УДК 629.78

Описательная модель системы спутниковой связи Inmarsat

Макаренко С. И.

Актуальность. *Обеспечение услугами связи таких перспективных проектов как освоение новых морских путей, разработка полезных ископаемых на океанском шельфе и создание информационно-телеметрических систем мониторинга морского, воздушного и наземного транспорта требуют создания геостационарных спутниковых систем связи (ССС). В настоящее время в России разрабатывается несколько проектов геостационарных ССС. При этом, обоснование технических решений для этих ССС требует формирования исходных данных для моделирования различных вариантов организации связи. Для формирования таких исходных данных может быть использована другая технологически развитая геостационарная ССС – Инмарсат, которая может рассматриваться как прототип ССС.* ***Целью работы*** *является формирование описательной модели ССС Инмарсат. Данная описательная модель может использоваться для разработки исходных данных при моделировании связных процессов в отечественных геостационарных ССС в интересах научно-обоснованного выбора принципов организации связи в ней. Для разработки описательной модели ССС Инмарсат были использованы только открытые источники.* ***Результаты и их новизна.*** *Элементом практической новизны работы являются выявленные общие технологические особенности построения геостационарных ССС на примере системы Инмарсат. В частности, описаны общие закономерности формирования орбитальной группировки на основе космических аппаратов различных типов, принципы каналообразования в линиях «вверх» и «вниз», использование сигнально-кодовых конструкций адаптивных к текущей сигнально-помеховой обстановке.* ***Практическая значимость.*** *Представленная в работе описательная модель будет полезна техническим специалистам для обоснования новых технологических решений для отечественных геостационарных ССС. Кроме того, данная модель будет полезна научным работникам и соискателям, ведущим научные исследования в области спутниковой связи.*

Ключевые слова: *модель, описательная модель, система спутниковой связи, система подвижной спутниковой связи, Инмарсат, Inmarsat.*

Введение

В настоящее время в различных областях экономики важным является использование систем спутниковой связи (ССС), имеющих глобальные зоны покрытия Земли. Высокая экономическая значимость данных ССС подтверждается работами [1-3]. При этом, особое значение приобретают геостационарные ССС, способные обеспечить связью абонентов в наиболее населенных районах Земли. На основе геостационарных ССС реализуется большинство проектов в области глобального обеспечения услугами связи. В России к перспективным проектам геостационарных ССС относятся системы «Экспресс», «Ямал», «ЕССС-3» и «Благовест». При этом, формирование связных услуг на этапе про-

Библиографическая ссылка на статью:
Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Inmarsat // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 64-91. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/04-Makarenko.pdf

Reference for citation:
Makarenko S. I. Descriptive Model of Inmarsat Satellite Communication System. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 4, pp. 64-91. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/04-Makarenko.pdf (in Russian).

ектирования конкретных средств связи ССС требует проведения предварительного моделирования и расчетов с целью формирования облика технических средств. При этом, одной из наиболее технологически развитых ССС является система Inmarsat. Таким образом, в интересах формирования исходных данных для моделирования вариантов организации связи в перспективных отечественных ССС в статье предложена описательная модель ССС Inmarsat, как наиболее технически развитого прототипа. Кроме того, описательная модель ССС Inmarsat может быть полезна для исследований в области организации услуг связи на основе этой ССС, например, таких как [4-7]. Описательная модель сформирована на основе данных из работ [8-23].

Назначение описательной модели – предоставление исходных данных для моделирования связных процессов как в ССС Inmarsat, так и в перспективных отечественных геостационарных ССС, прототипом которой может служить ССС Inmarsat.

Ввиду объемности, материал статьи был декомпозирован на ряд подразделов:

1. Общий обзор ССС Inmarsat.
2. Организация связи в ССС Inmarsat на основе космических аппаратов различных поколений.
   2.1. Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-3.
   2.2. Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-4.
   2.3. Организация связи по технологии BGAN.
      2.3.1. Каналообразование в линии «вниз».
      2.3.2. Каналообразование в линии «вверх».
   2.4. Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-5.
3. Наземные абонентские терминалы в ССС Inmarsat.

1. Общий обзор ССС Inmarsat

Компания Inmarsat является коммерческой организацией и создана 16 июля 1979 г. по инициативе Международной морской организации и изначально имела статус межгосударственной. Первоначально, главной целью создания ССС Inmarsat было обеспечение морских судов надежными услугами связи, в том числе и для передачи сигналов о бедствии, оперативного взаимодействия с другими судами и береговыми службами, связи членов экипажа и пассажиров судна с берегом. Основанная в 1979 г. для обслуживания морского сообщества, компания Inmarsat с тех пор превратилась в крупного поставщика услуг глобальной мобильной спутниковой связи для обеспечения связью судов и абонентов на море, в воздухе и на суше, для коммерческих и специальных целей.

