Михайлов Р. Л.

Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения

Монография



2019

Р. Л. Михайлов

ОПИСАТЕЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ КАК КОСМИЧЕСКОГО ЭШЕЛОНА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Монография

Санкт-Петербург
Наукоемкие технологии
2019

УДК 621.396.946(075.8)
ББК 68.49(4/8)
М69

Рецензенты:
***Макаренко Сергей Иванович**, доктор технических наук, доцент;*
***Тавалинский Дмитрий Анатольевич**, доктор технических наук, доцент;*
***Ковальский Александр Александрович**, кандидат технических наук.*

М69 Михайлов Р.Л.
Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. Монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2019. – 150 с.

ISBN 978-5-6044036-4-8

В монографии на основе открытых источников проведен анализ систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения, используемых в интересах нужд органов государственной власти и нужд обороны ведущих иностранных государств. Рассмотрены характеристики систем спутниковой связи, описаны общие закономерности их функционирования. Подробно разобраны не только военные, но и коммерческие системы, которые могут задействоваться в интересах сил специального назначения.

Материал монографии адресован курсантам и студентам, обучающимся по специальностям, связанным со сферой телекоммуникационных технологий, кроме того, может быть полезен соискателям, ведущим прикладные исследования в области спутниковой связи или радиоэлектронного конфликта.

Напечатано с оригинал-макета, подготовленного автором

УДК 621.396.946 (075.8)
ББК 68.49 (4/8)

ISBN 978-5-6044036-4-8 © Михайлов Р. Л., 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ ... 5
1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В СОСТАВЕ ТКС СН ... 7
1.1. Определение и характеристика систем спутниковой связи ... 7
1.2. Структура и задачи спутникового связного комплекса ... 10
1.3. Особенности передачи сигналов по спутниковым радиолиниям ... 11
1.4. Характеристика и параметры орбит ИСЗ. Орбиты ИСЗ современных ССС ... 13
1.5. Определение параметров орбит ИСЗ по двухуровневому идентификатору ... 20
2. ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ ... 23
2.1. Военные системы спутниковой связи США ... 23
2.1.1. Системы защищенной спутниковой связи ... 23
ВССС «Milstar» ... 23
ВССС «AEHF» ... 26
2.1.2. Системы широкополосной спутниковой связи ... 31
ВССС «DSCS» ... 32
ВССС «WGS» ... 33
2.1.3. Системы узкополосной спутниковой связи ... 39
ИСЗ серии «Fltsatcom» ... 40
ВССС «UFO» ... 40
ВССС «MUOS» ... 42
2.1.4. Военная система ретрансляции данных ... 46
СРД «SDS» ... 46
2.1.5. Военные спутниковые системы полярного дополнения ... 46
ВССС «IPS/EPS» ... 46
2.2. Военная система спутниковой связи Великобритании ... 49
ВССС «Skynet» ... 49
2.3. Военная система спутниковой связи Испании ... 54
ВССС «Spainsat» ... 54
2.4. Военная система спутниковой связи Италии ... 55
ВССС «Sicral» ... 55
2.5. Военная система спутниковой связи Франции ... 59
ВССС «Syracuse» ... 59
2.6. Военная система спутниковой связи ФРГ ... 60
ВССС «COMSATBW» ... 60
2.7. Военные системы спутниковой связи КНР ... 61
2.7.1. Военные системы стратегической и тактической спутниковой связи ... 61
ВССС «Шэньтун» ... 62
ВССС «Фэнхо» ... 63
2.7.2. Военная система ретрансляции данных ... 63
СРД «Тяньлянь» ... 63
2.8. Военная система спутниковой связи Японии ... 64
ВССС «DSN» ... 64
2.9. Военная система спутниковой связи НАТО ... 65
ВССС «NATOSATCOM» ... 65

3. КОММЕРЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙСВЯЗИ
И РЕТРАНСЛЯЦИИ ДАННЫХ 66
3.1. Глобальные коммерческие системы спутниковой связи 66
3.1.1. КССС «Inmarsat» 66
3.1.2. КССС «Iridium» 80
3.1.3. КССС «O3b» 97
3.2. Региональные коммерческие системы спутниковой связи 100
3.2.1. КССС «Arabsat» 100
3.2.2. КССС «Thuraya» 109
3.3. Национальные коммерческие системы спутниковой связи 112
3.3.1. КССС «JCSAT» 112
3.3.2. КССС «Insat» 118
3.3.3. КССС «Turksat» 125
3.3.4. КССС «Chinasatcom» 130
3.4. Коммерческие системы ретрансляции данных 139
3.4.1. Европейская СРД «EDRS» 139
3.4.2. Американская СРД «TDRS» 141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 145
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ 146
ЛИТЕРАТУРА 149

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях, характеризующихся многовариантностью угроз и задач, решаемых силами специального назначения, а также высокой динамичностью изменения обстановки, для принятия и реализации своевременных эффективных решений и обеспечения согласованности действий требуется пересмотр принципов и подходов построения и применения телекоммуникационной компоненты системы управления. Комплексность современных угроз затрудняет решение проблем старыми методами. В этой связи все более актуальным и приоритетным направлением реформирования сил специального назначения становится всесторонняя интеграция боевых формирований и повышение уровня их взаимодействия на основе создаваемого единого информационно-управляющего пространства звеньев управления за счет реализации сетеориентированного подхода и интеграции систем управления и связи, средств поражения, разведки и обеспечения [1]. Вместе с тем, реализация данного подхода требует существенной модификации телекоммуникационных систем специальоого назначения (ТКС СН), обеспечивающих информационный обмен, обусловленной существенным возрастанием объема передаваемого траффика. При этом порядка 60 % информации передается по каналам систем спутниковой связи (ССС) в составе ТКС СН, и в будущем их доля в информационном обмене будет только возрастать.

В этой связи в ряде иностранных государств (ИГ) в рамках реализациия обширного комплекса целевых программ, направленных на качественное переоснащение и реформирование вооруженных сил и других сил специального назначения в соответствии с требованиями, определяемыми концепциями их развития в XXI веке, проводятся мероприятия, предусматривающие интенсификацию использования ССС как важнейшей составной части ТКС СН.

Военные ССС (ВССС) играют важную роль в обеспечении надежного управления вооруженными силами (ВС) как на территории этих государств, так и за их пределами. Основное назначение ССС заключается в предоставлении надежных, защищенных каналов для обмена информацией в пределах театра военных действий (ТВД) и для связи группировки ВС, развернутой на этом театре, с органами управления ВС. Важнейшими качествами спутниковой связи, которыми не обладают другие виды связи, являются глобальный охват и высокий коэффициент готовности – способность предоставить каналы связи из любой точки мира в очень короткое время. Совершенствование ВССС, которые находятся в эксплуатации, будет происходить путем совершенствования технических и эксплуатационных характеристик наземного сегмента систем, повышения эффективности, гибкости, замены устаревших элементов систем более совершенными, наращивания парка терминалов и круга пользователей. Кроме того, наблюдается устойчивая тенденция к задействованию коммерческих ССС (КССС) в дополнение к ВССС в интересах повышения информационной обеспеченности пользователей на различных уровнях управления – от отдельного военнослужащего до высших органов управления (ВОУ) ИГ и блоков ИГ.

Таким образом, целью настоящей настоящей монографии является систематизация сведений, полученные из открытых источников, о ВССС, а также о тех КССС, которые могут быть использованы в интересах сил специального назначения, как об одной из важных частей ТКС СН ведущих ИГ. Необходимость достижения данной цели предопределило последовательность изложения материала.

В первой главе на основе работ [1-3] описаны структура, назначение и основные характеристики ССС. Особое внимание уделено параметрам орбит искусственных спутников Земли (ИСЗ), в том числе описан порядок их расчета с использованием идентификатора TLE (TLE – Two Line Element – двухстрочный набор элементов). Актуальную информацию о значениях данного идентификатора для военных и коммерческих ИСЗ (за исключением военных ИСЗ США) читатель может найти на сайте www.celestrak.com/NORAD/elements/.

Вторая глава посвящена описанию ВССС ИГ. Приведены характеристики данных систем, функционирующих в интересах ВС США (на основе работ [4-9, 20]), европейских стран НАТО (на основе работ [4-6, 10]), а также КНР и Японии (на основе работ [4, 5, 11-13]).

В третьей главе, на основе работ [4, 5, 14, 15], проведено описание КССС, а также систем ретрансляции данных (СРД), которые могут быть использованы в интересах сил сциального назначения ИГ. При этом основное внимание уделено глобальным КССС «Inmarsat» и «Iridium», что объясняется постоянным наращиванием ресурса данных систем, арендуемого, в частности, Министерством обороны (МО) США. Рассмотрены также представляющие интерес региональные и национальные КССС ведущих стран мира.

При уточнении текущего состава и особенностей функционирования ВССС и КССС использовались материалы из открытых журналов национальных ВС ИГ и международных изданий: Milsat magazine, Air Force magazine, Air Force news, Jane's Defense Weekend, Tactical Radios и другие. Данные издания доступны в электронном виде, например на сайте www.pentagonus.ru. Кроме того, учитывались сведения, размещенные на электронном ресурсе www.n2yo.com.

Читателю следует помнить, что ССС военного и коммерческого назначения являются динамично развивающимися, вследствие чего происходят постоянные изменения в составе их орбитальных группировок. В этой связи сведения о количестве ИСЗ в составе ССС, а также о характеристиках их орбит и работоспособности бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) отдельных ИСЗ, приведенные в данной монографии, будут закономерно устаревать с течением времени. Вместе с тем, знание общих принципов функционирования отдельных ВССС и КССС, а также порядка уточнения характеристик их орбитальных группировок, изложенных в главе 1, позволят своевременно ориентироваться в области систем спутниковой связи.

Основы построения ССС в данной монографии приведены в соответствии с материалом замечательной работы [2], изданной коллективом кафедры спутниковой связи Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского под редакцией доктора технических наук, профессора К.Ю. Цветкова.

При анализе характеристик ССС активно использовались материалы работы [4], представляющей собой обширное справочное издание с масштабным описанием подавляющего числа спутниковых систем связи и ретрансляции данных. Кроме того, анализ параметров функционирования БРЭО ИСЗ основывался на подходах, предложенных в работах [16-19].

Автор выражает искреннюю признательность своему наставнику и учителю, одному из ведущих специалистов в области информационного противоборства и телекоммуникационных систем специального назначения, доктору технических наук, доценту С.И. Макаренко, за помощь в подготовке материала монографии и полезные советы, позволившие более полно описать отдельные ССС, а также за тщательное и бескомпромиссное рецензирование итогового варинта рукописи.

Автор благодарит доктора технических наук, доцента Д.А. Тавалинского и кандидата технических наук А.А. Ковальского за кропотливый труд по поиску ошибок и неточностей при рецензировании данной монографии.

1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В СОСТАВЕ ТКС СН

1.1. Определение и характеристика систем спутниковой связи

Современные ТКС СН, как правило, декомпозируются на четыре эшелона (рис. 1.1):
– наземный эшелон (стационарный и полевой (мобильный) сегменты);
– воздушный эшелон (воздушный и наземный сегменты);
– морской эшелон (морской и наземный сегменты);
– космический (космический и наземный сегменты).

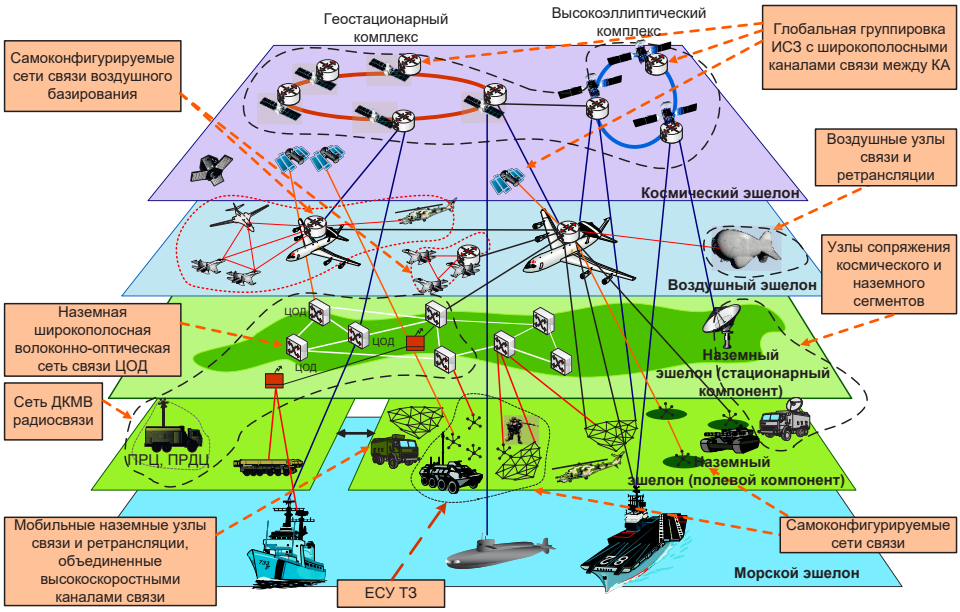


Рис. 1.1. Многоэшелонированное построение ТКС СН

Космический эшелон ТКС СН развертывается на основе ССС, образованных линиями спутниковой связи и узлами сети – земными станциями и ИСЗ. Космический эшелон ТКС СН включает в себя [3]:

– космический сегмент;
– наземный сегмент;

Космический эшелон ТКС СН предназначен для обеспечения глобальной связности в стратегическом и оперативно-тактическом звеньях управления, правительственной связи и специальной связи. При этом структура космического эшелона ТКС СН инвариантна по отношению к структуре системы государственного и военного управления.

Технологии, применяемые в ССС, обеспечивают интеграцию различных видов трафика, устойчивое и глобальное взаимодействие комплексов и средств, на стационарных, полевых и подвижных узлах связи различных звеньев управления для стационарного наземного, полевого (мобильного) наземного, воздушного и морского эшелонов с целью обеспечения возможности обмена всеми видами информации между всеми абонентами во всех эшелонах ТКС СН.

Спутниковая связь имеет целый ряд существенных особенностей, что обусловливает необходимость выделения ее в особый род связи. Эти особенности связаны с наличием ряда элементов ССС в космическом пространстве. Введем понятия «космическая связь», «космическая станция», «спутниковая связь» и «земная станция».

Космическая станция (*космическая радиостанция*) – станция радиосвязи, расположенная на космическом объекте, например на ИСЗ. Наряду с космическими станциями (КС), которые могут быть как оконечными, так и ретрансляционными, могут использоваться станции, расположенные на земной поверхности или в основной части земной атмосферы. Эти станции получили название *земных станций* (ЗС). В отличие от них станции наземных систем радиосвязи называются наземными станциями.

Космический радиоканал между ЗС, включающий ретрансляционную станцию (ретранслятор), размещаемую на ИСЗ, получил название «*спутниковый канал*». Соответствующие названия получили: род связи – «*спутниковая связь*», система передачи – «*спутниковая система передачи*» (ССП), система связи – «*система спутниковой связи*» (ССС).

Введем следующие определения.

Спутниковая связь – космическая радиосвязь между земными станциями, осуществляемая посредством ретрансляции радиосигналов через один или несколько спутников Земли [2].

Спутниковая система передачи – космическая система передачи, осуществляющая электросвязь между земными станциями этой системы с помощью установленных на ИСЗ ретрансляционных станций или пассивных спутников [2].

Система спутниковой связи – организационно-техническое объединение сил и средств спутниковой связи для обмена сообщениями между абонентами системы [2].

В целом космические системы передачи (КСП) в ТКС СН в зависимости от типа радиолинии подразделяются на следующие типы: «Земля – космос», «космос – космос», «Земля – космос – Земля».

Первые два типа являются КСП прямой видимости, а третий, как отмечалось выше, является КСП с ретрансляцией сигналов через ИСЗ, т. е. спутниковой системой передачи. Конечно, не исключается комбинированное построение КСП, например система «Земля – космос (космический ретранслятор) – космос (космическая станция)».

Для ССП в соответствии с рекомендациями Сектора стандартизации электросвязи (МСЭ-Т) органа Международного союза электросвязи различают три основные спутниковые службы:

1. *Фиксированная спутниковая служба* (ФСС) – служба радиосвязи между ЗС, расположенными в определенных, фиксированных пунктах при использовании одного или нескольких спутников;

2. *Подвижная спутниковая служба* (ПСС) – служба радиосвязи между подвижными ЗС. В соответствии с видом ЗС различают сухопутную, морскую и воздушную ПСС;

3. *Вещательная спутниковая служба* (ВСС) – для непосредственного радио- или телевизионного вещания с использованием индивидуальных или коллективных приемных устройств.

Очевидно, что КСП прямой видимости (типов «Земля – космос» и «космос – космос») всегда относятся к подвижной службе радиосвязи. В частности, служба, обеспечивающая связь между ИСЗ, называется межспутниковой службой радиосвязи.

По охватываемой территории и назначению космические (спутниковые) системы связи можно разделить на глобальные, региональные и национальные.

Как сказано выше, ССС в настоящее время получили настолько широкое развитие, что берут на себя функции основного рода связи, т. е. обеспечивают передачу всех видов сообщений и сигналов.

Основные характристики систем спутниковой связи

Характеристики ССС можно разделить на общесистемные, а также на частные характерисики земных и космических станций. К основным характеристикам ССС относятся следующие.

Зона обслуживания ИСЗ – это часть земной поверхности, на которой достигается заданное значение плотности потока излучаемой ретранслятором мощности (по крайней мере, в течение заданного интервала времени) и обеспечиваются необходимые защитные условия по уровню взаимных помех по отношению к другим радиосистемам.

Зона обслуживания системы – это совокупность (объединение) зон обслуживания отдельных ИСЗ, входящих в систему. Термин «объединение» (а не сумма) применен потому, что зоны отдельных ИСЗ обычно перекрываются между собой, и поэтому общая зона оказывается по площади меньше суммы площадей отдельных зон.

Пропускная способность ИСЗ оценивается максимальным числом стандартных телефонных каналов либо числом двоичных символов в секунду, которое можно передать через данный ИСЗ. Разумеется, о пропускной способности ИСЗ можно говорить лишь условно, поскольку она зависит от излучаемой мощности, добротности применяемых в системе земных станций и вида используемых сигналов; по существу, пропускная способность – это характеристика системы, а не отдельного ИСЗ.

Кроме того, ССС характеризуется *числом и местоположением ЗС*, *числом ИСЗ* и *типом их орбиты*. Характеристиками системы являются также число стволов ретранслятора на ИСЗ, их энергетические свойства и полоса пропускания, значение центральных частот стволов на участках Земля – спутник и спутник – Земля.

Одной из важнейших характеристик системы является *метод многостанционного доступа* – метод совмещения сигналов, излучаемых различными ЗС, для их прохождения через общий ствол бортового ретранслятора (БРТК) космической станции. Многостанционный доступ (МД) применяют потому, что обычно оказывается непрактичным или невозможным создать число стволов на ИСЗ, равное числу ЗС, одновременно работающих в системе. Применяют МД с разделением сигналов по частоте, времени, форме. Всякий способ МД приводит к потере пропускной способности ствола (по сравнению с односигнальным режимом) до 3-6 дБ, хотя в наиболее совершенных системах (с временным разделением – МДВР) эти потери могут не превышать 0,5-2 дБ.

Основные характеристики земных станций

Диапазоны частот на прием и передачу, на работу в которых рассчитано оборудование станции – антенна, приемное и передающее оборудование.

Добротность станции на прием G/T – отношение усиления антенны (в дБ на частоте приема) к суммарной шумовой температуре станции (в дБ относительно 1 К); достигает 42 дБ/К для самых больших, применяемых на практике антенн (диаметром 32 м), и составляет 20-32 дБ/К для ЗС большинства национальных и региональных систем.

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) – произведение мощности передатчика (в Вт) на усиление антенны (в дБ в полосе передачи) относительно изотропной антенны; обычно имеет значение в пределах 50-95 дБ Вт. Для упрощенного расчета взаимных помех между КСП часто указывают *максимальную спектральную плотность излучаемого ЗС потока мощности* (Вт/м^2·Гц).

Диаметр антенны определяет размеры и стоимость ЗС, а также ее пространственную избирательность; в случае, если в системе используется разделение сигналов по поляризации, необходимо знать поляризационные характеристики антенны и указывать, с какой поляризацией станция работает на передачу и прием.

Антенна ЗС характеризуется также параметрами опорно-поворотного устройства и системы наведения антенны на ИСЗ; так, различают антенны *полноповоротные*, способные направляться в любую точку небосвода, и антенны *неполноповоротные*, имеющие ограниченную область оперативного наведения на источник сигнала.

Основные характеристики космических станций

В основном космическая станция характеризуется теми же показателями, что и ЗС: рабочим диапазоном частот стволов, добротностью приемников, ЭИИМ передатчиков, поляризацией излучаемых и принимаемых сигналов. Однако значения ряда параметров существенно отличаются от указанных выше для ЗС. Так, добротность приемного тракта ретранслятора обычно составляет от –20 до +3 дБ/К (что вызвано не только меньшими размерами антенны, но и применением более простого и обладающего большей шумовой температурой входного малошумящего усилителя), ЭИИМ, как правило, не превышает 23-45 дБ Вт.

Важной характеристикой бортового ретранслятора космической станции является число стволов.

Стволом ретранслятора или ЗС, или *стволом ССС*, будем называть приемопередающий тракт, в котором радиосигнал (радиосигналы) проходит через общие усилительные элементы (общий выходной каскад передатчика) в некоторой выделенной стволу общей полосе частот. Очевидна некоторая условность такого определения, во всяком случае, для ЗС.

Более четкое значение понятия «ствол» сохраняется для бортового ретранслятора. Весь диапазон частот, в котором работает система связи, принято делить на некоторые участки полосы (шириной 35-40, 80-120 МГц), усиление сигналов в которых осуществляется отдельным трактом – стволом.

Число стволов, одновременно действующих на ИСЗ, составляет обычно 6-12, достигая на наиболее мощных ИСЗ 27-48. Сигналы этих стволов разделяются по частоте, пространству и поляризации. Числом стволов, их полосой пропускания и ЭИИМ определяется в основном важнейший суммарный показатель ИСЗ – его *пропускная способность,* т. е. число организуемых через ИСЗ каналов – телефонных и телевизионных, либо в более общем виде число двоичных единиц в секунду, которое можно передать через данный ИСЗ.

В зависимости от ширины диаграммы направленности бортовых антенн ИСЗ (или его отдельного ствола, если антенн на борту несколько и они различны) характеризуется *зоной покрытия* – частью поверхности земного шара, в пределах которой обеспечивается уровень сигналов от ИСЗ, необходимый для их приема с заданным качеством на ЗС определенной добротности, а также гарантируется способность принять на входе ИСЗ сигналы от ЗС, обладающих определенной ЭИИМ. Очевидно, что зона покрытия ИСЗ характеризует ССС, а не только собственно ИСЗ.

Наконец, важнейшим показателем ИСЗ, определяющим не только надежность и бесперебойность связи, но, прежде всего, экономические характеристики всей системы связи, является *срок службы ИСЗ* – время наработки до полного отказа хотя бы одного (или нескольких, в зависимости от технических требований) из стволов космической станции, определяемое с высокой вероятностью – обычно 0,9 и более. В современных ИСЗ достигается срок службы 10-15 лет и более, благодаря высокой надежности элементов, а также гибкой и разветвленной схеме резервирования.

1.2. Структура и задачи спутникового связного комплекса

Космический, в частности *спутниковый связной комплекс* (ССК), представляет собой организационно-техническое объединение взаимосвязанных элементов (систем), обеспечивающих выполнение системой спутниковой связи ее функциональных задач в различных условиях. В составе ССК можно выделить, в свою очередь, следующие комплексы [2]:

1) комплекс связных спутников;

2) комплекс земных станций;

3) комплекс управления связными спутниками, включающий наземный автоматизированный и бортовой комплексы управления (НАКУ и БКУ) ИСЗ и центр оперативно-технического управления связными спутниками (ЦОТУСС);

4) ракетно-космический комплекс.

Комплекс связных спутников, размещаемых на околоземной орбите, обеспечивает ретрансляцию сигналов ЗС. Группировка ИСЗ должна включать такое их количество, чтобы суммарная пропускная способность их ретрансляторов перекрывала потребности в обмене информацией всего комплекса ЗС. Важное значение имеет выбор орбит ИСЗ, так как от этого в значительной степени зависит время связи через данный ретранслятор.

Комплекс ЗС представляет совокупность центральной (ЦС), узловых (УС) и периферийных (ПС) станций, связанных через ретрансляторы ИСЗ между собой, а через узлы связи или непосредственно – с абонентами наземной системы связи. Управление земными станциями осуществляется центром управления спутниковой связью, совмещаемым, как правило, с центральной станцией. Для контроля качества спутниковых каналов и непосредственного управления земными станциями могут использоваться контрольные земные станции, включаемые, как правило, в состав ЦС. Таким образом, непосредственный обмен информацией обеспечивается с помощью земных станций и космических ретрансляторов, составляющих основу ССС.

Комплекс управления связными спутниками обеспечивает их функционирование в составе ССС. Наземный автоматизированный комплекс управления, включающий центр НАКУ и отдельные командно-измерительные комплексы (КИК), осуществляет прием со спутника и обработку необходимых для управления видов информации (телеметрической, траекторной и др.), выработку и передачу на борт ИСЗ командно-программной информации. БКУ ИСЗ выполняет задачи сбора и передачи на Землю указанных выше видов информации, прием КПИ и непосредственное управление спутником. ЦОТУСС осуществляет формирование и выдачу на борт через элементы НАКУ программ и команд управления режимом функционирования ретранслятора. Эти задачи ЦОТУСС решает при непосредственном взаимодействии с ЦУСС.

Ракетно-космический комплекс обеспечивает создание (запуск) орбитальной группировки связных спутников и восстановление ее в процессе функционирования ССС. Ракетно-космический комплекс включает ракеты-носители (РН) космических аппаратов, технический комплекс для подготовки ракет и ИСЗ к запуску, а также и стартовый комплекс для их запуска. Полигонный измерительный комплекс осуществляет контроль и коррекцию траектории РН на активном участке с целью вывода ИСЗ на заданную орбиту.

1.3. Особенности передачи сигналов по спутниковым радиолиниям

Особенности передачи сигналов по спутниковым радиолиниям (СРЛ) определяются следующими факторами [1]:

– большой высотой орбиты спутника при организации через него направлений связи;

– перемещением ИСЗ в пространстве относительно обслуживаемой территории (за исключением спутников на стационарных орбитах).

С учетом этих факторов можно сформулировать следующие особенности СРЛ.

1. Большая дальность связи при использовании одного ретранслятора. Это упрощает структуру ССС и снижает стоимость спутниковых каналов по сравнению с наземными радиорелейными и проводными каналами.

2. Обеспечение возможности работы через один ретранслятор большому числу ЗС, в том числе территориально разнесенных на значительные расстояния.

3. Излучение электромагнитных волн в СРЛ под большим углом возвышения, что практически исключает влияние поверхности Земли на прохождение сигналов.

4. Высокие требования к энергетике спутниковых радиолиний из-за большой их протяженности (до десятков тысяч километров).

5. Запаздывание передаваемого сигнала вследствие большого времени распространения его по трассе «Земля – спутник – Земля». Для высокоэллиптических и стационарных орбит связных спутников запаздывание сигнала может составлять величину 0,2-0,5 с, что создает определенные проблемы при организации телефонии, поскольку абонент принимает информацию с задержкой. Кроме того, запаздывание при передаче речевых сигналов приво-

дит к появлению эхосигнала, т. е. прослушиванию абонентом собственной речи. В наземных радиолиниях при задержке отраженного сигнала, не превышающей 60 мс, эхосигнал практически сливается с основным. В СРЛ эхосигнал возвращается с бо́льшим опозданием по отношению к передаваемому и тем самым снижает качество связи. Поэтому необходимо ослаблять эхосигнал с помощью эхозаградителей, устанавливаемых в каждом телефонном канале.

6. Доступность ИСЗ средствам радиоэлектронного подавления (РЭП). Значительная удаленность спутников от поверхности Земли делает их радиовидимыми и доступными со значительных территорий. В частности, зона радиовидимости, из пределов которой могут воздействовать наземные средства РЭП, для высокоорбитальных спутников составляет около 1/3 поверхности Земли. Для противодействия низкоорбитальным спутникам, перемещающимся, например, над районом Кавказа, на высотах 800...1 500 км, могут быть использованы постановщики помех, размещенные в странах Западной Европы и Ближнего Востока.

7. Периодический уход ИСЗ из зоны радиовидимости ЗС. Это обусловливает необходимость переподключения ЗС от одного спутника к другому, при этом нарушается непрерывность временных и частотных характеристик передачи. Устранение влияния на связь этого эффекта требует применения дополнительных, довольно сложных устройств.

8. Необходимость постоянного слежения антенн ЗС за положением ИСЗ. При использовании на ретрансляторах антенн с узкими диаграммами направленности (менее 3°) возникает и обратная задача слежения бортовой антенны за положением ЗС.

9. Доплеровский сдвиг частоты сигнала в радиолинии. Изменение частоты (абсолютное значение) определяется выражением

$$\Delta f_{\text{д}} \approx f_0 \frac{V_r}{c}, \tag{1.1}$$

где f_0 – номинальное значение частоты сигнала; V_r – модуль радиальной скорости спутника относительно ЗС; c – скорость распространения электромагнитных волн.

Для спутников типа «Молния» относительная величина доплеровского сдвига $\Delta f_{\text{д}} / f_0$ может составлять величину $1{,}2 \cdot 10^{-5} \ldots 2{,}5 \cdot 10^{-5}$, что в СВЧ диапазоне создает необходимость учета эффекта Доплера при ретрансляции и приеме сигналов.

В ССС доплеровский сдвиг проявляется, во-первых, как нестабильность частоты ретранслируемых сигналов, обусловливающих необходимость использования в приемниках устройств поиска и сопровождения сигнала по частоте. Во-вторых, доплеровский сдвиг вызывает искажение спектра сигнала, так как частотные составляющие разных участков спектра изменяются в соответствии с (1.1) на разную величину. Поэтому при использовании сигналов, ширина спектра которых составляет от нескольких мегагерц и более, применяются специальные устройства предискажения спектра в передатчике и коррекции спектра в приемнике.

Частоты, используемые в спутниковой связи, строго регламентируются международными организациями. Это необходимо для достижения совместимости различных систем, а также для предотвращения взаимных помех при работе различных служб. В 1977 г. состоялась Всемирная административная радиоконференция по планированию вещательной спутниковой службы, на которой был принят ныне действующий Регламент радиосвязи. В соответствии с ним вся территория Земли разделена на три района, для вещания в каждом из которых выделены свои полосы частот. Район 1 включает Африку, Европу, Россию, Монголию и страны СНГ. Район 2 охватывает территорию Северной и Южной Америки. К району 3 относятся территории Южной и Юго-Восточной Азии, Австралии и островных государств Тихоокеанского региона.

В соответствии с этим регламентом для ССС выделено несколько диапазонов частот (табл. 1.1), каждый из которых получил условное обозначение буквой латинского алфавита.

Таблица 1.1

Диапазоны частот ССС

Наименование диапазона	Диапазон частот, ГГц
L-диапазон	1,525-1,710
S-диапазон	2,5-2,690
C-диапазон	3,4-4,2; 4,5-4,8; 5,85-7,075
X-диапазон	7-10,7
Ku-диапазон	10,7-13,25; 14,0-14,5
Ka-диапазон	27,5-30,0
V-диапазон	37,5-42,5; 47,2-50,2
W-диапазон	75-110

1.4. Характеристика и параметры орбит ИСЗ. Орбиты ИСЗ современных ССС

Наиболее существенное влияние на характеристики ССС, в частности, на время работы ЗС через данный ИСЗ, оказывают высота рабочего участка его орбиты над поверхностью Земли (H) и форма орбиты. В соответствии с этим орбиты подразделяются на три группы [1]:

– низкие ($H < 5$ тыс. км);

– средние ($5 < H < 20$ тыс. км);

– высокие ($H > 20$ тыс. км).

Основное применение в ССС находят высокие орбиты двух типов: вытянутые эллиптические и круговые. В качестве первых наиболее широко используются орбиты с максимальным удалением ИСЗ от поверхности Земли $H \approx 40\,250$ км и периодом обращения 12 ч (орбиты ИСЗ типа «Молния»). Из круговых орбит наибольшее применение находят так называемые геостационарные орбиты (ГСО). В этом случае спутник движется в экваториальной плоскости в направлении вращения Земли на высоте $H \approx 35\,875$ км, с периодом обращения 24 ч. Вследствие совпадения периода обращения спутника вокруг Земли и периода вращения Земли вокруг своей оси спутник на ГСО будет оставаться неподвижным относительно наземного наблюдателя.

Важное значение для решения задач ССС имеет оперативность ретрансляции сигналов. По этому признаку различают космические ретрансляторы с ретрансляцией в реальном масштабе времени и с задержанной ретрансляцией. В ретрансляторах второго типа принимаемые сигналы поступают в запоминающее устройство и переизлучаются через некоторое время в зависимости от условий работы ретранслятора. Такой принцип ретрансляции используется в специальных системах, большинство же современных ССС используют ретрансляцию без задержки сигнала.

Для упрощенного расчета параметров орбиты используется модель невозмущенного движения ИСЗ. Невозмущенное движение ИСЗ происходит под действием поля притяжения Земли в предположении, что Земля представляет собой однородный шар (такое поле называется центральным). Движение ИСЗ в центральном поле притяжения Земли определяется тремя основными законами небесной механики (законами Кеплера). Полагая, что можно пренебречь массой ИСЗ m по сравнению с массой Земли $M \approx 5{,}974 \cdot 10^{24}$ кг, законы Кеплера можно сформулировать в следующем виде:

– движение спутника происходит в неподвижной плоскости по кривой второго порядка, представляющей собой коническое сечение (в частном случае – эллипс, один из фокусов которого совпадает с центром масс Земли);

– радиус-вектор ИСЗ в равные промежутки времени описывает равные площади (рис. 1.2);

– отношение квадратов периодов обращения спутников вокруг Земли равно отношению кубов больших полуосей эллипсов их орбит.

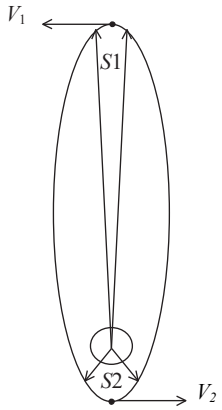


Рис. 1.2. Движение ИСЗ по орбите

Наиболее распространенный тип орбиты ИСЗ – эллипс. Эта замкнутая кривая характеризуется двумя примечательными точками – фокусами F_1 и F_2 (рис. 1.3).

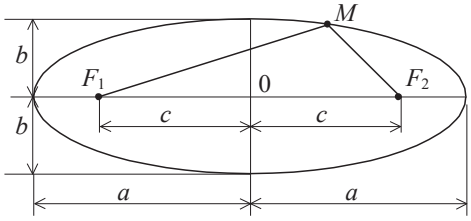


Рис. 1.3. Орбита ИСЗ типа эллипс

Фокусы расположены симметрично, на расстоянии c от центра эллипса. Примечательность фокусов состоит в том, что, какую бы точку M на эллипсе мы не выбрали, сумма расстояний от этой точки до фокусов (отрезки F_1M и MF_2) всегда будет одинакова и равна $2a$. На этом свойстве основано математическое определение эллипса. Размеры эллипса определяются длиной большой оси $2a$ и длиной малой оси $2b$ (для расчетов обычно пользуются длинами полуосей – a и b). Форма эллипса характеризуется параметром $e = c / a$, который называется *эксцентриситетом*. Для эллипса эксцентриситет находится в пределах от 0 до 1. Чем больше эксцентриситет, тем более вытянута орбита. Окружность является частным случаем эллипса $(e = 0)$, т. е эллипсом, у которого оба фокуса слились в одну точку – центр окружности.

В табл. 1.2 приведены значения периодов обращения спутников для некоторых значений большой полуоси орбиты a. В этой же таблице даны соответствующие значения высоты спутника H над поверхностью Земли для круговых орбит и расстояния до апогея H_a от поверхности Земли при фиксированном расстоянии до перигея $H_п$ для эллиптических орбит.

При определении параметров орбит, текущих координат спутника и эфемерид – заранее вычисленных положений ИСЗ в заданной системе координат для различных моментов времени – используются различные системы координат. В дальнейшем будем использовать следующие системы координат (СК): абсолютная геоцентрическая, относительная геоцентрическая, орбитальная и топоцентрическая.

Таблица 1.2

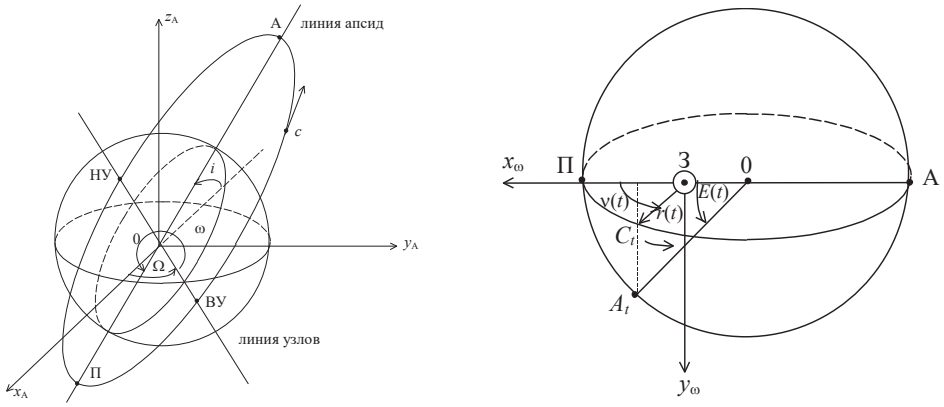
Значения периодов обращения спутников

Период обращения, ч	Длина полуоси, км	Высота круговой орбиты, км	Высота эллиптической орбиты	
			апогей, км	перигей, км
6	17 120	10 750	21 000	500
8	20 620	12 250	28 000	500
12	26 745	20 375	40 250	500
24	42 245	35 875	71 250	500

В абсолютной геоцентрической системе координат $0X_AY_AZ_A$ (см. рис. 1.4, *а*) ее начало совпадает с центром масс Земли, ось X_A направлена в точку весеннего равноденствия (точка на пересечении небесной сферы с плоскостью экватора, в которой Солнце в день весеннего равноденствия переходит из южного полушария в северное), ось Z_A направлена на север, а ось Y_A дополняет систему до правой.

Относительная геоцентрическая СК $0X_0Y_0Z_0$ отличается от абсолютной тем, что ее оси X_0 и Y_0 связаны непосредственно с экваториальной плоскостью, т. е. система вращается вместе с Землей. Конкретный вид относительной СК будет определяться положением в экваториальной плоскости осей X_0 и Y_0. При определении текущих координат спутника используются три вида относительных СК: с направлением оси X_0 на гринвический меридиан, на меридиан расположения данной земной станции и система координат, в которой на меридиан данной ЗС направлена ось Y_0.

Орбитальная (неподвижная) СК $0X_0Y_0Z_0$ (рис. 1.4, *б*) имеет в качестве опорной плоскость орбиты, а начало координат совпадает с центром масс Земли. Ось X_0 направлена по линии апсид в сторону перигея, ось Y_0 повернута на 90° в сторону движения спутника, а ось Z_0 дополняет систему до правой. Эта система координат является исходной для первоначального определения текущих координат ИСЗ и последующего расчета их в других СК.



а) б)

Рис. 1.4. Геометрические элементы орбиты в различных СК

Рассмотрим основные геометрические элементы орбит (рис. 1.4, *а*, *б*), которые необходимо использовать при определении параметров орбиты и расчете текущих координат спутника в той или иной системе координат. Ближайшая и наиболее удаленная точки орбиты от центра (или от поверхности) Земли называются перигеем и апогеем (точки П и А), а прямая, их соединяющая, – линией апсид. Отрезок линии апсид между перигеем и апогеем

образует большую ось эллипса орбиты $2a$. Перигейное и апогейное расстояния от центра Земли будем обозначать соответственно $h_П$ и $h_А$, а от поверхности Земли – $H_П$ и $H_А$.

Очевидно, что

$$a = \frac{h_П + h_А}{2} = R_З + \frac{H_П + H_А}{2}. \quad (1.2)$$

Обозначая символом c фокусное расстояние эллипса орбиты (расстояние от центра орбиты 0 до любого фокуса), получаем значение эксцентриситета орбиты:

$$e = \frac{c}{a} = \frac{h_П + h_А}{2a}, \quad (1.3)$$

и малой полуоси:

$$b = a\sqrt{1 - e^2}. \quad (1.4)$$

Положение спутника на орбите определяется (рис. 1.4, *б*) длиной радиуса-вектора $r(t)$ и истинной аномалией. Наряду с истинной аномалией широкое применение находит эксцентрическая аномалия $E(t)$. Она измеряется углом между линиями, соединяющими центр орбиты 0 с перигеем П и с точкой A_t, лежащей на пересечении окружности радиуса a, проведенной из центра эллипса, и перпендикуляра к линии апсид, проходящего через центр масс спутника C_t.

Линия пересечения плоскости орбиты с плоскостью экватора (см. рис. 1.4, *а*) называется ***линией узлов***. Точка пересечения линии узлов и орбиты, в которой спутник переходит из южного полушария в северное, называется *восходящим узлом* (ВУ); аналогичная точка, в которой спутник переходит в южное полушарие, называется *нисходящим узлом* (НУ).

Движение спутника в поле тяготения Земли полностью характеризуется *шестью независимыми параметрами*, позволяющими определить координаты спутника и их производные (составляющие вектора скорости) в любой момент времени. Поскольку в соответствии с первым законом Кеплера плоскость невозмущенной орбиты неподвижна в пространстве относительно центра масс Земли, то для определения параметров используется абсолютная геоцентрическая система координат. Очевидно, что выбранные параметры должны определять положение плоскости орбиты в пространстве, т. е. относительно экваториальной плоскости (два параметра), положение самой орбиты в ее плоскости, т. е. положение линии апсид (один параметр), форму орбиты (два параметра) и положение спутника на орбите в заданный момент времени (один параметр).

Таким образом, движение спутника определяют следующие параметры (рис. 1.4, *а*).

1. *Наклонение орбиты* i – двугранный угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора, численно равный углу между линией апсид и ее проекцией на плоскость экватора с положительным отсчетом против часовой стрелки со стороны ВУ. В зависимости от того, в одинаковые или противоположные стороны направлены проекция вектора скорости спутника и вектор скорости Земли при ее суточном вращении, различают *прямые* и *обратные* орбиты.

Наклонение орбиты может меняться в пределах только от 0 до 180°, так как при прохождении плоскости орбиты через плоскость экватора восходящий и нисходящий узлы меняются местами. В зависимости от значения i различают *экваториальные* ($i = 0$ или 180°), *полярные* ($i = 90°$) и *наклонные* (для других значений i) орбиты.

Следует отметить, что при $i < 90°$ орбита является прямой, а при $i > 90°$ – обратной.

2. *Долгота восходящего узла* (ДВУ) – угол в плоскости экватора от оси $0X_A$ до линии узлов в направлении восходящего узла с положительным отсчетом по направлению движения Земли.

При решении ряда задач, в частности, при вводе исходных данных для расчета текущих координат спутников, удобнее использовать *относительную долготу восходящего узла* (ОДВУ), которая определяется аналогично обычной, но в относительной геоцентриче-

ской СК, ось X_0 которой направлена на гринвический меридиан. Очевидно, что ОДВУ является функцией текущего времени.

Целесообразность использования ОДВУ обусловливается тем, что для различных эллиптических орбит ИСЗ типа «Молния», используемых в ССС, ее значение, отсчитываемое в момент прохождения спутником восходящего узла t_0, оказывается одним и тем же, т. е. данная величина удобна в качестве исходного параметра для расчетов.

3. *Аргумент перигея* – угол в плоскости орбиты от линии узлов в направлении на восходящий узел до линии апсид в направлении на перигей с положительным отсчетом по ходу движения спутника.

4. *Большая полуось орбиты a*.

5. *Эксцентриситет орбиты e*. Взаимосвязь параметров a и e с $h_П$, $h_А$ или $H_П$, $H_А$ (расстояние от центра или поверхности Земли до перигея и апогея) определяется выражениями (1.2) и (1.3).

6. *Момент прохождения спутником восходящего узла* t_0. Этот параметр позволяет определить положение спутника на орбите в любой момент времени. В некоторых случаях вместо параметра t_0 используется функционально связанный с ним параметр $t_П$ – момент прохождения спутником перигея.

Рассмотрим основные виды орбит, используемых в современных ССС. Помимо высоты, формы и наклонения орбиты, рассмотренных выше, классификационными параметрами орбиты также являются:

– направление движения ИСЗ относительно направления вращения Земли – прямые (направления движения совпадают) и обратные;

– период обращения – синхронные (период обращения ИСЗ кратен периоду вращения Земли, к примеру, 12 ч, 6 ч, 24 ч, 48 ч) и асинхронные.

В современных ССС используются следующие типы орбит: геостационарные, средневысотные и низковысотные орбиты. Геостационарные орбиты являются синхронными с периодом обращения 24 часа, экваториальными, высокими. Общая характеристика ряда орбит приведена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Характеристики орбит современных ССС

Показатель	Геостац.	Средневыс.	Низковыс.
Высота орбиты, км	36 000	5 000-15 000	500-2 000
Количество ИСЗ в орбитальной группировке	3	8-12	48-66
Зона покрытия одного ИСЗ (угол радиовидимости 50°), % от поверхности Земли	34	25-28	3-7
Среднее время пребывания ИСЗ в зоне радиовидимости земного наблюдателя	24 ч	1,5-2 ч	10-15 мин
Задержка при передаче речи, мс			
– региональная связь	500	80-130	20-70
– глобальная связь	600	250-400	170-300
Время переключения, мин:			
– с одного спутника на другой	–	50	8-10
– из одного луча в другой	10-15	5-6	1,5-2,0
Угол радиовидимости ИСЗ на границе зоны обслуживания, град.	5	15-25	10-15

Геостационарные орбиты. Большинство существующих ССС используют наиболее выгодную для размещения спутников орбиту – геостационарную (ГСО), основными достоинствами которой являются возможность непрерывной круглосуточной связи в глобальной зоне обслуживания и практически полное отсутствие сдвига частоты, обусловленного доплеровским эффектом.

Геостационарные спутники как бы «зависают» над определенной точкой земной поверхности, которая располагается на экваторе (так называемой подспутниковой точкой). Связь через геостационарный ИСЗ, таким образом, не имеет перерывов в обслуживании, обусловленных взаимным перемещением спутника и наземной станции.

Зона радиовидимости для ИСЗ на ГСО в силу его неподвижности относительно поверхности Земли остается неизменной в течение всего срока функционирования. Для ГСО наклонение и эксцентриситет равны нулю, высота орбиты примерно равна 36 000 км.

Один ИСЗ обслуживает около 36 % территории земного шара. С использованием трех ИСЗ может быть создана практически глобальная система связи.

Недостатками геостационарной орбиты являются невозможность обеспечения связью приполярных областей (расположенных выше 76,5° северной и южной широты) и значительные энергетические затраты для выведения ИСЗ на орбиту, особенно при отсутствии стартовых комплексов на экваторе.

Кроме того, такие системы имеют и ряд недостатков связи, главный из которых – задержка сигнала. Спутники на ГСО оптимальны для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс (в каждом направлении) не сказываются на качественных характеристиках сигналов. Системы радиотелефонной связи более чувствительны к задержкам, а поскольку суммарная задержка в системах данного класса составляет около 600 мс (с учетом времени обработки и коммутации в наземных сетях), то теряется ощущение непрерывного диалога говорящих.

Зона охвата геостационарных ИСЗ не включает в себя высокоширотные районы, т. е. действительно глобальное обслуживание не гарантируется. Следует также отметить, что геостационарные ИСЗ могут обеспечить услуги персональной связи лишь в том случае, если формируемые ими на поверхности Земли зоны обслуживания и зоны, образуемые низкоорбитальными спутниками, примерно одинаковы.

Средневысотные орбиты. Средневысотные системы обеспечивают более качественные характеристики обслуживания подвижных абонентов, чем геостационарные, поскольку в поле зрения абонента одновременно находится большое число ИСЗ. Так, радиовидимость двух спутников в системе обеспечивается в течение 95% суточного времени, причем хотя бы один из ее ИСЗ виден под углом более 30°. Это, в свою очередь, позволяет снизить дополнительный энергетический запас радиолинии, необходимый для компенсации потерь на распространение в ближней зоне (при наличии в ней деревьев, зданий и других преград).

Средневысотные спутники выигрывают у геостационарных по энергетическим показателям, но проигрывают им по продолжительности пребывания ИСЗ в зоне радиовидимости наземных станций (1,5-2 ч).

Период обращения спутника вокруг Земли для средневысотных круговых орбит составляет около 6 ч (при высоте 10 350 км), из которых в тени Земли ИСЗ находится лишь несколько минут.

Низкие круговые орбиты. В зависимости от величины наклонения плоскости орбиты относительно плоскости экватора различают низкие экваториальные (наклонение 0°), полярные (наклонение 90°) и наклонные орбиты. В настоящее время наиболее интенсивно осваиваются низкие наклонные и полярные орбиты высотой 700…1 500 км, а также экваториальные высотой 2 000 км.

Спутники на низких орбитах обладают значительными преимуществами перед другими ИСЗ по энергетическим характеристикам, но проигрывают им в продолжительности сеансов связи и времени активного существования ИСЗ. Если период обращения спутника составляет 100 мин, то в среднем 30% времени он находится на теневой стороне Земли.

Чем меньше высота орбиты, тем меньше мгновенная зона обслуживания, а следовательно, для глобального охвата требуется значительно большее количество спутников. Если низкоорбитальная система должна обеспечить глобальную связь с непрерывным обслуживанием, то необходимо, чтобы в орбитальную группировку входило не менее 48 ИСЗ. Период

обращения спутника на этих орбитах составляет от 90 мин до 2 ч, а максимальное время пребывания ИСЗ в зоне радиовидимости не превышает 10…15 мин.

Эллиптические орбиты. Основным параметром, характеризующим тип эллиптической орбиты, является период обращения спутника вокруг Земли. В настоящее время используются несколько типов эллиптических орбит с большим эксцентриситетом – «Борелис» (Borealis), «Архимед» (Archimedes), «Молния» и «Тундра». Все указанные орбиты являются синхронными, т. е. спутник, выведенный на такую орбиту, вращается со скоростью Земли и имеет период обращения, кратный времени суток.

Для спутников на эллиптической орбите характерно то, что их скорость в апогее значительно меньше, чем в перигее. Следовательно, ИСЗ будет находиться в зоне видимости определенного региона в течение более длительного времени, чем спутник, орбита которого является круговой.

Так, выведенный на орбиту ИСЗ «Молния» (апогей – 40 000 км, перигей – 460 км, наклонение – 63,50°) обеспечивает сеансы связи продолжительностью 8-10 ч, причем система всего из трех спутников поддерживает глобальную круглосуточную связь. Эллиптические орбиты с более низким апогеем, например «Борелис» (апогей – 7 840 км, перигей – 520 км) или «Архимед» (апогей – 26 737 км, перигей – 1 000 км), предназначены для обеспечения региональной связи.

ИСЗ с более низким апогеем выигрывают у спутников на высокоэллиптических орбитах по энергетическим характеристикам, проигрывая им в продолжительности сеансов. Для обеспечения непрерывной круглосуточной связи с использованием синхронно-солнечных орбит «Борелис» потребуется не менее 8 ИСЗ, расположенных в двух орбитальных плоскостях по четыре спутника в каждой плоскости. Они позволят обслуживать абонентов при углах радиовидимости ИСЗ не менее 250°.

Системы с ИСЗ на эллиптических орбитах также не лишены «природных» ограничений. Постоянство местоположения ИСЗ на эллиптической орбите обеспечивается только при двух значениях наклонения плоскости орбиты к экватору – 63,40° и 116,60°. Это объясняется воздействием неоднородностей гравитационного поля Земли, из-за которого большая ось эллиптической орбиты испытывает вращательный момент, что приводит к колебаниям широты подспутниковой точки в апогее. Характеристики эллиптических орбит приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Характеристики эллиптических орбит

Тип орбиты ИСЗ	Высота апогея ИСЗ*, км	Период обращения ИСЗ, ч	Число витков ИСЗ в сутки
«Борелис»	7 840	3	8
«Архимед»	28 000	8	3
«Молния»	40 000	12	2
«Тундра»	71 000	24	1

* Высота перигея для всех указанных типов орбит составляет 500 км.

ИСЗ на витке продолжительное время имеет значительную зону радиовидимости, положение которой на поверхности Земли полностью определяется положением апогея орбиты. В связи с этим можно сразу определить одно из основных требований к эллиптической орбите в ССС: наклонение орбиты должно быть близко к 63,4°, т. к. только в этом случае обеспечивается постоянство зоны радиовидимости за счет стабильности положения апогея орбиты. Одновременно с этим для обеспечения стабильности зон радиовидимости необходимо использовать орбиту с трассой подспутниковой точки (точки пересечения радиус-вектора ИСЗ с поверхностью Земли), повторяющейся на поверхности Земли. Для этого период обращения ИСЗ должен быть кратным звездным суткам (8, 12, 24 ч).

Наиболее предпочтительной является орбита с периодом обращения 12 ч, т. к. в этом случае имеют место значительные размеры зоны радиовидимости, а высота апогея позволяет

обеспечить вполне допустимые задержки сигнала при распространении. Высокоэллиптическая орбита с параметрами i=63,4°; $H_а$=40 000 км; $H_п$=500 км; ω=280°; λ=68°; T=12 ч; с апогеем в северном полушарии используется с 1964 г. для спутников «Молния». За сутки ИСЗ делает два витка. Виток, имеющий восходящий узел в восточном полушарии, называется основным. У следующего витка восходящий узел будет находиться в западном полушарии. Этот виток называется сопряженным. Орбиты этих ИСЗ определенным образом ориентируются в пространстве, а движение самих ИСЗ синхронизируется по времени.

1.5. Определение параметров орбит ИСЗ по двухуровневому идентификатору

Идентификатор TLE – двухстрочный формат данных, представляющий собой набор элементов орбиты для спутника Земли. Формат TLE был определен Командованием ПВО Североамериканского континента NORAD (North American Aerospace Defense Command) для определения положения космических объектов. Орбитальные элементы определяются для многих тысяч космических объектов из базы данных NORAD и доступны для дальнейшего использования в интернете. Двухстрочный идентификатор всегда состоит из двух строк формализованного текста. Кроме того, им может предшествовать строка с названием объекта.

Рассмотрим пример структуры двухстрочного идентификатора для одного из модулей международной космической станции.

ISS (ZARYA)

1 25544U 98067A 08264.51782528 –.00002182 00000–0 –11606–4 0 2927

2 25544 51.6416 247.4627 0006703 130.5360 325.0288 15.72125391563537

Эти данные расшифровываются следующим образом.

1. Заголовок (необязательная строка) TLE расшифровывается в соответствии с рис. 1.5 и табл. 1.5.

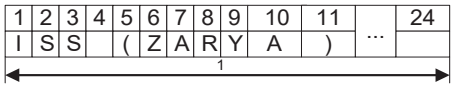


Рис. 1.5. Структура заголовка двухстрочного идентификатора TLE

Таблица 1.5

Значения полей заголовка TLE

Номер	Положение	Содержание	Пример
1	01-24	Название объекта	ISS (ZARYA)

2. Строка 1 (обязательная) расшифровывается в соответствии с рис. 1.6 и табл. 1.6.

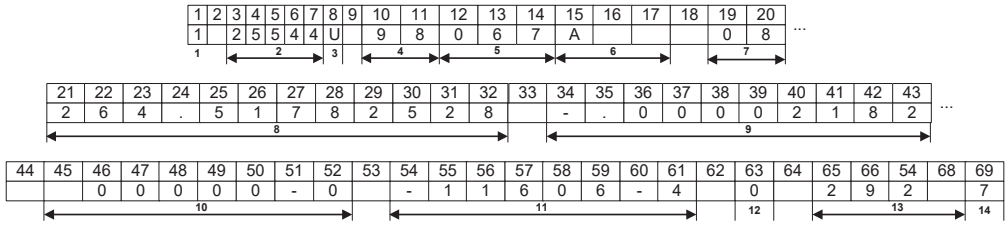


Рис. 1.6. Структура строки 1 двухстрочного идентификатора TLE

Таблица 1.6

Значения полей строки 1 идентификатора TLE

Номер	Положение	Содержание	Пример
1	01-01	Номер строки	1
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD	25 544
3	08-08	Секреность (U = Unclassified – не секретный)	U
4	10-11	Международное обозначение (последние две цифры г. запуска)	98
5	12-14	Международное обозначение (номер запуска в г.)	067
6	15-17	Международное обозначение (часть запуска)	A
7	19-20	год эпохи (последние две цифры)	08
8	21-32	Время эпохи (целая часть – номер дня в году, дробная – часть дня)	264,51782528
9	34-43	Первая производная от среднего движения (ускорение), деленная на два [виток/день×2]	–,00002182
10	45-52	Вторая производная от среднего движения, деленная на шесть (подразумевается, что число начинается с десятичного разделителя) [виток/день×6]	00000-0
11	54-61	Коэффициент торможения *B* (подразумевается, что число начинается с десятичного разделителя)	–11606-4
12	63-63	Изначально – типы эфемерид, сейчас – всегда число «0»	0
13	65-68	Номер (версия) элемента	292
14	69-69	Контрольная сумма по модулю 10	7

3. Строка 2 (обязательная) расшифровывается в соответствии с рис. 1.7 и табл. 1.7.

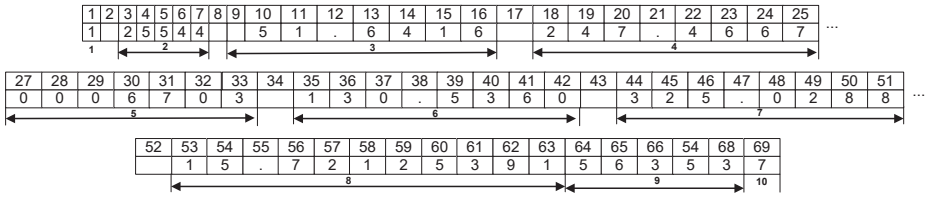


Рис. 1.7. Структура строки 2 двухстрочного идентификатора

Таблица 1.7

Значения полей строки 2 идентификатора TLE

Номер	Положение	Содержание	Пример
1	01-01	Номер строки	2
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD	25544
3	09-16	Наклонение в градусах	51,6416
4	18-25	Долгота восходящего узла в градусах	247,4627
5	27-33	Эксцентриситет(с десятичного разделителя)	0006703
6	35-42	Аргумент перицентра в градусах	130,5360
7	44-51	Средняя аномалия в градусах	325,0288
8	53-63	Частота обращения (оборотов в день) [виток/день]	15,72125391
9	64-68	Номер витка на момент эпохи	56353
10	69-69	Контрольная сумма по модулю 10	7

Контрольная сумма строк вычисляется путем сложения значащих цифр в строке. Для каждого знака «минус» (–) в строке к сумме добавляется 1. Все остальные символы игнорируются. В получившейся сумме берется последняя цифра.

