже переданных, но еще не подтвержденных) в единицу времени при полном использовании канальной емкости. Из-за больших задержек TCP должен контролировать и обеспечивать передачу очень большого числа пакетов (по сравнению с наземными сетями).
- **Ошибки передачи данных.** Для спутниковых каналов характерно, что параметр BER имеет высокое значение. Протокол TCP рассматривает ошибки пакетов как сигналы перегрузки трафика и уменьшает размер группы пакетов (window size), чтобы предотвратить заторы трафика. В результате производительность TCP снижается, хотя доступная канальная емкость еще не исчерпана.
- **Асимметричные каналы.** Многие спутниковые сети конструируются с асимметричными каналами (линии «вверх» имеют меньшую пропускную способность, чем линии «вниз»). Асимметричные каналы снижают производительность TCP.

- **Переменная величина задержки.** В сетях LEO задержка сигналов от/к спутникам связи изменяются со временем, что может влиять на перегрузку трафика.
- **Ненадежность соединений.** В не-геостационарных ССС TCP-соединения могут переключаться между спутниками или могут переключаться между спутниками или наземными станциями, что часто приводит к потере пакетов.

Производительность TCP прямо влияет на характеристики выполнения приложений: задержки сообщений, производительность прикладных протоколов (FTP, HTTP, Telnet и др.), надежность решения прикладных задач.

В рамках IETF (Инженерная группа разработки протоколов Internet) уже много лет действует рабочая группа, разрабатывающая спутниковую версию протокола TCP/IP (TCP over Satellite). В феврале 2000 г. этой группой опубликован документ RFC 2760<sup>8</sup>, в котором дан обзор исследований новых механизмов TCP/IP, компенсирующих негативные свойства спутниковых радиоканалов. Новая спутниковая версия, получившая название TCPSAT, реализует не только улучшенные транспортные механизмы TCP/IP, но и ряд ширококвещательных режимов, подобных протоколу IP Multicast. В отличие от IP Multicast протокол TCPSAT будет выполнять двустороннюю передачу информации и фактически претендует на полное замещение TCP/IP в спутниковых сетях связи. По мнению ряда специалистов в высокоскоростных гигабитных сетях, для которых разрабатывается новая архитектура протоколов Internet2, все равно потребуется заменить TCP/IP на новые ширококвещательные мультимедийные протоколы. Поэтому TCPSAT уже реально рассматривается крупными операторами глобальных ССС (PanAmSat, Orion, ZakSat) в качестве базового протокола ширококвещательного доступа к Интернету.

## Новые протоколы Интернета

В перспективных ССС требуется обеспечить высокий уровень производительности и гарантированного качества услуг QoS связи для наиболее распространенных приложений Интернета. Классическая версия TCP/IP не позволяет реализовать современные концепции спутникового Интернета в полном объеме необходимых приложений. В геостационарных спутниках наиболее критичным фактором является задержка распространения сигнала. В спутниках LEO и МЕО кроме длительных задержек действуют также и негативные факторы, связанные с динамикой маршрутов пакетов. Для всех типов ССС общие проблемы вызваны низкой надежностью спутниковых каналов, а также несоответствием многих механизмов TCP особенностям трафика в ССС.

Как показали различные эксперименты по применению TCP/IP в спутниковой связи, для многих приложений, требующих передачи мультимедийной информации в реальном времени (видеоконференцсвязь, интерактивное ТВ, мобильная мультимедийная связь, видео по запросу и т.п.) необходимы новые протоколы передачи данных.

К таким новым протоколам Интернета, которые необходимо рассматривать при построении перспективных ССС, относятся:

- *Internet Stream Protocol, Version 2 (ST 2)*

Протокол ST 2 является межсетевым протоколом с установленным соединением. ST 2 гарантирует требуемое качество сервиса, обеспечивает передачу данных в реальном времени, реализует мультивещательные режимы. ST 2 входит в семейство IP протоколов и фактически дополняет TCP/IP механизмами транспорта мультимедийных данных.

- *IP version 6 (IPv6)*

Новая версия IPv6 обеспечивает широкий набор дополнительных возможностей: расширенное адресное пространство, новые механизмы управления потоком данных, средства мобильности, развитые режимы аутентификации и защиты данных.

Следует отметить, что появление в новых ССС бортовых коммутаторов, реализующих как маршрутизацию данных по линиям «вверх» и «вниз», так и межспутниковое (ISL) переключение каналов, усложняют в целом (по сравнению с геостационарными системами) проблемы создания эффективных транспортных подсистем спутникового Интернета. Это обстоятельство должно

<sup>8</sup> RFC 2760 «Ongoing TCP Research Related to Satellites». February, 2000.

служить существенной причиной разработки и применения нового семейства IP протоколов с использованием IPv6 и современных протоколов управления QoS типа RSVP (Resource Reservation Protocol, RFC 2205), поддержки мультисервисных режимов (RFC 2474 и RFC 2475), реализации режимов реального времени RTP (Real Time Protocol, RFC 1889).

Задача управления потоками данных в перспективных ССС имеет сложный интегральный характер и должна решаться исключительно на базе многоуровневых протокольных механизмов семейства TCP/IP. Новые протоколы типа TCPSAT и другие мультимедийные расширения TCP/IP могут рассматриваться как базовые транспортные механизмы ССС нового поколения.

### Транспортные протоколы ATM для спутниковой связи

Транспортный протокол ATM относится к классу протоколов с установлением соединений, однако для физических каналов с низким уровнем ошибок BER. Спутниковые каналы характеризуются высоким уровнем BER, особенно в условиях групповых (пакетных) ошибок. Спутниковые версии ATM (SATATM) разработаны многими исследовательскими группами (ESA, NASA, VANTAGE) с целью компенсации больших задержек, ошибок передачи и влияния погодных условий<sup>9</sup>. Исследуются также варианты реализации IPv6 (адресация, управление мобильностью, широковещание и др. механизмы) над ATM как транспортной средой для спутниковых каналов. Компания COMSAT уже несколько лет выпускает ATM продукты для спутниковых каналов (ALE-2000, CLA-2000/ATM), обеспечивающие надежный трафик на скорости до 8,448 Мбит/с.

В табл. 2.17 представлены некоторые исследовательские проекты экспериментальных спутниковых сетей ATM.

Таблица 2.17. Экспериментальные проекты по применению ATM

Проекты	Участники	Тип транспондера	Метод доступа	Скорость передачи
VANTAGE	BT Telecom	Ку-полоса	«Точка-точка»	2 Мбит/с
QoS-IDR	AT&T, KDD (Япония), Telstra (Австралия)	Ку-полоса	«Точка-точка»	44,736 Мбит/с
ATM Satellite	AFRL (США), CRC (Канада)	Ку-полоса	«Точка-точка», мультивещание	44,736 Мбит/с
RACE	Eutelsat, Alcatel	Ку-полоса	«Точка-точка»	34 Мбит/с
ACTS США	NASA	Ка-полоса, микро- волновый матрич- ный коммутатор	TDMA	622 Мбит/с
Bandwidth on Demand	COMSAT, Interstate	Ку-полоса	MF-TDMA	2-8 Мбит/с
Broadband Net	Teledesic	Ка-полоса	MF-TDMA	16 кбит/с – 2 Мбит/с

<sup>9</sup> S. Raghavan. «All in-Depth Design Guide to Asynchronous Transfer Mode (ATM) over Satellite Communication Network». April, 2000.



## 2.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ВЫВОДЫ

Даже общий анализ тенденций развития ССС показывает, что мировой рынок спутниковой связи претерпевает большие изменения в последние два-три года.

Проектные и технологические решения современных ССС становятся все более многообразными. Многоспутниковые конфигурации столкнулись с рядом организационно-финансовых проблем: значительный рост затрат на проектирование систем, постоянные задержки запусков спутников, высокие тарифы на услуги связи, проблемы с качеством связи, низкие темпы развития абонентской базы. Все эти факторы побудили инвесторов и разработчиков к поиску более простых и экономичных решений. На мировом рынке спутниковой связи растет интерес к новым схемам использования геостационарных спутников, созданию экономичных региональных схем, вертикальным рыночным сегментам и профессиональным применениям спутниковой связи.

В области мобильной связи усилилась доминирующая роль наземных сетей (по объему трафика, числу абонентов и составу услуг). На общемировом и региональном уровнях техническую политику по вопросам стандартизации персональной связи и межсетевой интеграции активно формируют идеологи мобильной связи 3-го поколения. Стандарты UMTS и IMT-2000, в которых все более заметно межсетевые и прикладные технологии определяются протоколами Интернета, начинают на практике влиять на будущее спутниковой связи.

Сети UMTS поднимают «планку качества» услуг беспроводной связи на такой высокий уровень, что заставляет разработчиков перспективных ССС пересматривать принятые ранее технические требования и переходить к разработке универсальных платформ сетевых узлов с широким использованием протоколов типа WCDMA, IP и MPEG. Широкополосные технологии становятся базой и новых спутниковых систем телевидения, где уже появились универсальные технологии абонентских сетей доступа, объединяющие возможности непосредственного ТВ, корпоративных сетей и высокоскоростного Интернета. Спутниковый Интернет в ближайшие годы захватит многие крупные сегменты массового рынка, что полностью подтверждает преимущества проектирования спутниковых сетей на базе общих стандартов (DVB, MPEG, IP).

В перечне часто отмечаемых преимуществ ССС – глобальность, независимость от наземных инфраструктур, массовость услуг, экономичность и др. – на современном этапе более важными становятся те принципиальные свойства спутниковой связи, где наибольший рыночный эффект дает интеграция с другими сетями массового обслуживания: телевидения, сотовой связи и Интернета. К таким отличительным свойствам спутниковой связи следует отнести широкополосные и широкоэмиттерные каналы, непосредственный прием информации на домашние и офисные антенны, мультимедийное кодирование потоков данных, спутниковая навигация.

Сценарии широкополосного спутникового доступа к Интернету (асимметричного и симметричного) станут в ближайшие важные области проектирования перспективных ССС. Для дешевых асимметричных схем будут разрабатываться новые комбинации каналов «вниз» и «вверх». При этом для обратных каналов (пользователь–спутник–провайдер Интернет-услуг) необходимо исследовать оптимальные сценарии: а) использование абонентских спутниковых антенн; б) применение мобильных технологий GPRS/WAP; в) переход на высокоскоростные линии DSL. Сценарии симметричного доступа к Интернету будут опробованы в новых многоспутниковых ССС. Две архитектуры спутниковой коммутации будут вести борьбу за выживаемость и рыночный успех: наземная или спутниковая маршрутизация трафика.

Большое практическое значение будет иметь внедрение двух новых глобальных систем – Skybridge и Teledesic –, в которых реализованы альтернативные концепции сетевой маршрутизации (табл. 2.18). Teledesic носит зарегистрированную торговую марку «Internet-in-the-Sky», что еще раз подчеркивает стратегическую роль Интернета как будущего поля сражений ССС.

Таблица 2.18. Сравнение широкополосных систем связи Skybridge и Teledesic

Характеристики	Skybridge	Teledesic
Внедрение	2002	2003
Параметры орбиты (тип, высота, покрытие Земли, число спутников)	LEO, 1469 км, 68%, 64	LEO, 1375 км, 100%, 288
Технология связи	QPSK, ATM, наземная маршрутизация	QPSK, ATM, собственный пакетный протокол, спутниковая маршрутизация
Многостанционный доступ	TDMA/FDMA/CDMA	TDMA/SDMA/FDMA/ATDMA
Мультилучевые параметры: лучей/спутник общее число лучей диаметр пятна	18 1440 700 км	64 18432 200 км
Производительность передачи данных: Линия «вверх» Линия «вниз»	16 кбит/с – 2 Мбит/с 16 кбит/с – 20 Мбит/с	16 кбит/с – 16 Мбит/с 2,04 Мбит/с (128 базовых канала)
Пропускная способность: Линия «вверх» Линия «вниз»	2 Мбит/с – $N \times 2$ Мбит/с 20 Мбит/с – $N \times 20$ Мбит/с	16 кбит/с – 2 Мбит/с 16 кбит/с – 64 Мбит/с

Обработка трафика в подсистемах бортового комплекса также должна быть направлена на решение ключевых задач: обеспечение широкополосной связи, реализация общей транспортной IP среды, предоставление услуг с гарантированным качеством QoS. Регенеративные транспондеры перспективных ССС должны обеспечивать различные методы модуляции и кодирования, конверсии форматов многостанционного доступа (например FDMA-TDMA, TDMA-CDMA).

Еще одна важная область будущих применений спутниковой связи находится на стыке трех технологий «спутниковая технология – мобильная связь – доступ к Интернету». Если США в самое последнее время открывает широкий доступ к GPS, а Европейский Союз ведет разработку системы Galileo стоимостью 3 млрд. долл., то для России, располагающей системой ГЛОНАСС, мобильная навигация может стать одним из наиболее перспективных рынков услуг связи и информации. Интеграция сетей мобильной связи с системой ГЛОНАСС является важной областью разработок перспективных технологий спутниковой связи<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Ю.А. Соловьев. «Системы связи и спутниковые радионавигационные системы». Mobile Communications/RE. № 6, 2000.

### 3. МЕЖДУНАРОДНЫЕ ПРОГРАММЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Международное сотрудничество в области создания и использования ССС охватывает несколько широких и очень важных для России областей:

- промышленно-техническая кооперация по разработке элементов ССС, включая системы вывода спутников связи на различные орбиты;
- сотрудничество компаний-операторов, как уже действующих в области фиксированной и мобильной связи, так и специально создаваемых для эксплуатации ССС;
- сотрудничество национальных администраций связи по вопросам частотного регулирования, либерализации международных рынков оборудования и услуг связи, разработки и принятия новых телекоммуникационных стандартов и ряду других общих проблем;
- научно-техническое сотрудничество по исследованию и разработке новых технологий связи, систем передачи мультимедийной информации и применения спутниковой связи в различных отраслях народного хозяйства.

Международное сотрудничество реализуется путем участия национальных организаций в работе международных координирующих органов (ITU, ISO, ETSI, ESA), международных операторских компаний (Eutelsat, Intersputnik), международных исследовательских центров и институтов в области космоса и спутниковой связи. Европейские организации также принимают участие в программах сотрудничества в рамках международной организации INTELSAT, которая по своему статусу является открытой организацией для участия всех стран-членов ITU.

В рамках Международного союза электросвязи (ITU) в 1995-2000 г.г. проведена широкая программа работ IMT-2000, в которой спутниковая связь и соответствующие проекты новых стандартов радиосвязи рассматриваются как важнейшая часть новых технологий мобильной связи 3-го поколения.

#### 3.1. ПРОГРАММЫ ESA В ОБЛАСТИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

В странах Европейского Союза (ЕС), начиная с 1992 г., осуществляются долгосрочные международные программы НИР/ОКР. Европейские страны проводят совместные исследования и разработки космических программ на основе долевого финансирования и научно-технического сотрудничества в рамках Европейского космического агентства ESA (European Space Agency). ESA разработала в 1992-1998 г.г. серию экспериментальных спутниковых проектов, в основном в L-диапазоне для отработки технологий ССС.

Программа ARTEMIS (Advanced Relay Telecommunication Mission Satellite) проводится с целью тестирования и отработки новых спутниковых систем связи в L-диапазоне (запуск спутника планируется в 2000 г.). Программа предусматривает отработку технологий спутниковой связи «спутник – наземные мобильные станции», а также технологий межспутниковой связи по радиоканалам и новым методам лазерной связи «спутник – спутник». Космический аппарат ARTEMIS будет нести на борту две подсистемы межспутниковой связи: лазерный ретрансляторный терминал SILEX для связи со спутниками LEO и трансляции получаемых данных на наземные станции, и двухрежимный терминал (S/Ka-диапазоны), называемый SKDR.

Запуск спутника ARTEMIS планируется осуществить на японском ракете-носителе H2A в рамках международной программы сотрудничества ESA-NASDDA (японское космическое агентство).

Спутник ARTEMIS будет находиться на геостационарной орбите. Ретранслятор SILEX обеспечит связь с терминалом на французском спутнике SPOT-4. Планируется реализовать линию связи между SPOT-4 и ARTEMIS на скорости 50 Мбит/с. Линия связи будет работать в оптическом диапазоне частот при длинах волн 800-860 нанометров. Источник световой волны – твердотельный лазерный диод оптической мощностью 60 мВт. Схема модуляции – прямая модуляция интенсивности светового луча по принципу «on/off». В качестве оптического детектора используется фотодиод.

Расстояние между спутниками составит около 40 000 км, что дает для времени прохождения светового сигнала величину порядка 0,25 с. В течение этого времени спутники смещаются на рас-

стояние около 2 000 м, что при ширине светового луча в 300 м требует исключительно высокой точности позиционирования светового луча.

В программе ESA отдельные НИР/ОКР структурно оформлены в пять подпрограмм ARTES 1/2/3/4/5:

**ARTES 1** – исследует рыночные тенденции, общесистемные требования, межсетевые интерфейсы, стандарты спутниковой связи и другие стратегические вопросы перспективных ССС. Краткосрочные задачи, определяемые в концептуальных разработках ARTES 1, включаются в программы ARTES 2 и 3. Долгосрочные задачи исследуются в рамках ARTES 4 и 5.

**ARTES 2** (в настоящее время завершена) – содержит НИР/ОКР по перспективным бортовым комплексам, включающим развитые процессоры бортовой обработки мультимедийных данных. Исследовались спутниковые технологии интеграции с наземными сетями ISDN и TCP/IP, бортовые коммутаторы и управляющие наземные станции для широкополосной передачи мультимедийного трафика (384 кбит/с – 2,048 Мбит/с).

**ARTES 3** – разработка прикладных технологий для мультимедийных услуг: дистанционного обучения, телемедицины, широкополосной мобильной связи, корпоративных сетей интранет. В рамках ARTES 3 разрабатываются прототипы мультимедийных терминалов, абонентские станции для интерактивных мультимедийных приложений в Ku/Ka диапазонах, гибридные ССС специального назначения для профессиональных сегментов рынка спутниковой связи.

**ARTES 4** – кооперативные проекты, проводимые совместно (по принципу финансирования 50/50) с производителями оборудования и операторами связи. Исследования охватывают широкий круг практических вопросов по оптимизации КА, усовершенствованию технологий выведения КА на орбиты, проведению испытаний новых образцов оборудования и приложений. На основе процедур ARTES 4 международная организация ESA поддерживает промышленные инициативы и содействует быстрейшему внедрению новых технологий.

**ARTES 5** – содержит перспективные НИР/ОКР фундаментального и прикладного характера, которые объединены в рабочие программы ASTE. В рамках ASTE координируются исследования крупнейших европейских компаний: Ка модулятор (Alcatel), оптический приемник SILEX (EG&G), маломощные усилители (SPAR), приемник S-диапазона (Bosch), приемники Ku-диапазона (Dornier) и т.п.

**ASTE** – это основная научно-исследовательская программа ESA в области спутниковой связи. В рамках ASTE ESA спонсирует перспективные разработки ССС. Третья фаза ASTE реализуется в 2000-2005 г.г. в рамках общего исследовательского бюджета ESA объемом около 200 млн. долл. При рассмотрении заявок на проекты ASTE учитывается необходимость поддержки проектов S-UMTS, проводимых под эгидой Европейской Комиссии (КЕС) в рамках программ ACTS и IST.

Рабочий план ASTE на 2000 г., одобренный ESA в апреле 1999 г., содержит следующие области исследования и доли (%) общего объема финансирования программы ASTE (62 млн. долл.):

- перспективные услуги мобильной связи (31%);
- оборудование и услуги связи (24%);
- фиксированная и широкополосная спутниковая связь (24%);
- навигационные системы (11%);
- глобальная информационная инфраструктура (6%);
- спутниковая связь и навигационные системы для наблюдения Земли (4%).

По направлению «Перспективные услуги мобильной связи» предусмотрены на 1999-2000 г.г. следующие темы:

- SDLS (Satellite Data Link System) – система межспутниковых каналов передачи данных;
- технологии S-UMTS, стандартизация протоколов, интеграция с UMTS.

По направлению «Глобальная информационная инфраструктура» планируются исследования:

- новые радиотехнологии в диапазонах Q (50/40 ГГц) – для каналов «спутник-Земля» и V (60 ГГц) – для межспутниковых каналов связи.

Эти исследования первоначально проводились по проекту ARTES-I, и планируется их существенно расширить в рамках ASTE.

Подобные исследования, ориентированные на создание широкополосных мультимедийных технологий, уже перешли в стадию проектирования конкретных систем, реализуемых в настоя-

шее время европейскими производителями – Skybridge, WEST Early Bird и EuroSkyWay. Новое поколение широкополосных ССС для Ka-диапазона будет разрабатываться в рамках ASTE, начиная с TWTA и реконфигурируемых антенных систем.

В 2000 г. ряд проектов ASTE будет посвящен изучению оптических технологий для межспутниковой связи и методов маршрутизации потоков данных с использованием бортовых сетевых узлов.

Сводка проектов ASTE на 2000 г. приведена в табл. 3.1.

**Таблица 3.1. Новые проекты ASTE в области мобильной связи**

№ п/п	Название проекта	Цели проектов
1.	<b>Advanced Satellite-UMTS Test Bed</b>	Провести испытания спутниковой компоненты S-UMTS (дальнейшее развитие проектов SINUS и INSURED по программе ACTS KEC). Планируется исследовать динамику спутника, межспутниковые связи и взаимодействие с наземными фиксированными и мобильными сегментами UMTS.
2.	<b>Networking Techniques for Dynamic Satellite Constellations</b>	Управление спутниковыми группировками (вопросы мощности и радиочастотных ресурсов), управление мобильностью абонентов (трассировка передвижения абонентов и вопросы сигнализации), сетевое управление и механизмы межсетевое взаимодействие с наземными сетями.
3.	<b>Transport Protocol and Communication Resource Management for Mobile Satellite Networks</b>	Исследование протокола Internet TCP/IP с точки зрения оптимизации протокольных механизмов при использовании спутниковых каналов связи и ресурсов транспондеров. Протоколы DAMA (Dynamic Assignment Multiple Access – динамическое выделение ресурсов многостанционного доступа) будут исследованы при решении задач эффективного обслуживания многих протоколов данных.
4.	<b>Robust Modulation and Coding for Satellite Personal Communication Systems</b>	Исследовать новые методы модуляции, кодирования и многостанционного доступа, эффективные в условиях маломощных портативных терминалов пользователей. Новые методы, в частности, квазигогерентное детектирование сигналов будут исследованы для малых антенн и микро-VSAT.
5.	<b>Experimental Personal Communication System</b>	Разработать тестовое оборудование для мобильной связи 3-го поколения. Планируется испытать широкополосные применения (видеотелефония, доступ к базам данных) мобильной спутниковой связи.
6.	<b>Synchronous Satellite Link for Air Traffic Management Systems</b>	Исследовать спутниковую связь для авиационной передачи данных в соответствии с новым стандартом ICAO ATN. ATN (Aeronautical Telecommunication Network) будет использована как базовая сетевая архитектура, расширенная межсетевыми шлюзами для спутниковой связи с бортовыми и наземными услугами. Спутниковая связь в ATN обеспечит более эффективное управление авиационным трафиком.
7.	<b>Service Quality Assessment for Ka-Band Satellite Personal Communications</b>	Исследовать будущие спутниковые системы связи в Ka-диапазоне, реализующие режим «квазимобильного приема» сигналов на абонентские малые антенны. Моделирование не-геостационарного спутника будет проведено на авиационном передатчике. В экспериментальных условиях будут измерены различные характеристики качества сервиса (QoS) в зависимости от скорости движения абонентских терминалов и параметров мобильного терминала.
8.	<b>Advanced Mobile Payload Equipment</b>	Исследовать новые бортовые комплексы и многолучевые рефлекторные антенны, отвечающие требованиям мобильной спутниковой связи 3-го поколения (диаметр антенн может превышать 10 м). Для мощных излучателей сигналов требуется большое число излучателей (80 и более фидеров). Проектирование и оценка параметров новых типов диплексоров, разделяющих маломощные сигналы от абонентов и высокомошные сигналы передатчиков, является одной из центральных задач исследования.
9.	<b>Large Deployable Antenna Reflector for Advanced Mobile Communications</b>	Разработать электрические, термомеханические и технологические конструкции больших разворачиваемых антенных рефлекторов. Для будущих систем UMTS/IMT-2000 требуются очень большие антенные рефлекторы диаметром более 12 м. (В настоящее время в ESA апертуры антенн не превышают 7 м). Ставится задача сконструировать расширяемые до 25 м антенны, позволяющие использовать для вывода на орбиту действующие ракетносители типа Ariane V.

№ п/п	Название проекта	Цели проектов
10.	<b>Cost Effective, Modular Active Array Antennas</b>	Разработать и испытать модульные решетчатые антенны, отвечающие требованиям многолучевых генераторов сигналов для S-UMTS (до 100 лучей при угле видимости около 110 град.). Планируется исследовать цифровые фазированные антенны, многослойные конструкции по технологии LTCC-M (Low temperature co-fired ceramics-metals).
11.	<b>High Efficiency SSPA for Active Phased Arrays</b>	Разработать мощные твердотельные усилители SSPA (Solid State Power Amplifier), обеспечивающие широкий диапазон мощности радиосигналов (1-20 Вт) и высокие параметры эффективности PAE (Power Added Efficiency) и линейаризованности. Спутниковые бортовые комплексы будущих систем S-UMTS будут оборудованы активными фазированными антеннами, состоящими из сотен приемо-передающих модулей, в каждом из которых блок SSPA является существенной компонентой.
12.	<b>Low-Cost Terminals for Satellite</b>	Спроектировать, изготовить и испытать высокопроизводительный и дешевый приемник радиосигналов для ручных терминалов S-UMTS.
13.	<b>End-User Terminal and Access Control Equipment for Advanced Mobile Satellite Communications</b>	Разработать новые концепции абонентского оборудования для наземных компонент S-UMTS.
14.	<b>Concept Study for Advanced Mobile Terminal</b>	Исследовать оптимальную структуру передатчика TDMA для абонентского терминала спутниковых систем нового поколения. Планируется разработать новую концепцию мультимедийного терминала, оптимального по критериям экономичности энергопотребления, малогабаритности и стоимости.
15.	<b>Integrated Circuit Design for Personal Communications Systems</b>	Исследовать системотехнические требования к заказным интегральным схемам, на базе которых могут быть построены малогабаритные и дешевые абонентские терминалы.
16.	<b>Road Traffic Monitoring by Satellite</b>	Исследовать новые области применения мобильной спутниковой связи, в частности, мониторинг дорожного трафика. Транспортные средства, оборудованные навигационными спутниковыми приемниками GNSS, обеспечивают непосредственный сбор данных трафика. Планируется провести комплексные экспериментальные исследования на базе спутниковых систем EMS и Inmarsat.
17.	<b>Mobile Satellite Data Services for Highly Time-Critical Applications</b>	Исследовать специальные применения спутниковой связи (большие строительные площадки, транспортировка спецгрузов, атомные электростанции и др.), где требуется абсолютное покрытие обслуживаемой зоны, высокий уровень готовности связи, быстрое время отклика и относительно низкий уровень трафика. Планируется построить демонстрационную сеть мобильной спутниковой связи с целью проведения испытаний подобных спецприменений связи.
18.	<b>High Performance Mobile System – Potential Applicability to SDLC</b>	Исследовать CCC для специальных применений, где требуется очень высокий уровень готовности, а также быстрое время отклика. Например, система обеспечения безопасности авиаполетов может использовать технологию SDLS (Satellite Data Link System – Система межспутниковой передачи данных). Планируется разработать на базе SDLC технологию мобильной спутниковой связи, отвечающую требованиям управляющих служб гражданской авиации.
19.	<b>Private Mobile Satellite Radio Networks for Safety and Security Related Applications</b>	Исследовать системные требования и определить решения для ведомственных/корпоративных систем мобильной спутниковой связи. Для таких применений необходимо обеспечить абсолютно полное покрытие зоны обслуживания, связь с большим числом абонентских станций при очень низком среднем абонентском трафике, высокую готовность и малое время отклика. Потенциальные применения – службы экстренной помощи, охрана и безопасность объектов, службы охраны правопорядка, дорожные службы технической и медицинской помощи.

Таким образом, в рамках ESA проводится как международная координация перспективных НИР/ОКР, так и выработка общеевропейских стратегических инициатив по созданию ССС нового поколения.

Следует отметить, что на уровне производителей систем спутниковой связи существует общее мнение, что в целом страны Европейского Союза нуждаются в более сильной и скоординированной общей космической стратегии. Европейская космическая ассоциация (Eurospace) выдвинула в апреле 2000 г. ([www.eurospace.org](http://www.eurospace.org)) Рекомендации промышленности по разработке **Европейской Космической Стратегии**. В частности, Eurospace призывает к объявлению «Европейского принципа предпочтения» с целью улучшения юридических условий на европейском рынке спутниковых систем. На возникающих новых рынках спутниковой навигации и мобильной связи Европа стремится за счет собственных решений (GALILEO, UMTS, правил лицензирования OSS – One Stop Shopping) стать лидером мирового рынка спутниковой связи.

### 3.2. ЕВРОПЕЙСКИЕ ПРОЕКТЫ ACTS/IST

5-я рамочная программа «Технологии информационного общества» – IST (Information Society Technologies) – является основной целевой программой европейского научно-технического сотрудничества в области перспективных технологий связи и информации. Программа IST (1999-2002 г.г.) с общим объемом фиксирования в рамках бюджета Европейской Комиссии на сумму 4 млрд. долл. продолжает цикл НИР/ОКР, выполнявшихся в 4-й рамочной программе ACTS (1994-1998 г.г.).

Страны Европейского Союза на высоком уровне своих политических органов (Европейский Парламент, Европейская Комиссия, СЕРТ и др.) регулярно рассматривают общеевропейские цели и стратегии развития спутниковой связи. В 1990 г. на уровне КЕС был принят важнейший документ<sup>11</sup> «Программный доклад об общем подходе в области спутниковой связи в Европейском Сообществе».

Наиболее полно и четко современные направления европейской политики в области спутниковой связи представлены в документе КЕС «The EU Action plan: Satellite Communications in the Information Society»<sup>12</sup> (План действия Европейского Союза: Спутниковая связь в Информационном обществе).

В документе подчеркнуто, что «спутники являются одним из **существенных компонентов глобальной коммуникационной инфраструктуры**».

В марте 1997 г. КЕС начала реализацию первого этапа «Satellite Action Plan», в котором приоритетными областями европейского сотрудничества были объявлены:

- развитие и консолидация регуляторной основы спутниковой связи;
- обеспечение необходимых и ограниченных ресурсов (радиочастотного спектра, орбитальных позиций) с учетом потребностей будущих систем связи уже на ранних стадиях их создания;
- решение организационно-правовых вопросов по обеспечению доступности рынков связи в третьих странах;
- развитие НИР/ОКР в рамках международных программ сотрудничества.

Политические решения и конкретные действия органов ЕС в области спутниковой связи тесным образом увязываются с общеевропейскими мероприятиями, определенными в других документах КЕС<sup>13</sup>.

<sup>11</sup> «Towards Europe-Wide Systems and Services – Green Paper on a common approach in the field of satellite communications in the Europe Community». COM (90) 490. 1990.

<sup>12</sup> The EU Action Plan: Satellite Communications in the Information Society: recent activities, present situation and outlook. Commission staff working paper. SEC (1999) 250/ Brussels, 16.2.99.

<sup>13</sup> «Towards the Personal Communications Environment: Green Paper on a common approach in the field of mobile and personal communications in the European Union». COM (94) 145. 1994.

«Green paper on the Convergence of the Telecommunications, Media and Information Technology Sectors, and the Implications for Regulation Society Approach». COM (97) 623. 1997.

«Green Paper on radio spectrum policy in the context of European Community policies such as telecommunications, broadcasting, transport, and R&D». COM (98) 596. 1998.

Ситуация на европейском рынке спутниковой связи, где лидерами являются Alcatel Space (компания, созданная на базе объединения Aerospatiale satellite и Thomson CSF) и консорциум в составе Matra Marconi Space, DASA-Raumfahrt-Infrastruktur, Dornier Satellitensysteme и Alenia Spazio, характеризуется тем, что в Европе фактически действуют два крупных игрока с годовым оборотом в 1,5 и 2,8 млрд. долл. соответственно. Как известно, в США ведущие позиции на рынке занимают Hughes, Boeing, Motorola, Loral и Lockheed Martin.

Общая тенденция для Западной Европы и США такова, что компании-производители оборудования спутниковой связи все более активно участвуют в бизнесе предоставления услуг, инвестируя в уже действующие сети или создавая новые операторские компании. Наиболее яркими примерами этой тенденции являются: Hughes → PanAmSat, Loral → Orion, Boeing → Ellipso, Alcatel → SkyBridge, Motorola, Boeing и Matra Marconi → Teledesic, Lockheed Martin → Comsat.

Другие рыночные факторы, проявившиеся заметно в последнее время, также оказывают конкурсирующее влияние на развитие ССС глобального масштаба. Среди этих «негативных» для ССС факторов выделим следующие:

- бурное развитие наземных сетей мобильной связи 2-го поколения (GSM, D-AMPS, CDMA) и поглощение операторами этих сетей массового спроса на услуги связи;
- переход на технологии и услуги мобильной связи 3-го поколения, и что очень важно, внедрение высокоскоростных режимов для интеграции с Интернетом, что обеспечит глобальный (или почти глобальный) роуминг для большинства потребителей услуг связи;
- эргономические и эксплуатационные преимущества сотовых телефонов (по сравнению со спутниковыми терминалами) по таким параметрам как размеры, масса, энергопотребление и т.п.;
- быстрый выход в ближайшие два-три года операторов сотовой связи на рынки домашних и офисных беспроводных систем связи; например, сотовый телефон станет намного более универсальным аппаратом внутри зданий, чем спутниковый телефон, требующий практически прямой «видимости» спутника;
- явные тенденции снижения тарифов сотовой связи, стоимости телефонов и новые условия оплаты услуг (pre-paid) повышают конкурентные преимущества сотовой связи для массовых абонентов.

Таким образом рынок услуг мобильной телефонии становится все более трудным для проникновения спутниковой связи. Глобальная спутниковая связь начинает искать свои более выгодные рыночные ниши на сегментах высокоскоростной связи и мультимедийных применений.

## **Интеграция спутниковых и наземных сегментов UMTS**

Европейская комиссия в рамках программы ACTS в 1994-1998 г.г. координировала НИР/ОКР по нескольким проектам – SINUS, SECOMS, INSURED, TOMAS, среди которых проект SINUS выполнял лидирующую роль с точки зрения разработки общей концепции Европейской спутниковой связи. Результаты проведенных исследований по проекту SINUS были представлены ESA в конце 1998 г. в ITU в качестве проектного предложения RTT для спутниковой компоненты программы S-IMT-2000. Предложение ESA характеризуется технологией SW-CDMA (спутниковая широкополосная CDMA) и в целом согласуется по методам многостанционного доступа с технологией WCDMA, разработанной для наземной мобильной связи в других проектах ACTS, в том числе в рамках проекта UTRA FDD.

Однако, если технология UTRA FDD нашла достаточно широкую поддержку у ведущих производителей (Siemens, Ericsson, Nokia и др.), то технология SW-CDMA, предложенная ESA, не получила соответствующей поддержки от промышленности. Тем не менее проектное предложение ESA SW-CDMA прошло стадию экспертной оценки ITU и среди общей группы 6 предложений RTT продолжает рассматриваться ITU в качестве возможного стандарта спутниковой связи для компоненты S-IMT-2000.



В целом проект SINUS, благодаря его высокой степени документированности и открытости, заслуживает изучения российскими специалистами, так как имеет ряд системо-технических преимуществ по сравнению с другими предложениями RTT. В табл. 3.2 приведены характеристики услуг связи, предлагаемых в проекте SINUS.

**Таблица 3.2. Характеристики услуг SINUS**

Услуги	Класс услуг*	Базовая скорость (кбит/с)	BER	Макс. общая задержка (мс)
Речь	RT	4-6	10E-3	400
Аудио	RT	8-64	10E-5 – 10E-6	400
Данные	NRT	1-144	10E-5 – 10E-6	500
Текст	NRT	20	10E-6	500
Графика	NRT	2,4-144	10E-6	400
Видео	RT/NRT	8-144	10E-6	400

Примечание. RT – услуги реального времени; NRT – услуги, не требующие реального времени

Спутниковый сегмент UMTS (S-UMTS) следует рассматривать как развитие многих глобальных систем спутниковой связи, реализуемых в 1998-2000 годах (Iridium, Globalstar и др) и предоставляющих узкополосные услуги связи типа голосовой телефонии, факс-связи и низкоскоростной передачи данных (4,8-9,6 кбит/с). С европейской общеполитической точки зрения важным фактором, не способствующим принятию какой-либо из этих систем в качестве основы S-UMTS, является и то обстоятельство, что европейские производители не занимают ведущие позиции в этих проектах. Поэтому европейский подход в области спутниковой связи (в отличие от США) не концентрируется на создании еще одной глобальной системы, а ориентирован на многоаспектные исследования вопросов интеграции спутниковых сетей связи с наземными сегментами UMTS.