Основными услугами связи, предоставляемыми ССС Inmarsat, являются: телефонная связь с прямым автоматическим набором, телекс, факс, электронная почта и передача данных.

После запуска космических аппаратов (КА) 4-го и 5-го поколения, обладающих высокой пропускной способностью, ССС Inmarsat стала широко использоваться коммерческими и специальными пользователями для организации

высокоскоростной передачи данных в районах, где инфраструктура связи находится в плохом состоянии, либо полностью отсутствует.

ССС Inmarsat включает в себя три сегмента – космический, наземный и абонентские терминалы (АТ).

По состоянию на июнь 2018 г. космический сегмент ССС Inmarsat включает в себя 13 КА 3-х поколений: Inmarsat-3, Inmarsat-4 и Inmarsat-5. Данные КА находятся на геостационарных орбитах (таблица 1). При этом принципы организации связи в КА и взаимодействующими с ним АТ существенно в КА различных поколений. В таблице 2 представлены основные ТТХ различных типов КА и принципов организации связи на их основе.

Таблица 1 – Орбитальная группировка ССС Inmarsat

КА	Обслуживаемый регион	Долгота на ГСО	Дата вывода на орбиту	Предоставляемые услуги
КА типа Inmarsat-3				
Inmarsat-3 F1	Акватория Индийского океана	64,5° в.д.	3.04.1996	Стандартные услуги передачи речи и данных
Inmarsat-3 F2	Восточная акватория Атлантического океана	15,5° з.д.	6.11.1996	
Inmarsat-3 F3	Акватория Тихого океана	178,2° в.д.	18.12.1996	
Inmarsat-3 F4	Западная акватория Атлантического океана	54° з.д.	3.06.1997	
Inmarsat-3 F5	I-3 Европа, Ближний Восток, Африка	24,6° в.д.	4.02.1998	Стандартные услуги передачи речи и данных по отдельным договорам аренды ресурсов КА
КА типа Inmarsat-4				
Inmarsat-4 F1	Восточно-азиатский регион и акватория Тихого океана	143,5° в.д.	11.03.2005	Стандартные услуги передачи речи, высокоскоростная передача данных по технологии BGAN. Аренда ресурсов КА по отдельным договорам
Inmarsat-4 F2	Ближний Восток, центральная Азии и акватория Индийского океана	63,9° в.д.	8.11.2005	
Inmarsat-4 F2	Северная и Южная Америки	98° з.д.	18.08.2008	
Inmarsat-4A F4 (ALPHASAT)	Европа, Ближний Восток, Африка	24,8° в.д.	25.07.2013	Экспериментальный КА для отработки перспективных технологий спутниковой связи и для проверки Европейской системы ретрансляции данных ESA

КА типа Inmarsat-5				
Inmarsat-5 F1	Европа, Ближний Восток, Африка	62,6° в.д.	8.12.2013	Стандартные услуги передачи речи, высокоскоростная передача данных по технологии Global Xpress. Аренда ресурсов КА по отдельным договорам
Inmarsat-5 F2	Америки	55° з.д.	2.02.2015	
Inmarsat-5 F3	Тихий океан, Азия, Западная Америка	179,6° в.д.	28.08.2015	
Inmarsat-5 F4	Является резервным на орбите	н/д	15.04.2017	

н/д – нет данных.

Таблица 2 – Основные ТТХ различных типов КА в ССС Inmarsat

Параметры	Inmarsat-3	Inmarsat-4	Inmarsat-5*
Покрытие КА	5 широких региональных лучей; 1 глобальный луч	228 узких лучей; 19 широких региональных лучей; 1 глобальный луч	89 базовых широких лучей Ка-диапазона (оборудование Global Payload); 6 управляемых узких высокоскоростных лучей (оборудование High Capacity Payload)
Каналообразование	46 каналов от 0,9 до 2,2 МГц	630 каналов по 200 кГц	144 канала по ≈40 МГц
Количество ретрансляторов L/C/Ка диапазона	6/2/-	6/2/-	-/-/2*
Диапазоны частот линий вверх/вниз: - абонентские: - фидерные:	 1630-1660 / 1530-1548 МГц 6430-6450 / 3600-3630 МГц	 1626,5-1660,5, 1668-1675 / 1518-1660,5 МГц 6425-6575 / 3550-3700 МГц	 29-30 / 19,2-20,2 ГГц 27,5-29,5 / 17,7-19,7 ГГц
Максимальная ЭИИМ в L/C/Ка диапазонах, дБВт	49/27/-	67/35/-	н/д
Услуги связи	речь+данные	речь+BGAN	речь+Global Xpress (стандарты: DVB-S2, I-Direct, IP4/IP6)*
Обеспечиваемые скорости передачи для абонентов	0,6, 2,4, 9,6, 64 кбит/с*	2,4, 9,6, 32, 64, 128, 256, 384, 492 кбит/с*	до 5 Мбит/с «верх» до 50 Мбит/с «вниз»
Услуги навигации	Да	Да	Да
Расчетный срок функционирования	13 лет	13 лет	16 лет

* – данные требуют уточнения;
н/д – нет данных.