Следует также помнить, что приведенные NORAD в двустрочных элементах аргумент перигея, наклонение и другие классические Кеплеровы элементы вычисляются при помощи усреднения в рамках специфической модели SGP4 или SDP4 и не являются Кеплеровыми элементами оскулирующей орбиты.

Значения из двухстрочного идентификатора не могут напрямую сравниваться с орбитальными элементами, полученными в рамках иной модели, или использоваться в другой модели для предсказания траекторий.

2. ВОЕННЫЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ

2.1. Военные системы спутниковой связи США

В США спутниковая связь является важнейшим элементом телекоммуникационной инфраструктуры специального назначения, обеспечивающим надежное управление группировками войск (сил) в глобальном масштабе. Американское военное ведомство уделяет значительное внимание совершенствованию систем спутниковой связи в целях повышения их пропускной способности, безопасности и защищенности [4-9]. Согласно принятой в США классификации, военная спутниковая связь подразделяется на три категории: защищенную, широкополосную и узкополосную.

Ресурсы всех ВССС между пользователями распределяет комитет начальников штабов. Основу орбитальной группировки ВС США составляют порядка около 35 ИСЗ на ГСО, зоны обслуживания которых охватывают земную поверхность в пределах от 65° с.ш. до 65° ю.ш. Для организации связи в северных широтах наряду с аппаратурой так называемого полярного дополнения, размещенной на военных ИСЗ на высоких эллиптических орбитах типа «Молния» (высота в апогее/перигее – 40 000/500 км, период обращения – 12 ч), используются ресурсы КССС «Iridium» (см. п. 2.2) на базе низкоорбитальных спутников. Радиолинии военной спутниковой связи функционируют в диапазонах Ka (44/20 ГГц), Ku (30/20 ГГц), X (8/7 ГГц) и УКВ (225-400 МГц), при этом значения частот диапазонов отличаются от общепринятого (см. п. 1.3).

2.1.1. Системы защищенной спутниковой связи

Системы защищенной спутниковой связи (Protected Military Satellite Communication) обеспечивают засекреченной помехоустойчивой связью органы управления и боевые подразделения стратегических сил, а также оперативно-тактические группировки сил общего назначения на ТВД в любых условиях обстановки [4-9].

Связь организована в Ka-диапазоне с помощью находящейся в эксплуатации системы «Milstar» (MilSTAR – Military Strategic and Tactical Relay – военная система стратегической и тактической связи), а также комплектов аппаратуры, установленных в качестве дополнительной полезной нагрузки на ИСЗ «Fltsatcom» (Fltsatcom – Fleet Satellite Communications – ССС ВМС США) и «UFO» (UFO – UHF Follow-On – УКВ система связи следующего поколения) категории узкополосной связи и на спутниках полярного дополнения. Для замены системы «Milstar», функционирующей уже более 20 лет, создается ВССС нового поколения – «AEHF» (AEHF – Advanced Extremely High Frequency – усовершенствованная ССС на высоких частотах), развертывание которой началось в 2010 г.

Защищенность линий и каналов связи этих систем от средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противника имеет в настоящее время наивысший уровень среди всех ВССС ИГ. Это достигается благодаря использованию: режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ) в широком диапазоне частот, узких управляемых лучей диаграммы направленности (ДН) ИСЗ и их адаптации к направлению на источнику радиопомех, криптографическому закрытию каналов связи с гарантированной стойкостью, а также использованию межспутниковых линий связи (МЛС).

ВССС «Milstar»

Система стратегической и тактической авиации «Milstar» разрабатывалась в 1980-х гг. для обеспечения надежной связью военно-политического руководства и ВС США в условиях ведения ядерной войны. Эти требования были реализованы в конструкции и характеристиках

двух ИСЗ первого поколения «Milstar-1», запущенных в 1994 и 1995 гг. В дальнейшем руководство ВС США пересмотрело программу в целях увеличения возможностей по использованию системы оперативно-тактическим звеном управления, а также снижения расходов на ее разработку и эксплуатацию. В составе космического сегмента ВССС «Milstar» используются следующие ИСЗ (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Космический сегмент ВССС «Milstar»

ИСЗ	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расч. срок службы, лет
«Milstar-1-1»	38,8°з.д.	12	07.02.1994	10
«Milstar-1-2»	90°з.д.	12,4	06.11.1995	10
«Milstar-2-2»	111,1°в.д.	8,1	27.02.2001	10
«Milstar-2-3»	19°в.д.	7,5	16.01.2002	10
«Milstar-2-4»	120°з.д.	7,2	08.04.2003	10

Распределение ИСЗ по ГСО представлено на рис. 2.1.

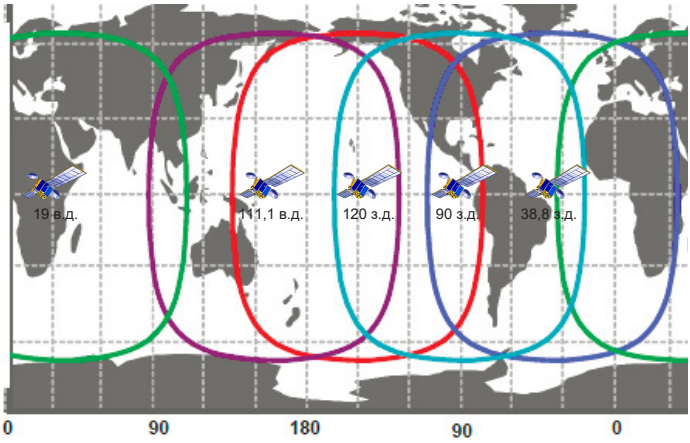


Рис. 2.1. Распределение ИСЗ ВССС «Milstar» по ГСО

Два ИСЗ серии «Milstar-1» первого поколения созданы по заказу ВВС США в 1983 г. компаниями «Lockheed Martin» (платформа ИСЗ) и «TRW» (полезная нагрузка для ИСЗ). Опытное развертывание системы «Milstar» в составе двух спутников первого поколения осуществлено в 1995 г., что позволило отработать функционирование аппаратуры МЛС. В состав бортовой аппаратуры ИСЗ серии «Milstar-1» входят:

– один низкоскоростной ретранслятор LDR (Low Data Rate) Ka-диапазона частот (43,5...45,5/20,2...21,2 ГГц): 192 канала по 2,4 кбит/с;

– аппаратура межспутниковой связи W-диапазона частот;

– один ретранслятор УКВ-диапазона частот (335,6...339,6/243,7...244,5 МГц): 4 канала по 75 бит/с.

ИСЗ «Milstar-1» используют обработку сигналов на борту – динамическое управление ресурсом связи, а также коммутацию и маршрутизацию сигналов. Сигналы, поступающие по линии «вверх» в диапазоне 43,5...45,5 ГГц, обрабатываются соответствующим образом и переизлучаются по линии «вниз» в диапазоне 20,2...21,2 ГГц. При необходимости некоторые сигналы переизлучаются и в УКВ-диапазоне (335,6...339,6 МГц – линия «вверх», 243,7...244,5 МГц – «вниз»). Также обрабатываются сигналы МЛС, использующих W-диапазон частот (75-110 ГГц).

Антенная система LDR ретранслятора Ka-диапазона частот содержит:

– одну перенацеливаемую параболическую антенну (диаметр зеркала – 0,6 м) с широким лучом ДН (совмещена с передающей антенной);

– две перенацеливаемые параболические антенны (диаметр зеркал – 1 м) с узкими лучами ДН (совмещены с передающими антеннами);

– пять антенн со сканированием в пределах 37 лучей каждая;

– рупорную антенну с глобальным охватом поверхности Земли.

Антенная система МЛС на двух частотах (одна основная и одна резервная) W-диапазона (75-110 ГГц) содержит две перенацеливаемые параболические антенны. Обеспечивается 2 канала со скоростями по 320 кбит/с, совместимых с ретрансляторами LDR. Антенная система УКВ-диапазона содержит две спиральные антенны (передающую и приемную). Все антенны работают с излучениями с круговой поляризацией.

Опытная эксплуатация ИСЗ серии «Milstar-1» показала, что низкоскоростные ретрансляторы LDR, позволяющие передавать данные по 192 каналам со скоростью 75...2 400 бит/с (суммарная скорость передачи через ИСЗ – 0,5 Мбит/с), не обеспечивают потребности командования ВС США.

Аварийный запуск первого ИСЗ серии 2 «Milstar-2-1» был осуществлен в апреле 1999 г. В дальнейшем МО США данный ИСЗ не использовала. Для ИСЗ серии «Milstar-2» заявлены следующие подспутниковые точки ГСО:

– западная долгота: 148°, 120°, 90°, 68°, 16° и 9°;

– восточная долгота: 4°, 19°, 30°, 55°, 90°, 133°, 150°, 152° и 177,5°.

В выделенных подспутниковых точках заявлено использование частот в линиях «вверх»/«вниз»: S-диапазона (2 262,5; 2 267,5/1 811,768 МГц), Ka-диапазона (аналогично «Milstar-1»), а также дополнительных частот для межспутниковой связи W-диапазона (59,898...59,918; 60,296...60,316; 62,042...62,062; 62,44...62,46/59,898...59,918; 60,296...60,316; 62,042…62,062; 62,44...62,46 ГГц).

На трех ИСЗ второго поколения серии «Milstar-2», помимо ретранслятора LDR, аналогичного образцу на ИСЗ «Milstar-1», установлен среднескоростной ретранслятор MDR (Medium Data Rate) для передачи 32 каналов со скоростью от 4,8 кбит/с до 1,5 Мбит/с. Кроме того, установлен один ретранслятор УКВ-диапазона частот (335,6...339,6/243,7...244,5 МГц), обеспечивающий 4 канала по 75 бит/с. Работа Ka-ретрансляторов осуществляется через пять управляемых бортовых антенн. В каналах связи широко применяется ППРЧ, что позволяет снизить вероятность постановки помех на вход приемника. Бортовая аппаратура ИСЗ «Milstar-2», работая с LDR, использует 10 антенн для обслуживания работы линии «вверх» и шесть антенн для обслуживания линии «вниз».

Антенная система MDR ретранслятора Ka-диапазона частот содержит:

– две перенацеливаемые приемопередающие антенны (диаметр зеркал – по 1 м) с 13-элементной антенной решеткой в качестве облучателей с узкими лучами ДН и «обнулением» ДН в направлении источника радиопомех;

– шесть перенацеливаемых приемопередающих (диаметр зеркал – по 0,43 м) антенн.

Антенная система ИСЗ формирует:

– одну полуглобальную ДН;

– пять перенацеливаемых узких лучей;

– два узких и один широкий луч;

– два узких луча с «обнулением» ДН в направлении источника радиопомех;

– шесть зональных фиксированных лучей.

Антенная система межспутниковой связи на четырех частотах (одна основная и три резервных) W-диапазона (75-110 ГГц) содержит две перенацеливаемые параболические антенны. Обеспечиваются 2 канала, совместимых с ретрансляторами MDR. Антенная система УКВ-диапазона частот содержит две спиральные антенны (одна передающая, вторая – приемная). Все антенны работают с излучениями с круговой поляризацией. Скорость передачи данных через ИСЗ составляет до 10 Мбит/с.

Суммарная пропускная способность ретрансляторов одного ИСЗ «Milstar-2» составляет 40-50 Мбит/с. С наибольшей скоростью могут работать наземные терминалы, имеющие антенны с достаточно большим раскрывом, а также аппаратуру с соответствующими характеристиками. Например, терминалы ВМС могут практически реализовать следующие предельные скорости передачи данных: на флагманских кораблях и береговых узлах связи – 256 кбит/с, на надводных кораблях и подводных лодках – 128 кбит/с, в составе зональных (береговых) ведущих компьютерно-телекоммуникационных станций NCTAMS (Naval Computer and Telecommunication Area Master Station) – 1,544 Мбит/с. Использоваться могут только стандартные дискретные значения скоростей передачи данных: 4,8; 9,6; 16; 19,2; 32; 64; 128; 256; 512; 1024 и 1544 кбит/с.

Аппаратура MDR работает в линии «вверх» в режиме МДЧР по 32 каналам, в каждом из которых может одновременно работать до 70 абонентов. Сигналы по линии «вниз» представляют собой общее для всех абонентов излучение по всем лучам антенной системы, что обеспечивается МДВР. В линии «вниз» используется неотфильтрованная DPSK. Каждый терминал, способный работать с MDR, излучает сигнал по линии «вверх» с ППРЧ в спектре шириной 2 ГГц в выделенном отрезке времени («слот») для обеспечения многостанционного доступа к ИСЗ. Первая, большая по продолжительности часть сигнала (87,5%) – МС0 – является основной информационной. Вторая часть (2,5%), именуемая UTP (Uplink Timing Probe), используется для корректировки временной синхронизации работы терминала и бортовой аппаратуры ИСЗ. Третья часть сигнала МС2 (10%) предназначена для работы служебного подканала связи, который обеспечивает передачу команд, управляющих работой бортовой аппаратуры ИСЗ. Терминал, способный работать с MDR, может одновременно обеспечивать различные услуги связи до тех пор, пока выделенный «слот» не будет переполнен. В услуги с MDR входят связь «точка-точка» (симплекс, полудуплекс и полный дуплекс), конференцсвязь, вещание (симплекс), а также одновременная связь с MDR и LDR. Аппаратура с MDR имеет несколько меньшую помехозащищенность, чем с LDR, но обеспечивает не только традиционные виды связи (передачу данных, телефонию и другие), но также передачу неподвижных и подвижных изображений (с предоставлением ширины спектра по требованию), файлов корректировки полетных заданий ракетного оружия, баз разведывательных и других данных, а также различных сведений по оперативным запросам.

ВССС «AEHF»

Решение о создании новых спутников на замену ИСЗ серий «Milstar-2» было принято в 1993 г., а финансирование работ началось в 1995 г. В 1996 г. компании «TRW» и «Lockheed Martin» сформировали группу, которая намеревалась создавать усовершенствованный ИСЗ «AEHF», называемый в отдельных источниках «Milstar-3». В составе космического сегмента ВССС «AEHF» используются следующие ИСЗ (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Космический сегмент ВССС «AEHF»

ИСЗ	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«AEHF-1»	4,2°в.д.	0,5	14.08.2010	14
«AEHF-2»	67,6°з.д.	1,8	04.05.2012	14
«AEHF-3»	152,1°в.д.	2,8	18.09.2013	14
«AEHF-4»	94° в.д.	4,7	17.10.2018	15

Поставка первого спутника МО США намечалась на декабрь 2004 г. Данный ИСЗ должен был быть оснащен аппратурой XDR (Extremely Data Rate – высокоскоростная ретрансляция данных), имеющей возможности спутников серии «Milstar-2» и модернизируемой до возможностей спутника серии «AEHF», пропускная способность которого в 10 раз превышала бы пропускную способность ИСЗ серии «Milstar-2», а скорость передачи в канале – в 6 раз (до 8,192 Мбит/с).

Однако к этому времени возникла потребность в более широких полосах частот ретрансляторов для обеспечения передачи данных от средств разведки, поэтому начался новый этап согласования требований к системе. В октябре 2001 г. ВВС США начало поиск альтернативных путей закупки дополнительных спутников серии «AEHF». В частности, рассматривался вариант глобальной спутниковой системы, в которую бы вошли два спутника серии «AEHF», широкополосные спутники «WGS», а также ИСЗ ретрансляции данных серии «SDS». Тогда количество приобретаемых спутников серии «AEHF» уменьшалось бы до двух-трех.

Это позволило летом 2002 г. рекомендовать исключить создание последних двух из пяти спутников серии «AEHF», а вместо них начать развертывание спутников оптической связи системы «T-Sat» (позже от ее развертывания также отказались). Компания «Lockheed Martin» с 2002 г. создала на основе модернизированной платформы A2100M два спутника серии «AEHF».

Министерство ВВС США в январе 2006 г. подписало контракт на создание третьего спутника серии «AEHF». Контрактом был предусмотрен запуск спутника в 2010 г. и его дальнейшее обслуживание на орбите. Работы по контракту планировалось завершить в мае 2011 г. К декабрю 2006 г. компания «Lockheed Martin» поставила МО США платформу третьего спутника серии «AEHF» (ее создание продолжалось 10 месяцев).

В январе 2007 г. была завершена интеграция антенных систем с полезной нагрузкой первого спутника серии «AEHF» и осуществлена поставка оборудования. Интеграция платформы и основной двигательной установки третьего спутника серии «AEHF» проводилась в первой половине 2007 г. на территории космического центра Стенниса NASA.

Запуск первого спутника серии «AEHF» планировался в апреле 2008 г., второго – в апреле 2009 г., а третьего – в 2010 г. В 2009 г. планы запусков спутников в связи с отставанием от графика выполнения работ были в очередной раз пересмотрены, и запуск первого спутника серии «AEHF» перенесли на октябрь 2010 г.

В августе 2010 г. на орбиту выведен первый ИСЗ «AEHF-1». Его намечалось разместить в точке 68° з.д. По причине неисправности топливной системы не удалось включить жидкостной апогейный двигатель, и спутник остался на переходной к геостационарной орбите с наклонением 22,2° и периодом обращения 17 ч (высота в перигее – 221 км, в апогее – 50 179 км). Предполагалось перевести этот спутник на орбиту с высотой в перигее 19 000 км с использованием шести двигателей системы управления (в течении 30 суток), а затем – на ГСО с использованием четырех ксенон-ионных двигателей (еще 90 суток). Операция по переводу спутника на рабочую орбиту была завершена в конце лета 2011 г. Четырехмесячные испытания спутника «AEHF-1» вводились в точке 90° з.д. В марте-апреле 2012 г. спутник был переведен в район эксплуатации на ГСО с подспутниковой точкой 68° з.д.

Антенная система ИСЗ серии «AEHF» включает приемопередающую рупорную антенну земного охвата, передающие и приемную многолучевые ФАР и приемопередающие параболические антенны, в том числе две с ДН, адаптированной к источнику радиопомех (с функцией «обнуления» ДН).

Всего антенная система ИСЗ серии «AEHF» позволяет создать до 140 зон с очень высоким усилением с охватом участков земной поверхности диаметром около 600 км и 37 зон низкого усиления с охватом около 2 200 км. Формирование этих зон осуществляется многолучевыми ФАР методом быстрого автоматического изменения направления узких лучей ДН

Будучи совместимой с ВССС «Milstar» в части использования существующих терминалов класса LDR (75-2400 бит/с) и MDR (4,8 кбит/с-1,544 Мбит/с), ВССС «AEHF» обеспечивает пользователям новый высокоскоростной стандарт XDR со скоростью передачи данных до 8,192 Мбит/с) с низкой вероятностью обнаружения и перехвата, противодействием подавлению и высокой криптостойкостью. Каждый ИСЗ имеет по 50 широкополосных ретрансляторов, работающих одновременно и формирующих 37 лучей. По сравнению с ИСЗ серии «Milstar-2» пропускная способность ИСЗ «AEHF» увеличена в 10-12 раз (примерно до

430 Мбит/с), а доступная пользователю скорость передачи данных – в 5-6 раз до 19,2 кбит/с, в режиме гарантированной стратегической связи, а также с 1 544 кбит/с до 8,2 Мбит/с в режиме засекреченной тактической связи. Это позволит передавать пользователям карты, целеуказания и видеоинформацию в реальном масштабе времени.

Запуск ИСЗ «AEHF-2» намечался на февраль 2012 г., но был осуществлен в мае 2012 г. Спутник был выведен сначала на переходную к геостационарной орбиту высотой в перигее/апогее 224/50 027 км и наклонением 20,67°, а затем переведен на геостационарную. Четырехмесячные испытания спутника «AEHF-2» проводились в точке 90° з.д. Этот ИСЗ создан при участии Канады, Нидерландов и Великобритании. Данный ИСЗ планировалось использовать для обслуживания военных абонентов в европейской зоне с подспутниковой точкой 39° з.д. вместо ИСЗ «Milstar-1-1» или в подспутниковой точке 30° в.д. вместо ИСЗ «Milstar-2-3». Однако спутник «AEHF-2» остался в точке 90° з.д., и его испытания были завершены только в ноябре 2012 г. Запуск спутника «AEHF-3» намечался на конец 2012 г., но был перенесен и осуществлен в сентябре 2013 г. В начале 2013 г. компания «Lockheed Martin» получила контракт на создание пятого и шестого ИСЗ серии. Запуски пятого и шестого спутников серии могут быть проведены в 2019 и 2020 гг.

Аппаратура межспутниковой связи ИСЗ «Milstar» и «AEHF» позволяет формировать в глобальном масштабе ТКС СН и управлять функционированием спутников на орбите непосредственно с территории континентальной части США.

Наземный сегмент

Защищенность линий и каналов связи в обеих системах реализуется с помощью криптографической аппаратуры, которая входит в состав связного оборудования ИСЗ, наземных станций управления и терминалов абонентов.

В составе наземного сегмента управления систем «Milstar» и «AEHF» используются основной центр управления на АвБ Шривер (шт. Колорадо) и резервный центр управления на АвБ Ванденберг (шт. Калифорния), а также подвижные станции управления на АвБ Уоррен (шт. Вайоминг), Авб Оффут (шт. Небраска) и АвБ Шривер (шт. Колорадо).

Терминалы абонентов защищенных систем спутниковой связи «Milstar» и «AEHF» каждый вид ВС США заказывает и финансирует по своим собственным программам, ориентируясь при этом, в первую очередь, на свои оперативные потребности. Для большинства терминалов скорости передачи данных являются стандартными, а диаметр антенн находится в пределах от 13 см (подводные лодки) до 3 м (стационарные и мобильные станции).

В Сухопутных войсках (СВ) США используются транспортабельные терминалы типа «SMART-T», размещаемые на базе многоцелевого автомобиля «HMMWV». Мобильный терминал типа «SMART-T» (военное обозначение AN/TSC-154) предназначен для обеспечения закрытой надежной многоканальной телефонной связи и передачи данных со средней и низкой скоростями через защищенные ВССС «Milstar» и «AEHF». Он создавался, прежде всего, для расширения зоны действия полевой автоматизированной системы связи общего пользования армейского корпуса (АК), а также для обслуживания абонентов оперативно-тактического звена управления (АК и ниже) – различных тактических подразделений ВВС, сил специальных операций (ССО) и морской пехоты (МП) [8].

Терминал «SMART-T» обеспечивает одновременную работу с низко- и среднескоростными режимами передачи (LDR и MDR, соотвественно) при использовании ИСЗ типа «Milstar-2». Для среднескоростной связи в режиме MDR терминал имеет 12 портов, в том числе 4 – для скоростей передачи данных 256, 512, 1 024 или 4 096 кбит/с в дуплексном режиме и 8 – для скоростей 4, 8, 16, 32, 64, 128 или 256 кбит/с (двое из этих портов также могут поддерживать скорость 1,544 Мбит/с). После интеграции в терминалы высокоскоростного оборудования XDR, «SMART-T» обеспечивают в полном объеме связь и в ВССС «AEHF».

Для низкоскоростной связи в режиме LDR терминал имеет восемь входных и четыре выходных порта (для скоростей передачи данных от 75 до 2 400 бит/с), а также один допол-

нительный порт (16 кбит/с). Терминал сопрягается с аппаратурой телефонной связи, передачи данных и буквопечатания, шифратором KG-84A, факсом и компьютером.

В состав терминала «SMART-T» входят: антенная система, приемопередатчик, блок электронной аппаратуры, устройства управления и сопряжения с оконечной аппаратурой, выпрямитель и источник электропитания.

Антенная система включает компактную двухзеркальную антенну Грегори с вынесенным облучателем, малошумный усилитель, понижающий преобразователь частоты и твердотельный высокочастотный усилитель мощности. Основное ее зеркало имеет форму параболоида, а малое, вспомогательное – форму эллипсоида (располагается за фокусом основного зеркала). Такая конструкция антенны обеспечивает больший на 1 дБ коэффициент усиления, чем у типовой (однозеркальной). Применение вынесенных из раскрыва основного зеркала облучателя и вспомогательного позволяет уменьшить на 8 дБ уровень боковых лепестков и затенение ими раскрыва параболоида. Это также облегчает доступ к ним при проведении технического обслуживания и ремонта. Антенна изготовлена из композитного материала, что обеспечивает более высокую прочность ее конструкции и устойчивость к воздействиям окружающей среды по сравнению с обычными рефлекторными антеннами, изготовленными из алюминия. Она автоматически поднимается или складывается за счет эффективного полноповоротного в азимутальной и угломестной плоскостях привода, который позволяет сворачивать антенну таким образом, что она не выступает за габариты автомобиля.

Устройство управления представляет собой малогабаритный компьютер, обеспечивающий интерфейс пользователя и дистанционное управление терминалом.

Электропитание терминала производится от штатного дизель-генератора или любого внешнего коммерческого источника питания, а также от промышленной сети переменного тока напряжением 110/220 В (одно- или трехфазной). Штатный дизель-генератор мощностью 1,5 кВт обеспечивает непрерывную работу терминала в течение 33 ч при расходе топлива 22,7 л. Среднее время наработки его на отказ около 1900 ч. Номинальная и максимальная мощности, потребляемые «SMART-T», составляют 950 и 1200 Вт соответственно.

Конструкция терминала предусматривает перевод его из походного положения в рабочее одним оператором не более чем за 30 мин, а также последующую работу без дополнительного обслуживания. Дистанционное управление позволяет специалисту использовать дополнительные функции, не прерывая работу аппаратуры. Топопривязка и временная синхронизация ведутся по сигналам космической радионавигационной системы (КРНС) «NAVSTAR» (NAVSTAR – NAVigation System using Timing And Ranging).

Транспортировка терминала может осуществляться на вертолете, его внешней подвеске, или на самолете С-130 (грузоподъемность последнего – три терминала, размещенных на автомобилях «HMMWV», или шесть без них).

Серийное производство терминалов «SMART-T» начато в конце 1998 г. Для СВ планировалось закупить более 200 станций данного типа.

В интересах подразделений оперативно-тактического звена управления СВ и ВВС в рамках программы «SCAMP» были разработаны носимые терминалы космической связи ВССС «Milstar», использующие диапазон 44/20 ГГц. Предусматривалось последовательно создать две модификации терминала «SCAMP» – Block I и II. Для обеспечения высокой скрытности и помехозащищенности передача данных с этих терминалов осуществляется в режиме ППРЧ в полосе 2 ГГц.

Модель «SCAMP Block I», получившая наименование AN/PSC-11, предназначена для установления связи между элементами штабов и подчиненными частями и подразделениями в тактическом звене управления. Поставка этого терминала в войска началась в 1998 г. Терминал обеспечивает четыре телефонных канала как в узком, так и коммутируемом луче, или столько же каналов буквопечатания со стандартными скоростями от 75 до 2 400 бит/с в глобальном луче. В комплект терминала входят сборная трехсекционная параболическая антен-

на и электронные компоненты (миниатюрный передатчик, приемник с малым уровнем шумов, синтезатор частот, модем, портативный компьютер, блок сопряжения, а также питания). Все электронные компоненты размещены в едином корпусе размером 19×25×23 см, на котором крепится антенна. Микротелефонная гарнитура расположена отдельно. Для связи через терминал абонент может использовать различную оконечную аппаратуру как открытой, так и закрытой связи (телефонный аппарат засекреченной связи (ЗАС), персональный компьютер, факс и т. д.), которая подключается к блоку сопряжения, имеющему три порта для аппаратуры ЗАС и один для открытой связи. Для засекречивания телефонных сообщений и данных, поступающих по порту открытой связи, блок сопряжения оснащен встроенным шифратором. Он соединен с приемником и передатчиком полевым кабелем. Управление терминалом осуществляется от устройства типа AN/CYZ-10 (специализированный портативный компьютер), обеспечивающего формирование входных и выходных сообщений, выбор и ввод рабочих параметров в приемник (передатчик), загрузку криптоключей, непрерывный контроль за работоспособностью аппаратуры и диагностику ее неисправностей. Устройство AN/CYZ-10 позволяет предварительно устанавливать и хранить в памяти параметры пяти вариантов автоматического установления связи и работы в нескольких (до 20) радиосетях (радионаправлениях), а также обеспечивать аналогичные возможности для одного из них. Управление терминалом может осуществляться дистанционно – на расстоянии до 800 м. Терминал позволяет увеличивать дальность действия средств радиосвязи УКВ-диапазона серии «SINCGARS» путем ретрансляции получаемых от них данных в режиме передачи, а также имеет интерфейс для сопряжения с аппаратурой системы районной связи. Топопривязка и временная синхронизация аппаратуры терминала производятся по данным, получаемым от внешнего малогабаритного приемника КРНС «NAVSTAR» типа AN/PSN-11. В комплекте терминала есть внешний громкоговоритель, который подключается к порту открытой связи блока сопряжения. Электропитание терминала осуществляется от двух встроенных аккумуляторных батарей (типа BA-5590 или BA-6590), а также от внешнего источника постоянного тока (бортовой сети БМ) или промышленной сети переменного тока напряжением 110/220 В через его блок питания. Терминал транспортируется в двух легких упаковках (чемоданного типа, габаритом 63,5×34,3×27,9 см каждая).

В первой размещаются все электронные компоненты (общая масса с аппаратурой составляет 16,8 кг), а во второй – комплект запасных частей и вспомогательных принадлежностей (блок питания, комплект соединительных кабелей, громкоговоритель и т. п.) массой 15,5 кг.

Обслуживает терминал один оператор. Для перевода терминала из походного положения в рабочее и вхождения в связь требуется менее 10 мин. В развернутом виде терминал может работать при скорости ветра до 32 км/ч, при кратковременных порывах, когда его скорость достигает 48 км/ч в диапазоне температур от –32 до +49° С.

В середине 2000-х годов закончились работы по созданию терминала «SCAMP» следующего поколения – модели «Block II». При этом основное внимание уделялось уменьшению массы, габаритов, снижению энергопотребления и стоимости с одновременным повышением надежности, простоты эксплуатации, ремонтопригодности, а также унификации и стандартизации важнейших функциональных узлов. Достичь этого позволило широкое использование в конструкции антенны и упаковки композиционных материалов, а в электронных компонентах – монолитных интегральных схем миллиметрового диапазона волн.

В отличие от AN/PSC-11, терминал модели «SCAMP Block II» размещается в одной упаковке и имеет меньшие массу и диаметр антенны, а также оснащается встроенным приемником КРНС «NAVSTAR», что позволило обеспечивать связь с более высокой скоростью передачи (как на стоянке, так и в движении), а также пейджинговую связь. Время развертывания и вхождения в связь уменьшилось в 2 раза, а среднее время наработки на отказ и непрерывной работы от одной аккумуляторной батареи повысилось также вдвое. Основные сравнительные характеристики некоторых наземных терминалов ВССС «Milstar» приведены в табл. 2.3.

Терминал «SCAMP Block II» также способен обеспечивать ретрансляцию сигналов радиостанций «SINCGARS», работающих как в режиме передачи данных, так и в режиме передачи речевых сообщений. Всего для ВС планировалось закупить около 2 500 терминалов типа «SCAMP Block II». Данные терминалы предполагалось применять, кроме того, в системах президентской и дипломатической связи, а также в интересах сил быстрого развертывания и специального назначения. Также он рассматривался в качестве варианта для установки на борту некоторых типов стратегических платформ.

В ВВС США планировалось использовать терминалы семейства FAB-T (Family of Advanced Beyond-line-of-sight Terminals). Ими должны оснащаться воздушные командные пункты, самолеты стратегической авиации и основные типы беспилотных летательных аппаратов (БЛА), а также ряд объектов наземной инфраструктуры.

Для ВМС США создавались несколько вариантов многодиапазонных терминалов типа NMT (Navy Multiband Terminal), размещаемых на подводных лодках, надводных кораблях и береговых объектах (всего около 300 комплектов). Кроме того, порядка 40 терминалов NMT планировалось поставить государствам-партнерам (Великобритании, Канаде и Нидерландам).

Таблица 2.3

Характеристики наземных терминалов ВССС «Milstar»

Наименование характеристики	Терминал «SMART-T»	Терминал «SCAMP»	
		«Block I»	«Block II»
Диапазон рабочих частот в линиях «вверх» / «вниз», ГГц	43,5-45,5/ 20,2-21,2	43,5-45,5/ 20,2-21,2	43,5-15,5/ 20,2-21,2
Вид связи	ТЛФ, ПД	ТЛФ, ПД, ТЛГ	ТЛФ, ПД
Количество каналов	64	4	2
Скорость передачи информации, кбит/с	0,075-2,4; 4,8-1544	0,075-2,4 (ПД); 2,4 (ТЛФ)	0,075-64; 2,4-64
Мощность передатчика, Вт	–	1,5 или 5	2,5 (3,5)
Коэффициент шума приемника, дБ	–	2,3	1,0
Антенна: диаметр, м; масса, кг	1,37	0,61; 1,36	0,45; 0,68
Среднее время наработки на отказ, ч	800	600	1250
Наличие встроенного приемника КРНС «NAVSTAR»	Есть	Нет	Есть
Напряжение питания, В	110/220	24	20-33
Емкость аккумуляторных батарей, А.ч	–	165	250
Продолжительность работы с одним комплектом батарей (при соотношении времени приема к передаче 9/1), ч		12	24/96
Масса, кг	681	13,6 с АКБ	5,5-6,8 с АКБ
Время развертывания, мин	30	10	5
Общее количество терминалов для ВС	313	2 310	2 549
Год ввода в эксплуатацию	1998	1998	2003

2.1.2. Системы широкополосной спутниковой связи

Системы широкополосной спутниковой связи (Wideband Military Satellite Communication) обеспечивают передачу основного объема трафика, проходящего по спутниковым линиям, для систем связи, автоматизированных систем управления (АСУ) и компьютерных сетей МО США [4-9].

В настоящее время широкополосная спутниковая связь представлена находящейся в эксплуатации системой «DSCS» (DSCS – Defense Satellite Communication System – ССС МО) и развертываемой для ее замены системой нового поколения «WGS» (WGS – Wideband Global Satcom – широкополосная глобальная ССС). Связь организована в X- и Ka-диапазонах.

Общее руководство и управление ресурсами этих систем осуществляют Министерство армии и Управление информационных систем ВС США.

ВССС «DSCS»

Спутниковая система связи МО США «DSCS» предназначена для обеспечения непрерывной связью высшего американского руководства, объединенных и специальных командований с соединениями и частями в различных районах мира, а также для связи госдепартамента с американскими дипломатическими представительствами за рубежом.

В настоящее время в составе космического элемента работоспособны шесть ИСЗ типа «DSCS-3», выведенные на геостационарную орбиту в 1992-2003 гг. Эти ИСЗ оснащены основной аппаратурой связи X-диапазона (пропускная способность более 200 Мбит/с) и дополнительной аппаратурой УКВ-диапазона. В соответствии с оперативной необходимостью и требуемыми зонами охвата связь может быть организована в двух полуглобальных, региональном или узких лучах. Антенная система X-диапазона включает в свой состав многолучевые (с управляемой ДН), параболические (диаметром около 1 м) и рупорные антенны.

В составе космического сегмента ВССС «DSCS» используются следующие ИСЗ серии «DSCS-3» (табл. 2.4, рис. 2.2).

Таблица 2.4

Космический сегмент ВССС «DSCS»

ИСЗ	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«DSCS-3-9»	103,7° в.д.	10,2	31.07.1995	10
«DSCS-3-10»	112,1° з.д.	8,7	25.10.1997	10
«DSCS-3-11»	179,8° з.д.	6,5	21.01.2000	10
«DSCS-3-12»	134° в.д.	5,9	20.10.2000	10
«DSCS-3-13»	131° з.д.	4,4	11.03.2003	10
«DSCS-3-14»	42,5° з.д.	3,5	29.08.2003	10

ИСЗ серии «DSCS-3»

Запуски ИСЗ серии «DSCS-3» начались в 1982 г. Всего компанией «Lockheed Martin» изготовлено 14 спутников (из них два – первой модели «DSCS-3A» и 12 усовершенствованных второй модели «DSCS-3B»). Для спутников системы «DSCS» зарезервированы точки:

– западная долгота: 12°, 42,5°, 52,5°, 130° и 135°;

– восточная долгота: 57°, 60°, 150°, 175° и 180°.



Рис. 2.2. Внешний вид ИСЗ серии «DSCS-3»

В выделенных подспутниковых точках заявлено использование следующих частот в линиях «вверх»/«вниз»: S-диапазона (2 257,5; 2 277,5/1 807,764; 1 823,779 МГц), X-диапазона (7 900...8 400/7 250...7 750 МГц) и УКВ-дапазона (290...318/225...316 МГц). В состав полезной нагрузки ИСЗ входят шесть ретрансляторов X-диапазона частот шириной 50-85 МГц (два – ламповых, мощностью по 40 Вт и четыре – на твердотельных усилителях мощностью

по 10 Вт) и одноканальный ретранслятор УКВ-диапазона, предназначенный для гарантированного доведения приказов высшего руководства при действиях в чрезвычайной обстановке.

На спутниках модели «DSCS-3B» усовершенствованы служебные подсистемы, а модернизированный ретранслятор работает в УКВ- и Х-диапазонах на линии «ИСЗ-Земля». В отличие от предшествующих моделей, ИСЗ серии «DSCS-3» обладают повышенной живучестью и помехозащищенностью, что позволяет обеспечивать надежную связь в кризисных ситуациях в условиях широкого применения противником средств радиоподавления. Спутники оснащены аппаратурой адаптивной компенсации радиопомех, позволяющей устанавливать факт использования противником средств радиоподавления, определять направление на источник радиопомех и изменять конфигурацию диаграммы направленности фазированных антенных решеток с целью «обнуления» ДН в направлении помехи.

Антенная система содержит (табл. 2.5) две передающие и две приемные рупорные антенны с глобальным охватом, две 19-лучевые передающие решетки (по 1° на луч), одну 61-лучевую приемную решетку (1° на луч), перенацеливаемую параболическую антенну (диаметр зеркала – 0,84 м, ширина диаграммы направленности – 3°), а в УКВ-диапазоне – два перекрестных симметричных вибратора (один – на прием, второй – на передачу). Все антенны обсепечивают передачу и прием излучений с круговой поляризацией. Гибкая система коммутации ретрансляторов и бортовых антенн обеспечивает высокую надежность и живучесть бортового комплекса. Считается, что основным недостатком ИСЗ «DSCS-3» является невозможность подавления (компенсации) радиопомехи принимаемого в одном и том же луче с источником полезного радиосигнала.

Таблица 2.5

Основные технические характеристики ИСЗ серии «DSCS-3»

Число ретрансляторов Х-диапазона с полосами частот:	
– 60, 60, 85, 60, 60 и 50 МГц	6 (1, 2, 4, 5, 7)
– 50, 75, 85, 85, 60 и 50 МГц	6 (3, 6, 8...14)
Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот	1
Мощность передатчиков, Вт:	
– в ретрансляторах 1 и 2	40 (1...10); 50 (11...14)
– в ретрансляторах 3 и 4	10 (1...10); 50 (11...14)
– в ретрансляторах 5 и 6	10 (1...10); 50 (11...14)
– в УКВ-ретрансляторе	70
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в ретрансляторах 1 и 2	44 (1...10); 44,9 (11...14)
– в ретрансляторах 3 и 4	37,5 (1...10); 44,2 (11…14)
– в ретрансляторах 5 и 6	25(1...10); 43,9 (11...14)
Минимальная ЭИИМ в УКВ-ретрансляторе, дБ·Вт	21,3

Аппаратура последних четырех спутников серии «DSCS-3» (DSCS-3-11… DSCS-3-14) модернизирована по программе продления сроков эксплуатации. Основными целями модернизации являются увеличение мощности всех шести ретрансляторов до 50 Вт и увеличение ширины полосы частот ретрансляторов. В результате модернизации повышена надежность бортовой аппаратуры и расширены возможности по обеспечению связи мобильных пользователей с малогабаритными радиостанциями. Все ретрансляторы ИСЗ «DSCS-3» могут работать в трех основных режимах многостанционного доступа (частотном, временном и кодовом).

ВССС «WGS»

Система широкополосной спутниковой связи нового поколения «WGS» (табл. 2.6) создается для повышения эффективности и надежности управления оперативно-тактическими группировками ВС США и их союзников в вооруженных конфликтах различной интенсивности. Новой важной задачей, возлагаемой на ВССС «WGS», является предоставление высокоскоростных каналов связи для управления БЛА и ретрансляции получаемых ими разведывательных данных на наземные центры.

Таблица 2.6

Космический сегмент ВССС «WGS»

Спутник	Точка стояния	Накл. орбиты, град	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«WGS-1»	6° в.д.	0,11	11.10.2007	14
«WGS-2»	60,2° в.д.	0,11	04.04.2009	14
«WGS-3»	12° з.д.	0,11	06.12.2009	14
«WGS-4»	88,4° в.д.	0,11	20.01.2012	14
«WGS-5»	52,6° з.д.	0,12	25.05.2013	14
«WGS-6»	135,2° з.д.	0,11	08.08.2013	14
«WGS-7»	175° в.д.	0,11	24.07.2015	14
«WGS-8»	56,8° в.д.	0,11	07.12.2016	14
«WGS-9»	149,7° в.д.	0,016	19.03.2017	14
«WGS-10»	138° з.д.	0,15	16.03.2019	14

Связь в ВССС «WGS» организована в Ka- и X-диапазонах с поддержкой всех видов телекоммуникационного обмена, видеоконференцсвязи и передачи данных мультимедийных приложений. В составе системы предусматривается иметь до десяти геостационарных спутников и наземные шлюзовые станции, размещенные в США, ФРГ, Японии и Австралии. В финансировании программы принимают участие также страны-партнеры США (Австралия, Канада, Дания, Нидерланды, Люксембург и Новая Зеландия), которым будут выделены соответствующие ресурсы создаваемой системы.

В ходе первого этапа развертывания космического элемента (2007-2009 гг.) был осуществлен вывод на орбиту трех ИСЗ «WGS» модификации «Block I». В процессе их эксплуатации были подтверждены высокие характеристики бортовой аппаратуры, в том числе надежность, помехозащищенность и гибкость использования. На втором этапе, с 2012 г., проведены запуски спутников «WGS» модификации «Block II», оснащенных усовершенствованной бортовой аппаратурой.

Субподрядчиками проекта являются компании: «Harris», отвечающая за изготовление антенной системы Ka-диапазона частот, «ITT Industries», создающая командно-телеметрическую систему и ее сопряжение с наземным оборудованием, «Northrop Grumman Information Technology» и «SAIC», обеспечивающие системное проектирование. Компания «Northrop Grumman» по отдельному контракту создает программное обеспечение для планирования работы сетей связи. Для ИСЗ серии «WGS» зарезервированы следующие точки на ГСО:

– западная долгота: 12°, 42,5°, 52,5°, 112°, 130°, 135° и 151°;

– восточная долгота: 57°, 60°, 150°, 175° и 180°.

В выделенных точках для спутников заявлено использование следующих диапазонов частот в линиях «вверх»/«вниз»: S-диапазон (2 257,5; 2 277,5/1 807,764; 1 823,779 МГц), X-диапазон (7 900...8 400/7 250...7 750 МГц) и Ka-диапазон (30...31/20,2...21,2 ГГц). Технические характеристики ИСЗ серии «WGS Block I» представленны в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Основные технические характеристики ИСЗ серии «WGS Block I»

Платформа	BSS702
Число ретрансляторов X-диапазона (7 978…7 672/7 250...7 672 МГц) с полосами частот по 125 МГц	39
Число ретрансляторов Ka-диапазона (30...31/20,2...21,2 МГц)с полосами частот по 125 МГц	8
Пропускная способность ретрансляторов, ГБ/с	2,2
Максимальная ЭИИМ в X-диапазоне частот, дБ·Вт	60,8
Максимальная ЭИИМ в Ka-диапазоне частот, дБ·Вт:	
– в узких лучах	58,1
– в региональных лучах	42,5
– в глобальных лучах	34,3

Каждый спутник серии «WGS Block I» имеет пропускную способность 2,2 Гбит/с и оснащается ретрансляторами X- и Ka-диапазонов частот с общей полосой 4 875 МГц.

В X-диапазоне частот используются две независимые (приемная и передающая) фазированные антенные решетки (ФАР), формирующие от одного до восьми перенацеливаемых лучей на прием и на передачу, которые обеспечивают профилированные зоны охвата (ширина луча изменяется от 2,2° до 17,5°).

Приемная решетка состоит из 188 элементов (диаметром 1,17 м) и работает с излучениями с круговой поляризацией правого вращения, а передающая решетка – из 312 элементов (диаметром 1,27 м) и работает с излучениями с круговой поляризацией левого вращения. Используются полосы частот по 422 МГц (в двух лучах), 375 и 47 МГц (в одном луче) и по 125 МГц в каждом из четырех лучей. Каждая ФАР может использовать полосу частот 1 766 МГц (таким образом достигается 3,5-кратное использование выделенной полосы частот в 500 МГц). Управление конфигурацией ИСЗ (число лучей, ширина диаграммы направленности, направление, усиление в каждом луче) осуществляется с Земли по командному радиоканалу в S-диапазоне.

В X-диапазоне частот используются также две (на прием и на передачу) рупорные антенны (ширина диаграммы направленности – около 17,5°), которые обеспечивают луч глобального охвата Земли с ЭИИМ 34,3 дБ Вт.

В Ka- диапазоне частот (30...31/20,2...21,2 ГГц) антенная система содержит восемь независимых перенацеливаемых приемопередающих параболических антенн с узкими диаграммами направленности (1,5...1,7°) и две перенацеливаемые приемопередающие параболические антенны с широкими диаграммами направленности (около 4,5°). В каждом из лучей используется собственный усилитель мощности (применяются от одной до четырех ламп бегущей волны мощностью по 130 Вт каждая) для обеспечения соответствующей ЭИИМ на приеме (в трех лучах имеется возможность выбора вида поляризации). Соответственно имеется восемь узких и две расширенные зоны охвата, причем в трех узких зонах ЭИИМ составляет 58,1 дБ Вт, еще в трех – 55,2 дБ Вт, в двух – 57,6 дБ Вт, а в расширенных – 42,4 дБ Вт. Узкая зона охвата (ширина диаграммы направленности 1,5...1,7°) используется для организации двухсторонней связи и широковещательной службы в интересах развернутых подразделений, а расширенная зона охвата (ширина диаграммы направленности около 4,5°) – для развертываемых тактических подразделений вооруженных сил. Каждый из 10 лучей диаграммы направленности может быть подсоединен к нескольким (до четырех) каналам.

Бортовым процессором организовано 22 канала с полосами по 125 МГц, в каждом из которых имеется 48 субканалов с разносом частот 2,6 МГц (причем эти субканалы могут объединяться для увеличения полосы вплоть до 125 МГц, и в каждом из них обеспечивается различное усиление). Часть ресурсов ретрансляторов Ka-диапазона частот ИСЗ выделяется для системы «GBS» (GBS – Global Broadcast Service – система глобального вещания). Каналы ретрансляторов X- и Ka- диапазонов могут быть перекрестно скомутированны на борту ИСЗ. План размещения на ГСО первых шести ИСЗ серии «WGS» представлен на рис. 2.3.

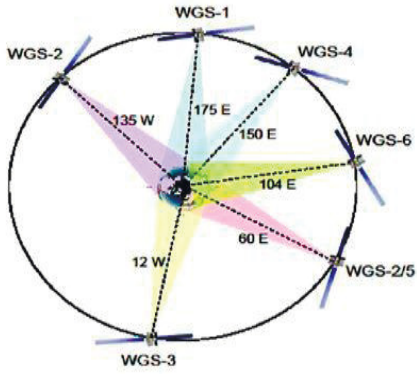


Рис. 2.3. Размещение на орбите спутников серии «WGS»

Таким образом, в ходе первого этапа развертывания орбитальной группировки ВССС «WGS» в период 2007-2009 гг. был осуществлен вывод на орбиту трех ИСЗ «WGS-1»…«WGS-3» модификации «Block I». Общие расходы на создание этих ИСЗ составили порядка 2,2 млрд долл. США. Данные ИСЗ имели 35-ть отдельных широкополосных каналов по 125 МГц, три канала по 47 МГц и луч земного покрытия в Х-диапазоне с шириной канала 50 МГц. В процессе опытной эксплуатации этих ИСЗ были подтверждены характеристики бортовой аппаратуры, в том числе надежность, помехозащищенность и гибкость использования связного ресурса.

На втором этапе, с 2012 г., проведены запуски ИСЗ «WGS-4»…«WGS-6», которые имели модификацию «Block II». В данной модификации в состав связного оборудования ИСЗ были добавлена каналообразующая аппаратура формирующая два канала по 400 МГц с возможностью сквозной ретрансляции данных из этих каналов в другие каналы. Это позволило увеличить пропускную способность ИСЗА на 30%. Следующие ИСЗ «WGS-7»…«WGS-10» имели модификацию «Block IIA» (или «Block II Follow-On»), которая предусматривала расширение ширины каналов с 125 МГц до 500 МГц. Это, совместно с новыми решениями по повторному использованию частот, а также по поляризационному уплотнению каналов, позволило значительно увеличить пропускную ИСЗ. В апреле 2019 г. компания Boeing Satellite Systems получила контракт на разработку КА «WGS-11» со сроком исполнения до 2023 г.

Наземный сегмент

В наземный сегмент ВССС «WGS» входит основной и резервный пункты управления ИСЗ, основной ПУ радиоресурсом ССС, ШС, региональные центры управления связью, а также контрольно-измерительные станции. Основной ПУ ОГ размещен на базе ВВС США Шриевер (шт. Колорадо, США), резервный ПУ ОГ – на базе ВВС США Ванденберг (шт. Калифорния, США). Пункты управления ОГ обеспечивают непрерывный мониторинг состояния ИСЗ, работоспособности их бортовых систем, формируют и передают на спутники команды управления. Основной ПУ радиоресурсом ВССС находится под управлением 53-го батальона связи и размещен на базе ВВС США Петерсон (шт. Колорадо, США). Этот ПУ обеспечивает частотное планирование радиоресурса, приоритизацию АТ, предоставление ресурсов ВССС, а также управление потоками трафика в режиме реального времени. Пять ШС предназначены для стыковки фидерных линий связи «ИСЗ-ШС» с наземной сетью ВС США DISN (Defense Information System Network) и наземными IP-сетями. Шлюзовые станции размещены на о. Вахиаве (Гавайские острова, США), в Форте Дейтрик (шт. Майерлэнд, США), в Форте Мид (шт. Мерилэнд, США), в Форте Бакнер (о. Окинава, Япония), в г. Ландштуль (Германия). Региональные центры управления связью размещены: европейский – в г. Штутгарт (Германия), западный – на базе ВВС США Петерсон (шт. Колорадо, США), восточный – на базе ВВС США МакДилл (шт. Флорида, США), тихоокеанский – на базе ВВС США Вхилер (о. Оахау, США). Обе контрольно-измерительные станции размещены в Австралии, соответственно, на западном и южном ее побережье

В настоящее время в ВС США имеется более 4 тыс. терминалов, поддерживающих широкополосную связь в Ка-диапазоне. В среднесрочной перспективе планируется развернуть более 6 тыс. терминалов, в том числе стационарные станции с диаметром антенны около 12 м.

На вооружении СВ США состоят стационарные и транспортабельные станции спутниковой связи. Терминалы всех типов для СВ создаются с учетом возможности их функционирования в общих и объединенных сетях связи в ходе совместных действий с ВС других государств. Характеристики и конструкция станций постоянно совершенствуются в направлении снижения их массы, габаритов и энергопотребления с одновременным повышением надежности, простоты эксплуатации, ремонтоприг.ности. Это достигается благодаря использованию открытой модульной архитектуры построения, малогабаритных фазированных антенных решеток, микропроцессорной техники для автоматического управления, выявления и устранения неисправностей, а также стандартизации и унификации основных функциональных узлов аппаратуры.

Стационарные станции, имеющие высокую пропускную способность, применяются, как правило, в стратегическом и оперативном звеньях управления в интересах высшего военно-политического руководства, главных и региональных командований. Они обеспечивают связь в основном через ВССС «DSCS» в диапазоне 8/7 ГГц. Примером является станция AN/FSC-78.

Станция AN/FSC-78 принята на вооружение в 1976 г. Она имеет емкость до 60 телефонных каналов и обеспечивает связь по 15 несущим частотам на прием и по 9 – на передачу. В основном режиме станция работает на 10 несущих частотах, а оставшиеся 5 частот находятся в резерве. При этом суммарная скорость передачи составляет до 1 544 кбит/с. Антенная система оснащена параболическим зеркалом диаметром 18,2 м и параметрическим малошумящим усилителем с криогенным охлаждением. Масса станции – более 180 т. В период с 1991 по 1996 гг. были проведены работы по модернизации станции с целью продления срока службы до 2010 г., обеспечения работы через ИСЗ «DSCS-3», совершенствования характеристик и оперативных возможностей, а также замены оконечного оборудования. В частности, в ходе модернизации было увеличено число одновременно принимаемых и передаваемых несущих частот. Последний контракт на проведение модернизации AN/FSC-78 был заключен в апреле 1994 г. Всего в эксплуатации ВС США находится более 40 таких станций.

Станции AN/GSC-49 (V)-1, -2, -3, созданная на базе AN/TSC-85 и являющаяся основным элементом помехозащищенной многоканальной засекреченной системы связи ВС, предназначена для обслуживания высшего командования СВ ВС США в кризисных ситуациях. В ее конструкции применены элементы, устойчивые к воздействию поражающих факторов ядерного взрыва. Для закрытия информации используется шифратор типа «Винсон». Станция имеет два варианта: транспортабельный и стационарный. В первом случае станция размещена в стандартном контейнере S-280, установленном на двухосном прицепе, который буксируется автомобилем повышенной проходимости грузоподъемностью 2,5 т.

Кроме того, командование СВ США в рамках выполнения программы модернизации и совершенствования автоматизированных систем управления проводит широкомасштабные работы по созданию новых подвижных узлов и средств связи для перспективной автоматизированной системы связи на ТВД «WIN-T» (WIN-T – Warfighter Information Network-Tactical – районная система связи на ТВД).

Эта система заменит малоподвижные и устаревшие системы районной и спутниковой связи и обеспечит помехозащищенный закрытый обмен разнородной информацией в реальном масштабе времени в интересах функционирования автоматизированных систем управления – от командного пункта (КП) командования на ТВД до ПУ роты.

В новой системе в качестве основных используются наземные линии широкополосной связи на дальность прямой видимости. В случае, когда из-за рельефа местности или по другим причинам установить такие линии невозможно, они будут резервироваться линиями подвижной низкоскоростной спутниковой связи. Тем самым достигается непрерывность связи как в движении, так и на коротких остановках. При этом средством, обеспечивающим спутниковую связь в Ku-/Ka-диапазонах, является возимая станция подвижной спутниковой связи TRM-1000 (рис. 2.4).

В сентябре 2012 г. завершился первый этап развертывания системы «WIN-T», в ходе которого все КП – от командования на ТВД до батальона включительно – были оснащены унифицированными узлами связи (УС) и транспортабельными станциями спутниковой связи AN/TSC-185. Это позволило обеспечить высокоскоростную связь между КП с фиксированных позиций, используя широкополосные спутниковые каналы военных и коммерческих ИСЗ, а также их доступ в глобальную информационную сеть МО «DODIN» (DODIN – Department of Defence Information Network – Управление военных информационных систем) на континентальной части США. В дивизии скорость передачи данных через сети спутниковой связи «WGS» возросла до 120 Мбит/с.



Рис. 2.4. Возимая станция подвижной спутниковой связи TRM-1000

В настоящее время реализуется второй этап (2010-2018 гг.) программы «WIN-T» мод. 2, который нацелен на обеспечение возможности передачи команд управления в движении и с коротких остановок в звене от КП дивизии до ПУ роты по спутниковым каналам и каналам широкополосной многоканальной радиорелейной связи на дальность прямой видимости от командного пункта батальона до КП дивизии.

В рамках этого этапа основные усилия американских специалистов сосредоточены на разработке подвижных (высокомобильных) узлов связи, командно-штабных машин (КШМ) и комплектов аппаратуры связи, таких как:

– подвижный тактический УС TCN v l (Tactical Communications Node) для звена «дивизия-бригада-батальон»;

– подвижный УС роты SNE (Soldier Network Extension node);

– командно-штабная машина PoPvl (Point of Presence).

В составе данных аппаратных для развертывания поддержания связи в движении используется станция подвижной спутниковой связи TRM-1000.

Подвижный тактический узел связи TCN v 1 (рис. 2.5) предназначен для организации подвижной опорной широкополосной сети связи в звене «дивизия-бригада-батальон», основу которой составляют линии радиорелейной и спутниковой связи высокой пропускной способности. Он выполняет функции магистрального узла связи и узла доступа КП. Узел связи TCN v l как на стоянке, так и в движении обеспечивает обмен данными в линиях на дальность прямой видимости с аналогичными УС со скоростью до 54 Мбит/с, загоризонтную спутниковую связь со скоростью 512-2 048 кбит/с и радиодоступ в пределах КП.

Командно-штабная машина PoP v l (рис. 2.6) обеспечивает радиодоступ в опорную широкополосную сеть связи «WIN-T» дивизии (бригады) как в движении, так и на остановках, а также сопряжение с тактическими УКВ-радиосетями бригады. Данную КШМ предполагается активно задействовать в системе боевого управления и связи в звене управления от бригады и ниже. Она должна обеспечивать связь в интересах наблюдательных и командных пунктов, а также своевременное доведение графической информации, сообщений и боевых приказов до командиров и штабов различного уровня и вышестоящего командования. Кроме того, аппаратура связи КШМ PoP v l может использоваться как радиоретранслятор, обеспечивая доступ к ВССС «WGS» и «DSCS» из сетей тактического звена, находящихся в зоне прямой видимости и бесшовное сопряжение абонентов на поле боя.

Подвижный УС роты SNE v l предназначен для обеспечения закрытой спутниковой связи в движении, с коротких остановок и расширения зоны действия радиосетей боевого управления. Фактически он выполняет функцию базовой станции связи в тактическом звене. Станция спутниковой связи обеспечивает обмен данными со скоростью 64-128 кбит/с в движении.

В каждой дивизии намечается иметь три КШМ, оснащенные комплектами аппаратуры типа PoP, и три узла связи TCN, в бригаде – две КШМ и два УС TCN, в батальоне – КШМ и УС TCN, а в роте – по одному узлу связи типа SNE.



Рис. 2.5. Подвижный тактический узел связи TCN v 1



Рис. 2.6. Командно-штабная машина PoP v 1

2.1.3. Системы узкополосной спутниковой связи

Системы узкополосной спутниковой связи (Narrowband Military Satellite Communication) используются в оперативно-тактическом звене всех видов вооруженных сил. Они обслуживают органы управления и отдельные подразделения на ТВД, а также экипажи кораблей и самолетов [4-9].