Европейские проекты в области спутниковой связи – SECOMS, SINUS, INSURED, TOMAS и другие направлены на постепенное развитие межсетевых механизмов и развитие новых технологий спутниковой связи, позволяющих создать спутниковый сегмент UMTS как интегрированную систему из нескольких отдельных спутниковых и наземных сетей связи. Например, проект INSURED исходит из принципа «невмешательства» в отдельные сегменты UMTS (наземные и спутниковые), предлагая общие решения для межсетевых функций – IWF (Interworking Functions). Необходимо подчеркнуть, что IWF-протоколы разрабатываются не как общие транспортные механизмы связи, а для определенных взаимодействий отдельных сетей связи, например, Iridium и GSM. При этом выдвигается принципиальное требование к IWF-протоколам – использовать общие концепции, архитектурные принципы, протокольные объекты и процедуры для любых пар взаимодействующих сетей.

Экспериментальная система INSURED проектируется в соответствии со схемой рис. 3.1. Каждая из двух взаимодействующих сетей функционирует независимо от другой сети. Основной блок взаимодействия (Модуль IWF) реализуется в двух видах:

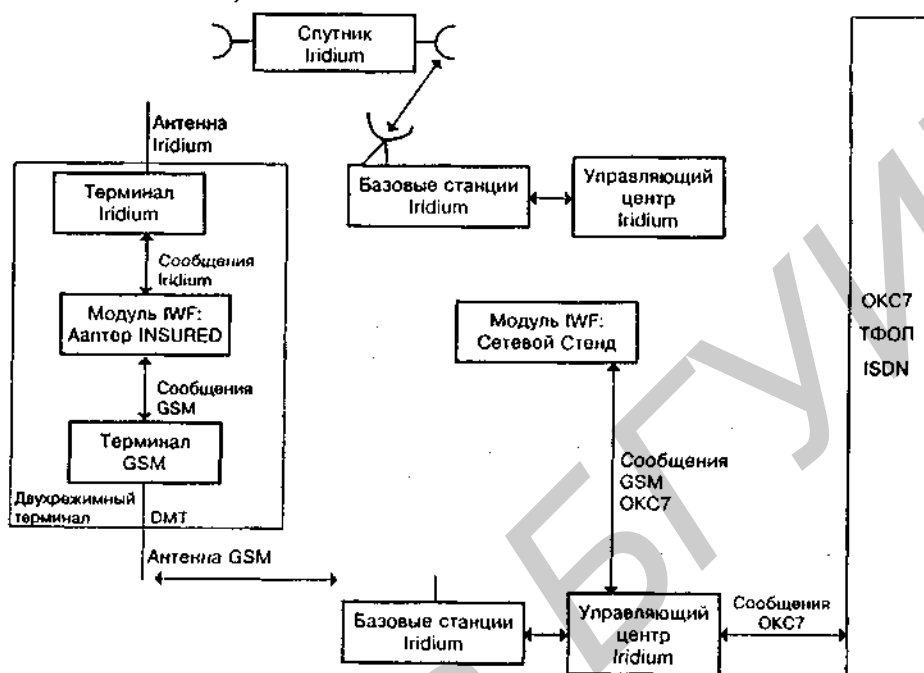
**Адаптер**, встраиваемый в двухрежимный терминал DMT (Dual-Mode Terminal), обеспечивает интерфейс между GSM MT (Мобильным терминалом/станцией) и Iridium MT.

**Сетевой Стенд (Network Testbed)**, встраиваемый в сеть GSM, реализует в основном функции сигнализации по ОКС № 7.

В этой схеме обеспечивается выполнение следующих важных функций S-UMTS:

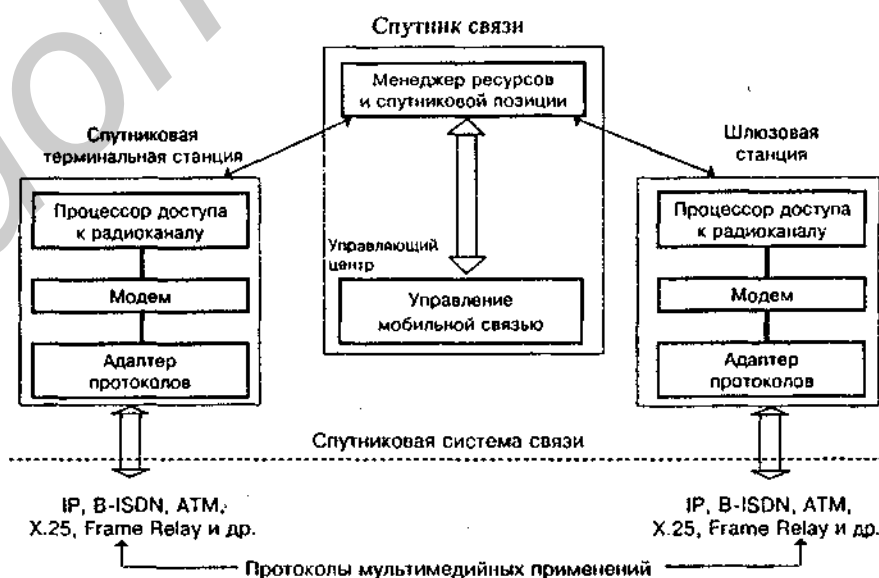
- межсегментное переключение (handover), когда вызов, приходящий из наземной части (GSM сети), переключается на спутниковый сегмент (Iridium);
- внутрисегментный роуминг, когда вызов автоматически маршрутизируется внутри сегмента (либо в GSM сети, либо в спутниковой сети Iridium); при этом предпочтение отдается выбору наземных каналов с учетом экономических факторов.

**Рис. 3.1.**  
Архитектура экспериментальной системы INSURED



Проект SECOMS ориентирован на высокоскоростные методы передачи информации в диапазоне 2-32 Мбит/с и предоставление мультимедийных услуг. Широкополосная спутниковая сеть SECOMS должна поддерживать разнообразные протоколы передачи данных (TCP/IP, ATM, Frame Relay) для взаимодействия с наземными сервис-провайдерами. В общей архитектуре системы (рис. 3.2) показано, что бортовая спутниковая система выполняет минимальный набор протоколов: физический транспорт данных, управление каналом, сигнализация и т.п. Все протоколы верхних уровней (уровни 3-7) реализуются в наземных терминальных и шлюзовых станциях, оптимизируя спутниковую транспортную сеть по ее нагрузке со стороны пользовательских приложений.

**Рис. 3.2.**  
Общая концепция сети SECOMS



Внедрение и развертывание спутниковых компонент планируется осуществить поэтапно. На первом этапе (2000-2002 г.г.) на геостационарную орбиту выводятся GEO спутники, работающие в Ка диапазоне. На втором этапе спутники, работающие в диапазоне EHF, выводятся на орбиты

LEO/MEO. В экспериментальных реализациях SECOMS используются спутники ITALSAT (Ka, 20/30 ГГц). Спутники связи ITALSAT работают в двух возможных конфигурациях: мультилучевое покрытие и глобальное (по территории Италии) покрытие. Генераторы радиосигнала обеспечивают 20, 40 и 50 ГГц радиоканалы.

Одной из тестовых задач проекта SECOMS является предоставление интерактивных мультимедийных услуг связи для авиапассажиров (самолет DG 228) в Ka диапазоне. Авиационный мобильный терминал работает на борту самолета в режиме передачи (30 ГГц) и приема (20 ГГц). Антенна монтируется в самолете на вращаемой платформе и позиционируется на спутник сигналом с наземной станции.

### Широкополосная спутниковая связь для мультимедийных применений

Для мобильных мультимедийных применений L диапазон имеет существенные ограничения как по частоте радио канала, так и по большим размерам мобильных терминалов, обеспечивающих сигнал требуемой мощности. Ka диапазон (20-30 ГГц) и более высокочастотные диапазоны EHF (40-50 ГГц)<sup>14</sup> предоставляют необходимые частоты и технические предпосылки для создания мобильных широкополосных систем.

Для спутниковой связи наиболее важно обеспечить следующие характеристики:

- требуемую скорость передачи данных;
- задержку сигнала в пределах, допускаемых конкретным пользователем;
- допустимый уровень ошибок в радио канале.

В зависимости от уровня интерактивности и направленности потока данных в каждом конкретном приложении требования к радио каналу могут изменяться в достаточно широких пределах. Табл. 3.3 содержит сводку требований к радиоканалу для различных применений.

Таблица 3.3. Требования к радиоканалу

№	Применение	Качество связи (BER)	Максимальная общая задержка (сек.)	Тип трафика А – асимметричный С – симметричный 1 – однонаправленный 2 – двунаправленный
1	Электронная почта	$10^{-4}$ - $10^{-6}$	300	С, 2
2	Пейджинг	$10^{-4}$ - $10^{-6}$	300	А, 1
3	Доступ к базам данных	$10^{-6}$	0,5-1,0	А, 2
4	Телефония	G.722	0,25	С, 2
5	Видеотелефония	H.221, H.261, MPEG-1	0,2-0,4	С, 2
6	Видеоконференции	$10^{-6}$ , H.221	0,2-0,4	С, 2
7	Телемедицина	$10^{-6}$ , H.221	0,2-0,4	С, 2
8	Видеовещание	VCR, HDTV	0,5	А, 1
9	Аудиовещание	MPEG-1	0,5	А, 1
10	Данные-вещание	$10^{-4}$ - $10^{-6}$	0,5-1,0	А, 1

В соответствии с этими требованиями для спутниковых систем связи разрабатываются три типа спутниковых терминалов:

- низкоскоростной терминал: 16-128 кбит/с для канала «вверх» и до 2 Мбит/с для канала «вниз»;
- среднескоростной терминал: 128-512 кбит/с для канала «вверх» и до 2 Мбит/с для канала «вниз»;
- высокоскоростной терминал: 2 Мбит/с в обоих направлениях.

<sup>14</sup> EHF – Extreme High Frequency (КВЧ – Крайне Высокие Частоты, 30-300 ГГц).

Системная архитектура SECOMS спроектирована с учетом рыночных требований и массовых пользовательских применений и имеет ряд отличий от других проектов глобальной спутниковой связи. Главные требования: низкая стоимость терминалов и мобильной связи, широкополосные мультимедийные технологии, эффективное использование радиоресурсов и спутниковых лучей. Ориентируясь на эти требования и новые технологии цифровой обработки сигналов, системная архитектура SECOM базируется на следующих концепциях:

- используется ограниченное количество спутников GEO, объединенных межспутниковыми каналами связи в общую спутниковую сеть;
- использование спутниковых лучей высокой мощности, генерируемых бортовыми комплексами и обеспечивающими широкое многозоновое покрытие;
- использование оптимизированных методов доступа к радиоканалу: MF-TDMA/TDM и CDMA/CDM, обеспечивающих максимальное использование спутниковых ресурсов;
- использование мобильных терминалов нескольких типов (от низкоскоростных до высокоскоростных);
- поэтапная реализация: 1-я фаза на базе спутников диапазона Ka (2000-2002 годы); 2-я фаза (2005 г.) на базе спутников диапазона EHF (40-45 ГГц), интегрируемых со спутниками Ka.

В экспериментах планируется решить следующие задачи:

- оценить производительность высокоскоростных каналов связи в Ka диапазоне;
- исследовать эффекты распространения радиосигнала во всех фазах полета самолета (стоянка, взлет, полет, посадка);
- оценить технологические аспекты спутниковой связи с точки зрения пригодности системы к коммерческой эксплуатации.

Параллельно с разработкой общесистемных решений, определяющих архитектуру и протоколы связи S-UMTS, действующие геостационарные спутники используются для проведения важных экспериментов по отработке мультимедийных применений. В качестве экспериментальных платформ, обеспечивающих высокоскоростную связь и глобальный охват зон обслуживания, хорошие возможности предоставляют спутники связи международных систем Inmarsat и ESA. Экспериментальная система TOMAS построена таким образом, чтобы на базе действующих спутников связи смоделировать возможную конфигурацию будущей широкополосной мультимедийной системы. Такая конфигурация TOMAS, на базе которой проводятся разнообразные исследования и эксперименты, включает пять главных подсистем:

- геостационарный спутниковый сегмент;
- фиксированные наземные станции FES (Fixed Earth Stations);
- наземная сеть связи;
- мобильное спутниковое оборудование;
- фиксированные терминалы.

Пользователям должны предоставляться:

- базовые транспортные услуги передачи данных: низкоскоростные синхронные и асинхронные каналы 1,2/4,8/9,6/14,4/28,8/33,6 кбит/с; высокоскоростные каналы 64-2048 кбит/с;
- транспортные сети ISDN и ATM;
- TCP/IP и другие услуги Интернета;
- мультимедийные услуги в соответствии со стандартами H.324M и MPEG-4.

Мобильное спутниковое оборудование состоит из трех основных компонент: мобильный мультимедийный терминал, поддерживающий H.324M/MPEG-4; радио приемопередатчик; мобильный спутниковый терминал. Мобильный мультимедийный терминал построен на портативном ПК со встроенными платами обработки аудио/видео информации (H.324M). Мобильный спутниковый терминал базируется на модифицированном спутниковом терминале Inmarsat (модификации M и B) с подключенной планарной антенной. Inmarsat терминал B поддерживает передачу данных 64 Кбит/с (режим HSD).

Спутниковый сегмент проекта TOMAS включает четыре действующих спутника Inmarsat на геостационарной орбите. Также используется спутник EMS Европейского космического агентства

(ESA). Доступ к спутнику EMS осуществляется через наземную станцию VSAT, работающую в Ku диапазоне. Для спутниковых систем Inmarsat и EMS реализуется интерфейс ISDN.

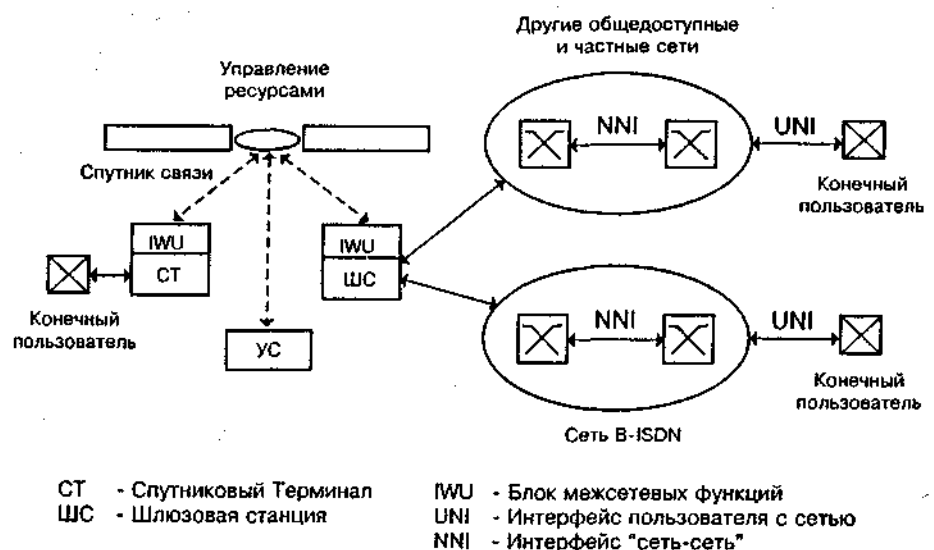
**Обеспечение мультимедийных услуг на базе спутниковой связи.** Системы спутниковой связи потенциально имеют большие возможности предоставления мобильным пользователям мультимедийных услуг связи и доступа к информации. Однако в создаваемых в настоящее время проектах систем Iridium, Globalstar, Inmarsat-ICO и других полосы частоты весьма ограничены. Учитывая эти ограничения в проектах ACTS исследуются Ka и EHF диапазоны для спутниковой связи, в которых возможно выделение широкополосных рабочих частот для связи мультимедийных терминалов по тракту «терминал-спутник-терминал». Для Ka диапазона важными факторами, влияющими на качество связи, являются атмосферные условия (водная абсорбция, сцинтилляция, деполяризация при минусовых температурах). Ослабление сигнала может составить 0,2-2,0 dB в течение нескольких минут или до 10-15 dB в течение одной-двух секунд.

В проекте SECOMS исследуются диапазоны 20/30 ГГц спутниковых систем связи, в которых могут быть организованы различные высокоскоростные каналы передачи данных 64 кбит/с – 32 Мбит/с. Архитектура спутниковой группировки базируется на спутниках типа GEO. Наземные станции проектируются трех типов: управляющий центр, шлюзовая станция и мобильный спутниковый терминал. Пользователям могут предоставляться разнообразные услуги:

- услуги передачи и обработки сообщений (электронная почта, пейджинговая связь);
- информационный поиск в базах документов, изображений, включая услуги видеотекста;
- диалоговые режимы связи (широкополосная телефония, многоточечные видеоконференции, обмен видео информацией, мультимедиа документами);
- управляемые пользователем вещательные режимы: аудио и видео вещание по выбору пользователя;
- интерактивные мультимедиа услуги, доступ к Web-информации.

Для обеспечения столь широкого спектра услуг предусматривается, что сервис-провайдеры будут взаимодействовать с мобильными пользователями, используя различные высокоскоростные протоколы, например, TCP/IP, ATM, Frame Relay, DVB (Digital Video Broadcasting), MPEG-4 и т.п. Для уменьшения требований к обработке протоколов в спутниковых каналах связи (например, снижение требований к помехоустойчивости, сложности бортовых маршрутизаторов и протокольных конверторов) все межсетевые и межпротокольные преобразования реализуются в наземных шлюзах IWU. При этом существенно отметить, что мобильные терминалы должны также содержать шлюзовые блоки IWU, хотя и более простые, чем многофункциональные шлюзовые станции. С целью выполнения этих требований предлагаемая архитектура спутниковой сети мобильной связи имеет вид, показанный на рис. 3.3.

**Рис. 3.3.**  
Архитектура спутниковой сети SECOMS



Управление ресурсами базируется на универсальной транспортной схеме ATM типа. Ячейка ATM (пакет данных) содержит 53 октета (полезной ATM информации) и 11 октетов управляющей информации SECOMS. Заголовок (11-й октет) содержит управляющие данные для адаптации к частотным полосам, протоколам связи и типам станций. Специальный протокол сигнализации SECOMS реализуется менеджером ресурсов и управляющим центром, что позволяет резервировать нужное число каналов для линий «вверх» и «вниз».

Таким образом, проекты INSURED и SECOMS характеризуют два различных подхода к построению сетевых архитектур спутниковой связи и реализации услуг мобильной связи. Первый подход (INSURED) направлен на решение задач начального этапа UMTS (2002-2005 г.г.), когда требуется обеспечить глобальный роуминг на базе действующих спутниковых и наземных сетей связи. При этом обобщенная сеть радиодоступа UMTS, межсетевые шлюзы и новые мультимедийные терминалы должны обеспечить средствами архитектуры и стандартов UMTS традиционный набор пользовательских услуг (телефония, передача сообщений, низкоскоростная передача данных). Второй подход (SECOMS) нацелен на задачи следующего этапа развития UMTS (до 2010 г.). Спутниковая связь обеспечивает широкополосные радиоканалы, которые объединяются в новой инфраструктуре сопряжения с наземными высокоскоростными сетями. Спутниковые компоненты S-UMTS интегрируются с наземными компонентами на базе общих транспортных механизмов ATM. Управляющие центры и шлюзовые станции реализуют аутентификацию мобильных пользователей, управление мобильностью, управление радиоресурсами и другие функции, что создает общую сетевую инфраструктуру для передачи мультимедийной информации на мобильные терминалы. Естественно, что спутниковые сети мобильной связи типа SECOMS предъявляют к мобильным терминалам новые и достаточно сложные функциональные и технические требования: транспорт ATM, перепрограммируемость и настройка на различные протоколы, реализация высокоуровневых мультимедийных протоколов MPEG-4. Общая архитектурная схема SECOMS показана на рис. 3.3.

### **Исследования по спутниковой связи в 5-й программе НИР/ОКР (FP5) – 1999–2002**

Европейская Комиссия координирует широкую гамму проектов, принятых для реализации в рамках программы IST – Information Society Technologies. Общий бюджет программ FP5 составляет около 3,6 млрд. долл. и распределен по четырем ключевым направлениям:

- системы и услуги для граждан;
- электронная торговля и новые методы работы;
- создание мультимедийного контента и средств доступа;
- базовые технологии и инфраструктуры.

Мобильные и беспроводные системы связи, включая ССС и услуги спутниковой связи, рассматриваются в рамках 4-го направления. Другими темами 4-го направления являются: компьютерные сети, высокоскоростная связь, архитектура, протоколы и методы телекоммуникаций, технологии программирования и инженерные методы, пользовательские интерфейсы, проектирование интегральных схем и микросистем, а также различные прикладные системы.

Продолжающиеся и новые проекты программы FP5 рассматриваются как технологии и тестовые системы S-UMTS. При этом проекты FP5 считаются дополняющими разработки спутниковых технологий, которые выполняются в европейских исследовательских центрах и, прежде всего, в рамках ESA. Ряд проектов в области спутниковой связи FP5 уже принят КЕС к реализации и финансированию в начале 2000 г. Новые заявки планируется рассмотреть в конце 2000 г. – начале 2001 г. Среди новых проектов отметим следующие:

**MultiKaRa** – Многолучевая приемная антенна в Ka-диапазоне для будущих систем «мультимедиа через спутник – непосредственно в дом»

Планируется разработать мультилучевую антенну для приема спутникового мультимедийного потока в диапазоне 30 ГГц. Большое число лучей (20-30) позволит принимать высокоскоростной мультимедийный поток данных с геостационарных спутниковых систем.

**VIRTUOUS** – Virtual Home UMTS on Satellite – Виртуальная реализация UMTS в спутниковой среде

Планируется реализовать интегрированную систему 3-го поколения, включающую наземную (UMTS) и спутниковую (S-UMTS) компоненты. В проекте намечено реализовать мобильные терминалы и межсетевые шлюзы с целью интеграции трех сетей: GPRS, наземной UMTS и спутниковой UMTS. В основе технологии радиосвязи S-UMTS будет использоваться технология, предложенная ESA.

**GEOSTAT** – Реализация мультимедийного широко вещания на базе геостационарной системы и спутников EHF

Планируется разработать систему двунаправленных IP-мультивещательных услуг на базе интеграции геостационарных спутников нового поколения (в EHF – 30-300 ГГц) и новых технологий IP-multicasting.

Таким образом страны Европейского Союза располагают широкой сетью международных организаций, как общеполитических и координирующих (KEC, Eurospace, Форум UMTS, CEPT и др.), так и занимающихся конкретными проектами в области спутниковой связи (ESA, KEC/DG XXIII, ESTEC). В ряде всемирных организаций (ITU, INMARSAT, INTELSAT) европейские страны проводят хорошо скоординированную общую политику, что дает важные практические результаты. Так на недавней конференции WRC-2000 согласованными усилиями европейских стран были достигнуты важные решения по радиоспектру для мобильной связи программы IMT-2000.<sup>15</sup>

Для российских организаций многие европейские программы являются открытыми для прямого участия и целевого финансирования. Следует отметить, что эти возможности используются в очень малой степени. В марте 2000 г. в рамках Форума «Мобильные Системы – 2000» был проведен международный семинар «Европейское сотрудничество по НИР/ОКР – программы IST», материалы которого дают полное представление о возможностях сотрудничества по программам ACTS/IST [20].

### 3.3. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОГРАММЫ НИР/ОКР ЯПОНИИ

В Японии две национальные организации NASDA (National Space Development Agency of Japan) и ISAS (Institute of Space and Aeronautical Science) определяют государственную политику в области спутниковой связи. В Японии избраны два стратегических направления: международные эксперименты с новейшими спутниковыми технологиями и разработка новых спутников связи (например, Satellite VIII). Япония активно сотрудничает с США (Lockheed, ACTS, Communication Research Laboratory). В рамках сотрудничества с ESA проводится японско-европейский проект GAMMA. С France Telecom и исследовательским центром CERN японские центры тестируют протоколы спутниковой связи, обеспечивающие передачу мультимедийной информации. В программе Vision 21 Японский Телекоммуникационный Совет определил стратегические задачи создания национальной спутниковой системы мобильной связи к 2005 г.

### 3.4. РАЗВИТИЕ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В США

Общие вопросы развития спутниковой связи (государственная и отраслевая политика, регулирование и радиочастотные ресурсы, техническая политика, перспективные НИР/ОКР и т.д.) решаются в каждой промышленно-развитой стране своим особым образом.

Например, Индия формирует свою национальную политику в области спутниковой связи достаточно узко, фокусируясь на конкретных задачах развития телефонных и широковещательных сетей страны. В Японии сформирована целостная национальная концепция долгосрочного

<sup>15</sup> М.А. Быховский, П.Н. Мамченков, В.О. Тихвинский. «Результаты Всемирной конференции радиосвязи 2000 года и их влияние на развитие мобильной радиосвязи». Mobile Communications/RE, № 5, 2000.

характера, представленная Министерством почт и телекоммуникаций (MPT) в документе «Vision 21». В США федеральные агентства определяют долгосрочные политические цели, однако очень большую роль в разработке телекоммуникационной политики играют национальные специализированные организации (NASA, NSF) и профессиональные ассоциации (TIA, IEEE), а также целевые рабочие группы типа SITF (Satellite Industry Task Force), IETF (Internet Engineering Task Force).

В США в 1995 г. была образована SITF, привлекая к своей работе представителей NASA, DISA (Defence Information Systems Agency) и более 20 промышленных компаний. Результаты концептуальных разработок SITF в сентябре 1995 г. были представлены вице-президенту Э.Гору и использованы в политических документах по НИИ/ГИ. В 1997 г. рекомендации SITF получили организационное воплощение путем создания нового делового партнерства «The Satellite Alliance USA» (Спутниковый Альянс США), который затем был преобразован в Space Technology Alliance (STA). Задачей STA является координация деятельности государственных организаций США по вопросам развития космических технологий. Членами STA являются: NASA, DARPA, DOE, Air-Force и другие организации, которые совместно разрабатывают программы научно-технического сотрудничества и стратегические вопросы.

В декабре 1998 г. Международный аналитический центр (International Technology Research Institute, World Technology (WTEC) Division) выпустил отчет (далее цитируется как Отчет WTEC), получивший большую известность в правительственной администрации США: «Global Satellite Communications Technology and Systems». В Отчете WTEC представлены анализы технологических достижений в исследовательских центрах Франции, Германии, Великобритании, Италии, России, Японии, Южной Кореи, США и Канады, а также ряда международных организаций (ESA, ESTEC, INMARSAT).

Результаты Отчета WTEC «Глобальные спутниковые технологии и системы связи» в сокращенном виде представлены в табл. 3.4.

**Таблица 3.4. Результаты анализа развития технологий и систем глобальной спутниковой связи<sup>16</sup>**

ОБЩАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ В МИРЕ	ОЦЕНКА И ВЫВОДЫ ДЛЯ США
<p><b>1. Европейские и азиатские страны поддерживают на высоком уровне и расширяют свое финансирование НИР/ОКР в области спутниковой связи. В США NASA и Department of Defense (DOD) играют ключевую роль в разработке новейших технологий промышленности спутниковой связи. Спутниковая связь должна стать важнейшей компонентой в глобальной информационной инфраструктуре (ГИ).</b></p> <p>Промышленные фирмы США реализуют краткосрочные программы НИР/ОКР в области новых технологий. В результате ряд критически важных технологических областей остаются без долгосрочного целевого планирования на уровне государственных организаций.</p>	<p>Правительство США не оказывает достаточного влияния на поддержку НИР/ОКР. Необходимо поднять уровень финансирования долгосрочных программ НИР/ОКР в NASA, DOD и NSF, чтобы обеспечить сохранение лидирующих позиций США в XXI столетии.</p> <p>К критическим технологиям спутниковой связи следует отнести:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– батареи и топливные элементы;</li> <li>– высокомошные компоненты и узлы;</li> <li>– материалы и структуры для различных электронных приборов, включая солнечные батареи и высококачественные микросхемы (более 20 ГГц);</li> <li>– легкие и высокопрочные конструктивные элементы;</li> <li>– устойчивые к радиации микросхемы и электронные приборы;</li> <li>– технологии, материалы и структуры с высокими свойствами теплопередачи и тепловыделения;</li> <li>– оптические компоненты и подсистемы;</li> <li>– сетевые технологии для эффективной интеграции высокоскоростных спутниковых и наземных сетей.</li> </ul>
<p><b>2. США лидируют в производстве, внедрении новых технологий, развертывании и финансировании новых ССС.</b></p> <p>Однако иностранные компании усиливают свои позиции и конкуренция на рынке услуг связи возрастает.</p>	<p>США утратили свое лидерство в области услуг запуска спутников связи, что должно быть внимательно проанализировано.</p> <p>Возникла критическая потребность в уменьшении стоимости и повышении надежности ракетаносителей.</p>

<sup>16</sup> The WTEC Panel on «Global Satellite Communications Technology and Systems», Final Report, Dec 1998. ISBN 1-883712-51



ОБЩАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ В МИРЕ	ОЦЕНКА И ВЫВОДЫ ДЛЯ США
<p>США располагают сильной аэрокосмической промышленностью. Традиционные лидеры – Hughes, Space Systems Loral, Lockheed Martin – усилили свои позиции. На рынок вышли новые сильные игроки: Motorola, Boeing/Rockwell, Raytheon, а также по отдельным подсистемам – Ball и TRW.</p>	<p>В результате международной кооперации и разделения труда на рынке появились многочисленные поставщики компонент и подсистем глобальных ССС. В производстве спутниковых систем появились сильные зарубежные компании: Matra Marconi, Alnia Spazio, Alcatel, Mitsubishi, Toshiba, NEC и др.</p> <p>В области запусков спутников около половины коммерческих запусков выполняется Arianespace (по заказам Европейского Союза), на втором месте – США, затем – Россия, далее следуют Китай и Япония.</p> <p>На рынке специализированных ССС начинают активно действовать Индия, Израиль, Южная Корея, которые в следующем десятилетии могут стать важной частью мирового спутникового бизнеса.</p>
<p><b>3. Коммерческие услуги спутниковой связи быстро становятся большим и глобальным бизнесом, возрастающим от 11 млрд. долл. в 1992 г. к 20 млрд. долл. – 1996, и к 75 млрд. долл. – 2005 (прогноз).</b></p> <p>Услуги спутниковой связи растут в своем объеме более быстро, чем прогнозировалось в предыдущем отчете WTEC 1992/1993.</p>	<p>США лидируют в развитии рынка новых услуг, включая важные сегменты, появившиеся в последнее время: мобильная связь и Интернет. Новые применения ССС (спутниковый Интернет, интерактивное ТВ, мультимедиа) благотворно сказываются на расширении сети операторов связи, провайдеров услуг, создании новых компаний. Усилились также тенденции приватизации национальных операторов связи, глобального партнерства и создания новых венчурных структур, ускоряющих развитие спутникового бизнеса.</p>
<p><b>4. Новые технологии внедряются в ССС с возрастающей скоростью.</b></p> <p>В прошлом производители коммерческих ССС и операторы связи проявляли определенный консерватизм при внедрении новых спутниковых технологий. Ситуация резко изменилась с приходом на массовые рынки новых приложений: интерактивного ТВ, мобильной спутниковой связи, широкополосной связи с Интернетом.</p>	<p>Спутники быстро преобразуются в сетевые узлы глобальных сетей связи. Межспутниковые коммуникации, бортовые коммутаторы, большие фазированные антенны, мультилучевые рефлекторы и усовершенствованные усилители TWTA становятся важнейшими компонентами больших сетевых систем. Новый технологический уровень спутниковой связи требует высокого уровня интеграции спутниковых и наземных сетей, совместимых и высокопроизводительных технологий и стандартов. В перспективных ССС должны быть реализованы сложные программные комплексы, а также абонентские терминалы нового поколения, реализующие протоколы Интернета, обработку мультимедийных потоков данных и развитые человеко-машинные интерфейсы.</p>
<p><b>5. Аэрокосмические компании связи во всем мире расширяют свою традиционную роль «поставщиков оборудования» и становятся поставщиками услуг для конечных пользователей</b></p> <p>Традиционно компании типа Hughes и Loral предоставляли свои транспондеры в аренду заказчикам, а компании типа Lockheed Martin осуществляли услуги запуска спутников. В настоящее время эти производители начинают прямое участие в проектах по предоставлению массовых услуг, прежде всего, в области непосредственного ТВ, мобильной спутниковой связи и доступа к Интернету.</p>	<p>Необходимо быстро развивать новые спутниковые технологии, ориентированные на предоставление услуг массового спроса. Должны быть разработаны новые спутники, работающие в высокочастотных диапазонах Ka и V-полосах. Требуются также новые типы очень малых микротерминалов и ультрамалых апертурных терминалов. В отличие от VSAT такие малые терминалы должны обеспечивать услуги «универсального доступа» для фиксированной и мобильной связи, что потребует реализации как узкополосной, так и широкополосной связи.</p>
<p><b>6. Коммерческие спутники связи все больше будут использоваться для непосредственного предоставления услуг конечным пользователям, что потребует создания огромной промышленности спутниковых терминалов.</b></p> <p>В прошлом основными потребителями услуг ССС были большие операторские компании, национальные операторы связи и корпоративные потребители. Структура обслуживания в настоящее время быстро трансформируется в бизнес-структуру обслуживающей отрасли, при этом учитываются пункты потребления услуг – домашние квартиры, небольшие офисы, транспортные средства и т.п., т.е. помещения, уже оснащенные достаточной телекоммуникационной инфраструктурой, с которой ССС должны конкурировать и предлагать услуги повышенного качества.</p>	<p>Требуется создать массовые конкурентоспособные производства терминалов (малогабаритных устройств с небольшими антеннами), которые будут просто интегрироваться в домашние или офисные телекоммуникационные инфраструктуры. Новые рынки типа спутникового Интернета могут стать мощными двигателями развития бытовой спутниковой электроники.</p>

ОБЩАЯ ОЦЕНКА СИТУАЦИИ В МИРЕ	ОЦЕНКА И ВЫВОДЫ ДЛЯ США
<p><b>7. Промышленность спутниковой связи вступила в стадию «зрелости» и начинает воплощать производственные процедуры, подобные тем, что использует автомобильная промышленность.</b></p> <p>Спутниковая промышленность во все большей степени идет по пути диверсификации производства элементов, узлов и подсистем, поставляемых различными глобальными поставщиками. Спутники изготавливаются на сборочных линиях, тестируются и поставляются из цехов, что приводит к необходимости использовать современные САПР, методики инженерных расчетов, системы контроля качества и автоматизированные процедуры логистики и поставки готовых изделий по производственным графикам.</p>	<p>США продолжают лидировать в производстве спутников связи, однако другие страны быстро ликвидируют отставание и на основе глобальной кооперации создают конкурентоспособные производства. Производство спутниковых компонент быстро становится глобальным бизнесом, что значительно повышает уровень мировой конкуренции. Начинает быстрое развитие новая эпоха «больших» спутниковых группировок, таких как Iridium, Globalstar, ICO, где сборочные технологии демонстрируют новый подход к производству спутников связи. Параллельно и одновременно изготавливаются восемь спутников (Iridium, Globalstar). Время изготовления и поставки геостационарных спутников сократилось до 18 месяцев.</p>
<p><b>8. Возросший глобальный интерес к спутниковой связи проявился в увеличении потребностей в радиоспектре и доступных орбитальных позициях.</b></p> <p>Дополнительные требования возникают также со стороны наземных сетей мобильной связи.</p>	<p>С целью решения усложняющихся проблем нехватки радиочастотных ресурсов государственные органы должны больше внимания уделять разработке новых процедур регулирования использования радиоспектра.</p>
<p><b>9. Разработка будущих коммерческих ССС требует взаимоувязанных решений по комплексу регуляторных, коммерческих, радиочастотных, межсетевых и стандартизационных вопросов. С развитием технологий ССС эти вопросы будут усложняться, что вызывает необходимость усиления государственной лидирующей роли и стратегических инициатив.</b></p> <p>Либерализация телекоммуникационных рынков и устранение барьеров в мировой торговле окажет сильное воздействие на промышленность спутниковой связи в ряде важных аспектов. Хотя в рамках WTO (Всемирная торговая организация) достигнуто общее соглашение GATS (General Agreement on Telecommunications Services), еще имеется много трудностей при организации выхода спутниковой связи на глобальные рынки.</p>	<p>Одной из самых важных задач является разработка межсетевых стандартов, обеспечивающих технологии интеграции спутниковых и наземных сетей связи в глобальном масштабе. В области радиоспектра необходимо найти новые подходы и процедуры распределения частот, которые могут быть согласованы на глобальном уровне. Необходимы сильные государственные инициативы для решения этих ключевых проблем глобального характера.</p>
<p><b>10. Широкие возможности международной кооперации могут существенно содействовать глобальному развитию новых спутниковых технологий, систем и стандартов.</b></p> <p>Имеется много возможностей для международной кооперации в области спутниковой связи, например, совместное проведение пилотных проектов, участие в международных организациях, широкий международный обмен научно-технической информацией.</p> <p>Международные демонстрации новых спутниковых технологий могут использоваться для стимулирования НИР/ОКР по созданию нового оборудования и услуг спутниковой связи.</p>	<p>Необходимо усиливать роль международного научно-технического сотрудничества, широкого проведения демонстраций новых широкополосных цифровых технологий в области образования, здравоохранения, торговли и бизнеса.</p>
<p><b>11. В мире проведена значительная работа по разработке принципов, протоколов и стандартов, обеспечивающих межсетевое взаимодействие спутниковых и наземных транспортных сетей.</b></p> <p>Глобальная сеть связи в будущем будет включать наземные проводные и мобильные сети, а также спутниковые сети и средства их взаимного сопряжения. В настоящее время особую важность приобретают работы по интеграции высокоскоростных широкополосных наземных и спутниковых сетей. Первые эксперименты по сопряжению сетей TCP/IP и ATM с использованием межспутниковых каналов подтвердили правильность ориентации на стандарты, зарекомендовавшие себя в области высокоскоростных наземных сетей.</p>	<p>Для того, чтобы обеспечить создание единой глобальной сети связи, необходимо провести работы по адаптации эффективных транспортных протоколов типа TCP/IP и ATM для высокоскоростной спутниковой связи. Международные стандартные телекоммуникационные протоколы являются ключевыми факторами построения глобальной сети спутниковой связи.</p>

В США большинство программ НИР/ОКР направлены на освоение новых рынков спутниковой связи. По оценкам американских экспертов спутниковая связь становится все более важной и доходной отраслью космической индустрии. Прогнозы аналитиков мирового рынка показывают (табл. 3.5), что будущие рынки мобильной, мультимедийной и широкополосной спутниковой связи к 2005 г. составят более 50% всего объема услуг спутниковых систем.