Находящиеся в эксплуатации КА Inmarsat 3-го и 4-го поколений используют L-диапазон для связи с АТ и С-диапазон – для связи с наземными ШС, где

производится обработка вызовов и их коммутация. КА Inmarsat 5-го поколения используют Ка-диапазон для связи как с АТ, так и с ШС.

Перспективным развитием ССС Inmarsat является переход к использованию КА 6-го поколения. По предварительным данным, подобные КА будут основаны на платформе Eurostar E-3000EOR и должны обеспечивать предоставление стандартных услуг связи в L-диапазоне, а также высокоскоростную передачу данных по технологии Global Xpress в Ка-диапазоне. Для этого КА Inmarsat-6 будут оснащены антенной системой, включающей апертурную антенну диаметром 9 м для работы в L-диапазоне и 9 многолучевых антенн Ка-диапазона с управляемыми лучами. Такая антенная система, а также использование технологии обработки сигналов и маршрутизации трафика на борту КА обеспечат высокую гибкость использования радиоресурса. Запуск КА Inmarsat-6 и включение их в состав орбитальной группировки ССС Inmarsat намечены на 2020 г.

Наземный сегмент ССС Inmarsat имеет следующий состав.

а) средства контроля и управления спутниковой группировкой:

- центры управления КА (Satellite Control Centre – SCC): основной и резервный;
- командно-измерительные станции (TT&C Station), расположенные в разных географических районах;

б) средства контроля и управления ССС Inmarsat:

- центр управления сетью (Network Operation Centre – NOC): основной и резервный. Данные центры размещены в г. Лондоне и отвечают за функционирование ССС в целом.
- координирующие станции сети (Network Coordination Station – NCS), которые обеспечивают выделение свободных каналов АТ и шлюзовым станциям в соответствии с заявками абонентов и контроль использования выделенных каналов;
- спутниковые станции сопряжения (Satellite Access Stations – SAS) и центры коммутации сети (GSPS Services Gateway). SAS обеспечивают функционирование сервисов широкополосной передачи данных (ШПД) и персональной голосовой связи.

в) Шлюзовые станции (ШС) или Land Earth Stations (LES) – береговые земные станции (БЗС), которые обеспечивают сопряжение АТ пользователей через КА с наземными телефонными сетями и сетями передачи данных. Каждая ШС имеет двух- или трехзначный цифровой идентификатор и принадлежит государству, на территории которого установлена. В настоящее время функционируют около 20 ШС, расположенных в разных географических районах.

Необходимо отметить, что ССС Inmarsat широко используется государственными и силовыми ведомствами стран НАТО. Так, абонентскими терминалами Inmarsat оборудованы все корабли ВМС и береговой охраны США, а также некоторых стран НАТО. Наряду с этим, АТ Inmarsat получают все более широкое распространение в сухопутных и авиационных подразделениях НАТО, так как их возможности позволяют обеспечить устойчивую связь в движении. Порядка 30% (15 Гбит/с) суммарной пропускной способности сегмента ССС на

основе КА Inmarsat-5 (общий ресурс – около 52 Гбит/с) планирует арендовать Министерство обороны США, рассматривающее эти ресурсы в качестве существенного дополнения к собственной ССС WGS (Wideband Global SATCOM System). При этом, возможность предоставления с помощью КА Inmarsat-5 услуг связи военным потребителям заранее закладывалась в данные КА на этапе их разработки путем учета требуемых характеристик по надежности и безопасности стандартов военной связи США и НАТО. По замыслу разработчиков КА Inmarsat-5, эта система будет обеспечивать связь в Ка-диапазонах как по коммерческим, так и по военным стандартам связи, что потребует минимальной модификации действующих военных средств спутниковой связи при их подключении к ССС Inmarsat. Услуги военной связи на основе КА Inmarsat-5 позволят обеспечить выполнение большинства требований, связанных с внедрением новых принципов построения информационных систем Минобороны США на базе «облачных технологий», а также интегрировать арендованные ресурсы ССС Inmarsat в комплексную архитектуру военной системы спутниковой связи на основе ССС WGS и MUOS.

2. Организация связи в ССС Inmarsat на основе космических аппаратов различных поколений

2.1. Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-3

Организация связи в ССС Inmarsat на основе КА типов Inmarsat-3 и Inmarsat-4 ведется исключительно в С и L диапазонах.