По сравнению с другими ВССС США эти системы имеют низкую пропускную способность и слабую помехозащищенность от средств РЭП, поскольку связь организована в УКВ-диапазоне. Вместе с тем УКВ-диапазон широко используется в ВС США, так как поз-

воляет обеспечивать связь в неблагоприятных условиях (горная местность, городская застройка) с помощью малогабаритных переносных терминалов.

Узкополосная спутниковая связь представлена следующими системами: находящейся в эксплуатации с 1980-х годов ВССС «UFO» и создаваемой для ее замены ВССС нового поколения «MUOS». Кроме того, в резерве находится ИСЗа «Fltsatcom», запущенные в интересах ВМС США в 1980-х гг.

В составе космического сегмента узкополосной спутниковой связи продолжают функционировать два ИСЗ типа «Fltsatcom» (запущены в 1986 и 1989 г.), оснащенные 22-канальной аппаратурой, и пять-семь ИСЗ типа «UFO» (1993-2003 гг.) с 39-канальной аппаратурой УКВ-диапазона. На этих спутниках установлены также дополнительные ретрансляторы Ка-диапазона, используемые в системах защищенной связи и глобального вещания.

Таким образом, в составе космического сегмента системы узкополосной спутниковой связи используются ИСЗ серий «Fltsatcom», «UFO» и «MUOS».

ИСЗ серии «Fltsatcom»

По заказу министерства ВВС компания «TRW» изготовила 5 ИСЗ серии «Fltsatcom». В настоящее время два оставшихся из них (табл. 2.8) находятся в резерве.

Таблица 2.8

ИСЗ серии «Fltsatcom»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Fltsatcom-7»	100° в.д.	14,8	05.12.1986	15
«Fltsatcom-8»	15,5° з.д.	12,9	25.09.1989	15

Основные технические характеристики ИСЗ серии «Fltsatcom» приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Основные технические характеристики ИСЗ серии «Fltsatcom»

Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (335...339/243...244 МГц):	
– с полосами частот по 25 кГц (ретрансляторы 1...10)	10
– с полосами частот по 5 кГц (ретрансляторы 11...22)	12
– с полосой частот 500 кГц (ретранслятор 23)	1
Число ретрансляторов Ка-диапазона частот (32 канала)	1 (7...8)
Мощность передатчиков, Вт:	
– в ретрансляторах УКВ-диапазона частот	25...43
– в ретрансляторе Ка-диапазона частот	20
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт:	
– в ретрансляторах 1...3, 5, 7...10	26
– в ретрансляторах 4 и 6	28
– в ретрансляторах 11...22	16,5
– в ретрансляторе 23	27

Спутники серии «Fltsatcom» оснащены антенной системой, содержащей зонтичную параболическую антенну (диаметр – около 5 м) и спиральную антенну УКВ-диапазона с глобальным охватом, а также рупорную антенну Ка-диапазона частот. Спутники серии «Fltsatcom» были выведены на орбиты в 1978, 1979, 1980 (два) и 1981 гг. Для них использовались точки 23° и 100° з.д. и 72° и 172° в.д. Первые четыре спутника образовали систему с глобальным охватом Земли (пятый спутник был поврежден при запуске и не использовался в системе).

ВССС «UFO»

На третьем этапе развития системы с 1993 г. начались запуски новых спутниковсерии «UFO» для замены выработавших свой ресурс ИСЗ серий «Fltsatcom» и «LEASAT». Компания «Boeing» при разработке ИСЗ использовала базовую платформу HS 601 с трехосе-

вой системой стабилизации. Контракт предусматривал запуски спутников и их ввод в эксплуатацию. В 1997 г. было принято решение о закупке еще одного спутника «UFO» для продления срока использования системы на их основе на три года. Контракт на ИСЗ «UFO-11» был подписан в ноябре 1999 г., а его запуск осуществлен в декабре 2003 г. Группировка ИСЗ «UFO» по состоянию на 2019 г. представлена в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Космический сегмент ВССС «UFO»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты,град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«UFO-4»	99,8° з.д.	9,5	29.01.1995	14
«UFO-7»	176,6° з.д.	8,2	25.07.1996	14
«UFO-8»	170° в.д.	7,4	16.03.1998	14
«UFO-10»	23,5° з.д.	6,5	22.11.1999	14
«UFO-11»	74,6° в.д.	4,9	18.12.2003	14

Спутники «UFO» оснащены антенной системой (табл. 2.11), которая содержит:

– в УКВ-диапазоне передающую и приемную решетки, состоящие из четырех элементов каждая и формирующие лучи глобального охвата;

– в Ка-диапазоне частот (на ИСЗ «UFO-4»…«UFO-11») приемную и передающую рупорные антенны и перенацеливаемую параболическую антенну (5°), а также на ИСЗ «UFO-8»…«UFO-10» для функционирования системы «GBS» – две щелевые антенные решетки (одна для фиксированного луча, вторая – для перенацеливаемого), три перенацеливаемые параболические антенны (две – с широким, одна – с узким лучом диаграммы направленности).

Бортовая аппаратура ИСЗ «UFO» обладает относительно низкой помехозащищенностью, но охватывает большое число пользователей благодаря технологии предоставления каналов по требованию DAMA. Оператором спутников серии «UFO» являются ВМС США.

Таблица 2.11

Основные технические характеристики ИСЗ серии «UFO»

Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (292...318/243...270 МГц):	
– с полосой частот 25 кГц	1
– с полосами частот по 25 кГц	17
– с полосами частот по 5 кГц	21
Число ретрансляторов Ка-диапазонов частот со скоростями до 2 400 бит/с каждый	1 (4...11)
Число приемников Ка-диапазона частот с полосой частот 25 кГц	1 (4…11)
Число ретрансляторов Ка-диапазона частот (43,5...45,5/20,2...21,2 ГГц)	1 (8…10)
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в ретрансляторах УКВ-диапазона частот	29
– в ретрансляторе Ка-диапазона частот	53,2 (узкий луч)
	40,7 (широкий луч)

При полном развертывании система «UFO» содержит восемь спутников над зонами Атлантики, Индийского, Тихого океанов и над территорией США, при этом два-три ИСЗ находятся в резерве.

Первый спутник «UFO-1» был выведен на нерасчетную орбиту в марте 1993 г.

ИСЗ «UFO-3» вышел из строя в июне 2005 г. (использовался в точке 15° з.д.).

ИСЗ «UFO-9» вышел из строя в августе 2006 г. (использовался в точке 22° з.д.).

Остальные пять спутников по состоянию на 2019 г. продолжают использоваться. ИСЗ «UFO-11» оснащен наиболее совершенным бортовым оборудованием, позволяющим проводить перепрограммирование коммутатора. В начале 2009 г. такая операция была проведена, что позволило увеличить пропускную способность спутника на 30%.

В составе наземного сегмента управления ВССС «UFO» используется основной центр управления в Сан-Диего (шт. Калифорния) и два региональных центра управления на Гавай-

ских островах (тихоокеанский) и в шт. Нью-Джерси (атлантический), которые осуществляют свои функции с использованием пяти комплексов управления, расположенных в шт. Калифорния, Гавайи и Нью-Джерси и в Великобритании (два).

ВССС «MUOS»

Система узкополосной спутниковой связи нового поколения «MUOS» (MUOS – Mobile User Objective System – система спутниковой связи мобильных пользователей) создана в целях повышения пропускной способности и защищенности спутниковых УКВ-линий связи и обеспечения связи в движении. При ее разработке использованы современные технологии построения сетей мобильной сотовой связи третьего поколения.

Космический элемент включает в свой состав пять КА типа «MUOS» на ГСО, размещенных в зонах Атлантического, Тихого и Индийского океанов (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Космический сегмент ВССС «MUOS»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«MUOS-1»	177° з.д.	4,7	24.02.2012	17
«MUOS-2»	99,9° з.д.	3,8	19.07.2013	17
«MUOS-3»	16,4° з.д.	4,3	21.01.2015	17
«MUOS-4»	74,1° в.д.	4,5	02.09.2015	17
«MUOS-5»	104.4° з.д.	9.9	24.06.2016	17

В конкурсном проектировании участвовали компании «Boeing», «Lockheed Martin» и другие. В сентябре 2002 г. командование ВВС США подписало с компаниями «Lockheed Martin» и «Raytheon Satellite Communications Systems» два контракта до мая 2003 г. на проектирование компонентов новых ИСЗ.

Для спутников ВССС «MUOS» зарезервированы точки:

– западная долгота: 15,5°; 22,5°; 100°; 105°; 145° и 177°;

– восточная долгота: 29°; 72°; 75°; 125° и 172°.

В выделенных подспутниковых точках для ИСЗ ВССС «MUOS» заявлено использование ретрансляторов частот: УКВ-диапазона (292...318/244...270, 300...332/360...380, 280...330/340...360 МГц), S-диапазона (2 200...2 290/1 750...1 850 МГц), Ka-диапазона (30...31/20,2...21,2 ГГц).

ВССС «MUOS» обеспечивает прием на борту ИСЗ сигнала от абонента в УКВ-диапазоне частот, ретрансляцию его в Ka-диапазоне частот на наземную базовую стационарную станцию, которая ретранслирует его в Ka-диапазоне частот на борт ИСЗ (этого же или другого – в зависимости от местонахождения другого абонента), прием на борту ИСЗ этого сигнала и ретрансляцию его второму абоненту в УКВ-диапазоне частот. Спутники планировалось разместить в точках 15,5°, 100° и 177° з.д. резервный ИСЗ – в точках 53° и 72° в.д. (рис. 2.7).

Запуск первого спутника серии «MUOS» намечался на 2010 г., а остальные планировалось выводить на орбиты в течение четырех лет (по одному в год). К маю 2009 г. из-за технических проблем при комплексировании новой платформы и традиционной полезной нагрузки запуск первого спутника серии «MUOS» намечался уже не ранее, чем в феврале 2011 г. В феврале 2011 г. компания «Lockheed Martin» получила контракт на создание пятого спутника системы «MUOS». Его запуск планировался на 2016 г. Запуск первого ИСЗ «MUOS-1» (177° з.д.) был осуществлен в феврале 2012 г. Спутник был выведен на переходную к геостационарной орбиту высотой в апогее/перигее 35 780/3 760 км и наклонением 19°. Далее в течение двух недель в результате восьми включений апогейного двигателя ИСЗ был переведен на геостационарную орбиту в район проведения орбитальных испытаний.

В составе полезной нагрузки установлены (табл. 2.13):

– для преемственности – ретрансляционное оборудование, аналогичное установленному на ИСЗ «UFO-11» (УКВ-диапазон частот: 292...318/244...270 МГц), с зонтичной антенной диаметром около 5,3 м;

– новое ретрансляционное оборудование без обработки сигналов на борту, в составе которого используется крупногабаритная приемопередающая антенная система УКВ-диапазона частот диаметром около 13,8 м, которая формирует полуглобальную диаграмму направленности из 16 лучей (в каждом луче используется до четырех несущих частот, рис. 2.8), и приемопередающая антенная система для обеспечения этим 64 каналам фидерных радиолиний в Ка-диапазоне частот с наземными шлюзовыми станциями (в том числе для управления спутниками).

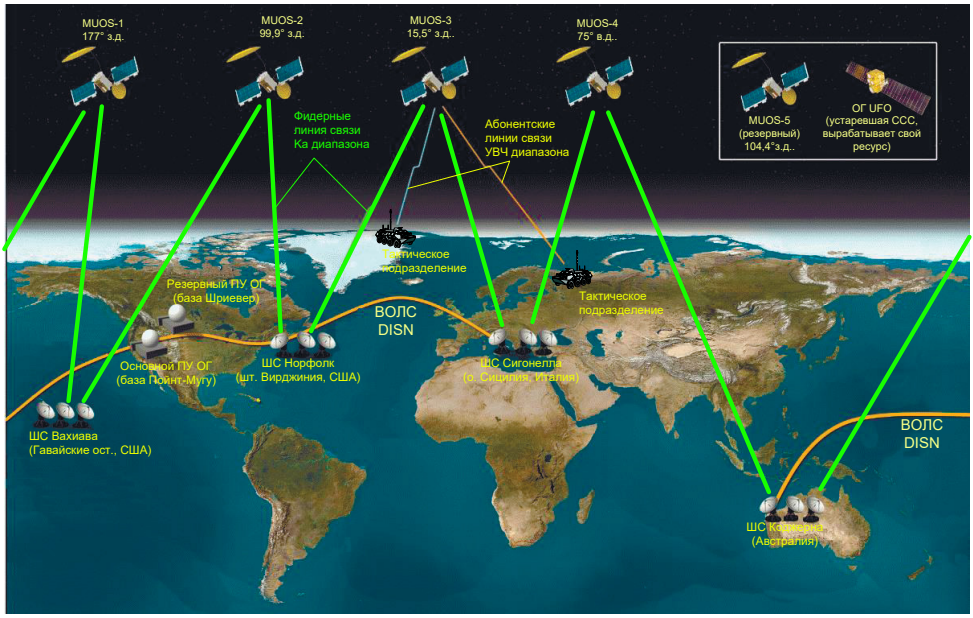


Рис. 2.7. Космический сегмент системы «MUOS»

Таблица 2.13

Основные технические характеристики ИСЗ серии «MUOS»

Платформа	A2100M
Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (292-320/244-270, 360-380 МГц):	
– с полосой частот 25 кГц	1
– с полосами частот по 25 кГц	17
– с полосами частот по 5 кГц	21
– (300...320/360...380 МГц) с WCDMA-полосами по 5 МГц	64
Число ретрансляторов Ка-диапазона частот (30...31 /20,2...21,2 ГГц)	1

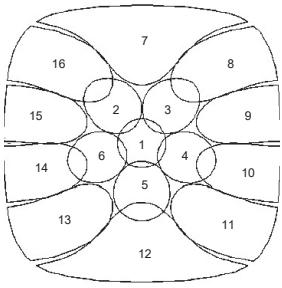


Рис. 2.8. Полуглобальная диаграмма направленности ИСЗ «MUOS»

Зоны обслуживания ретрансляторов четырех ИСЗ серии «MUOS» представлены на рис. 2.9.

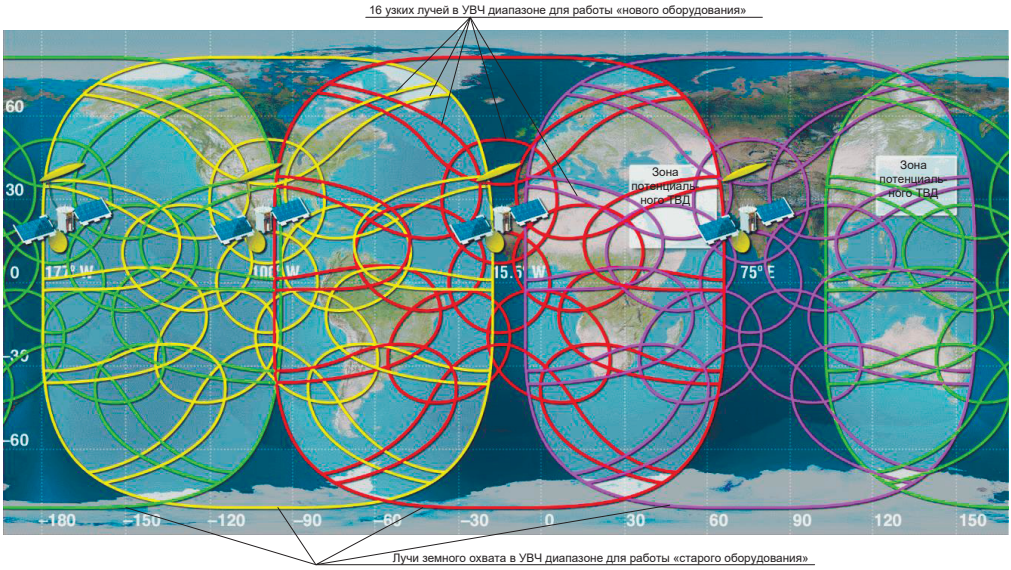


Рис. 2.9. Зоны обслуживания основных ИСЗ «MUOS»

В новом ретрансляционном оборудовании реализован широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (МДКР). Скорость передачи данных для каждого абонента при МДКР составляет до 384 кбит/с.

Частотный план ретрансляторов ИСЗ серии «MUOS» представлен на рис. 2.10.

В УКВ-диапазоне (300...320/360...380 МГц) используются по четыре поддиапазона с полосами частот по 5 МГц.

В Ка-диапазоне частот (30...31/20,2...21,2 ГГц) передаются три группы каналов:

– в поддиапазоне частот 20,7...21,2 ГГц (при круговой поляризации левого вращения) – первая группа из 10 каналов (плюс канал геоданных) со скоростью 819 Мбит/с (манипуляция 8 PSK, турбокодирование с относительной скоростью 0,711);

– в поддиапазоне частот 20,2...20,7 ГГц (при круговой поляризации правого вращения) – вторая группа из 11 каналов со скоростью 819 Мбит/с (манипуляция 8 PSK, турбокодирование с относительной скоростью 0,711);

– в поддиапазоне частот 20,7...21,2 ГГц (при круговой поляризации правого вращения) – третья группа из 11 каналов со скоростью 819 Мбит/с (манипуляция 8 PSK, турбокодирование со скоростью 0,711).

Для управления спутниками на этапе орбитальных испытаний использовался традиционный S-диапазон частот, а затем – четвертая группа каналов в поддиапазоне 20,2...20,7/30...30,5 ГГц (при круговой поляризации левого вращения) Ка-диапазона частот.

Спутник «MUOS-1» введен в эксплуатацию в ноябре 2012 г. Система «MUOS» была введена в начальную эксплуатацию 21 ноября 2012 г.

Запуск спутника «MUOS-5» был осуществлен в конце июня 2016 г. Из-за неисправности апогейной двигательной установки ИСЗ остался на промежуточной переходной к геостационарной орбите. В сентябре-октябре 2016 г. с использованием малых двигателей (26 включений) спутник был переведен на ГСО для проведения орбитальных испытаний.

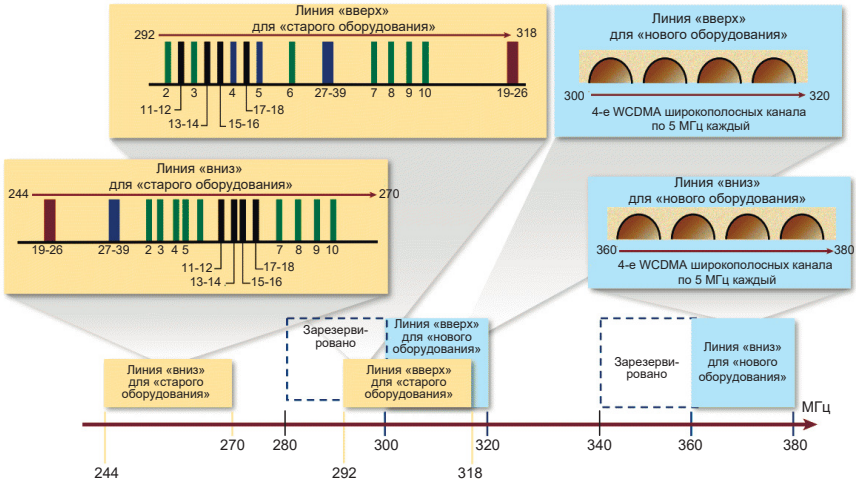


Рис. 2.10. Частотный план ИСЗ «MUOS»

Спутник «MUOS-5» введен в эксплуатацию в апреле 2017 г. в точке 104,4° з.д., и его используют в качестве орбитального резерва. В декабре 2017 г. компания «Lockheed Marti» получила контракт на модернизацию системы ИСЗ «MUOS» сроком до декабря 2020 г. По этому изменению контракта компания «Локхид Мартин» будет предоставлять услуги по разработке и проектированию, материально-техническому обслуживанию, предоставлению запасных частей и материалов. Ввод ВССС «MUOS» в полную эксплуатацию был осуществлен в 2017 г.

Наземный сегмент

В сухопутных войсках в качестве основного средства спутниковой связи в УКВ-диапазоне предполагается использовать унифицированные многофункциональные программируемые радиостанции типа JTRS (Joint Tactical Radio Systems – объединенные средства тактической радиосвязи), адаптированные для работы с сигналами ИСЗ «MUOS». Всего планируется иметь более 200 тыс. комплектов радиостанций этого типа. Радиостанции линейки JTRS производства компании «Harris» AN/PRC-158, AN/PRC-117G и AN/PRC-155 представлены на рис. 2.11, *а-в* соответственно.

Для сопряжения космических и наземных элементов всех систем связи МО США созданы узлы связи «Телепорт», оснащенные станциями связи военных (КВЧ, СВЧ, Ka, УКВ) и коммерческих (C, Ku, Ka) диапазонов. Они обеспечивают коммутацию и маршрутизацию каналов и линий связи между наземными и космическими системами связи, а также доступ к информационным ресурсам системы «DISN» и другим ведомственным сетям.



а) б) в)

Рис. 2.11. Радиостанции линейки JTRS

В наземном сегменте управления ВССС «MUOS» созданы четыре центра управления спутниками на Вахиеве (Гавайские острова), в Норфолке (шт. Вирджиния), Коджерна (западная Австралия) и Сигонелла (Сицилия, Италия). Каждый центр управления оснащен тремя антенными системами с диаметрами параболических зеркал по 19 м. Мощность передатчика – 1,6 кВт. Коэффициент усиления антенны составляет 41,4 дБ, а ЭИИМ – 91,4 дБ Вт.

2.1.4. Военная система ретрансляции данных

СРД «SDS»

Военная система ретрансляции данных (СРД) «SDS» (SDS – Satellite Data System) предназначена для ретрансляции данных, например, от спутников оптикоэлектронной разведки семейства «KeyHole-11», в частности, на наземную станцию в Форт Белвур (шт. Вирджиния), управления этими спутниками, а также передачи данных между наземными станциями сети управления спутниками ВВС США [4-9]. Спутники системы также оснащены узкополосными 12-канальными ретрансляторами, аналогичными установленным на ИСЗ типа «Fltsatcom». На первом этапе в составе системы использовались только ИСЗ на высоких эллиптических орбитах типа «Молния», в феврале 1981 г. на орбиту был выведен первый геостационарный ИСЗ (80° в.д.), оснащенный ретранслятором Ka-диапазона частот системы «SDS», а с 1990 г. в ней применяются специализированные ИСЗ на ГСО первого (USA-67), второго (USA-155 и -162) и третьего (USA-227, -236, -250 и-252) поколений.

Космический сегмент

В составе космического сегмента системы «SDS» используются следующие геостационарные ИСЗ (табл. 2.14).

Для системы с условным наименованием «SDS» и ИСЗ-ретрансляторов трех поколений зарезервированы следующие точки геостационарной орбиты:

– западная долгота: 10°, 13°, 24°, 30°, 141° и 144°;

– восточная долгота: 0°, 44°, 75°, 82°, 92° и 110°.

Спутники первого поколения оснащены ретрансляторами частот S-диапазона (2 222,5; 2 282,5/1 767,725 МГц, передача команд и телеметрия), ИСЗ второго поколения ретрансляторами S-диапазона (2 242,5/1 795,752 и 1 839,795 МГц, передача команд и телеметрия), а ИСЗ третьего поколения – ретрансляторами Ka-диапазона (30...31/17,8...17,87; 18...21,2 ГГц).

Таблица 2.14

Космический сегмент системы «SDS»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«USA-155»	110° в.д.	7,9	06.12.2000	11
«USA-162»	74° в.д.	9	11.10.2001	11
«USA-227»	144° з.д.	4,7	11.03.2011	15
«USA-236»	10° з.д.	1,6	20.06.2012	15
«USA-252»	170° в.д.	3	22.05.2014	15
«USA-269»	11° з.д.	4,45	28.07.2016	15
«USA-279»	91,9° в.д.	4,89	15.10.2017	15

2.1.5. Военные спутниковые системы полярного дополнения

ВССС «IPS/EPS»

Для обеспечения защищенной КВЧ-связи в северных полярных районах (65-90° с.ш.) Земли (в частности, с подводными лодками) в дополнение к спутникам семейств «Milstar»

и «AEHF» ВС США используются дополнительные комплекты оборудования, устанавливаемые на спутниках другого назначения, находящихся на высоких эллиптических орбитах [4-9]. К таким спутниковым системам относятся – «IPS» (Interim Polar System – полярное дополнение) и «EPS» (Enhanced Polar System – усовершенствованное полярное дополнение).

В составе космического сегмента системы «IPS/EPS» используются четыре комплекта оборудования на борту спутников на высоких эллиптических орбитах с периодом обращения 12 ч (табл. 2.15).

Таблица 2.15

Космический сегмент системы «IPS/EPS»

Спутник	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«IPS-1»	63,4	08.11.1997	13
«IPS-2»	62,9	28.06.2006	13
«IPS-3»	63,2	13.03.2008	13
«EPS-1»	63,3	13.12.2014	15+
«EPS-2»	62,9	24.09.2017	15+

Запуск первой полезной нагрузки типа «IPS» на спутнике на высокой эллиптической орбите был осуществлен в 1997 г. Вывод на орбиту второй полезной нагрузки был осуществлен только в июне 2006 г., а третьего – в 2008 г. Система «IPS» является временной, так как не удовлетворяет всем требованиям МО США. Так как в 2008 г. запуск первой полезной нагрузки системы «EPS» был перенесен на 2013 г., то рассматривалась возможность приобретения четвертой полезной нагрузки типа «IPS» и ее запуска на замену первой, расчетный срок функционирования которой завершался в начале 2010 г. Однако состав космического элемента системы решили ограничить двумя полезными нагрузками.

Расчетные сроки функционирования второй и третьей полезных нагрузок системы «IPS» заканчиваются в 2018 и 2020 гг. соответственно.

В дальнейшем развитие этого дополнения связывалось с работами по перспективной системе «Tcs». Однако в 2005 г. концепция перспективной системы «Tcs» изменилась, и в ее составе планировалось использовать только две полезные нагрузки на двух спутниках на высоких эллиптических орбитах и наземные шлюзовые станции.

В ходе реализуемой программы создания новых систем связи к 2015 г. первоначально планировалось развернуть три ИСЗ на геосинхронных орбитах с большим наклонением системы «APS» (APS – Advanced Polar System – улучшенное полярное дополнение).

Позже концепция дополнения «APS» также изменилась, и в ее составе теперь предполагали иметь два-три КВЧ-ретранслятора на высоких эллиптических орбитах системы «APS/EPS».

Работы по системе «EPS» в 2007 г. продолжались на втором этапе двумя подрядчиками – компаниями «Northrop Grumman» и «Boeing», получившими в декабре 2006 г. контракты сроком на 14 и 12 месяцев соответственно.

Разработка концепции наземного сегмента системы «EPS» была завершена в январе 2010 г. Проектирование наземного сегмента планировалось завершить в конце 2011 г. Запуски полезных нагрузок системы «EPS» начались в 2014 г.

Контракты с компанией «Boeing» на создание трех ИСЗ на основе платформы BSS-702SP для полезных нагрузок системы «EPS» были заключены в начале 2013 г.

В феврале 2013 г. заказчику была поставлена первая эксперементальная полезная нагрузка «EPS», далее планировалось проведение ее испытаний в составе ИСЗ-носителя. Скорее всего, первую полезную нагрузку системы «EPS» разместили на ИСЗ серии «JUMPSEAT», запуск которого был осуществлен в 2014 г., так как ранее полезная нагрузка системы «IPS» устанавливалась только на ИСЗ этой серии.

В марте 2014 г. предполагалось, что испытания первой полезной нагрузки «EPS» будут завершены в марте 2015 г., а запуск ИСЗ с первой полезной нагрузкой «EPS» будет осуществлен в период с апреля 2015 г. по февраль 2016 г. Также предполагалось, что испытания второй полезной нагрузки «EPS» будут завершены в ноябре 2016 г., а запуск ИСЗ со второй полезной нагрузкой «EPS» будет осуществлен в период с декабря 2016 г. по октябрь 2017 г. (рассматривая указанные сроки необходимо учитывать низкую потенциальную достоверность этой информации, так как данные о ИСЗ серии «JUMPSEAT» не публикуются).

Благодаря устойчивому функционированию полезных нагрузок системы «IPS» фактически этап разработки системы «EPS» и производства ее элементов был начат только в апреле 2014 г., а в июле 2014 г. был рассмотрен ход работ по системе.

В составе наземного сегмента систем «IPS/EPS» планировалось использовать комплекс приемопередающих средств на АвБ Клир (шт. Аляска), соединенный с основным центром управления на АвБ Шривер (шт. Колорадо) и резервным центром управления, а также с сегментом планирования и управления.

В состав системы «EPS» войдут четыре элемента:

– две полезные нагрузки двух ИСЗ на высоких эллиптических орбитах с периодом обращения 12 ч;

– усовершенствованные наземные терминалы КВЧ-связи ВМС;

– наземная шлюзовая станция на АвБ Клир (шт. Аляска) с тремя усовершенствованными наземными терминалами для обеспечения взаимных стыковок полезных нагрузок «EPS» с сетью «DISN» информационной системы МО США, информационной сетью «DODIN» и глобальной информационной системой «GIG» (GIG – Global Information Grid – глобальная информационная система) через телепорт в Кэмп Робертс (шт. Калифорния), а также с терминалом передачи команд и приема телеметрии двух полезных нагрузок;

– сегмент управления и планирования в составе оборудования, размещенного на АвБ Клир (шт. Аляска) и на АвБ Шривер (шт. Колорадо).

Полезная нагрузка «EPS» на ИСЗ оснащена тремя антенными системами, формирующими один узкий луч диаграммы направленности на наземную шлюзовую станцию, один узкий луч диаграммы направленности на район расположения пользователей и один полуглобальный луч диаграммы направленности. Полезная нагрузка обеспечивает 20 каналов передачи данных со скоростью 64 кбит/с в каждом. Скорость передачи данных для одного абонента составляет от 75 бит/с до 1,28 Мбит/с (совместима с ВССС «AEHF»). По другим данным, скорость передачи данных для одного абонента составит до 18 Мбит/с.

Вторая полезная нагрузка «EPS» для ИСЗ в октябре 2014 г. была выведена из режима хранения, и начаты ее испытания.

В декабре 2014 г. были проведены начальные испытания конструкторского оборудования шлюзовой станции систмы «IPS/EPS», в январе 2015 г. – первые квалификационные испытания этого оборудования.

С января по апрель 2015 г. проведены квалификационные испытания конструкторского оборудования шлюзовой станции «IPS/EPS».

В декабре 2015 г. построен сегмент управления и планирования системы «IPS/EPS». Приемочные испытания сегмента управления и планирования были проведены весной 2017 г.

Вторая полезная нагрузка системы «EPS» размещена на очередном спутнике серии «JUMPSEAT», запуск которого осуществлен в сентябре 2017 г.

Испытания системы «EPS» намечалось завершить в феврале 2018 г., а на июнь 2018 г. планировался ввод ее в эксплуатацию.

Центр космических и ракетных систем министерства ВВС в апреле 2017 г. объявил конкурс на продолжение работ по связному оборудованию системы «EPS». Предполагается, что запуски двух дополнительных полезных нагрузок системы «EPS» могут состояться в 2022 г. Контракт на создание высокоскоростного оборудования мог быть заключен не ранее февраля 2018 г.

2.2. Военная система спутниковой связи Великобритании

ВССС «Skynet»

Система спутниковой связи «Skynet» обеспечивает защищенную связь в интересах тактических и стратегических подразделений ВС Великобритании. Заказчиком системы является МО Великобритании. Оператором системы первоначально являлось агентство закупок МО [4-6]. В 2003 г. компания «Paradigm» (Paradigm Secure Communications Ltd.) стала первым в мире коммерческим провайдером услуг военной спутниковой связи. Впервые был предложен вариант создания новых спутников по финансовой схеме частной инициативы фирмы-разработчика. Согласно этой схеме, МО Великобритании будет арендовать ИСЗ у компании, которая разработает и построит его на свои средства. После завершения сроков аренды ИСЗ может быть сдан в пользование на коммерческой основе другим операторам.

МО Великобритании подписало в конце октября 2003 г. контракт с компанией «Paradigm» на 15 лет по предоставлению услуг и соответствующего оборудования, включая эксплуатацию четырех ИСЗ серии «Skynet-4» и создание двух спутников серии «Skynet-5». Компания «Paradigm» в итоге приобрела ВССС Великобритании и еще получила контракт МО Великобритании на обслуживание этой системы в интересах заказчика до 2022 г.

В состав космического сегмента ВССС «Skynet» входят следующие ИСЗ (табл. 2.16, рис. 2.12).

Таблица 2.16

Космический сегмент ВССС «Skynet»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Skynet-4C»	33,5° в.д.	13,9	30.08.1990	7
«Skynet-4E»	1,2° з.д.	10,29	27.02.1999	10
«Skynet-4F»	34° з.д.	9,1	07.02.2001	10
«Skynet-5A»	94,1° в.д.	0,067	11.03.2007	15
«Skynet-5B»	24,1° в.д.	0,068	14.11.2007	15
«Skynet-5C»	17,8° з.д.	0,06	12.06.2008	15
«Skynet-5D»	52,7° в.д.	0,07	19.12.2012	15

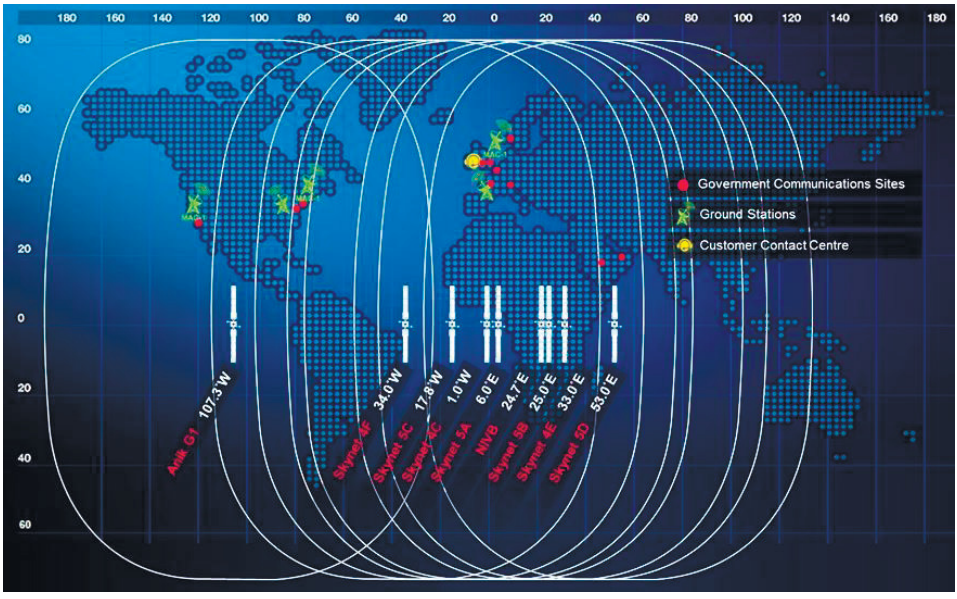


Рис. 2.12. Космический сегмент ВССС«Skynet»

ИСЗ серии «Skynet-4»

Спутник создан на основе платформ коммерческих ИСЗ OTS и ECS.

На спутниках серии «Skynet-4» установлены (табл. 2.17, 2.18):

– два ретранслятора УКВ-диапазона, антенная система содержит одну спиральную антенну, обеспечивающую прием-передачу и глобальный охват;

– четыре ретранслятора Х-диапазона частот, антенная система ИСЗ содержит один приемный и три передающих рупора, формирующие полуглобальный луч, и две параболические антенны, формирующие широкий, узкий и очень узкий (3°) лучи, все антенны работают с излучениями с круговой поляризацией;

– экспериментальный приемник Ка-диапазона частот, антенная система содержит рупорную антенну.

ИСЗ второго этапа имеют в Х-диапазоне частот перенацеливаемые антенны с очень узкими (3°) лучами, в УКВ-диапазоне частот – гибкое переключение каналов, а во всех диапазонах – большую по сравнению со спутниками первого этапа мощность передатчиков.

Таблица 2.17

Основные технические характеристики ИСЗ «Skynet-4C»

Платформа	ECS
Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (293...322/239,5...268,5 МГц) с полосами частот по 25 кГц	2
Число ретрансляторов Х-диапазона частот:	
– в полуглобальном луче 7,975...8,11/7,25...7,385 ГГц с полосой частот 135 МГц	1
– в широком луче 8,145...8,23/7,42...7,505 ГГц с полосой частот 85 МГц	1
– в узком луче 8,255...8,315/7,53...7,59 ГГц с полосой частот 60 МГц	1
Мощность передатчиков Х-диапазона частот, Вт	50
Число приемников Ка-диапазона частот (43...45 ГГц)	1
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	39

Таблица 2.18

Основные технические характеристики ИСЗ «Skynet-4E, -4F»

Платформа	ECS
Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (293...322/239,5...268,5 МГц) с полосами частот по 25 кГц	2
Число ретрансляторов Х-диапазона частот:	
– в полуглобальном луче 7,975...8,11/7,25...7,385 ГГц с полосой частот 135 МГц	1
– в широком луче 8,145...8,23/7,42...7,505 ГГц с полосой частот 85 МГц	1
– в узком луче 8,255...8,315/7,53...7,59 ГГц с полосой частот 60 МГц	1
– в узком луче 8,34...8,4 7/7,277...7,32 ГГц с полосой частот 60 МГц	1
Мощность передатчиков Х-диапазона частот, Вт	50
Число приемников Ка-диапазона частот (44,59...44,62 ГГц)	1
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	40

ИСЗ серии «Skynet-5»

Предполагалось, что перспективные спутники системы будут оснащены ретрансляторами частот УКВ-диапазона (293...322/239,5...268,5 МГц) и Х-диапазона (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц). Однако от продолжения серии отказались в связи с переходом на новую серию «Skynet-5».

В соответствии с 15-летним соглашением, подписанным в апреле 2004 г. НАТО с Францией, Великобританией и Италией, этими странами совместно создана система СВЧ- и УКВ-диапазонов частот на основе спутников серий «Syracuse-3» (Франция), «Skynet-4» и

«Skynet-5» (Великобритания), а также «Sicral» (Италия). Предполагалось, что два спутника серии «Skynet-5» обеспечат 45 % потребностей НАТО в связи СВЧ-диапазона частот.

Спутники серии «Skynet-5» оснащены ретрансляторами УКВ- и Х-диапазонов частот (табл. 2.19). На борту спутников серии установлены две активные антенные системы Х-диапазона частот:

– приемная, способная формировать свыше 50 независимых лучей диаграммы направленности, в том числе глобальный (диаметр антенны наземного терминала составляет 1,2 м и более, обеспечивает передачу данных со скоростями выше 1 Мбит/с), широкие, региональные и на ТВД (большая полуось эллипса на поверхности Земли составляет около 600 км, диаметр антенны наземного терминала составляет 0,45 м и более, обеспечивает передачу данных со скоростями выше 1 Мбит/с);

– передающая, способная одновременно формировать глобальный луч диаграммы направленности с максимальной ЭИИМ 41 дБ·Вт и четыре перенацеливаемых узких луча диаграммы направленности с максимальной ЭИИМ 50,5 дБ Вт.

Таблица 2.19

Основные технические характеристики ИСЗ «Skynet-5»

Платформа	EUROSTAR 3000S
Число ретрансляторов УКВ-диапазона частот (293...322/239,5...268,5 МГц)	
– с полосами частот по 5 кГц	5
– с полосами частот по 25 кГц	4
Число ретрансляторов Х-диапазона частот (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц)	
– с полосами частот по 20 МГц	8
– с полосами частот по 22 МГц	3
– с полосами частот по 40 МГц	4
Мощность передатчиков Х-диапазона частот, Вт	160
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	56 (в узких лучах) 41 (в глобальном луче)

Внешний вид ИСЗ серии «Skynet-5» представлен на рис. 2.13.

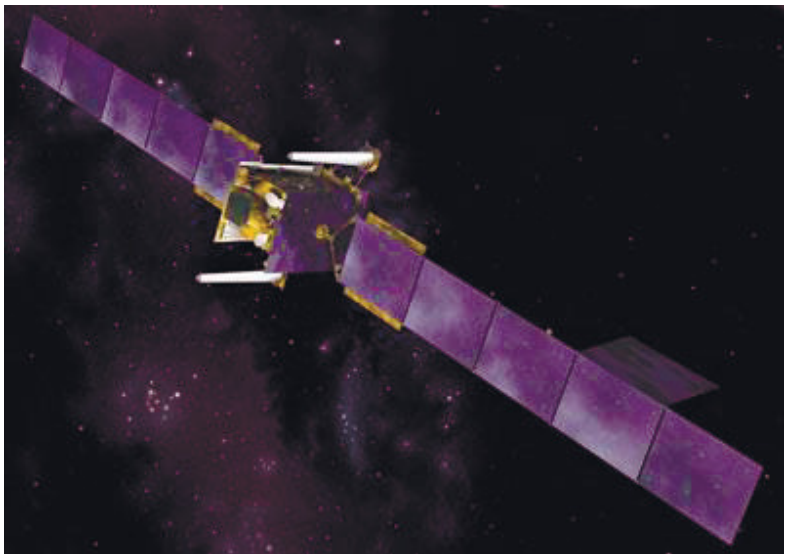


Рис. 2.13 Внешний вид ИСЗ серии «Skynet-5»

ИСЗ «Skynet-5A и -5B»

Решение о выдаче контракта на создание двух спутников «Skynet-5A и -5B» было принято в сентябре 2003 г. Рабочие зоны ИСЗ «Skynet-5A» представлены на рис. 2.14

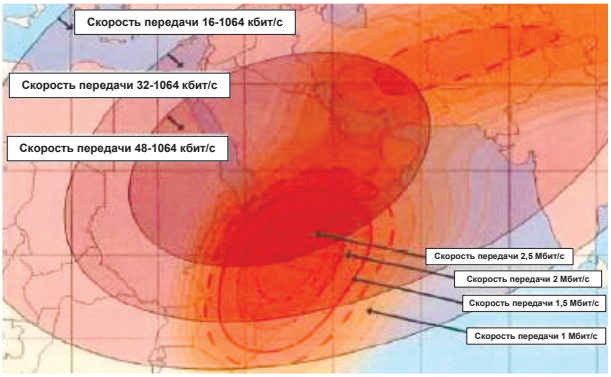


Рис. 2.14. Рабочие зоны «Skynet-5A

ИСЗ «Skynet-5C»

В декабре 2005 г. компания «Paradigm» получила опцион контракта министерства обороны Великобритании на третий ИСЗ, продлила этот контракт на 2 года (до 2020 г.) и заключила контракт с компанией «Arianespace» на запуск ИСЗ «Skynet-5C» в 2008 г. Рабочие зоны ИСЗ представлены на рис. 2.15.

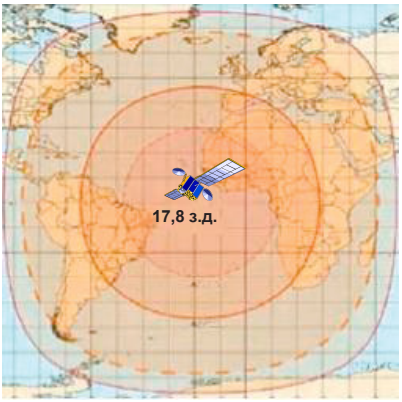


Рис. 2.15. Рабочие зоны «Skynet-5C»

ИСЗ «Skynet-5D»

В декабре 2005 г. компания «Paradigm» заказала компоненты для ИСЗ «Skynet-5D». В марте 2010 г. контракт с компанией «Парадигм» был продлен еще на 2 года (до 2022 г.) с выделением средств, в том числе на четвертый спутник «Skynet-5D». В июне-июле 2013 г. ИСЗ «Skynet-5D» был переведен в точку 52,7° в.д. Рабочие зоны ИСЗ представлены на рис. 2.16.

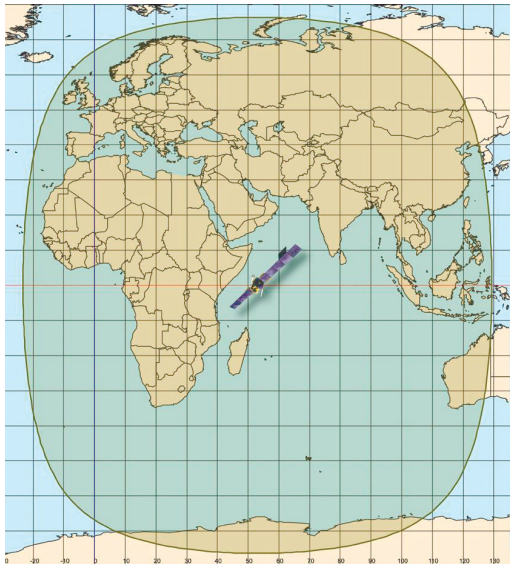


Рис. 2.16. Рабочие зоны «Skynet-5C»

Перспективные ИСЗ

Предполагалось, что новые спутники «Skynet-5E» и «Skynet-5F» будут оснащены ретрансляторами частот УКВ-диапазона и Х-диапазона по диапазону аналогичными ИСЗ типа «Skynet-5», а также Ка-диапазона частот (30...31 / 20,2...21,2 ГГц. Однако пока необходимости в запусках этих двух спутников нет.

Наземный сегмент

В настоящее время используется (рис. 2.17) центр управления в Хавторн (графство Вилтшир), который объединил в сеть три пункта управления на территории Великобритании (в Оукхангер (графство Гэмпшир), в Колерн (графство Вилтшир)) и в Рейндалене (Германия).

Основная станция центра управления расположена на территории базы Королевских ВВС Великобритании в Оукхангер (графство Гэмпшир).

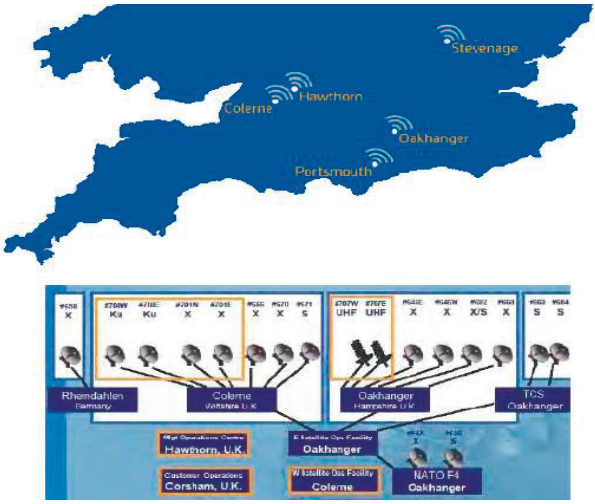


Рис. 2.17. Наземный сегмент ВССС «Skynet»

2.3. Военная система спутниковой связи Испании

ВССС «Spainsat»

В 2001 г. для создания национального ИСЗ «Spainsat» испанским правительством (в том числе МО) создана компания «Hisdesat» [4-6]. В составе ВССС «Spainsat» используются следующие ИСЗ (табл. 2.20).

Таблица 2.20

Космический сегмент ВССС «Spainsat»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«XTAR-LANT»	30° з.д.	0,024	11.03.2006	15
«XTAR-EURO»	28° в.д.	0,033	13.02.2005	15

ИСЗ «XTAR-LANT»

Заказ на изготовление ИСЗ предусматривал создание полезной нагрузки с ретрансляторами частот: S-диапазона (2,2...2,29/2,052...2,084 ГГц), X-диапазона (7,9...8,4/7,25...7,75 МГц) и Ka-диапазона (43,5…45,5/20,2...21,2 ГГц) (табл. 2.21).

Таблица 2.21

Основные технические характеристики ИСЗ «XTAR-LANT»

Платформа	SSL1300
Число ретрансляторов:	
X-диапазона частот (7,9...8,4/7,25...7,75 МГц) с полосами по 72 МГц	13
Ka-диапазона частот (43,5…45,5/20,2...21,2 ГГц)	1

Антенная система ИСЗ формирует ДН (рис. 2.18) с двумя фиксированными полуглобальными лучами (круговая поляризация правого и левого вращения), двумя фиксированными узкими лучами (С1 и С7) и пятью перенацеливаемыми узкими лучами (С2...С6). Узкие лучи имеют ширину 4,5°. Также в инересах МО Испании используется один ретранслятор Ka-диапазона частот. Антенная система ИСЗ формирует ДН с одним фиксированным лучом на Испанию (прием) и одним перенацеливаемым узким лучом (передача).

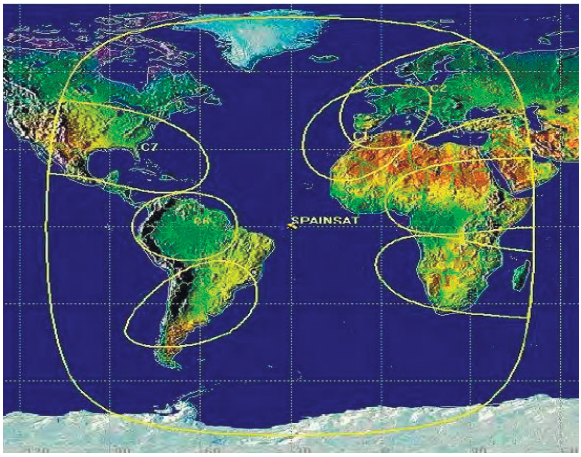


Рис. 2.18. Рабочие зоны ИСЗ «XTAR-LANT»

ИСЗ «XTAR-EURO»

На спутнике установлены ретрансляторы частот (табл. 2.22): S-диапазона (2,2...2,29/2,025...2,11 МГц) и 12 ретрансляторов X-диапазона (7,9...8,4/7,25...7,75 МГц) для пра-

вительственной и военной связи Испании и стран-участниц блока НАТО (спутник может использоваться в качестве резерва на случай выхода из строя ИСЗ «XTAR-LANT»).

Таблица 2.22

Основные технические характеристики ИСЗ «XTAR-EURO»

Платформа	SSL 1300
Число ретрансляторов X-диапазона частот (7,25...7,75/7,9...8,4 ГГц) с полосами частот по 72 МГц	12

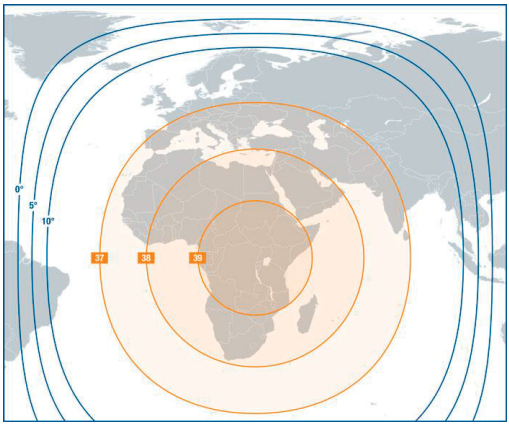


Рис. 2.19. Рабочие зоны ИСЗ «XTAR-EURO»

В X-диапазоне частот 1...6 ретрансляторы используют круговую поляризацию правого вращения, 7...12 – левого вращения. Антенная система обеспечивает формирование (рис. 2.19) двух фиксированных полуглобальных лучей (с ЭИИМ 34...38 дБ·Вт, 1...6 и 7...12 ретрансляторы), четырех перенацеливаемых узких лучей (С2...С5, ширина диаграмм по 4,5°, 1...3, 4...6, 7...10 и 9...12 ретрансляторы) и одного фиксированного узкого луча (С1, ширина диаграммы – 4,5°, 1...6 ретрансляторы с ЭИИМ 44...48 дБ Вт, мощность передатчика составляет 100 Вт).

Компания «Hisdesat» сдает в аренду МО Испании пять ретрансляторов X-диапазона частот и ретранслятор Ka-диапазона частот. Другие ретрансляторы X-диапазона частот арендуются компанией для заказчиков в МО США и других стран организации НАТО.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента ВССС «Spainsat» используется основной центр управления, расположенный в Арганда-дель-Рей (пригород Мадрида), а также резервный центр в Маспальмос (Канарские острова).

2.4. Военная система спутниковой связи Италии

ВССС «Sicral»

Система «Sicral» предназначена для организации непрерывной и помехозащищенной связи в интересах военно-политического руководства Италии, а также органов управления вооруженными силами всех уровней как на национальной территории, так и за ее пределами. Кроме того, система позволяет осуществлять гарантированную передачу сигналов оповещения и предупреждения о ракетно-ядерном нападении и применении оружия массового поражения. Она разработана и функционирует с учетом стандартов НАТО, что предоставляет ей

возможность сопряжения с военными спутниковыми системами союзников по блоку (французской – «Syracuse» и британской – «Skynet») и задействоваться в интересах ОВС альянса [4-6, 10].

ВССС «Sicral» состоит из космического и наземного сегментов.

Космический сегмент включает три ИСЗ-ретранслятора на геостационарной орбите: «Sicral-1», «Sicral-1B и «Sicral-2» (табл. 2.23).

Таблица 2.23

Космический сегмент ВССС «Sicral»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Sicral-1A»	16,2° в.д.	7,15	07.02.2001	10
«Sicral-1B»	11,8° в.д.	0,21	20.04.2009	13
«Sicral-2»/«Syracuse-3C»	36° в.д.	0,12	26.04.2015	15

Правительством Италии для спутников семейства «Sicral» заявлены следующие подспутниковые точки геостационарной орбиты:

– западная долгота: 27°, 17°, 11°, 8° и 1°;

– восточная долгота: 4°, 10°, 11,8°, 16,2°, 16,4°, 21,8° и 39°.

ИСЗ «Sicral-1A»

В состав полезной нагрузки ИСЗ (масса 450 кг) входят по четыре ретранслятора X- и Ka-диапазонов частот, а также один ретрансляор УКВ-диапазона.

Ретрансляторы X- и Ka-диапазонов частот имеют полосы пропускания по 50 МГц. Пропускная способность каждого из них может составлять до 40 Мбит/с. При многостанционном доступе скорости передачи данных наземными терминалами составляют от 64 кбит/с до 2 Мбит/с, а при использовании режима «один канал на несущую» и многостанционного доступа с предоставлением каналов по требованию – 32 и 64 кбит/с. Ретранслятор УКВ-диапазона обеспечивает три канала с полосами пропускания по 150 кГц. Скорости передачи данных в этих каналах составляют от 75 бит/с до 16 кбит/с. При использовании режима МДВР и многостанционного доступа с предоставлением каналов по требованию скорости передачи составляют от 2,4 до 16 кбит/с. В X-диапазоне антенная система формирует 11 узких фиксированных лучей, охватывающих Европу, Средиземноморье, восточную часть Африки, а также Ближний Восток, и один узкий перенацеливаемый луч, образующий на земной поверхности зону обслуживания диаметром около 2 000 км. Этот диапазон является основным и используется стационарными, транспортабельными, корабельными и переносными терминалами, позволяющими работать со средними и высокими (до 40 Мбит/с) скоростями передачи данных, а также в фидерной линии для обеспечения подвижной связи в УВЧ-диапазоне. В Ka-диапазоне антенная система ИСЗ формирует один луч земного охвата (видимой с орбиты поверхности Земли) и один узкий луч, обслуживающий территорию Италии и прилегающие районы. Этот диапазон используется для работы транспортабельных терминалов и для фидерной линии при обеспечении подвижной связи в УКВ-диапазоне, а также наземными центрами для управления бортовой аппаратурой ИСЗ. В УКВ-диапазоне формируется один луч земного охвата и обеспечивается связь в движении с помощью терминалов, размещаемых на самолетах, кораблях и мобильных средствах. Резервные радиолинии командно-телеметрической системы функционируют в S-диапазоне. Характеристики ИСЗ приведены в табл. 2.24.

Ретрансляторы УКВ-диапазона используются для обеспечения связью ВМС и ВВС, ретранслятор S-диапазона – для обеспечения подвижной связью, ретрансляторы X-диапазона – для организации специальных сетей связи сухопутных войск, а ретрансляторы Ka-диапазона – для обеспечения связью руководства страны (предусмотрена возможность переключения излучений между ретрансляторами трех диапазонов частот).

Таблица 2.24

Основные технические характеристики ИСЗ «Sicral-1A»

Платформа	ITALSAT-3000
Число ретрансляторов:	
УКВ-диапазона частот (293...308/252...267 МГц)	1
S-диапазона частот (2 203,1...2 203,7/2 028,7...2 029,3 МГц)	1
X-диапазона частот (7 900...8 400/7 250...7 750МГц)	4
Ka-диапазона частот (43,5...44,5/20,2...21,2 ГГц)	4
Выходная мощность передатчиков, Вт:	
– УКВ-диапазон	10; 20; 40
– X-диапазон	10
–Ka-диапазон	20
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– УКВ-диапазон	33
– S-диапазон	6
– X-диапазон	44,5

ИСЗ «Sicral-1B»

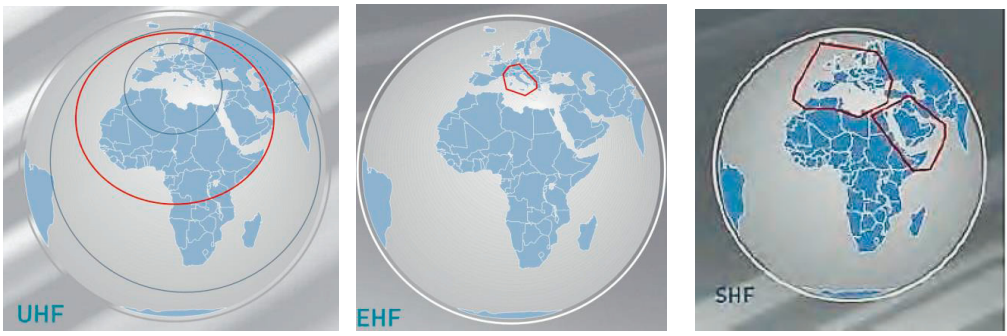
В 2000 г. было начато создание второго аналогичного ИСЗ этой серии – «Sicral-1B», который предполагалось в перспективе использовать в качестве резервного.

Спутник планировалось оснастить 15 ретрансляторами УКВ-диапазона частот (шесть из них – в интересах НАТО, предусмотрена обработка сигналов на борту с целью исключения возможности использования ретрансляторов ИСЗ противником), четырьмя ретрансляторами X-диапазона частот (один из них – в интересах НАТО, один с узким перенацеливаемым лучом, при этом в ретрансляторах предусмотрена возможность «обнуления» диаграммы направленности в направлении источника помех), одним ретранслятором S-диапазона частот и двумя ретрансляторами Ka-диапазона частот (табл. 2.25). Возможность коммутации передаваемых данных на борту ИСЗ между ретрансляторами различных диапазонов частот не предусматривалась.