**Таблица 3.5. Рыночные сегменты спутниковой связи [21]**

Виды услуг	Рыночные сегменты	Объемы рынков (млрд. долл.)		
		1992	1996	2005 (прогноз)
Фиксированная связь	Телефония, телевидение	10,0	14,0	29,5
Непосредственное телевидение	DTH DBS	0,5	3,0	17,0
Мобильная связь	Глобальная, региональная, морская, авиа	0,8	2,5	12,5
Мультимедийная широкополосная связь	Доступ к Интернету, мультимедиа	0,0	0,0	13,0
Другие услуги	Пейджинг, электронная почта	0,1	0,2	2,5
Всего:		11,4	19,7	74,5

США являются лидерами по многим перспективным технологиям ССС. Стремление США захватить новые рынки спутниковой связи подкрепляется крупными достижениями во многих других технологиях связи и распространения информации – Интернете, микроволновой радиосвязи, оптической межспутниковой связи, мультимедийных широкополосных системах, персональных компьютерах и терминалах, программных системах и протоколах высокоскоростной передачи информации.

Многие новейшие технологии, создаваемые в США, находятся в открытом доступе на сайтах таких организаций как IETF, NASA, NSF, ITRI и др., а также университетов и телекоммуникационных ассоциаций. Все это делает поиск перспективных направлений развития ССС актуальной и многообещающей задачей, для решения которой необходимо использовать новые источники информации в Интернете.

### 3.5. РАЗВИТИЕ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В ПРОГРАММЕ IMT-2000

#### 3.5.1. Концепция спутниковой подсистемы S-IMT-2000

Если по стандартам наземной связи T-IMT-2000<sup>17</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;

<sup>17</sup> Префиксы S (satellite) и T (terrestrial) в названиях S-IMT-2000 и T-IMT-2000 означают соответственно спутниковую и наземную подсистемы IMT-2000.

- 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.

Скорость передачи в сетях спутниковой связи IMT-2000 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 разнесом (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 энергетики 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 негеостационарных (НГСО) орбитах. 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 обслуживании. 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. Прообразом региональных систем будущего может явиться система Thuraya.

Построение космического сегмента на негеостационарных орбитах будет практически совпадать с тем, которое используется в существующих системах 2-го поколения. Европейским космическим агентством (ESA) предложено использовать для связи четыре типа НГСО группировок, которые достаточно близки к тем, которые используются в системах Globalstar (LEO), Ellipso (Borealis), ICO (MEO), Archimedes (HEO) (табл. 3.6). Переход к негеостационарным орбитам позволяет обеспечить более высокие характеристики обслуживания абонентов за счет увеличения рабочих углов места и числа КА, находящиеся одновременно в зоне радиовидимости абонентского терминала. Особенность негеостационарной орбиты состоит 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.

Первоначально в ИТУ поступили на рассмотрение пять проектов (рис. 3.4), 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.

Таким образом, общая концепция спутниковой связи 3-го поколения предусматривает разнообразные варианты орбитальных группировок (в зависимости от назначения системы) и применения нескольких радиотехнологий (RTT) спутниковой связи.

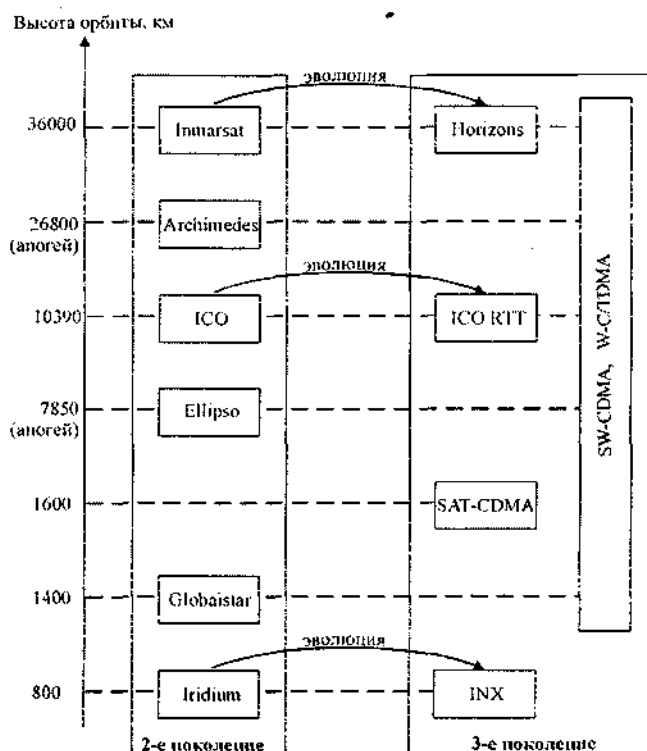
**Таблица 3.6. Варианты построения орбитальной группировки для систем 3-го поколения (ESA)**

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., 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.

**Рис. 3.4.** Переход к спутниковым системам 3-го поколения



### 3.5.2. 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.

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 вероятности 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. 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 [41].

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-временным 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. 3.7). В системе SAT-CDMA намечено задействовать эффективные способы борьбы с замираниями и методы компенсации потерь, обусловленных эффектом Доплера.

**Таблица 3.7. Сравнительные характеристики проектов стандартов спутниковых систем (по данным ИТУ)**

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. 3.7)		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
G/T 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

### 3.5.3. 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.

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 10360 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.

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 вокоде, 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 быстродействующему 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. 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  $10^{-13}$ . 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).



## 4. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ССС С КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА НЕГЕОСТАЦИОНАРНЫХ ОРБИТАХ

### 4.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ССС

До начала 90-х годов нашего столетия спутниковая связь строилась почти исключительно с использованием спутников-ретрансляторов на геостационарной или высокоэллиптических орбитах и стационарных земных станций с большими остронаправленными антеннами. Исключение составляли лишь некоторые специальные системы с использованием спутников на низких круговых орбитах и переносом небольших дискретных сообщений в запоминающие устройства бортовых ретрансляторов (типа «электронная почта»). И только в 90-х годах появились десятки различных проектов ССС (часть из которых уже реализована), использующих технологии VSAT, т.е. портативных абонентских станций с относительно небольшими антеннами, а также систем персональной подвижной связи.

К основным характеристикам современных ССС относятся:

**Обслуживаемая территория.** По обслуживаемой территории спутниковые системы делятся на глобальные, обслуживающие всю земную поверхность, включая и акваторию Мирового океана, и региональные (зональные), обслуживающие часть земной поверхности или отдельные страны. Обслуживаемая территория определяется прежде всего видом космической группировки (высотой и наклоном орбит, количеством космических аппаратов в группировке и ее структурой), а также характеристиками применяемых бортовых антенн.

Так, при использовании геостационарной орбиты обслуживаемая территория принципиально ограничивается 65...70 град. с.ш. и ю.ш. из-за низких углов радиовидимости КА земными станциями, что в ряде случаев неприемлемо для стран с северным или южным расположением территории (в Российской Федерации, например, под это ограничение подпадает 1/3 территории). Ограничением является также большая задержка сигнала при организации дуплексной связи, что не позволяет прокладывать даже двухскачковые трассы.

Однако она весьма удобна для организации региональной связи, особенно для стран с территорией, охватываемой зоной радиовидимости одного КА.

Для региональной связи удобны также космические группировки на высокоэллиптических орбитах, однако и они, в зависимости от их вида, имеют определенные ограничения.

Для глобальной связи выгоднее всего применять космические группировки на средних или низких круговых орбитах, позволяющие при определенной структуре покрыть зонами радиовидимости КА всю земную поверхность.

**Автономность системы.** Предпочтительными являются системы, не использующие для организации связи на обслуживаемых ими территориях других средств связи – наземных или спутниковых. Аренда внешних линий связи усложняет систему и удорожает эксплуатацию, а иногда и ухудшает качество связи.

**Пропускная способность системы.** Чем выше пропускная способность системы (больше количество стандартных каналов), тем большее количество абонентов она может обслужить и больше доход от ее эксплуатации. Однако, важна не только общая пропускная способность, но и возможность ее перераспределения внутри зоны радиовидимости КА, сосредоточения большей ее части в ограниченных регионах с большим количеством пользователей (например, в крупных городах).

**Скорости передачи информации.** Системы цифровой спутниковой связи разделяют на низкоскоростные и высокоскоростные. Низкоскоростные системы обычно используют скорости передачи информации от 1,2 кбит/с до 9,6 кбит/с, а также 16, 32 и 64 кбит/с, и предназначаются, главным образом, для телефонных переговоров и передачи факсов, телеграмм и других дискретных сообщений.

Высокоскоростные системы обычно имеют скорости 144, 384, 1024 и 2048 кбит/с и предназначены для организации видеоконференцсвязи, обмена данными между компьютерными сетями, доступа в различные базы данных, в Интернет и предоставления других услуг мультимедиа.

**Связность системы.** В многоспутниковых системах связи охват всей обслуживаемой территории осуществляется совокупностью зон радиовидимости (ЗРВ) отдельных КА, входящих в космическую группировку, вследствие чего возникает задача их объединения в единое целое, т.е. обеспечения связности системы. Связность может достигаться либо с помощью межспутниковых линий связи, связывающих каждый спутник группировки с соседними, либо с помощью наземных ретрансляторов, расположенных в расчетных зонах земной поверхности, либо комбинацией этих двух способов.

**Качество связи.** Этот важный критерий определяется рядом факторов: скоростью передачи информации, энергетикой каналов, количеством ретрансляций между КА (при организации «многоскачковых» трасс), включением в интегральный канал связи звеньев с различным качеством (например, некоторых видов проводных междугородных линий связи), условиями радиовидимости КА и др.

**Принципы технического построения систем.** Все спутниковые системы включают космический и земной сегменты.

Как уже отмечалось, все разрабатываемые спутниковые системы связи отличаются друг от друга прежде всего видом космического сегмента. Группировки КА различают по высоте – геостационарная (ГЕО), высокоэллиптические (ВЭО), средние и низкие круговые орбиты (МEO и LEO); наклонению орбиты; количеству КА в группировке и ее структуре.

Собственно космический аппарат характеризуется массой и мощностью системы электропитания, а также типом бортовых ретрансляторов, которые, в свою очередь, делятся на два крупных класса – прозрачные, когда принимаемые на борту КА сигналы не обрабатываются, а прямо транслируются на Землю, как правило, с переводом на другую частоту; и регенеративные, когда принимаемые на борту сигналы обрабатываются (демодулируются и декодируются) и коммутируются в нужном направлении либо по командам с Земли, либо с бортового маршрутизатора.

Бортовые ретрансляторы определяют пропускную способность системы и энергетическую радиолиний. При этом важную роль играет диапазон используемых частот, количество лучей в антенне, методы многостанционного доступа, модуляции и кодирования сигналов.

Земной сегмент системы характеризуется типами узловых (координирующих, центральных, региональных) и абонентских станций. Последние, в свою очередь, делятся на стационарные, в т.ч. портативные переносимые станции; подвижные, в т.ч. станции, размещаемые на подвижных средствах, и персональные носимые станции (типа «трубки»).

На основе анализа этих характеристик в настоящем разделе рассматриваются некоторые научно-технические аспекты построения современных ССС различного назначения [22-40].

#### **4.1.1. Возможности ССС с различными орбитальными группировками**

Спутниковые системы связи отличаются прежде всего размерами, конфигурацией и расположением на поверхности Земли возможных зон обслуживания, характеристиками каналов связи, необходимым для передачи заданных потоков информации энергетическим потенциалом и способами его обеспечения. Поэтому, естественно, представляет интерес сравнение достоинств и недостатков различных систем и определение областей их применения при решении конкретных задач спутниковой связи.

**Возможности систем по обслуживанию различных регионов Земли.** Системы с КА на геостационарной орбите имеют наибольшую зону радиовидимости (ЗРВ) и могут обеспечивать связью огромные территории. Однако, поскольку геостационарная орбита проходит строго над экватором, эти системы принципиально не могут обеспечивать связью приполярные и полярные районы Земли из-за низкого угла места антенн земных станций.

Кроме того, при использовании в системе двух и более КА для расширения обслуживаемой территории возникают ограничения по применению некоторых двухсторонних видов связи, таких как дуплексная телефонная связь, из-за большого времени задержки сигналов, превышающего заданную МСЭ норму.

Следует отметить и тот факт, что на геостационарной орбите в настоящее время уже расположено большое количество КА, и размещение новых в заданных точках стояния с требуемой электромагнитной совместимостью представляет серьезную трудность.

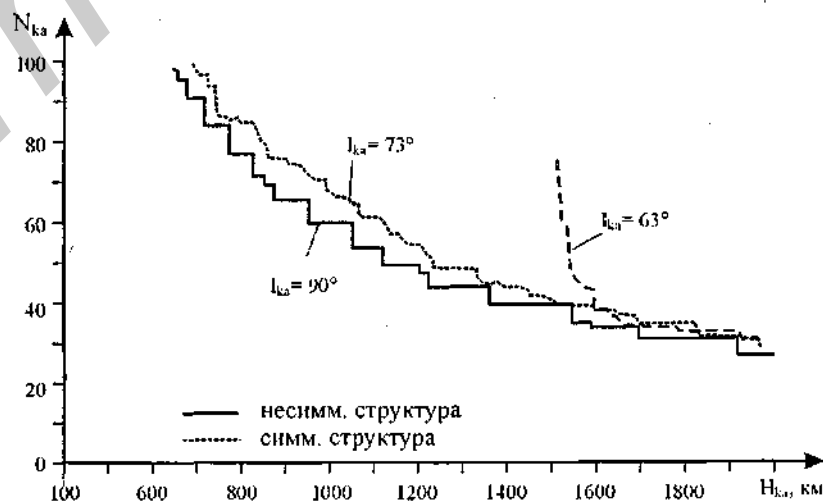
В отличие от систем с геостационарными КА, системы с КА на круговых и эллиптических орбитах имеют много вариантов построения группировок, отличающихся количеством используемых в них КА, структурой построения, высотой и наклоном орбит. В зависимости от поставленных задач и выбора группировки КА такие системы могут обеспечивать периодическую и непрерывную связь, обслуживать любые территории, вплоть до глобального охвата Земли, без нарушения норм МСЭ по задержке сигнала.

Для работы таких систем требуется наличие группировки КА, как правило, с фиксированным положением спутников в пространстве, при этом связанных между собой на обслуживаемой территории с помощью либо межспутниковых, либо наземных ретрансляторов.

Вместе с тем при обслуживании отдельных территорий, ограниченных в широтном и в долготном направлениях, группировка КА над остальными территориями остается неиспользованной и, следовательно, избыточной. Однако, даже если система с КА на круговых орбитах первоначально строится как региональная и только в этом регионе имеет соответствующую наземную инфраструктуру, то в последующем сфера ее обслуживания может быть расширена путем подключения к ней новых территорий (государств) в различных частях мира. Для этого на подключаемых территориях достаточно установить дополнительные координирующие станции. Поэтому избыточность КА в космической группировке можно рассматривать в качестве задела на развитие системы. Зависимость количества спутников в группировках на круговых орбитах от их высоты и наклона при глобальном обслуживании показана на рис. 4.1.

**Рис. 4.1.**

Зависимость количества спутников в группировке от высоты орбиты при глобальном обслуживании



В некоторых случаях системы с КА на эллиптических орбитах применяются как дополнения к системам с геостационарными КА для обслуживания приполярных и полярных областей.

К ним относится, в частности, система «Молния-1», имеющая в составе космической группировки четыре КА с высотой орбиты в апогее около 40 000 км и периодом обращения КА 12 ч. КА в этой группировке работают поочередно, каждый в течение 6 ч, и обеспечивают связь северное полушарие Земли.

При обслуживании системами с КА на эллиптических орбитах ограниченных по величине территорий можно получить определенный выигрыш в количестве КА по сравнению с числом их на круговых орбитах. Однако следует иметь в виду, что чем меньше по размерам обслуживаемая территория и ниже требуемая высота орбиты в апогее, тем меньший эксцентриситет эллипса можно реализовать, и поэтому эллиптическая орбита приближается по форме к круговой.

*Энергетические соотношения в системах.* Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ), требуемая для создания необходимого соотношения сигнал/помеха на входе приемников земных станций и бортового ретранслятора, при прочих равных условиях пропорциональна квадрату расстояния от станций до КА. Поэтому выигрыш по этому параметру имеют системы с меньшей высотой орбиты КА. Следует только учитывать, что этот выигрыш зависит от расположения земных станций в зоне радиовидимости их КА и будет минимальным на краях зоны и максимальным в подспутниковой точке. Разница в ЭИИМ между подспутниковой зоной и зонами на краях ЗРВ тем больше, чем ниже высота орбиты.

У системы Iridium, например, выигрыш в требуемой ЭИИМ по отношению к системе с КА на геостационарной орбите при угле места антенны земной станции  $10^\circ$  составляет от 26 до 35 дБ.

Вместе с тем важно отметить, что если площади на поверхности Земли, освещаемые лучом геостационарного КА и лучами КА на круговых или эллиптических орбитах с любой высотой, равны, то энергетические затраты всех этих систем, независимо от высоты орбиты, будут одинаковы. Поэтому с увеличением высоты орбиты для освещения одних и тех же площадей на поверхности Земли необходимо применять на КА все более узкие лучи с большим коэффициентом усиления.

*Характеристики каналов связи.* Важнейшим достоинством системы с КА на геостационарной орбите является то, что обслуживаемая ею территория с течением времени практически не изменяется, поскольку период обращения КА равен периоду вращения Земли вокруг своей оси. Это позволяет создавать именно в такой системе каналы связи с постоянными параметрами, аналогичные каналам проводной и других видов наземной связи.

В отличие от систем с геостационарными КА, каналы связи в системах с КА на круговых и эллиптических орбитах, как правило, включают в себя несколько звеньев с межспутниковыми или наземными ретрансляторами, и каналы связи в них имеют динамический характер: маршруты прохождения сигналов от одного абонента к другому, их протяженность, частоты и другие параметры с течением времени изменяются в результате перемещений КА по своим орбитам и вращения Земли. У систем с КА на эллиптических орбитах, кроме того, со временем меняется и высота орбиты, причем чем ниже орбита КА, тем быстрее происходят эти изменения.

Исходя из этих особенностей канала связи можно определить и области использования таких систем – их можно применять для проведения телефонных переговоров, обмена данными, передачи сообщений и в других областях, где не требуется постоянство параметров канала в течение длительного времени, но такие системы нельзя использовать, например, для непосредственного телевизионного вещания.

#### **4.1.2. Энергетические возможности различных систем при работе с портативными абонентскими станциями**

Задача создания систем связи для работы с портативными абонентскими станциями (АС) была вызвана необходимостью дополнения парка многоканальных станций магистральной связи малогабаритными портативными АС, а в последующем – и носимыми персональными АС с ненаправленными антеннами, аналогичными станциям сотовых сетей, но с возможностью работы на большие расстояния, вплоть до глобального масштаба.

Прежде всего при разработке таких систем следует обратить внимание на выбор диапазона частот, в котором на линии «спутник – Земля» не предъявляются требования по ограничению плотности потока мощности сигналов на Земле. Действительно, поскольку эффективная температура шума приемника АС ограничивается существующими технологическими возможностями и внешними шумами, а коэффициент усиления у ненаправленной антенны АС меньше единицы, для получения на входе приемника необходимого отношения сигнал/шум понадобится повышение ЭИИМ бортового ретранслятора, что приведет к увеличению плотности потока мощности сигналов на Земле до величин, заведомо превышающих установленную норму.

При работе с портативными станциями для снижения мощности абонентских передатчиков, обеспечения большей гибкости в технической реализации необходимой ЭИИМ в различных точках зоны радиовидимости КА, с учетом трафика и дальности связи, а также для многократного повторного использования частот в парциальных каналах, на КА, как правило, применяют узконаправленные многолучевые антенны (МЛА). Вместе с тем, использование МЛА приводит при движении КА по орбитам и переходе из луча в луч к необходимости коммутации каналов в бортовом ретрансляторе или в земных станциях при организации связи между абонентами, находящимися в разных лучах, что существенно усложняет как систему в целом, так и управление ею.

При работе с МЛА вся зона радиовидимости КА разбивается на ячейки равной площади, причем наиболее плотная «упаковка» ячеек создается при их гексагональной структуре с одной центральной ячейкой. Количество ячеек при этом определяется по формуле

$$N = 1 + \sum_{k=0}^n 6k, \quad (4.1)$$

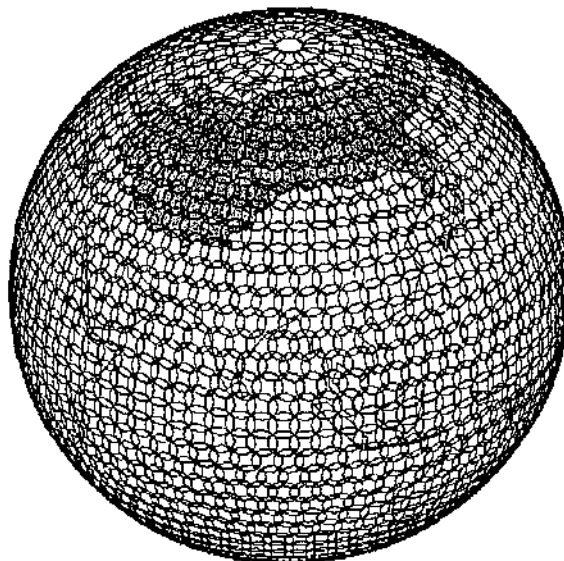
где  $N$  – общее число ячеек в ЗРВ;  $n$  – число слоев ячеек в зоне радиовидимости;  $k = 0, 1, 2, \dots, n$ .

В соответствии с (4.1) число ячеек в ЗРВ при такой структуре выбирается из ряда: 7; 19; 37; 61; ... Для работы с носимыми абонентскими станциями диаметр ячеек должен быть 700...1000 км.

На рис. 4.2 показана схема разбиения земной поверхности на гексагональные ячейки с радиусом 350 км.

**Рис. 4.2.**

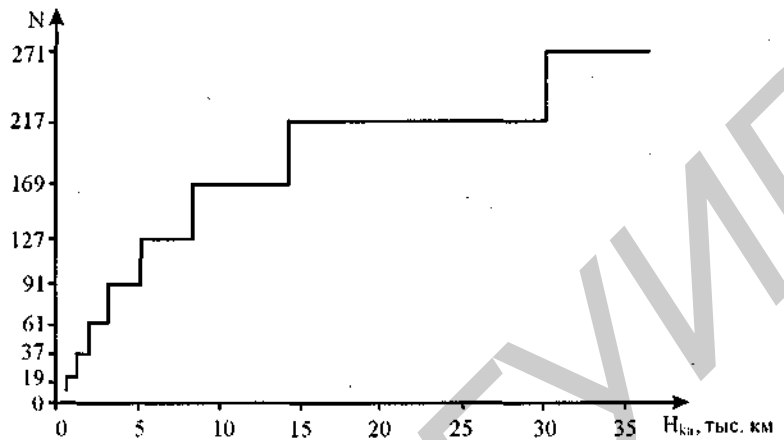
Схема разбиения земной поверхности на ячейки с радиусом 350 км



На рис. 4.3 показано требуемое число лучей  $N$  в бортовой антенне при разбивке ЗРВ на ячейки диаметром 1000 км в зависимости от высоты орбиты КА при угле места земной станции  $10^\circ$ . Из рис. 4.3 видно, например, что для системы Iridium потребовалось бы 19 лучей (фактически у нее при диаметре ячейки порядка 800 км на КА создается 37 лучей), а для геостационарного КА – 271 луч.

**Рис. 4.3.**

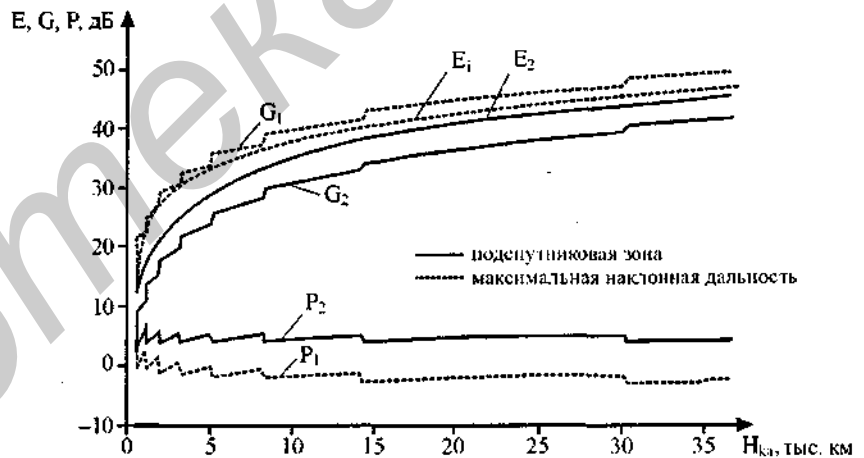
Зависимость необходимого числа лучей антенны КА для создания в ЗРВ ячеек с диаметром 1000 км от высоты орбиты



На рис. 4.4 в качестве примера приведены значения необходимых ЭИИМ  $E$ , коэффициентов усиления в лучах антенны  $G$  и мощности передатчика  $P$  бортового ретранслятора при различных высотах орбиты КА для передачи информации на линии КА – АС и расположении абонентов в ячейках диаметром 1000 км. Расчеты проведены для сигналов четырехфазной телеграфии со сдвигом (OQPSK) с суммарной скоростью 1,3 Мбит/с в диапазоне 4 ГГц, при эффективной температуре шума приемника 120 К и ненаправленной антенне АС. Эти значения показаны для двух крайних случаев – для ячеек, соответствующих максимальной дальности:  $E_1, G_1, P_1$ , и для подспутниковой ячейки:  $E_2, G_2, P_2$ .

**Рис. 4.4.**

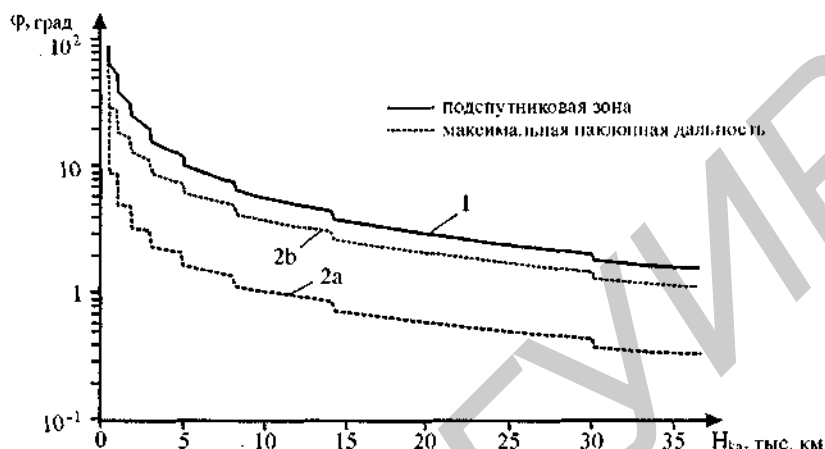
Зависимость требуемых ЭИИМ, коэффициентов усиления и мощностей в лучах антенны КА от высоты орбиты



Следует отметить, что разность между максимальным и минимальным значениями коэффициента усиления антенны КА внутри ЗРВ отличается от разности аналогичных значений ЭИИМ, поскольку коэффициенты усиления выбираются из условия равенства диаметров ячеек в различных слоях гексагональной структуры. Эти различия должны компенсироваться соответствующим изменением мощности передатчиков в лучах бортового ретранслятора КА так, чтобы ЭИИМ во всех ячейках в зоне радиовидимости соответствовала бы расстоянию от земной станции до КА.

Наконец, на рис. 4.5 приведены значения углов раскрытия  $\varphi$  лучей антенны КА, необходимых для получения требуемого коэффициента усиления. Здесь кривая 1 соответствует значениям углов для подспутниковой ячейки, а кривые 2<sub>a</sub> и 2<sub>b</sub> – значениям углов для малой и большой оси эллипса в плоскости антенны КА, формирующего ячейку при максимальной наклонной дальности в виде круга на Земле.

**Рис. 4.5.**  
Зависимость углов разрыва  
лучей антенны КА от высоты  
орбиты



Из рис. 4.5 видно, что наибольшие сложности возникают при формировании на КА лучей, обслуживающих периферийный пояс ЗРВ, причем чем выше орбиты КА, тем более узкие лучи необходимо реализовывать. Так, если при высоте орбиты 1600 км в этих ячейках необходимо сформировать луч с угловыми размерами  $5^\circ$  на  $20^\circ$ , то при высоте 36600 км —  $0,4^\circ$  на  $1,3^\circ$ .

Приведенные данные показывают, что хотя системы с КА на геостационарной орбите имеют постоянную зону радиовидимости и позволяют создавать каналы связи с параметрами, «геометрически» независимыми от времени, из-за большой высоты орбиты они требуют для организации связи наибольшего энергетического потенциала и имеют максимальное время задержки сигнала. Следует еще раз отметить невозможность обслуживания системой приполярных и полярных районов из-за малых углов места земных станций.

Поэтому такие системы наиболее выгодно применять для организации многоканальных магистральных линий связи между земными станциями с остонаправленными антеннами для передачи любых видов информации в пределах территорий, по расположению и конфигурации укладываемых в зону радиовидимости одного КА. На трассах, требующих двух и более скачков через геостационарные КА, эти системы можно использовать только для видов связи, не имеющих ограничений по времени задержки сигналов. Для обеспечения связи между портативными абонентскими станциями со слабонаправленными или ненаправленными антеннами на геостационарных КА необходимо иметь сложные многолучевые антенны с большой апертурой и остонаправленными лучами, реализация которых представляет серьезные трудности.

Системы с КА на низких и средних круговых орбитах требуют для организации непрерывной связи между абонентами создания многоспутниковых группировок с фиксированным положением связанных между собой спутников на орбитах. Такие системы могут иметь большое количество вариантов построения в зависимости от структуры группировки КА, высоты и наклонения орбит и способны обеспечивать связь на любых территориях, вплоть до глобального охвата с небольшими задержками сигнала во времени. Причем, чем ниже высота орбиты, тем большее количество КА необходимо иметь в группировке для обслуживания одних и тех же территорий, но вместе с тем уменьшается и требуемый для обеспечения связи энергетический потенциал. Каналы связи (маршруты прохождения сигналов) в этих системах из-за быстрого перемещения КА по орбитам носят динамический характер — их протяженность и конфигурация изменяются со временем.

Поэтому системы с КА на низких круговых орбитах целесообразно использовать, с учетом особенностей их построения, для организации таких видов связи, как дуплексная телефонная связь, передача сообщений и др. между портативными абонентскими станциями со слабонаправленными или ненаправленными антеннами в глобальном масштабе или в широтных поясах. Их можно применять также и для организации связи в любых крупных регионах, например, СНГ, однако возможности группировки КА в этом случае остаются частично неиспользованными.

Системы с КА на эллиптических орбитах могут решать задачи по организации связи как в региональном, так и в глобальном масштабах, при этом в последнем случае группировка КА должна

состоять из двух частей – с апогеями в северном и южном полушариях. При региональном обслуживании может использоваться лишь одна часть группировки, что дает экономию в количестве требуемых КА по сравнению с системами с КА на круговых орбитах. Каналы связи в этих системах также носят динамический характер, причем в дополнение к изменениям в протяженности и конфигурации маршрутов связи со временем изменяется еще и высота орбиты.

Области применения систем с КА на низких и средних эллиптических орбитах могут быть такими же, как и в системах с КА на круговых орбитах, а на высокоэллиптических орбитах – как в системах на геостационарной орбите.

Таким образом, при выборе системы спутниковой связи для решения конкретных задач по организации связи на заданных территориях необходимо рассматривать возможности различных систем и выбирать те из них, которые могут наиболее полно удовлетворить поставленным требованиям, учитывая при этом их экономическую эффективность и сложность технической реализации.

#### 4.2. ВЫБОР СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ ГРУППИРОВОК КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

С учетом вышесказанного все проектируемые ССС можно классифицировать по ряду признаков.

1. По видам связи:
  - для двухсторонней связи и обмена другими видами информации (телефонная связь, межмашинный обмен, доступ в базы данных, в Интернет и др.);
  - для передачи дискретных сообщений небольшого объема с запоминанием и переносом их на борту КА в заданный регион.
2. По типам используемых абонентских станций (в порядке возрастания энергетического потенциала): носимые, подвижные, стационарные (перевозимые).
3. По размерам и расположению обслуживаемой территории:
  - глобальные, обеспечивающие связь на всей территории Земли;
  - региональные, обеспечивающие связь в различных, достаточно крупных регионах Земли, превышающих зону радиовидимости одного КА;
  - зональные, обеспечивающие связь только в зоне радиовидимости одного КА.
4. По времени предоставления связи:
  - с непрерывной связью в реальном масштабе времени на всей обслуживаемой территории;
  - с периодическим предоставлением канала связи;
  - с непрерывной связью в приоритетных регионах и периодической связью на остальных территориях Земли.

Перечень признаков, по которым различаются системы, можно было бы продолжить, но и этого достаточно, чтобы оценить, насколько широк спектр параметров, от выбора которых зависит создание оптимальной для решения конкретных задач системы.

Наиболее простыми являются системы связи между абонентами только в зоне радиовидимости одного КА и системы с переносом информации (типа «электронная почта»), а наиболее сложными – системы для обеспечения непрерывной связи в глобальном или региональном масштабах. Они требуют сплошного покрытия обслуживаемой территории зонами радиовидимости КА и, следовательно, создания группировок КА определенной структуры, обеспечения связности системы, т.е. объединения зон радиовидимости КА в единое целое, выбора способов минимизации длины маршрута (числа ретрансляций) при организации связи между любыми точками на обслуживаемой территории, оценки времени ожидания канала и его существования в течение определенного времени и т.д.



Стоимость разработки и создания космического сегмента составляет, как правило, большую часть стоимости разработки всей системы связи, поэтому выбору группировки КА и ее параметров необходимо уделять первостепенное внимание.