КА типа Inmarsat-3 основаны на платформе AS-4000. Антенная система данных КА формирует в активной зоне (±65° от подспутниковой точки) 1 глобальный луч земного охвата в С-диапазоне и 5 региональных лучей в L-диапазоне (рис. 1). Канальный ресурс КА составляют 46 стандартных каналов с полосами от 0,9 до 2,2 МГц.

Бортовой ретрансляционный комплекс КА Inmarsat-3 включает в себя 2 ретранслятора мобильной спутниковой связи (C/L-диапазонов и L/C-диапазонов) и 3 специализированных ретранслятора.

1) Ретранслятор L/C-диапазонов (ЭИИМ – 27 дБВт):
- частоты в направлении АТ → КА: 1626,5-1660,5 МГц;
- частоты в направлении КА → ШС: 3600-3629 МГц.

2) Ретранслятор C/L (ЭИИМ – 39/47,3 дБВт (глобальный луч / региональный луч):
- частоты в направлении ШС → КА: 6425-6454 МГц;
- частоты в направлении КА → АТ: 1525-1559 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.

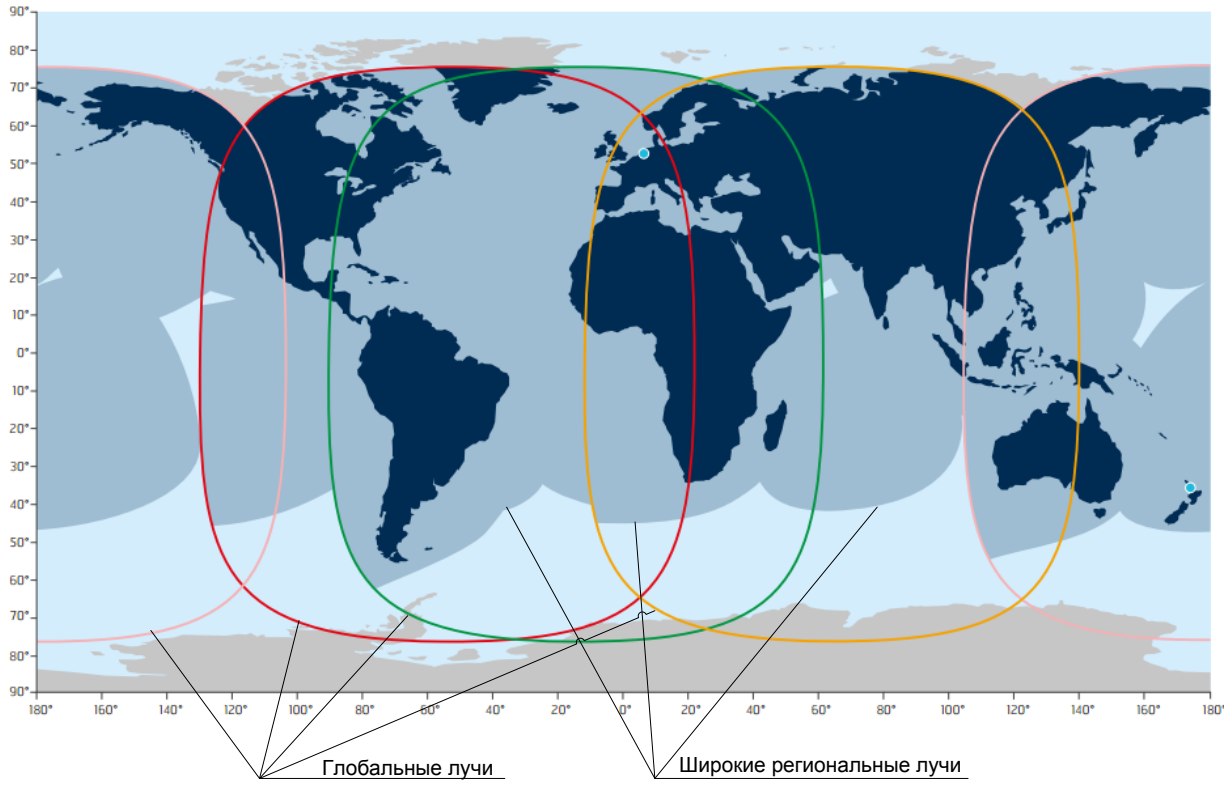

Рис. 1. Зона покрытия сегмента ССС Inmarsat
на основе КА типа Inmarsat-3

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 КА Inmarsat-3 диапазонов C/L и L/C является возможность повторного использования частот L-диапазона путем реализации в абонентских каналах связи поляризации различной направленности (правой и левой). Аналогично, прием (передача) в C-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 КА 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 КА 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 КА Inmarsat-3 заключаются в следующем:

- использование на борту КА передающих антенн, формирующих в L-диапазоне узкие лучи диаграмм направленности (5 широких лучей на КА) с ЭИИМ до 48 дБВт (наряду с наличием глобальной зоны);
- поляризационное уплотнение сигналов в C-диапазоне (вводится круговая поляризация правого направления вращения);
- прямая служебная связь в C-диапазоне стационарных ШС в ССС для синхронизации и управления ССС.