Таблица 2.25

Основные технические характеристики ИСЗ «Sicral-1B»

Платформа	ITALSAT-3000
Число ретрансляторов:	
УКВ-диапазона частот (293...308/252...267 МГц)	15
X-диапазона частот (7 900...8 400/7 250...7 750МГц)	4
Ka-диапазона частот (43,5...44,5/20,2...21,2 ГГц)	2



а) б) в)

Рис. 2.20. Рабочие зоны ИСЗ «Sicral-1B»

В конце 2006 г. МО Италии заказало создание спутника «Sicral-1B» и соответствующего наземного оборудования. Были созданы ретрансляторы УКВ-, X- и Ka-диапазонов. Спутник обеспечивает связь одновременно во всех вышеуказанных диапазонах частот, причем по сравнению с первоначальным проектом была реализована бортовая коммутация каналов по всем диапазонам частот. Рабочие зоны ретрансляторов ИСЗ «Sicral-1B» представлены на рис. 2.20, *а-в*.

ИСЗ «Sicral-2»/«Syracuse-3C»

В конце 2002 г. МО Италии были завершены исследования, связанные с проектом спутника серии «Sicral-2», запуск которого предполагался в 2010 г. В частности, его намечалось оснастить четырьмя ретрансляторами X-диапазона (все с узкими перенацеливаемыми лучами). ИСЗ намечалось использовать в системе вместо спутника «Sicral-1A» в точке 21,8° в.д. В соответствии с 15-летним соглашением, подписанным к апрелю 2004 г. организацией НАТО с Францией, Великобританией и Италией, этими странами совместно создается перспективная система СВЧ- и УКВ-диапазонов частот на основе ИСЗ серий «Syracuse-3» (Франция), «Skynet-4» и «Skynet-5» (Великобритания) и «Sicral» (Италия). МО Италии предоставляет НАТО услуги УКВ-диапазона частот через ИСЗ «Sicral-1A», а в также с 2009 г. услуги связи через ИСЗ «Sicral-1B».

Италия и Франция в середине 2007 г. планировали принять решение относительно совместного создания единой полезной нагрузки для спутников «Sicral-2» и «Syracuse-3C». ИСЗ «Sicral-2» было намечено оснастить ретрансляторами X-диапазона частот французского производства и УКВ-диапазона итальянского производства.

В итоге, в мае 2010 г. МО Италии и Франции были заключены контракты на создание спутника «Sicral-2»/«Syracuse-3C». Спутник оснащен двумя комплектами ретрансляторов X-диапазона частот (второй комплект используется под наименованием «Syracuse-3C») и ретрансляторами УКВ-диапазона частот (табл. 2.26).

Таблица 2.26

Основные технические характеристики ИСЗ «Sicral-2»/«Syracuse-3C»

Платформа	SPACEBUS-4000B2
Число ретрансляторов:	
УКВ-диапазона частот (293 … 308 / 252...267 МГц)	15
X-диапазона частот (7 900...8 400 / 7 250...7 750 МГц)	2 комплекта

Запуск спутника «Sicral-2»/«Syracuse-3C» был осуществлен в апреле 2015 г.

Во второй половине 2016 г. спутник «Sicral-2»/«Syracuse-3C» был перемещен из точки 36,8° в.д. в точку 37° в.д.

Наземный сегмент

Наземный сегмент ВССС «Sicral» (рис. 2.21) включает центр управления и контроля в населенном пункте Винья-ди-Валле (обл. Лацио), а также пользовательские терминалы для органов управления и подразделений всех видов ВС, общее управление которыми осуществляет 11-й полк связи СВ Италии (Чивитавеккья, обл. Лацио). Управление спутниками осуществляется в S- и Ka-диапазонах частот.



Рис. 2.21. Наземный сегмент ВССС «Sicral»

2.5. Военная система спутниковой связи Франции

ВССС «Syracuse»

В составе космического сегмента системы правительственной и военной связи Франции используются ИСЗ типа «Syracuse-3».

В ноябре 2000 г. МО Франции выбрало компанию «Alcatel Space» в качестве главного подрядчика на создание ВССС «Syracuse». Наземный элемент было поручено создавать группе компаний во главе с «Alcatel».

В составе космического сегмента используются три ИСЗ «Syracuse» (табл. 2.27).

Таблица 2.27

Космический сегмент ВССС «Syracuse»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Syracuse-3A»	47° в.д.	0,018	13.10.2005	12
«Syracuse-3B»	5,2° з.д.	0,019	11.08.2006	12
«Syracuse-3C»/«Sicral-2»	36° в.д.	0,12	26.04.2015	15

ИСЗ «Syracuse-3A и -3B» созданы компанией «Alcatel».

На ИСЗ серии «Syracuse-3» установлены антенные системы X- и Ka-диапазонов частот (табл. 2.28). Ретрансляторы X-диапазона обеспечивают формирование четырех узких лучей, одного глобального луча и одного регионального луча (на Францию).

Ретрансляторы Ka-диапазонов обеспечивают формирование двух узких лучей и одного глобального луча.

Таблица 2.28

Основные технические характеристики ИСЗ «Syracuse-3A» и «Syracuse-3B»

Число ретрансляторов X-диапазона частот (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц) с полосами частот по 40 МГц	9
Число ретрансляторов Ka-диапазона частот (43,5…45,5/20,2...21,2 ГГц) с полосами частот по 40 МГц	6

Наземный сегмент

Наземный сегмент ВССС «Syracuse» создан компанией «Thales Communications». Управление ИСЗ осуществляется в S-диапазоне частот (2 230...2 233/2 053...2 056 МГц) с помощью основного и резервного центров управления компании «Alcatel». На первом

этапе работ в наземном элементе системы (только во Франции) использовались средства системы «Syracuse-2» (транспортабельные терминалы и модернизированные наземные станции X-диапазона частот), а также новые терминалы Ka-диапазона частот. На втором этапе работ в наземном сегменте используются средства системы «Syracuse-2» (модернизированные наземные станции X-диапазона частот), а также новые транспортабельные (в том числе корабельные и самолетные) терминалы X- и Ka-/V-диапазонов частот. Наземный сегмент сухопутного базирования принят на вооружение в 2007 г., а наземный сегмент воздушного и морского базирования введен в эксплуатацию в 2012 г. По контракту создаются 540 терминалов для сухопутных войск и 45 терминалов для ВМС Франции.

2.6. Военная система спутниковой связи ФРГ

ВССС «COMSATBW»

Министерство обороны ФРГ применяет в интересах управления своими вооруженными силами ВССС на основе двух геостационарных спутников серии «COMSATBW» (другие наименования – «SATCOMBW» и «UNDESWEHRSAT») [4-6].

В апреле 2005 г. МО Германии подписало контракт на создание наземного комплекса системы. Было создано бортовое ретрансляционное оборудование X- и УКВ-диапазонов частот. Контрактом предусматривались закупки и запуски двух спутников, их эксплуатация под управлением подрядчика в течение 10 лет и продолжение аренды каналов связи в ретрансляторах спутников компании «Intelsat» в течение 10 лет. Кроме того, в контракте намечалось оговорить производство терминалов для фиксированной и подвижной связи абонентов. Выдача контракта по созданию системы была намечена на 2005 г.

В составе космического сегмента системы МО ФРГ используются следующие спутники (табл. 2.29).

Таблица 2.29

Космический сегмент ВССС «COMSATBW»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«COMSATBW-1»	62° в.д.	0,045	01.10.2009	15
«COMSATBW-2»	12° в.д.	0,026	21.05.2010	15

Орбитальная группировка представлена на рис. 2.22.

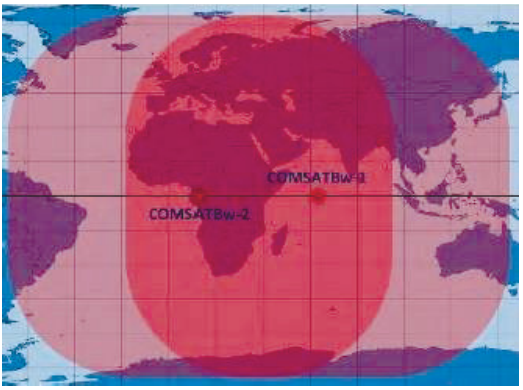


Рис. 2.22. Орбитальная группировка ВССС «COMSATBW»

Антенная система ИСЗ «COMSATBW» УКВ-диапазона формирует (рис. 2.23, табл. 2.30) два полуглобальных луча (один – на передачу, второй – на прием). Антенная система ИСЗ X-диапазона частот формирует один полуглобальный луч (рупорная антенна),

один широкий луч (параболическая антенна) и два узких перенацеливаемых луча (диаметр покрытия на земной поверхности – около 2 000 км, две параболические антенны меньшего диаметра). Осуществляется коммутация сигналов на борту ИСЗ между всеми лучами, кроме сигналов одного узкого перенацеливаемого луча. Общая полоса частот, используемых ИСЗ «COMSATBW», составляет 274 МГц.

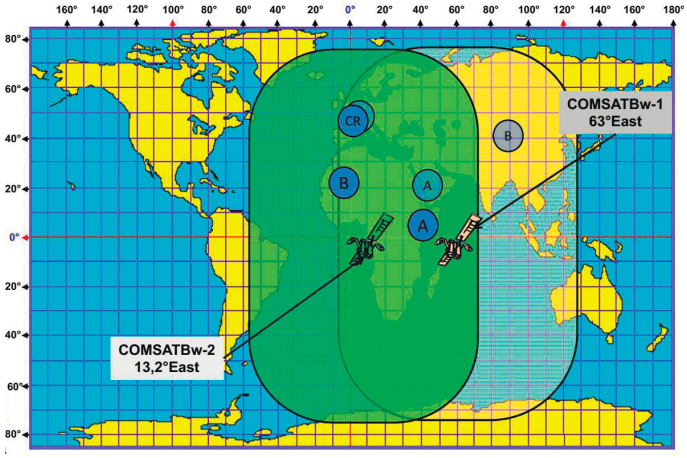


Рис. 2.23. Рабочие зоны ИСЗ «COMSATBW»

Таблица 2.30

Основные технические характеристики ИСЗ «COMSATBW»

Платформа	SPACEBUS-3000B2
Число ретрансляторов:	
– X-диапазона частот (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц)	4
– УКВ-диапазона частот (293...322/239,5...268,5 МГц) с полосами частот по 25 кГц	5
Мощность передатчиков в X-диапазоне частот, Вт	100

Наземный сегмент

Субподрядчиком наземного сегмента ВССС «COMSATBW» является космическое агентство Германии, которое управляет ИСЗ с использованием трех центров управления в Герольштейн, в Вейлхайм и в Кастеллау. Стационарные станции связи (с диаметром зеркал по 11 м) X-диапазона частот установлены в Вейлхайм (2), в Кастеллау (2) и в Герольштейн (1). Связь в УКВ-диапазоне частот обеспечивают две станции в Кастеллау.

Абонентские терминалы

В январе 2007 г. компания «General Dynamics Corporation» получила контракт на создание наземных транспортабельных и стационарных станций УКВ-, X- и Ka-диапазонов частот. Созданы транспортабельные терминалы тактического назначения с антеннами диаметром 2,4 и 4,6 м, работающие в C-, X- и Ku-диапазонах частот.

2.7. Военные системы спутниковой связи КНР

2.7.1. Военные системы стратегической и тактической спутниковой связи

Создание космических систем связи и передачи данных в КНР было активизировано в начале 2000-х гг. Для обеспечения спутниковой связью органов государственного и военного управления, войсковых формирований и других правительственных структур широко ис-

пользуются военные системы стратегической и тактической спутниковой связи, а также национальная, региональные и глобальные КССС (см. п. 3) [4-6, 12, 13].

По замыслу руководства КНР спутниковый компонент дополняет и объединяет инфраструктуру военной связи, являясь ключевым звеном в рамках создания интегрированной системы управления, связи, сбора и распределения разведывательных данных. Совершенствование таких систем рассматривается военным руководством страны в качестве одной из основных задач модернизации ВС на среднесрочную перспективу.

Работы по военной программе спутниковой связи ведутся по трем направлениям: стратегическая защищенная связь в рамках программы «Шэньтун», тактическая – «Фэнхо» и ретрансляция данных – «Тяньлянь» (см. п. 2.7.2). Кроме того, проводятся мероприятия по развертыванию систем подвижной связи S- и УКВ-диапазонов на базе геостационарных и низкоорбитальных коммерческих ИСЗ соответственно (см. п. 3.3.4).

Системы «Шэньтун» и «Фэнхо» предназначены для обеспечения защищенной связью высшего военно-политического руководства и командования Народно-освободительной армии Китая (НОАК), штабов объединенных командований, органов управления оперативно-тактического и тактического звена всех видов вооруженных сил, стационарных и подвижных абонентов наземного, воздушного и морского базирования (в том числе подводных лодок) на территории КНР, включая морские зоны, и во всем регионе Юго-Восточной Азии. Суммарная пропускная способность этих систем составляет около 2 Гбит/с.

В военных спутниках, в отличие от национальных комерческих ИСЗ связи, для исключения несанкционированного доступа к информации применяется аппаратура шифрования национального производства.

В настоящее время в составе космического элемента данных систем используются восемь геостационарных ИСЗ связи типа «Шэньтун-1» и «Шэньтун-2», «Фэнхо-1» и «Фэнхо-2».

ВССС «Шэньтун»

В настоящее время в составе космического элемента системы стратегической защищенной связи функционируют пять ИСЗ связи типа «Шэньтун-1 и -2» (табл. 2.31).

ИСЗ «Шэньтун-1-2» (другое наименование «Чжунсин-20А») первого поколения был выведен на геостационарную орбиту в 2010 г. и размещен в позиции 130° в.д. Он создан на базе платформы «DFH-3». Наземные станции связи через ИСЗ первого поколения оснащаются антеннами с диаметром рефлектора 3-4 м.

ИСЗ «Шэньтун-2-1» … «Шэньтун-2-4» (другое наименование «Chinasat») созданы на базе платформы «DFH-4». Бортовая аппаратура связи этих спутников включает 11 ретрансляторов Ku- и шесть ретрансляторов Ka-диапазонов.

Антенная система в Ku-диапазоне формирует один луч глобального охвата и два зональных луча, а в Ka-диапазоне – пять управляемых зональных лучей с адаптивной компенсацией помех. Для повышения помехозащищенности используется режим ППРЧ в полосе частот 500 МГц.

Таблица 2.31

Основные характеристики военных ИСЗ «Шэньтун»

Тип ИСЗ	Кол-во ИСЗ	Точка стоянгия	ДРЧ, ГГц	Проп. спос. ИСЗ, Мбит/с	Кол-во лучей ДНА	Расчетный срок службы, лет
«Шэньтун-1»	1	129° в.д.	6/4; 14/12	150	–	10
«Шэньтун-2»	4	97° в.д. 103° в.д. 154° в.д. 106,5° в.д.	14/12; 30/20	700	8 (3 – Ku, 5 – Ka)	8 и 10

ВССС «Фэнхо»

Система тактической спутниковой связи развернута на базе трех геостационарных ИСЗ семейства «Фэнхо» первого и второго поколений (табл. 2.32).

Таблица 2.32

Основные характеристики военных ИСЗ «Фэнхо»

Тип ИСЗ	Кол-во ИСЗ	Точка стояния	ДРЧ, ГГц	Проп. спос. ИСЗ, Мбит/с	Кол-во лучей ДНА	Расчетный срок службы, лет
«Фэнхо-1»	1	108°в.д.	0,35-0,40; 6/4	50	2 (1 – УВЧ, 1 – СВЧ)	8
«Фэнхо-2»	2	129° в.д. 20,5° в.д.	0,24–0,35; 6/4; 30/20	250	7 (1 – УВЧ, 1 – СВЧ, 5 – КВЧ)	10

ИСЗ первого поколения «Фэнхо-1-2» («Чжунсин-22А») создан на основе платформы «DFH-3». Выведен на орбиту в 2006 г. и в настоящее время размещен в позиции 108° в.д. На его борту установлены 12 ретрансляторов С- и два УВЧ-диапазонов.

Первый спутник второго поколения «Фэнхо-2-1» (другое наименование «Чжунсин-1А», платформа «DFH-4»), выведенный на орбиту в 2011 г., размещен в позиции 129° в.д. Бортовая связная аппаратура включает шестиканальный ретранслятор УКВ-, один ретранслятор С- и 12 – Ка-диапазонов.

Антенная система УКВ- и С-диапазонов формирует зоны обслуживания с глобальным и зональным покрытием соответственно, а Ка-диапазона – два зональных и три локальных луча.

Наземный сегмент

В настоящее время для стационарной связи через военные спутники первого поколения типа «Шэньтун-1» и «Фэнхо-1» продолжается задействование крупногабаритных терминалов с антеннами диаметром 3-4 м. Кроме того, в наземном элементе ССС для организации сетей государственного и военного управления с 2013 г. используются малые спутниковые терминалы типа VSAT (Very Small Aperture Terminal – терминал с малой апертурой антенны) с антеннами диаметром 0,15-2,5 м. Они предоставляют широкий спектр услуг связи, в том числе обеспечивают работу в сети интернет, видеоконференцсвязь, передачу данных, видеоизображений и IP-телефонию. Терминалы VSAT установлены на УС стратегического, армейского, дивизионного (бригадного) и полкового звеньев управления.

В перспективе терминалы подвижной спутниковой связи VSAT планируется к 2020 г. иметь во всех военных формированиях до отдельного общевойскового батальона, роты береговой охраны и подразделений специального назначения включительно.

2.7.2. Военная система ретрансляции данных

СРД «Тяньлянь»

Система ретрансляции данных «Тяньлянь» предназначена для управления разведывательными спутниками, космическими кораблями и приема данных от них, а также от самолетов дальнего радиолокационного обнаружения, беспилотных летательных аппаратов и надводных кораблей ВМС Китая [4-6, 12, 13].

В настоящее время в составе космического элемента систем используются четыре ИСЗ ретрансляции данных типа «Тяньлянь-1» и один типа «Тяньлянь-2» (табл. 2.33).

Таблица 2.33

Основные характеристики военных ИСЗ «Тяньлянь»

Тип ИСЗ	Кол-во ИСЗ	Точкистояния	ДРЧ, ГГц	Проп. спос. ИСЗ, Мбит/с	Кол-во лучей ДНА	Расчетный срок службы, лет
«Тяньлянь-1»	4	80° в.д., 176,8° в.д., 10,6° в.д., 76° в.д.	2,0-2,3; 30/20	300	2 (1 – S, 1 – Ка)	7
«Тяньлянь-2-01»	1	80° в.д.	2,0-2,3; 30/20	нет данных	нет данных	нет данных

Спутники созданы на базе платформы «DFH-3A». Ретрансляторы ИСЗ работают в S-диапазоне (2 210...2 290/2 025...2 110 МГц) и Ka-диапазоне (27,5...31/19,74...21,19; 22,55...23,55; 25,25...27 ГГц) частот.

Предполагается, что ретрансляторы перспективных спутников серии «Тяньлянь-2» работают в диапазонах частот: S-диапазон (2 200...2 290/2 030...2 110 МГц) и Ka-диапазон (27,5...31/17,7...21,2 ГГц). ИСЗ планировалось разработать на базе платформы «DFH-4». Запуск ИСЗ «Тяньлянь-2-01» был осуществлен 31 марта 2019 г.

2.8. Военная система спутниковой связи Японии

ВССС «DSN»

Техническую основу системы управления ВС Японии составляет объединенная система связи, представляющая собой совокупность собственных и арендованных коммерческих спутниковых, тропосферных, радиорелейных, кабельных, а также КВ- и УКВ-линий связи [4-6, 11].

В целях расширения возможностей спутниковой связи МО Японии с 2010 г. совместно с коммерческими фирмами занимается разработкой собственной ВССС «DSN» (Defense Satellite Network). В ее составе намечено иметь три геостационарных ИСЗ типа «DSN» с возможностью передачи части каналов связи в аренду государственным и коммерческим пользователям Японии и других стран. Спутники предполагается оснастить ретрансляторами X-диапазона частот. Система обеспечит защищенную связь в северной части Тихого океана, странах Юго-Восточной Азии, Африки, Ближнего и Среднего Востока, а также в Австралии. В январе 2013 г. правительство Японии заказало в интересах МО создание одной полезной нагрузки и одного спутника, оснащаемых ретрансляторами X-диапазона частот.

Для платформы DS-2000 создавались две полезные нагрузки, а также модернизировался наземный комплекс управления спутниками. Срок контракта – до марта 2031 г. Запуск ИСЗ «DSN-1»…«DSN-3» планировалось осуществить в 2017, 2018 и 2020 гг. соответственно.

В настоящее время в составе космического сегмента ВССС «DSN» используется один ИСЗ (табл. 2.34).

Таблица 2.34

Космический сегмент ВССС «DSN»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«DSN-2»	93° в.д.	0,01	24.01.2017	15+

ИСЗ «DSN-2» оснащен ретрансляторами X-диапазона частот.

Запуск ИСЗ был осуществлен в январе 2017 г. Спутник проходил орбитальные испытания в точке 85,7° в.д. и введен в эксплуатацию в марте 2017 г.

Перспективные ИСЗ

В апреле 2014 г. было объявлено о заключения соглашений на приобретение спутника «Superbird-8», который оснащается ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот и полезной нагрузкой «DSN-1» с ретрансляторами X-диапазона частот для МО Японии.

Спутник «Superbird-8» из-за аварии при транспортировке в мае 2016 г. был поврежден, и его запуск был отложен на более поздний срок.

С 2016 г. ведутся работы по созданию полезной нагрузки с ретрансляторами X-диапазона частот «DSN-3», запуск которой намечен на 2021 г.

Наземный сегмент

Управление спутником «DSN» осуществляется гражданской компанией. В составе наземного сегмента используется главный центр управления в Йокогаме. Построено новое здание для станции управления полезной нагрузкой «DSN-1» и спутником «DSN-2».

В перспективе, наземный элемент системы «DSN» будет включать в свой состав центральную стационарную станцию управления в Итигая (Токио), станции связи и сопряжения в Ииока (префектура Тиба), Ацуги (Куре, префектура Хиросима) и Наха, в штабе ВМС, эскортных и подводных сил на военно-морской базе Йокосука, в штабах военно-морских районов Сасебо, Йокосука, Куре, Майдзуру, Оминато и др.

Предполагается, что система обеспечит потребности вооруженных сил в спутниковой связи на требуемом уровне в период до 2030 г.

2.9. Военная система спутниковой связи НАТО

ВССС «NATOSATCOM»

Система предназначена для обеспечения командования ОВС НАТО связью с командованиями на ТВД. Система не имеет в своем составе ИСЗ (до 2008 г. использовались ИСЗ «NATO-4A, «NATO-4B»), а использует ретрансляторы X- и УКВ-диапазонов ИСЗ национальных систем Великобритании (см. п. 2.3), Италии (см. п. 2.4), Франции (см. п. 2.5) и США (см. п. 2.1), а также арендованные каналы КССС в Ku-диапазоне [4-6].

3. КОММЕРЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙСВЯЗИ И РЕТРАНСЛЯЦИИ ДАННЫХ

Значительная часть ИСЗ существующих ВССС к концу нынешнего десятилетия выработают свой установленный ресурс, при этом они уже сегодня не в полной мере отвечают требованиям национальных МО. Это касается, прежде всего, пропускной способности, защищенности каналов связи, сопрягаемости с другими системами, глобальности обслуживания абонентов и некоторых других характеристик. Оценки показывают, что возможности ВССС все больше отстают от возрастающих потребностей ВС, прежде всего, в объеме передаваемой информации. Поэтому через каналы ВССС передается в основном информация, имеющая особое значение для управления боевыми действиями и обеспечения организации текущих задач ВС. Для передачи информации общего назначения, не требующей высокой степени защиты, арендуются каналы КССС [6]. Ниже будут рассмотрены КССС, которые могут использоваться в составе телекоммуникационных систем специального назначения в дополнение к ВССС.

3.1. Глобальные коммерческие системы спутниковой связи

3.1.1. КССС «Inmarsat»

Коммерческая ССС «Inmarsat» широко используется государственными и силовыми ведомствами стран НАТО. Так, абонентскими терминалами (АТ) «Inmarsat» оборудованы все корабли ВМС и береговой охраны США, а также ведущих стран НАТО. Наряду с этим, АТ «Inmarsat» в сухопутных и авиационных подразделениях НАТО получают все более широкое распространение, так как их возможности позволяют обеспечить устойчивую связь в движении. Состав космического сегмента КССС «Inmarsat» приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Космический сегмент КССС «Inmarsat»

Спутник	Точка стояния	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Inmarsat-3F1»	64,3° в.д.	03.04.1996	13
«Inmarsat-3F2»	122,4° з.д.	06.09.1996	13
«Inmarsat-3F3»	177,1° в.д.	18.12.1996	13
«Inmarsat-3F5»	54° з.д.	03.02.1998	13
«Inmarsat-4F1»	143,5° в.д.	01.03.2005	15
«Inmarsat-4F2»	63,9° в.д.	08.11.2005	15
«Inmarsat-4F3»	98,9° з.д.	19.08.2008	15
«Inmarsat-4AF4»	24,8° в.д.	25.07.2013	15
«Inmarsat-5F1»	62,6° в.д.	08.12.2013	15
«Inmarsat-5F2»	55° з.д.	01.02.2015	15
«Inmarsat-5F3»	178,6° в.д.	28.08.2015	15
«Inmarsat-5F4»	56,5° в.д.	15.05.2017	15
«Hellassat-3»/«Inmarsat-C-EAN»	39° в.д.	28.06.2017	15+

Порядка 30% (15 Гбит/с) суммарной пропускной способности сегмента КССС на основе ИСЗ «Inmarsat-5» (общий ресурс около 52 Гбит/с) планирует арендовать МО США, рассматривающее эти ресурсы в качестве существенного дополнения к собственной ВССС «WGS» (см. п. 2.1.2). При этом возможность предоставления услуг связи военным потребителям с помощью ИСЗ «Inmarsat-5» заранее закладывалась в данные КА на этапе разработки с учетом требуемых характеристик обеспечения надежности и безопасности связи по военным стандартам США и НАТО. По замыслу разработчиков ИСЗ «Inmarsat-5», система будет обеспечивать связь в Ка-диапазоне как по коммерческим, так и по военным стандартам свя-

зи, что потребует минимальной модификации действующих военных средств спутниковой связи при их подключении к КССС «Inmarsat». Услуги военной связи на основе ИСЗ «Inmarsat-5» позволят обеспечить выполнение большинства требований, связанных с внедрением новых принципов построения информационных систем МО США на базе «облачных технологий», а также интегрировать арендованные ресурсы КССС «Inmarsat» в комплексную архитектуру военной системы спутниковой связи на основе ВССС США «WGS», «AEHF» и «MUOS» [4-6, 14].

ИСЗ серии «Inmarsat-3», «Inmarsat-4»

Связь в системе «Inmarsat» на основе ИСЗ типов «Inmarsat-3» и «Inmarsat-4» организована исключительно в C- и L-диапазонах.

ИСЗ типа «Inmarsat-3» основаны на платформе AS-4000. Антенная система данных ИСЗ формирует в активной зоне (от 65° с.ш. до 65° ю.ш.) один глобальный луч земного охвата в C-диапазоне и 5 региональных лучей в L-диапазоне (рис. 3.1). Канальный ресурс ИСЗ составляет 46 стандартных каналов с полосами от 0,9 до 2,2 МГц.

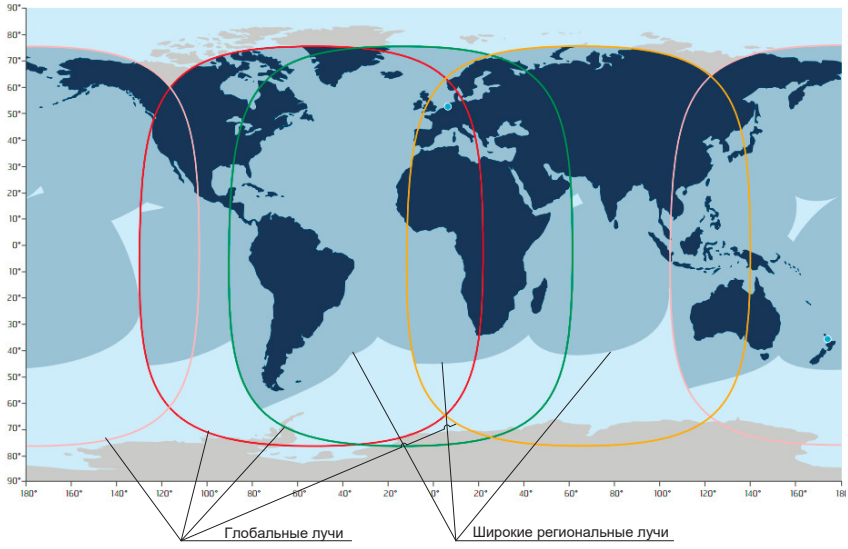


Рис. 3.1. Рабочие зоны ИСЗ типа «Inmarsat-3»

Бортовой ретрансляционный комплекс ИСЗ «Inmarsat-3» включает в себя два ретранслятора мобильной спутниковой связи (C-/L-диапазонов и L-/C-диапазонов) и три специализированных ретранслятора.

1) Ретранслятор L-/C-диапазонов (ЭИИМ – 27 дБ Вт):

– частоты в направлении АТ → ИСЗ: 1 626,5-1 660,5 МГц;

– частоты в направлении ИСЗ → ШС: 3 600-3 629 МГц.

2) Ретранслятор C-/L-диапазонов (ЭИИМ – 39/47,3 дБ Вт (глобальный луч/региональный луч):

– частоты в направлении ШС → ИСЗ: 6 425-6 454 МГц;

– частоты в направлении ИСЗ → АТ: 1 525-1 559 МГц.

3) Специализированные ретрансляторы:

– C-/L-диапазонов – для передачи сигналов навигации (в полосе 2,2 МГц);

– C-/C-диапазона – для каналов сигнализации стационарных ШС (в полосе 0,9 МГц);

– L-/L-диапазона – для двухсторонней связи АТ, минуя земные ШС (в полосе 1 МГц).

Специализированные ретрансляторы не имеют свободного использования, и их применение ограничивается соответствующими соглашениями.

Локальные лучи используются для обоих направлений передачи в L-диапазоне как для передачи на АТ, так и для приема от АТ. Глобальный луч охватывает все зоны обслуживания локальных лучей, а также области между лучами и используется в основном для морских АТ.

Для обеспечения многократного использования частот в локальных лучах и согласования частот с другими спутниковыми системами некоторые лучи назначаются так, чтобы обеспечить электромагнитную совместимость с другими лучами или географическими областями.

Отличительной и важной особенностью ретрансляторов ИСЗ «Inmarsat-3» диапазонов C/L и L/C является возможность повторного использования частот L-диапазона путем использования поляризации различной направленности (правой и левой). Аналогично, прием (передача) в С-диапазоне в глобальной зоне обслуживания осуществляется с использованием круговой поляризации различных направлений вращения (обеспечивается общим коническим рупором и поляризатором). Применение узких лучей совместно с поляризационным уплотнением сигналов позволяет повысить эффективность использования выделенного частотного ресурса ССС за счет многократного использования частот.

На ИСЗ «Inmarsat-3» принят принцип динамического управления уровнем мощности в индивидуальных трактах ретрансляторов. При этом в L-/C-ретрансляторе для повышения надежности радиолиний низкоэнергетических АТ регулировка мощности производится для каждого из поддиапазонов на промежуточной частоте ретранслятора. В направлении от ШС к ИСЗ регулировка мощности в C-/L-ретрансляторе реализована на уровне суммарного сигнала каждого луча. В этом случае поканальное управление мощностью в фидерной радиолинии обеспечивается ШС.

Таким образом, основные особенности ИСЗ «Inmarsat-3» заключаются в следующем:

– использование на борту ИСЗ передающих антенн, формирующих в L-диапазоне узкие лучи диаграмм направленности (5 широких лучей на ИСЗ) с ЭИИМ до 48 дБ Вт (наряду с наличием глобальной зоны);

– поляризационное уплотнение сигналов в С-диапазоне (вводится круговая поляризация правого направления вращения);

– прямая служебная связь в С-диапазоне стационарных ШС в ССС для синхронизации и управления ССС.

Использование ИСЗ «Inmarsat-3» в составе КССС «Inmarsat» позволило:

– внедрить использование терминалов стандартов «Inmarsat-miniM» (Inmarsat-mM) и «Inmarsat-M4» (варианты базового стандарта «Inmarsat-M») с меньшими массогабаритными и энергетическими характеристиками, ориентированных на работу с ретрансляторами с узкой диаграммой направленности;

– обеспечить использование малогабаритного оборудования службы «Аего-I», обеспечивающего возможность телефонной связи и передачи данных с борта воздушного судна;

– создать инфраструктуру вторичной сети ССС «Inmarsat» в виде системы глобальной радиотелефонной связи на основе микротерминалов «Inmarsat-mM» и «Inmarsat-M4».

ИСЗ типа «Inmarsat-4» созданы на платформе «Eurostar-3000GM». В настоящее время на ИСЗ «Inmarsat-4» приходится основная нагрузка, поступающая от АТ в КССС «Inmarsat».

Антенная система ИСЗ типа «Inmarsat-4» в L-диапазоне (параболическая антенна диаметром 9 м и облучатель в виде антенной решетки из 120 симметричных вибраторов) формирует 228 узких и 19 широких региональных лучей в L-диапазоне, а в С-диапазоне (две отдельные антенны на прием и передачу) – один глобальный луч земного охвата (рис. 3.2, 3.3, табл. 3.2). Канальный ресурс ИСЗ составляют 630 стандартных каналов с полосой частот по 200 кГц.

Особенностью ИСЗ «Inmarsat-4» по сравнению с «Inmarsat-3» является следующее.

1) Кроме ретрансляторов прямого (С→L) и обратного направлений (L→C) диапазонов на ИСЗ «Inmarsat-4» установлены ретрансляторы, обеспечивающие прямую ретрансляцию данных между АТ в одном луче L-диапазона через ИСЗ без использования ШС.

2) На ИСЗ «Inmarsat-4» установлена аппаратура обеспечения высокоскоростной мультимедийной передачи данных (144-432 кбит/с) по стандарту «BGAN». Кроме того, служба «BGAN» обеспечивает доступ АТ через ИСЗ в наземные сети мобильной связи. Аппаратура «BGAN» использует дополнительные 228 узких луча, формируемые антенной системой ИСЗ. Ресурс ИСЗ для информационного обмена по стандарту «BGAN» составляет 630 каналов по 200 кГц.

3) Расширены частотные диапазоны линий «вверх»/«вниз» до 1 626,5-1 660,5, 1 668-1 675/1 518-1 660,5 МГц в абонентских линиях и до 6 425-6 575/3 550-3 700 МГц в фидерных линиях.

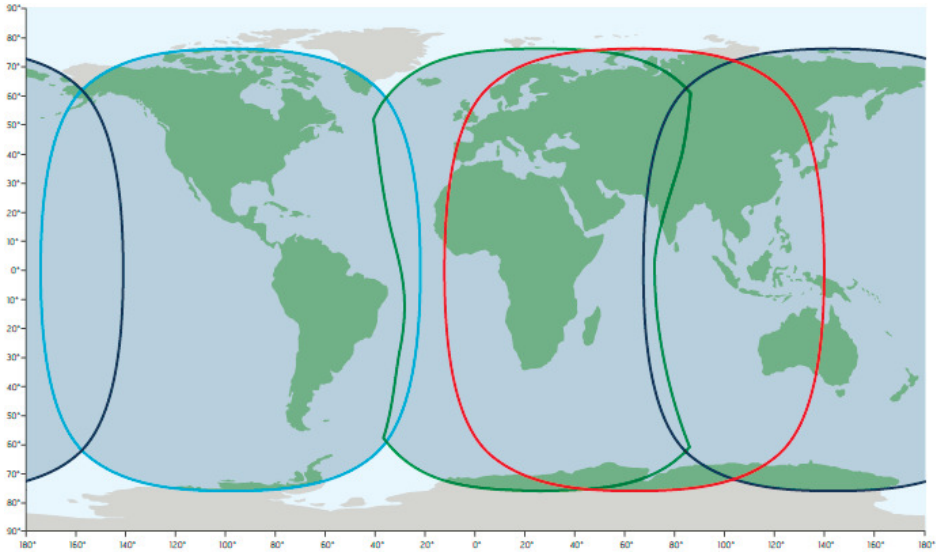


Рис. 3.2. Рабочие зоны ИСЗ типа «Inmarsat-4» (F1, F2, F3, F4)

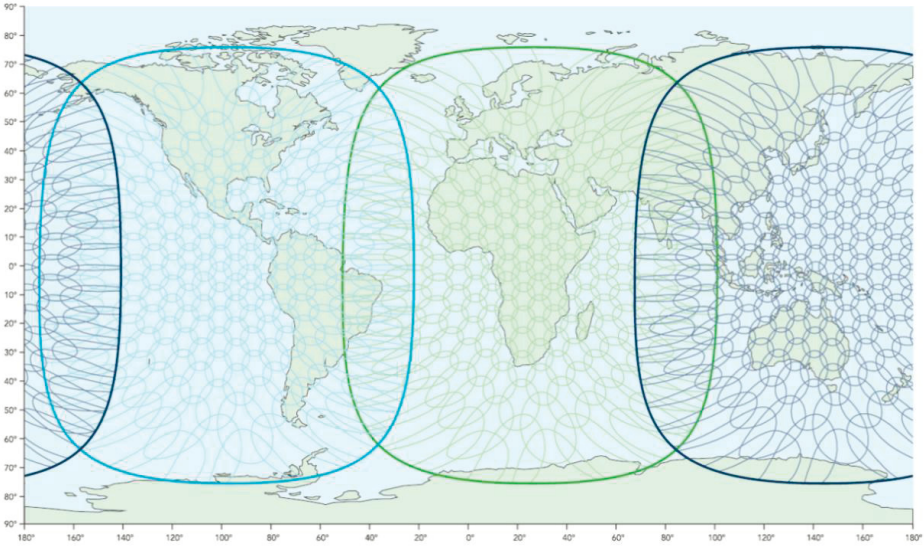


Рис. 3.3. Пример формирования широких региональных лучей ИСЗ типа «Inmarsat-4»

Таблица 3.2

Ориентировочные характеристики линий «вниз» ИСЗ «Inmarsat-4»

Параметр	Фидерная линия	Абонентские линии		
		Глобальный луч	Широкий региональный луч	Узкий луч BGAN
ЭИИМ, дБ Вт	35	48	60	70
Добротность G/T, дБ/К	–10	–8	1	13
Коэф. мощности шума на линии, дБ	20	14	14	14

Служба «BGAN» обеспечивает большинство современных связных услуг (передача речи, факсов, доступ в интернет, видеоконференцсвязь, мультимедиа и т.д.) для пользователей в любой точке мира (за исключением приполярных районов) с максимальной скоростью 432 кбит/с. При этом стандарт «BGAN» может работать как в режимах пакетной коммутации, так и в режиме коммутации каналов. Помимо услуги «BGAN» ИСЗ «Inmarsat-4» могут предоставлять остальные стандартные связные услуги КССС «Inmarsat». Стандартные услуги в ИСЗ «Inmarsat-4» предоставляются с использованием 19 широких региональных лучей, что существенно повышает энергетику радиолиний. Кроме того, если ранее локальные лучи покрывали лишь часть земной поверхности (что ограничивало районы использования высокоскоростных сервисов или малогабаритных АТ), то на ИСЗ «Inmarsat-4» узкими лучами покрыта практически вся территория в зоне его радиовидимости.

Внедрение стандарта «BGAN» потребовало использования большого числа новых технологических решений. Важнейшим новым элементом ИСЗ «Inmarsat-4» является оборудование для формирования до 228 узких лучей, которые, прежде всего, предназначены для службы «BGAN». Мощность излучения в этих лучах и зоны их покрытия могут меняться по командам с Земли. Они перекрывают большую часть суши и наиболее используемые воздушные и морские пути. За счет использования этих узких лучей и коммутации на борту ИСЗ достигается 20-кратный коэффициент использования частот в L-диапазоне.

В L-диапазоне на борту ИСЗ «Inmarsat-4» используется приемопередающая антенна диаметром 9×12 м (80 м^2) со 120-тью облучающими элементами (дополнительно 30 элементов находятся в резерве) мощностью по 15 Вт каждый, расположенными в виде 2,5 м облучателя на торце ИСЗ. Антенная система ИСЗ «Inmarsat-4» обеспечивает формирование трех видов лучей в L-диапазоне: 229 узких лучей, 19 широких региональных лучей и одного глобального луча земного обхвата. В С-диапазоне используются рупорные антенны с глобальным охватом. Как в С-диапазоне, так и в L-диапазоне при передаче с борта ИСЗ реализуется поляризационное уплотнение линии «вниз» – используются оба вида круговой поляризации (правая и левая). Кроме того, ширина полосы рабочих частот ИСЗ «Inmarsat-4» в канале «вверх» существенно расширена относительно «Inmarsat-3» и составляет 150 МГц (29 МГц на ИСЗ «Inmarsat-3»).

На ИСЗ «Inmarsat-4» используется одна из наиболее сложных схем обработки и коммутации сигналов на борту (ОСБ). Как результат – используемый в «Inmarsat-4» стандартный канал с полосой 200 кГц из любого диапазона фидерной линии может быть перекоммутирован на любой луч и на любую несущую частоту абонентской линии. Таким образом, появляется возможность гибкого обслуживания районов с высокой и низкой интенсивностями абонентского трафика. Формирование лучей ИСЗ «Inmarsat-4» для обслуживания АТ производится на основе базовых каналов с полосой 200 кГц. Вместе с тем, каналообразующее и коммутационное оборудование ИСЗ работает на основе каналов с полосой 100 кГц. Наличие двух каналов по 100 кГц в канале 200 кГц позволяет создавать прямые каналы связи между АТ, работающими в одном луче в L-диапазоне.

Организация связи по технологии «BGAN»

В настоящее время технология «BGAN» получила широкое признание у коммерческих и специальных потребителей услуг связи КССС «Inmarsat», а АТ «BGAN» являются самыми

широко распространенными АТ у пользователей. Технология «BGAN» представляет собой наложенную систему канального и сетевого уровня для обеспечения услуги передачи/приема мультимедийных и обычных данных в/из наземных телефонных и IP-сетей.

Каналообразование в линии «вниз» в технологии «BGAN» ведется путем распределения стандартных каналов с полосой 200 кГц (рис. 3.4). При этом отдельные каналы по 200 кГц могут гибко перераспределятся между различными лучами с учетом принципа повторного использования частот в пространственно разнесенных лучах (рис. 3.5).

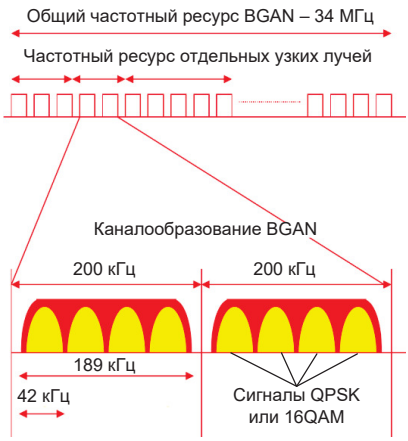


Рис. 3.4. Каналообразование в стандарте «BGAN»

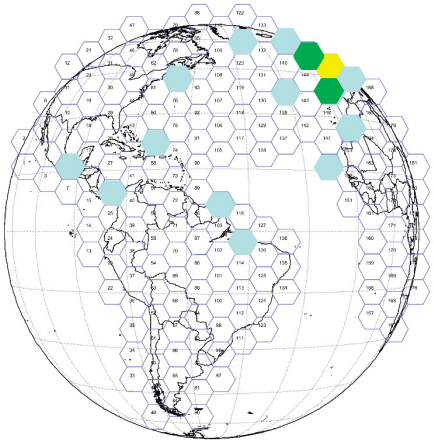


Рис. 3.5. Пример повторного использования каналов по 200 кГц в различных лучах

Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вниз» путем использования МДЧР/МДВР АТ представлена на рис. 3.6. Каждый стандартный канал с полосой 200 кГц линии «вниз» использует 4 несущие, в которых передаются сигналы QPSK и 16QAM с полосой 42 кГц. Передаваемые данные формируются в кадры длительностью 80 мс (рис. 3.7).

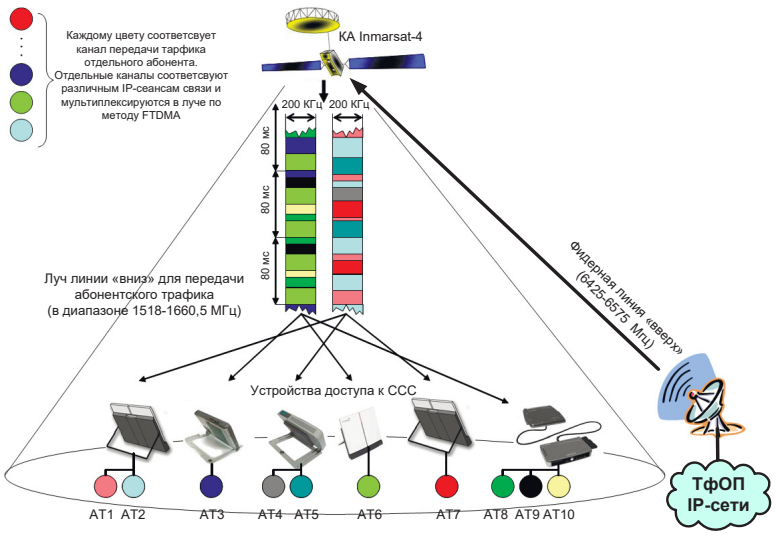


Рис. 3.6. Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вниз»

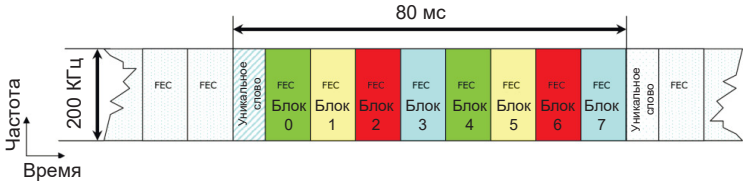


Рис. 3.7. Частотно-временное мультиплексирование пользовательских данных, передаваемых в стандартном канале линии «вниз»

В состав каждого кадра длительностью 80 мс вносится уникальное слово и восемь блоков пользовательских данных. Каждый такой блок может использовать собственный вариант помехоустойчивого кодирования. В качестве помехоустойчивого кода используется турбокодирование со скоростями кодирования 0,334; 0,642; 0,775; 0,882. Варианты заполнения блоков пользовательским трафиком:

– 1 250 байт при скорости кодирования 0,334;
– 480 байт при скорости кодирования 0,642;
– 580 байт при скорости кодирования 0,775;
– 615 байт при скорости кодирования 0,882.

Кроме того, может использоваться блочное кодирование на основе БЧХ-кода. Выбор конкретной сигнально-кодовой комбинации определяется текущими условиями сигнально-помеховой обстановки. Широко используется аддитивное скремблирование с индивидуальной настройкой для каждого сеанса связи для линии «вниз». Средний объем передаваемого пользовательского трафика в стандартном канале 200 кГц на длительности кадра 80 мс – 3,85 кбайт, что соответствует скорости стандартного канала 385 кбит/с.

Каналообразование в линии «вверх» в технологии «BGAN» ведется путем распределения стандартных каналов с полосой 200 кГц и мультиплексирование данных от АТ в блоки длительностью 5 и 20 мс. Распределение блоков производится между АТ на конкурентной основе в соответствии с протоколом S-Aloha. Отдельные каналы по 200 кГц могут гибко перераспределяться между различными лучами с учетом принципа повторного использования частот в пространственно разнесенных лучах. Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вверх» путем использования МДЧР/МДВР АТ представлена на рис. 3.8. Варианты мультиплексирования данных от различных АТ в кадре длительностью 80 мс представлены на рис. 3.9.

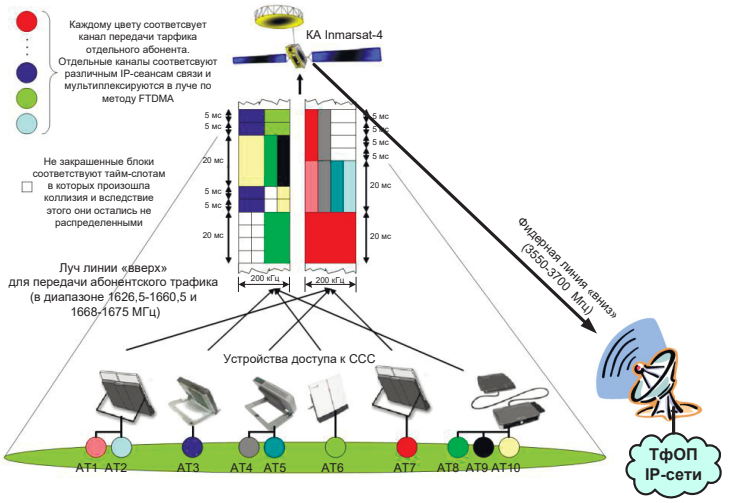


Рис. 3.8. Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вверх»

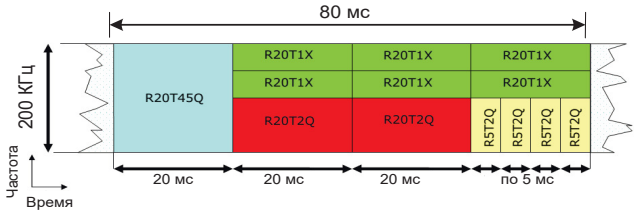


Рис. 3.9. Частотно-временное мультиплексирование пользовательских данных, передаваемых в стандартном канале линии «вверх»

В составе каждого стандартного канала с полосой 200 кГц линии «вверх» используются четыре несущие, в которых передаются сигналы QPSK и 16QAM с полосой 42 кГц. Передаваемые данные формируются в кадры длительностью 80 мс, в которые трафик АТ мультиплексируется в блоки по методу МДВР/МДЧР. Выделение блоков организуется по протоколу S-Aloha. Варианты заполнения блоков пользовательским трафиком:

– 8,3 ксимв./с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота – 5 мс;

– 33,2 ксимв./с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота – 20 мс;

– 33,2 ксимв./с – сигнал 16QAM, длительность тайм-слота – 5 мс;

– 67,2 ксимв./с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота – 20 мс;

– 151,2 ксимв./с – сигнал 16QAM, длительность тайм-слота – 20 мс.

В качестве помехоустойчивого кода используется турбокодирование. Выбор конкретной сигнально-кодовой комбинации определяется текущими условиями сигнально-помеховой обстановки. Каждый блок АТ имеет следующую структуру:

– защитный интервал МДВР (Guard Time – GT) – 0,36 мс;

– преамбула или кодовое слово (Code Word – CW) – 18 симв.;

– начальное уникальное слово – 40 симв.;

– данные пользователя – количество данных определяется в зависимости от того, какой блок используется для передачи 5 или 20 мс;

– конечное уникальное слово – 20 симв.

ИСЗ серии «Inmarsat-5»

ИСЗ типа «Inmarsat-5» созданы на платформе BBS-702HP. Данные ИСЗ (другое наименование – «Global Express») предназначены для обеспечения высокоскоростной связи для различных категорий пользователей, включая военные и государственные структуры. Использование Ka-диапазона позволило в 20 раз увеличить пропускную способность каналов и линий связи по сравнению с работающими в L-диапазоне космическими и наземными средствами третьего и чевертого поколений. На борту ИСЗ установлена аппаратура связи двух типов:

– аппаратура глобальной передачи данных (GP – Global Payload) имеющая максимальную пропускную способность около 5,5 Гбит/с;

– аппаратура высокоскоростной зональной передачи данных (HCP – High Capacity Payload), имеющая максимальную пропускную способность около 12 Гбит/с.

Антенная система ИСЗ типа «Inmarsat-5» формирует в Ka-диапазоне:

– 89 широких региональных лучей в земном охвате подспутниковой зоны (рис. 3.10), которые обеспечивают функционирование аппаратуры GP и коммутируются на 144 ретранслятора ИСЗ, с шириной полосы по 40 МГц каждый;

– 6 управляемых узконаправленных лучей для высокоскоростной передачи данных, которая обеспечивается аппаратурой HCP.

Каждая из 6 антенн аппаратуры HCP может быть переключена на использование коммерческого или военного стандарта использования Ka-диапазона, что повышает гибкость использования системы специальными и военными заказчиками.

Диапазоны работы аппаратуры GP (89 широких региональных лучей):

– абонентские каналы в линии «вверх»: 29,5-30 ГГц;

– абонентские каналы в линии «вниз»: 19,7-20,2 ГГц;

– фидерные линии «вверх»: 28-29,5 ГГц;

– фидерные линии «вниз»: 18,2-19,7 ГГц.

Диапазоны работы аппаратуры HCP (шесть управляемых узконаправленных лучей для высокоскоростной передачи данных):

– абонентские каналы в линии «вверх»: 29-29,5 ГГц;

– абонентские каналы в линии «вниз»: 19,2-19,7 ГГц;

– фидерные линии «вверх»: 27,5-28 ГГц;

– фидерные линии «вниз»: 17,7-18,2 ГГц.

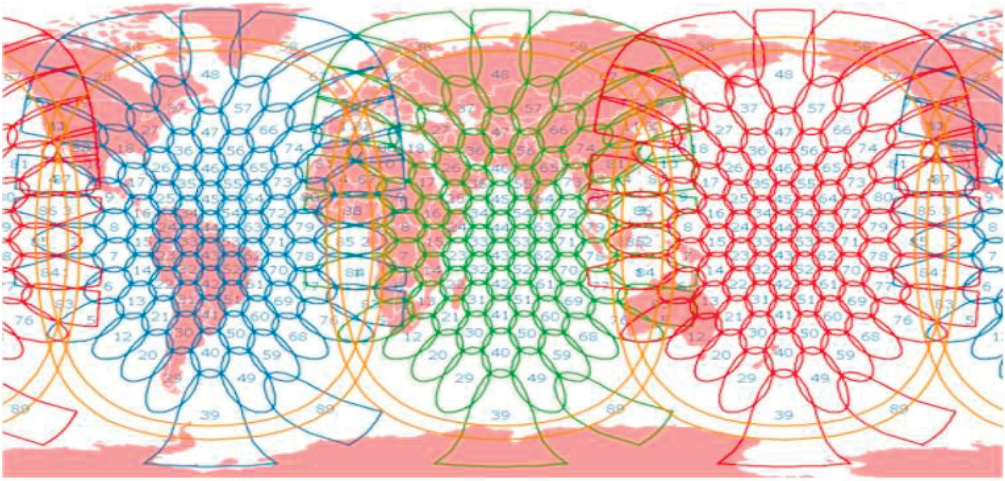


Рис. 3.10. Пример формирования широких региональных лучей ИСЗ типа «Inmarsat-5»

По сравнению с технологией «BGAN»в «Inmarsat-4», в технологии «Inmarsat-5» изменилось распределение каналов и используемых в них сигналов. В качестве стандартного канала используется канал 40 МГц. Абонентские каналы в линии «вниз» используют стандарт «DVB-S2» с адаптивным изменением сигнально-кодовой конструкции в реальном масштабе времени в зависимости от текущего отношения сигнал-шум. В стандарте «DVB-S2» предусмотрено использование сигналов QPSK, 8PSK, 16APSK и 32APSK, а в качестве помехоустойчивого кодирования – код FEC со скоростями кодирования от 1/4 до 9/10 (табл. 3.3). В абонентских каналах в линии «вверх» использовано мультиплексирование пользовательских данных. Все это позволило обеспечить повышение скоростей передачи данных до 5 Мбит/с в абонентских каналах «верх» и до 50 Мбит – в каналах «вниз».

Спутник «Inmarsat-5» поддерживает самые современные технологии передачи данных: протоколы IPv4/IPv6, технологию iDirect, технологии обеспечения качества обслуживания (QoS) мультимедийного трафика, динамическую маршрутизацию, сжатие передаваемых веб-страниц, VPN, а также сервисы потокового вещания аудио и видео. Для обеспечения безопасности поддерживается шифрование передаваемых данных по протоколам AES-256 и FIPS 140-2.

Таблица 3.3

Параметры адаптивного выбора сигнально-кодовой конструкции для канала «DVB-S2»

ОСШП в полосе частот канала, дБ	Тип сигнала	Скорость кодирования, R	Коэффициент эффективности спектра,бит/с/Гц
–2,35	QPSK I=2	1/4	0,49
–1,24		1/3	0,66
–0,3		2/5	0,79
1		1/2	1
2,23		3/5	1,19
3,1		2/3	1,32
4,03		3/4	1,49
4,68		4/5	1,59
5,18		5/6	1,65
6,2		8/9	1,77
6,42		9/10	1,79
5,5	8PSK I=3	3/5	1,78
6,62		2/3	1,98
7,91		3/4	2,23
9,35		5/6	2,48
10,69		8/9	2,65
10,98		9/10	2,68
8,97	16APSK I=4	2/3	2,64
10,21		3/4	2,97
11,03		4/5	3,17
11,61		5/6	3,3
12,89		8/9	3,52
13,13		9/10	3,57
12,73	32APSK I=5	3/4	3,7
13,64		4/5	3,95
14,28		5/6	4,12
15,69		8/9	4,4
16,05		9/10	4,45

Наземные абонентские терминалы КССС «Inmarsat»

Абонентское оборудование для работы через ИСЗ «Inmarsat» производят компании-партнеры, при этом в сети возможна работа только одобренных АТ, специально разработанных для отдельного вида транспорта: морского, наземного и авиационного, с диаметром антенных систем от 0,3 до 1,8 м.

К мобильным АТ относятся судовые, авиационные и наземные земные станции (SES – Ship Earth Stations) различных классов и стандартов «Inmarsat». Каждый АТ имеет свой идентификационный номер, состоящий из 7 или 9 цифр, где первая – опознаватель стандарта «Inmarsat», следующие три цифры – код страны, которой принадлежит АТ (Maritime Identification Digits – MID), остальные три (пять) цифры – номер, присвоенный данной станции. Опознаватели стандартов «Inmarsat» следующие: «Inmarsat-A» – 1; «Inmarsat-B» – 3; «Inmarsat-C» – 4; «Inmarsat-Aero» – 5; «Inmarsat-M» – 6.

Дополнительно АТ может иметь второй идентификационный номер, который используется только в радиотелефонном канале и предназначен для дополнительного телефонного, факсимильного аппарата или устройства передачи данных, причем это оборудование может находиться в режиме автоответа. Одновременно может использоваться только один идентификационный номер. При работе в режиме телекса телексный автоответ АТ состоит из идентификационного номера, за которым следуют четыре буквы (как правило, позывной сигнал судовой радиостанции).

В КССС «Inmarsat» используются различные типы АТ:

– судовые станции связи (стандарты «Inmarsat-A»; «Inmarsat-E»);

– самолетные станции связи (стандарты «Inmarsat-Aero-H»; «Inmarsat-Aero-1»; «Inmarsat-Aero-L»; «Inmarsat-Aero-C»);

– АТ мобильных абонентов (стандарты «Inmarsat-B»; «Inmarsat-M», «Inmarsat-AM»; «Inmarsat-C»; «Inmarsat-D»; «Inmarsat-Mini-M» («Inmarsat-mM»));

– АТ мультимедийной связи (стандарты «BGAN», «Inmarsat-5»).