Оценим параметры группировок КА на круговых орбитах, обеспечивающих не менее, чем однократное покрытие зонами радиовидимости КА всей обслуживаемой территории, причем рассматривать будем только группировки с фиксированным положением КА на орбитах.

На выбор высоты орбиты влияет ряд факторов. Чем больше высота, тем меньше количество КА требуется для обслуживания заданной территории, меньше динамика изменений параметров каналов связи при движении КА по орбитам, но, с другой стороны, требуется большая энергетика радиолиний, что особенно сложно при использовании в системе портативных абонентских станций, усложняется космический аппарат – необходимо повышать его энергопотребление, применять многолучевые антенны с большим количеством лучей, усложнять управление и т.п., что приводит к увеличению его сложности и массы, а следовательно, и стоимости разработки, изготовления и запуска.

На выбор наклона орбиты влияет, в первую очередь, размер и расположение обслуживаемой территории на земной поверхности. Так, для стран СНГ и прилегающих к ним территорий с ограничением по широте и долготе наиболее предпочтительными можно считать три варианта систем связи:

- для обеспечения непрерывной связи в глобальном масштабе;
- для обеспечения непрерывной связи в приоритетном широтном поясе в пределах  $35...70^\circ$  с.ш. и периодической связи – в других регионах Земли;
- только для территории СНГ.

Кроме высоты и наклона орбит КА, на количество КА в группировке влияет ее структура. Различают два вида структур: симметричную, при которой положение каждого КА в группировке одинаково по отношению к другим КА, и несимметричную, когда это условие не соблюдается.

Примером симметричной структуры группировки является структура, при которой каждый КА размещается на отдельной орбите с соответствующим выбором долгот восходящих узлов.

Примером несимметричной – когда на каждой орбите размещается несколько КА. Особенностью такой группировки является наличие «шва», где КА на соседних орбитах движутся в противоположных направлениях.

На рис. 4.6 в качестве примера приведены результаты расчета количества КА в низкоорбитальных группировках в зависимости от высоты орбиты при следующих условиях:

- для глобального охвата земной поверхности и широтного пояса  $35...70^\circ$  с.ш. (для охвата территории СНГ);
- при минимальном угле места абонентской станции  $10^\circ$ ;
- для нескольких фиксированных значений наклонов орбит –  $63, 74, 83$  и  $90^\circ$ .

Анализ этих зависимостей показывает, что для глобальных систем связи наиболее выгодными с точки зрения минимизации количества КА оказываются группировки на полярных ( $90^\circ$ ) и близких к ней ( $83^\circ; 74^\circ$ ) орбитах, а для обслуживания широтного пояса  $35...70^\circ$  – группировки с КА на орбитах с наклоном  $63^\circ$ . Естественно, что при других координатах обслуживаемых территорий и наивыгоднейшие наклоны также могут быть другими.

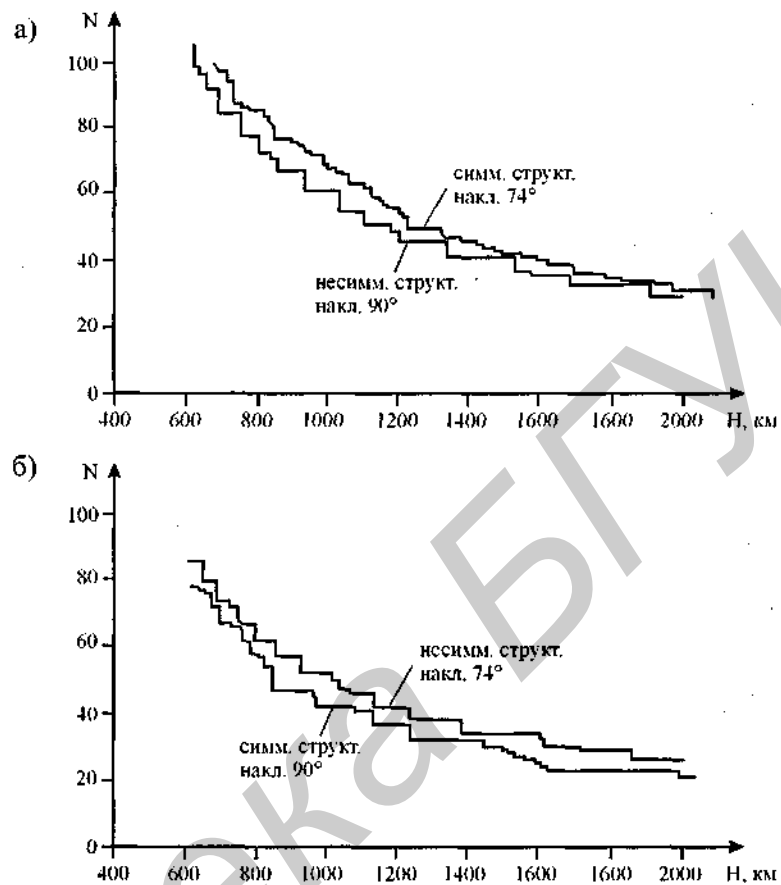
Что касается структуры группировки, то для глобальных систем более выгодными являются несимметричные структуры, а для систем с обслуживанием широтного пояса – симметричные. Из рис. 4.6 видно, например, что при глобальном охвате территории Земли на высоте 1000 км при несимметричной структуре с наклоном  $90^\circ$  в группировке должно быть 60 КА, а при симметричной структуре с наклоном  $74^\circ$  – 67 КА; для высоты 1600 км – соответственно 35 и 38 КА. Для систем с обслуживанием широтного пояса  $35...70^\circ$  в группировке с симметричной структурой при высоте орбиты 1000 км и наклоном  $63^\circ$  должно быть 40 КА, а с несимметричной структурой и наклоном  $90^\circ$  – 50 КА; при высоте орбиты 1600 км – соответственно 28 и 21 КА. Таким образом, правильный выбор структуры группировки и наклона орбиты дает весьма существенную экономию в необходимом количестве КА для систем связи различного назначения, учитывая высокую стоимость вывода каждого КА на орбиту, его обслуживания и замены при выходе из строя.

**Рис. 4.6.**

Количество КА в группировке в зависимости от высоты орбиты:

а – для глобальной зоны обслуживания,

б – для обслуживания широтного пояса 35-70° с. ш.



При использовании в системе многоспутниковой орбитальной группировки (ОГ) одной из главных задач является обеспечение надежности ее работы, что невозможно без поддержания группировки в полном составе с достаточно высокой вероятностью.

Состояние же ОГ существенно зависит от случайных факторов – момента выхода из строя спутников, времени их замены работоспособными КА и т.д. Поэтому изменение состояния ОГ может быть представлено в виде случайного процесса.

В некоторый момент времени ОГ может находиться в одном из  $N_{ка}$  состояний, каждое из которых характеризуется наличием  $n$  работоспособных КА, где  $n$  принимает значения от 1 до  $N_{ка}$  ( $N_{ка}$  – полное количество КА в ОГ). Переход ОГ из одного состояния в другое происходит в произвольный момент времени под действием двух потоков событий.

Первый поток – поток отказов или выходов из строя КА переводит ОГ из состояния с большим числом работоспособных спутников в состояние с их меньшим количеством. Второй – поток замены вышедших из строя КА работоспособными, наоборот, переводит ОГ в состояние с большим количеством КА. В первом приближении их можно рассматривать как простейшие пуассоновские потоки с показательными законами распределения интервалов времени между двумя последовательными событиями. Тогда поведение ОГ может быть описано марковским случайным процессом с дискретными состояниями и непрерывным временем, который характеризуется непрерывной однородной цепью Маркова, поскольку плотности вероятностей переходов из одного состояния в другое не зависят от времени.

Для оценки структурной надежности системы представляют интерес значения вероятностей состояний в установившемся режиме для полностью развернутой системы, т.е. предельные вероятности.

Нахождение группировки в том или ином составе зависит, главным образом, от двух факторов – надежностных характеристик КА и выбранной стратегии восполнения группировки. Возможны различные варианты стратегии восполнения. Рассмотрим два наиболее распространенных варианта.

Один из них заключается в том, что решение о запуске нового спутника принимается только после выхода из строя находящегося на орбите КА, а интенсивность процесса восполнения определяется производительностью стартового комплекса и не зависит от количества КА, подлежащих замене.

Другой вариант состоит в том, что вышедший из строя спутник заменяется на КА из числа резервных, которые находятся в каждой орбитальной плоскости. Решение о запуске нового КА принимается только тогда, когда запас резервных спутников в какой-либо плоскости уменьшается до некоторого заранее определенного предельного уровня. Очевидно, что время замены спутника во втором варианте гораздо меньше, чем в первом, но это требует дополнительных расходов.

В обоих случаях процесс изменения состояний ОГ будет представлять собой наиболее типичный вариант непрерывного марковского процесса, называемого процессом «гибели и размножения». Вероятности нахождения ОГ в состоянии с  $n$  работоспособными КА будут зависеть от двух параметров – среднего времени безотказной работы спутника и среднего времени замены вышедшего из строя КА работоспособным.

На рис. 4.7 представлена зависимость вероятности  $P_{нс}$  нахождения ОГ в неполном составе от общего количества КА в группировке  $N_{ка}$  при среднем времени работы  $T_{раб. ср.}$  равном 7 и 5 годам, при среднем времени замены  $T_{зам. ср.}$  равном 30 и 1 суткам, соответствующим двум указанным стратегиям восполнения группировки.

**Рис. 4.7.**

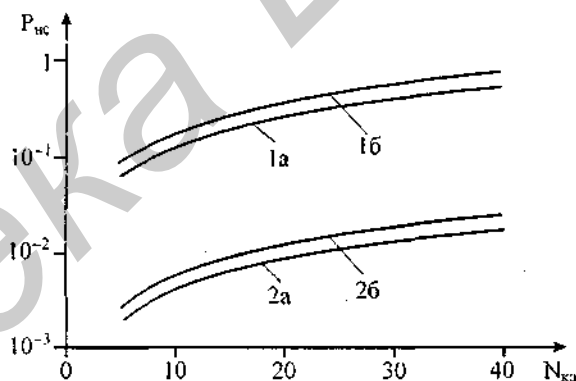
Зависимость вероятности нахождения ОГ в неполном составе от числа КА в группировке при:

1а –  $T_{зам. ср.} = 30$  сут;

1б –  $T_{раб. ср.} = 7$  лет;

2а –  $T_{зам. ср.} = 1$  сут;

2б –  $T_{раб. ср.} = 5$  лет



Приведенные данные показывают, что уменьшить вероятность нахождения ОГ в неполном составе можно за счет сокращения числа спутников в группировке, увеличения среднего срока активного существования КА (графики 1а и 2а) или, более кардинально, применения стратегии восполнения группировки с использованием резервных спутников на орбитах (графики 2а и 2б). Так, например, при  $T_{зам. ср.} = 30$  сут и  $N_{ка} \geq 40$  в группировке практически всегда будет отсутствовать хотя бы один КА. При использовании же в группировке резервных спутников ( $T_{зам. ср.} = 1$  сут) вероятность отсутствия КА в группировке будет не более  $10^{-2}$ .

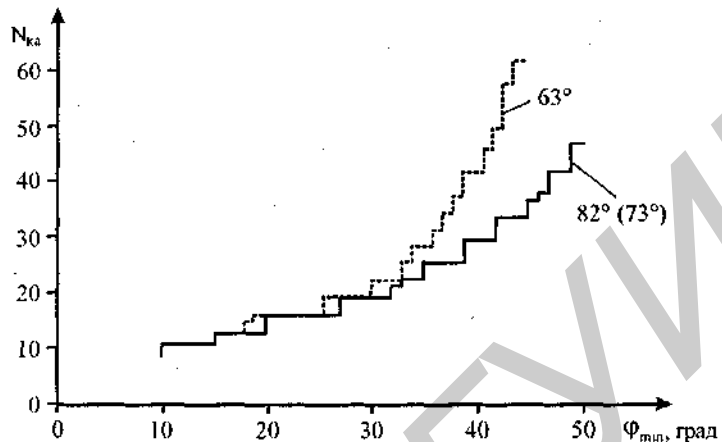
Уменьшение числа КА в группировке, увеличение срока активного существования космических аппаратов необходимо и для снижения затрат на развертывание и поддержание ОГ в работоспособном состоянии, что составляет основную статью расходов в спутниковых системах.

Применение стратегии восполнения группировки с использованием резервных КА предполагает размещение определенного числа запасных спутников в каждой орбитальной плоскости. Для сокращения их общего числа необходимо выбирать ОГ с минимальным числом орбитальных плоскостей. Этим условиям удовлетворяют группировки с несимметричной структурой.

На рис. 4.8 представлена зависимость числа спутников, необходимых для обеспечения глобального покрытия среднеорбитальной группировкой с высотой орбиты 10360 км, от минимального угла места антенны абонентских станций  $\varphi_{мин}$  при трех значениях наклона орбиты 82, 73 и 63° (из-за небольших различий зависимости для наклонов 82 и 73° представлены одним графиком).

**Рис. 4.8.**

Зависимость количества КА в ОГ для глобального покрытия от минимального угла места антенны ЗС при различных наклонениях орбиты



Из рис. 4.8 видно, что важным фактором, влияющим на выбор ОГ, является минимальный угол места антенны абонентской станции, под которым допускается их работа в данной системе. Чем он больше, тем меньше окружающие предметы и рельеф местности мешает проведению сеансов связи, хотя это и достигается увеличением числа КА в группировке. Для стационарных станций, местоположение которых может быть выбрано заранее, этот угол может составлять  $7...10^\circ$ , для мобильных же станций часто бывает невозможной работа под углами к горизонту менее  $30...40^\circ$ .

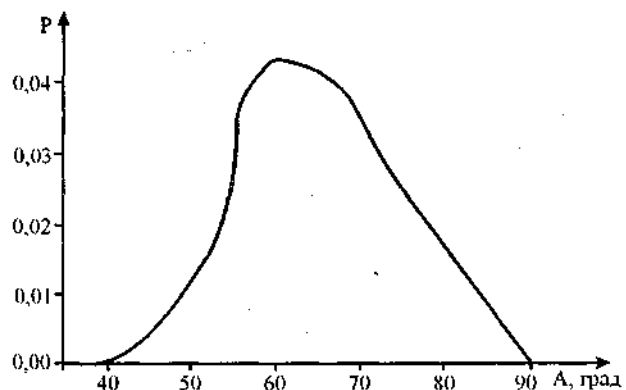
Приведенные данные показывают также, что наименьшее число КА в ОГ несимметричной структуры достигается при большем наклонении, причем уменьшение наклонения позволяет увеличить кратность покрытия обслуживаемой территории зонами радиовидимости КА на средних широтах, где это необходимо в большей степени. Поэтому оптимальным для РФ является выбор наклонения  $73^\circ$ .

Рассмотрим в качестве примера некоторые характеристики системы, построенной на базе группировки из 24 КА, расположенных в трех орбитальных плоскостях, с высотой орбиты 10360 км и наклонением  $73^\circ$ , обеспечивающей глобальный обзор при минимальном угле места антенны абонентских ЗС  $35^\circ$ . Для поддержания такой группировки в полном составе необходимо по крайней мере три резервных КА – по одному в каждой плоскости.

Данная группировка позволяет абонентским станциям работать при минимальных углах места  $35^\circ$ . На рис.4.9 представлены плотности вероятности рабочих углов места антенны АС, расположенных на средних широтах. Приведенные данные показывают, что реально станции значительную часть времени работают под углами существенно большими, чем  $35^\circ$ .

**Рис. 4.9.**

Плотности вероятности рабочих углов места антенны АС во время сеанса связи

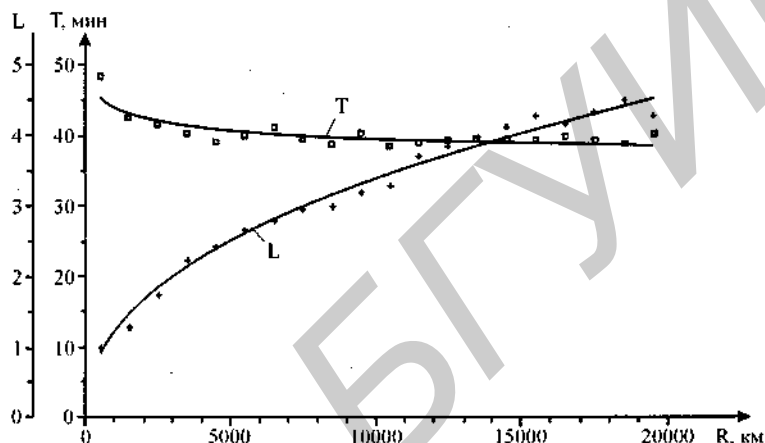


При увеличении высоты орбиты возрастает период обращения спутников вокруг Земли, что приводит к снижению скорости перемещения зоны КА по земной поверхности и увеличению продолжительности существования маршрутов, которая в данной системе в среднем составляет 40 мин.

Характеристики связи в многоспутниковых системах существенным образом зависят от расстояния между абонентами. На рис. 4.10 показана зависимость средних значений числа ретрансляций  $L$  и длительности существования маршрутов  $T$  от расстояния  $R$  между абонентами. Под ретрансляцией в данном случае понимается передача сигнала от одной станции к другой через спутник, в зоне которого они находятся.

**Рис. 4.10.**

Зависимости средних значений числа ретрансляции ( $L$ ) и длительности ( $T$ ) существования маршрутов от расстояния между абонентами ( $R$ )

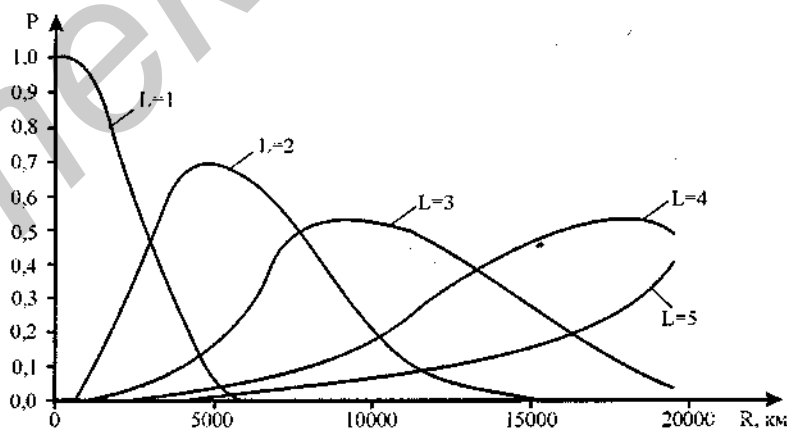


Из представленных данных видно, что с увеличением расстояния число ретрансляций возрастает, а длительность существования маршрутов снижается, хотя и в меньшей степени.

На рис. 4.11 показана зависимость вероятности использования маршрутов ( $P$ ) с различным числом ретрансляций ( $L$ ) от расстояния между абонентами.

**Рис. 4.11.**

Зависимости вероятности использования маршрутов с  $L$  ретрансляциями от расстояния между абонентами



Следует отметить, что с увеличением числа ретрансляций возрастает время задержки сигнала. Это не имеет существенного значения при передаче различного рода данных, но для дуплексной телефонной связи при большом числе ретрансляций задержка может превысить допустимую по норме МСЭ (390 мс), хотя вероятность этого невелика.

#### 4.3. ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВЯЗНОСТИ ДЛЯ В СИСТЕМАХ С МНОГОСПУТНИКОВЫМИ ГРУППИРОВКАМИ

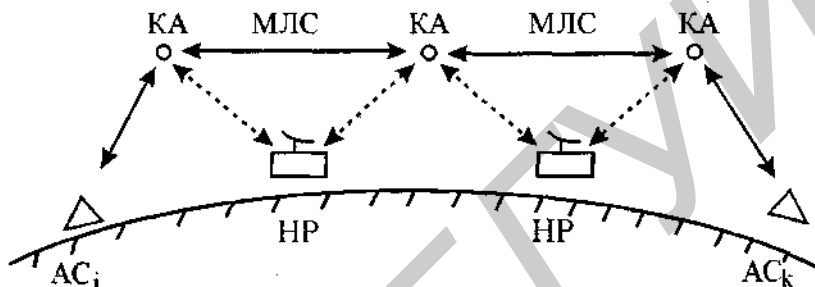
Необходимость расширения зоны обслуживания вплоть до глобальной и снижения энергетического потенциала в ССС заставляет рассматривать варианты их построения на базе группировок космических аппаратов (КА) на относительно низких, по сравнению с геостационарной, орбитах. В таких системах охват всей зоны обслуживания осуществляется совокупностью зон радиовидимости (ЗРВ) отдельных КА, входящих в группировку, вследствие чего возникает задача объединения их в единое целое, т.е. обеспечения связности системы, которая может достигаться или с

помощью межспутниковых линий связи (МЛС) или наземных ретрансляторов (НР), или комбинацией этих двух способов.

В любом варианте канал связи в многоспутниковой системе является интегральным.

На рис. 4.12 в качестве примера представлен интегральный канал связи от  $i$ -го абонента к  $k$ -му абоненту с двумя звеньями ретрансляции, обеспечивающий связность либо с помощью МЛС (сплошные линии), либо с помощью НР (пунктирные линии).

**Рис. 4.12.**  
Схема интегрального канала связи



В общем случае возможны следующие варианты прохождения сигнала по интегральному каналу:

– при использовании МЛС

$$AC_i \leftrightarrow \underbrace{KA \leftrightarrow \dots \leftrightarrow KA}_{m \text{ звеньев}} \leftrightarrow AC_k;$$

– при использовании НР

$$AC_i \leftrightarrow \underbrace{KA \leftrightarrow НР \leftrightarrow \dots \leftrightarrow KA}_{n \text{ звеньев}} \leftrightarrow AC_k;$$

– при комбинированной связи

$$AC_i \leftrightarrow \underbrace{KA \leftrightarrow \dots \leftrightarrow KA}_{m \text{ звеньев}} \leftrightarrow \underbrace{НР \leftrightarrow \dots \leftrightarrow НР}_{n \text{ звеньев}} \leftrightarrow \underbrace{KA \leftrightarrow \dots \leftrightarrow KA}_{m \text{ звеньев}} \leftrightarrow AC_k;$$

Решение задачи обеспечения связности может иметь много вариантов, что приводит к необходимости ее оценки и выбору наиболее эффективного варианта.

Существуют различные определения связности и ее количественных оценок, но применительно к многоспутниковой системе эти определения требуют уточнения, поскольку в процессе движения КА по орбитам и вращения Земли взаимное положение элементов системы (КА, НР, АС) постоянно изменяется во времени, а следовательно, изменяется во времени и структура системы.

Будем называть систему связной на некотором интервале времени, если в каждый его момент для любой пары объектов (абонентов системы), независимо от их положения в зоне обслуживания, существует возможность организации канала связи между ними с заданными параметрами.

Представим структуру системы в некоторый момент времени  $t$  в виде графа  $G_t(V_s, U_s)$ , вершинами которого  $V_s$  являются элементы системы, а ветвями  $U_s$  – связи между ними в момент времени  $t$ . Дополним этот граф еще двумя вершинами  $A$  и  $B$ , обозначающими некоторую пару объектов, и ветвями  $U_a$  и  $U_b$ , обозначающими их возможные связи в момент времени  $t$  с КА, в зонах которых они находятся.

Обозначим полученный граф как  $G_t(V, U)$ , где  $V = (V_s, A, B)$ ;  $U = (U_s, U_a, U_b)$ .

Каждой его вершине и ветви припишем веса  $W$ , отражающие изменение тех или иных параметров при прохождении сигнала через данный элемент. Такими параметрами могут быть: время задержки сигнала (в бортовых и наземных ретрансляторах, а также из-за распространения радиоволн), отношение сигнал/шум и др. Обобщающим параметром может служить число ретрансляций сигнала на пути от одного абонента к другому.

Длиной пути  $d_k$  между двумя объектами системы по  $k$ -му параметру назовем сумму весов  $W_k$ , находящихся на данном пути вершин и ветвей. Условие связности двух объектов системы в некоторый момент времени  $t$  выполняется в том случае, если в графе  $G_t(V, U)$  между его вершинами

А и В имеется хотя бы один путь, длина которого  $d_k(A, B)$  по каждому из  $K$  параметров, характеризующих качество канала, не превышает допустимого значения  $D_k$ :

$$D_k(A, B) < D_k, k = 1, \dots, K. \quad (4.2)$$

Система считается связной на некотором интервале времени  $t$ , если условия (4.2) выполняются на этом интервале для любой пары объектов, находящихся в зоне обслуживания. Это и будем считать показателем связности системы. При оценке связности можно учесть не только длину пути, но и наличие или отсутствие обходных (дополнительных) путей между элементами системы, что так или иначе отражает надежность этих связей и состояние системы в процессе функционирования. Действительно, если между двумя объектами существует более короткий, чем для другой пары, путь или имеется больше обходных (пусть и не полностью независимых) путей, то связь между такими объектами будет более надежной, а оценка их связности выше.

Если бы система состояла из абсолютно надежных элементов и всегда находилась в полном составе, то наличие обходных путей между ее элементами или их отсутствие, как впрочем и их длина, если только она не больше допустимой, не имело бы значения.

Однако надежность всех элементов системы носит вероятностный характер, поэтому и уровень связности двух любых объектов на некотором интервале времени можно оценивать как вероятность существования на этом интервале хотя бы одного пути с допустимыми параметрами, а уровень связности системы – как среднее значение уровней связности всех возможных пар ее объектов.

При вычислении уровня связности двух объектов приходится находить пути, удовлетворяющие условию (4.2) в некоторые моменты времени  $t$ . Если качество канала оценивается совокупностью многих параметров, то задача становится весьма сложной. Однако в большинстве случаев достаточно ограничиться одним, наиболее критичным параметром, и тогда при проверке условия связности этих объектов достаточно найти кратчайший путь между ними и его длину по данному параметру. В дальнейшем рассматривается именно этот подход.

**Методика определения уровня связности системы.** Для этой цели воспользуемся методом статистических испытаний. Число испытаний выбирается исходя из требуемой точности получаемых результатов. Операции, выполняемые в каждом испытании, осуществляются по следующему алгоритму:

- случайным образом выбираются момент времени  $t \in \tau$ , а также пара объектов А и В, задаваемых географическими координатами;
- если в системе предполагается применение линий МЛС, то с учетом наложенных на них ограничений выявляются все связи между КА;
- если в системе предполагается применение наземных ретрансляторов, то для каждого из них, заданных географическими координатами, выбирается пара КА, которую связывает данный ретранслятор;
- определяется состояние системы в момент времени  $t$  (ее состав и перечень работоспособных элементов);
- определяются КА, в зонах которых располагаются выбранные объекты А и В;
- формируется граф  $G_t(V, U)$  и проводится его разметка;
- находится кратчайший путь между вершинами А и В, определяется его длина и проверяется выполнение условия связности объектов.

После проведения выбранного числа испытаний по этому алгоритму рассчитывается уровень связности системы как отношение числа испытаний, в которых выполняются условия связности, к их общему числу.

Рассмотрим подробнее некоторые позиции данного алгоритма. Вопросы, связанные с генерированием случайных величин компьютерными методами, хорошо известны. Для этого необходимо лишь знать или задаться интегральными функциями распределения соответствующих величин.

Выбор пары объектов можно осуществлять на основе различных моделей, учитывающих распределение объектов в зоне обслуживания, потоки информации между объектами, их взаимное расположение, время и т.д. Если точные данные для построения модели неизвестны, то целесообразно ориентироваться на наиболее простую модель, в которой плотность распределения объек-

тов по зоне обслуживания принимается одинаковой, а вероятность связей между ними не зависит от их взаимного расположения и времени.

Структура линий МЛС обусловлена выполнением условий взаимной радиовидимости между всеми КА и соответствием параметров линий МЛС наложенным на них ограничениям, связанных с возможностью и сложностью технической реализации антенных систем ретрансляторов МЛС. Это в конечном счете приводит к ограничению допустимых значений изменений азимутального угла и угла места между взаимодействующими КА.

При нахождении связей между КА и наземными ретрансляторами для каждого из них выявляются все КА, в зонах которых в момент времени  $t$  находится данный НР, т.е. КА, расстояние от центров зон которых до соответствующего НР по поверхности Земли не превышает радиуса ЗРВ КА. Если таких КА всего два, то их выбор однозначен, если же больше двух, то выбираются два КА, соединение которых может с помощью НР наилучшим образом дополнить структуру МЛС.

Следует отметить, что эффективное использование НР (если только они не соединены между собой другими линиями связи, например, наземными) возможно лишь при условии их размещения в областях, где обеспечивается по крайней мере двукратное непрерывное покрытие земной поверхности зонами радиовидимости КА.

Процедура определения состояния системы в момент времени  $t$  зависит от модели описания поведения системы в процессе ее функционирования. Однако независимо от вида модели и ее характера (детерминированного или вероятностного) требуется знать сколько и какие именно элементы системы в данный момент времени находятся в работоспособном состоянии. Определение КА, в зонах которых располагаются выбранные объекты, т.е. абоненты системы, осуществляется так же, как и для НР.

Граф  $G_t(V, U)$  формируется на основании данных о наличии работоспособных элементов в системе, связях между ними и с объектами в момент времени  $t$ . Структуру графа удобно представлять в виде матрицы связности, а информацию о весах его элементов – в виде матрицы весов.

Для нахождения кратчайшего пути между вершинами  $A$  и  $B$  целесообразно воспользоваться алгоритмом Дейкстры. Если длина найденного пути меньше допустимой, то условие связности в данном испытании выполняется. На основе полученных данных рассчитывается уровень связности системы, учитывающий состояние системы в процессе ее функционирования.

**Порядок выбора орбитальной группировки и структуры системы.** Облик системы, варианты организации ее связности, удовлетворяющие заданному уровню, обусловлены группировкой КА. Выбор орбитальной структуры – сложная задача и однозначного решения не имеет. Тем не менее можно предложить ряд рекомендаций.

Вначале необходимо отобрать орбитальные группировки, обеспечивающие однократный обзор зоны обслуживания при минимальном числе КА. При этом необходимо учитывать ряд факторов, которые влияют на ее параметры. Так, высота орбит КА зависит от предполагаемой энергетики радиолиний, имеющихся средств выведения КА на орбиту и др. Далее для каждой из набора выбранных группировок выясняется возможность обеспечения связности только за счет линий МЛС с учетом наложенных на них ограничений.

Приемлемой считается та группировка, которая обеспечивает в обслуживаемой зоне заданный уровень связности. Если же ни одна из группировок КА не дает желаемого результата при использовании МЛС, то в состав системы связи следует ввести наземные ретрансляторы. Число НР и схема их расположения должны определяться отдельно в каждом конкретном случае.

После введения НР вновь рассчитывается уровень связности систем с комбинированным использованием МЛС и НР при различных вариантах размещения НР. Если и в этом случае ни для одной группировки не достигается заданный уровень связности, то в таком же порядке необходимо исследовать другой набор группировок, уже с большим числом КА.

В качестве примера рассмотрим выбор группировки КА для системы связи, предназначенной для обслуживания широтного пояса  $35...70^\circ$  с.ш. и обеспечивающей уровень связности, равный единице, при числе ретрансляций не более четырех. При этом будем считать, что объекты системы располагаются в зоне обслуживания с одинаковой плотностью, а распределение потоков информации между ними не зависит от их взаимного расположения и времени. На линии МЛС введем ограничение – отклонение азимутального угла антенны не должно превышать  $50^\circ$ .



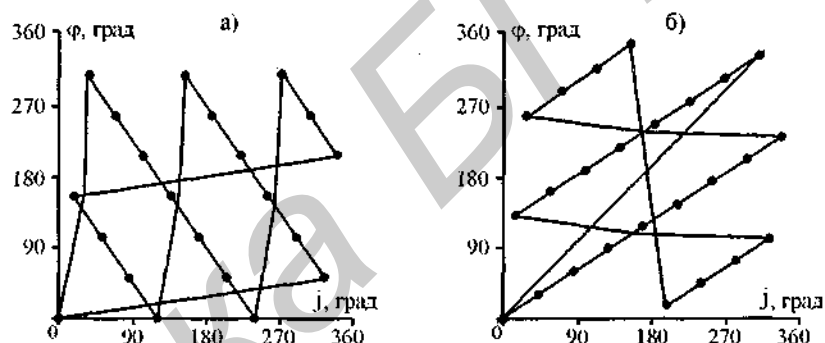
Выберем высоту орбиты КА 1640 км и наклонение  $63^\circ$ . Анализ связности системы проведем на интервале времени, равном одним суткам, и в предположении, что система в этот период находится в полном составе.

Для простоты анализа рассмотрим всего две группировки, обеспечивающие непрерывный обзор зоны обслуживания. Первая состоит из 21 КА с одним КА на каждой орбите, с долготами восходящих узлов  $j_n = 360 \cdot 2 \cdot (n-1)/21$  и начальными аргументами широты  $\varphi_n = -360 \cdot 3 \cdot (n-1)/21$ , где  $n$  – номер КА. Вторая группировка состоит из 25 КА с одним КА на каждой орбите и параметрами  $j_n = 360 \cdot 3 \cdot (n-1)/25$  и  $\varphi_n = -360 \cdot 2 \cdot (n-1)/25$ . Применим предложенную выше методику, используя вначале только линии МЛС.

На рис. 4.13 представлены группировки КА и структуры МЛС для первой (а) и второй (б) систем связи, где по оси абсцисс отложены долготы восходящих узлов  $j$ , а по оси ординат – начальные аргументы широты  $\varphi$ . Заданным требованиям здесь удовлетворяют только МЛС, объединяющие все КА в одну «цепочку».

**Рис. 4.13.**

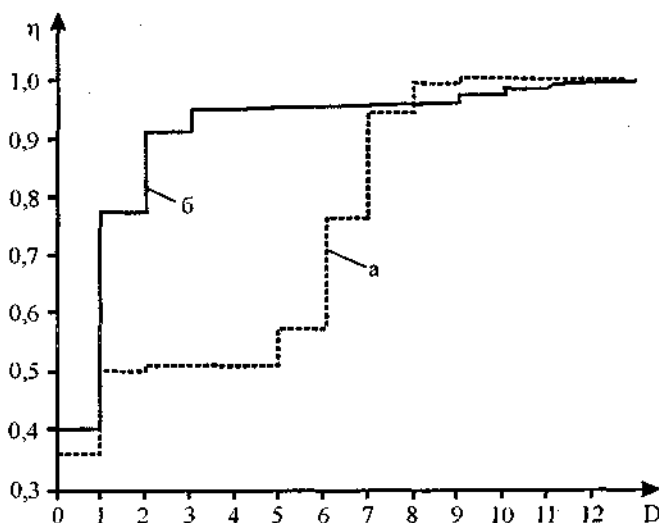
Структуры межспутниковых линий связи для симметричных группировок из 21 КА (а) и 25 КА (б)



На рис. 4.14 показаны зависимости уровня связности  $\eta$  от допустимого числа ретрансляций в системе D при использовании только линий МЛС. При четырех ретрансляциях ни одна из систем не обеспечивает заданного уровня связности, равного единице, хотя вторая система (б) близка к этому значению. Для уменьшения числа ретрансляций введем в систему связи НР (в состав первой системы – шесть ретрансляторов, второй – четыре, равномерно распределенные по долготам на  $55^\circ$  с.ш.).

**Рис. 4.14.**

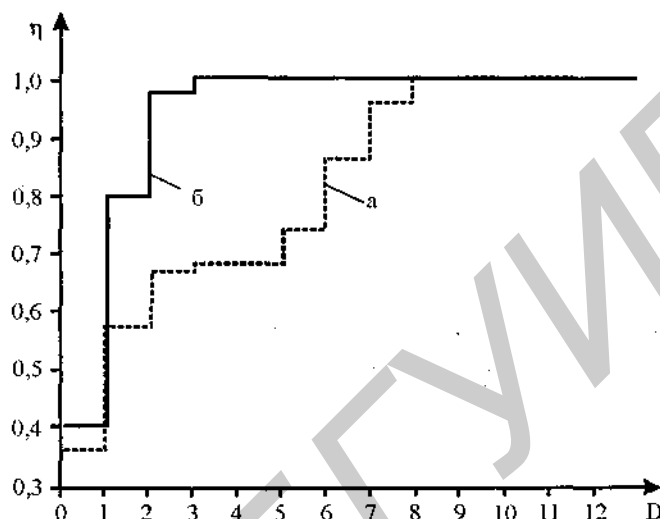
Зависимость уровня связности от допустимого числа ретрансляций в системе при использовании только МЛС



На рис. 4.15 показаны зависимости уровня связности систем с комбинированным способом использования линий МЛС и НР от допустимого числа ретрансляций. Из анализа этих зависимостей видно, что в первой системе уровень связности 1,0 достигается при девяти ретрансляциях, а во второй (б) – при трех.