Кроме того, на КА Inmarsat-3 установлено навигационное оборудование, совместимое с оборудованием глобальной системы позиционирования GPS.

Использование КА Inmarsat-3 в составе ССС Inmarsat позволило:

- внедрить использование терминалов стандартов Inmarsat-miniM (Inmarsat-mM) и Inmarsat-M4 (варианты 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 микро-АТ Inmarsat-mM и Inmarsat-M4.

2.2. Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-4

КА типа Inmarsat-4 созданы на платформе Eurostar-3000GM. В настоящее время на КА Inmarsat-4 приходится основная нагрузка, поступающая от АТ в ССС Inmarsat.

Антенная система КА 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 C-диапазоне (2 отдельные антенны на прием и передачу) – 1 глобальный луч земного охвата (рис. 2, 3, таблица 3). Канальный ресурс КА Inmarsat-4 составляют 630 стандартных каналов с полосой частот 200 кГц.

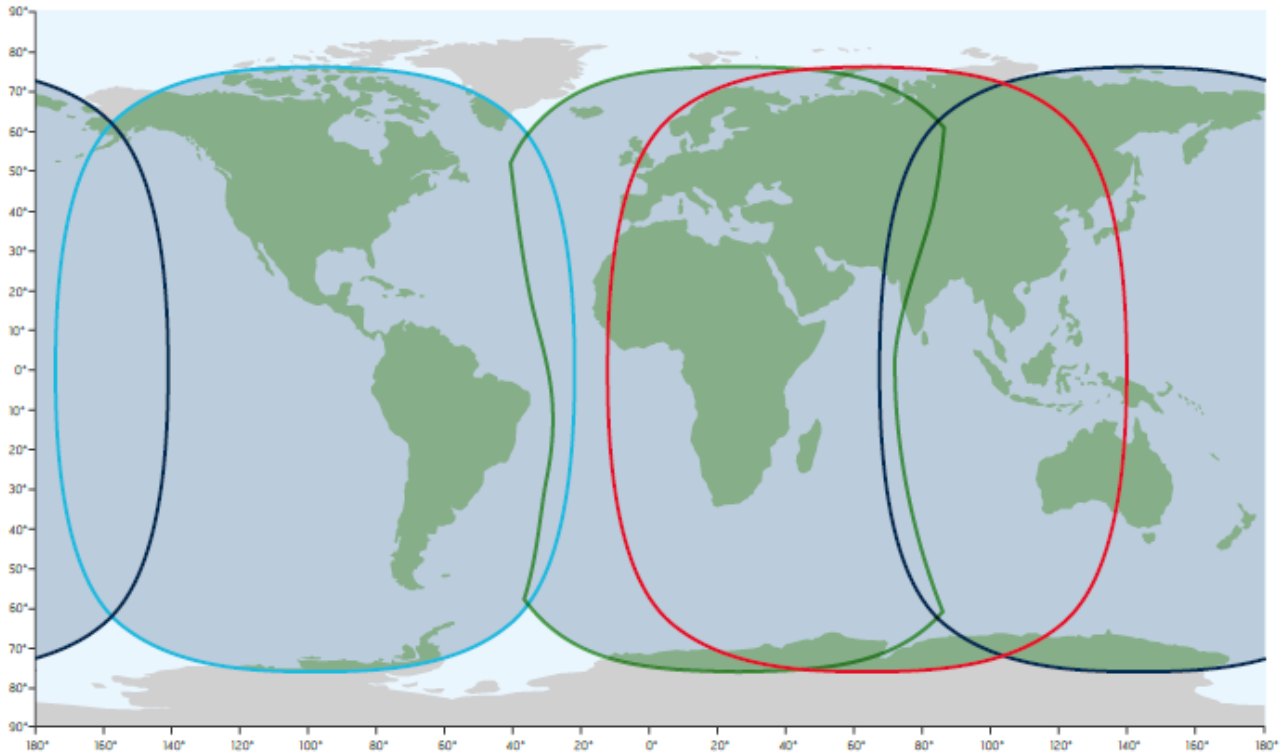

Рис. 2. Зона покрытия Земли глобальными лучами
КА типа Inmarsat-4 (F1, F2, F3, F4)