В связи с предстоящей в обозримом будущем выработкой ресурса ИСЗ типа «Inmarsat-3» часть стандартного наземного оборудования до 2017 г. была выведена из эксплуатации. К такому оборудованию относятся АТ стандартов: «Inmarsat-A», «Inmarsat-B», «Inmarsat-Aero-mini-M», «Inmarsat-mini-M», «Inmarsat-M4 GAN».

В настоящее время в КССС «Inmarsat» используются следующие стандарты связи.

«Inmarsat-C» – стандарт КССС «Inmarsat», введен в эксплуатацию в 1991 г. Обеспечивает низкоскоростной обмен данными между мобильными АТ и ШС. Стандарт «Inmarsat-C» одобрен для использования в системе ГМССБ (глобальная морская система связи при бедствии). АТ «Inmarsat-C» используются как для организации связи судов, так и для сбора информации с удаленных наземных объектов и управления грузоперевозками. Данные АТ имеют компактный размер, оснащены всенаправленной антенной и встроенным навигационным приемником КРНС, в некоторых моделях предусмотрена возможность использования навигационного приемника ГЛОНАСС/GPS. Стандарт «Inmarsat-C» не обеспечивает телефонную связь, а только обмен информацией, основанный на принципе накопления, хранения и последующей передачи данных (Store-and-Forward). Скорость передачи данных составляет 600 бит/с. Стандарт «Inmarsat-C» позволяет организовывать диспетчерские системы контроля за подвижными транспортными средствами: автомобилями, морскими/речными судами и воздушными судами, передавать и принимать небольшие объемы информации.

«Inmarsat Fleet» используется для обеспечения связью морских абонентов и предоставляет сервисы, аналогичные стандарту «Inmarsat-M4». АТ «Fleet» делятся на 3 типа:

– «Fleet-77» (введен в эксплуатацию в 2002 г.) – телефонная и факсимильная связь в канале ISDN (64 кбит/с) в зоне земного охвата;

– «Fleet-33» (введен в эксплуатацию в 2003 г.) – телефонная и факсимильная связь со скоростью 9,6 кбит/с в зоне земного охвата и региональных лучах;

– «Fleet-55» (введен в эксплуатацию в 2003 г.) – телефонная и факсимильная связь в канале ISDN (64 кбит/с) в зоне земного охвата и региональных лучах.

Каждый тип АТ обеспечивает определенный набор сервисов. Терминалы «Fleet-77» работают в глобальных лучах и обеспечивают низкоскоростную телефонию (4,8 кбит/с), факс (2,4 или 9,6 кбит/с), работу в сети ISDN (56/64/128 кбит/с, речь с полосой 3,1 кГц (64 кбит/с), а также работу в режиме Multiservice Packet Data Service (MPDS) – до 64 кбит/с. При работе в режиме MPDS оплата идет не за время соединения, а за переданный/полученный объем данных. АТ «Fleet-55» могут работать как в глобальных (голос), так и в зональных лучах. В зональных лучах «Fleet-55» обеспечивают практически ту же функциональность, что и «Fleet-77», за исключением ISDN, – 128 кбит/с. «Fleet-33» обеспечивает передачу голоса в глобальном и зональном лучах, а также передачу данных и факсов со скоростью до 9,6 кбит/с и MPDS при работе в глобальном луче.

«Inmarsat-D/D+» введен в эксплуатацию в 1996 г. и обеспечивает низкоскоростную передачу данных в режиме M2M. Терминалы «Inmarsat-D/D+» используются, в основном, в системах управления транспортными перевозками, дистанционного управления и автономного снятия информации с удаленных объектов.

«Inmarsat-Aero» обеспечивает следующие услуги по следующим дополнительным стандартам:

«Aero-L» – обеспечивает низкоскоростную передача данных (600 бит/с) в реальном масштабе времени. АТ «Aero-L» в основном устанавливаются на вертолеты и легкие воздуш-

ные суда. Стандарт соответствует требованиям Международной организации гражданской авиации (ICAO – International Civil Aviation Organization) по обеспечению безопасности и управления воздушным транспортом.

«Aero-I» – предназначен для использования на малых и средних воздушных судах; сертифицирован международной организацией гражданской авиации (CAA – Civil Avation Authority) для обеспечения авиационной безопасности и управления воздушным транспортом. Оборудование стандарта «Aero-I» предоставляет пассажирам и экипажам воздушных судов возможность пользоваться телефонной и факсимильной связью, а также осуществлять пакетную передачу данных со скоростью от 600 бит/с до 4,8 кбит/с.

«Aero-H» – обеспечивает многоканальную телефонную и факсимильную связь, а также передачу данных в интересах пассажиров и экипажей воздушных судов. Стандарт «Inmarsat Aero-H+» работает через спутники третьего и четвертого поколения и использует технологию зональных лучей.

«Aero-H+» обеспечивает многоканальную телефонную и факсимильную связь, а также передачу данных в интересах пассажиров и экипажей воздушных судов. Стандарт «Inmarsat Aer-H+» работает через ИСЗ третьего и чеверого поколения и использует технологию зональных лучей.

«Inmarsat DVB-S2» – наложенная широкополосная спутниковая сеть, обеспечивающая высокоскоростную передачу данных в IP-сетях на скоростях до 492 кбит/с и предоставляющая пользователям качественную телефонную и факсимильную связь, а также отправку/прием SMS. Сеть «Inmarsat DVB-S2» введена в эксплуатацию в 2005 г., функционирует через ИСЗ четвертого поколения и ШС сопряжения, принадлежащие компании «Inmarsat». Сеть обеспечивает глобальное покрытие территории земного шара (за исключением полярных областей). Сеть «Inmarsat-BGAN» обеспечивает телефонную связь (2,4 кбит/с), ISDN (64 кбит/с), прием и передачу данных (до 492 кбит/с) и потокового видео (32, 64, 128, 256, 384 кбит/с), а также обмен текстовыми сообщениями (SMS) с абонентами наземных сотовых сетей. Реализована поддержка обмена данными по IP-протоколу, при этом передача телефонного трафика и другой информации может вестись одновременно, без ограничений по скорости движения АТ.

«Inmarsat» усовершенствованный «BGAN» – аналог стандарта «Inmarsat-BGAN», в котором используются повышенные скорости передачи данных и потокового видео абонентов (до 650-700 кбит/с).

IsatData Pro – стандарт двухстороннего обмена текстовыми сообщениями и данными. При помощи IsatData Pro можно передать сообщение объемом 100 байт менее чем за 15 с или отправить сообщение размером 1 кбайт примерно за 45 с. Максимальный размер посылаемого пакета составляет 10 кбайт. Для обеспечения обмена данными используются защищенные всепогодные терминалы данных SkyWave, оснащенные встроенным навигационным приемником, а также цифровым и аналоговым портами для подключения датчиков. Система очень востребована на морском рынке, так как с ее помощью суда могут передавать информацию об уровне топлива, температурных режимах двигателя, а также о скорости передвижения.

IsatM2M – глобальный сервис хранения и пересылки текстовых сообщений на невысоких скоростях для отслеживания, мониторинга и контроля объектов и операций. IsatM2M призван обеспечить безопасность транспортных средств, мониторинг промышленного оборудования, отслеживание судов, в интересах осуществления компаниями контроля за стационарными или мобильными объектами.

«Inmarsat FBB» – сеть широкополосной спутниковой связи для использования на морских судах. Предоставляемые сервисы аналогичны «Inmarsat-BGAN».

«Inmarsat SBB» – сеть широкополосной спутниковой связи для использования на воздушных судах. Предоставляемые сервисы аналогичны «Inmarsat-BGAN».

«Inmarsat IsatPhone Pro» – стандарт персональной спутниковой связи. Работа в стандарте «Inmarsat IsatPhone Pro» осуществляется через ИСЗ типа «Inmarsat-4» и ШС, принад-

лежащие компании «Inmarsat». Предоставляемые услуги связи: телефонная связь; голосовая почта; передача текстовых сообщений и сообщений; e-mail; определение координат местоположения.

«Global Xpress» – обеспечивает высокоскоростную передачу (5 Мбит/с) и прием (50 Мбит/с) данных, а также поддержку современных стандартов связи «DVB-S2», «DVB-RSC», «I-Direct» и «IPv4/IPv6».

В среднесрочной перспективе продолжится использование аппаратуры следующих стандартов (табл. 3.4, 3.5): «Inmarsat-C» и «Inmarsat-Mini-C»; «Fleet-33», «Fleet-55», «Fleet-77»; «Isatphone» и «Isatphone Pro»; «BGAN» и «BGAN HDR»; «Global Xpress».

Таблица 3.4

Ориентировочные характеристики некоторых АТ «Inmarsat-C»

Диапазон		Скорость передачи/ приема, кбит/с	ЭИИМ, дБ Вт	G/T, дБ/К	Тип антенны	Размер антенны, м	Коэф. усиления антенны (прием/ передача), дБ	Используемый сигнал
линия «вверх», МГц	линия «вниз», МГц							
1 626,5-1 646,5	1 530-1 545	0,6	10-14	–23	Квадрифилярная спиральная	0,3	8-10	QPSK

Таблица 3.5

Ориентировочные сравнительные характеристики некоторых АТ «Inmarsat-C», «Inmarsat-B», «BGAN2», «Aero-H», «Isatphone»

Наименование параметра	«Inmarsat-C»	«Inmarsat-D»	«BGAN» (включая «FleetBroadband», «Swift Broadband»)	«Aero-H»	«IsatPhone»
Полосы радиочастот в линиях «вверх»/«вниз», МГц	1 626,5–1 660,5/1 525–1 559				
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	101,5				
Передатчик:					
– классы излучения	G7W; G1D (C, E); F2D; D1W				
– типы модуляции несущей	QPSK; 16QAM; BPSK; FSK; GMSK				
– антенная система	плоская фазированная решетка, спиральная антенна				
Максимальная ЭИИМ на выходе передатчика, дБ Вт	16	5	21	9,5	3
Шаг сетки частот, кГц	5	2,5	1,25	2,5	50
Максимальная скорость передачи цифровых данных, кбит/с	1,2	2,5	492	21	67,7
Максимальная спектральная плотность мощности, дБ Вт/Гц	–17,8	–19	–23	–32,8	–44
Приемник:					
– чувствительность радиоприемника, не хуже, дБ Вт	–124				
Избирательность радиоприемника:					
– по соседнему каналу, дБ	30				
– по зеркальному каналу, дБ	50				
– по другим побочным каналам приема, дБ	60				
Максимальный коэффициент усиления антенны на передачу/прием, дБ	н/д*	н/д	15/15	12/12	2/2

*н/д – нет данных.

В настоящее время широкое распространение получили АТ типа «BGAN». При этом в среднесрочной перспективе, наиболее востребованными АТ будут терминалы, работающие через ИСЗ «Inmarsat-4» с поддержкой услуг связи «BGAN», «FleetBroadband» и «Swift-Broadband», а также терминалы, работающие через ИСЗ «Inmarsat-5» с поддержкой услуг связи нового поколения.

Основными типами мобильных АТ стандарта BGAN является оборудование «Explorer-110, -300, -500, -510, -710», «HNS-BGAN-9201» и «Wideye Sabre-1». В данных АТ связь в движении обеспечивается через антенну, установленную на крыше транспортного средства. Скорость приема и передачи данных и потокового видео составляет до 440 кбит/с, без ограничений по скорости движения мобильных АТ.

Рассмотрим АТ «Explorer-110» как пример штатного средства связи технологии «BGAN» в КССС «Inmarsat». Данный АТ реализует связь в L-диапазоне через ИСЗ типа «Inmarsat-4», работает с четырьмя несущими и требует снижения уровня входного сигнала 3 дБ. Коэффициент усиления антенны АТ как на прием, так и на передачу равен 8,5 дБ. В линии «вверх» обеспечивается ЭИИМ в 10 дБ Вт на одну несущую.

Аппаратура «FleetBroadband» (2007 г.) с практически такими же возможностями, как и у АТ «BGAN», создана специально для установки на кораблях, морских судах и катерах различных классов (табл. 3.6). В зависимости от диаметра рефлектора антенны – 55, 25 или 15 см, скорость передачи данных абонентов имеет ограничения – 432, 284 или 150 кбит/с соответственно.

Таблица 3.6

Ориентировочные характеристики некоторых АТ «FleetBroadband»

Параметр	«FleetBroadband-500»	«FleetBroadband-250»	«FleetBroadband-150»
Диметр антенны, м	0,55	0,32	0,27
Коэф. G/T антенны (к 50К), дБ/К	–7	–15	–15
ЭИИМ, дБ Вт	22	15,1	15,1
Тип антенны	направленная	направленная	направленная

Двухканальная аппаратура SwiftBroadband создана для обеспечения связью самолетов (вертолетов) и включает в себя оборудование «АегоН+» и «Swift-64» (2002 г.) с общей антенной. Она предоставляет услуги телефонной связи (ISDN), приема и передачи данных (до 432 кбит/с, при использовании антенны с высоким коэффициентом усиления) и потокового видео (128 кбит/с).

На основе стационарных и мобильных АТ «BGAN» может осуществляться ретрансляция данных с бортов БЛА через ИСЗ типа «Inmarsat-4» в наземные системы связи, включая сотовые сети стандарта GSM.

В связи с запуском ИСЗ типа «Inmarsat-5» был разработан ряд малогабаритных АТ наземного, морского и воздушного базирования, предназначенных преимущественно для обеспечения связи в движении. Скорости передачи данных при этом могут достигать 50 Мбит/с в абонентском канале линии «вниз» и 5 Мбит/с – в абонентском канале линии «вверх». АТ стандарта «Global Xpress» разделяются на три типа – наземные, морские и воздушные. Наряду с разработкой новых АТ, проводится модернизация существующих АТ для обеспечения их работы через ИСЗ «Inmarsat-5». Для всех типов АТ стандарта «Global Xpress» поддерживаются сжатие передаваемых данных и их шифрование, возможность работы в нескольких независимых сетях связи на основе технологий VPN и VSAT, а также использование современных протоколов IPv4/IPv6, включая интернет-телефонию.

3.1.2. КССС «Iridium»

Коммерческая ССС «Iridium» широко используется государственными и силовыми ведомствами США. При этом МО США ежегодно арендует 20-40 % ресурса КССС «Iridium» для собственных нужд и восполнения потребностей в глобальном обслуживании военных потребителей связи. Для оптимального использования данной ССС в своих интересах МО США организовала и постоянно использует собственную ШС, расположенную на о. Вахиава (шт. Гавайи), которая дает возможность абонентам военного ведомства, с одной стороны, работать изолированно только в сетях специальной связи, а с другой – выходить при необходимости в любые другие коммерческие сети, включая сеть «Интернет». Кроме того, эта ШС позволяет контролировать весь проходящий через систему трафик [4-6, 15].

В состав КССС «Iridium» входят орбитальная группировка ИСЗ, система управления и контроля, сегмент шлюзовых станций сопряжения, АТ и также существующие системы проводной и беспроводной связи, сопрягаемые с КССС (рис. 3.11).

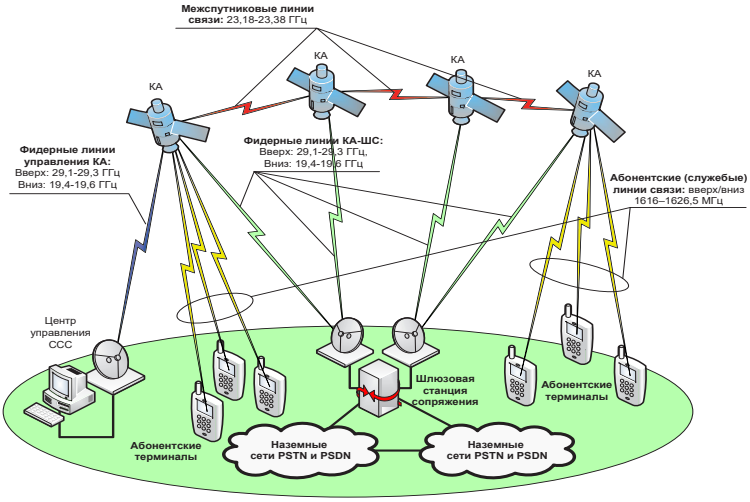


Рис. 3.11. Структура КССС «Iridium»

Космический сегмент КССС «Iridium» включает в себя 66 основных ИСЗ, равномерно размещенных на приполярных орбитах с наклонением 86,40° и высотой около 780 км. Дополнительно к этому имеются 6 резервных ИСЗ, расположенных на орбите высотой 645 км. ИСЗ на основной орбите распределены в шести равноудаленных друг от друга орбитальных плоскостях по 11 ИСЗ в каждой плоскости (рис. 3.12). Угловой разнос между ИСЗ в одной плоскости составляет примерно 32,7°. Соседние орбитальные плоскости разнесены примерно на 31,6°, а разнос между первой и шестой плоскостями составляет 22,1°. Период обращения ИСЗ составляет 100 мин 28 с.

Уникальным элементом КССС «Iridium», отличающим ее от других ССС, является наличие межспутниковой связи, соединяющей каждый ИСЗ с четырьмя соседними: с двумя ИСЗ, расположенными спереди и сзади в той же орбитальной плоскости, и с двумя ИСЗ, расположенными слева и справа в соседних орбитальных плоскостях.

Система управления состоит из основного и резервного центров управления, которые расположены, соответственно, в США и Италии. Центр управления, не принимая участия в процессе установления соединений в ССС, обеспечивает управление состоянием отдельных ИСЗ и орбитальной группировки в целом. Кроме того, центр управления передает на станции сопряжения (СС) информацию о положении ИСЗ, обеспечивает распределение связ-

ного радиоресурса ИСЗ и управление ССС в критических ситуациях. Связь ИСЗ и центра управления осуществляется через антенные посты слежения и передачи данных, расположенные в США, Канаде и Исландии.

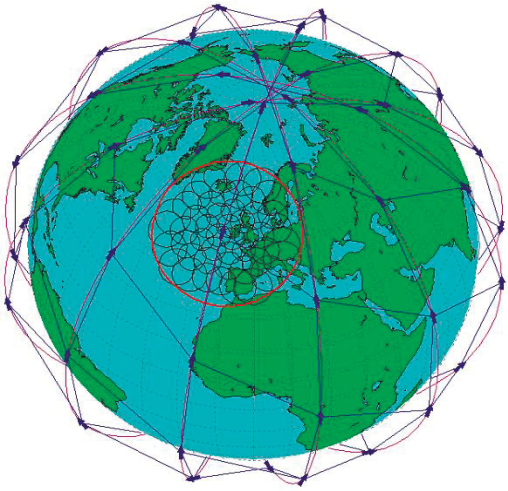


Рис. 3.12. Космический сегмент КССС «Iridium» и пример формирования лучей одним из ИСЗ на поверхности Земли

Сегмент ШС обеспечивает выход АТ «Iridium» на наземные сети связи общего пользования, а также роуминг АТ в сотовых сетях связи. Шлюзовая станция осуществляет обработку и контроль вызовов, например идентификацию АТ и управление доступом, применительно ко всем вызовам. Шлюз обеспечивает связь между КССС «Iridium» и наземными сетями связи, такими как наземные телефонные сети общего пользования и сети передачи данных с коммутацией пакетов общего пользования, а также связь через наземные антенны с антеннами шлюзовых фидерных линий на ИСЗ. Шлюзовая станция располагает базой данных АТ, используемой для обработки вызовов, ведет подробный мониторинг всех вызовов АТ для выставления счетов. В состав этого сегмента входит 13 ШС, расположенных в следующих городах: Бангкок (Таиланд), Пекин (Китай), Бомбей (Индия), Джеда (Саудовская Аравия), Фучино (Италия), Дюссельдорф (Германия, биллинговый центр относится к станции сопряжения Фучино), Москва (Россия), Нагано (Япония), Финикс (США), Мехико (Мексика, биллинговый центр относится к станции сопряжения Финикс), Рио-де-Жанейро (Бразилия), Сеул (Южная Корея), Тайбей (о. Тайвань). Планируется, что в дальнейшем общее количество шлюзовых станций в процессе активной эксплуатации ССС «Iridium» возрастет до 22-25.

Система «Iridium» предоставляет следующие связные услуги.

– услуга всемирной спутниковой связи;

– услуга всемирного роуминга;

– услуга всемирного пейджинга;

– услуга всемирной телефон-карты;

Данные услуги реализуются посредством представления следующих технических сервисов:

– высокоскоростная передача данных и голоса. Сервис разработан специально для экипажей кораблей и воздушных судов. Обеспечивает надежную телефонную связь при подключении одновременно до трех телефонных аппаратов. Скорость передачи данных достигает 128 кбит/с;

– сервис отправки сообщений и данных множеству АТ устройств одновременно. При этом отправитель имеет возможность выбрать из списка контактов тех получателей, которым

адресуются сообщения, а также указать географическое расположение группы получателей или координаты их местонахождения;

– SMS (Short Message Service) – сервис передачи коротких текстовых сообщений. Сообщение будет доставлено получателю, даже если в момент отправки абонентский терминал получателя был отключен. При включении устройства сообщения приходят автоматически;

– RUDICS (Router – Based Unrestricted Digital Interworking Connectivity Solution) – сервис передачи данных с коммутацией каналов от множества различных устройств. Основан на установлении коммутируемого соединения от АТ, через ИСЗ, до ШС путем организации сквозного IP-соединения. После аутентификации АТ вызов RUDICS направляется по целевому IP-адресу и порту в сети «Интернет». RUDICS поддерживает следующие типы транспортных услуг: инкапсуляция абонентских данных в TCP-/IP-протокол и поддержка протоколов «точка-точка» PPP и MLPPP;

– сервис местоопределения АТ и передачи голоса в режиме Push-to-Talk. Обеспечивает установление голосового соединения менее чем за 2 с в полудуплексном режиме на предопределенных АТ, включенных в сеть;

– SBD (Short Burst Data) – сервис оперативной передачи небольших пакетов данных. Среднеевремя доставки составляет порядка 5 с. Применяется в различных M2M-приложениях для мониторинга кораблей, автотранспорта, поездов и т. д. Данный сервис предоставляет возможность отправки коротких пакетов данных от 10 байт до 1960 байт.

Основные технические характеристики КССС«Iridium» представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Технические характеристики КССС «Iridium»

Наименование параметра	Значения параметра
Число ИСЗ	66 (6 резервных)
Число орбит/ИСЗ на орбите	6/11
Тип орбиты/высота орбиты, км	LEO/780
Наклонение орбиты, град.	86,4
Период обращения, сек.	6 028
Зона обслуживания	глобальная
Вид связи, предоставляемый АТ	ТЛФ, ПД, факс
Скорость передачи, кбит/с	2,4
Суммарная мощность передатчиков ИСЗ, Вт	120
Количество парциальных лучейот каждого ИСЗ	48
Число каналов на ИСЗ	2 500
Метод мультиплексирования	МДВР/МДЧР
Метод дуплексирования	временное
Способ связи между зонами	межспутниковая связь
Вид модуляции	QPSK
Диапазон частот:	
ШС → ИСЗ, ГГц	29,1...29,3
ИСЗ → ШС, ГГц	19,4...19,6
АТ ↔ ИСЗ, ГГц	1,616...1,6265
Пейджинг, ГГц	1,6264375; 1,626395833; 1,626145833; 1,626104167
ИСЗ → ИСЗ, ГГц	23,18...23,38

Основные тактико-технические характеристики (ТТХ) ИСЗ и АТ.

1) ТТХ ретранслятора ИСЗ линии «вниз» на АТ в L-диапазоне:

– подспутниковая зона радиовидимости: диаметр – 4 000 км;

– подспутниковая зона обслуживается 48 сотовыми ячейками (лучами), диаметр ячейки 650 км, время радиовидимости в зоне ИСЗ 9-10 мин, в пятне конкретного луча до 1,5 мин;

– диапазон рабочих частот 1 616-1 626,5 МГц, используется в режиме временного дуплекса («вниз» и «вверх» на одной рабочей частоте луча), на линии «вниз» также выделены 4 частоты для радиопейджинга: 1 626,104167; 1 626,145833; 1 626,395833 и 1 626,4375 МГц;

– многостанционный доступ: МДЧР/МДВР. При этом МДВР в режиме временного дуплекса в каждой субполосе частот обеспечивает 4 канала со скоростью 2,4 кбит/с на канал; с учетом временного дуплекса в кадре 8 временных окон (по 4 на прием и передачу) по 8,28 мс, с учетом служебной информации кадр МДВР имеет длительность 90 мс; с учетом 4-кратного повтора по частоте (4 кластера) в многостанционном доступе МДЧР реализуется 48 частотных каналов (лучей, ячеек).

2) ТТХ ретранслятора ИСЗ межспутниковой линии в Ка-диапазоне:

– диапазон рабочих частот 23,18-23,38 ГГц, полоса частот межспутниковой линии составляет 20 МГц;

– число направлений связи (межспутниковая связность) – 4;

– скорость передачи данных 25 Мбит/с;

– число частотных каналов – 8 (по два на прием/передачу в каждом направлении);

– разнос между каналами 2,5 МГц (восемь каналов в полосе 20 МГц);

– ЭИИМ 37,9 дБ Вт;

– коэффициент G/T: –5,3 дБ/К.

3) ТТХ ретранслятора ИСЗ фидерной линия «вниз» на ШС в Ка-диапазоне:

– диапазон рабочих частот: «вниз» 19,4-19,6 ГГц, «вверх» 29,1-29,3 ГГц;

– число каналов на несущей 480, число несущих до четырех, общее число каналов до 1 920;

– мощность передатчика 1 Вт;

– ЭИИМ 13,5–23,2 дБ Вт;

– коэффициент G/T: –1 дБ/К.

4) ТТХ ШС, работающих на фидерных линиях в Ка-диапазоне:

– четыре типа узловых станций с канальной емкостью 30, 60, 90 и 120 тыс. АТ;

– скорость передачи 12,5 Мбит/с;

– число одновременно отслеживаемых ИСЗ для передачи/приема данных: 3;

– ЭИИМ (ФМ-4) 68 дБ Вт (высокоскоростной режим);

– коэффициент G/T 24,5 дБ/К.

5) ТТХ ретранслятора АТ для передачи трафика по линии «вверх» (двухрежимный АТ «Iridium»/«GSM») в L-диапазоне:

– скорость речевого кодека VSELP и передачи данных 2,4 кбит/с;

– помехоустойчивое кодирование – сверточный код (r=3/4, k=7);

– канальная скорость передачи с учетом уплотнения – 180 кбит/с, приема – 400 кбит/с;

– вид модуляции – ФМ-4 (QPSK) со сглаживанием;

– полоса несущей частоты – 31,5 кГц с разносом 41,667 кГц;

– ЭИИМ: 5,9-8,8 дБ Вт, ретранслятора АТ: 7,5-27,7 дБ Вт;

– коэффициент G/T: –23 дБ/К, ретранслятора АТ: –4,4 дБ/К;

– шумовая температура 533 К;

– антенна – четырехзаходная спираль;

– масса – 700 гр. (портативный АТ), 2,5 кг (мобильный АТ);

– протоколы вызова и регистрации соответствуют сети GSM.

В 2018 г. в КССС «Iridium» завершен процесс полного обновления орбитальной группировки путем перехода на ИСЗ следующего поколения типа «Iridium NEXT». При этом прежними остались используемый частотный ресурс и принципы построения ССС, а бортовая аппаратура ИСЗ нового поколения в дополнение к существующим режимам поддерживает новые форматы сообщений и протоколы связи на основе IP. Внедрение IP-архитектуры и современных алгоритмов уплотнения позволило более чем в 10 раз увеличить общую про-

пускную способность каналов связи, а также обеспечить высокую гибкость предоставления услуг связи пользователям, в частности, развертывать распределенные частные сети в глобальном масштабе.

Новые ИСЗ «Iridium NEXT», как и спутники предыдущего поколения, оснащаются тремя комплектами антенн. Основная АФАР имеет на 25 % меньшие размеры по сравнению с используемой на ИСЗ типа «Iridium».

В качестве дополнительной полезной нагрузки на ИСЗ «Iridium NEXT» установлены:

– аппаратура ADS-B для контроля и управления движением летательных аппаратов, в том числе беспилотных, в реальном масштабе времени;

– аппаратура AIS для автоматической идентификации и мониторинга морского транспорта;

– аппаратура GEOScan для изучения атмосферы и гравитационного поля Земли.

Сравнительный анализ ТТХ ССС «Iridium» на основе ИСЗ предыдущего типа и на основе ИСЗ «Iridium NEXT» приведен в табл. 3.8. На каждом ИСЗ «Iridium NEXT» установлены три группы антенн:

– шесть АФАР, формирующих 48 парциальных лучей для работы с АТ на прием и передачу в диапазоне 1 616–1 626,5 МГц;

– четыре антенны для организации связи со станциями сопряжения в диапазоне 19,4-19,6 ГГц и 29,1-29,3 ГГц;

– четыре волноводно–щелевые антенны для межспутниковой связи в диапазоне частот 23,18-23,38 ГГц.

Таблица 3.8

Сравнительные ТТХ ИСЗ «Iridium» различных серий

	ИСЗ типа «Iridium»	ИСЗ типа «Iridium NEXT»
Диапазоны частот радиолиний	без изменений	
Скорость передачи данных в различных режимах, кбит/с:		
–телефония	2,4	2,4
–низкоскоростная передача данных	2,4	9,5-64
–передача данных морским и воздушным объектам	до 134	128-512
–широковещательная передача данных	–	64
–высокоскоростная передача данных	–	88; 176; 352; 704; 1408
Мощность системы электропитания, кВт	1,2	22
Расчетный срок эксплуатации ИСЗ, лет	8	15
Масса, кг	689	860

Каждый ИСЗ формирует зону обслуживания АТ диаметром 4 700 км и площадью около 19 млн км^2. Зоны обслуживания ИСЗ разделены на сотовые ячейки – до 48 на один ИСЗ. В связи с этим на ИСЗ использована 48-лучевая антенная система, состоящая из 6 АФАР, каждая из которых формирует восемь лучей (рис. 3.13). Один луч формирует на поверхности Земли зону обслуживания диаметром порядка 600 км. В совокупности 48 лучей формируют квазисплошную подспутниковую зону диаметром более 4 000 км.

Одним из ключевых аспектов в КССС «Iridium» является механизм «хэндовера» – передачи АТ из луча в луч (из одной соты в другую), а также с одного ИСЗ на другой. При максимальном времени пребывания абонента в зоне радиовидимости одного ИСЗ порядка 8-10 мин и при 48 лучах на каждом ИСЗ, интенсивность переходов может составить до 1 раза в мин (время радиовидимости в зоне 9-10 мин, в ячейке – до 1,5 мин). Учитывая то, что в соседних лучах используются разные рабочие частоты, процедура перехода в новую зону (соту) должна повлечь за собой и смену рабочей частоты абонентского терминала, т. е. в системе применяется достаточно сложный алгоритм переключения рабочих частот наземных терминалов.

Диаграммы направленности АФАР задаются программным способом, что позволяет независимо изменять параметры каждого луча. Это позволяет избежать перекрытия зон от смежных ИСЗ.

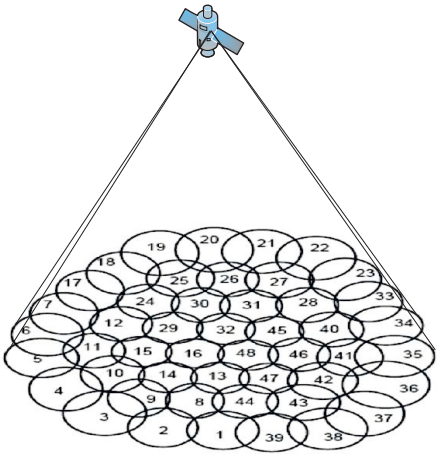


Рис. 3.13. Формирование 48-лучевой подспутниковой зоны

Околополярные орбиты обеспечивают более близкое расположение ИСЗ по мере увеличения суборбитальной широты, как показано на рис. 3.12. В свою очередь, такое орбитальное построение обусловливает увеличение перекрытия зон соседних ИСЗ по мере их приближения к полюсам. Для уменьшения межспутниковых помех и согласования нагрузки между ИСЗ в высоких широтах производится выборочное отключение внешних лучей в зонах каждого ИСЗ.

Помимо абонентских линий в КССС «Iridium» организуются фидерные и межспутниковые линии связи, а также каналы для обмена командно-телеметрической информацией (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Характеристики линий связи КССС «Iridium»

Характеристика	Абонентские линии		Фидерные линии		МЛС
	«вверх»	«вниз»	«вверх»	«вниз»	
Диапазон частот	1 616-1 626,5 МГц		29,1-29,3 ГГц	19,4-19,6 ГГц	23,18-23,38 ГГц
Полоса частот базового канала в линии	31,5 кГц		2,5 МГц		20 МГц
Скорость передачи в линии	180 кбит/с	400 кбит/с	12,5 Мбит/с	12,5 Мбит/с	25 Мбит/с
ЭИИМ, дБ Вт	5,9-8,8	12,4-31,2	51,4-77,4	14,5-27,5	37,9
Сигнал	QPSK (ФМ-4)				

В состав КССС «Iridium» входят два основных типа АТ: мобильные и портативные.

В стандартном АТ используется антенна типа четырехзаходная спираль с коэффициентом усиления 1-3 дБ. Антенна обеспечивает прием радиосигналов в секторе углов 360° по азимуту и от 10° до 90° по углу места. Максимальная ЭИИМ абонентской станции составляет 5,9-8,8 дБ·Вт. Добротность приемника G/T лежит в пределах от –23,8 до –21,8 дБ/К (шумовая температура 553°К). Пороговое отношение сигнал-шум составляет 3,1 дБ при вероятности ошибки 10^{-2}.

Отдельные АТ (оборудование «AES AMS(R)S Iridium») устойчиво работают в условиях наличия помех, вызывающих совокупное относительное изменение шумовой температуры приемника ($\Delta T/T$) на 25%. Увеличение шумовой температуры приемника на 25% эквивалентно снижению энергетического запаса линии связи на 1,0 дБ. Это дополнительное снижение

вследствие помех учитывается в энергетическом бюджете линии связи КССС «Iridium». Абонентские каналы рассчитаны на обеспечение энергетического запаса в 15 дБ. Каждый канал связи определяется назначенными ему несущей частотой и временным слотом. Далее под термином «канал» подразумевается именно сочетание временного слота и несущей частоты. Под терминами «частота» или «доступ с частотным разделением» будет пониматься конкретная радиочастота отдельного канала. Все каналы можно разделить на две основные категории:

1) служебные каналы – обеспечивают функционирование ССС и обслуживание в них АТ. В данную категорию входят:

– каналы вызова;
– радиовещательные каналы;
– каналы обнаружения сигнала;
– каналы синхронизации;

2) абонентские каналы – сервисные каналы, посредством которых предоставляются услуги связи:

– каналы трафика;
– дуплексные речевые каналы;
– совмещенные дуплексные каналы для передачи речи и данных;
– дуплексные каналы передачи данных;
– каналы передачи сообщений.

Определенное сочетание временного слота и несущей частоты может использоваться для ряда типов каналов, в зависимости от конкретного вида обслуживания в каждом случае. При этом каждое конкретное сочетание временного слота и несущей частоты используется только для одной цели.

На рис. 3.14 приведена иерархия каналов КССС «Iridium».

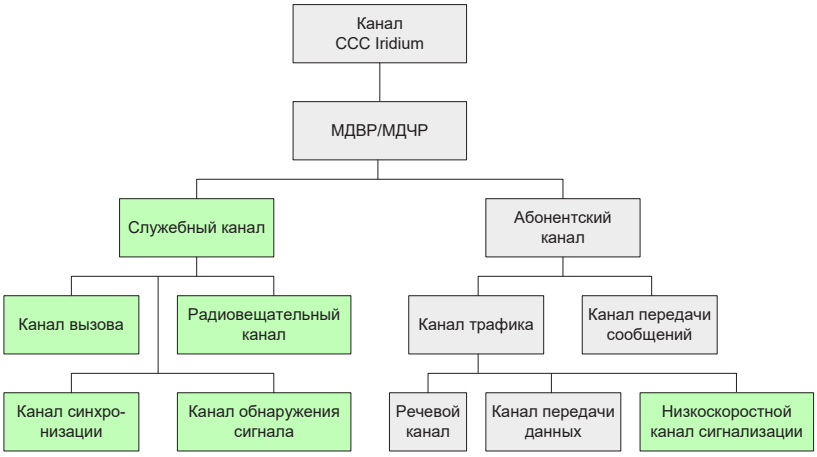


Рис. 3.14. Иерархия каналов КССС «Iridium»

В КССС «Iridium» используются четыре служебных канала:

– канал вызова;
– радиовещательный канал;
– канал обнаружения сигнала;
– канал синхронизации.

Канал вызова представляет собой канал связи в линии «вниз», используемый для передачи сообщений вызова отдельным АТ. Несущая частота канала вызова является единственной для использования во всей системе. В канале вызова используется МДВР для передачи сообщений вызова различным АТ на данной единой частоте.

Радиовещательные каналы представляют собой каналы связи в линии «вниз» используемые для управления обнаружением сигналов ИСЗ абонентами и передачи им команд управления. По этим каналам на АТ передается информация о частотах и синхронизации в системе, прежде чем они приступят к передаче запроса обнаружения сигнала. Кроме того, радиовещательные каналы обеспечивают передачу сообщений по линии связи «вниз», в которых ИСЗ осуществляют присвоение каналов для АТ, подтверждают сообщения АТ об обнаружения сигнала. Также радиовещательные каналы используются для выборочного блокирования обнаружения сигнала отдельными АТ для предотвращения перегрузки ИСЗ.

Каналы обнаружения сигнала представляют собой каналы связи в линии «вверх», которые используются оборудованием отдельных АТ для передачи на ИСЗ сообщений об обнаружении сигнала. В этих каналах используется принцип случайного МДВР по протоколу ALOHA. Допуски на погрешности по времени и частоте в канале обнаружения сигнала несколько больше в расчете на неопределенности первоначального выделения частоты и синхронизации. АТ самостоятельно определяют, какие каналы обнаружения сигнала являются активными, посредством мониторинга радиовещательного канала.

Канал синхронизации представляет собой дуплексный канал, используемый АТ для обеспечения окончательной синхронизации с ИСЗ, до того как он задействует абонентский канал для передачи речи или трафика. Канал синхронизации занимает те же частотно-временные параметры (номер временного слота и частоты доступа), что и абонентский канал, который будет занят АТ после завершения процесса синхронизации. Во время процесса синхронизации ИСЗ замеряет относительное время и относительную частоту поступления пакета синхронизации от АТ по линии связи «вверх» и направляет к АТ корректирующую информацию в пакете синхронизации по линии «вниз». Параметры канала синхронизации присваиваются ИСЗ каждому АТ перед началом передачи им трафика. Процедура синхронизации выполняется АТ, передающим пакет по линии связи «вверх», который оценивается ИСЗ на предмет временной и частотной погрешности в присвоенном канале. ИСЗ направляет АТ по каналу связи «вниз» временные и частотные поправки к последнему пакету, переданному АТ по линии связи «вверх». Этот процесс повторяется до тех пор, пока ИСЗ не определит, что время и частота передачи АТ находятся в установленных для абонентского канала допусках. После этого ИСЗ передает на АТ сообщение о соответствии канала установленным требованиям, изменяет статус данного канала на «абонентский канал» и начинает передачу по нему трафика.

В интересах непосредственного предоставления услуги связи пользователям для АТ в КССС «Iridium» организуется абонентский канал связи. Предусмотрено два основных типа абонентских каналов:

– каналы передачи сообщений;

– каналы трафика.

Каналы передачи сообщений поддерживают только услугу симплексной передачи сообщений между АТ. Эта услуга состоит в передаче цифровых и буквенно-цифровых сообщений и обеспечивается такими АТ, как пейджеры «Iridium».

Каналы трафика поддерживают услуги дуплексной связи, в том числе дуплексную телефонную связь, а также разнообразные виды дуплексной передачи данных. Каждый канал трафика представляет собой соответствующий канал связи «вверх» и «вниз». АТ дуплексной связи имеет исключительное право на занятие присвоенных ему каналов до прекращения обслуживания или до переключения АТ на другой канал.

Структура пакета в канале трафика одинакова для линии «вверх» и линии «вниз». Каждый пакет имеет длительность 8,28 мс и содержит 414 канальных символов. Пакет имеет четыре поля:

– преамбулу;

– кодовое слово;

– слова управления линии (СУЛ);

– поле полезной нагрузки.

Преамбула и кодовое слово различны для пакета линии «вверх» и пакета линии «вниз» и используются в приемном демодуляторе для обнаружения пакета.

Поле СУЛ содержит три слова, закодированных кодами БЧХ (7, 3), БЧХ (13, 6) и БЧХ (26, 21). Поток данных полей СУЛ образует низкоскоростной канал сигнализации со скоростью 222,2 бит/с, который используется для поддержки линии связи, управления линией и переключения АТ («хэндовера»). Поле СУЛ кодируется кодом с прямым исправлением ошибок.

Поток данных полей полезной нагрузки составляет 3 466,67 бит/с. С учетом потерь на кодирование и дополнительные служебные сообщения обеспечивается средняя скорость передачи данных абонента от 2,4 кбит/с. Это основной канал передачи пользовательского трафика, а также передачи данных и сигнальных сообщений.

Данными могут быть либо преобразованные вокодером речевые сигналы, либо трафик пользователя. При речевой связи собственный вокодер «Iridium» использует кодирование FEC для обеспечения хороших или удовлетворительных по качеству характеристик преобразованных вокодером речевых сигналов. При передаче трафик пользователя протокола канального уровня L-диапазона использует последовательность проверки кадров для обеспечения по существу безошибочной передачи данных.

Каналы в КССС «Iridium» реализуются путем применения гибридной архитектуры МДВР/МДЧР. Отдельные каналы повторно используются в различных пространственно-разнесенных лучах подспутниковой зоны одного ИСЗ. Каждый канал идентифицируется несущей частотой и временным слотом в кадре.

Основными элементами МДВР являются временные слоты, переносящие пакеты, объединяемые в кадры. Организация временных слотов в кадрах МДВР-канала приведена на рис. 3.15.

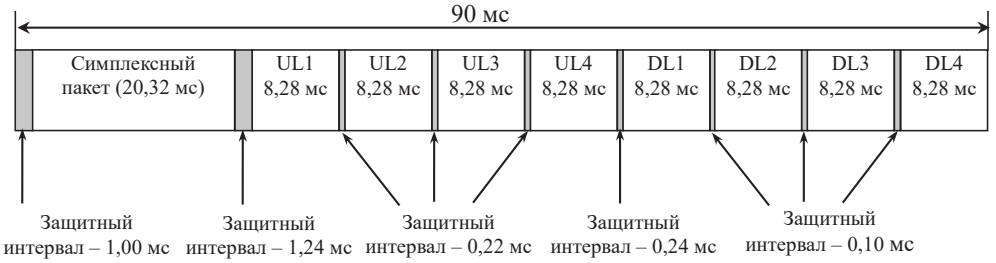


Рис. 3.15. Структура кадра при МДВР

Каждый МДВР кадр состоит из симплексного пакета, четырех пакетов линии «вверх» (UL1…UL4) и четырех пакетов линии «вниз» (DL1…DL4). Для исключения временного наложения пакетов вследствие ресинхронизации ИСЗ и АТ в кадре предусматриваются защитные временные интервалы, уменьшающие эффективность МДВР до 73 %. Каждый кадр МДВР содержит 2 250 символов при частоте модуляции пакетного канала 25 килосимволов в секунду (ксимв./с).

Симплексный пакет используется для передачи сообщений (в канале передачи сообщений) и для формирования служебного канала вызова в линии «вниз».

Служебные каналы обнаружения сигнала и синхронизации, а также каналы трафика «вверх» формируются путем использования временных слотов UL1…UL4 в линии «вверх». Служебные каналы радиовещания и синхронизации, а также каналы трафика «вниз» формируются путем использования дуплексных временных интервалов DL1…DL4 в линии «вниз».

В канале трафика 2,4 кбит/с используется один временной слот в линии «вверх» и один временной слот в линии «вниз» на кадр. При этом временные слоты линии «вверх» и линии «вниз» не обязательно могут находиться на одной частоте. В системе может быть

организован канал трафика 4,8 кбит/с, используя 1-й и 2-й, либо 3-й и 4-й временные окна линий «вверх» и «вниз», причем пара соседних временных окон «вверх» или линии «вниз» должны быть на одной частоте.

Основными единицами в структуре частотного плана МДЧР является несущая частота с полосой 41,667 кГц. Каждый канал использует одну несущую частоту. Все несущие частоты делятся на два поддиапазона:

– поддиапазон дуплексных несущих частот;

– поддиапазон симплексных несущих частот.

Диапазон частот от 1 616,0 МГц до 1 626,0 МГц предназначен для сигналов дуплексных каналов. Несущие частоты, предназначенные для дуплексных каналов, разделены на 30 групп по 8 несущих частот. Каждая несущая частота имеет ширину 31,5 кГц с разносом 41,667 кГц (см. рис. 3.16). Каждая группа занимает полосу 333,333 кГц (8×41,667 кГц). Таким образом, всего определено 240 несущих частот для организации дуплексных каналов.

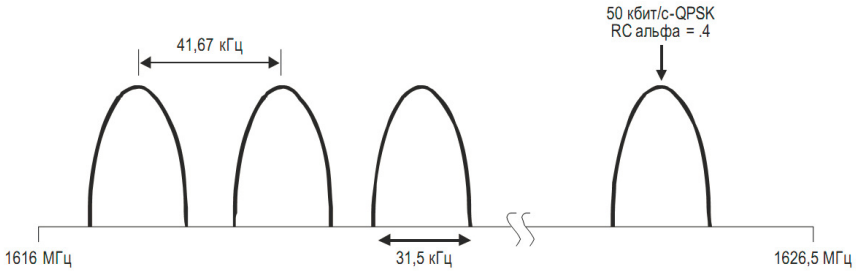


Рис. 3.16. Структура МДЧР

В табл. 3.10 представлены данные о границах каждой из 30 групп несущих частот. В КССС«Iridium» использовуются несущие частоты в группах 8-30.

В КССС «Iridium» многократно используются несущие частоты дуплексных каналы в различных лучах подспутниковой зоны при наличии достаточных условий для их пространственного разноса. Отдельные несущие частоты объединяются в группы, которые могут использоваться многократно в различных пространственно-разнесенных лучах. Такая группа состоит из одного временного интервала и восьми смежных несущих частот. При этом несущие частоты нумеруются от 1 до 8 (от нижней до верхней частоты).

В табл. 3.11 представлены нижние, верхние и центральные частоты для каждого из восьми несущих частот в пределах группы многократного использования. Эти частоты соотносятся с нижней границей каждой группы частот, представленных в табл. 3.10.

Группы частот многократного использования могут присваиваться лучу, переприсваиваться или активироваться/деактивироваться в начале каждого временного кадра. Для обеспечения дополнительной пропускной способности тех лучей, которые испытывают большую нагрузку, используется динамичное присвоение этому лучу нескольких групп несущих частот.

Диапазон частот 1 626-1 626,5 МГц шириной 500 кГц содержит 12 несущих частот (по 41,667 кГц), предназначенных для симплексных каналов в линии «вниз». Каналы нумеруются от 1 (меньшее значение частоты) до 12 (большее значение частоты). На линии «вниз» выделены четыре несущие частоты радиопейджинга: 1 626,104167; 1 626,145833; 1 626,395833 и 1 626,4375 МГц (табл. 3.12).

Следует отметить, что на несущей частоте 1 626,270833 МГц организуется единый для всей ССС служебный канал вызова. Внутри данного канала вызываемые АТ разделяются по времени.

Во всех каналах линий «вверх» и «вниз» в L-диапазоне используются вариации четырехпозиционной фазовой манипуляции (QPSK) с частотой 25 ксимв./с, при этом они реализуются посредством формирования сигнала типа «приподнятый косинус» с 40 % эффективной амплитудой. К вариациям QPSK относятся дифференциальное кодирование (DE-QPSK)

и двухпозиционная фазовая манипуляция (BPSK), которая здесь рассматривается как особый случай QPSK.

Таблица 3.10

Распределение групп частот дуплексных каналов в КССС «Iridium»

Группа несущих частот	Нижняя граница,МГц	Верхняя граница, МГц
1	1 616,000000	1 616,333333
2	1 616,333333	1 616,666667
3	1 616,666667	1 617,000000
4	1 617,000000	1 617,333333
5	1 617,333333	1 617,666667
6	1 617,666667	1 618,000000
7	1 618,000000	1 618,333333
8	1 618,333333	1 618,666667
9	1 618,666667	1 619,000000
10	1 619,000000	1 619,333333
11	1 619,333333	1 619,666667
12	1 619,666667	1 620,000000
13	1 620,000000	1 620,333333
14	1 620,333333	1 620,666667
15	1 620,666667	1 621,000000
16	1 621,000000	1 621,333333
17	1 621,333333	1 621,666667
18	1 621,666667	1 622,000000
19	1 622,000000	1 622,333333
20	1 622,333333	1 622,666667
21	1 622,666667	1 623,000000
22	1 623,000000	1 623,333333
23	1 623,333333	1 623,666667
24	1 623,666667	1 624,000000
25	1 624,000000	1 624,333333
26	1 624,333333	1 624,666667
27	1 624,666667	1 625,000000
28	1 625,000000	1 625,333333
29	1 625,333333	1 625,666667
30	1 625,666667	1 626,000000

Таблица 3.11

Частотные параметры для каждой из восьми несущих частот в пределах группы

Номер несущей частоты в группе	Нижняя частота, кГц	Верхняя частота, кГц	Центральная частота, кГц
1	0,000	41,667	20,833
2	41,667	83,333	62,500
3	83,333	125,000	104,167
4	125,000	166,667	145,833
5	166,667	208,333	187,500
6	208,333	250,000	229,167
7	250,000	291,667	270,833
8	291,667	333,333	312,500

Таблица 3.12

Распределение симплексных несущих частот

Номер канала	Центральная частота, МГц	Функциональная нагрузка
1	1 626,020833	Резервный канал
2	1 626,062500	Резервный канал
3	1 626,104167	4-й канал передачи сообщений
4	1 626,145833	3-й канал передачи сообщений
5	1 626,187500	Резервный канал
6	1 626,229167	Резервный канал
7	1 626,270833	Вызов
8	1 626,312500	Резервный канал
9	1 626,354167	Резервный канал
10	1 626,395833	2-й канал передачи сообщений
11	1 626,437500	1-й канал передачи сообщений
12	1 626,479167	Резервный канал

В абонентских каналах, а также служебных каналах радиовещания, синхронизации, вызова и передачи сообщений в линии «вниз» используется модуляция DE-QPSK с формированием импульсного сигнала типа «квадратичного приподнятого косинуса» с 40 % эффективной амплитудой. Во всех этих каналах скорость передачи данных составляет 25 ксимв./с или 50 кбит/с.

В абонентских каналах в линии «вверх» используют модуляцию DE-QPSK с формированием импульсного сигнала типа «квадратичного приподнятого косинуса» с 40 % эффективной амплитудой. Скорость передачи данных составляет 25 ксимв./с или 50 кбит/с.

Каналы обнаружения сигнала и синхронизации в линии «вверх» используют модуляцию DE-BPSK с формированием импульсного сигнала типа «квадратичного приподнятого косинуса» с 40 % эффективной амплитудой. Скорость передачи данных составляет 25 ксимв./с или 25 кбит/с. Сигнал BPSK используется в связи с тем, что он обеспечивает выигрыш на линии «вверх» в 3 дБ и тем самым повышает вероятность обнаружения сигнала.

Способом кодирования, используемым в каналах связи в линиях «вверх» и «вниз», является дифференциальное кодирование. Его использование позволяет демодуляторам в случае кратковременной потери фазовой синхронизации вследствие замирания сигнала на линии вновь быстро выделить фазу и устранить фазовую неоднозначность.

Используемый способ кодирования не обеспечивает прямое исправление ошибок в данных абонента, переданных в полезной нагрузке. Целостность таких данных обеспечивается путем добавления 24-битовой контрольной последовательности проверки кадра, передаваемой в каждом пакете, содержащем в качестве нагрузки данные (в отличие от полезной речевой нагрузки). Если после проверки кадра не подтверждается их целостность, протокол канального уровня запрашивает этот кадр повторно. При этом ошибочные данные полезной нагрузки, которые не прошли проверку целостности, не передаются конечному абоненту. Следовательно, ухудшение качества канала, которое обуславливает увеличение коэффициента битовых ошибок в абонентском канале, приводит к увеличению числа повторных ретрансляций кадров и соответствующему сокращению числа генерируемых пользователем битов, передаваемых конечному абоненту. Передача данных рассчитана на обеспечение минимальной скорости передачи данных пользователя, составляющей 2,4 кбит/с.

Отдельные прикладные процессы сигнализации, управления и передачи трафика используют собственные варианты помехоустойчивого кодирования с исправлением ошибок для улучшения коэффициента битовых ошибок в каналах связи. Алгоритм вокодера использует собственное чередование и прямое исправление ошибок. Большинство административ-

ных передач, используемых для предоставления доступа к линии и осуществления контроля, используют собственное исправление внутренних ошибок и чередование.

Для каналов связи в линиях L-диапазона пороговое значение битовой ошибки может составлять до 0,02, что является достаточным для обеспечения речевой связи. Этот уровень обеспечивается при значении ОСШП в 6,1 дБ в условиях прямой видимости. Допускается работа КССС «Iridium» с энергетическим запасом на линии связи, превышающим данный уровень на 15,5 дБ. Этот запас необходим для компенсации ослабления замирания сигнала вследствие релеевского переотражения и затенения, типичных при работе мобильного АТ в городских условиях. При удовлетворительных условиях на канале этот уровень снижается благодаря адаптивному регулированию мощности. Однако даже при адаптивном регулировании мощности энергетический запас в линии связи сохраняется для ослабления замираний, которые являются слишком непродолжительными, чтобы их можно было компенсировать с помощью контура регулирования мощности.

Для адаптивного регулирования мощности используется алгоритм замкнутого контура, при котором ИСЗ и приемники АТ измеряют уровень ОСШП и выдают команды передатчикам скорректировать мощность передачи до минимального значения, необходимого для поддержания высокого качества работы на линии связи. В тех случаях, когда полный энергетический запас в линии связи не требуется для смягчения условий в канале, адаптивное регулирование мощности выполняет функцию сокращения потребления мощности системы.

Имеются небольшие различия в алгоритмах регулирования мощности, используемых при передачи речи и данных. Алгоритм, используемый при передаче данных, рассчитан на более высокие уровни мощности и не использует адаптивное регулирование мощности, обеспечивая тем самым низкие коэффициенты битовых ошибок в канале и более высокую пропускную способность для пользователя.

Процесс установления соединения между двумя абонентами для организации связи между ними и прерывания соединения в конце вызова определяется протоколами КССС «Iridium».

Функции обеспечения связи распределяются между АТ, ИСЗ и ШС. В КССС «Iridium» поддерживается набор протоколов, используемых для связи между элементами системы.

Эти протоколы можно свести в следующие группы:

– протокол управления соединениями (CC);

– протокол управления мобильностью (MM);

– протокол канального уровня L-диапазона (LL);

– протокол физического уровня L-диапазона (LBP);

– протокол канала ассоциированного управления L-диапазона (ACCHL).

Распределение процессов функционирования протоколов в АТ, ИСЗ и ШС представлено на рис. 3.17.

Основной интерфейс с абонентскими терминалами и установка/разъединение коммутируемых каналов в КССС «Iridium» обеспечиваются на прикладном уровне АТ с использованием набора команд Хейза (специальный язык программирования, первоначально разработанный для модемов, используемых в телефонных линиях, также называется набором команд АТ). Для некоторых услуг передачи данных в КССС «Iridium» также обеспечиваются дополнительные сервисные интерфейсы для облегчения доступа АТ. В целом канал связи представляется конечным АТ эффективным и надежным средством передачи данных.

Протокол CC эквивалентен протоколу управления соединениями стандарта GSM. Он включает передачу сигналов между коммутационным центром сети подвижной связи и абонентом сети подвижной связи (MSC-MS) на подуровне CC интерфейса подвижной радиосвязи GSM, а также соответствующие процедуры. Кроме того, данный протокол обеспечивает

общие возможности управления телефонными соединениями, предусмотренными в стандартной коммутационной подсистеме GSM.

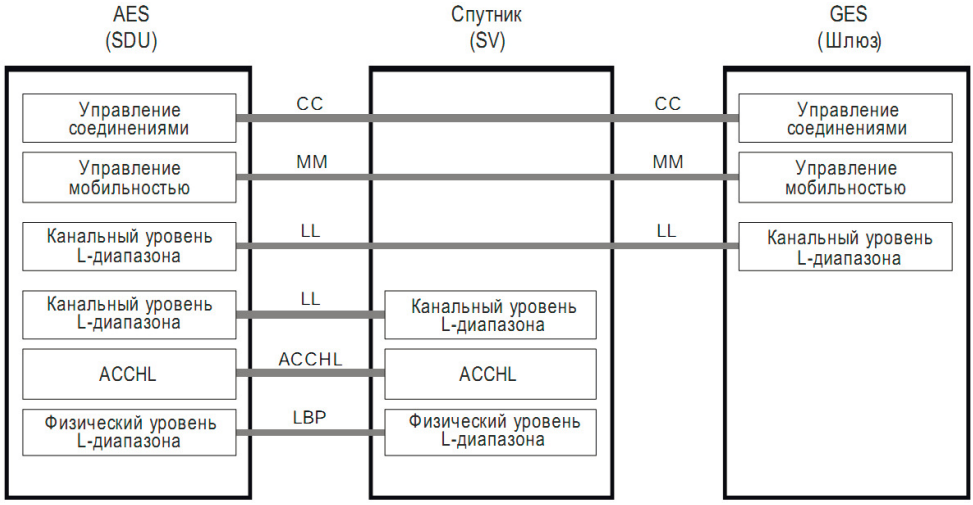


Рис. 3.17. Распределение процессов функционирования протоколов ССС «Iridium» в АТ, ИСЗ и ШС

Протокол ММ эквивалентен протоколу управления мобильностью в GSM. Он включает передачу сигналов MSC-MS на подуровне ММ интерфейса подвижной радиосвязи GSM и соответствующие процедуры, а также элементы прикладной части подвижной связи, которая поддерживает его.

Протокол LL обеспечивает функции управления и контроля за абонентскими каналами, определяет приоритеты доступа АТ, обновляет системные данные, а также устанавливает и разъединяет соединения. Протокол LL обеспечивает передачу сигналов обработки исходящих и входящих вызовов АТ, а также обеспечивает процедуры сигнализации, связанные с доступом АТ к КССС «Iridium». Кроме того, протокол LL в реальном времени обеспечивает управление радиоресурсами на канальном уровне L-диапазона, такие как распределение и поддержание радиоресурсов L-диапазона между АТ и процедуры «хэндовера» АТ в процессе движения спутника.