**Рис. 4.15.**

Зависимость уровня связности от допустимого числа ретрансляций в системе при комбинированном использовании МЛС и НР



Таким образом, первая система, хотя и имеет выигрыш перед второй по числу КА в группировке, не обеспечивает необходимого уровня связности при заданном числе ретрансляций (не более 4) ни при использовании только линий МЛС, ни при введении дополнительно наземных ретрансляторов. Вторая же система при комбинированном использовании линий МЛС и НР удовлетворяет этим требованиям уже при числе ретрансляций, равном 3.

Предложенный в работе показатель уровня связности для систем спутниковой связи, использующих группировки космических аппаратов на круговых орбитах, позволяет не только сравнивать между собой различные системы такого вида, но и осуществлять выбор группировок КА, обеспечивающих наиболее выгодные условия для связности при проектировании системы с заданными параметрами.

#### 4.4. ВЕРОЯТНО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛОВ СВЯЗИ В ССС С КА НА КРУГОВЫХ ОРБИТАХ

Потребительские качества многоспутниковых систем связи в значительной степени определяются вероятностно-временными характеристиками их каналов. Последние, в свою очередь, зависят от множества факторов, в том числе от принятых в системе критериев выбора маршрута прохождения сигнала от одного абонента к другому, структуры и параметров орбитальной группировки космических аппаратов, способа обеспечения связности и др. Поэтому выбор основных технических решений при проектировании многоспутниковых систем связи, особенно при разработке алгоритмов их функционирования, должен осуществляться с учетом анализа характеристик каналов.

Как уже отмечалось, в рассматриваемых системах для связи между абонентскими станциями (АС), расположенными в зонах радиовидимости различных КА, могут использоваться как межспутниковые линии связи, так и наземные ретрансляторы. Путем коммутации различных звеньев системы (АС-КА, КА-КА, КА-НР) формируется интегральный канал связи. Маршрут прохождения сигнала задается последовательностью используемых звеньев.

Каналы могут описываться некоторым множеством параметров – отношением сигнал/шум, временем задержки сигнала и др. Однако оперировать многими параметрами бывает не всегда удобно. Обобщающим параметром, хотя в определенной степени приближенно, оценивающим качество канала, может служить количество используемых звеньев или числа ретрансляций сигнала на пути от одного абонента к другому. Ограничения по любому параметру всегда можно пересчитать в допустимое количество ретрансляций, которое для системы определяется по наиболее критичному из них.

В многоспутниковых системах из-за перемещений КА относительно АС и НР характерно наличие различного рода перерывов связи:

- перерывы связи первого рода вызваны изменениями маршрута канала, возникающими при переходе одной из АС или какого-либо НР, участвующего в соединении, из зоны радиовидимости одного КА в зону радиовидимости другого;
- перерывы связи второго рода в системах, использующих многолучевые антенны на борту КА, связаны с переходом абонентов из одного луча в другой той же антенны.

Если в алгоритме функционирования системы предусматривается процедура поддержания непрерывности связи при переходе абонентов из луча в луч бортовой антенны и при изменении маршрута канала, то указанные перерывы не приводят к обрыву связи и проявляются аналогично перерывам связи в наземных сотовых системах при перемещении абонентов из одной ячейки в другую. Кроме этого, существуют перерывы, которые обусловлены прекращением существования маршрута и невозможностью его замены в течение некоторого времени на новый. Они могут возникать по различным причинам, например, в системах, не обеспечивающих непрерывного однократного покрытия обслуживаемой территории ЗРВ КА, или при выходе из строя одного или нескольких ее элементов (КА или НР), а также при отсутствии свободных каналов в соответствующих звеньях системы. Перерывы такого рода однозначно ведут к обрыву связи.

Интегральные каналы, предоставляемые только на время существования одного маршрута, будем называть одномаршрутными, а каналы, в которых предусматривается переход с одного маршрута на другой – многомаршрутными.

Потребительские качества системы определяются также и принятым в ней порядком предоставления канала по запросу абонента, который характеризуется временем ожидания его предоставления. Оно может предусматриваться, например, с целью выбора только одномаршрутных каналов, что значительно упрощает алгоритм функционирования системы, или для сокращения орбитальной группировки.

Таким образом, в низкоорбитальной системе, предназначенной для передачи информации в реальном масштабе времени, каналы могут характеризоваться числом ретрансляций  $L$ , длительностью существования одного маршрута  $T_m$ , временем безобрывной связи  $T_{cb}$  (в случае одномаршрутных каналов  $T_{cb} = T_m$ ), временем ожидания предоставления канала  $T_{ож}$ , и в случае многомаршрутных каналов – еще интенсивностью смены маршрута, равной величине, обратной среднему времени существования маршрута  $T_{m\text{ ср}}$ . Временные характеристики каналов, обусловленные перерывами второго рода, полностью определяются топологией многолучевой бортовой антенны и здесь не рассматриваются.

Канал связи должен удовлетворять принятым в системе определенным требованиям. В обобщенной форме их можно записать в следующем виде:

$$L \leq L^*; T_{cb} \leq T_{cb}^*; T_m \leq T_m^*; T_{ож} \leq T_{ож}^*$$

Здесь знаком  $*$  обозначены допустимые параметры канала. Очевидно, что для одномаршрутных каналов  $T_{cb}^* = T_m^*$ . Следует также отметить, что время ожидания канала относится к выделению только первого звена маршрута, все следующие за ним должны предоставляться без ожидания для обеспечения безобрывной связи в многомаршрутных каналах. Вероятность предоставления канала, удовлетворяющего приведенным выше условиям, и определяет уровень связности.

Поскольку абоненты системы, как правило, соединяются каналами, проложенными по различным маршрутам, возникает задача выбора оптимального по выбранным параметрам маршрута. При выборе канала желательно находить кратчайшие маршруты, т.е. с наименьшим числом ретрансляций, чтобы предоставляемые каналы занимали в среднем меньшее количество звеньев системы и тем самым более эффективно использовали ее пропускную способность и имели более высокие качественные характеристики. С точки зрения организации связи также целесообразно выбирать более короткие маршруты. С другой стороны, для уменьшения интенсивности перерывов связи, вызванных сменой маршрутов, желательно находить маршруты с большим временем существования. При определенных условиях это позволит вообще ограничиться предоставлением лишь одномаршрутных каналов, если они по длительности существования всегда будут превы-

шать длительность заданного времени сеанса связи. Необходимо также минимизировать и время ожидания предоставления канала, если оно допускается в системе в определенных пределах.

Может быть предложено по крайней мере три условных критерия выбора маршрута:

$$\min L \quad \text{при условии } T_m \geq T_m^*; T_{ож} \leq T_{ож}^*, \quad (2)$$

$$\max T_m \quad \text{при условии } L \leq L^*; T_{ож} \leq T_{ож}^*, \quad (3)$$

$$\min T_{ож} \quad \text{при условии } L \leq L^*; T_m \geq T_m^*. \quad (4)$$

Однако на практике использование какого-то одного критерия не всегда рационально. Действительно, в одних случаях между абонентами может быть проложено несколько достаточно длительных маршрутов, тогда целесообразно выбрать из них более короткий по числу ретрансляций, т.е. воспользоваться критерием (2). При не очень длительных маршрутах разумно обратиться к критерию (3) и т.д. Кроме того, в системе не всегда могут существовать маршруты, удовлетворяющие какому-то одному выбранному критерию. Поэтому порядок использования критериев в каждом конкретном случае должен быть поставлен в зависимость от выполнения ряда дополнительных условий. Таким образом, выбор маршрута сводится к задаче оптимизации по нескольким показателям и, следовательно, может быть предложено много вариантов обобщенного критерия, в разной степени учитывающих важность тех или иных показателей, в зависимости от их величины. В частности, может быть предложен обобщенный критерий выбора маршрута, выраженный в алгоритмической форме, сущность которого заключается в следующем. Если между абонентами существуют маршруты с числом ретрансляций не более  $L^*$ , превышающие по длительности  $T_m^*$ , то маршрут выбирается в соответствии с критерием (2) в некоторой области значений  $T_{ож}$ , близких по величине к оптимальной по критерию (4). В противном же случае выбирается маршрут, удовлетворяющий критерию (3). Отсутствие маршрута, удовлетворяющего условиям  $L \leq L^*$ ,  $T_{ож} \leq T_{ож}^*$ , приводит к отказу в предоставлении канала.

Характеристики каналов при таком подходе, разумеется, будут зависеть от параметров  $L^*$ ,  $T_m^*$ ,  $T_{ож}^*$ . Проведем исследование этих зависимостей на конкретном примере.

Рассмотрим систему связи, предназначенную для глобального обслуживания абонентов и использующую орбитальную группировку (ОГ) из 30 КА с высотой орбиты 1640 км и наклоном  $73,5^\circ$ . Границы зон радиовидимости КА определены по минимальному углу места антенны АС, равному  $10^\circ$ . Связность системы обеспечивается с помощью сети постоянно действующих межспутниковых линий связи по четырем направлениям на каждом КА. Следует отметить, что данная ОГ не обеспечивает непрерывного однократного обзора поверхности Земли. Так, ее угловой показатель по обзору (угловое расстояние от наиболее удаленной точки обслуживаемой зоны до ближайшего КА) составляет  $33,16^\circ$ , а угловой радиус ЗРВ КА –  $28,5^\circ$ . Возможность выхода из строя элементов системы и неточность поддержания ОГ в сфазированном состоянии здесь не принимаются во внимание, поскольку эти вопросы требуют отдельного анализа, но при конкретном проектировании они должны быть учтены.

Средние значения характеристик одномаршрутных каналов, которые могут быть предоставлены в соответствии с описанным выше критерием при некоторых значениях его параметров, приведены в таблице 4.1. Следует отметить, что выбор маршрутов при крайних значениях параметра  $T_m^*$ , равных 0 и 18 мин, фактически сводится к выбору кратчайших маршрутов в первом случае и наиболее длительных – во втором. Из таблицы видно, что увеличение  $T_m^*$  приводит к поиску более длительных маршрутов, а следовательно, к более частому использованию критерия (3) и к более редкому критериев (2) и (4). Введение небольшого ожидания позволяет выбрать более дли-

тельные по времени существования маршруты, и при этом среднее количество ретрансляций практически не увеличивается.

Таблица 4.1. Средние значения характеристик одномаршрутных каналов

$L^* = 4$														
$T_{ож}^* = 0$							$T_{ож}^* = 3 \text{ мин}$							
$T_m^*$	0	3	6	9	12	15	18	0	3	6	9	12	15	18
$L_{ср}$	1,88	2,11	2,28	2,37	2,43	2,44	2,44	1,89	2,12	2,30	2,39	2,50	2,51	2,52
$T_{м ср, мин}$	5,45	6,70	7,45	7,83	7,97	7,99	7,99	5,51	7,85	9,11	9,90	10,3	10,5	10,5
$T_{ож ср, мин}$	—	—	—	—	—	—	—	0,04	0,27	0,38	0,50	0,61	0,66	0,68

Рассмотрим теперь плотности вероятности длительности одномаршрутных каналов. Закон распределения длительности существования одномаршрутных каналов, предоставленных без ожидания, характеризуют графики на рис. 4.16. Из представленных графиков видно, что среди кратчайших маршрутов велика доля кратковременных, поэтому выбор маршрутов без учета их длительности не может быть рекомендован для практического применения.

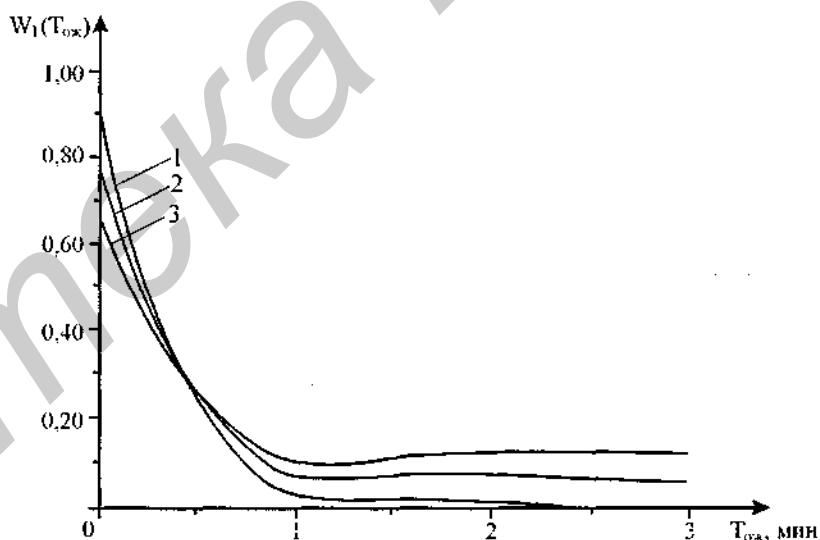
Рис. 4.16.

Плотности вероятности времени ожидания предоставленного одномаршрутного канала:

1 – при  $T_m^* = 0$ ;

2 – при  $T_m^* = 6 \text{ мин}$ ;

3 – при  $T_m^* = 18 \text{ мин}$



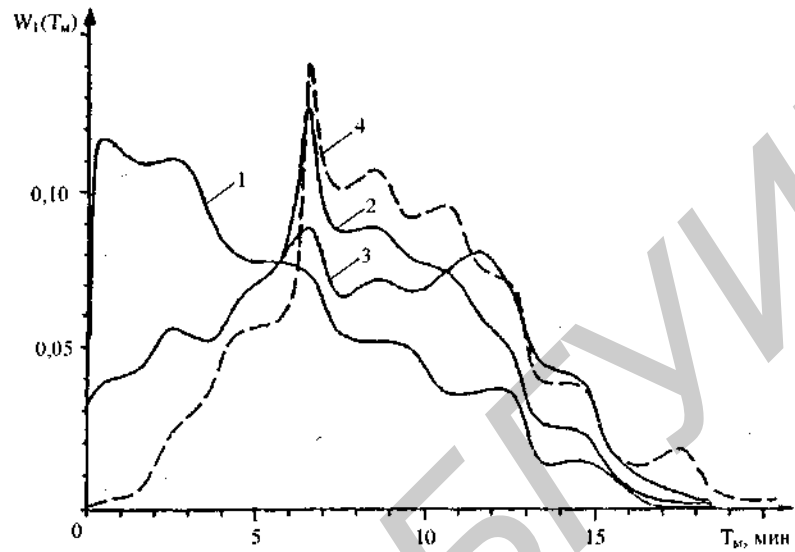
Но и чрезмерное увеличение  $T_m^*$  нецелесообразно, поскольку это приводит к возрастанию длительности лишь наиболее продолжительных маршрутов, к тому же это сопровождается увеличением числа ретрансляций. Следовательно, параметр  $T_m^*$  необходимо выбирать равным по величине требуемой длительности существования маршрута или незначительно превышающим ее. Например, средняя длительность телефонного разговора составляет 3 мин, а учитывая еще время на установление связи (ожидание канала), вполне допустимо ограничиться  $T_m^*$ , равным 6 мин. В случае  $T_{ож} = 0$  уровень связности системы, т.е. вероятность предоставления канала без ожидания с длительностью  $T_m > 3 \text{ мин}$  и числом межпутниковых ретрансляций  $L$  не более 4, составит 0,83. Введение допустимого времени ожидания предоставления канала, не превышающего 3 мин, повышает уровень связности до 0,97. Плотности вероятности длительности одномаршрутных каналов приведены на графике 4 рис. 4.17, а плотности вероятности времени ожидания – на рис. 4.18.

Следует учесть, что приведенные данные получены с использованием наиболее простой модели, предполагающей равномерное распределение абонентов по поверхности Земли, вероятность связей между которыми не зависит от расстояния между ними и от времени, хотя известно, что в среднем вероятность связи уменьшается с увеличением расстояния между абонентами.

**Рис. 4.17.**

Плотности вероятности длительности одномаршрутных каналов:

- 1 – при  $T_m^* = 0$ ;
- 2 – при  $T_m^* = 6$  мин;
- 3 – при  $T_m^* = 18$  мин;
- 4 – при  $T_m^* = 6$  мин и  $T_{ож}^* = 3$  мин

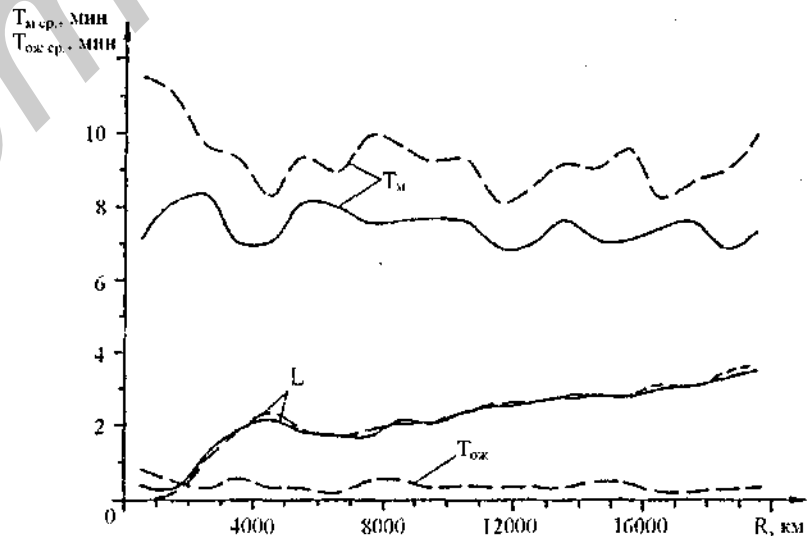


Однако более точные модели для рассматриваемых систем пока не разработаны. Но некоторое представление о влиянии расстояния между абонентами на характеристики каналов дают зависимости, приведенные на рис. 4.18 для  $T_m^* = 6$  мин. Видно, что лишь среднее число ретрансляций  $L$  возрастает с увеличением расстояния между абонентами. Небольшие изменения средних значений длительности маршрута и времени ожидания не являются существенными и практически не зависят от расстояния. Это является особенностью лишь тех систем, в которых связность обеспечивается сетью постоянных межспутниковых линий. В этом случае временные характеристики каналов определяются только их крайними звеньями, т.е. звеньями АС – КА. В системах же, использующих НР с увеличением расстояния между абонентами, средняя длительность существования каналов уменьшается, а время ожидания увеличивается.

**Рис. 4.18.**

Зависимости средних значений характеристик одномаршрутных каналов от расстояния между абонентами при  $T_m^* = 6$  мин:

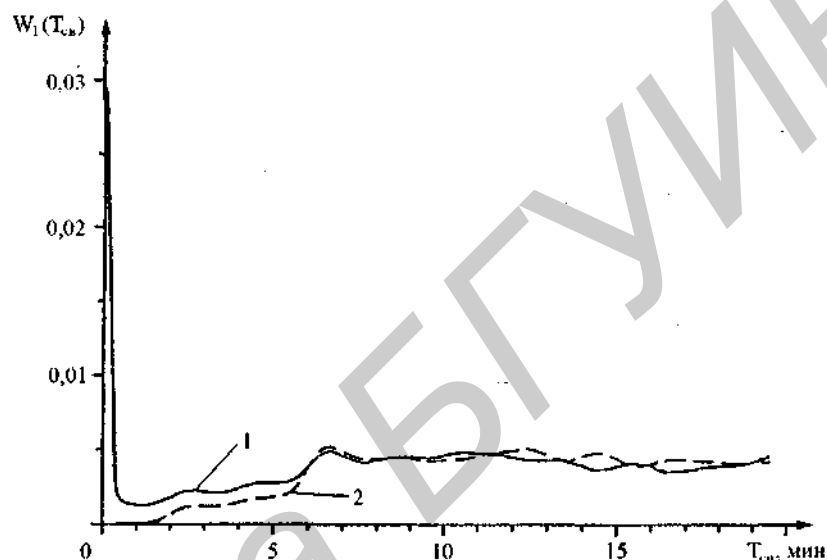
- при  $T_{ож}^* = 0$ ,
- - - при  $T_{ож}^* = 3$  мин



Рассмотрим теперь характеристики многомаршрутных каналов, которые могут быть получены в исследуемой системе. На рис. 4.19 приведены плотности вероятности длительности многомаршрутных каналов в диапазоне значений до 20 мин, предоставленных без ожидания (график 1) и с ожиданием не более 3 мин (график 2) при  $T_m = 6$  мин. Введение ожидания в данном случае не приводит к заметным улучшениям характеристик каналов, за исключением лишь самых кратковременных. Средняя длительность многомаршрутных каналов с ожиданием составляет 165 мин и без ожидания – 155 мин. Другие характеристики многомаршрутных каналов полностью опреде-

ляются соответствующими характеристиками выбираемых для них маршрутов (см. табл.4.1). Уровень связности системы с использованием многомаршрутных каналов возрастает по сравнению с использованием одномаршрутных до 0,96 при предоставлении канала без ожидания и до 0,999 – с ожиданием.

**Рис. 4.19.**  
Плотности вероятности длительности многомаршрутных каналов



Таким образом, в многоспутниковой системе можно получить достаточно высокий уровень связности и приемлемые характеристики, используя многомаршрутные каналы, предоставляемые с ожиданием, для чего в алгоритме функционирования системы необходимо предусмотреть процедуру поддержания непрерывности связи. Использование одномаршрутных каналов требует большего чем трехминутного времени ожидания, хотя оно необходимо лишь в 4% случаев. Выбор кратчайших маршрутов в данной системе нежелателен, поскольку их длительность в основном недостаточна. В то же время следует отметить, что дальнейшее существенное улучшение потребительских качеств системы возможно только за счет увеличения числа спутников в ОГ по сравнению с минимальным, т.е. введение избыточного количества КА.

Приведенный здесь пример наглядно показывает, что вопрос о выборе орбитальной группировки, ее структуры и параметров, характера и кратности покрытия обслуживаемой территории зонами радиовидимости КА, используемого способа обеспечения связности, алгоритма функционирования необходимо рассматривать с учетом анализа вероятностно-временных характеристик каналов, которые могут быть получены в рассматриваемой системе. Характеристики предоставляемых каналов существенным образом зависят от используемого критерия выбора маршрута.

Оптимизация по какому-то одному показателю не дает удовлетворительных результатов, поэтому целесообразно использовать обобщенный критерий, учитывающий все основные характеристики канала. Конкретный его вариант должен определяться в зависимости от требуемых потребительских качеств системы.

#### 4.5. О РАЗМЕЩЕНИИ НАЗЕМНЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ С КА НА КРУГОВЫХ ОРБИТАХ

Одной из важных задач при создании спутниковых систем связи с КА на круговых орбитах является обеспечение связности системы, т.е. объединения всех космических аппаратов (КА) и земных станций в единую информационную сеть.

Как отмечено ранее, имеются следующие варианты решения этой задачи: использование межспутниковых линий связи, наземных ретрансляторов или комбинированного способа, сочетающего оба предыдущих. Кроме этого, могут применяться внешние каналы связи других систем для соединения НР между собой. Разумеется, использование МЛС является наиболее универсальным

способом обеспечения связности, особенно при глобальном обслуживании. По сравнению с ним применение НР имеет ограничения, поскольку их установка возможна практически только на суше. Но в то же время любая система имеет сеть координирующих станций, которым можно придать и функции наземных ретрансляторов.

В известных в настоящее время проектах ССС, таких как Iridium, эта задача решалась исключительно на основе разветвленной сети МЛС, соединяющей каждый КА с четырьмя соседними. Однако, использование межспутниковой связи предъявляет жесткие требования к точности стабилизации КА на орбите (фазировке орбитальной группировки) и ориентации положения спутника в пространстве по всем трем осям и к точности наведения антенн межспутниковых ретрансляторов, что приводит к увеличению массо-габаритных характеристик бортовой аппаратуры.

Однако не только трудности технической реализации МЛС объясняют целесообразность применения НР. Проведенные в последнее время исследования по различным вариантам обеспечения связности показали значительные возможности систем с НР, которые, будучи более простыми, ненамного уступают по своим качественным показателям системам с МЛС.

В связи с этим для систем, включающих наземные ретрансляторы, является актуальной задача определения необходимого для достижения требуемого уровня связности количества и схемы размещения НР.

Для заданных орбитальной группировки КА и структуры межспутниковых линий связи, если они используются в данной системе, необходимо определить минимальное количество НР и схему их размещения, обеспечивающие требуемый уровень связности системы в заданной зоне обслуживания при соответствующих требованиях по длительности существования маршрутов, времени ожидания их предоставления, допустимому числу ретрансляций и возможности установки НР в допустимых областях их размещения.

Рассмотрим последовательность звеньев ретрансляции сигнала вида КА – НР – КА, соединяющую два спутника с помощью наземного ретранслятора. Для того, чтобы они могли быть связаны друг с другом в течение времени  $t_{\text{сущ}}$ , начиная с некоторого начального момента времени  $t_{\text{н}}$ , необходимо, чтобы подспутниковые точки обоих КА в начальный момент времени  $t_{\text{н}}$  и в момент времени  $(t_{\text{н}} + t_{\text{сущ}})$  находились бы в зоне радиовидимости наземного ретранслятора, границы которой определяются минимальным углом места антенны НР. Указанным четырем подспутниковым точкам  $q_k$ ,  $k = \overline{1, 4}$ , заданным своими географическими координатами  $(f_k, j_k)$ , поставим в соответствие сферическую окружность  $e$  на поверхности Земли минимального радиуса  $r_e$ , охватывающую эти точки, т.е. окружность, радиус которой удовлетворяет условию:

$$r_e = \min_{f_e, j_e} [\max_k d(q_e, q_k)], k = \overline{1, 4} \quad (4.3)$$

где  $f_e, j_e$  – географические координаты точки  $q_e$  – центра окружности  $e$ ,  $d(q_e, q_k)$  – геоцентрический угол (угловое расстояние между точками  $q_e$  и  $q_k$ ).

Положение полученной окружности  $e$  относительно зоны размещения наземных ретрансляторов  $Q_{\text{НР}}$  может характеризоваться угловым расстоянием  $d_e$  от центра окружности  $e$  до зоны размещения НР, которое определяется как

$$d_e = \min_{q \in Q_{\text{НР}}} d(q_e, q) \quad (4.4)$$

Если центр окружности лежит в зоне размещения НР, то, следовательно,  $d_e = 0$ , в противном случае  $d_e > 0$ .

Для того, чтобы два спутника могли быть связаны с помощью НР, расположенного в допустимой области их размещения  $Q_{\text{НР}}$ , очевидно, необходимо выполнение следующего условия:

$$d_e + r_e < R_{\text{НР}}, \quad (4.5)$$

где  $R_{\text{НР}}$  – радиус зоны радиовидимости наземного ретранслятора.

Таким образом, каждому звену ретрансляции, соединяющему пару КА с помощью НР, расположенного в зоне  $Q_{\text{НР}}$ , в течение  $t_{\text{сущ}}$ , начиная с момента времени  $t_{\text{н}}$ , можно поставить в соответствие сферическую окружность  $e$  с параметрами  $r_e, d_e, f_e, j_e$ , определяемыми соотношениями (4.3, 4.4, 4.5).



Такое представление есть по сути один из возможных видов формализованного описания интересующих нас характеристик звеньев ретрансляции, обеспечиваемых наземным ретранслятором. Аналогичным образом может быть представлено и любое другое звено или последовательность звеньев, в которых участвует НР.

Для общности описания и звенья ретрансляции без НР будем представлять в таком же виде, только параметрам сферической окружности, поставленной в соответствие этим звеньям, будем искусственно приписывать нулевые значения, смысл которых будет ясен позднее. Это относится к звеньям с МЛС, если таковые используются в системе, и к звеньям, соединяющим абонентские станции (АС) с космическими аппаратами.

Так как любое звено характеризуется несколькими параметрами, то для его оценки необходимо выработать некоторый обобщенный показатель  $w_e$ , являющийся их функцией. Предложим следующий возможный вариант:

$$w_e = d_e + r_e \quad (4.6)$$

Поскольку любой интегральный канал связи в рассматриваемых ССС состоит из последовательности звеньев ретрансляций, каждое из которых является элементом канала, то сферическую окружность  $e$ , соответствующую некоторому звену, в дальнейшем для краткости будем называть элементом канала связи или просто элементом  $e$ .

Рассмотрим интегральный канал связи, соединяющий пару абонентов, состоящий из  $L$  звеньев и представляющий комбинацию звеньев вида АС – КА, КА – НР ... КА, КА – КА. Каждому звену, как было показано выше, может быть поставлен в соответствие элемент  $e$  с параметрами  $r_{el}$ ,  $d_{el}$ ,  $f_{el}$ ,  $j_{el}$ ,  $l = \overline{1, L}$ . Интегральный канал, в свою очередь, будем характеризовать обобщенным показателем  $w_{\text{кан}}$ , определяемым соотношением:

$$w_{\text{кан}} = \max_l w_{el}, \quad l = \overline{1, L} \quad (4.7)$$

Представим теперь форму описания структуры системы в момент времени  $t_n$  при отсутствии информации о количестве и схеме размещения НР. Будем задавать ее в виде графа  $G_{in}(V, U)$ . Вершинами  $V$  графа являются спутники группировки и пара абонентских станций (абоненты), подлежащие соединению. Ветвями  $U$  соединены те пары вершин  $(V_i, V_j)$ , для которых выполняются условия взаимной радиовидимости и которым можно поставить в соответствие элемент  $e$  с параметрами, удовлетворяющими условию (4.5). Очевидно, что пара вершин, обозначающих КА, соединенных МЛС, или АС и КА, при выбранных для данных видов звеньев нулевых значениях  $r_e$  и  $d_e$ , всегда будет удовлетворять этому условию. Граф  $G_{in}(V, U)$  будем описывать матрицей смежности вершин  $M$  ( $G_{in}$ ) и матрицами весов ветвей, в число которых входят все параметры элементов  $e - r_e, d_e, f_e, j_e$ .

В описываемом в дальнейшем эвристическом методе решения задачи о размещении НР в графе  $G_{in}(V, U)$  требуется выбирать некоторый маршрут  $m_{ab}$  прохождения сигнала между абонентами А и Б из всего множества маршрутов  $M_{ab}(t_n)$ , существующих между ними в момент времени  $t_n$ . В связи с этим введем первую эвристическую посылку, которая заключается в том, что количество НР, необходимое для обеспечения требуемой связности, тем меньше, чем ближе к зоне размещения НР находятся элементы каналов связи  $e$  и чем меньше их радиусы. Отсюда следует, что при поиске маршрута прохождения сигнала необходимо выбирать тот из них, для которого  $W_{\text{кан}}$  является минимальным, разумеется не превышая при этом допустимого числа ретрансляций  $L_{\text{доп}}$ . Если допускается ожидание предоставления канала, то поиск оптимального маршрута необходимо осуществить при всех  $t_n \in (t, t + t_{\text{ож}})$ . В связи с этим может быть предложен следующий критерий выбора маршрута:

$$\min (\min W_{\text{кан}}) \text{ при } L \leq L_{\text{доп}}, \quad (4.8)$$

$$t_n \in (t, t + t_{\text{ож}}), \quad m_{ab} \in M_{ab}(t_n)$$

а процедура поиска оптимального по этому критерию маршрута может осуществляться следующим образом.

В графе  $G_{in}(V, U)$  рассчитывается кратчайший маршрут между вершинами  $V_a$  и  $V_b$  (для этого может использоваться процедура Дейкстры) и, если количество ретрансляций в нем не превышает  $L_{доп}$ , определяется его обобщенный показатель  $W_{кан}$ . После чего в графе  $G_{in}(V, U)$  убираются все ветви с  $w_c \geq W_{кан}$ . Между вершинами  $V_a$  и  $V_b$  снова находится кратчайший маршрут и, если он существует и не превышает  $L_{доп}$ , то будет более оптимальным, чем предыдущий, поскольку в графе  $G_{in}(V, U)$  не осталось ветвей с весами  $w_c$ , большими или равными значению обобщенного показателя  $W_{кан}$  ранее найденного маршрута. Подобная процедура повторяется до тех пор, пока количество ретрансляций очередного маршрута не превысит  $L_{доп}$ . Описанную процедуру выполняют для всех других заранее выбранных моментов времени  $t_n \in (t, t + t_{ож})$ , взятых в равностоящих точках внутри интервала ожидания.

Найденный подобным образом маршрут, если он существует, будет удовлетворять всем предъявляемым к нему требованиям – длительность существования любого звена ретрансляции, а следовательно, и всего канала не менее  $t_{сущ}$ , время ожидания его предоставления меньше  $t_{ож}$ , количество ретрансляций не превышает допустимого значения, а обобщенный показатель  $W_{кан}$  и, соответственно,  $r_{кан}$  и  $d_{кан}$  – минимальны.

Из анализа этой процедуры становится понятным приписывание нулевых значений параметрам  $r_c$  и  $d_c$ , соответствующим звеньям с МЛС. Это позволяет при поиске оптимального маршрута отдавать предпочтение выбору канала, состоящего из звеньев с МЛС, если уж они используются в системе, и тем самым, по возможности, сократить количество НР.

Рассмотрим теперь сам эвристический метод решения задачи определения количества и схемы размещения НР. Ее решение осуществляется в два этапа.

На первом формируется  $E$  элементов канала связи  $e$ , а на втором обеспечивается их покрытие зонами радиовидимости НР, при осуществлении которого выполняются поставленные в задаче условия. Опишем алгоритм решения задачи по этапам.

Формирование множества  $E$  элементов связи будем осуществлять статистическим способом. Количество испытаний выбирается исходя из требуемой точности получаемых результатов. В каждом испытании выполняются следующие операции:

- случайным образом выбирается момент времени  $t$  поступления заявки на организацию связи для пары абонентов, расположенных в зоне обслуживания  $Q$ . Географические координаты абонентов выбираются (разыгрываются), исходя из принятой модели их распределения в зоне обслуживания (как правило, равномерного);
- формируется граф  $G_{in}(V, U)$  и соответствующие ему матрицы весов для нескольких фиксированных моментов времени  $t_n \in (t, t + t_{ож})$ , начиная с  $t$ ;
- в соответствии с описанной выше процедурой находится оптимальный по критерию (4.8) интегральный канал связи, соединяющий выбранных абонентов. Если он существует, то запоминаются параметры  $r_c, d_c, f_c, j_c$  всех его звеньев, кроме звеньев с нулевыми параметрами, в которых НР не участвуют.

Выполнив требуемое количество испытаний, получаем массив  $E$ , каждый элемент которого характеризуется указанными параметрами.

По результатам расчетов уже на первом этапе может быть определен потенциальный или максимально возможный уровень связности системы, т.е. уровень, который в принципе может быть достигнут при заданной орбитальной группировке, структуре МЛС, выполнении требований к характеристикам интегральных каналов и установке конечного числа НР в отведенной для них зоне размещения  $Q_{НР}$ . Превысить этот уровень невозможно, сколько бы НР не было установлено в этой зоне. Потенциальный уровень связности определяется как отношение количества испытаний, в которых для выбранных абонентов существует канал связи с заданными требованиями, к общему количеству испытаний.

Если потенциальный уровень связности меньше требуемого, то второй этап можно не выполнять, поскольку при заданных исходных условиях задача не имеет решения при любом количестве НР. Если же потенциальный уровень связности выше требуемого или равен ему, то задача в принципе имеет решение.

На втором этапе необходимо решить задачу, известную как задача целочисленного программирования о покрытии множества. Поставим ее целью определение схемы размещения заданного

количества НР, при которой в их зонах радиовидимости окажется максимальное количества элементов множества  $E$ .

В данном случае предполагается, что чем больше элементов  $e$  будет покрыто зонами НР, тем выше будет уровень связности системы. Вообще говоря, это утверждение не является строгим и носит эвристический характер, но в первом приближении оно справедливо.

Будем предъявлять допустимую область размещения НР  $Q_{nr}$  в виде массива точек, равномерно распределенных на ней с некоторым шагом, заданных географическими координатами. В каждую из этих точек может быть установлен ретранслятор.

Условным весом точки  $q_{nr} \in Q_{nr}$ , будем называть количество элементов  $e$ , покрываемых зоной радиовидимости НР, установленного в данной точке, и не входящих в ЗРВ других НР. Алгоритм решения задачи состоит из двух последовательно выполняемых процедур – первоначальной установки заданного количества НР и коррекции их расположения.

Первоначальная установка НР осуществляется последовательно, начиная с первого, в точку с максимальным условным весом. Таким образом, при установке каждого последующего НР учитывается расположение ранее установленных ретрансляторов. Разумеется, принятие оптимальных на каждом шаге решений не обеспечивает оптимальности решения в целом. Однако полученная схема размещения НР может быть улучшена.