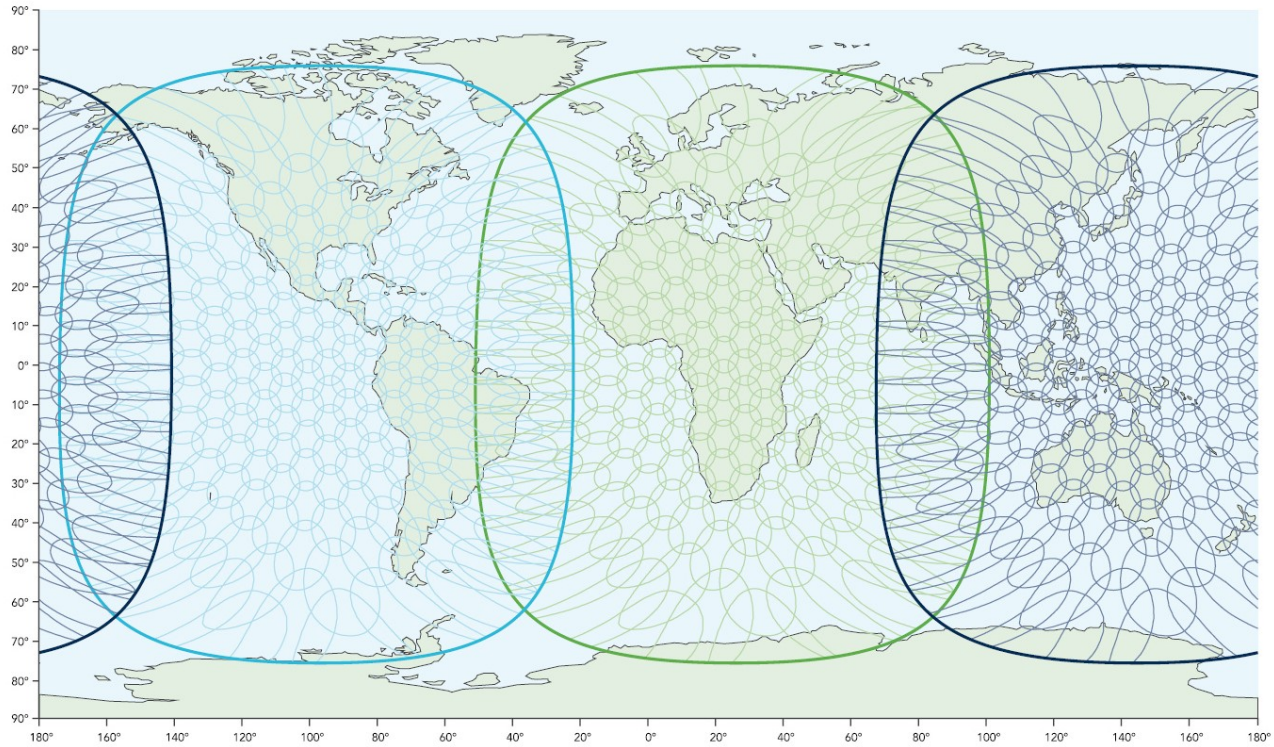

Рис. 3. Пример формирования широких региональных лучей
КА F1, F2, F3 типа Inmarsat-4

Таблица 3 – Ориентировочные характеристики линий «вниз» КА Inmarsat-4

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

Особенностью КА Inmarsat-4 по сравнению с Inmarsat-3 является следующее.

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

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

3. Расширены частотные диапазоны линий «вверх»/«вниз» до 1626,5-1660,5, 1668-1675 / 1518-1660,5 МГц в абонентских линиях и до 6425-6575 / 3550-3700 МГц – в фидерных.

Стандарт BGAN обеспечивает большинство современных связных услуг (передача речи, факсов, доступ в Internet, 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 услуг связи по стандарту BGAN КА Inmarsat-4 могут предоставлять остальные стандартные связные услуги ССС Inmarsat. Стандартные услуги ССС Inmarsat в КА 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 КА Inmarsat-4 узкими лучами покрыта практически вся территория в зоне радиовидимости КА.

Внедрение стандарта BGAN потребовало использования большого числа новых технологических решений. Важнейшим новым элементом КА 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 КА достигается 20-кратный коэффициент использования частот в L-диапазоне.

В L-диапазоне на борту КА Inmarsat-4 используется приемопередающая антенна диаметром 9×12 м (80 м^2) с 120-ю облучающими элементами (дополнительно 30 элементов находятся в резерве) мощностью по 15 Вт каждый, расположенными в виде 2,5 м облучателя на торце КА. Антенная система КА Inmarsat-4 обеспечивает формирование 3 видов лучей в L-диапазоне: 229 узких лучей, 19 широких региональных лучей и 1 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 КА реализуется поляризационное уплотнение линии «вниз» – используются оба вида круговой поляризации (правая и левая).