Протокол ACCHL используется всеми объектами, нуждающимися в надежной передаче данных по абонентским каналам L-диапазона между ИСЗ и АТ. Протокол ACCHL позволяет использовать пакеты абонентских каналов совместно с другими протоколами. Логический канал протокола ACCHL является двусторонним и использует части абонентского канала трафика в линии «вверх» и «вниз», управляющее слово и поле полезной нагрузки при передаче между ИСЗ и АТ. Протокол ACCHL обеспечивает транспортировку сообщений различного размера по логическому каналу ACCHL и используется для гарантии доставки сообщений между ИСЗ и АТ. Он использует протокол LBP только в той его части, в которой протокол LBP осуществляет арбитраж доступа к физическому уровню КССС «Iridium» в случае возникновения конфликта в отношении радиоресурсов физического уровня.

Протокол LBP представляет собой интерфейс управления между ИСЗ и АТ. Основная характерная особенность протокола LBP заключается в том, что, в отличие от ACCHL, им не гарантируется доставка сообщений. Примерами передаваемых таким образом сообщений являются сигналы вызова, направленные сообщения, сообщения по каналу радиовещания,

кандидаты АТ на переключение, списки кандидатов АТ для переключения, поправки, связанные с доплеровским сдвигом/синхронизацией/регулированием мощности.

Обнаружение сигнала является первым этапом в получении обслуживания от КССС «Iridium». Это процесс установления линии связи между ИСЗ и АТ. Обнаружение сигнала необходимо АТ для регистрации в сети, установления соединения, ответа на завершение вызова или для начала любого обслуживания в КССС «Iridium».

Первоначально АТ должен выполнить обнаружения сигнала ИСЗ. Первыми этапами обнаружения сигнала ИСЗ являются обеспечение цикловой синхронизации, определение надлежащего временного слота по линии «вниз» и обнаружение доплеровского сдвига частоты в принятом сигнале. Затем АТ должен предварительно скорректировать передаваемый сигнал, с тем чтобы сигнал, принимаемый на ИСЗ, поступил в надлежащем временном слоте приема и имел минимальный доплеровский сдвиг.

Для обнаружения сигнала АТ настраивает свой приемник и выделяет спутниковый радиовещательный канал в луче, в котором он располагается. В канале вызова передается время/частота радиовещания для каждого луча, и АТ на основании этих параметров может определить канал, который он должен использовать. На основе декодированной передачи с ИСЗ (радиовещательные сообщения с информацией относительно обнаружения сигнала) АТ определяет наличие разрешения на обнаружение сигнала. Это осуществляется посредством контроля класса обнаружения сигнала. Команда на отказ в обнаружении сигнала с ИСЗ может быть обусловлена текущей высокой загрузкой данного ИСЗ или ССС в целом, а также некоторыми другими ограничениями системы. Если ИСЗ выдает разрешение на обнаружение сигнала, АТ выделяет идентификатор луча и выбирает произвольный канал обнаружения сигнала.

АТ оценивает доплеровский сдвиг и рассчитывает время связи по линии «вверх» на основе идентификатора луча. АТ при повторном запросе корректирует время своего излучения и частоту, а затем передает на ИСЗ по каналу обнаружения сигнала ориентировочный пакет (сообщение с запросом на обнаружение сигнала). После получения от АТ сообщения с запросом на обнаружение сигнала ИСЗ рассчитывает временную и частотную погрешность принятого сигнала. После этого ИСЗ направляет на АТ сообщение о присвоенном ему канале (комбинации несущей частоты и временного слота в кадре), а также поправки к времени и частоте.

АТ способен компенсировать максимальный доплеровский сдвиг несущей частоты по линии «вверх» до ±37,5 кГц, для удовлетворения установленных требований в отношении частоты передачи. По результатам натурных испытаний наблюдалась устойчивая связи ИСЗ с мобильными АТ, движущимися на скоростях до 1,5 км/с (5 400 км/ч).

После каждой передачи по каналу обнаружения сигнала по линии «вверх» АТ принимает и анализирует данные в канале радиовещания с целью поиска подтверждения на свой запрос (сообщение от ИСЗ о присвоении канала), а также убеждается в сохранении класса обнаружения сигнала в КССС «Iridium». Если на запрос АТ не получено подтверждения, АТ повторяет свой запрос через произвольный интервал времени (время определяется в соответствии с протоколом ALOHA) на произвольном канале обнаружения сигнала. Это позволяет свести к минимуму число коллизий между обнаруживающим сигнал АТ и другими АТ, пытающимися использовать данный канал обнаружения сигнала.

После получения сообщения о присвоении канала, АТ немедленно переходит на новый канал синхронизации и подтверждает изменение путем направления на ИСЗ сообщения о проверке синхронизации. Оборудование ИСЗ измеряет смещение по времени и частоте принятого сообщения и направляет в ответ сообщение о синхронизации. Сообщение о синхронизации содержит данные о статусе синхронизации. ИСЗ устанавливает статус синхронизации «Sync OK», если погрешности времени и частоты находятся в допустимых пределах

для начала использования абонентского канала. Если ИСЗ направляет сообщение о требуемом повторе синхронизации, то АТ корректирует время и частоту и вновь направляет сообщение о проверке синхронизации. Если ИСЗ направляет «Sync OK» в сообщении о синхронизации, АТ передает подтверждение в сообщении о проверке синхронизации и ожидает получения от ИСЗ сообщения о переключении с режима установления синхронизации на режим передачи пользовательского трафика. После получения сообщения на переключение с режима синхронизации на режим передачи трафика АТ выходит из процесса обнаружения сигнала и приступает к процессу доступа к ИСЗ. После этого ИСЗ переключается с канала синхронизации на абонентский канал.

В определенных обстоятельствах может возникнуть необходимость воспрепятствовать АТ делать попытки обнаружения сигнала. Такими обстоятельствами могут быть аварийная ситуация, перегрузка луча, ИСЗ или ССС в целом. В таких случаях по каналу радиовещания указывается, какие АТ могут предпринять попытку обнаружения сигнала.

Все АТ разделены на десять приоритетных классов (0-9), которые называются классами обнаружения сигнала. Большему приоритету соответствует больший номер класса. Оборудование АТ считывает класс обнаружения сигнала с SIM-карты, которая программируется на определенный приоритет при выдаче. Кроме того, АТ могут быть членами одной или нескольких специальных категорий (классы обнаружения сигнала 11-15), которые также хранятся в АТ. Использование приоритетных классов (классов обнаружения сигнала) позволяет не допустить перегрузки каналов обнаружения сигнала или абонентских каналов. Любое число этих классов может быть запрещено для обнаружения сигнала в любой момент времени.

При крайней нехватке системных ресурсов осуществляемые низкоприоритетные вызовы прерываются системой для обеспечения доступа для вызовов с АТ более высокого приоритета.

Если АТ является членом по крайней мере одного приоритетного класса, который соответствует разрешенному классу, то этот АТ приступает к обнаружению сигнала.

В процессе доступа определяется местоположение АТ относительно районов диспетчерского обслуживания (SCA), определяемых в координатах Земли. На основе SCA, в пределах которого расположен АТ, и идентификатора поставщика обслуживания АТ (поставщика услуг спутниковой связи) принимается решение относительно того, может ли быть разрешено обслуживание этого АТ и какая ШС должна предоставлять это обслуживание. Данный процесс начинается сразу же после процесса обнаружения сигнала.

Регистрация является процессом, посредством которого АТ сообщает КССС «Iridium» свое местоположение. Процесс регистрации позволяет ССС сохранять данные о местоположении обсуживаемых АТ в роуминге в качестве элемента управления их мобильностью. Абонентский терминал должен быть зарегистрирован в ШС, обслуживающей его местоположение, для инициирования или завершения вызова. Процедура регистрации АТ (обновление местоположения) в КССС «Iridium» совпадает с соответствующей процедурой стандарта GSM и производится после процессов обнаружения сигнала и доступа. По умолчанию в КССС «Iridium» используется режим автоматической регистрации при котором АТ осуществляет перерегистрацию в сети только по мере необходимости. АТ также автоматически перерегистрируется в КССС «Iridium» в том случае, когда ему известно, что его текущее местоположение находится на удалении от точки последней регистрации, превышающем установленное расстояние. С тем чтобы принять такое решение, АТ в пассивном режиме оценивает свое местоположение и позиционную погрешность на основе сообщений, собранных по каналу вызова пролетающих ИСЗ.

«Хендовер» в сотовой связи – это процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной базовой станции к другой. В данном случае, это процесс переключения АТ между ИСЗ и его различными лучами.

ИСЗ «Iridium» имеют остронаправленные антенны, обеспечивающие доступ к ним АТ. Эти антенны имеют конфигурацию, обеспечивающую проецирование множества лучей на поверхность Земли. Эти лучи быстро перемещаются относительно АТ и других ИСЗ КССС. «Хэндовер» АТ, т. е. процесс автоматического переключения осуществляемого соединения от одного луча к другому (или иногда в пределах луча), необходим в трех ситуациях.

1. АТ должен переключаться с одного ИСЗ на другой вследствие их перемещения относительно АТ (межспутниковое переключение);

2. АТ должен переключаться с одного луча на другой по мере перемещения диаграмм направленности лучей относительно АТ (внутриспутниковое переключение);

3. АТ должен переключаться на другой канал (комбинацию несущей частоты и временного слота) в пределах того же луча для оптимизации использования частот и уменьшения помех (внутрилучевое переключение).

Несмотря на то, что переключение может быть инициировано ИСЗ, оно, как правило, осуществляется АТ.

По мере ухода ИСЗ (например, за горизонт) и приближения нового ИСЗ (например, появление его в поле видимости АТ над горизонтом) АТ должен переключиться с текущего (теряемый спутник) на новый (приобретаемый спутник). Во время телефонного соединения такое межспутниковое переключение происходит в среднем приблизительно каждые 5 мин. Оно может инициироваться чаще, вплоть до 5 с, или реже, вплоть до 10 мин, в зависимости от геометрии линии связи. По мере движения ИСЗ от экватора к полюсу фактическое расстояние между соседними ИСЗ уменьшается до нескольких километров, а затем увеличивается до нескольких тысяч километров, когда они вновь приближаются к экватору. Для исключения радиопомех лучи вблизи границ зоны действия ИСЗ выключаются, когда он приближается к полюсу, и затем вновь включаются при его приближении к экватору. Кроме того, одни и те же радиоканалы никогда не располагаются в смежных лучах ИСЗ или между соседними ИСЗ. Таким образом, по мере прохождения ИСЗ и его лучей над АТ он должен довольно часто переключаться на новый луч. Такое внутриспутниковое переключение осуществляется приблизительно каждые 50 с в ходе установленного соединения АТ и ИСЗ.

По мере изменения геометрии расположения ИСЗ их радиоканалы должны перераспределяться между лучами для исключения взаимных помех. Этот процесс может потребовать переключения АТ на другой канал в том же луче. Данный процесс называется внутрилучевым переключением. АТ может также запросить внутрилучевое переключение для уменьшения помех. Если КССС «Iridium» обнаруживает изменение распределения радиоресурсов, в результате которого она не будет располагать достаточным количеством каналов для поддержки ряда текущих АТ, то ИСЗ предложит АТ переключиться на другие лучи, и, таким образом, соединения не будут прерываться в процессе изменения радиоресурсов ССС. Переключения АТ в таких условиях называются добровольными. Добровольные переключения могут быть межспутниковыми или внутриспутниковыми, однако они инициируются АТ (по запросу к ССС), а не самой КССС «Iridium».

Каждый АТ «Iridium» включает в себя усовершенствованный многополосный вокодер со скоростью 2,4 кбит/с. Этот вокодер специально разработан для канала связи КССС «Iridium» и обеспечивает акустические характеристики хорошего качества с номинальной среднебальной шкалой 3,5 в стандартных условиях эксплуатации АТ и канала.

Анализ задержек речевых вызовов в КССС «Iridium» свидетельствует о том, что полная задержка передачи речевых сообщений по системе составляет приблизительно 374 мс.

Для речевой связи предполагается, что полная задержка передачи речевого вызова в рамках подсети КССС «Iridium» не превысит 0,375 с.

Инициированный АТ речевой вызов, успешно полученный системой, получит отказ в обслуживании с вероятностью не более 10^{-2}.

В КССС «Iridium» применяются различные методы защиты от попыток нарушить ее работу и искажения сообщений. Из-за сложности радиоинтерфейсов КССС «Iridium», перехватить или исказить сообщения достаточно сложно.

Для ведения эффективного радиомониторинга каналов L-диапазона станция мониторинга должна располагаться в пределах зоны передачи контролируемого АТ, приблизительно 10-30 км от передающего АТ при наземном базировании и приблизительно 250-350 км от АТ при воздушном базировании. Зона приема передач АТ по линии «вниз» L-диапазона может быть намного шире, т. к. один луч ИСЗ охватывает зону диаметром приблизительно 400 км.

При радиомониторинге фидерных линий необходимо размещение станции мониторинга в непосредственной близости от ШС КССС «Iridium». При этом основными техническими сложностями при организации радиомониторинга являются:

– большие постоянно изменяющиеся доплеровские сдвиги;

– высокая пропускная способность каналов (приблизительно 3 Мбит/с);

– для мониторинга требуется антенна с высоким коэффициентом усиления;

– необходимость переключения на новый КА каждые 10 мин.

Защита от несанкционированного доступа (НСД) в КССС «Iridium» обеспечивается в процессе инициализации доступа АТ. В ходе этого процесса ШС определяет корректность информации запрашивающего АТ о своем географическом местоположении. В случае корректности информации, система запрашивает проверку географическоого местоположения, представленного запрашивающим АТ, с ID-луча, используемого АТ. Если местоположение в зоне луча, ассоциированное с его ID, не совпадает с местоположением, указанным АТ, система устанавливает признак НСД. Затем система направляет АТ сообщение «уведомление о решении в отношении доступа» с указателем, установленным на «отказ в доступе», и обслуживание данного АТ прекращается, за исключением аварийных вызовов.

Процесс аутентификации АТ в КССС«Iridium» осуществляется в соответствии с техническими требованиями стандарта GSM. При этом КССС «Iridium» обеспечивает защиту от внешних попыток нарушить обслуживание с помощью мер и средств в ее шлюзовых станциях, а также в процессе аутентификации АТ и во встроенных в радиоинтерфейс ССС средств защиты.

3.1.3. КССС «O3b»

Система «O3b» (O3b – Other 3 billion) предназначена для предоставления услуг высокоскоростной передачи данных и широкополосного доступа в сеть «Интернет» на территории развивающихся стран в приэкваториальных районах Земли [4-6]. Финансирование проекта обеспечивают компания «Google» и целый ряд других компаний. Оператором системы является компания «O3b». Штаб-квартира этой компании расположена в Джерси (о-ва Ченнел, шт. Калифорния, США). В 2016 г. компания «SES» выкупила 100 % активов «O3b», рассчитывая, что к 2018 г. каждый спутник системы сможет приносить крупный годовой доход.

Проект «O3b» предполагал использование начального варианта космического сегмента в составе восьми спутников на круговых экваториальных орбитах высотой 8 062 км и периодом обращения 360 мин, разнесенных на 45° в плоскости экватора. Впоследствии компания «O3b» обратилась за разрешением использовать два из восьми спутников в качестве резервных, разместив их в орбитальных позициях основных спутников, которые также должны быть равномерно разнесены в плоскости экватора. Состав космического сегмента системы представлен в табл. 3.13.

Спутники для системы созданы компанией «Thales». Мощность системы электропитания в начале эксплуатации составляет 1,675 кВт, стартовая масса ИСЗ – около 700 кг, расчет-

ный срок функционирования – 10 лет. При создании спутников использовались технологии, применявшиеся на ИСЗ серии «Globalstar-2», разработку которых также осуществляла компания «Thales». Используется спутниковая платформа ELiTeBus (Extended Life Time Bus).

Таблица 3.13

Космический сегмент КССС «O3b»

Номер запуска	Наименование ИСЗ	Дата запуска	Параметры орбиты	
			Высота в апогее/перигее, км	Наклонение, град.
1	«O3b-Fl» (FM1)	25.06.13	8 069/8 063	0,03
	«O3b-F2» (FM2)		8 069/8 063	0,03
	«O3b-F3» (FM4)		8 069/8 063	0,03
	«O3b-F4» (FM5)		8 069/8 063	0,03
2	«O3b-F5» (FM3)	10.07.14	8 069/8 063	0,03
	«O3b-F6» (FM6)		8 069/8 063	0,03
	«O3b-F7» (FM7)		8 069/8 063	0,03
	«O3b-F8» (FM8)		8 069/8 063	0,03
3	«O3b-F9» (FM9)	18.12.14	8 069/8 063	0,03
	«O3b-F10» (FM10)		8 069/8 063	0,03
	«O3б-F11» (FM11)		8 069/8 063	0,03
	«O3b-F12» (FM12)		8 069/8 063	0,03
4	«O3b-F13» (FM13)	03.03.18	8 068/8 077	0,03
	«O3b-F14» (FM14)		8 068/8 077	0,03
	«O3b-F15» (FM15)		8 068/8 077	0,03
	«O3b-F16» (FM16)		8 068/8 077	0,03
5	«O3b-F17» (FM17)	04.04.19	8 069/8 076	0,03
	«O3b-F18» (FM18)		8 069/8 076	0,03
	«O3b-F19» (FM19)		8 069/8 076	0,03
	«O3b-F20» (FM20)		8 069/8 076	0,03

Спутники оснащаются 12 антеннами Ка-диапазона частот с управляемыми диаграммами направленности, также предусмотрена возможность изменения положения главного луча диаграммы направленности в пределах угла ±26° (мощность передатчиков – по 65 Вт). Две антенных системы (два луча) используются для связи с наземными шлюзовыми станциями и 10 – с терминалами пользователей системы. Ширина полосы частот каждого ретранслятора – 216 МГц (два таких ретранслятора на один луч). Пропускная способность линий связи в одном луче – 1,2 Гбит/с (2×600 Мбит/с). Диаметр рабочей зоны на поверхности Земли для каждого из лучей составляет 700 км. Суммарная пропускная способность системы в целом составит около 70 Гбит/с, при этом задержка распространения сигнала в прямом и обратном направлениях не превысит 130 мс. Намечено использовать 10 лучей на регион (всего 7 таких регионов), что позволило бы обеспечить 70 лучей и пропускную способность 84 Гбит/с при 8-спутниковой конфигурации космического сегмента системы.

Передача данных осуществляется в режиме прямой ретрансляции данных в Ка-диапазоне частот: 27,6...28,4 и 28,6...29,1 ГГц (радиолинии «вверх»), 17,8...18,6 и 18,8...19,3 ГГц (радиолинии «вниз»), без ОСБ и без использования МЛС. Компания намерена получить разрешение на расширение рабочих диапазонов частот для четырех из восьми основных спутников системы, включив в их число участки 19,7...20,2 и 29,5...30,0 ГГц. Благодаря более низким, чем геостационарная орбита, рабочим орбитам спутников системы достигается в 3-4 раза меньшее время задержки передачи сигнала (120...150 мс), что имеет важное значение для приложений с обработкой данных в масштабе времени, близком к реальному (услуги видеоконференцсвязи, облачной обработки данных и т.п.).

Система рассчитана на предоставление услуг связи интернет-провайдерам, расположенным в пределах ±45° по широте, которые с использованием проводных и беспроводных технологий широкополосного доступа будут предоставлять услуги связи частным лицам,

но может ограниченно использоваться для обслуживания районов в пределах ±62° по широте. Общее число стран, на территории которых может использоваться система «O3b», составляет 177 государств – это страны Африки, Азии, Латинской Америки, Европы и Ближнего Востока.

В июне 2013 г. на орбиты были выведены четыре спутника системы, в том числе прототип и летные образцы 2, 4 и 5 ИСЗ.

Запуск еще четырех спутников системы – летных образцов 3, 6, 7 и 8 ИСЗ – был осуществлен в июле 2014 г. Запуск дополнительных четырех спутников системы – летных образцов 9, 10, 11, 12 был осуществлен в декабре 2014 г.

В первой группе спутников, запущенных в 2013 г., были отмечены неполадки в работе бортовой системы электропитания, в результате чего два спутника были переведены в резерв. Продолжительность использования всех четырех аппаратов может оказаться меньше расчетной. Ожидается, что в дальнейшем в системе будут функционировать 10 основных и 2 резервных ИСЗ.

Предоставление коммерческих услуг связи с помощью спутников системы началось 1 сентября 2014 г. В начале 2017 г. компания «O3b» объявила о наличии более чем 50 постоянных заказчиков услуг системы.

В декабре 2015 г. «O3b» заключила с компанией «Thales» контракт на производство дополнительно восьми ИСЗ, что позволило довести общее число аппаратов в системе до 20. Новые спутники аналогичны находящимся в эксплуатации. Запуск первых четырех дополнительных спутников был осуществлен в первом квартале 2018 г., четырех следующих – во втором квартале 2019 г.

Компания «O3b» рассчитывает на активное использование системы МО США, для чего проведено тестирование использования в системе устройств криптозащиты, возможности подключения ШС к системе «DISN» и оценка уязвимости системы.

В качестве преимуществ системы для оказания услуг военным ведомствам рассматривается противодействие активным помехам благодаря изменяемому положению лучей антенной системы и быстрому перемещению ИСЗ в пределах зоны радиовидимости наземных средств, широкие возможности контроля целостности сигнала, охват основных районов базирования военных объектов в районах Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Отработка использования системы в интересах ВМС США осуществлялась 7 флотом ВМС США в ходе учения «Трайдент Уориор-2015» (Trident Warrior-2015) в июне 2015 г. (продемонстрирована скорость передачи 400 Мбит/с в радиолинии «ИСЗ-корабль» и 200 Мбит/с в радиолинии «корабль-ИСЗ»), а также в ходе учений «Трайдент Спектр-2015 и -2016» (Trident Spectre). Кроме того, система уже используется для ретрансляции оперативной и разведывательной информации в интересах передовых подразделений ВС США в Тихоокеанском регионе и Республикем Корея. Для закрытия данных применяется технология гарантированного шифрования данных High Assurance Internet Protocol Encryptor (HAIPE).

Перспективные ИСЗ

Компания «O3b» планировала в начале 2015 г. заказать спутники второго поколения. Для спутников нового поколения системы планируется обеспечить возможность работы в диапазонах частот 27,5...27,6, 27,6...28,4, 28,4...28,6, 28,6...29,1, 29,1...30,0 ГГц (радиолинии «Земля-ИСЗ») и 17,7...17,8, 17,8...18,6, 18,8...19,3, 19,3...20,2 ГГц (радиолинии «ИСЗ – Земля»). Не исключено, что перспективные спутники системы смогут также дополнительно использовать V-диапазон частот (37,5...51,4 ГГц).

Спутники нового поколения с условным наименованием «O3bN» предназначались для вывода на экваториальные круговые орбиты. Для увеличения зоны обслуживания системы до 63° северной и южной широты планировалось осуществлять запуск спутников на орбиты высотой 8 062 км и наклонением 70°. Такие спутники получили условное наименование «O3b1». Число спутников серии «O3bN» в составе системы может достигнуть 24, а «O3b1» – 16 (по 8 ИСЗ в двух орбитальных плоскостях).

В 2017 г. был заключен контракт с компанией «Боинг» на создание 7 спутников второго поколения, получивших новое наименование «O3b mPower». Спутники планируется разработать на базе платформы BSS-702. Они получат возможность обеспечить программно-определяемую конфигурацию и коммутацию лучей, облачную среду предоставления телекоммуникационных услуг. Число лучей бортовых ретрансляторов каждого спутника будет увеличено с 10 до 500...4 000. В зависимости от потребностей наземных пользователей могут предоставляться каналы связи с полосой пропускания от 15 МГц до 2,5 ГГц (максимальная скорость передачи данных – 10 Гбит/с, гарантируемая скорость передачи данных при диаметре антенны терминала 2,4 м – 1,2 Гбит/с). Суммарная пропускная способность бортовых ретрансляторов ИСЗ нового поколения составит 200 Гбит/с, что в 10 раз больше, чем у спутников первого поколения. Начало запусков ИСЗ серии «O3b mPower» намечено на 2021 г.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента используются до девяти ШС с диаметрами антенных систем около 3,5 м (каждый терминал имеет две антенны для организации переключения между спутниками, время переключения составляет 1-2 мин), расположенных вдоль экватора таким образом, чтобы исключить создание помех спутникам с ретрансляторами Ka-диапазона частот на геостационарных орбитах, а также два центра управления сетью и четыре станции управления ИСЗ и приема телеметрии.

Созданы ШС в США (две – в Верноне, шт. Техас и в Сасет Бич, Гавайские острова), в Австралии (две – Перт и Дуббо), в Перу (Лурин), в Бразилии (Хортоландия), в Португалии (Синтра), в Греции (Нимеа) и в Пакистане (Хоксбей). Станции в Перу, Греции и Перте (Австралия) также обеспечивают прием телеметрии и управление спутниками. Центр управления сетью связи и резервный центр управления системой находятся в Бристоу (шт. Вирджиния), центр управления системой и резервный центр управления сетью – в месте расположения штаб-квартиры компании в Битсдорфе (Люксембург).

Абонентские терминалы

Для передачи данных в интересах организации корпоративных сетей и резервирования каналов сотовых сетей связи могут использоваться наземные терминалы с диаметрами антенн 0,85-2,4 м.

Терминалы Ka-диапазона с двумя антенными системами диаметром 1,2 м были установлены в лаборатории МО США в Сан-Диего (шт. Калифорния), центре Брикс Бридж, (шт. Луизиана), на территории Форт Белвур (шт. Вирджиния) и на других объектах.

Для предоставления услуг связи частным пользователям и малому бизнесу используются терминалы с диаметром антенн 0,5-1 м (скорость передачи данных в прямом канале 1-2 Мбит/с, в обратном 256-512 кбит/с).

3.2. Региональные коммерческие системы спутниковой связи

3.2.1. КССС «Arabsat»

Организация «Arabsat» (Arabsat – Arab Satellite Communications Organization) является главным оператором спутниковой связи на Ближнем Востоке и в Африке [4-6].

В феврале 2013 г. организация «Arabsat» приобрела греческо-кипрскую компанию и ИСЗ «Hellassat-2», а также наземный комплекс управления им, при этом получив права на точку 39°в.д., а также на выделенные частотные диапазоны и абонентскую базу.

Для подтверждения использования организацией «Arabsat» точки 44,5°в.д. в нее был переведен ИСЗ «Нимикью-1» (использовался под наименованием «Arabsat-7F» до 2014 г.). В 2014 г. данный ИСЗ был переведен в точку 44,5° в.д. в целях ее подтверждения для организации «Arabsat» (использовался под наименованием «Arabsat-7F» до 2016 г.). С января 2015 г. в точке 44,5° в.д. для той же цели размещается ИСЗ «Астра-1Ф» компании «SES».

В КССС «Arabsat» используются следующие ИСЗ (табл. 3.14).

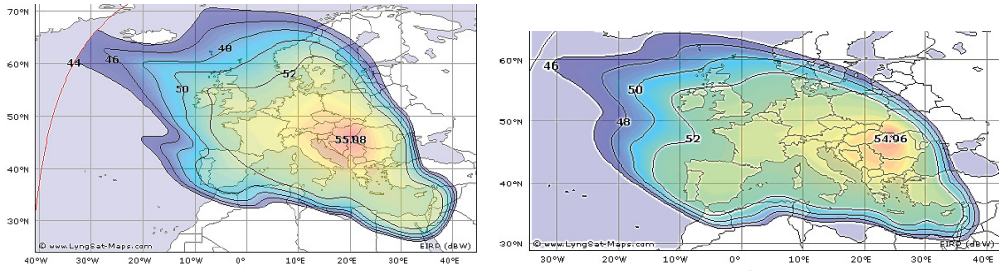
ИСЗ «Hellassat-2»

Антенная система ИСЗ формирует в Ku-диапазоне частот четыре зональные диаграммы направленности, причем две – фиксированные (12 и 6 ретрансляторов соответственно, на Европу, рис. 3.18, *а*, *б*, и две – перенацеливаемые (по 6 ретрансляторов на Ближний и Средний Восток и Южную Африку), в которых обеспечивается прием и передача излучений с линейной поляризацией (табл. 3.15).

Таблица 3.14

Космический сегмент КССС «Arabsat»

ИСЗ	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Hellassat-2»	39° в.д.	0,054	13.05.2003	15
«Arabsat-4B»	26° в.д.	0,045	08.11.2006	15
«Arabsat-4AR»	26° в.д.	0,055	07.07.2008	12
«Arabsat-5B»	26° в.д.	0,011	03.06.2010	15
«Arabsat-5A»	30,5° в.д.	0,051	26.06.2010	15
«Arabsat-5C»	20° в.д.	0,06	21.09.2011	15
«Arabsat-6B»	26° в.д.	0,044	10.11.2015	15
«Hellassat-3»	39° в.д.	0,068	28.06.2017	15+
«Arabsat-6A»	30,5° в.д.	0	11.04.2019	15+



а) б)

Рис. 3.18 Фиксированные рабочие зоны ИСЗ «Hellassat-2» в Ku-диапазоне частот

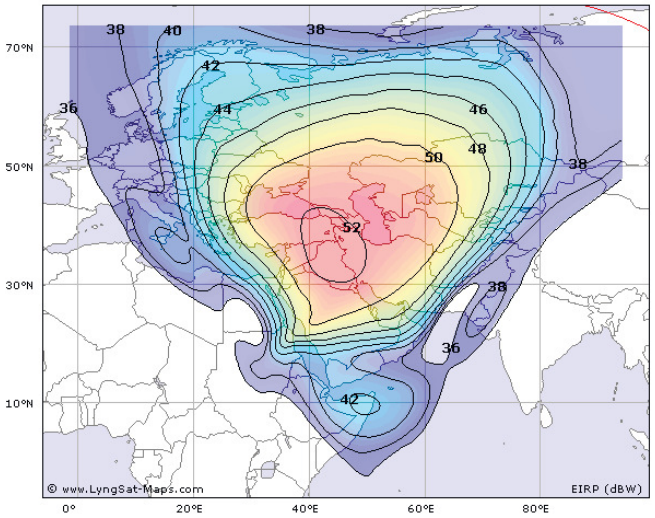


Рис. 3.19 Перенацеливаемые рабочие зоны ИСЗ «Hellassat-2» в Ku-диапазоне частот

Таблица 3.15

Основные технические характеристики ИСЗ «Hellassat-2»

Платформа	«EUROSTAR-2000+»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (13,75...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7; 12,5...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	30
Максимальная мощность передатчиков, Вт	105
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	55

ИСЗ серии «Arabsat-4»

В октябре 2003 г. был заключен контракт на создание ИСЗ «Arabsat-4A» и «Arabsat-4B». Полезную нагрузку спутников создала французская компания «Alcatel». Антенная система спутника содержит три параболических антенны диаметрами 2,5 м (две) и 1,3 м, обеспечивающие обслуживание абонентов главным образом в арабских странах.

ИСЗ оснащены ретрансляторами С- и Ku-диапазонов частот (табл. 3.16). Для разделения излучений вещательной службы (BSS) двух ИСЗ, расположенных в одной точке, используются вертикальная и горизонтальная поляризация. На каждом ИСЗ имеется четыре резервных ретранслятора вещательной службы. Запуск ИСЗ «Arabsat-4A» в феврале 2006 г. был аварийным.

Таблица 3.16

Основные технические характеристики ИСЗ «Arabsat-4»

Платформа	«EUROSTAR-2000+»
Число ретрансляторов:	
С-диапазона (5 925...6 425/3 700 … 4 200 МГц)с полосами частот по 36 МГц	24 («Arabsat-4A, -4AR)
Ku-диапазона (BSS, 17,3...18,1/11,7...12,5 ГГц)	
– с полосами частот по 34 МГц	16 (-4A),
– с полосой частот 185 МГц (МВС)	20 (-4B, -4AR)
– с полосами частот по 187 МГц (МВС)	1 (-4B); 3 (-4B), 4 (-4AR)
Ku–диапазона (FSS, 13,75...14/12,5...12,75 ГГц)	
с полосами частот по 36 МГц	12 (-4B)
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт:	
– в С-диапазоне	38 и 42 (-4A); 40,6 и 41 (-4AR)
– в Ku-диапазоне	50 (-4A); 51,8 (-4B, -4AR)

ИСЗ «Arabsat-4B»

ЭИИМ в рабочих зонах и рабочие зоны ИСЗ в Ku-диапазоне (FSS и BSS) представлены на рис. 3.20, *а*, *б*. Диаметры антенн в рабочих зонах широкополосных каналов представлены на рис. 3.20, *в*.



а) б) в)

Рис. 3.20. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-4B»в Ku-диапазоне

ИСЗ «Arabsat-4AR»

В мае 2006 г. был заключен контракт организации на создание ИСЗ «Arabsat-4AR» вместо утраченного ИСЗ «Arabsat-4A». ЭИИМ в рабочих зонах ИСЗ в С-диапазоне частот представлены на рис. 3.21, а ЭИИМ в рабочих зонах в Ku-диапазоне частот представлены на рис. 3.22.

ИСЗ серии «Arabsat-5»

В 2006 г. организация «Arabsat» объявила о предложении компаниям-производителям (кроме американских из-за проблем с экспортным контролем) о создании ИСЗ следующего поколения серии «Arabsat-5» (предполагалось изготовление двух спутников). В феврале 2007 г. организация «Arabsat» изменила спецификации на ИСЗ (изменения касались зон охвата). Первый ИСЗ планировалось оснастить ретрансляторами C- и Ku-диапазонов частот, а второй – ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот.

В начале 2008 г. организация «Arabsat» объявила о предстоящих запусках ИСЗ серии «Arabsat-5»: «Arabsat-5A» (30,5° в.д., 2009 г.) и «Arabsat-5B» (26° в.д., 2010 г.).

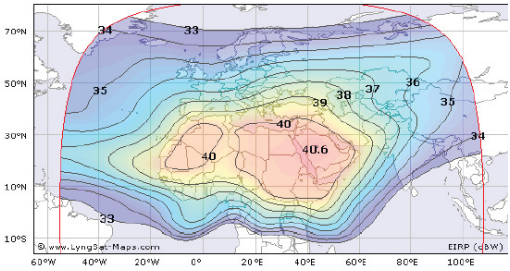


Рис. 3.21. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-4AR» в C-диапазоне частот

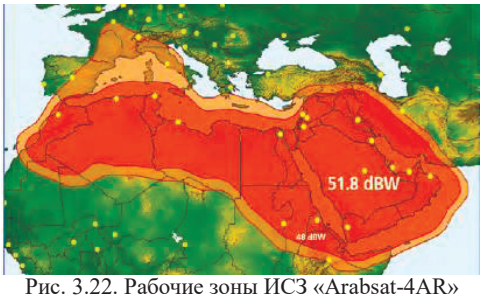


Рис. 3.22. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-4AR» в Ku-диапазоне частот

ИСЗ «Arabsat-5A»

Спутник «Arabsat-5A» оснащен ретрансляторами S-, C-, X-, Ku- и Ka-диапазонов частот (табл. 3.17). ЭИИМ в рабочих зонах ИСЗ «Arabsat-5A» в S-диапазоне частот представлены на рис. 3.23, в C-диапазоне – на рис. 3.24, *а*, *б*, в X-диапазоне – на рис. 3.25, в Ku-диапазоне – на рис. 3.26, *а-г* и в Ka-диапазоне частот – на рис. 3.27.

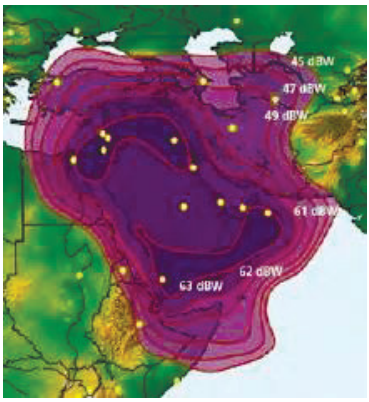
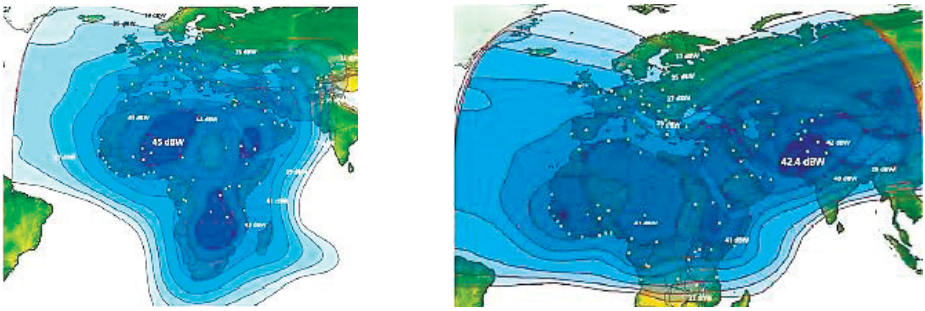


Рис. 3.23. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5A» в S-диапазоне частот



а) б)

Рис. 3.24. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5A» в С-диапазоне частот

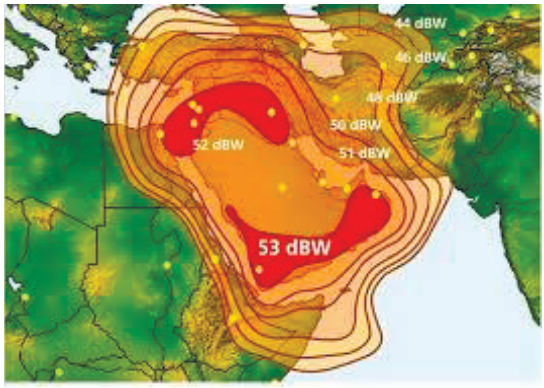
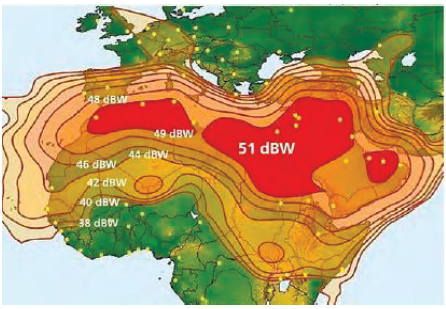
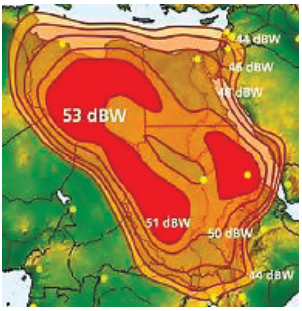


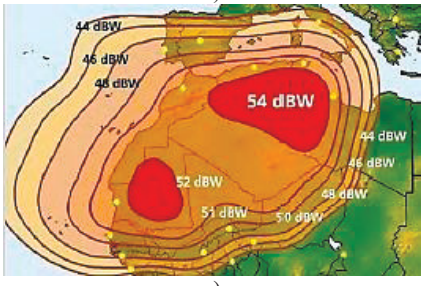
Рис. 3.25. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5A» в X-диапазоне частот



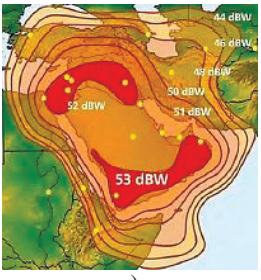
а)



б)



в)



г)

Рис .3.26. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5A» в Ku-диапазоне частот

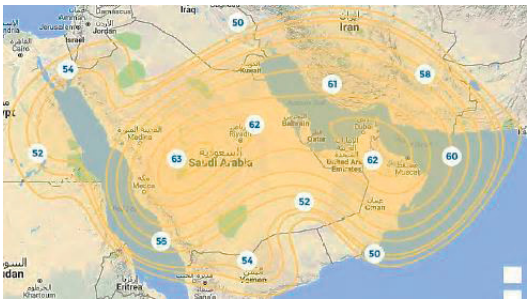


Рис. 3.27. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5A» в Ka-диапазоне частот

Таблица 3.17

Основные технические характеристики ИСЗ «Arabsat-5A»

Платформа	«EUROSTAR-3000»
Число ретрансляторов:	
стандартного С-диапазона частот 5 925…6 425/3 400…4 200 МГц	
– с полосами частот по 36 МГц	8 (Африка и Ближний Восток)
– с полосами частот по 72 МГц	8 (Африка и Ближний Восток)
расширенного С-диапазона частот 6 729...7 014/4 504...4 780 МГц	
– с полосами частот по 36 МГц	6 (Африка, Ближний и Средний Восток)
– с полосами частот по 72 МГц	4 (Африка, Ближний и Средний Восток)
Ku-диапазона частот FSS, 13,75...14/12,5...12,75 ГГц	
– с полосами частот по 36 МГц	6
– с полосами частот по 72 МГц FSS, 13...13,25/10,7...10,95 ГГц	6
– с полосами частот по 36 МГц	2 (страны Mashreq), 2 (страны Maghreb*)
	2 (Ливия, Судан и Египет), 2 (страны Mashreq*)
– с полосами частот по 72 МГц	2 (страны Maghreb), 2 (Ливия, Судан и Египет)
Максимальная мощность передатчиков, Вт:	
– С-диапазон частот	120 и 90
– Ku-диапазон частот	150

*В состав стран Mashreq входят Левант (Иордания, Палестина, Сирия, Ливан) и части Египта, Ирака и Турции, в состав стран Maghreb – Тунис, Алжир, Марокко, Мавритания и Западная Сахара.

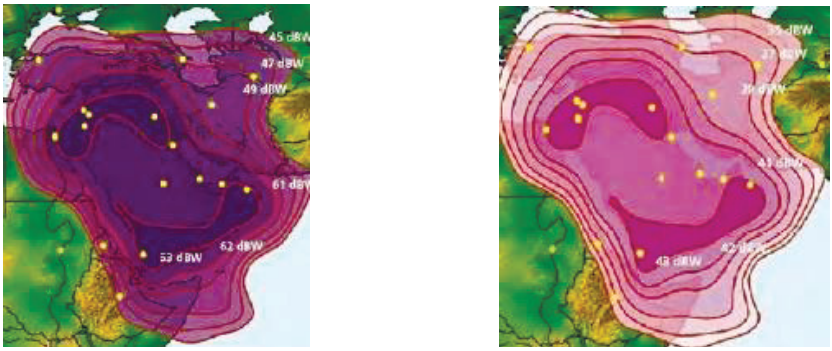
ИСЗ «Arabsat-5B» оснащен ретрансляторами S-, X-, Ku- и Ka-диапазонов частот (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Основные технические характеристики ИСЗ «Arabsat-5B»

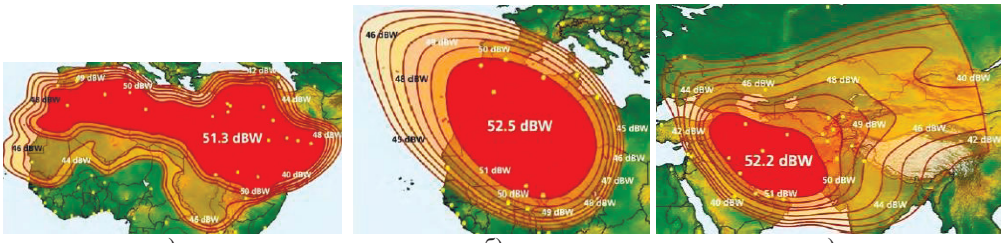
Платформа	«EUROSTAR-3000»
Число ретрансляторов:	
Ku-диапазона (FSS, 13 … 13,25/10,7...10,95 ГГц)с полосами частот по 36 МГц	12 (pan-Arab)
Ku-диапазона (FSS, 14...14,5/10,95...11,2 ГГц)с полосами частот по 72 МГц	6 (pan-Arab)
Ku-диапазона (FSS, 13,754...14/12,5...12,75 ГГц)с полосами частот по 72 МГц	6 (central Asia)
Ku-/Ka-диапазона (BSS, 17,3...18,1/11,7...12,5 ГГц) с полосами частот по 34 МГц	16 (pan-Arab), 8 (страны Maghreb, перенацеливаемый луч),8 (central Asia)
Ku-/Ka-диапазона (29,75...30/11,2...11,45 ГГц)	
–с полосами частот по 36 МГц	4 (4 луча)
– с полосами частот по 89 МГц	2 (pan-Arab)
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	52,5

ЭИИМ в рабочих зонах ИСЗ «Arabsat-5B» в S-диапазоне частот и в X-диапазоне частот представлены на рис. 3.28, *а*, *б*, в Ku-диапазоне частот – на рис. 3.29, *а-в* и в Ka-диапазоне частот – на рис. 3.30. ИСЗ «Arabsat-5B» (26° в.д.) используется в качестве орбитального резерва.



а) б)

Рис. 3.28. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5B» в S- и в X-диапазоне частот



а) б) в)

Рис. 3.29. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5B» в Ku-диапазоне частот

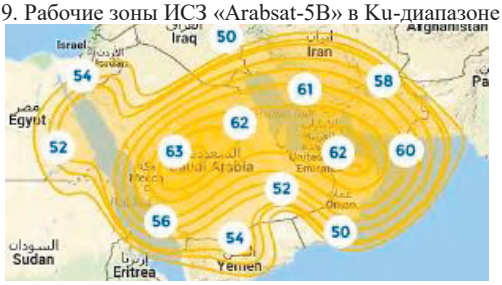


Рис. 3.30. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5B» в Ka-диапазоне частот

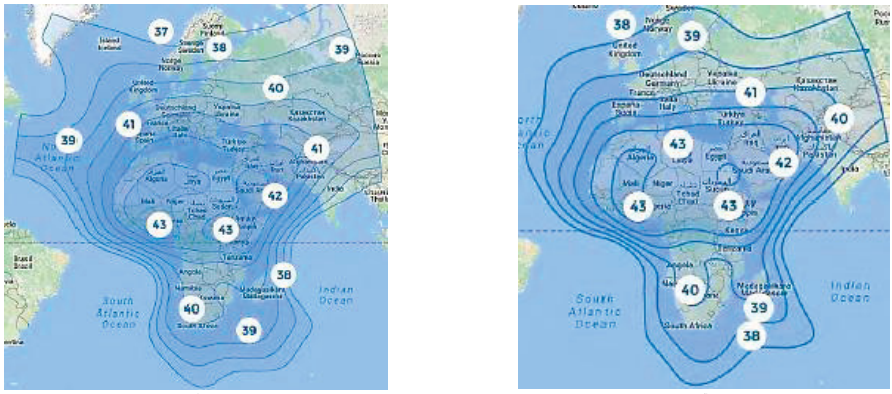
ИСЗ «Arabsat-5C»

Контракт на создание двух ИСЗ был заключен в январе 2009 г. и предусматривал модернизацию наземного сегмента системы. ИСЗ «Arabsat-5C» оснащен ретрансляторами C- и Ka-диапазонов частот (табл. 3.19). ЭИИМ в рабочих зонах в C-диапазоне частот представлены на рис. 3.31, *а*, *б*, а рабочие зоны в Ka-диапазоне – на рис. 3.32.

Таблица 3.19

Основные технические характеристики ИСЗ «Arabsat-5C»

Платформа	«EUROSTAR-3000»
Число ретрансляторов	
C-диапазона (5 925...6 425/3 700 … 4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	26
Ku-диапазона (17,3 – 18,1/11,7...12,5 ГГц) с полосами частот по 34 МГц	12
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт: C-диапазон частот	43
Ka-диапазон частот	63



а) б)

Рис. 3.31. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5C» в С-диапазоне частот

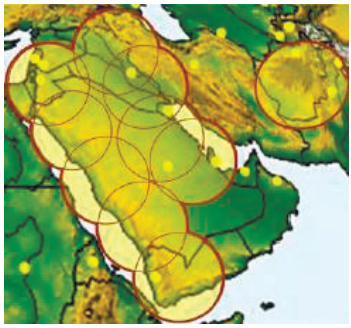


Рис. 3.32. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-5C» в Ka-диапазоне частот

ИСЗ «Arabsat-6B»

ИСЗ «Arabsat-6B» оснащен ретрансляторами Ku-и Ka-диапазонов частот для непосредственного телевещания на Ближний и Средний Восток и Северную Африку (табл. 3.20). Антенная система ИСЗ в Ka-диапазоне частот формирует 24 луча диаграммы направленности (три ретранслятора). Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-6B» в Ku-диапазоне представлены на рис. 3.33, *а-г*, а рабочие зоны в Ka-диапазоне частот – на рис. 3.34.

Таблица 3.20

Основные технические характеристики ИСЗ «Arabsat-6B»

Платформа	«EUROSTAR-3000»
Число ретрансляторов:	
С-диапазона (5 925...6 425/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	24
Ku-диапазона (17,3...18,1/11,7...12,5 ГГц) с полосами частот по 34 МГц	3

Запуск спутника «Arabsat-6B» планировался в сентябре 2012 г., но был отменен в связи с изменением конструкции ИСЗ и осуществлен в ноябре 2015 г. В феврале-марте 2016 г. спутник был переведен из точки 26° в.д. в точку 39° в.д. В июне-июле 2016 г. спутник был возвращен в точку 26° в.д.

ИСЗ «Hellassat-3»

ИСЗ «Hellassat-3» создан компанией «Thales» (контракт был заключен в июне 2014 г. организацией «Arabsat» и компанией «Inmarsat»). ИСЗ оснащен для организации «Arabsat» ретрансляторами Ku-диапазонов частот (дополнил спутник «Hellassat-2») для непосредственного телевещания на Европу, Ближний Восток и Африку (табл. 3.21).

Таблица 3.21

Основные технические характеристики ИСЗ «Hellassat-3»

Платформа	«SPACEBUS-4000C4»
Число ретрансляторов S-диапазона частот	1
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (17,3-18,1/11,7-12,5 ГГц)	44
Число ретрансляторов Ka-диапазона частот	1

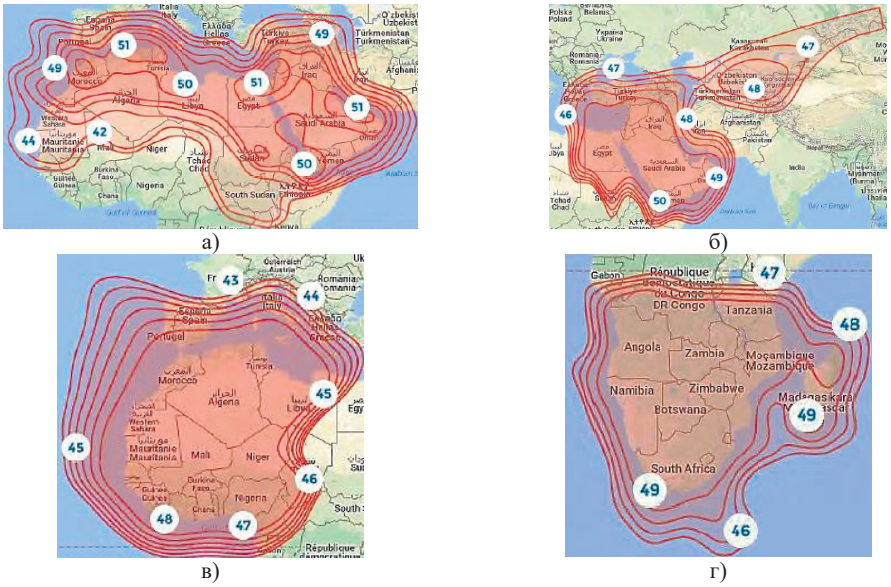


Рис. 3.33. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-6B» в Ku-диапазоне частот



Рис. 3.34. Рабочие зоны ИСЗ «Arabsat-6B» в Ka-диапазоне частот

Полезную нагрузку S-диапазона частот используют для обслуживания авиапассажиров и других подвижных абонентов в Европе. Спутник в системе компании «Inmarsat» сначала имел наименование «EUROPASAT», а с 2017 г. – «Inmarsat-S-EAN» (European Aviation Network).

Кроме того, спутник оснащен ретранслятором Ka-диапазона частот, который организация «Arabsat»и компания «Inmarsat» используют совместно.

Спутник ***«Arabsat-6A»*** оснащен ретрансляторами C- и Ku-диапазонов частот. Запуск спутника (30,5° в.д.) планировался на 2014 г., но был произведен лишь в апреле 2019 г. Контракт на его создание получила компания «Lockheed Martin».

Перспективные ИСЗ

В марте 2014 г. организация «Arabsat» объявила о планах создания четырех спутников: двух семейства «Arabsat» и двух семейства «Hellassat».

Спутник ***«Arabsat-6E»*** оснащается ретрансляторами C-, Ku- и Ka-диапазонов частот. Запуск спутника (34,5° в.д.) планировался на 2015 г. Однако в планах ближайших запусков его нет. По некоторым данным, запуск спутника возможен не ранее 2020 г.

ИСЗ «Hellassat-4» планируется оснастить ретрансляторами Ku-диапазона частот для непосредственного телевещания на Европу, Ближний Восток и Африку, а также ретрансляторами Ka-диапазона частот. Он обеспечит резервирование для спутников «Hellassat-2» и «Hellassat-3». Контракт компании «Arabsat» на создание ИСЗ получила в апреле 2015 г. компания «Lockheed Martin».

Особенность контракта состоит в том, что проектирование, производство, сборка и объединение конструкций спутника будут осуществляться в Саудовской Аравии. Часть ретрансляторов Ku-диапазона частот планирует арендовать компания «Телесат».

Запуск спутника «Hellassat-4» (39° в.д.) был намечен на 2018 г., однако произведен не был.

Спутник «Arabsat-6D» является совместной собственностью компании «Arabsat» и центра «KACST» (KACST – The King Abdulaziz City for Science and Technology). ИСЗ оснащается ретрансляторами Ku-и Ka-диапазонов частот. Запуск спутника «Arabsat-6D» (44,5° в.д.) планируется на 2019 г.

Наземный сегмент

Основная станция контроля и управления расположена в Дирабе (Саудовская Аравия), резервная – в Тунисе (Тунис). Была проведена модернизация основной и резервной станции управления для работы со спутниками серии «Arabsat-4». Станции спутниковой связи имеются на территории каждого государства – члена Лиги и обеспечивают двусторонний обмен телевидения и передачу телефонии. Диаметр антенн станций C-диапазона частот достигает 11 м. В C-диапазоне частот используется круговая поляризация, а в S- и Ku-диапазонах – линейная.

С декабря 2006 г. функционирует станция управления вблизи Каира (Египет).

В составе наземного сегмента системы для управления спутником «Hellassat-2» имеются центр управления в Афинах (Греция), а также две станции передачи команд и приема телеметрии: основная в районе Афин и вторая в Лимассоле (Кипр).

3.2.2. КССС «Thuraya»

Компания «Thuraya» (Thuraya – араб. Созвездие) была создана в апреле 1997 г. с участием 20 национальных операторов и инвестиционных фондов. Основным держателем акций являются Объединенные Арабские Эмираты. Основное назначение системы – обслуживание подвижных абонентов спутниковой связью в 99 странах мира, в том числе в Европе, Центральной Азии, на Ближнем Востоке и полуострове Индостан, в Северной и Центральной Африке (рис. 3.35) [4-6].

В составе космического сегмента используются следующие ИСЗ (табл. 3.22).

Таблица 3.22

Космический сегмент КССС «Thuraya»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Thuraya-2»	44° в.д.	5,09	10.06.2003	12
«Thuraya-3»	98,5° в.д.	3,98	27.01.2008	12

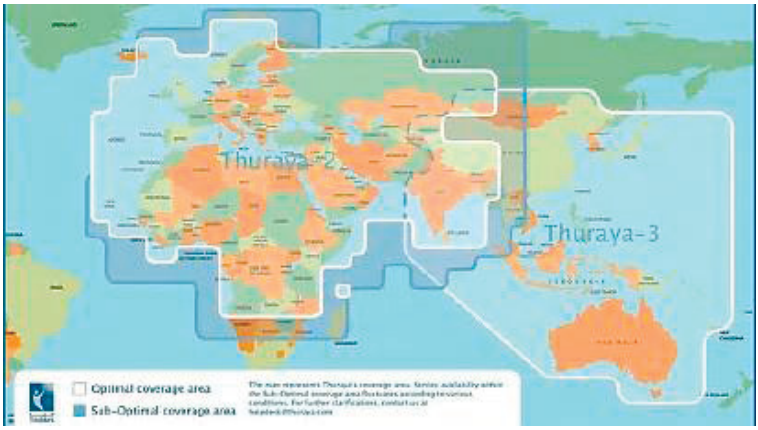


Рис. 3.35. Рабочие зоны КССС «Thuraya»

Компанией «Thuraya» (от Объединенных Арабских Эмиратов) заявлены подспутниковые точки: 44°, 52°, и 98,5° (восточная долгота).

ИСЗ серии «Thuraya»

Контракт на создание системы в сентябре 1997 г. получила компания «Boeing», которая с субподрядчиками построила два спутника и наземный шлюз с центром управления ИСЗ, наземной сетью связи, биллинговой системой и другим оборудованием.

В конструкции ИСЗ используется антенная система L-диапазона частот в составе разворачиваемого на орбите рефлектора эллиптической формы (размеры 12×16 м) и облучателя – антенной решетки из 128 симметричных вибраторов, антенна С-диапазона частот (диаметр рефлектора – 1,27 м), что обеспечивает цифровую обработку сигналов с переменными полосами пропускания каналов, коммутацию более 25 тыс. двусторонних каналов и цифровое формирование переключаемых лучей диаграммы направленности антенны L-диапазона частот на передачу и прием.

Цифровая обработка сигналов на борту спутника позволяет обслуживать подвижные терминалы, работающие в режиме МДВР, и формировать 246 (возможно до 628) узких лучей диаграммы направленности на передачу, а на прием – обслуживать подвижные терминалы, работающие в режиме МДПР. Каждый луч имеет программируемые планы распределения каналов и частотного спектра L-диапазона частот (полоса 34 МГц).

Антенная система в L-диапазоне частот формирует многолучевую ДН для абонентов системы (переключение частот и лучей реализовано с помощью бортового процессора), характеризуется круговой поляризацией, при этом скорость передачи данных составляет 46,8 кбит/с. Антенная система в С-диапазоне частот формирует зональную диаграмму направленности для обеспечения связи между наземными ШС. Вид поляризации – линейная. Шлюзовые станции обеспечивают соединения подвижных терминалов с сетями общего пользования, а также управление бортовой цифровой обработкой сигналов и ресурсами.

Общая пропускная способность ретрансляторов одного ИСЗ составляет 628 поддиапазонов для связного трафика в четырех сегментах ШС (160 поддиапазонов с полосами частот по 156,25 кГц на каждую ШС), и 3 140 несущих частот для каждого из трех направлений связи («шлюзовая станция – подвижный терминал», «подвижный терминал – подвижный терминал» и «подвижный терминал – шлюзовая станция»), всего пять несущих частот с полосами по 27,7 кГц на каждый из 628 поддиапазонов (процессор может формировать отдельный луч на каждый из поддиапазонов). В результате один ИСЗ обеспечивает одновременно свыше 25 тысяч каналов (телефонных и передачи данных), 25 тысяч подключений подвижных терминалов к сетям общего пользования или 12,5 тысяч двусторонних каналов для подвижных терминалов (табл. 3.23).