Поскольку первые НР были установлены без учета последующих, то их расположение может быть скорректировано следующим образом.

Убирается первый НР и определяется точка с максимальным условным весом, в которую первый НР и возвращается. Ею может оказаться та точка, в которой он находился ранее. То же самое производится и со следующими по порядку НР, после чего процедура коррекции повторяется сначала и заканчивается тогда, когда расположение ни одного НР не удастся изменить подобным образом. Очевидно, что при такой процедуре количество покрываемых элементов  $e$  может только увеличиваться при каждом перемещении очередного НР в новую точку или оставаться неизменным в противном случае.

После выполнения второго этапа осуществляется оценка уровня связности, достигаемого при выбранной схеме размещения НР, и (сопоставляя полученный результат с требуемым) принимается решение об увеличении или об уменьшении количества НР. Таким образом, определяются минимальное количество НР и схема их размещения, обеспечивающие выполнение в задаче условий.

Хотя задача о размещении НР сформулирована в достаточно общем виде, существует еще ряд факторов, которые могут быть учтены при ее решении. Они не получили до сих пор отражения во избежании чрезмерного усложнения описания задачи.

В частности, предложенный метод позволяет решать задачу с учетом состояния орбитальной группировки, зависящего от надежностных характеристик КА, стратегии восполнения вышедших из строя спутников, точности поддержания группировки в сфазированном состоянии. Эти вопросы требуют отдельного рассмотрения. Отметим лишь, что для их учета на первом этапе решения задачи в каждом испытании необходимо представлять количественный состав, номера работоспособных КА, а также отклонение их положения на орбите от номинального как одну из возможных реализаций состояния ОГ, определяемого в соответствии с используемыми моделями ее поведения в процессе функционирования системы.

В описанном методе не упоминался вариант использования внешних каналов связи, принадлежащих другим системам для соединения НР между собой. В подобных системах связь между любыми спутниками осуществляется по одинаковой схеме КА–НР–НР–КА, в которой два НР соединены между собой постоянно действующей линией связи другой системы. В данном случае каждому КА в отдельности будем ставить в соответствие элемент  $e$ , представляющий окружность минимального радиуса, описывающую две его подспутниковые точки в начальный и конечный моменты времени связи. Тогда в графе  $G_m(V, U)$  будем считать соединенной ту пару вершин, обозначающих спутники, для каждого из которых может быть поставлен в соответствие элемент  $e$  с параметрами, удовлетворяющими условию (4.5). Остальное в алгоритме решения задачи остается неизменным.

Кроме этого, существуют и другие варианты задачи о размещении НР, имеющие важное практическое значение, алгоритм решения которых незначительно отличается от рассмотренного.

Например, в процессе развития системы может возникнуть необходимость увеличения зоны обслуживания, что требует установки дополнительных НР, определения их количества и схемы размещения для достижения необходимого уровня связности при изменившихся условиях.

Алгоритм решения этой задачи отличается от описанного только на втором его этапе. Эти изменения заключаются в следующем. Из множества  $E$  удаляются все элементы, которые покрываются установленными ранее НР. Определение количества дополнительных НР и схемы их размещения ничем не отличается от обычной процедуры, описанной выше, только применительно к оставшимся в множестве  $E$  элементам.

Рассмотрим еще один вариант задачи о размещении НР. До сих пор в изложенном выше методе не приводилось никаких других ограничений по установке НР, кроме указания зоны их размещения. Однако на практике существуют задачи, в которых имеют место другие условия их расположения.

Например, часто требуется осуществлять установку НР только в специально разрешенных для этого пунктах, заданных некоторым списком. Необходимо выбрать те из них, установка НР в которых позволит обеспечить требуемый уровень связности при минимальном их количестве.

Как и в прежней задаче, отличия касаются лишь второго этапа ее решения. Оно заключается в том, что вместо точек, равномерно распределенных с некоторым шагом в допустимой области размещения НР, необходимо использовать массив точек с координатами пунктов из предложенного списка.

Исследования показывают, что использование группировки, обеспечивающей большую кратность покрытия, позволяет обойтись при прочих равных условиях меньшим количеством НР при достижении одинаковой вероятности обеспечения связи. Повышение требований к параметрам интегральных каналов по допустимому числу ретрансляций через НР и минимальной длительности существования маршрута приводит к необходимости установки большего числа НР, а допущение ожидания предоставления канала – наоборот к их меньшему количеству.

Следует также отметить, что, чем выше потенциальный уровень связности, который может быть получен при заданных условиях, тем меньше НР необходимо для достижения требуемого уровня связности.

В заключение отметим, что хотя предложенный метод является эвристическим и, следовательно, не гарантирует нахождения строго оптимального решения, однако его использование позволяет получить достаточно высокие результаты, пригодные для практического применения.

#### 4.6. МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СИСТЕМА «РОСТЕЛСАТ»

Технические аспекты построения глобальных спутниковых систем связи на основе изложенных принципов построения рассмотрим на примере проекта многофункциональной космической телекоммуникационной системы (МКТС) «Ростелесат» [39].

Система предназначена для передачи различного вида информации в цифровой форме через спутники-ретрансляторы в глобальном масштабе с любыми стандартными скоростями от 1,2 до 2048 кбит/с, а также для мониторинга земной поверхности.

МКТС «Ростелесат» является интегральной системой и включает в себя 3 взаимосвязанные функционально законченные системы: низкоскоростную систему связи (НСС), высокоскоростную систему связи (ВСС) и систему мониторинга (СМ). НСС и ВСС могут разрабатываться как параллельно, так и последовательно, в зависимости от конъюнктуры рынка. Система же мониторинга должна опираться хотя бы на одну из систем связи и поэтому может разрабатываться только параллельно или последовательно с одной из них.

Низкоскоростная система связи обеспечивает непрерывную телефонную и другие виды цифровой связи со скоростями до 64 кбит/с (телекс, факс, данные, пейджинг и др.) между подвижными и стационарными абонентскими станциями, а также абонентами наземных сетей связи, находящимися в любых точках земного шара.

Высокоскоростная система обеспечивает передачу между мобильными и стационарными абонентами со скоростями до 2048 кбит/с (связь между локальными вычислительными сетями, доступ к Интернету, дистанционное обучение, видеоконференцсвязь и другие услуги мультимедиа).

Системы низко- и высокоскоростной связи строятся на одних и тех же принципах с широким использованием общих или унифицированных устройств.

#### 4.6.1. Космический сегмент системы

*Варианты построения орбитальных группировок при различных значениях минимального угла места.* В многоспутниковых системах связи выбор минимального угла места антенны абонентской станции (АС) имеет важное значение.

Если в системе допускается работа АС под малыми углами к горизонту, то для мобильных станций существует достаточно большая вероятность затенения станций складками рельефа и окружающими местными предметами (деревьями, зданиями и т.п.). Это особенно относится к высокоскоростной системе, где связь абонентов с КА осуществляется в диапазоне 20/30 ГГц. Для уменьшения этой вероятности приходится увеличивать минимальный угол места антенны АС. Это приводит к уменьшению ЗРВ КА и увеличению числа спутников в ОГ, необходимого для обеспечения сплошного покрытия земной поверхности.

Анализ показывает, что для значительного снижения вероятности затенения станций минимальный угол места антенны должен быть порядка  $30^\circ \dots 40^\circ$ . Чтобы количество КА в группировке при повышении минимальных углов места резко не увеличивалось, группировку было решено разместить на средних орбитах с высотой 10360 км (6-часовая орбита). Рассмотрим варианты построения ОГ при этих условиях.

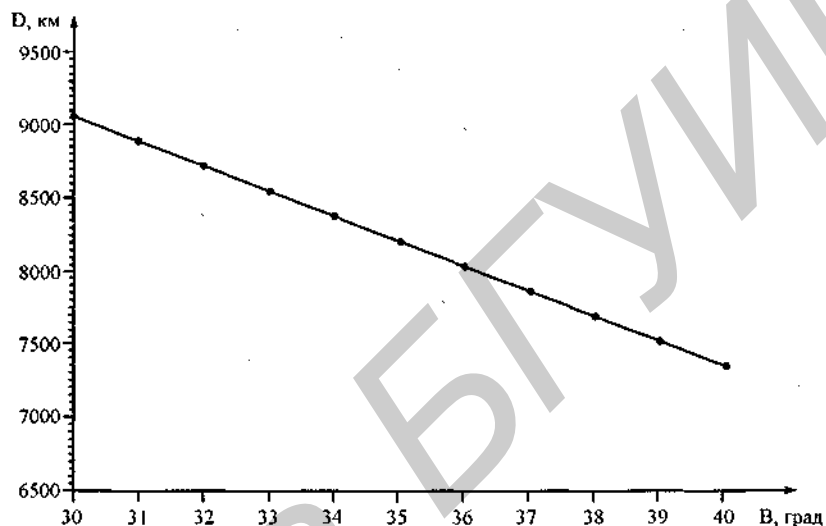
В табл. 4.2 приведены параметры орбитальных структур при высоте орбиты 10360 км при трех значениях наклонений  $82^\circ$ ,  $73^\circ$  и  $63^\circ$ , обеспечивающих глобальный обзор при минимальных углах места  $30^\circ \dots 50^\circ$ .

**Таблица 4.2. Структуры орбитальных группировок для глобального обзора с высотой орбиты 10360 км при различных значениях минимального угла места и наклонения**

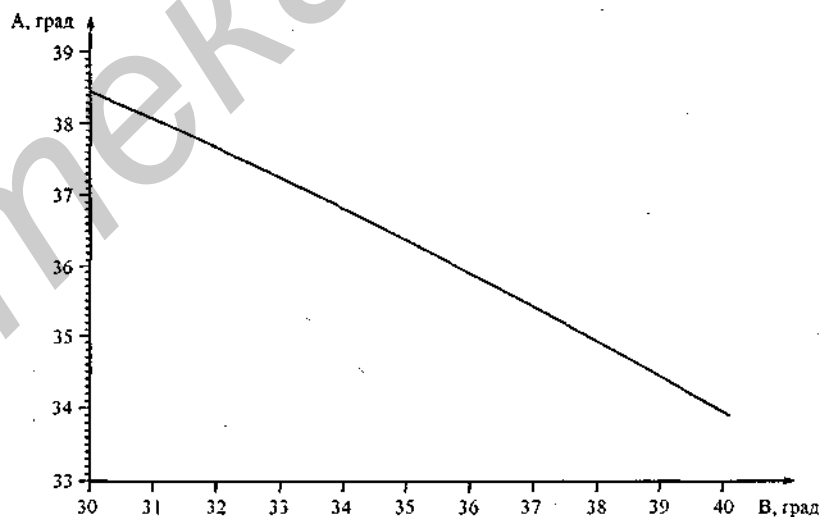
Минимальный угол места, град.	Диаметр зоны радиовидимости, км	Наклонение орбиты, град.								
		82			73,5			63		
		Кол-во плоскостей	Кол-во КА в плоскости	Кол-во КА в ОГ	Кол-во плоскостей	Кол-во КА в плоскости	Кол-во КА в ОГ	Кол-во плоскостей	Кол-во КА в плоскости	Кол-во КА в ОГ
30	9061	3	6	18	3	6	18	3	6	18
31	8884	3	6	18	3	6	18	3	7	21
32	8709	3	6	18	3	7	21	3	7	21
33	8534	4	5	20	3	7	21	3	7	21
34	8361	3	7	21	3	7	21	3	8	24
35	8189	3	7	21	3	8	24	3	9	27
36	8019	3	8	24	3	8	24	3	9	29
37	7849	3	8	24	4	6	24	3	10	30
38	7681	4	6	24	3	9	27	3	11	33
39	7514	4	6	24	4	7	28	4	9	36
40	7348	4	7	28	4	7	28	4	10	40
41	7183	4	7	28	4	7	28	4	10	40
42	7019	4	7	28	4	8	32	4	11	44
43	6856	4	8	32	4	8	32	4	12	48
44	6694	4	8	32	4	8	32	4	14	56
45	6534	4	8	32	4	9	36	4	15	60
46	6374	5	7	35	4	9	36	--	--	--
47	6215	4	9	36	4	10	40	--	--	--
48	6058	4	10	40	4	11	44	--	--	--
49	5901	5	8	40	5	9	45	--	--	--
50	5745	5	9	45	5	9	45	--	--	--

С увеличением минимального угла места уменьшаются диаметр зоны радиовидимости (ЗРВ) и ширина диаграммы направленности бортовой антенны. Данные зависимости представлены на рис. 4.20 и 4.21.

**Рис. 4.20.**  
Зависимость диаметра ЗРВ КА от минимального угла места антенны АС



**Рис. 4.21.**  
Зависимость ширины диаграммы направленности бортовой антенны от минимального угла места антенны АС



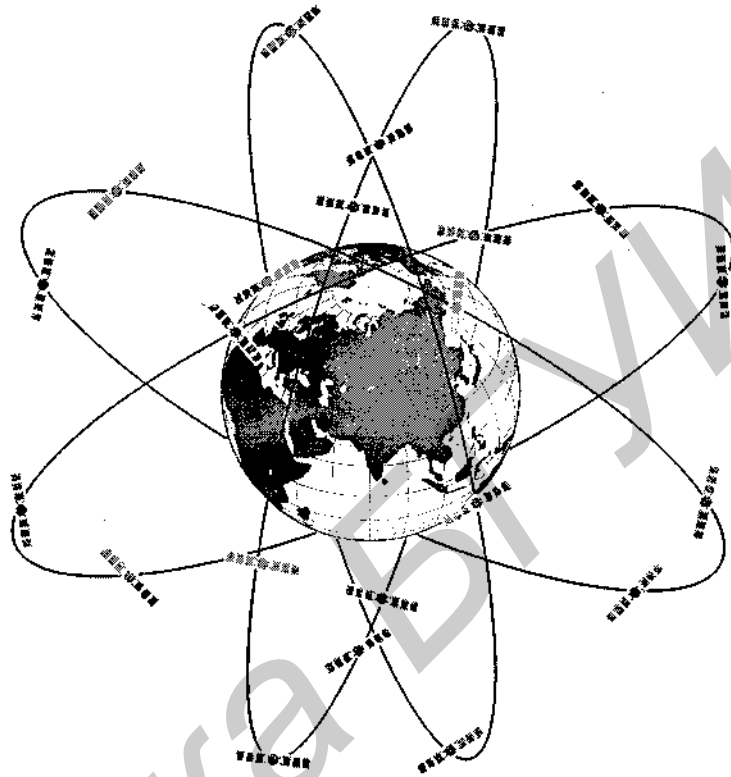
В результате была выбрана группировка из 24 КА со структурой 4 орбитальных плоскости по 6 КА в каждой. Общий вид этой группировки показан на рис.4.22.

Кроме того, для оперативной замены выходящих из строя КА предусматривается запуск резервных КА — по 1 в каждой плоскости. С учетом этого группировку надо рассчитывать на 28 КА.

*Разбиение земной поверхности на фиксированные ячейки.* В многоспутниковых системах связи с многолучевыми антеннами на борту и фиксированной ячеистой структурой на поверхности Земли возникает задача оптимального покрытия земной поверхности сферическими окружностями заданного радиуса и определения координат их центров. Принцип оптимальности в данном случае заключается в том, чтобы количество ячеек было минимальным.

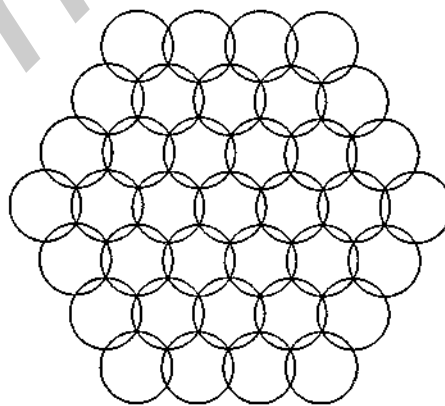
Информация о координатах центров ячеек необходима для нацеливания в эти точки лучей бортовых МЛА, а также для определения абонентами ячеек, в которых они находятся.

**Рис. 4.22.**  
Общий вид орбитальной группировки из 24 КА с высотой орбиты 10360 км



Известна оптимальная гексагональная структура покрытия плоской поверхности окружностями заданного радиуса. Принцип покрытия может быть описан следующим образом. Сначала в некоторой точке размещается одна ячейка, называемая центральной. По ее окружности равномерно располагаются 6 ячеек, образующие первый слой или пояс, затем следуют 12 ячеек второго пояса, 18 – третьего и так далее с увеличением числа ячеек в каждом следующем слое на 6. На рис.4.23 показан фрагмент гексагональной структуры с 37 ячейками.

**Рис. 4.23.**  
Фрагмент гексагональной структуры



В такой структуре каждая ячейка окружена 6 соседними, расстояние до которых одинаково и составляет  $\sqrt{3}r_n$ , где  $r_n$  – радиус ячейки. Таким образом, ширина каждого слоя также одинакова и равна  $\sqrt{3}r_n$ .

Такой способ покрытия является оптимальным для плоскости, поскольку позволяет покрыть некоторую площадь минимальным количеством ячеек в соответствии с гексагональной структурой, но становится невозможным из-за кривизны поверхности Земли. Это приводит к тому, что количество ячеек в каждом поясе становится не кратным 6, а ширина различных поясов может отличаться друг от друга.

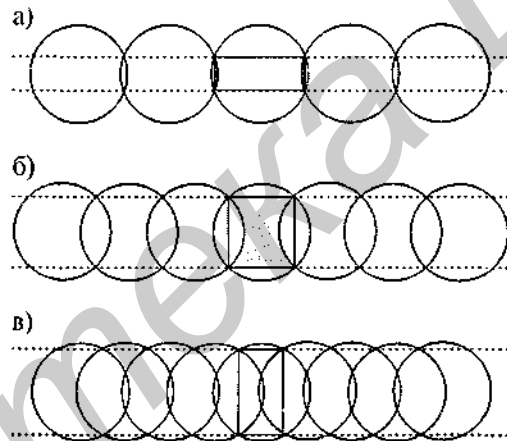
Таким образом, общий принцип покрытия сферической поверхности ячейками заданного радиуса, размещаемыми слоями, может оставаться таким же как в гексагональной структуре, однако параметры новой структуры, а именно, количество ячеек в каждом поясе и его ширина будут иными, что требует специального расчета.

Для определенности будем считать, что центральная ячейка располагается на Северном полюсе. Вокруг нее будут размещаться ячейки первого пояса, ниже по широте – ячейки второго и так далее вплоть до Южного полюса. Очевидно, что сначала количество ячеек в поясах будет увеличиваться, достигнув максимума на экваторе, а затем снова уменьшаться при приближении к Южному полюсу.

При определении ширины пояса и количества ячеек в нем необходимо учитывать следующее. Чем меньше расстояние между ячейками в поясе, тем ширина пояса больше, однако количество ячеек возрастает. При увеличении же расстояния между ячейками их количество в поясе и его ширина уменьшаются. Следовательно, существует оптимальное количество ячеек в поясе, при котором площадь, приходящаяся на одну ячейку максимальна.

На рис. 4.24 показаны фрагменты широтных поясов с различной плотностью размещения в них ячеек. Пунктирными линиями обозначены верхняя и нижняя границы широтных поясов. Серым цветом выделена часть пояса, приходящаяся на одну ячейку.

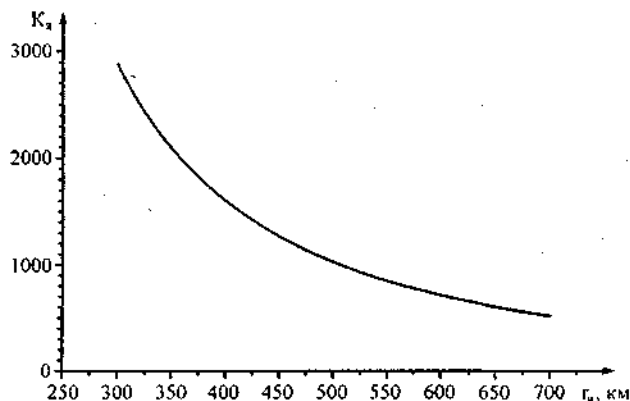
**Рис. 4.24.**  
Варианты размещения ячеек в широтных поясах



Для определения координат центров ячеек, их оптимального количества в каждом поясе и других данных разработана программа расчета указанных параметров.

На рис. 4.25 представлена зависимость общего количества ячеек, необходимого для покрытия всей земной поверхности, от радиуса ячейки. Так при радиусе ячейки 350 км для покрытия всей поверхности Земли требуется 2084 ячейки, при радиусе 400 км – 1596 ячеек и при радиусе 450 км – 1261.

**Рис. 4.25.**  
Зависимость числа ячеек от радиуса ячейки





На рис. 4.26 показано распределение ячеек по поясам при нескольких значениях радиуса ячеек – 350, 400 и 450 км. Пояс с номером ноль соответствует центральной ячейке, расположенной на Северном полюсе. С увеличением номера пояса число ячеек в поясе увеличивается, достигая максимума на экваторе, после чего число ячеек уменьшается, снижаясь до единицы на Южном полюсе. Из рисунка видно также, что чем больше радиус ячейки, тем меньше поясов требуется для покрытия всей земной поверхности.

**Рис. 4.26.**  
Распределения числа ячеек по поясам при нескольких значениях радиуса ячейки

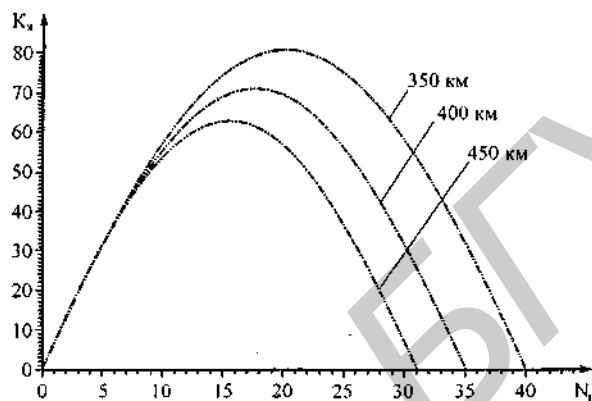


Схема размещения ячеек на земной поверхности при радиусе ячейки 350 км показана рис. 4.2.

**Космический аппарат.** Полезной нагрузкой для КА в системе связи является бортовой радиотехнический комплекс (БРТК), включающий бортовой ретрансляционный комплекс (БРК), бортовой вычислительный комплекс (БВК) и другие радиотехнические устройства.

В МКС «Ростелесат» БРТК низко- и высокоскоростной систем связи могут размещаться либо на одном КА (тогда и группировка КА будет общей), либо на отдельных КА (тогда будет две аналогичных группировки по 24 КА).

Выбор одного из этих вариантов зависит как от технических, так и от экономических факторов, в том числе от массы и энергопотенциала КА, способа запуска КА – одиночного или группового, выбора типа ретранслятора, возможностей космодрома, стоимости запуска и т.п.

Некоторые типы российских ракетносителей и их возможностей по выведению КА на нужные орбиты приведены на рис. 4.27.

Бортовой радиотехнический комплекс предназначен для:

- ретрансляции любой предусмотренной в системе информации между абонентами системы в реальном масштабе времени;
- управления целевыми системами (ретрансляторами);
- приема/передачи служебной связной информации;
- управления обеспечивающими системами КА совместно с наземными средствами автоматизированной системы управления.

**Бортовой ретрансляционный комплекс низкоскоростной системы связи.** Основное назначение БРК – обеспечение персональной радиотелефонной связи, а также обмен другими видами информации, между абонентами системы, в том числе подвижными, работающими с носимыми абонентскими станциями (типа «радиотелефонной трубки») и станциями на подвижных средствах с ненаправленными антеннами.

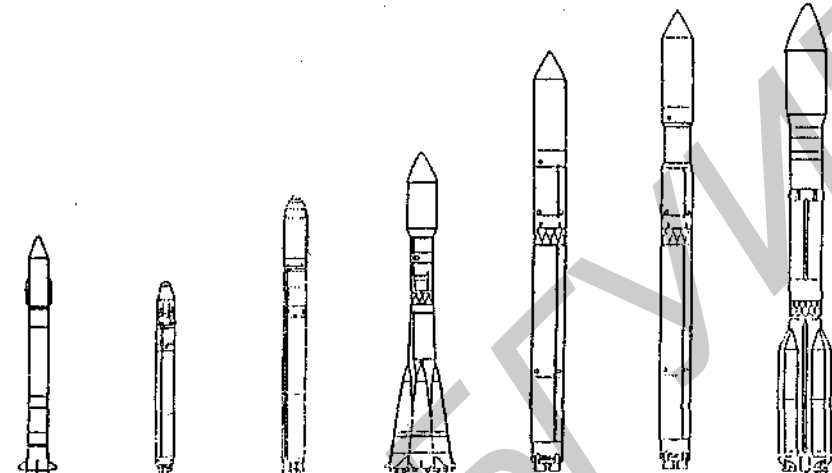
Для расширения функциональных возможностей системы бортовые ретрансляционные комплексы обеспечивают также работу с портативными стационарными абонентскими терминалами. Такие станции могут устанавливаться в экспедициях, малых населенных пунктах и др., а также на телефонных узлах, ретрансляционных пунктах сотовых и других сетей связи в качестве мини-шлюзов для выхода в наземные сети связи, минуя магистральные наземные каналы связи.

Кроме того, БРК должна обеспечивать одновременную связь по фидерным радиолиниям не менее, чем с 3 координирующими станциями для обеспечения связности системы.

Коммутация подвижных и стационарных абонентов, а также абонентов наземных сетей связи, может осуществляться в любых сочетаниях.

Рис. 4.27.

Возможности РН по выведению КА системы «Ростелесат» с учетом орбитального построения



РН	«Космос»	«Рокот»	«Днепр» (РС-20)	«Союз-2»	«Зенит-2»	«Зенит-3»	«Протон-М»
<b>Низкая круговая орбита</b>							
Выводимая масса ПГ ( $M_{ПГ}^{вмв}$ ), т	1,2	1,5	3,7	5,6	7,4	—	15
Размещаемая масса ПГ ( $M_{ПГ}^{разм}$ ), т	1	1	2,9	2	3,9	—	5
Плотность загрузки ( $K_{згр} = M_{ПГ}^{разм} / M_{ПГ}^{вмв}$ )	0,8	0,7	0,8	0,4	0,5	—	0,33
Число КА в одном пуске ( $N_{КА}$ )	1	1	3	2	4	—	5
<b>Средняя круговая орбита</b>							
$M_{ПГ}^{вмв}$ , т	—	—	1,0	2,2	—	3,5	7,9
$M_{ПГ}^{разм}$ , т	—	—	1,0	2,0	—	2,9	6,8
$K_{згр}$	—	—	1	0,9	—	0,86	0,9
$N_{КА}$	—	—	1	2	—	3	7
<b>ГСО</b>							
$M_{ПГ}$ , т							3,2
$N_{КА}$							1

Бортовой ретрансляционный комплекс построен по принципу с обработкой информации, т.е. с регенерацией и коммутацией всех сигналов, для чего в каждом канале имеются модемы и кодеки, а БВК выполняет функции бортовой АТС.

В состав бортового ретрансляционного комплекса входят два ретранслятора:

- ретранслятор абонентских радиолиний с подвижными АС диапазона 2,2/2,6 ГГц (РТР 2,2/2,6);
- ретранслятор стационарных абонентских и фидерных радиолиний диапазона 10/12 ГГц (РТР 10/12).

Сигналы в приемных каналах каждого приемного ствола абонентских и фидерных радиолиний подвергаются полной обработке, включая демодуляцию и снятие помехоустойчивого кода. Поступая в БВК, выделенные информационные пакеты данных каналов по командам КС коммутируются в требуемые каналы передающих стволов. Передача производится в режиме TDMA, что обеспечивает работу мощных выходных усилителей всех передающих стволов ретрансляторов радиолиний «космос-Земля» в режиме ограничения и обеспечивает максимальное использование энергетики КА.

Ретранслятор абонентских радиолиний диапазона 2,2/2,6 ГГц обеспечивает ретрансляцию сигналов от подвижных абонентских станций системы. В состав ретранслятора 2,2/2,6 ГГц входят 67 приемных и 17 передающих стволов.

Каждый приемный ствол содержит 3 частотных канала со скоростью 86 кбит/с. В каналах осуществляется усиление, фильтрация в согласованной полосе, выравнивание по уровню. После этого они поступают на демодуляторы и декодеры БВК. После выделения информации пакеты коммутируются в БВК по командам координирующих станций и подаются на соответствующие передающие каналы РТР 2,2/2,6 ГГц или РТР 10/12 ГГц.

Каждый передающий ствол РТР диапазона 2,2/2,6 ГГц содержит 1 частотный канал со скоростью 894 кбит/с. Информация в передающие стволы поступает из БВК.

Работа приемных и передающих стволов производится через многолучевые приемные и передающие антенные системы, каждая из которых обслуживает 67 парциальных зон. При этом приемная антенная одновременно формирует 67 лучей, а передающая формирует 17 лучей, каждый из которых последовательно сканирует по 4 зонам за кадр TDMA радиолинии «космос-Земля».

РТР диапазона 10/12 ГГц предназначен для ретрансляции информации от стационарных абонентов, в том числе абонентов наземных сетей связи, и для обмена связной и служебной информацией с управляющими координирующими станциями.

РТР диапазона 10/12 ГГц содержит 19 резервированных стволов на прием и 5 стволов на передачу, работающих через отдельные АФУ.

Каждый приемный ствол абонентских радиолиний обслуживает одну закрепленную парциальную зону и содержит 13 частотных каналов по 86 кбит/с. Каждый передающий ствол обслуживает 4 парциальные зоны и имеет групповую скорость 3782 кбит/с.

Управление бортовым ретрансляционным комплексом обеспечивает бортовой вычислительный комплекс. Задачи БВК по управлению бортовым ретрансляционным комплексом в основном сводятся к коммутации информационных пакетов, поступающих из приемных каналов с обработкой на соответствующие передающие каналы, коммутации цепей питания и выдаче команд на переключение резервируемых объемов. Общее число команд управления целевой аппаратурой ретрансляционного комплекса составляет около 950.

БВК выполняет также функции бортового комплекса управления (БКУ) всеми системами объекта, включая систему ориентации КА и систему наведения антенн. В состав бортового комплекса управления, кроме цифровой процессорной системы, входят устройство сопряжения с системами КА (функционально), аварийное устройство (АУ) и информационно-телеметрическая система (ИТС).

Управление БРК и объектом (КА) производится по отдельному каналу фидерной радиолинии. Данный канал фидерной радиолинии также построен по принципу с обработкой, все команды управления проходят через бортовой вычислительный комплекс и БКУ.

Поскольку коммутация всех информационных пакетов производится в БВК, на КС сбрасывается только сигнализационная информация абонентов (запросы, вызовы, ответы и пр.), и часть информации, передаваемой на другие КА, при этом поток информации в фидерных линиях не превышает 10-15% от всего абонентского трафика. Основная же часть трафика замыкается внутри ЗРВ КА диаметром около 8000 км.

Общее энергопотребление БРТК низкоскоростной системы связи при полной загрузке всех каналов (4422 подвижной связи и 5434 фиксированной связи) составляет около 3,5 кВт, масса БРТК – 350 кг, а масса КА только для НСС – 1200 кг.

*Бортовой ретрансляционный комплекс высокоскоростной системы связи.* Данный ретрансляционный комплекс аналогичен по функциям БРК НСС.

Как и БРК НСС, БРК функционально включает в себя тракты абонентских и фидерных радиолиний, цифровые потоки внутри которых и между которыми мультиплексируются цифровым коммутатором.

Основным узлом тракта абонентских радиолиний является антенно-фидерная система абонентских линий, представляющая собой совокупность приемной и передающей многолучевых антенн, обеспечивающих покрытие заданного сектора обслуживания одновременно 61 активным лучём. Принимаемые от абонентов сигналы в диапазоне 30 ГГц поступают с АФС на 61 идентич-

ный тракт приема, где происходит их фильтрация, усиление, перенос на последнюю промежуточную частоту и далее на блоки демодулятора – декодера, с которых результирующие цифровые потоки ячеек от отдельных абонентских стволов (и, соответственно, отдельных абонентов системы) с суммарной скоростью 3748 Мбит/с передаются в цифровой коммутатор (ЦК).

На передающей стороне тракта абонентских радиолиний суммарный поток информационных ячеек (с указанной выше групповой скоростью) разделяется с помощью ЦК на парциальные потоки частотных стволов (на 30 соответствующих абонентских стволов каждый), формирование которых в частотной области осуществляется в блоках кодирования – модуляции. Далее сигналы на низкой промежуточной частоте подаются в 61 идентичный тракт передачи, где производится их перенос в диапазон 20 ГГц и усиление до нужного уровня. Наконец, сформированные частотные стволы подаются в АФС и излучаются в 61 антенном луче в сторону Земли.

Для формирования пилот-сигнала, необходимого для обеспечения работы следящих антенн АС, используется соответствующий тракт передачи, где производится его вывод одновременно во все лучи передачи АФС фидерных линий.

Управление всеми блоками трактов приема и передачи как абонентских, так и фидерных линий, а также обновление таблицы маршрутизации в цифровом коммутаторе, осуществляется с помощью управляющего микроконтроллера (УМК). Для обмена информацией с координирующими станциями УМК подключается к цифровому коммутатору, который обеспечивает выделение требуемого виртуального канала с фиксированной скоростью в составе фидерных линий.

Проведенный анализ показал, что антенно-фидерная система БРТП с требуемыми характеристиками может быть выполнена в виде двух антенн (приемной и передающей) квазиоптического типа (на основе линз центральной симметрии) с матрицами облучателей.

БРК является единым и для подвижных, и для стационарных станций в диапазоне 20/30 ГГц. Пропускная способность КА ВСС – 3,9 Гбит/с. При полной загрузке энергопотребления БРПК составляет около 3,5 кВт, масса 350 кг, т.е. он аналогичен БРПК НСС и, следовательно, для них может быть разработана одна унифицированная космическая платформа (КА).

#### 4.6.2. Земной сегмент системы

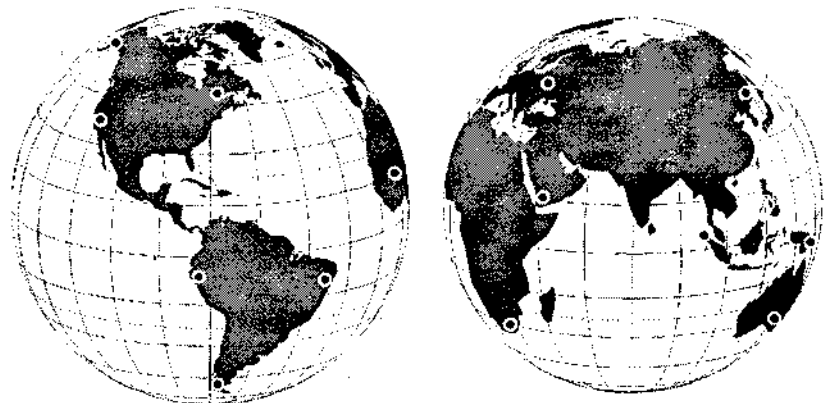
В земной сегмент МКТС «Ростелесат», как и в большинстве других систем, входят центральные узлы управления системой связи и управления полетом КА (ЦУСС и ЦУП) и региональные узлы управления – координирующие станции, которые в совокупности составляют наземную инфраструктуру системы, а также все типы стационарных и мобильных абонентских станций.

Как уже отмечалось, в МКТС «Ростелесат» связность системы обеспечивается с помощью наземных ретрансляторов, входящих в состав координирующих станций (КС) и устанавливаемых в расчетных точках земной поверхности. При выбранной группировке КА и при минимальных углах места КА, равных  $10^\circ$ , для глобального обслуживания в системе потребуется 14 КС.

Вариант схемы размещения КА приведен на рис. 4.28.

Рис. 4.28.

Схема размещения 14 КС в системе спутниковой связи «Ростелесат»



**Координирующие станции.** Координирующие станции для систем низко- и высокоскоростной связи МКТС «Ростелесат» являются едиными и предназначены для выполнения следующих основных функций:

- разработки маршрутов прохождения сигналов по заявкам абонентов, поступающих на КС через КА, и выдачи команд КА на соответствующую коммутацию сигналов;
- ретрансляции информации между КА и координирующими станциями (выполнения функции наземных ретрансляторов – НР);
- сопряжения абонентов спутниковой системы с абонентами наземных сетей связи (большой шлюз).

Каждая из координирующих станций может одновременно работать с 3-4 КА.