На КА Inmarsat-4 используется одна из наиболее сложных схем обработки и коммутации сигналов на борту (ОСБ). Как результат – используемый в КА 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 КА Inmarsat-4 для обслуживания АТ производится на основе базовых каналов с полосой 200 кГц. Вместе с тем, каналообразующее и коммутационное оборудование КА работает на основе каналов с полосой 100 кГц. Наличие 2-х каналов по 100 кГц в канале 200 кГц позволяет создавать прямые каналы связи между АТ, работающими в одном луче в L-диапазоне.

2.3. Организация связи по технологии BGAN

В настоящее время технология BGAN получила широкое признание у коммерческих и специальных потребителей услуг связи ССС Inmarsat, а АТ BGAN являются самыми широко распространенными АТ у пользователей.

Технология BGAN основана на стандартах UMTS 3GPP и представляет собой наложенную систему канального и сетевого уровня для обеспечения услуги передачи/приема мультимедийных и обычных данных в/из наземных телефонных и IP-сетей.

2.3.1. Каналообразование в линии «вниз»

Каналообразование в линии «вниз» в технологии BGAN ведется путем распределения стандартных каналов с полосой 200 кГц (рис. 4). Причем отдельные каналы по 200 кГц могут гибко перераспределятся между различными лучами с учетом принципа повторного использования частот в пространственно разнесенных лучах (рис. 5).