Таблица 3.23

Основные технические характеристики ИСЗ серии «Thuraya»

Платформа	«BSS702 GEM»
Число передатчиков ретрансляторов:	
L-диапазона частот (1 626,5...1 660,5/1 525...1 559 МГц)	128
C-диапазона частот (6 425...6 725/3 400...3 625 МГц)	2
Максимальная мощность передатчиков, Вт:	
L-диапазона частот	17
C-диапазона частот	125
Максимальная ЭИИМ в L-диапазоне, дБ·Вт	43,1

Система обеспечивает следующую связность в направлениях «шлюзовая станция – подвижный терминал» и «подвижный терминал – шлюзовая станция»: любого шлюза к любому лучу и любого луча к любому шлюзу, любого из 640 поддиапазонов шлюзов к любому из 219 частотных слотов поддиапазонов подвижных терминалов и любого из 219 частотных слотов поддиапазонов подвижных терминалов к любому из 640 поддиапазонов шлюзов.

Система обеспечивает следующую связность между подвижными терминалами: любой входной несущей или любого временного слота с любой выходной несущей или любым временным слотом, а также любого луча с любым лучом, причем для каждого временного слота независимо выбираются 3 140 несущих частот.

ИСЗ «Thuraya-1» был выведен на орбиту в октябре 2000 г., однако из-за неисправности солнечной батареи использовался ограниченно. С 2003 г. до мая 2007 г. спутник использовался в точке 98,5° в.д. для проведения экспериментов по связи специалистами Республики Корея, а затем был переведен на орбиту захоронения.

ИСЗ «Thuraya-2» аналогичен первому за исключением увеличенной на 10 % мощности бортовой системы электропитания для продления расчетного срока его функционирования на орбите. ИСЗ был выведен на орбиту в 2003 г. Используется в точке 44° в.д. с начала мая 2008 г.

ИСЗ «Thuraya-3» аналогичен второму (контракт получен в июне 2002 г.). Его запуск из-за аварии ракетоносителя был отложен и осуществлен в январе 2008 г.

Перспективные ИСЗ

В мае 2006 г. компания «Thuraya» вела переговоры с компанией «Boeing» о создании четвертого спутника этой серии.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента системы используется комплекс управления и шлюзовая станция, расположенные в Шарии (ОАЭ). В мае 2006 г. велись переговоры с компанией «Boeing» о создании второй шлюзовой станции системы в Дубаи (ОАЭ). Наземный шлюз содержит центр управления ИСЗ, наземную сеть связи, биллинговую систему и другое оборудование.

В мае 2012 г. было объявлено о начале коммерческой эксплуатации спутниковой системы связи «Thuraya» в России. По заявлению ЗАО «GTNT», для этого получены все необходимые лицензии и разрешения, и сейчас компания готова к предоставлению полного спектра спутниковых услуг пользователям, которые работают на территории России, не охваченной наземными системами связи. Наземная станция сопряжения системы на территории России будет располагаться в Медвежьих озерах (Московская обл.). В Российской Федерации планируют создание собственной системы подвижной связи.

Пользовательский сегмент включает в себя следующие виды АТ:

– портативные;
– мобильные;
– стационарные;
– специальные (только для «Thuraya»);
– двухмодовые («Thuraya»/GSM).

3.3. Национальные коммерческие системы спутниковой связи

3.3.1. КССС «JCSAT»

В апреле 2007 г. в результате объединения образована холдинговая компания «JCSAT» (Sky Perfect Jsat Corporation Group), которая является оператором одноименной ССС [4-6, 11].

Вместе с компанией «Intelsat» компания «JCSAT» является оператором ИСЗ «Horizons-1» и «Horizons-2» и располагает их ретрансляторами Ku-диапазона частот.

В составе космического сегмента системы «JCSAT» используются собственные спутники (рис. 3.36, табл. 3.24), а также пять ретрансляторов Ku-диапазона частот (один с полосой 72 МГц и четыре с полосами по 36 МГц) ИСЗ «Intelsat-15», которые имеют наименование «JCSAT-85».

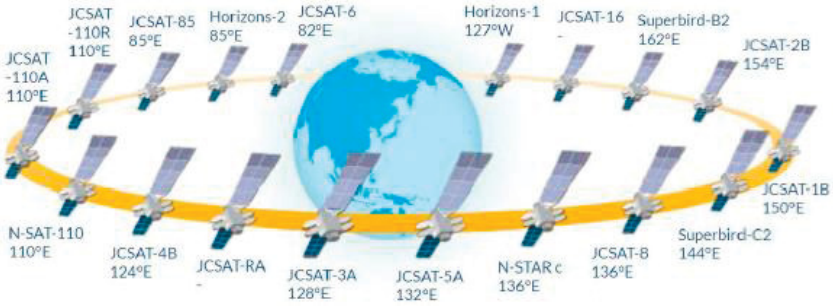


Рис. 3.36. Космический сегмент системы «JCSAT»

Таблица 3.24

Космический сегмент КССС «JCSAT»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«JCSAT-4A (-6)»	150,1° в.д.	2,68	15.02.1999	14,5
«Superbird-B2»	162° в.д.	0,81	17.02.2000	13
«Superbird-D»	110,1° в.д.	0,024	06.10.2000	15
«JCSAT-8 (-2A)»	136,1° в.д.	0,88	29.03.2002	11
«N-STAR-3»	136° в.д.	4,98	05.07.2002	10
«Horizons-1»	127° з.д.	0,011	01.10.2003	15/
«JCSAT-5A»	132° в.д.	0,015	12.04.2006	12
«JCSAT-10 (-3A)»	128° в.д.	0,023	11.08.2006	15
«Horizons-2»	84,8° в.д.	0,01	21.12.2007	15
«Superbird-C2»	144° в.д.	0,028	14.08.2008	15
«JCSAT-12 (-RA)»	168,9° в.д.	0,048	21.08.2009	15
«JCSAT -85» («Intelsat-15»)	85,2° в.д.	0,01	30.11.2009	17
«JCSAT-110R»	110° в.д.	0,015	06.08.2011	16
«JCSAT-13 (-4Б)»	124° в.д.	0,01	15.05.2012	15
«JCSAT-14 (-2Б)»	154° в.д.	0,024	06.05.2016	15+
«JCSAT-16»	143° в.д.	0,025	14.08.2016	15+
«JCSAT-15»	110° в.д.	0,02	21.12.2016	15+
«Horizons-3E»	169° в.д.	0	26.09.2018	15+

Примечание: в таблице выделены ИСЗ, которые используются в интересах МО Японии.

Компания «JCSAT» заявила (от Японии) следующие точки восточной долготы: 123°, 124°, 125°, 125,5°, 126°, 126,4°, 126,5°, 127°, 127,5°, 128°, 129°, 132°, 136°, 150° и 154°, а также отдельно для ИСЗ серии «Superbird» точки 144°, 158° и 162° восточной долготы.

Спутниковая связь в интересах ВС Японии организована на арендной основе с использованием ресурсов ИСЗ «Superbird-B2», «Superbird-C2» и «Superbird-D», в диапазонах X, Ku и Ka. На базе этих ИСЗ развернута ССС СВ Японии «TASCOM» (TASCOM – Tactical Area Satellite COMmunication – тактическая система спутниковой связи). Она предназначена для обеспечения закрытой связи и обмена данными в оперативно-тактическом и тактическом звеньях управления, а также для организации взаимодействия с ВВС и ВМС в ходе проведения совместных операций. Абонентами системы являются части и подразделения в звене «армия – дивизия – полк – рота», развернутые в пределах обширной территории и решающие задачи в отрыве от основных сил, в том числе разведывательно-диверсионные группы и подразделения, несущие службу на удаленных островах [11].

В системе подвижной спутниковой связи «Уайдстар» задействуются ресурсы ИСЗ «JCSAT-5A» и «N-STAR-3».

В системе обеспечивается низкоскоростной (2,4-9,6 кбит/с) обмен информацией в режиме многостанционного доступа с кодовым разделением каналов наземных станций. Для повышения помехозащищенности каналов связи используется псевдошумовая модуляция. Ширина спектра принимаемого и передаваемого сигналов составляет по 17,7 МГц.

Космический сегмент ВССС «TASCOM» представлен на рис. 3.37.

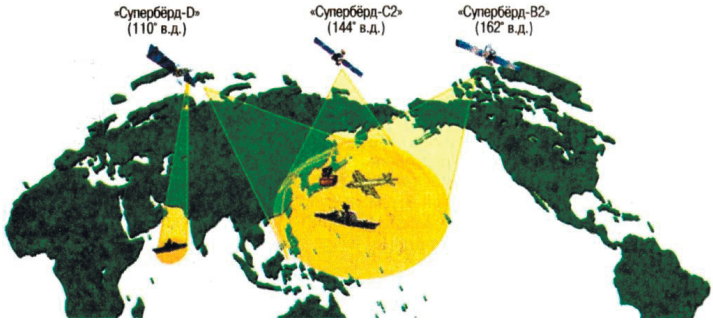
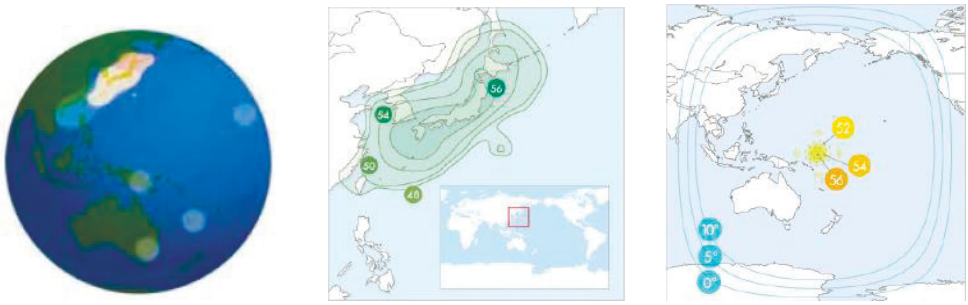


Рис. 3.37. Космический сегмент ВССС «Таском»

ИСЗ «Superbird-B2»

В апреле 1998 г. был продписан контракт на изготовление четвертого спутника серии «Superbird-B2». Рабочая зона ИСЗ представлена на рис. 3.38, *а*. В Ka- и Ku-диапазонах частот антенная система ИСЗ формирует зональные ДН на Японию (рис. 3.38, *б*), в Ku-диапазоне – дополнительно узкий луч и обеспечивает прием и передачу излучений с круговой (в Ka-диапазоне) и линейной (в Ku-диапазоне) поляризацией (рис. 3.38, *в*). Основные ТТХ ИСЗ приведены в табл. 3.25.



а) б) в)

Рис. 3.38. Рабочие зоны ИСЗ «Superbird-B2»

Таблица 3.25

Основные технические характеристики ИСЗ «Superbird-B2»

Платформа	«HS 601HP»
Число ретрансляторов:	
Ku-диапазона частот (на Гавайские о-ва) (14...14,5/11,7...12,2; 12,2...12,75 ГГц) с полосами по 36 МГц	23
Ka-диапазона частот (22,285...29,135/18,485...19,335 ГГц):	
– с полосой частот 200 МГц	1
– с полосами частот по 100 МГц	5
Максимальная мощность передатчиков, Вт:	
– в Ku-диапазоне частот	82
–в Ka-диапазоне частот	50
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в Ku-диапазоне частот	55
– в Ka-диапазоне частот	50

ИСЗ «Superbird-D»

В 1997 г. правительством Японии было разрешено использование точки 110° в.д. для обеспечения связи в Ka-диапазоне частот.

Контракт на ИСЗ «Superbird-D» в ноябре 1998 г. получила компания «Lockheed Martin», в соответствии с которым предусматривалось создание также наземного комплекса управления.

В Ku-диапазоне частот антенная система ИСЗ (табл. 3.26) формирует зональную ДН на Японию и обеспечивает прием излучений с линейной и передачу излучений с круговой поляризацией правого и левого вращения (рис. 3.39, *а*, *б*).

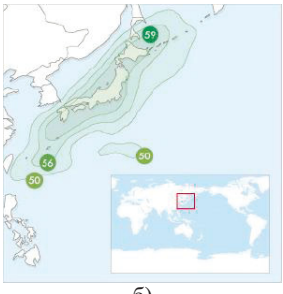
Таблица 3.26

Основные технические характеристики ИСЗ «Superbird-D»

Платформа	«A2100AX»
Число ретрансляторов:	
X-диапазона частот (7,9...8,4/7,25...7,75 ГГц) с полосой частот 40 МГц	1
Ku-диапазона частот (14...14,4/12,35...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Максимальная ЭИИМ в Ku-диапазоне частот в «японском» луче, дБ·Вт	57
Максимальная мощность передатчиков в Ku-диапазоне частот, Вт	120



а)



б)

Рис. 3.39. Рабочие зоны ИСЗ «Superbird-D» в Ku-диапазоне частот

ИСЗ «N-STAR-3»

Контракт ИСЗ был подписан с компанией «Lockheed Martin» в январе 2000 г. и предусматривал создание наземного комплекса управления и проведение запуска спутника.

Платформа ИСЗ «N-STAR-3» создана консорциумом компаний. Субконтракт компании «Lockheed Martin» на создание сеточного отражателя диаметром 5,1 м для антенной системы спутника получила компания «Harris». ИСЗ оснащен ретрансляторами S- и C-диапазонов частот (табл. 3.27), которая использует их в составе системы «WhiteStar».

Таблица 3.27

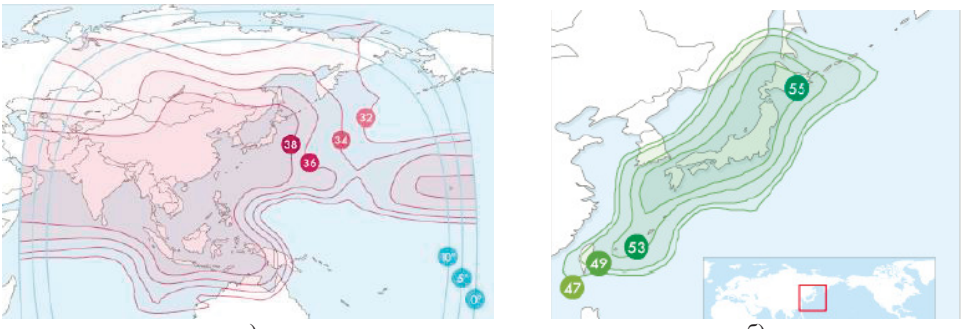
Основные технические характеристики ИСЗ «N-STAR»

Платформа	«STAR-2»
Число ретрансляторов:	
S-диапазона частот (2 660...2 690/2 505...2 535 МГц) с полосами частот по 12 и 15 МГц	2
C-диапазона частот (4 124...4 196/6 349...6 421 МГц) с полосами частот по 12 и 15 МГц	4
Максимальная мощность передатчиков в C-диапазоне частот, Вт	120

ИСЗ «JCSAT-5A»

В апреле 2003 г. контракт компании «JCSAT» на создание ИСЗ получила компания «Lockheed Martin», а субконтракт на создание сеточного отражателя для антенной системы спутника – компания «Harris».

ИСЗ «JCSAT-5A» оснащен ретрансляторами C- и Ku-диапазонов частот для обслуживания абонентов в Японии, Юго-Восточной Азии и на Гавайских островах (рис. 3.40, *а*, *б*). Ретрансляторы S- и C-диапазонов частот (с полосами по 12 и 15 МГц) арендует МО Японии, которое использует их в составе системы подвижной спутниковой связи «WhiteStar» (табл. 3.28).



а) б)

Рис. 3.40. Рабочие зоны ИСЗ «JCSAT-5A»

Таблица 3.28

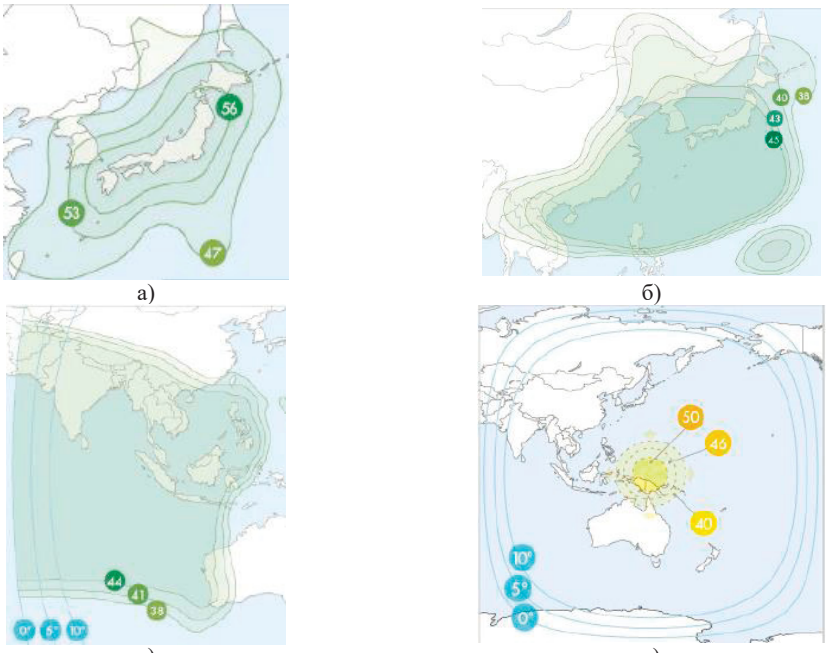
Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-5A»

Платформа	«A2100AXS»
Число ретрансляторов:	
S-диапазона частот	н/д
C-диапазона частот (3 400...4 200/5 850...6 725 МГц) с полосами частот по 36 МГц	20
Ku-диапазона частот (11,7…12,2/14...14,5 ГГц):	
– с полосами частот по 36 МГц	12
– с полосами частот по 54 МГц	8
Максимальная мощность передатчиков, Вт:	
в C-диапазоне частот	45
в Ku-диапазоне частот	110
Максимальная ЭИИМ в Ku-диапазоне частот, дБ·Вт	58

ИСЗ «Superbird-C2»

ИСЗ оснащен ретрансляторами Ku-диапазона частот (табл. 3.29) в рабочей зоне «Япония» (рис. 3.41, *а*), в рабочей зоне «северо-восточная Азия» (рис. 3.41, *б*, *в*) и перенацеливае-

мом луче (рис. 3.41, *г*). В апреле 2014 г. был заключен контракт на создание ИСЗ «JCSAT-15», запуск был произведен в конце 2016 г. Данный ИСЗ оснащается ретрансляторами Ku-диапазона частот и обслуживает абонентов в Японии, Океании и Индийском океане.



а) б) в) г)

Рис. 3.41. Рабочие зоны ИСЗ «Superbird-C2»

Таблица 3.29

Основные технические характеристики ИСЗ «Superbird-C2»

Платформа	«DS-2000»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25…12,75 ГГц):	
– с полосами частот по 27 МГц	20
– с полосами частот по 36 МГц	8
Максимальная мощность передатчиков, Вт	100

Перспективные ИСЗ

В апреле 2014 г. компанией было заключено соглашение на приобретение ИСЗ «Superbird-8 (-B3)», который оснащается ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот и будет обслуживать абонентов в Японии (фиксированный луч Ku- /Ka-диапазона частот) и в зоне Тихого и Индийского океанов (перенацеливаемый луч Ku-диапазона частот). В феврале 2016 г. «JCSAT» заказала компании «Lockheed Martin» создание ИСЗ «JCSAT-17». ИСЗ оснащается ретрансляторами S-/C- (используется антенная система компании «Harris» с диаметром 18 м) и Ku-диапазонов частот. Запуск спутника «JCSAT-17» был намечен на 2019 г.

В конце 2016 г. было создано совместное предприятие по созданию ИСЗ «JCSAT-18». В 2017 г. был заключен контракт с компанией «Boeing» на создание этого ИСЗ. Спутник оснащается двумя полезными нагрузками Ka-диапазона частот. Ретрансляторы ИСЗ обеспечат формирование 57 лучей диаграммы направленности антенной системы (со скоростью передачи в каждом луче 1,25 Гбит/с) для обслуживания абонентов в 20 странах Тихоокеанского региона и Юго-Восточной Азии, в том числе на Дальнем Востоке России. Запуск ИСЗ планируется на 2019 г.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента используется главный центр управления в Йокогамеи три центра управления – в Ибараки (восточный) и Ямагучи (западный), а также в префектуре Гунма.

Связь между потребителями в Азии и США обеспечивается с помощью кабельных подводных каналов (Япония – западное побережье США и Гавайские о-ва – США) и земных станций в Каполей и Сансет-Бич (Гавайские о-ва), обеспечивающих ретрансляцию данных от ИСЗ серии «JCSAT» на ИСЗ «Horizons-1» и «Horizons-2».

Для организации управления ИСЗ в интересах СВ Японии развернута центральная стационарная станция управления (военный городок Итигая, Токио), которая обеспечивает управление системой в целом и контроль за режимами работы оконечных терминалов сетей.

В войсках применяются мобильные «JMRC-C4» и переносные «JPRC-C1» станции спутниковой связи.

Мобильная станция спутниковой связи «JMRC-C4» предназначена для обслуживания штабов и мобильных командных пунктов в звене от командующего армией до дивизии включительно. Она может работать в качестве узловой (центральной) или оконечной станции на линиях командной связи и обеспечивает до пяти низкоскоростных каналов помехозащищенной засекреченной/открытой телефонной и факсимильной связи, а также передачи данных.

Переносная станция «JPRC-C1»состоит на вооружении частей и подразделений, непосредственно подчиненных командующим армиями и командирам дивизий (полки, батальоны, отдельные роты и др.), а также гарнизонов на удаленных островах и формирований центрального подчинения. Она обеспечивает работу одного дуплексного канала закрытой цифровой телефонной связи или передачу данных со скоростью до 2,4 кбит/с. Характеристики данных станций приведены в табл. 3.30.

Таблица 3.30

Основные ТТХ станций спутниковой связи

Наименование характеристики	Стационарные	«JMRC-C4»	«JPRC-C1»
Диапазон рабочих частот (прием/передача), ГГц	7,265-7,325/ 7,915-7,975	7,25-7,75/ 7,9-8,4	7,25-7,75/ 7,9-8,4
Мощность передатчика, Вт	100	30	2,6
Добротность приемной системы, дБ/К	30,0	16,5	–0,3
Коэффициент усиления антенны, дБ:			
– на передачу	54,1	38,7	24,3
– на прием	53,1	38,0	23,5
Диаметр антенны, м	7,6	1,4	0,35
Масса, кг		1 600	9

В состав наземного элемента системы «WhiteStar» входят центр управления в Токио, а также станции связи и сопряжения в Иока (префектура Тиба) и Куре (Хиросима).

В системе используются наземные, корабельные и авиационные терминалы связи «WhiteStar -II». Ими оснащены подразделения ВС Японии, управление безопасности на море, местные органы власти, правоохранительные и экстренные службы, использующие данную систему в условиях чрезвычайных ситуаций, а также для организации связи с удаленными объектами.

Максимальная скорость передачи на линиях «вверх»/«вниз» составляет 144/384 кбит/с, гарантированная скорость в обоих направлениях – 64 кбит/с. Масса наземного комплекта 1,3 кг, корабельного – 6,5 кг (в том числе антенны 300×145 мм – 4 кг). Около 100 терминалов установлено на кораблях и самолетах ВС Японии, в частности самолетах P-3C (ВМС), C-130H, F-15, F-4, RF-4, T-4, U-125 (ВВС), а также на вертолетах UH-60J сухопутных войск.

3.3.2. КССС «Insat»

В Индии руководство реализацией космических программ возложено на Департамент космоса (IDS – Indian Department of Space), а эксплуатация спутников – на Национальное космическое агентство (ISRO – Indian Space Research Organization) [4-6].

В составе космического сегмента системы «Insat» используются спутники, представленные в табл. 3.31.

Таблица 3.31

Космический сегмент КССС «Insat»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Insat-3c»	82,5° в.д.	0,65	23.01.2002	12
«Insat-4A»	83° в.д.	0,051	22.12.2005	12
«Insat-4b»	111,3° в.д.	0,088	11.03.2007	12
«Insat-4CR»	47,8° в.д.	0,031	02.09.2007	10
«JCSAT-8» («Insat-4G»)	54,1° в.д.	0,059	20.05.2011	12
«JCSAT-12»	83° в.д.	0,046	15.07.2011	8
«JCSAT-10»	83° в.д.	0,023	28.09.2012	15
«JCSAT-7»	74° в.д.	0,059	29.08.2013	7
«JCSAT-14»	74° в.д.	0,042	05.01.2014	11
«JCSAT-16»	55° в.д.	0,02	06.12.2014	12
«JCSAT-15»	93,5° в.д.	0,067	10.11.2015	12
«JCSAT-18»	74° в.д.	0,05	05.10.2016	15
«JCSAT-9»	97,3° в.д.	0,065	05.05.2017	12
«JCSAT-19e»	54° в.д.	0,033	05.06.2017	10
«JCSAT-17»	74° в.д.	0,04	28.06.2017	15

ИСЗ серии «Insat-3»

В начале 1990-х годов начались исследования по созданию ИСЗ серии «Insat-3». Всего планировалось создать пять различающихся между собой спутников этой серии (табл. 3.32). В апреле 1997 г. Национальному космическому агентству были заказаны четыре первых спутника серии (ИСЗ «Insat-3D» – метеорологический).

Таблица 3.32

Основные технические характеристики ИСЗ «Insat-3A, -3C, -3E»

Число ретрансляторов:	
– подвижной связи L-диапазона частот	1 (3A)
– S-/C-диапазона частот (5 850...5 930/2 550...2 630 МГц) с полосами частот по 36 МГц	2 (3C)
– подвижной связи S- и C-диапазонов частот (2 670...2690; 6 450...6470/2 500...2520; 3 680...3 700 МГц)	1 (3C)
– C-диапазона частот (5 930...6 410/3 725...4 185 МГц) с полосами частот по 36 МГц	24 (3C, 3E); 12 (3A)
– расширенного C-диапазона частот (6 735...6 975/4 510...4 750 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12 (3E)
– расширенного C-диапазона частот (6 755...6 975/4 530...4 770МГц) с полосами по 36 МГц	6(3C, 3A)
– Ku-диапазона частот (14,25...14,5/11,45...11,7 ГГц) с полосами частот по 72 и 77 МГц	6 (3A)
Максимальная мощность передатчиков, Вт:	
– в C-диапазоне частот	15
– в Ku-диапазоне частот	55
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в C-диапазоне частот	(3C); 36 и 38 (3A); 37 и 38 (3E)
– в Ku-диапазоне частот	48 (3A)
– в S-/C-диапазоне частот	42 (3C); 47,5 (3A)
– в S- и C-диапазонах частот подвижной связи	42 и 33 (3C)

ИСЗ «Insat-3C» оснащен ретрансляторами C- и S-диапазонов частот, антенная система формирует в этих диапазонах зональные диаграммы направленности, охватывающие Ин-

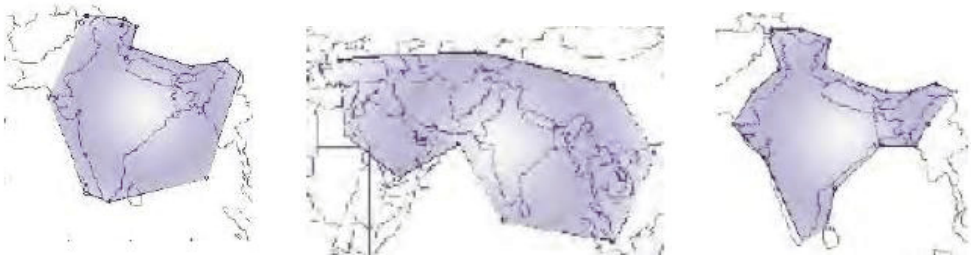
дию (рис. 3.42, *а*), а в S-диапазоне дополнительно более широкую диаграмму направленности, охватывающую и ряд соседних стран (рис. 3.42, *б*). В С-диапазоне частот антенная система обеспечивает прием и передачу излучений с линейной поляризацией, а в S-диапазоне – с круговой поляризацией. Спутник с начала 2017 г. находился в дрейфе из точки 74° в.д. в восточном направлении со скоростью 0,5° в сутки и в марте 2017 г. был остановлен в точке 93,5° в.д.



а) б)

Рис. 3.42. Рабочие зоны ИСЗ Insat-3C

ИСЗ «Insat-3A» оснащен ретрансляторами стандартного и расширенного С-диапазона, а также Ku-диапазонов частот. Антенная система спутника формирует в этих диапазонах зональные диаграммы направленности, охватывающие Индию и ряд соседних стран в С-диапазоне частот (рис. 3.43, *а)*), расширенном С-диапазоне частот (рис. 3.43,*б*) и Ku-диапазоне частот (рис. 3.43, *в*). Спутник с начала 2017 г. находился в дрейфе из точки 93,5° в.д. в западном направлении со скоростью 1,7° в сутки.



а) б) в)

Рис. 3.43. Рабочие зоны ИСЗ «Insat-3A»

ИСЗ серии «Insat-4»

В 2000 г. были начаты работы по созданию спутников серии «Insat-4». Всего планировалось иметь семь ИСЗ этой серии (один из них – резервный). Первоначально предполагалось, что спутник «Insat-4A» будет оснащен 18 ретрансляторами Ku-диапазона частот, ИСЗ «Insat-4B» – 24 ретрансляторами С-диапазона, двумя ретрансляторами С- /S-диапазонов частот и двумя ретрансляторами подвижной связи, а спутник «Insat-4C» – 18 ретрансляторами Ku-диапазона частот. Антенная система ИСЗ «Insat-4A» формирует в С- и Ku-диапазонах частот зональные ДН, охватывающие Индию и ряд соседних стран (табл. 3.33).

Таблица 3.33

Основные технические характеристики ИСЗ «Insat-4A»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов:	
– Ku-диапазона частот (14,25...14,5/11,45...11,7 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12
– С-диапазона частот (5 930...6 410/3 705...4 185 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Мощность передатчиков, Вт:	
– в С-диапазоне частот	63
– в Ku-диапазоне частот	140
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в С-диапазоне частот	39
– в Ku-диапазоне частот	52

В антенной системе ***ИСЗ «Insat-4B»*** (табл. 3.34) используются два параболических зеркала диаметром 2,2 м (Ku-диапазон частот) и 2 м (С-диапазон частот).

Таблица 3.34

Основные технические характеристики ИСЗ «Insat-4B»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов:	
– Ku-диапазона частот (14,25...14,5/11,45...11,7 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12
– С-диапазона частот (5 930...6 410/3 705...4 185 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Мощность передатчиков, Вт:	
– в С-диапазоне частот	63
– в Ku-диапазоне частот	140
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в С-диапазоне частот	39
– в Ku-диапазоне частот	52

Спутник «***Insat-4CR»*** оснащен ретрансляторами Ku-диапазона частот (табл. 3.35). Антенная система обеспечивает охват территории Индии.

Таблица 3.35

Основные технические характеристики ИСЗ «Insat-4CR»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14,25...14,5/11,45...11,7 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Мощность передатчиков, Вт	140
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт	51,5

Спутник «Insat-4CR» с начала 2017 г. находился в дрейфе из точки 74° в.д. в западном направлении и в феврале был остановлен в точке 47,8° в.д.

ИСЗ «JCSAT-8» («Insat-4G»)

В сентябре 2006 г. правительство Индии одобрило создание в течение двух лет ИСЗ «JCSAT-8» (другие наименования – «Insat-4G» и «RELIANCE»). Он оснащен ретрансляторами Ku-диапазона частот. Антенная система обеспечивает охват территории Индии (рис. 3.44). ИСЗ используется для непосредственного телевещания на Индию, а также создания VSAT и компьютерных сетей (табл. 3.36).

Спутник, кроме того, имеет навигационное оборудование национального дифференциального дополнения к КРНС «NAVSTAR» – «GAGAN».

Таблица 3.36

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-8»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7 ГГц)	24

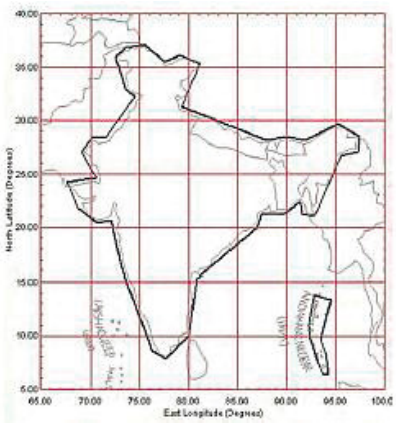


Рис. 3.44. Рабочие зоны ИСЗ «JCSAT-8»

ИСЗ «JCSAT-12»

Спутник «JCSAT-12» (55° в.д.) создавался для замены спутника «Insat-3E». Спутник, аналогичный по характеристикам ИСЗ «Insat-4A», планировалось оснастить 36 ретрансляторами С-диапазона частот (24 стандартного и 12 выше стандартного) и двумя ретрансляторами С-/S-диапазонов частот. Спутник «JCSAT-12» оснащен ретрансляторами расширенного верхнего С-диапазона частот (рис. 3.45, табл. 3.37).

Таблица 3.37

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-12»

Платформа	«Insat-1K»
Число ретрансляторов расширенного С-диапазона частот (6 725...6 975/4 512...4 748 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт	44,3

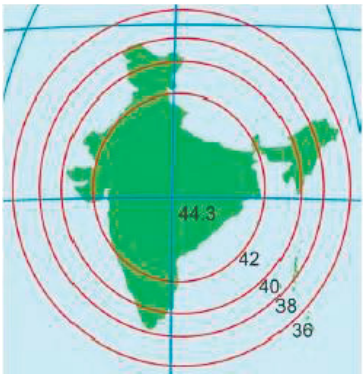


Рис. 3.45. Рабочие зоны ИСЗ «JCSAT-12»

ИСЗ «JCSAT-10»

Спутник создан для замены спутников «Insat-2E» и «Insat-3B». Спутник, аналогичный по характеристикам ИСЗ «Insat-4A», оснащен ретрансляторами С- (рис. 3.46, *а*), расширенного С- (рис. 3.46, *б*) и Ku-диапазонов частот (рис. 3.46, *в*), а также навигационным оборудованием дифференциального дополнения «GAGAN» (табл. 3.38).

Таблица 3.38

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-10»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов S-/C-диапазонов частот (2 670...2690; 5 932...6 418; 6 452...6 688/2 500...2 520; 3 427...3 663; 3 707...4 183 МГц)	12+6
Мощность передатчиков в C-диапазоне частот, Вт	32
Число ретрансляторов Ku-диапазонов частот (14...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,75 ГГц) с полосами частот 36 МГц	12
Мощность передатчиков в Ku-диапазоне частот, Вт	140
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт:	
– в C-диапазоне частот	40
– в Ku-диапазоне частот	51,5



а) б) в)

Рис. 3.46. Рабочие зоны ИСЗ «JCSAT-10»

ИСЗ «JCSAT-7» («Insat-4A», «RUKMINI»)

ИСЗ оснащен ретрансляторами Ku-диапазона, а также ретрансляторами подвижной связи УКВ- и S-/C-диапазонов (табл. 3.39). ИСЗ «JCSAT-7» с конца сентября 2013 г. используется в интересах ВВС и ВМС Индии.

Таблица 3.39

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-7»

Платформа	«Insat-2K»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (13,75...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7; 12,2...12,75 ГГц)	н/д

ИСЗ «JCSAT-14»

Спутник оснащен ретрансляторами расширенного C-, Ku- и Ka-диапазонов частот, обслуживающими абонентов в Индии (табл. 3.40). Антенная система спутника в Ka-диапазоне частот формирует 8 лучей ДН на Индию. Используется система обработки сигналов на борту.

Таблица 3.40

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-14»

Платформа	«Insat-2K»
Число ретрансляторов расширенного C-диапазона частот (6 735...6 975/4 510...4 750 МГц) с полосами частот по 36 МГц	6
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	36
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (13,75...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7; 12,2...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	6
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	51,5
Число ретрансляторовKa-диапазона частот (20,2/30,5 ГГц) с полосами частот по 500 МГц	2
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	нет данных

ИСЗ «JCSAT-16» создан на замену ИСЗ «Insat-3E». Решение о его подготовке к запуску было принято в июле 2013 г. Спутник оснащен ретрансляторами стандартного C-, расширенного

верхнего С- и Ku-диапазонов частот (табл. 3.41). Антенные системы спутника в С- и Ku-диапазонах частот формируют ДН на Индию, Андаманские и Никобарские острова.

Таблица 3.41

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-16»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 930...6 410/3 725...4 185 МГц) с полосами частот по 36 МГц	24
Число ретрансляторов расширенного верхнего С-диапазона частот (6 735...6975/4 510...4 750 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (13,75...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7; 12,2...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12

ИСЗ «JCSAT-15» оснащен ретрансляторами Ku-диапазона частот (табл. 3.42, рис. 3.47) и навигационным оборудованием дифференциального дополнения «GAGAN» (два передатчика).

Таблица 3.42

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-15»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,25; 14,25...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	24
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	52



Рис. 3.47. Рабочие зоны ИСЗ «JCSAT-15»

ИСЗ «JCSAT-18» создан в мае 2015 г. Спутник оснащен ретрансляторами С-, расширенного С- и Ku-диапазонов частот (табл. 3.43).

Таблица 3.43

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-18»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 930...6 410/3 725...4 185 МГц) с полосами частот по 36 МГц	24
Число ретрансляторов расширенного верхнего С-диапазона частот (6 735...6 975/4 510...4 750 МГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (13,75...14,5/10,95...11,2; 11,45...11,7; 12,2...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12

ИСЗ «JCSAT-9»

Спутник имеет также наименование SOUTH ASIA SATELLITE, аналогичен ИСЗ «Insat-4CR». ИСЗ оснащен ретрансляторами Ku-диапазона (на Индию, используется переключение поляризации излучений, табл. 3.44), а также оборудованием связи с антарктической станцией и навигационным оборудованием дифференциального дополнения «GAGAN».

Таблица 3.44

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-9»

Платформа	«Insat-2K»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14,25...14,5/11,45...11,7 ГГц) с полосами частот 36 МГц	12

ИСЗ «JCSAT-19e»

Спутник является экспериментальным для проверки ряда технологий на новой платформе. ИСЗ оснащен ретрансляторами Ku-/Ka-диапазонов частот (в интересах ВС Индии). Антенная система формирует 8 лучей на Индию (для абонентов) в Ku-диапазоне частот и два луча (для ШС) на Индию в Ka-диапазоне частот.

Запуск спутника «JCSAT-19e» (48° в.д.) был осуществлен в июне 2017 г. В начале эксплуатации (несколько месяцев) спутник находился в точке 82,5° в.д.

ИСЗ «JCSAT-17»

Запуск спутника «JCSAT-17» первоначально намечался на 2013 г., но создание ИСЗ было начато только в мае 2015 г. Спутник оснащен ретрансляторами S-/C-, C- и расширенного C-диапазонов частот (табл. 3.45).

Таблица 3.45

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-17»

Платформа	«Insat-3K»
Число ретрансляторов C-диапазона частот с полосами частот по 36 МГц	24
Число ретрансляторов расширенного верхнего C-диапазона частот с полосами частот по 36 МГц	12
Число ретрансляторов расширенного нижнего C-диапазона частот с полосами частот по 36 МГц	2
Число ретрансляторов S-/C-диапазона частот (прямой)	2
Число ретрансляторов S-/C-диапазона частот (обратный)	1

Перспективные ИСЗ

В настоящее время создается спутник «JCSAT-7A», аналогичный «JCSAT-7». Его планируется использовать в интересах ВВС, ВМС и СВ Индии. ИСЗ оснащается ретрансляторами УКВ- (1), C/S- (3) и Ku- (4) диапазонов частот. Запуск спутника намечался на 2014 г., но был отложен сначала на 2017 г., а затем и на более поздний срок.

Спутник «JCSAT-11» планировалось создать для замены ИСЗ«Insat-3C». Предполагалось, что спутник, аналогичный по характеристикам ИСЗ «Insat-4A», будет оснащен 36 ретрансляторами C-диапазона частот (24 стандартного и 12 выше стандартного) и 12 ретрансляторами Ku-диапазона частот. Запуск ИСЗ намечался в середине 2010 г. Однако в 2009 г. проект создания ИСЗ «JCSAT-11» был пересмотрен. Создание спутника было одобрено правительством в июле 2009 г. Спутник планировалось оснастить антенной системой (полоса частот 10 ГГц, что эквивалентно 220 ретрансляторам с полосами по 36 МГц), которая будет формировать 16 лучей диаграммы направленности в Ku-диапазоне частот (на Индию и острова) и два луча (на Нью-Дели и Бангалор) – в Ka-диапазоне частот (все – с линейной поляризацией). Запуск спутника намечался на 2011 г., но был отложен.

В феврале 2016 г. проект создания ИСЗ «JCSAT-11» был вновь пересмотрен. Спутник следующего поколения на основе платформы «Insat-6K» оснащается ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот. Антенная система будет формировать 32 луча диаграммы направленности в Ku-диапазоне частот (на Индию и острова) и восемь лучей – в Ka-диапазоне частот (все – с линейной поляризацией). Ретрансляторы ИСЗ обеспечат пропускную способность до 10 Гбит/с (табл. 3.46).

Таблица 3.46

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-11»

Платформа	«Insat-6K»
Расчетный срок функционирования, лет	15+
Число ретрансляторов Ku-/Ka-диапазонов частот (27...27,5; 29,5...30/10,7...10,95; 11,9 ...11,45 ГГц)	32
Число ретрансляторов Ka-/Ku-диапазонов частот (12,75...13,25/18,1...18,6; 19,7...20,2 ГГц)	8

Для работы со спутником «JCSAT-11» создан наземный сегмент, в составе которого используются работающие в Ka-диапазоне частот четыре основные и четыре резервные ШС (диаметр антенн по 9,1 м), расположенные в Дели, Ахмедабаде, Ранчи и Бангалоре, а также станции Ku-диапазона частот (с диаметром антенн по 1,2 м).

Запуск спутника «JCSAT-11» (74° в.д.) был отложен сначала на январь, а затем на апрель 2018 г.

Спутник «JCSAT-20» оснащается ретрансляторами Ka-диапазона частот с высокой пропускной способностью (до 70 Гбит/с) для обслуживания абонентов в Индии (табл. 3.47).

Таблица 3.47

Основные технические характеристики ИСЗ «JCSAT-20»

Платформа	«Insat-6K»
Расчетный срок функционирования, лет	15+
Число лучей в Ka-диапазоне частот	80

Запуск спутника «JCSAT-20» (55° в.д.) намечался на декабрь 2016 г., но был перенесен на начало 2018 г.

Спутник «JCSAT-29» на основе платформы «Enhanced I-3K» оснащается ретрансляторами Ku/Ka-диапазонов частот с высокой пропускной способностью для обслуживания абонентов в Индии, а также оборудованием оптической связи, оборудованием Q/V-диапазонов частот и камерой высокого разрешения. Запуск спутника «JCSAT-29» намечался на 2 квартал 2018 г.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента системы «JCSAT» при работе со спутниками связи используются центр управления и станция передачи команд и приема телеметрии в Хассане (шт. Карнатака).

3.3.3. КССС «Turksat»

Компания «Turksat» (Turksat Satellite Communications&Management) в июне 2004 г. объединила спутниковые системы двух существовавших до того турецких компаний. С апреля 2005 г. компания является единственным оператором спутниковой связи в Турции [4-6].

В составе космического сегмента КССС «Turksat» в настоящее время используются следующие ИСЗ (табл. 3.48).

Таблица 3.48

Космический сегмент КССС «Turksat»

Спутник	Точка стояния	Наклонеие орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«Turksat-3A»	42° в.д.	0,052	12.06.2008	15
«Turksat-4A»	42° в.д.	0,041	14.02.2014	15
«Turksat-4B»	50° в.д.	0,016	16.10.2015	15

ИСЗ «Turksat-3A»

Контракт на создание и ввод в эксплуатацию на орбите спутника «Turksat-3A», а также модернизацию наземного сегмента был заключен в феврале 2006 г.

Антенная система ИСЗ формирует в Ku-диапазоне две зональные (восточную на Турцию и Центральную Азию (рис. 3.48, *а-в*) и западную на Турцию и Европу (рис. 3.48, *г-е*) зоны обслуживания. Рабочие зоны на Турцию представлены на рис. 3.48, *ж-з*. Обеспечивается прием и передача излучений с линейной поляризацией (табл. 3.49).

ИСЗ «Turksat-3A», выведенный на орбиту в июне 2008 г., планировалось ввести в эксплуатацию вместо ИСЗ «Turksat-1C». ИСЗ после орбитальных испытаний в точке 31°в.д. был переведен в точку 42° в.д.

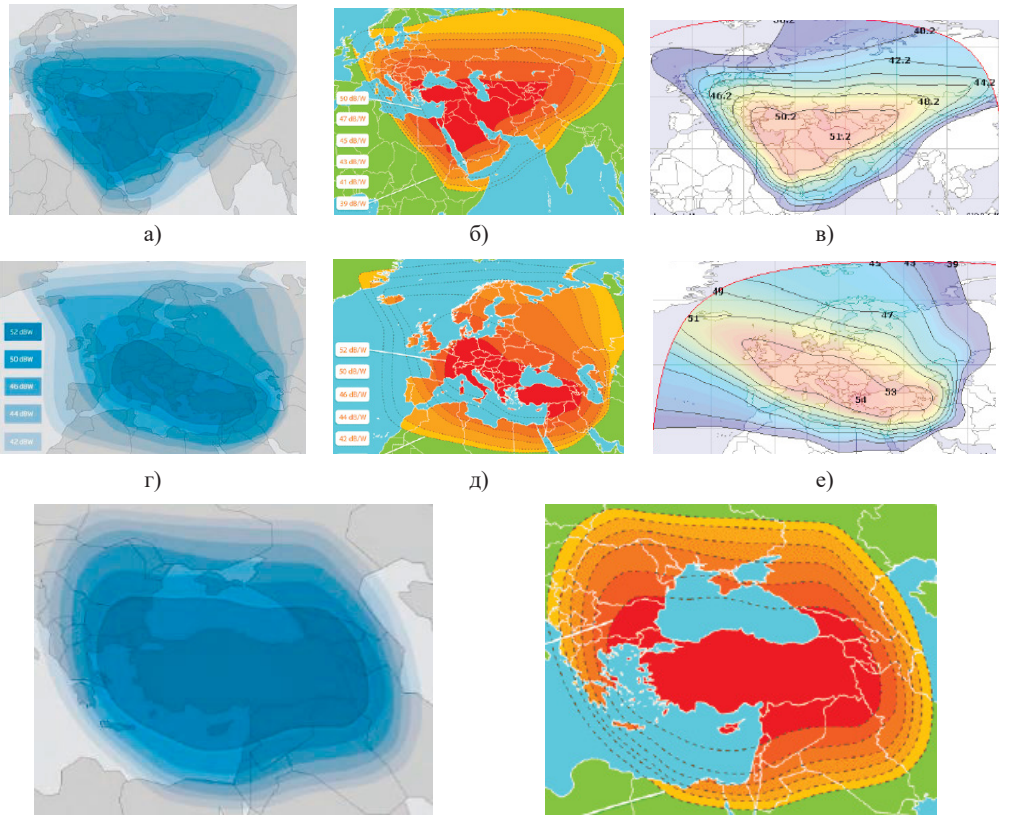


Рис. 3.48. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-3A»

Таблица 3.49

Основные технические характеристики ИСЗ «Turksat-3A»

Платформа	«SPACEBUS-4000B2»
Число ретрансляторов:	
– Ku-диапазона частот (BSS, 17,3...18,1/11,7...12,25 ГГц) с полосами частот по 33 МГц	12
– Ku-диапазона частот (FSS, 13,75...14/12,25...12,75 ГГц) с полосами частот по 36 МГц	12
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	54

ИСЗ «Turksat-4A»

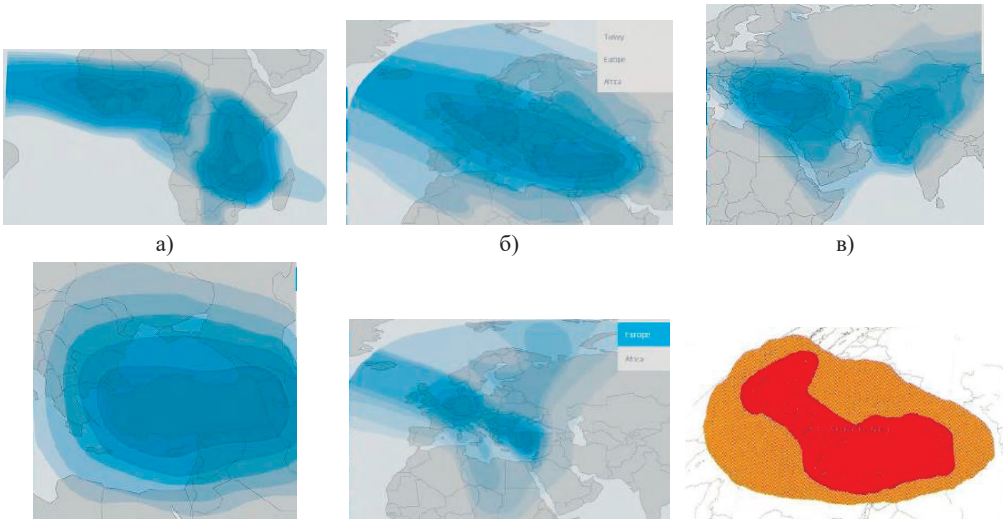
В августе 2009 г. были направлены предложения потенциальным подрядчикам по участию в конкурсе на создание спутника «Turksat-4A», запуск которого был намечен на 2011 г. ИСЗ планировалось оснащать ретрансляторами C-, Ku- и Ka-диапазонов частот, однако в реальном образце остались ретрансляторы Ku- и Ka-диапазонов частот (табл. 3.50).

Таблица 3.50

Основные технические характеристики ИСЗ «Turksat-4A»

Платформа	«DS-2000»
Число ретрансляторов:	
– Ku-диапазона частот	28
– Ka-диапазона частот	2

Ретрансляторы Ku-диапазона частот предназначены для непосредственного телевещания и предоставления других услуг для абонентов в Африке (рис. 3.49, *а*), Турции и Европе (рис. 3.49, *б*), в Центральной и Южной Азии и на Ближнем и Среднем Востоке (рис. 3.49, *в*), исключительно Турции (рис. 3.49, *г*), в Европе (рис. 3.49, *д*). Ретрансляторы Ka-диапазона частот предназначены для обслуживания абонентов в Турции и Германии (рис. 3.49, *е*).



а) б) в)

г) д) е)

Рис. 3.49. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-4A»

Запуск спутника «Turksat-4A» (42° в.д.) был осуществлен в феврале 2014 г. ИСЗ проходил испытания в точке 50° в.д., а в конце июня 2014 г. переведен в точку 42° в.д.

ИСЗ «Turksat-4B» оснащается ретрансляторами C-, Ku- и Ka-диапазонов частот. Антенная система в C-диапазоне частот формирует диаграмму направленности для обслуживания абонентов в Турции и Африке (рис. 3.50).

Антенная система в Ka-диапазоне частот (табл. 3.51) формирует 12 лучей диаграммы направленности для обслуживания абонентов в Турции, на Ближнем и Среднем Востоке, в Европе и Азии (рис. 3.52).

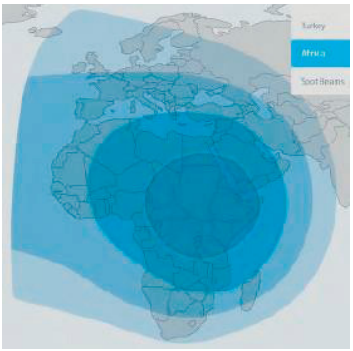
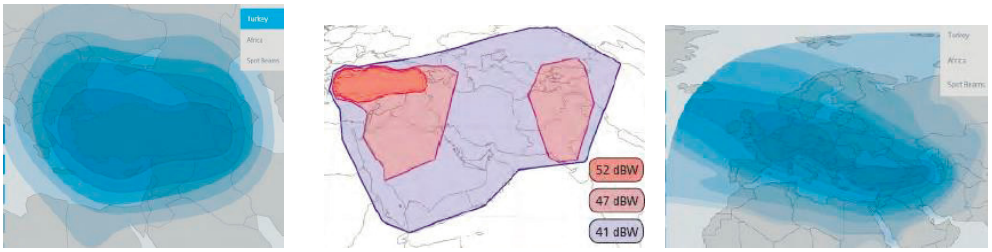


Рис. 3.50. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-4B» в С-диапазоне частот

Антенная система в Ku-диапазоне частот формирует три зональные диаграммы направленности для обслуживания абонентов в Турции (рис. 3.51, *а*), восточнее Турции (Турция, Ближний и Средний Восток и Азия) (рис. 3.51, *б*), западнее Турции (Турция, Северная Африка и Европа) (рис. 3.51, *в*).



а) б) в)

Рис. 3.51. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-4B» в Ku-диапазоне частот



Рис. 3.52. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-4B» в К-диапазоне частот

Таблица 3.51

Основные технические характеристики ИСЗ «Turksat-4B»

Число ретрансляторов:	
– С-диапазона частот	4
– Ku- /Ка-диапазонов частот	43
– Ка-диапазона частот	12

Перспективные ИСЗ

В сентябре 2011 г. был подписан контрактна создание ИСЗ «Turksat-5A» (другие названия – «TUSAT-1» и «PEYKOM-1»). Спутник планировалось оснастить ретранслятора-

ми C- и Ku-диапазонов частот для обслуживания абонентов в Турции, Европе и на Ближнем Востоке (рис. 3.53).

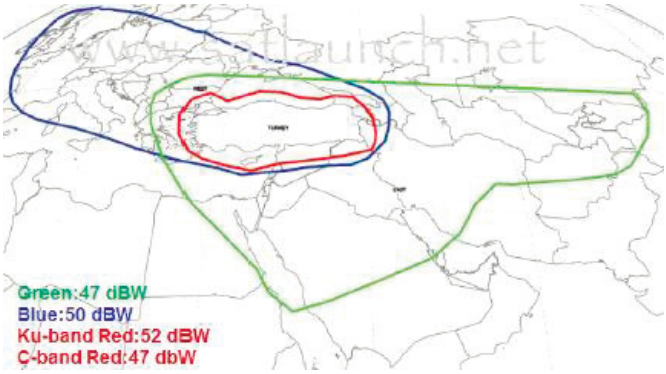


Рис. 3.53. Рабочие зоны ИСЗ «Turksat-5A» в C- и Ku-диапазонах частот

Запуск спутника «Turksat-5A» (31° в.д.) намечался на вторую половину 2015 г., но был отложен сначала на 2016 г., а затем и на 2018 г. В ноябре 2017 г. сделка была перезаключена, причем уже предусматривалось создание двух спутников: «Turksat-5A» и «Turksat-5B». Производство 25 % элементов спутников предусматривалось в Турции. Запуск спутника «Turksat-5A» (31° в.д.) намечен на 2020 г. Спутник «Turksat-5B» планируется оснастить ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот с высокой пропускной способностью (более 50 Гбит/с) для обслуживания абонентов в Турции, на Ближнем Востоке и в Африке (табл. 3.52).

Таблица 3.52

Основные технические характеристики ИСЗ «Turksat-5A, -5B»

Платформа	«EUROSTAR-3000EOR»
Расчетный срок функционирования, лет	15

Запуск спутника «Turksat-5B» (42° в.д.) намечен на 2021 г.

В начале 2014 г. был заключен контракт на создание ИСЗ «Turksat-6A». ИСЗ планировалось оснастить ретрансляторами Ku-диапазона частот для обслуживания абонентов в Турции, Европе и на Ближнем Востоке и ретрансляторами X-диапазона частот для обслуживания военных абонентов (табл. 3.53). Создание ИСЗ было начато в начале 2015 г., запуск планируется не ранее декабря 2020 г.

Таблица 3.53

Основные технические характеристики ИСЗ «Turksat-6A»

Расчетный срок функционирования, лет	15
Число ретрансляторов:	
– X-диапазона частот	2
– Ku-диапазона частот	16...20

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента системы (оператор – компания «Turksat») используются основной и резервный центры управления в Голбаши (вблизи Анкары) и в Одту соответственно.

3.3.4. КССС «Chinasatcom»

В декабре 2006 г. для организации непосредственного телевещания на Китай в Пекине были создано совместное предприятие на базе компаний«Chinasatcom» (China Satcom – China Satellite Communications) и «Sinosat» (Sinosat – Sino Satellite Communications или Xinnuo Weixing TG) [4-6, 12, 13]. Цель создания госкомпании состояла в постепенном реформировании и реструктуризации китайской промышленности в сфере производства средств связи и навигации. С апреля 2010 г. компания «Chinasatcom» является оператором и провайдером услуг спутниковой связи в Китае. В составе космического сегмента КССС «Chinasatcom» используются следующие ИСЗ (табл. 3.54, рис. 3.54).

Таблица 3.54

Космический сегмент КССС «Chinasatcom»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срокслужбы, лет
«Chinasat-5A»	125,4° в.д.	1,65	30.05.1998	15
«Apstar-5»	138° в.д.	0,037	29.06.2004	13
«Chinasat-6B»	115,5° в.д.	0,018	05.07.2007	15
«Chinasat-9»	91,2° в.д.	0,001	10.06.2008	15
«Chinasat-6»	125° в.д.	0,05	04.09.2010	15
«Chinasat-10»	110,5° в.д.	0,049	20.06.2011	15
«Apstar-7»	76,5° в.д.	0,025	31.03.2012	15
«Chinasat-12»	87,5° в.д.	0,017	27.11.2012	15
«Chinasat-11»	98° в.д.	0,024	01.05.2013	15
«Apstar-9»	142° в.д.	0,03	16.10.2015	15+
«Chinasat-2C»	103,5° в.д.	0	03.11.2015	15
«Chinasat-1C»	81,5° в.д.	0,7	09.12.2015	15
«Chinasat-15»	51,5° в.д.	0,024	15.01.2016	15
«Chinasat-16»	110,5° в.д.	0,049	12.04.2017	15
«Chinasat-9A»	101,4° в.д.	0,023	18.06.2017	15 (10)
«Apstar-6C»	134° в.д.	0	03.05.2018	15+
«Chinasat-2D»	130° в.д.	0	10.01.2019	15+
«Chinasat-6C»	130° в.д.	0	09.03.2019	15

Примечание: выделены ИСЗ, которые могут использоваться в интересах МО КНР.