Как уже отмечалось, основное количество связей абонентов системы (до 85%) осуществляется в ЗРВ одного КА, а доля ретранслируемых на координирующих станциях сообщений не превышает 15% общего трафика (каналы сигнализации, межрегиональных сообщений и выход в сети общего пользования). Связи же внутри ЗРВ КА после проведения КС соответствующей коммутации осуществляются непосредственно через КА, минуя КС.

В задачи КС как регионального центра управления связью входит планирование трафика в регионе, выделение и закрепление ресурсов (спутников), а также контроль работоспособности элементов системы связи. КС осуществляет учет и регистрацию подвижных абонентских терминалов и стационарных (шлюзовых) станций, вводимых в систему в зоне КС, хранит их абонентские номера (адреса) и координаты, а также вносит изменения в список при выводе абонентов из системы или изменения их местонахождения. КС обменивается также данными с другими КС о свободных каналах на всех КА системы, через которые могут проходить маршруты сигналов.

Для этих целей в КС организуется база данных по всем подвижным и стационарным абонентским терминалам. В базе данных содержатся сведения о владельце и типе АС, о географических координатах для стационарных объектов или регионы, в которых возможна работа подвижных АС, а также выделяемые сетевые ресурсы (ограничения по возможности доступа к КА, номера разрешенных частот по регионам, срок их действия и т.д.).

Функцией КС является также оперативный учет абонентского трафика. На основе данного контроля координирующая станция осуществляет:

- управление пропускной способностью стволов КА;
- выдачу счетов за проведенные сеансы связи;
- формирование отчетной информации о состоянии средств системы и об использовании ресурсов системы абонентами.

Как станция управления связным трафиком координирующая станция решает следующие задачи:

- зная координаты всех абонентов системы и эфемериды движения КА по орбитам, разрабатывает маршруты прохождения сигналов между абонентами;
- обеспечивает контроль за условиями прохождения сигналов через КА путем оценки надежности связи с помощью кольцевых проверок;
- осуществляет одновременное слежение за 3-4 КА, управляет процессом переключения трафика между лучами (зонами) одного КА и переход с одного КА на другой;
- формирует синхромаркер, по которому производится синхронизация всех абонентских терминалов;
- организует внутрizonную и межzonную связь между абонентскими станциями, осуществляет маршрутизацию информационных потоков от абонентов разных зон;
- организует связь между абонентами спутниковой сети и абонентами наземных сетей общего пользования, т.е. выполняет роль «большого шлюза».

Взаимодействие координирующих станций осуществляется, как правило, через КА по фидерным радиолиниям, а в отдельных случаях – по внешним наземным каналам связи.

Для выхода абонентов спутниковой сети в наземные сети координирующие станции должны быть подключены к телефонным сетям общего пользования. Для сопряжения координирующих станций с телефонной сетью используется интерфейс E1, в канале сигнализации которого пере-

даются пакеты протокола ОКС № 7. Взаимодействие с Internet осуществляется с использованием протоколов TCP/IP.

Каждая из координирующих станций оснащена собственным шлюзовым интерфейсным оборудованием для сопряжения с телефонной сетью (каналы типа E1), для сопряжения с Интернетом (модемы), для передачи информации в ведомственные сети связи (аппаратура передачи данных разных типов – АПД) и др.

Из 14 координирующих станций, размещаемых в расчетных точках земной поверхности, на территории РФ предполагается размещение 2-х координирующих станций для обеспечения обслуживания всей зоны РФ и стран СНГ.

Связь КС с КА осуществляется по фидерным радиолиниям в диапазоне 10/12 ГГц.

В соответствии с выполняемыми задачами координирующая станция включает следующие крупные структурные единицы:

- 3-4 антенных поста, каждый из которых включает собственно приемо-передающую антенну *Ки*-диапазона с опорно-поворотным устройством, блок приемо-передатчика, блок обработки сигналов приема и передачи, а также блок управления;
- блок мультиплексора-коммутатора, на который поступают цифровые потоки от всех антенных постов, блока сопряжения магистральных линий и блока сопряжения абонентских линий;
- блок сопряжения магистральных каналов, необходимый для возможной организации соединительных наземных линий связи между КС системы, в частности, при использовании синхронной цифровой иерархии (SDH) ВОЛС; по этим же линиям может происходить взаимодействие КС с Центром управления полетом и Центром управления системы связи (ЦУСС);
- блок сопряжения абонентских каналов, необходимый для включения в систему абонентов существующих наземных сетей, передачи речи, данных и мультимедийной информации;
- блок управления оборудованием координирующей станции;
- система электропитания (СЭП).

**Организация взаимодействия с взаимосвязанной сетью связи РФ.** Сопряжение с взаимосвязанной сетью связи страны предполагает решение следующих задач:

- обеспечение входа и выхода абонентов системы «Ростелесат» в телефонную сеть общего пользования (ТФОП), в федеральные и региональные сотовые сети (стандарты NMT-450, GSM, AMPS/DAMPS), транкинговые сети (стандарты MPT 1327, TETRA, APCO 25) и др., используя принятую систему нумерации и сигнализации;
- предоставление ряда услуг по доступу к Интернету, таких как электронная почта, передача файлов, ограниченный просмотр WWW-страниц;
- возможность предоставления каналов системы «Ростелесат» для работы в составе первичных наземных сетей РФ;
- предоставление услуг интеллектуальной сети – как собственным абонентам, так и абонентам наземных сетей.

При разработке концепции сопряжения системы «Ростелесат» и наземных сетей учитывался принцип максимального использования собственных каналов – в целях минимизации расходов на транспортировку трафика сторонними сетями.

**Сопряжение с ТФОП.** Присоединение большого числа (десятков тысяч) портативных стационарных абонентских станций НСС и ВСС системы «Ростелесат» к региональным узлам связи ТФОП позволит реализовать концепцию распределенного сопряжения. Стационарные абонентские станции системы «Ростелесат», подключенные к ТФОП, становятся таким образом узловыми станциями. Поскольку такие станции устанавливаются на телефонных станциях и используются в качестве мини-шлюзов, принцип распределенного сопряжения позволит исключить транзитный путь в наземных магистральных каналах. Вся обработка вызовов при распределенном сопряжении, так же как и при централизованном, осуществляется координирующей станцией, поэтому узловые станции будут представлять собой автоматические комплексы, не требующие присутствия операторского персонала. При необходимости передача трафика в магистральные наземные

каналы (например, при международной связи со странами, не имеющими узловых станций «Ростелесат») может осуществляться через координирующие станции.

**Сопряжение с сетями сотовой связи.** Одной из наиболее высокоразвитых частей взаимоувязанной сети связи (ВСС) РФ являются федеральные и региональные сотовые сети. Развернутые в течение последних 7 лет, они используют исключительно цифровую аппаратуру коммутации, а также наиболее универсальный протокол сигнализации. В этих сетях используются различные протоколы межстанционной сигнализации, но только один пригоден для полноценного обмена с абонентами сотовых сетей. Это протокол ОКС №7 (SS.7). Данный протокол сигнализации позволит обеспечить совместное и взаимодополняющее функционирование сотовых сетей и системы «Ростелесат». Стационарные абонентские станции, как и в случае с ТФОП, используются в качестве мини-шлюзов. В ряде случаев целесообразно использование двухрежимных абонентских терминалов, работающих как в спутниковой, так и в сотовой сети.

В настоящее время операторы сотовых сетей федеральных стандартов приступили к созданию общенациональных транзитных сетей (Сотел – для сетей стандарта NMT-450, СПС-900 – для сетей стандарта GSM). Эти сети объединяют региональные центры коммутации сотовых сетей.

Для сопряжения с сотовыми сетями система «Ростелесат» не должна устанавливать шлюзы в каждом из регионов, а подключиться хотя бы к одному центру коммутации для каждой из федеральных сетей. Следует отметить, что операторы сотовых сетей регионального стандарта AMPS/DAMPS также рассматривают возможность их объединения, что облегчит сопряжение с ними системе «Ростелесат».

**Сопряжение с Интернетом.** Абонентские каналы системы «Ростелесат» могут быть как узкополосными (до 64 кбит/с), так и широкополосными (до 2048 Мбит/с), поэтому весь спектр услуг по доступу в глобальную компьютерную сеть Интернет может быть предоставлен с приемлемым качеством. В связи с этим, абонентам системы «Ростелесат» целесообразно предоставить доступ к Интернету через специальный шлюз – конвертор протоколов, который позволит преобразовать трафик Интернета к виду, допустимому для передачи по каналам системы «Ростелесат».

## **Абонентские станции**

### **1) Абонентские станции низкоскоростной системы связи.**

В составе низкоскоростной системы связи МКТС «Ростелесат» предусмотрены следующие типы абонентских станций:

- подвижные станции, в том числе персональные носимые станции, и станции для подвижных средств (автомобилей, поездов, речных и морских судов, самолетов и др.), а также пейджеры;
- портативные переносимые (перевозимые) стационарные станции, предназначенные для группового использования (прежде всего в малонаселенных и труднодоступных местностях) и в качестве «мини-шлюзов» для вхождения абонентов системы в существующие наземные сети связи: телефонные, сотовые и др.

Подвижные АС являются одноканальными, имеют ненаправленную (слабонаправленную) антенну и служат для организации одно- и двухсторонней цифровой телефонной связи и передачи данных (сообщений) с информационными скоростями до 9,6 кбит/с.

Портативные стационарные АС являются малоканальными, имеют перенацеливаемую на КА антенну и должны обеспечивать как непосредственно абонентов системы «Ростелесат», так и подключаемых к ней абонентов наземных сетей связи, такими же видами передач, что и подвижные АС, но с суммарной скоростью передачи до 64 кбит/с, что может обеспечить, например, одновременную работу до 12 абонентов со средней канальной скоростью 4,8 кбит/с.

По мере развертывания системы с увеличением количества пользователей может возникнуть необходимость создания более мощной стационарной АС на несколько (до 5) каналов со скоростью 64 кбит/с. Соответственно, такая АС обеспечит большее количество и менее скоростных каналов.

Все виды абонентских станций должны нормально функционировать в режиме непрерывной связи на всей территории Земли при углах места более 40°.

В низкоскоростной системе используются и на линии «Земля-космос», и на линии «космос-Земля» – многостанционный доступ с временным разделением на ряде частот (TDMA/FDMA).

В обоих направлениях применяется манипуляция с малым частотным сдвигом и гауссовым сглаживанием спектра (GMSK) и каскадное кодирование (внутренний сверточный код и внешний код Рида-Соломона).

Необходимыми условиями инициализации работы станции в системе является наличие режима дежурного приема, достаточно точное знание текущего времени и приблизительное знание географических координат места расположения АС.

В каждом луче многолучевой антенны (МЛА) БРТК имеется один служебный канал, по которому идет непрерывная циклическая передача маркерных сигналов и сообщений, предназначенных абонентам данного региона.

Поскольку в памяти АС заложены (при регистрации АС в системе) эфемериды движения всех КА группировки, то при включении приемник АС (если на часах, встроенных в станцию, установлено точное время) автоматически перестраивается на частоту маркерного (группового) канала того луча МЛА, в зоне которого в данный момент времени находится абонент. В портативной стационарной станции соответственно перенацеливается и антенна.

Если станция остается работать на прием, то по мере движения КА на орбите или смены КА приемник периодически перестраивается на новую частоту (канал) и ожидает передачи ему сообщений или вызова на двухстороннюю связь. При приеме позывного своей станции передаваемое для абонента сообщение автоматически записывается в память и по его желанию (сразу или позднее) выводится на табло или на подключаемый принтер для прочтения.

Если абонент хочет передать вызов на телефонный разговор или заранее набранное и находящееся в памяти сообщение, то он набирает номер вызываемого абонента и посылает его по запрошенному каналу, который так же, как и маркерный канал, имеется в каждом луче МЛА.

Этот запрос ретранслируется в БРТК на координирующую станцию (КС), которая имея координаты всех абонентов системы, разрабатывает маршрут прохождения сигнала до вызываемого абонента (если он находится в зоне другого КА, то через соответствующую КС) и передает запрос ему. Если он готов к телефонному разговору или к приему сообщения, то он дает согласие на связь и координирующая станция назначает абоненту канал (или каналы при двухсторонней связи). Связь между абонентами в зоне одного КА после коммутации осуществляется напрямую, без участия координирующей станции. После окончания сеанса связи КС отключает каналы и фиксирует время связи на предмет последующей оплаты.

Передача сигналов в системе осуществляется, как правило, в пакетном режиме по протоколам АТМ. При односторонней передаче сообщений на каждый пакет и на все сообщение дается квитанция (или перезапрос). Все служебные сигналы (вызов, запрос на повторение, квитанция и др.) должны формироваться в станции и передаваться в автоматическом режиме.

#### *а) Подвижные абонентские станции*

Станция состоит из следующих функционально-конструктивных модулей:

- антенного устройства, включающего приемную и передающую антенну для связи и приемную антенну встроенного навигационного приемника;
- аналоговой части приемо-передатчика, включающей передающий тракт с усилителем мощности (УМ); два приемных тракта (связной и навигационный) с малозумящими усилителями (МШУ) и СВЧ-коммутатором режимов прием-передача; синтезатор частоты (СЧ);
- цифровой части, выполняющей функции устройства формирования опорных и тактовых частот, модулятора, демодулятора, кодера и декодера группового сигнала, устройства выделения рабочего и служебного сигналов из группового канала с TDMA, контроллеров управления станцией, контроллера обработки навигационных сигналов, вокодера речевого сигнала и контроллеров интерфейса для подключения необходимых устройств;
- панели управления станцией с клавиатурой и устройством отображения, при этом посредством клавиатуры обеспечивается возможность набора цифровых сообщений ограниченного объема (запросов, команд коротких сообщений и пр.);
- системы электропитания.

Рассмотрим более подробно технические решения, на основе которых предполагается реализовывать составные части станций подвижной службы.



**Антенны станций подвижной связи.** Для обеспечения связи по спутниковым радиоприемам НСС абонентских терминалов, устанавливаемых на подвижных объектах или предназначенных для работы в руке оператора (по типу телефонной трубки) требуются антенны с зоной обзора, соответствующей телесному углу  $40^\circ - 140^\circ$  в верхней полусфере.

В качестве таких антенн для малогабаритных станций на подвижных объектах (автомобилях, судах, железнодорожных вагонах и самолетах) предполагается использовать микрополосковые антенны (МПА). МПА имеют низкий профиль, малый вес и размеры излучателей, достаточно дешевы в изготовлении и весьма технологичны в плане совместного монтажа с СВЧ-элементами входных малошумящих усилителей приемного тракта и оконечных усилителей мощности тракта передачи.

МПА, выполненная в виде двух излучателей, расположенных друг над другом, позволяет путем выбора расстояний между ними достичь ширины зоны обзора до  $140^\circ$ . При этом МПА имеет хорошую круговую поляризацию в указанной зоне углов, с плавным снижением коэффициента усиления и увеличением коэффициента эллиптичности не более 3 дБ к краю зоны.

Максимальный линейный размер такой МПА для диапазона 2,2/2,7 ГГц не превышает 5 см при высоте не более 1 см.

Антенное устройство, предназначенное для размещения на подвижном объекте и включающее микрополосковую приемную и передающую антенны связного канала, а также антенну приемника навигационных сигналов систем GPS/ГЛОНАСС (диапазон частот 1,58/1,61 ГГц), имеет продольный максимальный линейный размер 220 мм и высоту (без радиопрозрачного укрытия) не более 10 мм. При этом обеспечивается пространственная развязка между приемной и передающей антеннами более 23 дБ.

Для персональной станции спутниковой связи («телефонной трубки») в целях максимального снижения ее габаритных размеров приемную и передающую антенны целесообразно выполнить в виде цилиндрической спирали малого диаметра ( $d/\lambda \ll 1$ ).

Приемная цилиндрическая антенна небольшой высоты жестко монтируется на корпусе радиостанции, а передающая цилиндрическая антенна в нерабочем состоянии «утапливается» в корпусе станции. Для осуществления передачи информации передающую антенну необходимо вытянуть из корпуса, при этом излучающая спираль передающей антенны устанавливается на некоторой высоте над приемной, чем достигается пространственная развязка, и одновременно срабатывает механический контакт, разрешающий работу усилителя мощности.

Такого рода спиральные антенны при соответствующей отработке конструкции и параметров спирали должны обеспечить достаточную величину коэффициентов усиления (не менее 0 дБ) при углах места более  $40^\circ$  с учетом приблизительной вертикальной ориентации антенны в руке оператора.

Рассмотрим в общем виде технические решения, позволяющие реализовать указанные выше требования к обоим видам станций подвижной связи, а также пейджерам (в части приемников), с учетом обеспечения минимальных массо-габаритных характеристик, энергопотребления и стоимости. При этом основное внимание будет уделено выбору элементной базы.

Одной из самых сложных проблем, особенно при проектировании ручных портативных станций НСС является обеспечение приемлемой развязки трактов приема и передачи при дуплексной связи.

Жесткие требования к массо-габаритным характеристикам станции затрудняют использование для частотной развязки объемных фильтров с высокой избирательностью, поэтому наиболее удобным решением является использование быстродействующего электронного коммутатора, например, на основе ключей MGS70008 фирмы Hewlett Packard, блокирующего по входу приемный тракт на время передачи каждого информационного пакета.

Очевидно, что такой метод приводит к образованию пакетов ошибок при приеме информации, и для эффективной борьбы с ошибками должны быть предусмотрены соответствующие методы перемежения информационных символов и кодирования при формировании группового сигнала 894 кбит/с в БРТК.

С учетом временного разделения каналов (в кадре 22 канала), для реализации выходной мощности на канал 0,6 Вт потребуются обеспечить мощность в импульсе порядка 13 Вт. Создание относительно дешевого усилителя мощности (УМ) с высоким к.п.д. с таким уровнем выходной

мощности возможно с использованием трехкаскадного УМ, причем в первых двух каскадах можно применить отечественные биполярные транзисторы, а в выходном, например, мощный транзистор FLL120МК фирмы Fujitsu с к.п.д. в ключевом режиме до 75% и усилением не менее 10 дБ.

Для создания малошумящего усилителя в заданном диапазоне частот с шумовой температурой не более 70 К в настоящее время имеется достаточная элементная база как в виде малошумящих транзисторов и усилительных сборок фирмы Hewlett-Packard, так и в виде законченных конструкций МШУ, например, типа AFS3 фирмы MITEQ (США).

Реализация устройств частотообразования станции (усиление, частотная селекция, преобразование частоты, синтезаторы частоты и формирователи опорных частот) также не должна вызывать принципиальных затруднений, поскольку в стране достаточно хорошо представлена зарубежная элементная база для разработки синтезаторов частоты, смесителей (преобразователей частоты) и усилителей высокой частоты. Вместе с тем в отечественной радиоэлектронной промышленности имеется ряд предприятий, производящих фильтры ПАВ, малогабаритные керамические фильтры СВЧ, высокостабильные опорные кварцевые генераторы с характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам, и существенно более низкими стоимостными показателями. Для удешевления персональной станции и снижения ее энергопотребления в качестве опорного генератора (ОГ) в станции предполагается использовать прецизионный термокомпенсированный кварцевый автогенератор с цифровой коррекцией частоты от контроллера управления станцией.

При этом может быть обеспечена долговременная нестабильность частоты не более  $+3 \cdot 10^{-7}$  при мощности потребления 50 – 100 мВт, а стоимость такого ОГ почти на порядок меньше стоимости термостатированного.

Для реализации устройств цифровой обработки сигналов и контроллеров управления станцией целесообразно использовать специализированные БИС, сигнальные процессоры, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), цифровые синтезаторы частоты (DDS).

При этом основная сложность связана с проектированием демодулятора и декодера принимаемого группового сигнала, так как относительно высокая скорость передачи информации (894 кбит/с и 3782 кбит/с соответственно для подвижных и стационарных АС) требует тщательного отбора схемотехнических решений для обеспечения малого энергопотребления персональных станций.

Поэтому в качестве основы демодулятора GMSK сигнала предлагается применить микросхему, реализующую алгоритм схемы Костаса, например, U2791 (U2794) фирмы TEMIC с внешним генератором, управляемым напряжением (ГУН), а прочие функциональные узлы демодулятора: устройство тактовой синхронизации, формирователь информационных символов, фазовый дискриминатор и другие целесообразно выполнить на ПЛИС, широкий ассортимент которых представлен фирмами XILINGS, ALTERA и др.

На основе ПЛИС можно реализовать также и устройство временного разуплотнения, которое позволяет выделить из принятого группового сигнала информационные пакеты, относящиеся к абонентам станции.

Кодеры и декодеры сверточного кода, а также декодер внешнего кода Рида-Соломона, целесообразно реализовать на специализированной БИС, разработка которых может быть проведена на отечественных предприятиях.

Обработка навигационных сигналов, функции речепреобразующих устройств (вокодеров) и контроллеров управления станцией успешно могут быть выполнены посредством быстродействующих сигнальных процессоров, например, фирмы Analog Devices, которые имеют модификации с напряжением питания +3 В и достаточно малым потреблением.

Ввод/вывод информации и команд управления в контроллер управления радиостанцией осуществляется посредством кнопочной клавиатуры и индикаторного табло, связанным через соответствующие буферные устройства с контроллером.

Табло служит для индикации сигнала вызова и отображения передаваемых буквенно-цифровых сообщений, а также визуального отображения режимов работы АС, состояния работоспособности и географических координат станции.

В качестве основного источника электропитания персональной АС должна использоваться аккумуляторная или неперезаряжаемая (с большим сроком службы) батарея с напряжением +12 В.

При этом вторичный источник электропитания (ВИП) целесообразно проектировать из расчета колебаний напряжения в первичной сети от 8 до 30 В, что позволит в случае необходимости запитать персональную АС от аккумуляторов автомобилей или бортсети других подвижных объектов, а также строить ВИП по унифицированной схеме для персональных и мобильных АС на базе покупных БИС, выпускаемых зарубежными фирмами.

**Основные виды конструкции АС подвижной связи.** Для абонентских станций подвижной службы можно выделить три основных типа конструкций:

- персональные носимые приемо-передающие станции;
- малогабаритные приемо-передающие станции для подвижных средств;
- станции, работающие только на прием (пейджер).

Что касается пейджеров, то для них наиболее целесообразно конструктивное оформление, принятое для навигационных носимых приемников бытового назначения.

В среднем их габаритные размеры составляют 120×50×20 мм, масса не более 400 г.

Общепринятое конструктивное оформление персональных носимых приемо-передающих станций – это аналог телефона сотовой связи. Станции включают в себя аппаратно-программные функциональные модули станций спутниковой связи, в том числе клавиатуру для набора цифровых сообщений и световой индикатор вызова, а также индикаторное табло, микрофон, телефон и вокодер, т.е. все, за исключением антенного модуля сотовой связи.

Характерной особенностью конструкции малогабаритных приемо-передающих станций для подвижных средств является наличие антенного комплекса, расположенного под радиопрозрачным укрытием на крыше автомобиля, вагона, верхней части фюзеляжа самолета или мачте корабля.

В состав антенного модуля, кроме ненаправленной (слабонаправленной) антенны, как правило, включаются усилители мощности, малошумящие усилители, преобразователи частоты и их источники электропитания. При этом в кабине подвижного объекта могут быть расположены один или несколько абонентских терминалов, включающих модем, телефонную трубку с индикаторным табло и клавиатурой, а также устройство их электропитания.

#### **б) Портативные стационарные абонентские станции**

Основным отличием портативных стационарных АС от станций для подвижных объектов является наличие перенацеливаемых на КА антенн.

При максимальной скорости передачи 64 кбит/с и выбранной мощности передатчика стационарной станции 5 – 6 Вт, коэффициент усиления антенны на передачу должен составлять порядка 35 дБ, что соответствует параболическому зеркалу диаметром около 50 см. При ограничении максимальной скорости передачи в станции до 9,6 кбит/с (как и в подвижных АС) диаметр антенн может быть уменьшен до 20 см.

Для обеспечения непрерывной связи абонентов при переходе связи с одного КА на другой в состав АС при использовании параболических антенн необходимо включать два опорно-поворотных устройства с независимым управлением, что существенно увеличивает массогабаритные характеристики АС.

Значительно лучшие конструктивно-технологические характеристики для рассматриваемого случая имеют антенны на основе активных фазированных решеток (АФАР), реализация которых возможна на современной элементной базе, однако станция с такой антенной будет стоить существенно дороже.

Соответственно, в состав станции включены два независимых приемо-передающих устройства (ППУ).

Формирование информационных пакетов на передачу, а также демодуляция, декодирование и выделение принятых информационных пакетов для абонентов АС производится в блоке цифровой обработки (БЦО). В блоке управления, коммутации и сопряжения (БУКС) осуществляются операции по «безразрывному» переключению каналов абонента при переходе с одного КА на другой и формируются интерфейсные стыки для подключения оконечных аппаратов абонентов, расположенных в месте размещения АС и выхода во внешние сети связи.

Отметим, что одновременная работа двух ППУ имеет место только в течение длительности переключения (перехода) на другой КА, все остальное время работает одно ППУ с соответствующими приемо-передающими трактами БЦО, в второе ППУ работает в режиме приема служебных сигналов.

Все оборудование стационарной АС разделяется на две конструктивно законченные части, одна из которых (антенный модуль) расположена вне помещения, например, на крыше здания, балконе или другой поверхности с хорошим верхним обзором, а другая – абонентский модуль – в закрытом помещении рядом с оператором и окончательным оборудованием.

При этом в антенном модуле, кроме собственно антенно-фидерных устройств, смонтированы узлы приемо-передатчиков, а также система электропитания указанных приборов. В состав абонентского модуля, который соединяется с антенным радиочастотными кабелями по промежуточной частоте и НЧ-кабелем по цепям управления и контроля, входят устройства блока цифровой обработки сигналов, блоки электропитания, а также элементы ручного управления станцией, индикации ее состояния и стандартизированные разъемы для подключения различного абонентского оборудования.

## **2) Абонентские станции высокоскоростной системы связи**

В высокоскоростной системе связи предусматривается два основных типа абонентских станций: стационарные станции коллективного пользования и станции, размещаемые на подвижных средствах.

Стационарные АС предназначены для обмена с другими абонентами ВСС и НСС МКТС «Ростелесат» (стационарными и подвижными), а также с пользователями подключаемых к ВСС наземных систем связи, любыми видами цифровой информации со всеми стандартными скоростями передачи до 2048 кбит/с, в том числе для межмашинного обмена, доступа к Интернету, высококачественной телефонной связи, видеоконференцсвязи, передачи сжатых изображений и других услуг мультимедиа. Станции имеют достаточно сложные антенные устройства с зеркалами порядка 0,9 м и поэтому могут найти применение только на крупных подвижных объектах, например, для коллективного пользования пассажирами крупных морских судов поездов и др. Для размещения же на менее габаритных подвижных средствах (самолетах, автомобилях, и др.) в системе предусматривается вариант АС с размерами апертуры антенн до 30 см, что потребует ограничения скорости передачи до 384 кбит/с или 144 кбит/с.

В состав станций для подвижных объектов включается навигационная система, обеспечивающая определение географического положения и вычисление курсовых параметров транспортного средства, а также сопряжение с контроллером управления электроприводом антенны.

Все виды абонентских станций должны нормально функционировать в режиме непрерывной связи на всей территории Земли при углах места более 40°.

При работе АС в составе системы используется совмещенный метод многостанционного доступа с частотно-временным разделением FDMA/TDMA как на линии «вверх», так и на линии «вниз».

Как и в низкоскоростной системе связи для поддержания непрерывной связи с меняющимися КА приемник АС должен находиться в режиме дежурного приема и отслеживать в соответствующем луче маркерный (групповой) сигнал, по которому идет непрерывная циклическая передача служебных сигналов и сообщений, предназначенных абонентам в зоне обслуживания данного луча многолучевой антенны БРТК.

Вызов абонентом другого абонента ВСС на тот или другой вид связи направляется по запрошеному каналу, который также, как и маркерный канал, имеется в каждом луче МЛА. Далее этот вызов по фидерной линии БРТК передается на координирующую станцию, которая имея адреса (координаты) всех абонентов, эфемериды движения КА и данные о свободных каналах, определяет маршрут прохождения сигналов и пересылает вызов на нужную АС по каналу сигнализации в соответствующем луче МЛА. Если эта АС находится в зоне другого КА, то вызов посылается через координирующую станцию, работающую с этим КА.

Если вызываемый абонент дает согласие на связь, координирующая станция, назначает обоим абонентам каналы и осуществляет их коммутацию, а после окончания сеанса фиксирует продолжительность связи на предмет ее последующей оплаты и отключает каналы. Связь между абонентами в зоне одного КА после коммутации каналов, как и в НСС осуществляется напрямую при

участии координирующей станции только в контроле за продолжительностью связи. Передача всех видов информации в системе осуществляется в режиме АТМ.

#### *а) Стационарные абонентские станции*

Для стационарных станций в высокоскоростной системе связи определены следующие основные технические характеристики:

- диапазон частот 20/30 ГГц;
- выходная мощность передающего тракта на один канал не менее 10 Вт;
- эффективная шумовая температура приемного тракта не более 250 К;
- коэффициент усиления антенны на прием не менее 43,0 дБ  
на передачу не менее 46 дБ;
- метод модуляции на прием и передачу QPSK с 50% скруглением по Найквисту;
- передача речи и других видов сообщений на линии «вверх» осуществляется в цифровой форме со всеми стандартными скоростями до 2048 кбит/с (384,144 кбит/с);
- скорость передачи группового сигнала на линии «вниз» – 61,4 Мбит/с;
- методы кодирования: на линии «вверх» – сверточный код со скоростью 3/4 и длиной кодового ограничения 7; на линии «вниз» – каскадное кодирование: внутренний код – сверточный со скоростью 3/4 и длиной кодового ограничения 7, внешний код – Рида-Соломона (126,112).

Для обеспечения непрерывной связи абонентов в реальном масштабе времени АС должна иметь двухлучевую антенно-фидерную систему с возможностью независимого слежения за двумя КА, находящимися в зоне видимости (сектор углов верхней полусферы с минимальным углом места 40°). Соответственно, необходимо иметь два независимых приемо-передатчика.

Информационные потоки на прием и на передачу от обоих приемопередатчиков объединяются в блоке коммутации и сопряжения (БКС), который производит незаметное для пользователя переход от одного КА к другому. Необходимо отметить, что как и в АС НСС одновременная работа двух приемо-передатчиков достаточно редка и имеет место лишь в течение длительности переключения с одного КА на другой.

Для уменьшения энергетических потерь все радиоэлектронное оборудование АС разбито на две части, одна из которых (внешний модуль) находится в непосредственной близости от АФС, а другая (терминальный модуль) – в помещении, рядом с другим имеющимся телекоммуникационным оборудованием, что позволяет отнести от пользователя достаточно мощные СВЧ узлы передатчика. При этом во внешнем модуле располагаются собственно блоки приемо-передатчиков, а в терминальный модуль, соединенный с внешним по сравнительно невысокой промежуточной частоте, блоки обработки сигнала.

В состав наружного модуля входят также блоки обработки пилот-сигнала, излучаемого БРТК в *K<sub>i</sub>*-диапазоне для каждого луча АФС, необходимые для поддержки начального захвата и слежения антенной АС за каждым из КА.

*Антенно-фидерная система станций.* Принципиально важным вопросом при техническом проектировании станций с антеннами высокой направленности, работающих с КА на средневысоких орбитах, является правильный выбор варианта построения антенн и способов их наведения. При этом необходимо учитывать, что для обеспечения непрерывной связи абонентов АС должна иметь возможность независимого слежения за двумя КА, находящимися в зоне ее радиовидимости.

Последнее условие требует формирования на время перехода с одного КА на другой двух направленных лучей в режимах приема и передачи каждый. Кроме того, необходимо обеспечить наведение и сопровождение КА как на стационарных станциях, так и при нахождении такого типа АС на подвижном объекте.

Возможны 3 основных варианта построения АФС: активная фазированная антенная решетка (АФАР), комплект плоских антенных решеток с фиксированными лучами и комплект из двух зеркальных антенн.

Активная ФАР имеет плоскую конструкцию и позволяет обеспечить электрическое сканирование луча. АФАР находят всё более возрастающее применение в системах коммерческой связи. Однако в данном случае из-за большой стоимости такое построение АФС не является оправданным.

Плоские антенные решетки, выполняемые на основе микрополосковых печатных излучателей, потребовали бы в *Ka* диапазоне применения комбинированной разводки сигналов на волноводных и полосковых линиях. Совместить режимы приема и передачи в такой антенне представляется проблематичным. В данном варианте потребовался бы комплект из 4-х печатных антенн (два направления луча с приемом и передачей в каждом) и два опорно-поворотных устройства (ОПУ).

Комплект из двух антенн на основе офсетных зеркал с двумя соответствующими ОПУ представляется наиболее оптимальным вариантом. Каждая антенна является приемо-передающей. Коэффициент усиления антенны наиболее высокий по сравнению с другими вариантами (43 дБ на прием и 46,5 дБ на передачу). В ОПУ используется привод с двумя горизонтальными осями, поскольку необходимо наблюдение за спутником во всем заданном секторе, в том числе в зените. В связи с тем, что ветровая нагрузка на зеркало диаметром менее одного метра лежит в допустимых пределах, можно избежать применения радиопрозрачного укрытия и тем самым излишнего удорожания АФС.

Для решения известной проблемы «мертвой воронки» вблизи зенита при слежении антенны АС за КА на круговой средневысотной орбите (практически в пределах всей верхней полусферы), предполагается использование ОПУ с двумя горизонтальными осями.

Высокая направленность антенны, возможность использования АС на мобильных средствах требуют создания канала автосопровождения в сочетании с программным наведением.

Наиболее оптимальным вариантом является формирование специального канала автосопровождения в *Ku* диапазоне. При этом используются два приемных канала: один – в *Ka* диапазоне по информационному сигналу и второй – в *Ku* диапазоне по сигналу автосопровождения. В бортовой аппаратуре для этого необходимо предусмотреть постоянное излучение узкополосного пилот-сигнала в *Ku* диапазоне в направлении всех 19 лучей бортовой антенны фидерных радиолиний. Внешние средства должны обеспечить достаточно грубое программное наведение в зону «захвата» порядка 3,2°. Облучатель *Ka* диапазона выполняется в виде гофрированного рупора. Облучатель *Ku* диапазона конструктивно совмещен с ним и обеспечивает модуляцию сигнала в канале автосопровождения.

Антенный модуль содержит в своем составе блоки, осуществляющие предварительное усиление принимаемого частотного ствола и его перенос на промежуточные частоты приема, а также перенос передаваемого сигнала в заданный диапазон радиолинии «вверх» и его усиление до требуемого уровня мощности. Для использования приемо-передающей АФС, соединенной по СВЧ с наружным модулем через вращающиеся сочленения, направления приема и передачи разделяются в диплексере, обеспечивающем необходимую развязку приемного и передающего тракта.

Все упомянутые блоки монтируются в герметизированном контейнере на обратной стороне антенного зеркала. При этом для передачи СВЧ-сигналов к блокам и соединителям, расположенным на основании антенного поста, используется минимальное количество вращающихся коаксиальных соединений, а передача НЧ-сигналов и питающих напряжений осуществляется через многоканальное вращающееся контактное устройство.

Для связи по высокой частоте антенного модуля с абонентским используются СВЧ-кабели, по которым одновременно передаются сигналы, разделяющиеся по частоте в диплексере.

Кратко рассмотрим возможности обеспечения необходимых основных технических характеристик стационарных АС.

В настоящее время входной малошумящий усилитель может быть реализован на основе гибридных интегральных схем фирмы Alpha Industries Inc, например, типа AA028N1-00, обеспечивающих в заданном диапазоне коэффициент шума не более 2,3 дБ при коэффициенте усиления 10 дБ.

Для усилителей мощности целесообразно использовать усилители на лампах бегущей волны (ЛБВ) с выходной мощностью не менее 25 Вт (для организации с каждой АС не менее двух дуплексных каналов с максимальной пропускной способностью 2,048 Мбит/с). Наиболее удобно применение усилителей совмещенных с блоком питания, как например, усилитель типа 927Н фирмы Hughes (Electron Dynamics Division) с промышленным к.п.д. не менее 25%.

Реализация устройств частотообразования АС, обеспечивающих усиление, частотную селекцию, преобразование частоты, синтез частот гетеродинов, формирование опорных частот и входящих в состав блоков МШУП, УМП и БПЧ, не должна вызывать принципиальных затруднений, поскольку фирма Hewlett-Packard завершила в 1998 г. разработку серии интегральных СВЧ-устройств в диапазоне частот 20...40 ГГц, необходимых для построения входных и выходных линейных частей трактов. Зарубежная элементная база для разработки СВЧ-усилителей частоты в более низком диапазоне частот, преобразователей частоты и синтезаторов частоты в нашей стране представлена достаточно полно.

Вместе с тем в отечественной радиоэлектронной промышленности рядом предприятий производятся фильтры поверхностно-акустических волн (ПАВ), малогабаритные керамические фильтры СВЧ, высокостабильные термостатированные кварцевые генераторы с техническими характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам и существенно более низкими стоимостными показателями.

Для реализации устройств цифровой обработки сигналов и контроллеров управления станцией целесообразно использовать специализированные БИС, сигнальные процессоры, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). При этом основная сложность связана с разработкой демодулятора и декодера принимаемого группового сигнала из-за высокой скорости передачи (48 Мбит/с).

По схемотехническим направлениям, связанным с проектированием блока мультиплексора-коммутатора, использующего технологию АТМ, имеется достаточный опыт у ряда отечественных фирм, что вместе с непрерывно развивающейся элементной базой по этому направлению позволяет надеяться на достаточно быструю и относительно дешевую разработку.

В плане создания аппаратуры блока оконечного оборудования, реализующего те или иные стыки с оконечным абонентским оборудованием, целесообразно максимально использовать имеющуюся и разрабатываемую зарубежную элементную базу, позволяющую реализовать наиболее распространенные типы интерфейсов:

- интерфейсы локальных вычислительных сетей (ЛВС) передачи данных (Ethernet 10BaseT и/или 10Base2, Token Ring и т.п.);
- низкоскоростные интерфейсы последовательной передачи данных RS-232C, RS-449 и др.;
- интерфейсы для подключения корпоративных сетей передачи данных с протоколом переноса типа X.25;
- интерфейсы для подключения корпоративных вычислительных сетей интегрального обслуживания (передачи мультимедийной информации) с протоколами переноса Frame Relay (FR), ATM, ISDN и т.п.;
- аналоговые речевые каналы, поддерживающие 2/4 – проводные абонентские линии с сигнализацией типа FXO, FXS, ЕиМ и др., и поддержкой следующих способов речепреобразования: ИКМ G.11, АДКМ G.726, ACELP G.723 и др.;
- аналоговые каналы для подключения факс-аппаратов группы III и V.17 со скоростями передачи 2,4 кбит/с, 4,8 кбит/с, 7,2 кбит/с, 9,6 кбит/с;
- интерфейсы передачи цифровой речевой информации по стандартам G.703/G704 с линейным кодированием HDB3, организацией кадров по типу D4/ESF и сигнализацией CAS/R2.

На основании предварительной проработки конструкции антенного модуля, состоящего из двух описанных выше антенных постов, он должен при использовании скоростей до 2048 Мбит/с размещаться внутри РПУ в виде шарового сегмента с диаметром основания 2500 мм и высотой не менее 1400 мм (при меньших скоростях соответственно уменьшаются и размеры антенного модуля).

#### ***б) Подвижные абонентские станции***

Отмеченные характеристики конструкции антенного модуля стационарной АС, очевидно, не позволяют разместить его на большинстве типов подвижных объектов. Поэтому кратко сформулируем предложения по возможному облику антенного модуля станций для широкого класса подвижных объектов.

Рассмотрим, как наиболее сложный, вариант размещения антенного модуля станций спутниковой связи ВСС МКТС «Ростелсат» на крупном воздушном судне. С учетом реального расстояния

между шпангоутами фюзеляжа 800 – 1000 мм, максимальная величина отверстия в корпусе для размещения части конструкции ОПУ, по мнению авиаконструкторов, не должна превышать 200 мм.

Поскольку на эксплуатируемом пассажирском самолете, как правило, нельзя предусмотреть особых мер по укреплению края отверстия и горизонтированию посадочной плоскости, то требования к юстировке антенны должны быть минимальными, а требования к снижению массы максимальными. Кроме того, при решении вопросов по установке антенн станций спутниковой связи на самолете авиакомпании требуют, чтобы увеличение миделя фюзеляжа за счет установки АФУ не превышало единиц процента.

С учетом указанных ограничений наиболее приемлемым вариантом построения антенного поста является использование среднефокусного или короткофокусного антенного зеркала диаметром не более 300 мм на азимутально-угломестном ОПУ с размещением их внутри фюзеляжа.

В этом случае точность наведения антенны должна составлять порядка  $0,6^\circ$ , что для АС, расположенной на относительно плавно перемещающемся подвижном объекте и оснащенной сравнительно простой инерциальной навигационной системой, может быть обеспечено системой программного наведения, что упрощает облучатель антенны и повышает КПД.

Кроме общих задач, связанных с увеличением точности наведения, в случае применения азимутально-угломестных подвесок возникают трудности обеспечения связи в зенитных направлениях, где у этих подвесок имеется особая точка и для высокоточного наведения требуется бесконечно большая скорость вращения азимутального привода. Однако на практике задача «зенитного» наведения может быть решена, если использовать оптимальную стратегию прохождения особой точки, в основу которой положено допущение максимально возможной ошибки наведения.

Отметим, что программное наведение предполагается реализовать на основе косвенного метода стабилизации, при котором вычисленное на данный момент времени уравнение линии визирования на КА пересчитывается в соответствующие углы поворота осей ОПУ с учетом данных о пространственном положении объекта, вырабатываемых навигационной системой.

Если разместить на задней стороне антенного зеркала МШУ, УМ в едином герметичном конструктиве с высоковольтным блоком питания, устройства преобразования частоты и соответствующие СВЧ-фильтры, то для такой, близкой к цилиндру, конструкции в зоне углов  $\pm 70^\circ$  от вертикали к поверхности фюзеляжа ее максимальная высота составит не более 400 мм, а масса антенного поста в целом не превысит 12 кг (для УМ с выходной мощностью 10 Вт).

Такие характеристики конструкции антенного поста позволяют разместить его на самолете, железнодорожном вагоне, речном или морском судне и даже на автобусе. При этом общая длина РПУ для всего антенного модуля, состоящего из двух антенных постов не превысит 1300 мм.

С учетом существенного уменьшения массо-габаритных характеристик антенного поста при уменьшении скорости передачи, а следовательно, и уменьшения его стоимости появляется возможность индивидуального использования АС с установкой одного антенного поста на балконе здания или на кронштейне, укрепленном на стене по типу антенн НТВ.

Такой максимально упрощенный антенный пост с карданной подвеской, в которой не используются вращающиеся СВЧ-переходы и контактные устройства, позволил бы обеспечить индивидуальным пользователям доступ к получению больших объемов информации (например, от Internet) по каналам ВСС. Кратковременные перерывы связи при таком способе получения информации вполне допустимы.

#### 4.7. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ССС

С начала 90-х годов в мире, в т.ч. и в России, активно разрабатываются проекты глобальных и региональных систем спутниковой связи с использованием космических аппаратов (КА) на низких и средних круговых и высокоэллиптических орбитах.

В настоящее время уже завершена (к сожалению, неудачно) эксплуатация низкоскоростной системы Iridium, началась эксплуатация системы Globalstar, завершается разработка системы ICO. Разрабатывается ряд других систем, например, высокоскоростных систем: Teledesic, Skybridge и



др. Некоторые проекты, как зарубежные, так и российские, в настоящее время заморожены из-за отсутствия финансирования.

Тем не менее представляет интерес сравнить характеристики этих систем и оценить их конкурентоспособность.

### Низкоскоростные ССС

Характеристики наиболее известных систем приведены в табл. 4.3.

Рассмотрим кратко их достоинства и недостатки.

**Система Iridium.** Основными достоинствами системы являются ее полная глобальность и автономность, что является следствием использования в ней космической группировки, охватывающей всю поверхность Земли и межспутниковых линий связи, связывающих каждый КА с 4 соседними и обеспечивающих таким образом надежную связность системы.

Главным же недостатком – плохая связь мобильных абонентов системы с абонентами наземных сетей связи из-за малого количества шлюзов, каковыми являются только немногочисленные узлы связи (Gateway). Так, в Российской Федерации их было построено всего 2 – на востоке и западе страны. И, чтобы связаться мобильному абоненту системы Iridium с абонентом наземной сети, находящимся, например, у домашнего или офисного телефона или имеющего сотовый телефон, надо еще иногда пройти по наземным линиям связи огромные расстояния.

Таблица 4.3. Характеристики низкоскоростных ССС

№№ п/п	Характеристики систем	Наименование систем				
		Iridium	Globalstar	ICO	Полярная Звезда	Ростелсат-Н
1.	Страна – разработчик системы	США	США	Международная	РФ	РФ
2.	Начало эксплуатации	дек.1998 г.	1999 г.	2000 г.	2001-2002 г.г.	2004 г.
3.	Обслуживаемая территория	Глобал.	В пределах $\pm 70^\circ$	В пределах $\pm 70^\circ$	Северное полушарие	Глобал.
4.	Виды передаваемой информации	телефон, телекс, факс, данные, пейджинг				
5.	Вид орбиты КА	LEO	LEO	MEO	ВЭО	MEO
6.	Количество КА	66 (6x11)	48 (8x6)	10 (2x5)	4	24 (4x6)
7.	Высота орбиты, км	780	1414	10360	40600 (в апогее)	10360
8.	Накл. орбиты, град.	86	52	45	62	82,5
9.	Масса КА, кг	690	450	2750	2100	1200
10.	Вид ретранслятора	регенератив.	прозрачный	прозрачный	прозрачный	регенеративный
11.	Диапазон частот, ГГц	1,6; 23/29	1,6/2,5; 5/6	1,9/2,1; 5/7	1,6/2,5; 5/6	2,1/2,7; 10/12
12.	Количество телефонных каналов на 1 КА	1100	2500	4500	1000-ПСС; 8000-ФСС	4422 – ПСС 5434 – ФСС
13.	Методы многостанционного доступа	FDMA/TDMA	CDMA/FDMA	FDMA/TDMA	CDMA/FDMA	TDMA//FDMA
14.	Способы обеспечения связности системы	4 МЛС на каждый КА	через координирующие станции (gateways)			
15.	Земные станции: кол-во координир. станций (Gateway), в мире / в РФ	22 / 2	150...210/9	12/-	20...25	14 / 2
	типы абонентских станций	полустационарные, мобильные, носимые				
	скорость передачи в АС, кбит/с	2,4	2,4 или 4,8	2,4...9,6 6,0	2,4 или 4,8	2,4...9,6; 32,64
	минимальный угол места в АС, град.	10	10	10	порядка 40	40
16.	Стоимость системы, млрд. долл. США	5,4	2,0	2,8		1,6

Недостатком являются также низкие минимальные углы места абонентских станций ( $10^\circ$ ), что существенно усложняет работу из-за ухудшения радиовидимости КА за счет влияния различных предметов (зданий, деревьев, складок местности и др). Однако основной причиной завершения коммерческой эксплуатации системы является неправильная ценовая политика и неспособность в связи с этим конкурировать с наземными сотовыми сетями.

**Система Globalstar.** Достоинством системы является применение широкополосных сигналов и кодового разделения каналов – CDMA. Это позволяет осуществить плавный переход из луча в луч при движении КА по орбите без нарушений связи и облегчить борьбу с помехами, возникающими при наложении сигналов нескольких спутников и соседних лучей.

Система не является полностью глобальной: из-за низкого наклона орбит КА связь обеспечивается только до  $65...70^\circ$  с.ш. и ю.ш. Для РФ это означает, что не охватываются связью ее северные территории. Кроме того, узлы связи в системе не связаны между собой и для этой цели необходимо использовать внешние каналы связи. Поскольку ретранслятор на КА прозрачный, всю обработку и маршрутизацию сигналов необходимо делать на узловой станции и чтобы связаться между собой двум абонентам, находящимся в зоне радиовидимости одного КА, надо сделать два «скачка»: АС<sub>1</sub>-КА-УС-КА-АС<sub>2</sub>, что ведет к ухудшению качества связи.

Большие трудности, видимо, вызовет согласование использования выделенной полосы частот 1610-1620 МГц, которая частично занята в настоящее время навигационной системой ГЛОНАСС.

Недостатком являются также низкие минимальные углы АС.

Как и в системе Iridium, в системе Globalstar мало шлюзов для вхождения в наземные сети.

**Система ICO.** Особенностью данной системы является использование для построения группировки КА не низких, а средних орбит высотой 10360 км. Это позволило резко сократить количество КА при сохранении сплошного покрытия земной поверхности, хотя из-за низкого наклона орбит, как и в системе «Globalstar», система обслуживает только территории в пределах  $70^\circ$  с.ш. и ю.ш.

Увеличение высоты орбиты не повлияло на возможность применения в системе персональных носимых станций, но потребовало резкого увеличения числа лучей в бортовой антенне – до 163. При данной высоте орбиты КА находится в зоне радиовидимости абонента больше часа, а в зоне одного луча 5-7 минут, что уменьшает число переходов и улучшает качество связи.

Как и ранее рассмотренным системам, системе ICO свойственен такой же недостаток – малые минимальные углы места абонентских станций –  $10^\circ$ . Это сильно ограничивает возможности применения станций в условиях пересеченной (гористой) местности, в городских и промышленных зонах и др. из-за наличия препятствий прохождению сигналов от абонента до КА. Как и в предыдущих системах, в системе ICO мало шлюзов для вхождения в наземные сети.

**Система «Полярная Звезда».** Систему предполагается строить на основе использования перспективной космической платформы «Ямал-2000» и совместимого с системой Globalstar радиотракта.

Система использует высокоэллиптическую орбиту КА (типа «Молнии») и может обеспечить связью все северное полушарие Земли.

Вопрос о ее реализации еще не решен.

Наряду с рассмотренными здесь системами, следует хотя бы кратко остановиться на некоторых других системах, которые так или иначе решают сходные с ними задачи.

**Система Ellipso.** Система имеет смешанную структуру космической группировки – 8 КА (2x4) на среднеэллиптической орбите с апогеем 7840 км и круговую экваториальную – 6 КА с высотой 8040 км. Ретранслятор – прозрачный. Система имеет сравнительно низкую пропускную способность – 200 каналов со средней скоростью 4,8 кбит/с.

**Система Odyssey.** Система в полном составе имеет 12 КА (3x4) на орбитах с высотой 10360 км (на I этапе 6 КА). Ретранслятор – прозрачный. Диапазон частот совпадает по абонентским каналам с системой Globalstar, а по фидерным линиям с системой Iridium, поэтому перспективы построения системы неясны.

**Система «Банкир».** Система предполагает иметь к 2000 г. 3 КА на геостационарной орбите (1-й запущенный в 1997г. КА вышел из строя). Диапазон частот 11/14 ГГц. Количество стволов – (16+8), по 36 МГц каждый. Абонентские станции типа VSAT с антеннами от 1,2 до 2,6 м.

*Система «Гонец»* – уже действующая система – выполняет функции «электронной почты» и предназначена для передачи коротких сообщений, переносимых в устройстве памяти ретранслятора КА с задержкой во времени, а также прямой связи в ЗРВ одного КА.

*Система «Электон-стар»* аналогична по функциям системе «Гонец» и предназначена для сопровождения грузов.

*Система «Сигнал»*. Система в полном составе предполагает иметь группировку из 48 КА (4x12) на орбитах с высотой 1500 км и наклоном 74°. Ретранслятор – прозрачный. Система предполагает вторичное использование выделенных полос в ряде диапазонов частот, поэтому персональных носимых станций в ее составе нет. Применяются только станции типа VSAT.

*Система «Ростелесат-Н»*. Низкоскоростная система связи МКТС «Ростелесат» использует лучшие технические решения, реализуемые в уже разрабатываемых системах.

При построении космического сегмента выбрана средневысотная орбита 10360 км, позволяющая получить ряд преимуществ по сравнению с низкоорбитальными группировками: существенно уменьшено количество КА в группировке, необходимое для глобального обслуживания; появилась возможность увеличить минимальный угол места АС до 40°, что позволит успешно проводить связь в различных условиях; существенно замедляется динамика смены каналов при переходе из луча в луч и от одного КА к другому и т.д.

Система является полностью автономной и позволяет вести связь по принципу «каждый с каждым» между абонентами, расположенными в любых точках мира, не применяя при этом сложных в реализации межспутниковых линий связи и арендуемых каналов.

Наконец, введение в систему нового класса портативных полустационарных малоканальных станций, используемых не только как групповые в малонаселенных пунктах, где нет других средств связи, но и в качестве мини-шлюзов.

Такие мини-шлюзы могут устанавливаться на телефонных станциях – местных или государственных, на ретрансляторах сотовых сетей и т.п. и подключаться к ним, позволяя абонентам этих сетей, используя имеющиеся под рукой средства связи – телефон МГТС или местной (ведомственной) сети, сотовый телефон и др., выходить в глобальную систему связи «Ростелесат» и связываться с любым другим абонентом, где бы он не был, т.е. осуществляется глобальный роуминг. Лишь при отсутствии у него других средств связи абонент может использовать персональный абонентский терминал «Ростелесат».

Это существенно расширяет круг потенциальных пользователей системы. Кроме того, установка большого количества мини-шлюзов максимально сокращает расстояние от абонента до места ввода его в систему, что дает два преимущества – не требует аренды наземных линий связи и повышает качество связи.

## Высокоскоростные ССС

Среди систем высокоскоростной связи наиболее известны следующие: Teledesic, Skybridge, Cefestru, Spaceway. Основные характеристики этих систем приведены в табл. 4.4.

*Система Teledesic*. Система предназначена для высокоскоростного доступа к Интернет и обеспечения других мультимедийных услуг в интерактивном режиме по асимметричным каналам. Система весьма сложна по структуре. Выбор высоты орбиты равной 1400 км и осуществление глобального обслуживания при высоком минимальном угле места земных станций (40°) привел к необходимости создания крупной группировки в 288 спутников (ранее планировалось 840 спутников при высоте орбиты порядка 700 км).

Сложность системы усугубляется наличием 8 межспутниковых линий связи у каждого КА, что представляется излишним (достаточно было бы и 4-х).

Главное достоинство системы – высокая пропускная способность, благодаря чему система может обслуживать большое количество абонентов и самые высокоскоростные системы передачи информации.

*Система Skybridge*. Назначение системы такое же, как и у Teledesic. Система не является полностью глобальной и не может, в частности, обслуживать северные территории РФ.

**Таблица 4.4. Характеристики высокоскоростных ССС**

№№ п/п	Характеристики систем	Наименование систем					
		Teledesic	Skybridge	Cyberstar	Celestry	Spaceway	Ростелсат-В
1.	Страна – разработчик системы	США	Франция	США	США	США	РФ
2.	Начало эксплуатации (план)	2002 г.	2002 г.	2002 г.	2003 г.	2001 г.	2004 г.
3.	Обслуживаемая территория	Глобал.	В пределах $\pm 68^\circ$	Глобал.	В пределах $\pm 60^\circ$	В пределах $\pm 70^\circ$	Глобал.
4.	Вид орбиты КА	LEO	LEO	GEO	LEO/GEO	МЕО/GEO	МЕО
5.	Количество КА	288(12x24)	80 (2x40)	1+3	LEO:63 (7x9); GEO: 9	МЕО: 20 (4x5) GEO: 8	24 (4x6)
6.	Высота орбиты, км	1375	1469	36000	1400	МЕО:10355	10360
7.	Наклонение орбиты, град.	98,2	55		48	МЕО:55	82,5
8.	Масса КА, кг	795	800		2500	4000	1200
9.	Вид ретранслятора	регенеративный	прозрачный		регенеративный	регенеративный	регенеративный
10.	Диапазоны частот, ГГц	18/28; 62/69	10/18	17/30	«вверх»: 28...29 «вниз»: 18...19	17/30	19/29; 10/12
11.	Пропускная способность 1 КА, Мбит/с	1244,16	2-20	30000	12500	4400	3900
12.	Методы многостанционного доступа	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	CDMA/TDMA
13.	Наличие межспутниковых линий связи	есть	нет	не определ.	есть	есть	нет
14.	Земные станции:	Терминалы: Высокок. с ант. 1,6 м. Стандарт. с антен. 0,16...1,8 м.	Gateway кол-во: 200-400 Профессиональн. Терминал с ант. 0,8 м. Домашний терминал с ант. 0,5м		Терминалы: Межсетевой Корпоративный Для малого бизнеса	Терминалы: Стандарт. ант. 0,66 м С расширенными возможностями с ант. 1,2 м. Широковещательн. с ант. 3,5м.	Стационар. с ант. 0,9 м. Подвижный с ант. 0,9 м..
15.	Минимальный угол места в АС, град.	40			16	35	40
16.	Стоимость разработки системы, млрд. долл. США	9,0	5,1	1,05	12,9	6,6	1,85

**Система Celestry.** Эта система разрабатывается фирмой Motorola как развитие системы Iridium в части высокоскоростной связи. Система также не является полностью глобальной. Особенностью системы является наличие смешанной космической группировки LEO/GEO, причем КА на геостационарной орбите обеспечивают телевидение и другие услуги высокоскоростной связи.

Недостатком системы являются малые минимальные углы места земных станций – всего  $16^\circ$ , что для диапазона частот 20/30 ГГц явно недостаточно.

**Система Spaceway.** Система также имеет смешанную космическую группировку (только в данном случае МЕО/ГЕО) и не обслуживает приполярные регионы.

Система имеет специальный широковещательный терминал с диаметром зеркала 3,5 м.

**Система Ростелесат-В.** Эта система, наряду с низкоскоростной системой Ростелесат-Н, входит в МКТС «Ростелесат». И низко- и высокоскоростные системы связи дополняют друг друга, имеют унифицированные космические группировки и общую наземную инфраструктуру – объединенные координирующие станции, ЦУСС и ЦУП.

Система Ростелесат-В обладает рядом преимуществ по сравнению с другими высокоскоростными системами связи:

- она намного проще, чем, например, система Teledesic, поскольку не имеет межспутниковых линий связи;
- является полностью автономной и позволяет вести связь по принципу «каждый с каждым»;
- космическая группировка, в отличие от систем Celestry и Spaceway, является однородной, состоящей только из средневысотных КА;
- подвижные и стационарные абонентские станции системы работают с общим ретранслятором и могут вести связь между собой в любых сочетаниях;
- стационарные абонентские станции, наряду с координирующими станциями, являются также шлюзами для вхождения в наземные сети связи и позволяют абонентам этих сетей вести связь с любыми другими абонентами в глобальных масштабах.

Приведенные в настоящем анализе проекты систем находятся в разных стадиях развития: некоторые из них, как, например, Iridium, уже завершили этап коммерческой эксплуатации, другие – находятся в стадии разработки, третьи – в стадии проектирования, а четвертые – вообще заморожены. Опыт разработки всех этих проектов ССС является исключительно ценным источником технической и коммерческой информации для выбора перспективных направлений развития ССС нового поколения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спутниковая связь имеет огромный потенциал для широкого круга новых областей применения: подвижной персональной связи, широкополосного доступа к Интернету, мультимедийного ширококовещания, высокоскоростного обмена корпоративной информацией, определения местоположения абонентов мобильной связи и др.

На массовых рынках персональной мобильной связи, где общее число абонентов в ближайшие 5-7 лет превысит 1 млрд. человек, спутниковая связь будет использоваться достаточно ограниченно: количество пользователей – 2-3% от числа абонентов наземных мобильных сетей; трафик спутниковых сетей – 1-2% от общего трафика мобильной связи.

Для перспективных ССС критически важное значение имеют вопросы интеграции с наземными сетями связи. Существует ряд важных прикладных задач, где спутниковая связь может эффективно дополнять возможности наземных сетей за счет высокоэкономичной реализации массовых услуг. К таким приложениям, в первую очередь, относятся высокоскоростной широкополосный доступ к Интернету и широкоэмитательное распространение мультимедийной информации.

В технологическом плане перспективные ССС будут характеризоваться:

- многообразием применяемых конфигураций спутниковых систем;
- многообразием применяемых радиointерфейсов, часть которых, возможно, в ближайшие годы будет стандартизирована МСЭ;
- более широким использованием высокочастотных радиоресурсов (в полосах Ku, Ka и др.);
- развитием режимов коммутации каналов/пакетов и маршрутизации трафика в спутниковых сегментах ССС;
- использованием новых версий протоколов TCP/IP и ATM, адаптированных к спутниковым каналам, как для управления трафиком в спутниковом сегменте, так и для все более эффективной интеграции с наземными подсетями Интернета;
- переходом к современным стандартам обработки и распространения мультимедийной информации (MPEG-4, DVB, IP протоколы);
- применением широкой гаммы мобильных спутниковых терминалов, от простых и дешевых до мультимедийных терминалов, обеспечивающих доступ к услугам Интернета.

Ключевыми свойствами перспективных ССС будут являться функциональные возможности и технические решения, которые обеспечат применения спутниковой связи в массовых сегментах рынка, где наибольшее значение имеют факторы глобальности услуг, конвергенции абонентских сервисов и мультимедийности информации. К таким ключевым свойствам ССС относятся:

- экономичная реализация высокоскоростных услуг (доступ к Интернету, мультимедийное вещание, корпоративные интранет сети);
- глобальная мобильная связь для вертикальных рынков (нефтяные и газодобывающие отрасли, морской транспорт, экологический мониторинг, автотранспортные перевозки, системы безопасности для распределенных объектов);
- эффективная организация служб спутниковой навигации, интегрированных с новыми приложениями мобильной связи (автомобильные телематические услуги, срочные медицинские услуги, персональная локализация на местности, мобильные путеводители и справочники);
- непосредственная (прямая) доставка мультимедийной информации по принципу DTH (Direct to Home) в различные абонентские пункты (домашние квартиры, учебные классы, офисы, конференц-залы, транспортные терминалы и др.).

Перспективные ССС, таким образом, будут фокусироваться на следующих классах услуг: цифровое телевещание, высокоскоростные корпоративные услуги связи, персональные услуги связи, онлайн-овые интерактивные службы и распределительные сети мультимедийной информации. В каждом классе услуг спутниковая связь способна обеспечить более высокое качество сервиса при сопоставимой стоимости по сравнению с наземными сетями. Высокое качество сервиса будет достигаться за счет широкополосности каналов, экономичности абонентских станций и

## Литература

1. В.В. Тимофеев «О концепции развития спутниковой связи России». «Вестник связи», № 12, 1999.
2. Л.М. Невдяев, А.А. Смирнов. «Перспективная спутниковая связь». М. 1998. Эко-Трендз.
3. Л.М. Невдяев. «Мобильная спутниковая связь». Справочник. М. 1998. МЦНТИ.
4. Ю.М. Горностаев. «Мобильные ситемы 3-го поколения». М. 1998. МЦНТИ.
5. The SWG Report. 1999.
6. Workshop on Global Assesment of Satellite Technologies and Systems, December 1997, Arlington VA, USA.
7. R. Acosta, R. Bauer, and al. «Advanced Communication Technology Satellite (ACTS): Four-Years System Performance», IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 17, № 2, February 1999.
8. C. Cox and T. Coney «ACTS Fade Compensation Protocol Impact on VSAT Bit Error Rate Performance», IEEE Selected Areas in Communications. Vol. 12, № 2, February 1999.
9. «О порядке регулирования допуска и использования на телекоммуникационном рынке России глобальных систем подвижной персональной спутниковой связи». Правительство РФ, Постановление № 180 от 16 февраля 1999 г.
10. Л. Семенов. «Выбирая спутниковый доступ». PC Week/RE, № 27, 1 августа, 2000.
11. RFC 2760 «Ongoing TCP Research Related to Satellites». February, 2000.
12. S. Raghavan. «All in-Depth Design Guide to Asynchronous Transfer Mode (ATM) over Satellite Communication Network». April, 2000.
13. Ю.А. Соловьев. «Системы связи и спутниковые радионавигационные системы». Mobile Communications/RE, № 6, 2000.
14. «Towards Europe-Wide Systems and Services – Green Paper on a common approach in the field of satellite communications in the Europe Community». Com (90) 490. 1990.
15. The EU Action Plan: Satellite Communications in the Information Society: recent activities, present situation and outlook. Commission staff working paper. SEC (1999) 250/ Brussels, 16.2.99.
16. «Towards the Personal Communications Environment: Green Paper on a common approach in the field of mobile and personal communications in the European Union». COM (94) 145. 1994.
17. «Green paper on the Convergence of the Telecommunications, Media and Information Technology Sectors, and the Implications for Regulation Society Approach». COM (97) 623. 1997.
18. «Green Paper on radio spectrum policy in the context of European Community policies such as telecommunications, broadcasting, transport, and R&D». COM (98) 596. 1998.
19. М.А. Быховский, П.Н. Мамченков, В.О. Тихвинский. «Результаты Всемирной конференции радиосвязи 2000 года и их влияние на развитие мобильной радиосвязи». Mobile Communications/RE, № 5, 2000.
20. Сборник докладов 5-го Бизнес-Форума «Мобильные Системы – 2000» (20-24 марта, 2000 г., Москва). М. МЦНТИ. В 2-х томах. 2000.
21. The WTEC Panel on «Global Satellite Communications Technology and Systems», Final Report, Dec 1998. ISBN 1-883712-51
22. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «О выборе структуры и параметров низкоорбитальных спутниковых систем связи различного назначения». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. 1993 г. Вып. 1.
23. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Проблемы связности в системах спутниковой связи на базе низкоорбитальных космических аппаратов». Электросвязь. 1993 г. № 1.
24. В.В.Соколов, В.И.Мешеряков «К вопросу о задержках сигнала и перерывах в связи при функционировании низкоорбитальных спутниковых систем связи». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. 1993 г. Вып. 1.

25. В.И.Мещеряков, В.В.Соколов, В.И.Пыльцов, В.И.Захарова «Методы повторного использования частот в низкоорбитальных спутниковых системах связи». Электросвязь. 1993 г. № 1.
26. В.И.Мещеряков, В.В.Соколов «Особенности построения спутниковых систем связи с космическими аппаратами на круговых орбитах» Электросвязь 1993 г. № 1.
27. В.А.Пыльцов «Вероятностно-временные характеристики каналов в низкоорбитальных спутниковых системах связи». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. Вып. 1. 1993 г.
28. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Выбор параметров низкоорбитальных спутниковых систем связи различного назначения». Доклад на 1-ой Международной конференции по спутниковой связи. Апрель 1993 г.
29. В.А.Пыльцов «О размещении наземных ретрансляторов в низкоорбитальных спутниковых системах связи». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. Вып. 1. 1994 г.
30. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Варианты построения низкоорбитальных спутниковых систем связи». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. 1994 г. Вып. 1.
31. В.В.Соколов, В.И.Могучев, В.А.Пыльцов, А.Н.Фомин «Возможности систем спутниковой связи с различными орбитальными группировками». Техника средств связи. Серия Техника радиосвязи. 1995 г. Вып. 2.
32. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Функционирование низкоорбитальных спутниковых систем связи при неполном составе космической группировки космических аппаратов». Электросвязь. 1995 г. № 2.
33. В.В.Соколов, Е.Б.Филимонов, В.А.Пыльцов «Низкоорбитальная спутниковая система связи «Паллада». Радиотехника. 1995 г. № 6.
34. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Глобальная телефонная система мобильной связи на базе средневысотных космических аппаратов». Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 1997 г. Вып. 2.
35. И.А.Клепиков, В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Глобальная спутниковая система мобильной связи». Доклад на 3-й Международной конференции по спутниковой связи. 1998 г.
36. В.В.Соколов, О.Е.Орлов «Спутниковая связь: проекты высокоинформативных систем XXI века». Научный вестник Московского Государственного технического университета гражданской авиации. 2000 г. № 24.
37. В.В.Соколов, Е.Б.Филимонов, В.А.Пыльцов «Низкоорбитальные спутниковые системы связи для передачи дискретной информации с допустимым временем задержки». Электромагнитные волны и электронные системы. 1996. Т. 1. № 1.
38. В.В.Соколов, В.А.Пыльцов «Методы построения низкоорбитальных спутниковых систем связи для передачи дискретных сообщений с ограничением временем задержки». Доклад на 2-й Международной конференции по спутниковой связи. 1996 г.
39. И.А.Клепиков, В.В.Соколов, К.И.Кукук, А.В.Колосов, Б.А.Левитан, В.Т.Писаренко «Научно-технические основы (концепция) построения многофункциональной космической системы «Ростелесат». НПО «Энергомаш». 1999 г.
40. Г.В.Можаяев «Синтез орбитальных структур спутниковых систем» Машиностроение. 1989 г.
41. Л.М. Невдяев «Мобильная связь 3-го поколения». М. 2000. «ИТЦ Мобильные коммуникации».
42. Г.Н. Большова, Л.М. Невдяев. «Спутниковая связь в России. Корпоративные VSAT-сети». «Сети», 2000, № 3.



## Перечень сокращений

### 1. Русские термины

АС	– абонентская станция
АФС	– антенно-фидерная система
АФУ	– антенно-фидерное устройство
БВК	– бортовой вычислительный комплекс
БРК	– бортовой ретрансляционный комплекс
БРТК	– бортовой радиотехнический комплекс
ВОЛС	– волоконно-оптическая линия связи
ВСС	– высокоскоростная система связи
ГКРЧ	– Государственная комиссия по радиочастотам
ГСО	– геостационарная орбита
ЗРВ	– зона радиовидимости
ЗС	– земная станция
ИКМ	– импульсно-кодовая модуляция
КА	– космический аппарат
КЕС	– Комиссия Европейского Союза (Европейская Комиссия)
КС	– координирующая станция
МКТС	– многофункциональная космическая телекоммуникационная система
МЛА	– многолучевая антенна
МПА	– микрополосковая антенна
МСЭ	– Международный Союз Электросвязи
НГСО	– негеостационарная орбита
НР	– наземный ретранслятор
НСС	– низкоскоростная система связи
ОГ	– орбитальная группировка
ПАВ	– поверхностно-акустические волны
ПЛИС	– программируемые логические интегральные схемы
ПСС	– подвижная система связи
РН	– ракета-носитель
РТР	– ретранслятор радиолиний
СБИС	– сверхбольшие интегральные схемы
СОИ	– стратегическая оборонная инициатива
СПД	– сеть передачи данных
ТВ	– телевидение
ТФОП	– телефонная сеть общего пользования
ФСС	– фиксированная спутниковая связь
ЦК	– цифровой коммутатор
ШПС	– шумоподобные сигналы
ЭИИМ	– эквивалентная изотропно излучаемая мощность
ЭМС	– электромагнитная совместимость

### 2. Английские термины

ACTS	– Advance Communication Technologies and Services (европейская программа)
ACTS	– Advance Communication Technology Satellite (военные применения, США)

AMBE	– Advanced Multi-Band Excitation
ASTE	– Advanced Systems and Telecommunications Equipment
ATM	– Asynchronous Transfer Mode
BER	– Bit Error Rate
BOD	– Bandwidth On Demand
CIR	– Committed Information Rate
DAMA	– Demand Assignment Multiple Access
DBS	– Direct Broadcast System
DSP	– Digital Signal Processing
DTH	– Direct to Home
DVB	– Digital Video Broadcast
EHF	– Extreme High Frequency
ESA	– European Space Agency
EU	– European Union
FCC	– Federal Communication Commission
FSS	– Fixed Satellite System
GAMMA	– Global Access to Multipoint Multimedia Architectures
GEO	– Geostationary Earth Orbit
GPS	– Global Positioning System
HAPS	– High Altitude Platforms
HEO	– High Elliptical Orbit
IETF	– Internet Engineering Task Force
IMT-2000	– International Mobile Telecommunications – 2000
ISL	– Intersatellites Link
ISP	– Internet Service Provider
IST	– Information Society Technologies
ITU	– International Telecommunication Union
LEO	– Low Earth Orbit
MEO	– Medium Earth Orbit
MMV	– Multimedia VSAT
MOS	– Mean Opinion Score
MPEG	– Motion Picture Experts Group
PAMA	– Permanently Assignment Multiple Access
PCS	– Personal Communication System
RTP	– Real Time Protocol
RTT	– Radio Transmission Technology
SCPC	– Single Channel Per Carrier
SDI	– Strategic Defense Initiative
SOC	– Satellite Operations Center
SoHo	– Small Office and Home
S-UMTS	– Satellite UMTS
SWG	– Satellite Working Group
TINA	– Telecommunication Intelligent Network Architecture
TMN	– Telecommunication Management Network
T-UMTS	– Terrestrial UMTS
TWTA	– Traveling-Wave-Tube Amplifier
UMTS	– Universal Mobile Telecommunications System
USAT	– Ultra Small Aperture Terminal
VSAT	– Very Small Aperture Terminal
WCDMA	– Wideband Code Division Multiple Access