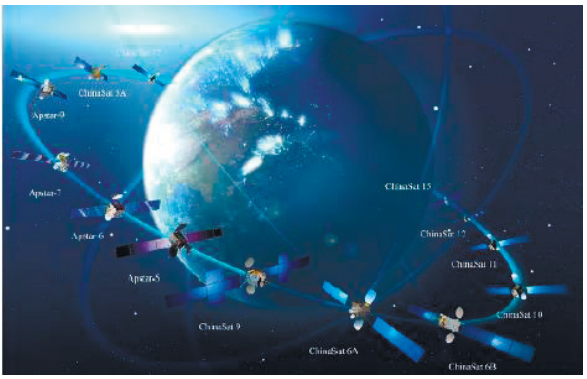


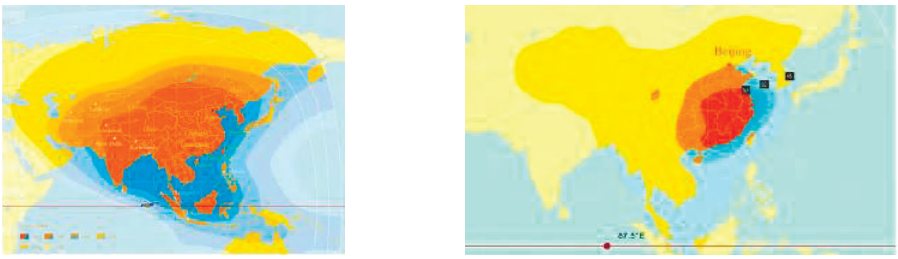
Рис. 3.54. Космический сегмент КССС «Chinasatcom»

ИСЗ «Chinasat-5A»

Антенная система ИСЗ формирует:

– в С-диапазоне частот – зональную диаграмму направленности на Китай (в рабочую зону попадают Афганистан, Монголия, Корея, Индия и Индонезия), в которой обеспечивает прием и передачу излучений с линейной поляризацией в С- (рис. 3.55, *а*) и Ku-диапазоне(рис. 3.55, *б*);

– в Ku-диапазоне частот – зональную (Китай и Юго-Восточная Азия) диаграмму направленности, в которой обеспечивает прием и передачу излучений с линейной поляризацией (табл. 3.55).



а) б)

Рис. 3.55. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-5A» в C- и Ku-диапазонах частот

Таблица 3.55

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-5A»

Платформа	«A2100A»
Число ретрансляторов:	
C-диапазона частот (5 925...6 425/3 720...4 200 МГц):	
– с полосами частот по 36 МГц	12
– с полосами частот по 72 МГц	6
Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25...12,75ГГц):	
– с полосами частот по 36 МГц	16
– с полосами частот по 72 МГц	4
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт:	
– в C-диапазоне частот	44
– в Ku-диапазоне частот	54 (36 МГц); 56 (72 МГц)

ИСЗ «Chinasat-6B»

В декабре 2005 г. правительством Китая был заключен контракт на создание к концу 2006 г. ИСЗ «Chinasat-6B».

Данный ИСЗ оснащен ретрансляторами C-диапазона частот. Антенная система ИСЗ формирует зональную диаграмму направленности (Китай, Корея, Тайвань, Филиппины, Юго-Восточная Азия и Индонезия), в которой обеспечивает прием и передачу излучений с линейной поляризацией (рис. 3.56, табл. 3.56).

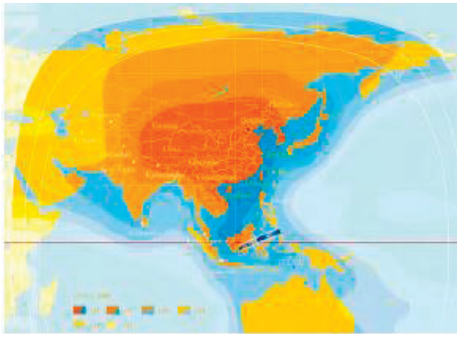


Рис. 3.56. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-6B»

Таблица 3.56

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-6B»

Платформа	«SPACEBUS-4000C2»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 850...6 665/3 400...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	38 (24+14)
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт	42

ИСЗ «Chinasat-9»

В июне 2004 г. компания «Chinasatcom» заключила контракт на создание нового ИСЗ к концу 2006 г. ИСЗ «Chinasat-9». ИСЗ оборудован ретрансляторами Ku-диапазона (правая круговая поляризация). ЭИИМ в рабочих зонах представлены на рис. 3.57. Основные харакетристики ИСЗ приведены в табл. 3.57.

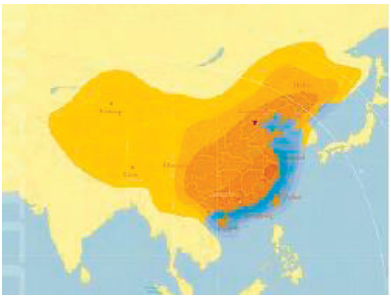


Рис. 3.57. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-9»

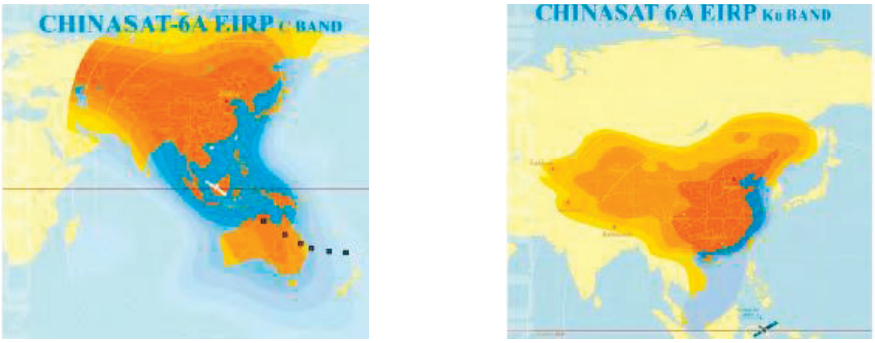
Таблица 3.57

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-9»

Платформа	«SPACEBUS-4000C2»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот(17,3...17,8/11,7...12,2 ГГц):	
– с полосами частот по 36 МГц	18
– с полосами частот по 54 МГц	4
Максимальная ЭИИМ, дБ Вт	57,5

ИСЗ «Chinasat-6A»

ИСЗ оснащен ретрансляторами С- и Ku-диапазонов (линейная поляризация, рис. 3.58, *а*, *б*, соответственно), а также ретранслятором S-диапазона для системы подвижной связи (табл. 3.58).



а) б)

Рис. 3.58. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-6A»

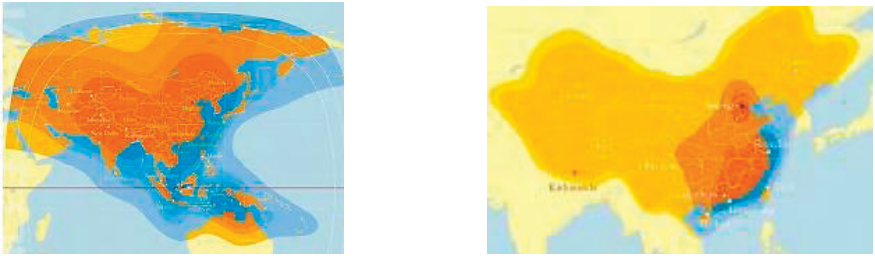
Таблица 3.58

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-6A»

Платформа	«DFH–4»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 925...6 425/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	24
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25...12,75 ГГц)	8
Число ретрансляторов S-диапазона частот	1

ИСЗ «Chinasat-10»

ИСЗ оснащен ретрансляторами С- и Ku-диапазонов (рис. 3.59, *а*, *б*, соответственно). Ретрансляторы спутника (табл. 3.59) и другое оборудование по контракту, подписанному в октябре 2008 г., создала компания «Thales».



а) б)

Рис. 3.59. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-10»

Таблица 3.59

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-10»

Платформа	«DFH-4»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 850...6 725/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	30
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14 … 14,5/12,25...12,75 ГГц)	16

Предполагалось, что ИСЗ «Chinasat-10» заменит в системе ИСЗ «Chinasat-5B». Однако во второй половине 2011 г. спутник был зафиксирован в районе с подспутниковой точкой 176,8° в.д. В середине 2012 г. ИСЗ был переведен в точку 110,5° в.д.

ИСЗ «Chinasat-12»

В апреле 2010 г. компания «Thales» получила контракт на создание спутника «Apstar-7B», аналогичного спутнику «Apstar-7» (за исключением 23 ретрансляторов Ku-диапазона частот).

Спутник «Apstar-7B» планировалось вывести на орбиту в июле-октябре 2012 г., если запуск ИСЗ «Apstar-7» будет неудачным. В случае удачного запуска ИСЗ «Apstar-7», а это было так, спутник «Apstar-7B» был передан компании «Chinasatcom» под наименованием «Chinasat-12». В свою очередь, компанией «Chinasatcom» запуск спутника «Chinastar-2» планировался на середину 2012 г. По всей видимости, проект этого спутника был закрыт.

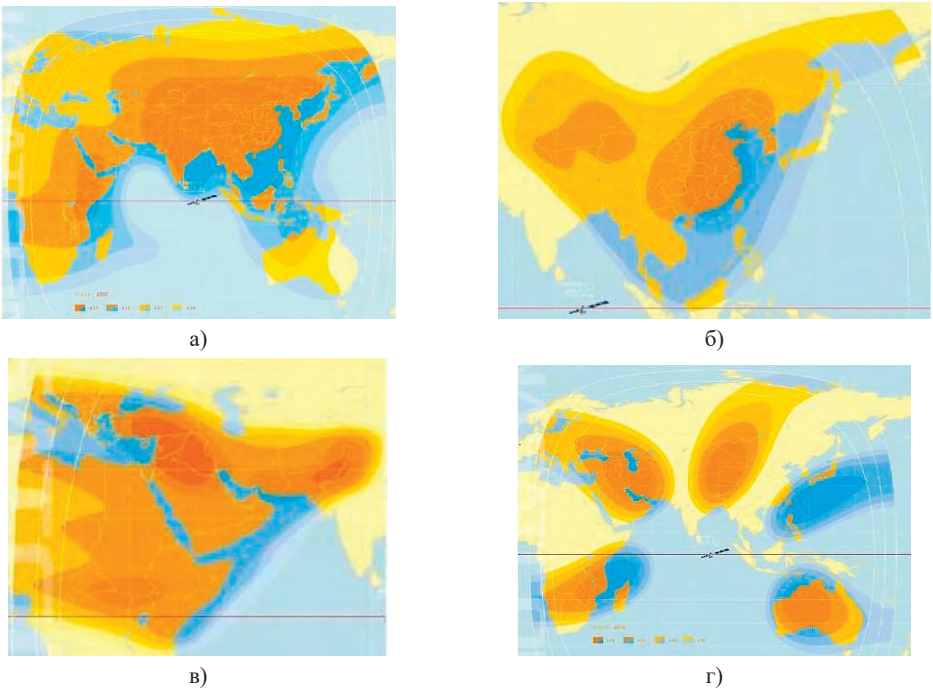
Спутник «Chinasat-12» (табл. 3.60) выведен на орбиту в соответствии с планом в ноябре 2012 г., проходил испытания в точке 81,5° в.д., в январе 2013 г. был переведен в точку 51,5° в.д., в которой получил наименование «Chinasat-15A» и использовался до середины мая 2013 г., после чего был переведен в точку 87,5° в.д. с наименованием «Chinasat-12».

Таблица 3.60

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-12»

Платформа	«SPACEBUS-4000C2»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 845...6 645/3 400...4 200 МГц)	28
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14 … 14,5/12,25...12,75 ГГц)	23

ИСЗ предназначался для обслуживания абонентов в Китае, Восточной и Южной Азии, на Ближнем Востоке, в Африке и Австралии, в регионе Индийского океана и Китайского моря (рис. 3.60, *а-г*), однако часть его оборудования неработоспособна, в том числе предназначенная для формирования широкого луча в С-диапазоне частот и для формирования трех лучей в Ku-диапазоне частот. Часть ретрансляторов Ku-диапазона частот спутника арендует компания «SupremeSat» (Шри Ланка), в системе которой они имеют наименование «SupremeSat-1».



а) б) в) г)

Рис. 3.60. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-12» в С-диапазоне частот

В результате используются только восемь ретрансляторов Ku-диапазона частот. ЭИИМ в рабочих зонах ИСЗ «Chinasat-12» в Ku-диапазоне частот представлены на рис. 3.61.

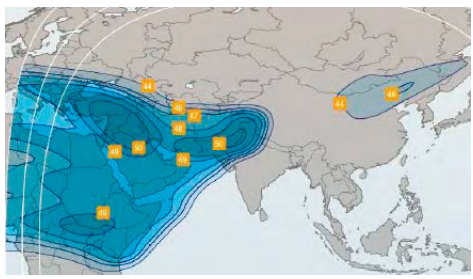
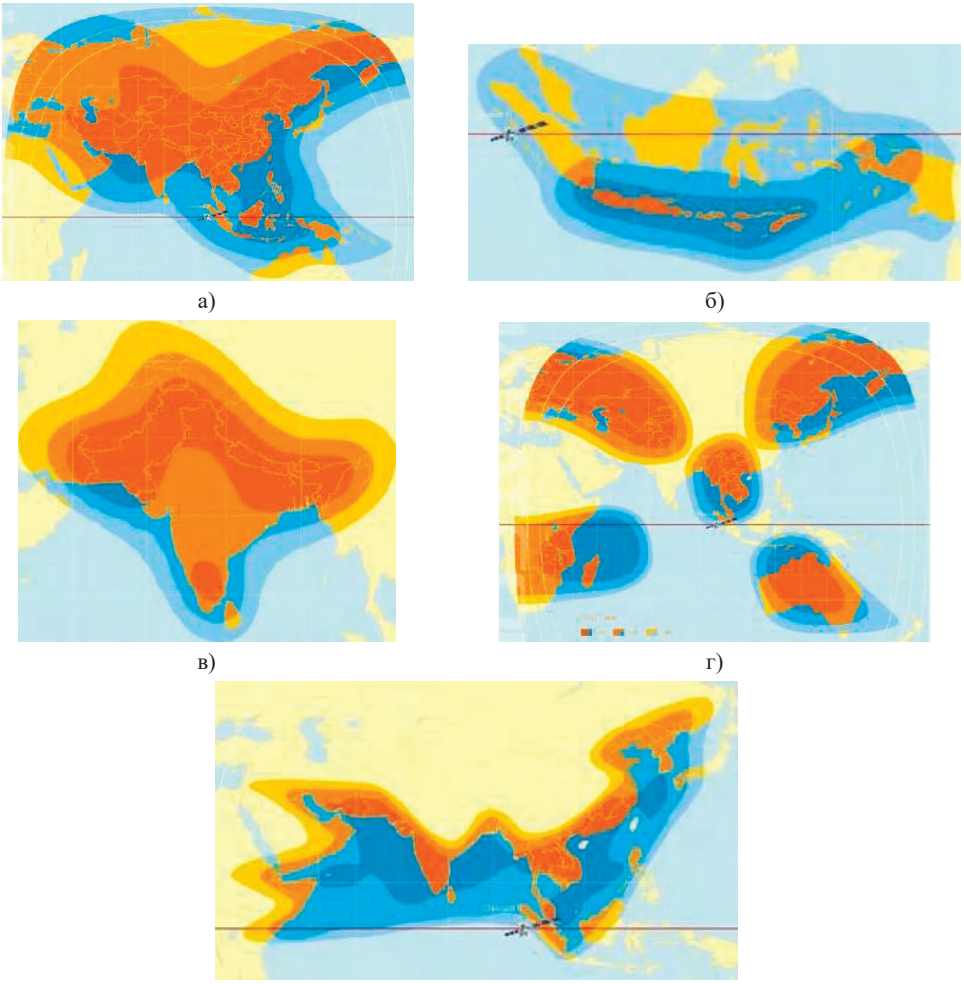


Рис. 3.61. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-5A» в Ku-диапазоне частот

ИСЗ «Chinasat-11» оснащен ретрансляторами С- (глобальный луч) и Ku-диапазонов частот (линейная поляризация, три луча – на Индонезию, Южную Азию и прибрежные зоны от Африки до Приморья, а также один перенацеливаемый луч) для обслуживания абонентов в Китае, Восточной и Южной Азии, на Ближнем Востоке, в Африке и Австралии, в регионах Индийского океана и Китайского моря (планировавшиеся рабочие зоны представлены на рис. 3,62, *а-д* и в табл. 3.61).



а) б) в) г) д)

Рис. 3.62. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-11»

Таблица 3.61

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-11»

Платформа	«DFH–4»
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 850...6 725/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	26
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25...12,75 ГГц)	19

Запуск ИСЗ «Chinasat-11» был осуществлен в мае 2013 г. Спутник проходил испытания в точке 163° в.д., после завершения которых начал дрейфовать в западном направлении. В начале октября 2013 г. ИСЗ «Chinasat-11» был остановлен в точке 115,5° в.д. В апреле 2014 г. спутник «Chinasat-11» был переведен в точку 98° в.д.

ИСЗ «Chinasat-16»

Ранее экспериментальный, спутник после завершения экспериментов (в том числе по организации оптического канала связи) используется в системе под наименованием «Chinasat-16».

ИСЗ «Chinasat-16» оснащен ретрансляторами Ka-диапазона частот с пропускной способностью 20 Гбит/с, антенная система обеспечивает формирование 26 узких лучей на территорию Китая и прибрежных районов (рис. 3.63, табл. 3.62).

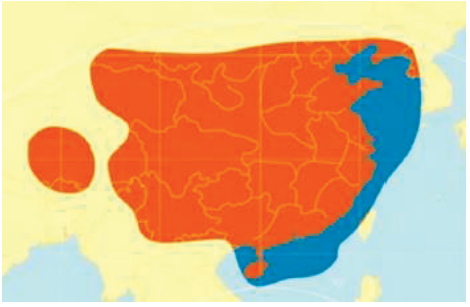


Рис. 3.63. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-16»

Таблица 3.62

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-16»

Платформа	«DFH–4S»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25...12,75 ГГц)	26

ИСЗ «Chinasat-9A» создан для замены спутника «Sinosat-2». ИСЗ оснащен ретрансляторами Ku-диапазона частот (круговая поляризация) для предоставления услуг непосредственного телевещания в Китае (в том числе в Гонконге, Макао, на Тайване и в Южно-Китайском море) совместно со спутником «Chinasat-9» (табл. 3.63).

Таблица 3.63

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-9A»

Платформа	«DFH-4»
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (17,3...17,8/11,7...12,2 ГГц)	
– с полосами частот по 36 МГц	18
– с полосами частот по 54 МГц	4
Максимальная ЭИИМ, дБ·Вт	57,5

Элементы этого спутника были использованы при создании других спутников. Запуск ИСЗ «Chinasat-9A» планировался в 2012 г., но был отложен сначала на декабрь 2015 г. и был осуществлен в июне 2017 г. Из-за отказа третьей ступени РН ИСЗ выведен на нерасчетную орбиту, он находился в работоспособном состоянии с раскрытыми панелями солнечных батарей. В дальнейшем ожидался перевод спутника на рабочую орбиту собственными двигателями, что сократило бы расчетный срок его функционирования до 10 лет.

В октябре 2015 г. был заключен контракт на создание спутника «Apstar-6C». Этот ИСЗ оснащается 45 ретрансляторами C-, Ku- и Ka-диапазонов частот. ИСЗ «Apstar-6C» (134° в.д.) создавался на замену ИСЗ «Apstar-6». Его запуск был осуществлен в 2018 г.

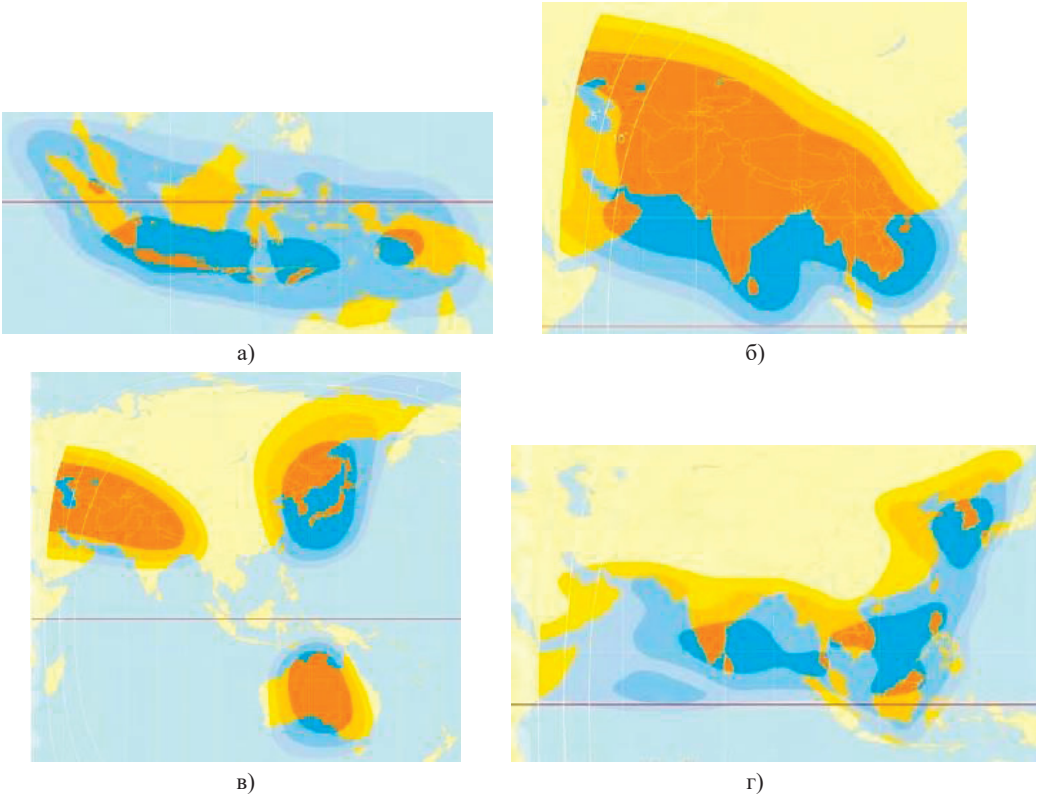
Перспективные ИСЗ

Спутник «Chinasat-M» оснащается ретрансляторами C- и Ku-диапазонов частот (линейная поляризация) для обслуживания абонентов в Азии, Индонезии, Австралии, Индийском океане и Китайском море (рис. 3.64, *а-г*, табл. 3.64).

Таблица 3.64

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-M»

Платформа	«DFH-4»
Расчетный срок функционирования, лет	15
Число ретрансляторов C-диапазона частот (5 850...6 725/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	18
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот (14...14,5/12,25...12,75 ГГц)	27



а) б) в) г)

Рис. 3.64. Рабочие зоны ИСЗ «Chinasat-M»

Запуск ИСЗ «Chinasat-M» (125° в.д.) планировался на апрель-июнь 2013 г., перенесен на вторую половину 2014 г., а затем был отложен на декабрь 2016 г. Предположительно, на его основе создается спутник «Chinasat-6C».

Спутник «Chinasat-6C» оснащается ретрансляторами C-диапазона частот для ретрансляции радио- и телепрограмм (табл. 3.65).

Таблица 3.65

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-6C»

Платформа	«DFH-4»
Расчетный срок функционирования, лет	15
Число ретрансляторов С-диапазона частот (5 850...6 725/3 700...4 200 МГц) с полосами частот по 36 МГц	25

Запуск ИСЗ «Chinasat-6C» (130° в.д.) планировался на сентябрь 2017 г., но был перенесен на более поздний срок.

В декабре 2015 г. подписан контракт на создание спутника «Telstar-18». Спутник оснащается 63 ретрансляторами С- и Ku-диапазонов частот с региональными лучами.

Запуск спутника «Telstar-18» (138° в.д.) намечался на первую половину 2018 г., но был отложен на декабрь 2018 г.

Планируется создание системы из четырех спутников с ретрансляторами Ka-диапазона частот с высокой пропускной способностью. Первый контракт на создание и запуск спутника «Apstar-6D», оснащаемого ретрансляторами Ka-диапазона частот, был заключен в июле 2016 г.

Запуск спутника «Apstar-5D» (134° в.д.) был намечен на начало 2019 г.

Спутник «Chinasat-18» оснащается ретрансляторами Ku- и Ka-диапазонов частот для обслуживания абонентов в Китае.

В Ka-диапазоне частот антенная система формирует 14 узких лучей для обслуживания подвижных абонентов, а также два вещательных луча ДН (табл. 3.66).

Таблица 3.66

Основные технические характеристики ИСЗ «Chinasat-18»

Платформа	«DFH-4E»
Расчетный срок функционирования, лет	15+
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот	30
Число ретрансляторов Ka-диапазона частот	14+2

Запуск ИСЗ «Chinasat-18» (115,5° в.д.) планировался на первый квартал 2019 г.

Кроме того, государственная фирма «Chinasatcom» занимается отработкой технологии организации подвижной спутниковой связи на базе аппаратуры S-диапазона (2,2-2,3; 2,5-2,7 ГГц), установленной в качестве дополнительной полезной нагрузки на геостационарных ИСЗ-ретрансляторах.

Так, в настоящее время в интересах военных абонентов используется экспериментальная аппаратура S-диапазона, установленная в качестве дополнительной полезной нагрузки на ИСЗ связи «Chinasat-6A».

Аппаратура связи S-диапазона размещена также на ИСЗ «Chinasat-11», размещенном в позиции 98,2° в.д. Антенная система S-диапазона формирует 64 луча ДНА.

Наземный сегмент

В составе наземного сегмента системы компании «Chinasatcom» используются пять центров управления ИСЗ, расположенные около Пекина, в Шахе, Тай-По, Дуйянджян и Кашгаре. В состав каждого центра входят шесть антенных систем (диаметром 13; 5,5; 11; 6,1; 9 м в С-диапазоне частот и 8,1 м – в Ku-диапазоне частот).

3.4. Коммерческие системы ретрансляции данных

3.4.1. Европейская СРД «EDRS»

Европейская система межспутниковой ретрансляции данных «EDRS» (European Data Relay System) первоначально разрабатывалась в рамках программы «DRSS» (Data Relay Satellite System), инициированной Европейским космическим агентством ESA (European Space Agency) в 1990-х гг. в интересах развития будущих европейских проектов исследования космического пространства и Земли. С 2003 по 2013 г. в системе «DRSS» использовался ИСЗ «Artemis» (межспутниковая лазерная связь в оптическом диапазоне и ретрансляция данных по радиолиниям S- и Ka-диапазонов), размещенный в точке 21,5° в.д. Отказ ESA от реализации проекта создания собственного космического корабля повлек за собой сокращение финансирования работ по программе «DRSS». В условиях ограниченного финансирования программы и значительных расходов на обеспечение функционирования спутника «Artemis» на орбите (до 8 млн евро в год) рассматривались варианты его исключительно коммерческого использования или перевода в режим орбитального хранения. В дальнейшем работы по созданию европейской системы были продолжены в рамках программы «EDRS» [4-6].

В системе «EDRS» предполагается использовать 2-3 ИСЗ на ГСО, оснащенных оборудованием межспутниковой ретрансляции данных в радиочастотном и оптическом диапазонах. Основным назначением системы является обеспечение ретрансляции данных с низкоорбитальных спутников космической съемки Земли европейской системы «Copernicus». Так, оборудованием ретрансляции данных через геостационарный спутник оснащены ИСЗ «Sentinel-1A» (запущен в апреле 2014 г.), «Sentinel-2A» (июнь 2015 г.), «Sentinel-1B» (апрель 2016 г.) и «Sentinel-2B» (2017 г.)». Кроме того, систему планируется использовать для организации ретрансляции данных с БЛА МО США и НАТО.

В настоящее время в составе космического сегмента системы «EDRS» используется следующий ИСЗ (табл. 3.67).

Таблица 3.67

Космический сегмент СРД «EDRS»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты,град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«EDRS-A» (Eutelsat-9E)	9° в.д.	0,04	29.01.2016	15

Первым спутником системы, под условным названием «EDRS-A», стал ИСЗ «Eutelsat-9E», созданный в соответствии с контрактом от октября 2011 г. Наряду с ретрансляторами Ku-диапазона на ИСЗ установлен комплект оборудования межспутниковой ретрансляции данных, функционирующего в оптическом и Ka-диапазоне (передача данных со спутника-ретранслятора на Землю осуществляется в Ka-диапазоне, табл. 3.68). Его головной разработчик – компания «Tesat Spacecom». Всего компанией разработано четыре комплекта оборудования межспутниковой ретрансляции данных.

Таблица 3.68

Основные технические характеристики ИСЗ «EDRS-A»

Платформа	«EUROSTAR-3000»
Расчетный срок функционирования, лет	15
Число ретрансляторов Ku-диапазона частот	66

На спутнике «Eutelsat-9E» установлен комплект оборудования второго поколения производства компании «Tesat». Пропускная способность оптической линии связи составляет 1,8 Гбит/с (табл. 3.69). Оборудование первого поколения размещалось на низкоорбитальных спутниках для организации межспутниковой связи со скоростью до 5,6 Гбит/с. Еще один

комплект оборудования второго поколения функционирует на ИСЗ «Alphasat» компании «Inmarsat», запуск которого состоялся в июле 2013 г.

Таблица 3.69

Характеристики оборудования межспутниковой ретрансляции данных системы «EDRS»

Дальность связи, км	45 000
Скорость передачи данных, Гбит/с	1,8
Рабочая длина волны, нм	1 064
Вид модуляции	BPSK с гомодинным преобразованием сигнала
Мощность передатчика, Вт	2,2
Диаметр оптической системы, см	13,5
Потребляемая мощность, Вт	160 Вт
Размеры, м	0,6/0,6/0,6

Перспективные ИСЗ

Работы по созданию перспективных спутников системы «EDRS» организованы на принципах государственно-частного партнерства с участием ESA и компании «Airbus» (Airbus Defence and Space).

Второй спутник системы «EDRS-C» предполагалось запустить в 2016 г. (впоследствии срок запуска был изменен на 2017 г., затем на начало 2018 г. и, в итоге, – на начало 2019 г.) в подспутниковую точку 31° в.д., что позволило бы значительно расширить зону обслуживания системы. Разработка спутника осуществляется на базе спутниковой платформы малых ИСЗ на ГСО (SmallGEO). В отличие от «EDRS-A» межспутниковую связь с низколетящими аппаратами ИСЗ «EDRS-C» будет обеспечивать только по оптическому каналу.

Ввиду сложностей финансирования работ было принято решение установить на спутнике в качестве дополнительной полезной нагрузки комплект ретрансляционного оборудования Ka-диапазона, а сам спутник переименовать в «Hellas-3».

Обеспечение глобальной зоны обслуживания возможно только после включения в состав системы еще как минимум одного спутника, финансирование создания которого не предусмотрено. Предположительно, для этого будет использоваться ИСЗ «Alphasat», с помощью которого в настоящее время выполняется исследование особенностей распространения сигнала в оптической линии связи между ИСЗ и наземным терминалом с адаптивной оптической системой, введенным в эксплуатацию в 2015 г. Компания «Airbus» рассчитывает к 2020 г. завершить разработку третьего комплекта оборудования системы «EDRS» для вывода в составе дополнительной полезной нагрузки в подспутниковую точку 130° в.д.

Наземный сегмент

Наземный сегмент системы «EDRS» на базе спутников «EDRS-A» и «EDRS-C» включает основной и резервный центры управления системой, где осуществляется планирование использования космических ретрансляторов системы по запросам пользователей, в Оттобрунн (Германия) и Реду (Бельгия) соответственно. Ввиду того, что ретрансляторы системы устанавливаются на спутниковых платформах различных производителей и имеют разный статус (основной и дополнительной полезной нагрузки), для управления ими используются различные центры управления космическими аппаратами и полезной нагрузкой: для ИСЗ «EDRS-A» – в Оберпфаффенхоффен (Германия) и наземная станция управления ИСЗ КССС «Eutelsat» в районе Парижа (Франция), для ИСЗ «EDRS-C» – в Оберпфаффенхоффене (Германия), а также основная и резервные станции управления в Вейлхайме (Германия) и Реду соответственно. Прием данных, ретранслируемых с обслуживаемых системой низкоорбитальных космических аппаратов типа «Copernicus», обеспечивают для ИСЗ «EDRS-A» – наземные станции в Харвелле (Великобритания) и Вейлхайме, для ИСЗ «EDRS-C» – наземные станции в Вейлхайме и Реду.

3.4.2. Американская СРД «TDRS»

Система ретрансляции данных TDRS (Tracking and Data Relay Satellite – спутник сопровождения объектов и передачи данных) – базируется на американских геостационарных ИСЗ связи и является частью системы двойного назначения TDRSS (Tracking and Data Relay Satellite System), используемой МО США, NASA и другими американскими правительственными организациями для организации связи и обмена информацией между низколетящими объектами (спутниками, МКС, полезной нагрузкой на аэростатах, самолетами, в том числе БПЛА) и наземными станциями.

В космическом сегменте системы используются (табл. 3.70) четыре ИСЗ первого поколения («TDRS-3», «TDRS-5», «TDRS-6» и «TDRS-7») и шесть ИСЗ второго поколения («TDRS-8»…«TDRS-13») [4-6].

Функции основного спутника западной зоны выполняет «TDRS-10», основного спутника восточной – «TDRS-9». Спутники «TDRS-3» и «TDRS-5» находятся в режиме орбитального хранения.

Спутники «TDRS» первого поколения рассчитаны на использование в течение 10 лет. Более тяжелые спутники второго поколения («TDRS-8»…«TDRS-10») созданы на базе платформы BSS 601. Срок эксплуатации этих спутников составляет 15 лет.

Таблица 3.70

Космический сегмент СРД «TDRS»

Спутник	Точка стояния	Наклонение орбиты, град.	Дата запуска	Расчетный срок службы, лет
«TDRS-3»	62° з.д.	14,4	29.09.1988	10
«TDRS-5»	168° з.д.	14,5	2.08.1991	10
«TDRS-6»	46° з.д.	14,1	13.01.1993	10
«TDRS-7»	84° в.д.	15,1	13.07.1995	10
«TDRS-8»	89° в.д.	7,9	30.06.2000	15
«TDRS-9»	12° з.д.	5,8	8.03.2001	15
«TDRS-10»	171,6° з.д.	5,5	5.12.2002	15
«TDRS-11»	174° з.д.	5,1	31.01.2013	15
«TDRS-12»	41° з.д.	5,7	24.01.2014	15
«TDRS-13»	12° з.д.	6,2	18.08.2017	15

На спутниках обоих поколений устанавливается аппаратура межспутниковой ретрансляции данных, работающая в S- (2,0-2,3 ГГц) и Ku-диапазонах (13,4-15,2 ГГц) частот, а на ИСЗ «TDRS-8»…«TDRS-10» имеются, кроме того, и ретрансляторы Ka-диапазона (22,55-27,5 ГГц).

В состав аппаратуры межспутниковой ретрансляции входят две многодиапазонные зеркальные антенны с узкой диаграммой направленности (менее 2°). Диаметр антенн – 4,9 м. С помощью каждой из них спутник-ретранслятор способен связаться с одним низкоорбитальным ИСЗ и передать на него командные данные одновременно в S-диапазоне со скоростью до 300 кбит/с и в одном из более высоких диапазонов частот со скоростью до 25 Мбит/с. Прием данных от ИСЗ возможен со скоростями 6 Мбит/с (S-диапазон), 300 Мбит/с (Ku-диапазон) и 800 Мбит/с (Ka-диапазон). На спутниках последнего поколения была продемонстрирована возможность передачи данных по обратному каналу в Ka-диапазоне со скоростью до 3,4 Гбит/с (в режиме широкополосной передачи в полосе 650 МГц).

Для одновременной связи с несколькими низкоорбитальными ИСЗ используется ФАР из спиральных излучателей, работающая в S-диапазоне частот. В решетке спутников первого

поколения таких элементов 30, а у спутников второго поколения – 36. Максимальная скорость принимаемых данных в режиме связи с несколькими ИСЗ составляет 100 кбит/с для спутников первого поколения и 3 Мбит/с – для спутников второго поколения, а передача данных на обслуживаемые низкоорбитальные ИСЗ осуществляется соответственно со скоростью 10 и 300 кбит/с.

Фидерная радиолиния организована в Ku-диапазоне частот. Здесь же передаются команды управления и телеметрия для ИСЗ «TDRS».

Антенна фидерной радиолинии представляет собой зеркальную антенну диаметром 2 м с облучателем в виде рупора. На всех спутниках первого поколения, за исключением ИСЗ «TDRS-7», также установлены ретранслятор и антенная система диапазона 6/4 ГГц и отдельный ретранслятор диапазона 14/11 ГГц (табл. 3.71).

Учитывая, что разработка спутников третьего поколения требовала продолжительного времени, а замену действующих ИСЗ необходимо было начинать еще в 2013 г. (ориентировочные сроки окончания эксплуатации ИСЗ системы составляли: для ИСЗ «TDRS-5» – 2013 г., «TDRS-6» – 2015 г., «TDRS-9» – 2017 г., «TDRS-7»…«TDRS-10» – 2019 г.), было принято решение создать несколько дополнительных спутников второго поколения для восполнения спутниковой группировки на период завершения работ по созданию спутников третьего поколения.

Таблица 3.71

Основные технические характеристики ИСЗ «TDRS»

Параметр	ИСЗ «TDRS-3»...«TDRS-7»	ИСЗ «TDRS-8»...«TDRS-10» «TDRS-11»... «TDRS-13»
Платформа	TRW, модульная	BSS 601/BSS 601HP
Расчетный срок функционирования, лет	10	15
Диапазоны частот межспутниковых радиолиний, ГГц (скорость передачи, Мбит/с):		
– прием	2,2...2,3 (6); 2,2845...2,2905 (0,15); 14,887...15,119 (300)	2/2...2,3 (6); 2,2845...2,2905 (6); 14,887...15,119 (300) 25,25...27,5 (800)
– передача	2,0204...2,1233 (0,3); 2,1031...21097 (0,3); 13,747...13,802 (25)	2,0204...2,1233 (0,3); 2,1031...21097 (0,3); 13,747...13,802 (25) 22,55...23,55 (25)
Диапазоны частот фидерных радиолиний, ГГц:		
прием	14,6...15,225	14,6...15,225
передача	13,4 … 14,1	13,4...14,1
Диапазоны частот радиолиний коммерческой связи, ГГц:		
– прием	14...14,4; 5,9...6,4	–
– передача	11,7...12,2; 3,7...4,2	–
Вид многостанционного доступа	пространственное разделение; МДЧР; МДКР	пространственное разделение; МДЧР; МДКР
Вид модуляции	ФМ-2 и ФМ-4	ФМ-2, ФМ-4, 8-PSK, 64-APSK

Дополнительные ИСЗ создаются в рамках программы агентства NASA. Впоследствии эти спутники стали относить к третьему поколению, хотя по своим характеристикам они не значительно отличаются от спутников второго поколения. В их конструкции использована модифицированная спутниковая платформа ИСЗ второго поколения – BSS-601HP. Масса ИСЗ «TDRS-11»...«TDRS-13» – 3,5 т, расчетный срок функционирования – 15 лет.

Бортовая система электропитания включает солнечные батареи размахом 21 м и никель-водородные аккумуляторы и обеспечивает мощность 2,9-3,2 кВт. Также, как и ИСЗ

«TDRS-8»...«TDRS10», они оборудованы ретрансляторами Ka- (максимальная скорость передачи данных до 1,2 Гбит/с), Ku- и S-диапазонов частот. Главным отличием новых ИСЗ является возврат к схеме формирования лучей антенных систем и организации обратных каналов многоспутникового доступа в S-диапазоне, которая используется на спутниках первого поколения и предусматривает обработку сигнала не на борту, а на Земле.

Контракт на создание двух ИСЗ – «TDRS-K» и «TDRS-L» (с опционом на еще два ИСЗ – «TDRS-M» и «TDRS-N») NASA в конце 2007 г. заключен с компанией«Boing».

Контрактом также предусмотрена модернизация наземных центров управления системы на полигоне Вайт Сэндс.

Все спутники «TDRS» созданы на базе платформы BSS-601, до этого использовавшейся при создании ИСЗ второго поколения «TDRS-8»...«TDRS-10». По мнению специалистов NASA, запуск двух новых спутников позволяет обеспечивать требуемый уровень обслуживания пользователей системы только до 2017-2018 гг. Поэтому агентство изучало возможность заказа в соответствии с имеющимся опционом еще двух ИСЗ – «TDRS-M» и «TDRS-N». В 2011 г. был подтвержден заказ третьего спутника – «TDRS-M». В 2013 г. NASA отказалось от создания четвертого спутника нового поколения.

Запуск спутника «TDRS-K» планировалось осуществить в декабре 2012 г. (запуск состоялся в январе 2013 г.), а «TDRS-L» – в 2014 г. (запуск состоялся в январе 2014 г.).

Запуск спутника «TDRS-M» намечался на 2015 г., но был отложен на длительный срок в связи с отсутствием необходимых бюджетных средств. В октябре 2015 г. NASA подтвердило заключение контракта на запуск ИСЗ «TDRS-M» в 2017 г.

Перспективные ИСЗ

В настоящее время рассматриваются варианты создания спутников третьего (по альтернативной классификации – четвертого) поколения по программе «TDRS-C» (TDRS – Continuation), другое название –«TDRS-FO» (TDRS – Follow – ON).

Система на базе спутников серии «TDRS-C» должна была стать одним из компонентов новой архитектуры национальной спутниковой связи США.

Спутники нового поколения планируется оснащать бортовой аппаратурой оптической межспутниковой связи для организации выскоскоростной ретрансляции данных (как в режиме одностанционного, так и многостанционного доступа) от перспективных низкоорбитальных ИСЗ и БЛА. В составе системы оптической связи с ИСЗ на низких околоземных орбитах предполагается использовать оптоэлектронную систему с диаметром апертуры 20 см. Рабочая длина волны – 1,55 мкм. Скорость передачи данных в обратном канале составит не менее 1,2 Гбит/с, в прямом – не менее 100 Мбит/с. Для обмена данными с наземными терминалами предполагается использовать оптические (скорость передачи на Землю составит до 2,5 Гбит/с) и радиолинии (скорость передачи на Землю – 1...1,5 и 2,5 Гбит/с) связи.

Для связи КА в дальнем космосе спутники, создаваемые по программе «TDRS-C», могут оснащаться оптоэлектронной системой межспутниковой связи, включающей четыре телескопа с диаметром апертуры 1 м (решетка из четырех телескопов позволяет обеспечить эквивалентный диаметр апертуры системы 2 м). Требуемую для организации оптической межспутниковой связи высокую точность наведения ИСЗ-ретранслятора (менее 1 мрад) уже удалось обеспечить на спутниках второго поколения «TDRS-8»…«TDRS -10».

На 2018 г. было запланировано проведение эксперимента по организации оптической связи, в ходе которого намечено оценить надежность и характеристики оптического канала связи с использованием прототипа оптоэлектронной системы связи для перспективных спутников системы. Повысить устойчивость канала к атмосферным помехам планируется с помощью нового класса протоколов. Передача данных в ходе эксперимента будет осуществляться со скоростью до 2,8 Гбит/с.

Запуск первого спутника серии «TDRS» с оптическим терминалом на борту возможен в 2021 г.

Наземный сегмент

Наземный сегмент системы «TDRS» состоит из четырех центров управления и передачи данных, два из которых находятся в шт. Нью-Мексико, один на о. Гуам и один – в Блоссом Поинт (шт. Мериленд). Также создан резервный удаленный центр управления.

Центры управления оборудованы тремя антеннами диаметром 18 и 19 м Ku-диапазона частот, станциями контроля, работающими в S-диапазоне частот и служащими для слежения за функционированием спутников системы по каналам резервной командной радиолинии, а также двумя антеннами Ku-/S-диапазонов и одной антенной (в перспективе – двумя) Ka-диапазона. Центр в шт. Нью-Мексико имеет два наземных терминала, работающих в S- и Ku-диапазонах частот, станцию контроля, работающую в S-диапазоне частот, а также две антенны Ku-/S-диапазонов (в перспективе их предполагается дополнить двумя антеннами Ka-диапазона). Кроме того, развернуты две резервные станции управления ИСЗ с антенными системами S-диапазона на территории Австралии.

Центр управления, расположенный в Блоссом Поинт (шт. Мериленд), создан в рамках работ по программе модернизации наземного комплекса системы. Центр оснащен двумя терминалами – для управления ИСЗ «TDRS» с использованием системы «STAR» и резервного управления ИСЗ «TDRS» в точке 12°з.д. Второй терминал также может быть использован в случае выхода из строя первого терминала, что исключает необходимость задействования станции NASA системы слежения за дальним космосом в Мадриде. Планирование сеансов связи с низкоорбитальными ИСЗ ведется в главном центре управления системы слежения за космическими объектами NASA, расположенном в Гринбелте (шт. Мэриленд). Для контроля параметров орбиты спутников-ретрансляторов используются наземные измерительные станции системы, излучающие тестовые сигналы в S-диапазоне частот. По одной такой станции размещено в Австралии, на о-ве Вознесения, в Американском Самоа и на полигоне Вайт Сэндс.

Перспективы использования

Области применения системы «TDRS» не ограничиваются межспутниковой ретрансляцией данных. Космические аппараты «TDRS» используются для обеспечения запусков одноразовых РН на американских полигонах. С их помощью производится слежение за траекторией полета ракеты, трансляция на Землю телеметрической информации ракеты, а на ее борт передаются команды наземной службы управления полетом. Одним из примеров коммерческого использования системы является предоставление услуг по ретрансляции высокоскоростных данных в Ka-диапазоне частот, в том числе в регионах, находящихся вне зон обслуживания перспективных широкополосных спутниковых систем (например, открытые воды Тихого океана).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в рамках совершенствования телекоммуникационных систем специального назначения в ведущих странах мира происходит замена орбитальной группировки ССС аппаратами нового поколения, а также проводятся работы по усовершенствованию наземного сегмента ССС. На долгосрочный период не исключается возможность принятия решения о создании объединенной военной европейской системы спутниковой связи оперативно-тактического назначения на базе национальных систем. Кроме того, планируется более широкое использование коммерческих систем [6].

В военных системах связи Европы в период до 2025 г. будут применяться ИСЗ на ГСО с трехосной стабилизацией, оборудованные многолучевыми антеннами, бортовыми коммутаторами и средствами цифровой связи с повышенной помехоустойчивостью. При строительстве ИСЗ намечается использовать, по примеру США, универсальные платформы с готовым стандартным служебным оборудованием.

В настоящее время в европейских странах хорошо отработана ССС со стационарными объектами, а также происходит внедрение малогабаритных терминалов. Расширен фронт работ по обеспечению связи с движущимися и между движущимися объектами. По сравнению с США, менее активно осваиваются технология малогабаритных космических аппаратов и системы связи на их базе на низких орбитах. Заметно отставание в области широкополосной связи.

В прогнозируемый период в развитии ССС как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения ведущих стран мира наметились следующие тенденции:

– перемещение фронта работ от развития телефонной связи в сторону передач мультимедийных данных. Вероятно, произойдет снижение стоимости связи, а также появится возможность повышения скорости передачи до 700 Мбит/с;

– переход от создания национальных и региональных ССС к глобальным;

– увеличение объема работ в области мобильной спутниковой связи;

– внедрение международных стандартов в цифровую связь, которая будет применяться при телефонной связи, видеосвязи, передаче изображений и др;

– пересмотр оптимальных технологий внутри используемых видов связи (волоконно-оптическая, беспроводная наземная, спутниковая) с точки зрения стандартов, экономики, сложности обслуживания, вещания и мобильности.

Анализ технических параметров ныне создаваемых систем позволил выявить характерные особенности их технической реализации. Разрабатываемые системы спутниковой связи будут иметь глобальный охват, включая территории севернее 65° с.ш. Практически все перспективные системы широкополосной передачи данных рассчитаны на работу в миллиметровом диапазоне волн (30-40 ГГц). Концепции создания перспективных ССС на основе низкоорбитальных ИСЗ предполагают организацию межспутниковых радиолиний в диапазоне частот 60 ГГц или в оптическом диапазоне. Наличие таких радиолиний позволяет интегрировать космический эшелон в единую телекоммуникационную систему, обеспечивая тем самым глобальность связи и оптимальную маршрутизации передаваемых данных.

Новое поколение терминалов спутниковой связи предоставит возможность доступа к каналам с пропускной способностью до нескольких Мбит/с (в специальных случаях организуются каналы емкостью до нескольких сотен Мбит/с), а также обеспечит практически все виды услуг связи, позволяющие передавать данные и осуществлять вещание.

Таким образом, в ведущих странах мира в период до 2025 г. продолжится активное совершенствование систем и средств спутниковой связи, направленное на обеспечение декларируемого в руководящих документах информационного и, как следствие, подавляющего превосходства на поле боя, что достигается в результате реализации концепции сетевой организации боевых действий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

AEHF – Advanced Extremely High Frequency – усовершенствованная система спутниковой связи на высоких частотах;
APS – Advanced Polar System – улучшенное полярное дополнение (к военной системе связи США);
CAA – Civil Avation Authority – Международная организация гражданской авиации;
DISN – Defense Information System Network – система связи Министерства обороны США;
DODIN – Department of Defense Information Network – Управление военных информационных систем (США);
DSCS – Defense Satellite Communication System – система спутниковой связи Министерства обороны (США);
DSN – Defense Satellite Network – военная система спутниковой связи (Японии);
EDRS – European Data Relay System – Европейская система межспутниковой ретрансляции данных;
EPS – Enhanced Polar System – усовершенствованное полярное дополнение (к военной системе связи США);
ESA – European Space Agency – Европейское космическое агентство;
FAB-T – Family of Advanced Beyond-line-of-sight Terminals – линейка усовершенствованных терминалов спутниковой связи;
Fltsatcom – Fleet Satellite Communications – система спутниковой связи Военно-морских сил (США);
GBS – Global Broadcast Service – система глобального вещания (США);
GIG – Global Information Grid – глобальная информационная система (США);
GP – Global Payload– аппаратура глобальной передачи данных (система спутниковой связи «Inmarsat»);
HAIPE – High Assurance Internet Protocol Encryptor – технология гарантированного шифрования данных;
HCP – High Capacity Payload – высокоскоростная зональная передача данных (система спутниковой связи «Inmarsat»);
ICAO – International Civil Aviation Organization – Международная организация гражданской авиации;
IDS – Indian Department of Space – Департамент космоса Индии;
IPS – Interim Polar System – полярное дополнение (к военной системе связи США);
ISRO – Indian Space Research Organization – Национальное космическое агентство Индии;
JTRS – Joint Tactical Radio Systems – объединенные средства тактической радиосвязи;
LDR – Low Data Rate – низкоскоростной ретранслятор;
MDR – Medium Data Rate – среднескоростной ретранслятор;
MID – Maritime Identification Digits – идентификационный номер (система спутниковой связи «Inmarsat»);
MilSTAR – Military Strategic and Tactical Relay – военная система стратегической и тактической связи;
MUOS – Mobile User Objective System – система спутниковой связи мобильных пользователей;
NASA – National Aerospace Agency – Национальное космическое агентство (США);
NAVSTAR – NAVigation System using Timing And Ranging – космическая радионавигационная система;

NMT – Navy Multiband Terminal – терминал спутниковой связи Военно-морских сил;
NORAD – North American Aerospace Defense Command – Командование ПВО Североамериканского континента;
NSSA – National Security Space Architect – Национальное агентство космической безопасности (США);
O3b – Other 3 billion– «Другие 3 миллиарда» (система спутниковой связи);
PoP – Point of Presence – командно-штабная машина;
RUDICS – Router-Based Unrestricted Digital Interworking Connectivity Solution – сервис передачи данных с коммутацией каналов от множества различных устройств (система спутниковой связи «Iridium»);
SBD – Short Burst Data – сервис оперативной передачи небольших пакетов данных;
SDS – Satellite Data System – военная система ретрансляции данных;
SES – Ship Earth Stations – судовые, авиационные и наземные земные станции (система спутниковой связи «Inmarsat»);
SMS – Short Message Service – сервис передачи коротких текстовых сообщений;
SNE – Soldier Network Extension node – подвижный узел связи роты;
TASCOM – Tactical Area Satellite COMmunication – тактическая система спутниковой связи Японии;
TCN – Tactical Communications Node – подвижный тактический узел связи;
TLE – Two Line Element –двухстрочный набор элементов;
UFO – UHF Follow On – ультракоротковолновая система спутниковой связи;
VSAT – Very Small Aperture Terminal – терминал с малой апертурой антенны;
WGS – Wideband Global Satcom – широкополосная глобальная система спутниковой связи;
WIN-T – Warfighter Information Network-Tactical – районная система связи на театре военных действий;
XDR – Extremely Data Rate – высокоскоростная ретрансляция данных;
АвБ – авиабаза;
АК – армейский корпус;
АСУ – автоматизированная система управления;
АТ – абонентский терминал;
АФАР – активная фазированная антенная решетка;
БКУ – бортовой комплекс управления;
БЛА – беспилотный летательный аппарат;
БРТК – бортовой ретранслятор;
БРЭО – бортовое радиоэлектронное оборудование;
ВОУ – высшие органы управления;
ВПР – военно-политическое руководство;
ВС – вооруженные силы;
ВСС – вещательная спутниковая служба;
ВССС – военная система спутниковой связи;
ВУ – восходящий узел (движения спутника);
ГМССБ – глобальная морская система связи при бедствии;
ГСО – геостационарная орбита;
ДВУ – долгота восходящего узла;
ДН – диаграмма направленности (антенны);
ЗАС – засекреченная связь;
ЗС – земная станция;
ИГ – иностранное государство;
ИСЗ – искусственный спутник Земли;

КИК – командно-измерительный комплекс;
КП – командный пункт;
КРНС – космическая радионавигационная система;
КС – космическая станция;
КСП – космическая система передачи;
КССС – коммерческая система спутниковой связи;
КШМ – командно-штабная машина;
МД – многостанционный доступ;
МДВР – многостанционный доступ с временным разделением каналов;
МДКР – многостанционный доступ с кодовым разделением каналов;
МДПР – многостанционный доступ с пространственным разделением каналов;
МДЧР – множественный доступ с частотным разделением каналов;
МЛС – межспутниковая линия связи;
МО – Министерство обороны;
МП – морская пехота;
НАКУ – наземный автоматизированный комплекс управления;
НОАК – Народно-освободительная армия Китая;
НСД – несанкционированный доступ;
НУ – нисходящий узел (движения спутника);
ОГ – орбитальная группировка (спутников);
ОДВУ – относительная долгота восходящего узла;
ОСБ – обработка и коммутация сигналов на борту;
ОСШП – отношение сигнал/шум + помеха;
ППРЧ – псевдослучайная перестройка рабочей частоты;
ПС – периферийная станция (земная);
ПСС – подвижная спутниковая служба;
ПУ – пункт управления;
РН – ракетоноситель;
РЭБ – радиоэлектронная борьба;
РЭП – радиоэлектронное подавление;
СК – система координат;
СРД – система ретрансляции данных;
СРЛ – спутниковая радиолиния;
СС – станция сопряжения;
ССК – спутниковый связной комплекс;
ССО – силы специальных операций;
ССП – спутниковая система передачи;
ССС – система спутниковой связи;
СУЛ – слова управления линии (система спутниковой связи «Iridium»);
ТВД – театр военных действий;
ТКС СН – телекоммникационная система специального назначения;
ТТХ – тактико-технические характеристики;
УС – узел связи;
ФАР – фазированная антенная решетка;
ФСС – фиксированная спутниковая служба;
ЦОТУСС – центр оперативно-технического управления связными спутниками;
ЦС – центральная станция (земная);
ЭИИМ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будко П. А., Чихачев А. В., Баринов М. А., Виноградeнко А. М. Основные направления организации и планирования телекоммуникационной среды сил специального назначения // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2013. № 4. С. 18-23.

2. Цветков К. Ю., Осташов И. Т., Косяков Е. Н. Радиорелейные и спутниковые системы передачи информации специального назначения. – СПб.: ВКА им. А.Ф.Можайского, 2013. – 447 с.

3. Михайлов Р. Л. Помехозащищенность транспортных сетей связи специального назначения. Монография. – Череповец: ЧВВИУРЭ, 2016. – 128 с.

4. Системы спутниковой связи и вещания: справочно-аналитичекое издание / Под ред. Ю.А.Подъездкова. – М.:Радиотехника, 2018. – 360 с.

5. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетецентрическая война: принципы, технологии, примерыи перспективы: монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2018. – 898 с.

6. Строгов С. Перспективные системы спутниковой связи военного назначения ведущих зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5. С. 50-58.

7. US AF Almanac 2018 / Air Force Magazine. 2018. Vol. 100. № 6. 148 p.

8. Свитов Р. Состояние и перспективы развития американских военных систем спутниковой связи // Зарубежное военное обозрение. 2013. № 12. С. 63–68.

9. Марчев Ю. Средства спутниковой связи сухопутных войск США // Зарубежное военное обозрение. 2004. № 4. С. 20-37.

10. Шарьинский А. Система спутниковой связи министерства обороны Италии «Sicral» // Зарубежное военное обозрение. 2015. № 9. С. 78-80.

11. Вязников С. Система связи вооруженных сил Японии // Зарубежное военное обозрение. 2017. № 2. С. 15-17.

12. Дворянский А. Основные космические программы Китая // Зарубежное военное обозрение. 2016. № 12. С. 53-66.

13. Доброходов В. Системы спутниковой связи Китая // Зарубежное военное обозрение. 2016. № 2. С.65-67.

14. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 1-34.

15. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Inmarsat // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 64-91.

16. Ковальский А. А. Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 1. С. 175-212.

17. Ковальский А.А. Зиннуров С. Х., Митряев Г. А. Решение задачи оптимального планирования радиоресурса спутниковой системы связи для сеансов управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 67-74.

18. Ковальский А. А., Зиннуров С. Х. Модели и алгоритмы динамического резервирования радиоресурса космического аппарата связи при обслуживании нестационарных информационных потоков с учетом задержки в управлении // Труды Московского авиационного института. 2018. № 102. С. 20.

19. Ковальский А. А. Методика и алгоритм оперативного планирования сеансов спутниковой связи на основе технологии гибких стратегий управления // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 36-46.

20. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи MUOS // Системы управления, связи и безопасности. 2019. №3. С. 89-116. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10306.

Научное издание

Михайлов Роман Леонидович

Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения

Монография

Рецензенты:
Макаренко Сергей Иванович, доктор технических наук, доцент;
Тавалинский Дмитрий Анатольевич, доктор технических наук, доцент;
Ковальский Александр Александрович, кандидат технических наук.

Техн. ред.: С.И. Макаренко

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел групп»
197372, Санкт-Петербург, пр. Богатырский, дом 32, к. 1 лит. А, пом. 6Н.
http://publishing.intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63
E-mail: publishing@intelgr.com

ISBN 978-5-6044036-4-8

Гарнитура «Times New Roman». 9,38 п.л.
Тираж 500 экз. Подписано в печать 27.12.2019.

Материалы изданы в авторской редакции