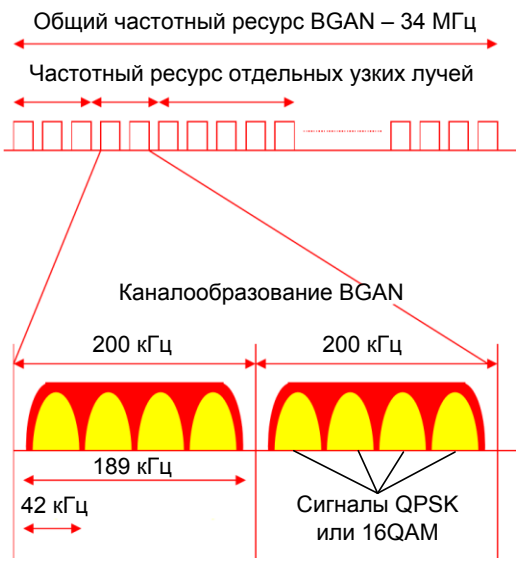

Рис. 4. Каналообразование в стандарте BGAN

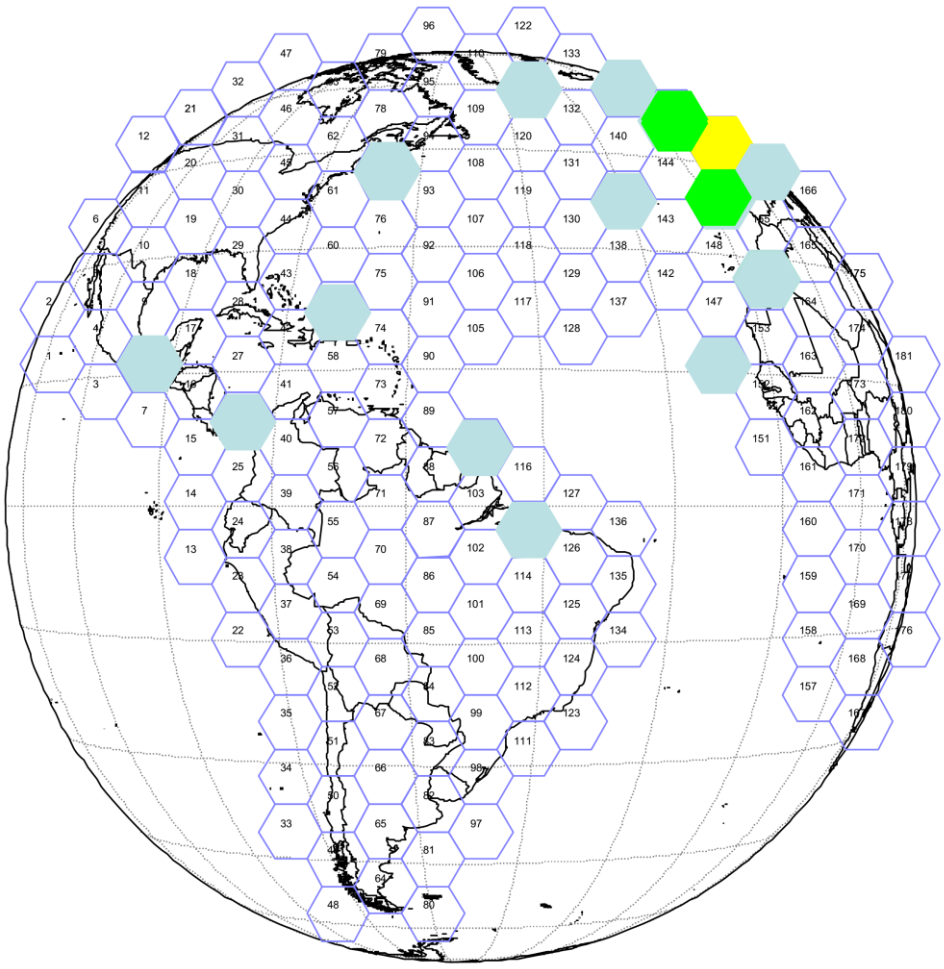

Рис. 5. Пример повторного использования каналов
по 200 кГц в различных лучах

Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вниз» путем использования МДЧР/МДВР (FTDMA) представлено на рис. 6.

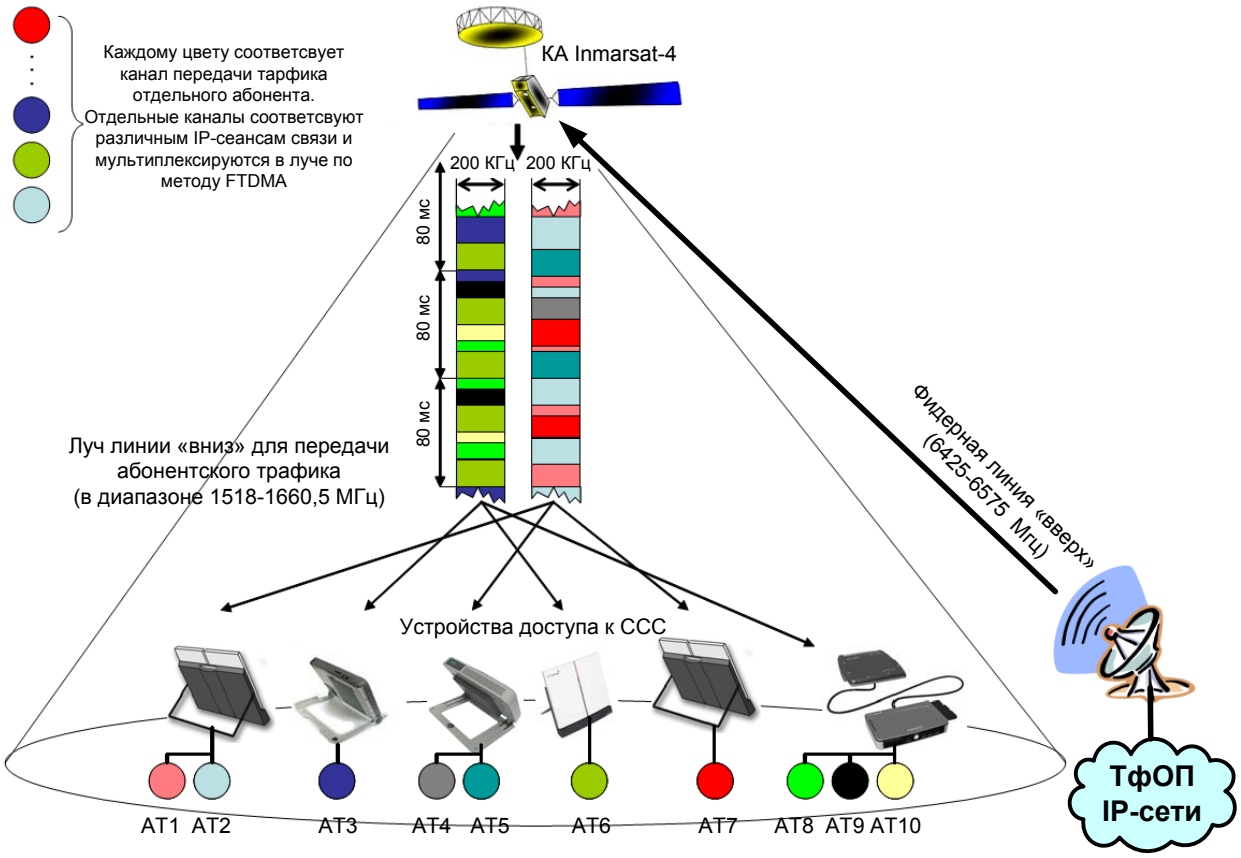

Рис. 6. Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вниз»

Каждый стандартный канал с полосой 200 кГц линии «вниз» использует 4-е несущих, в которых передаются сигналы QPSK или 16QAM с полосой 42 кГц. Передаваемые данные формируется в кадры длительностью 80 мс (рис. 7).

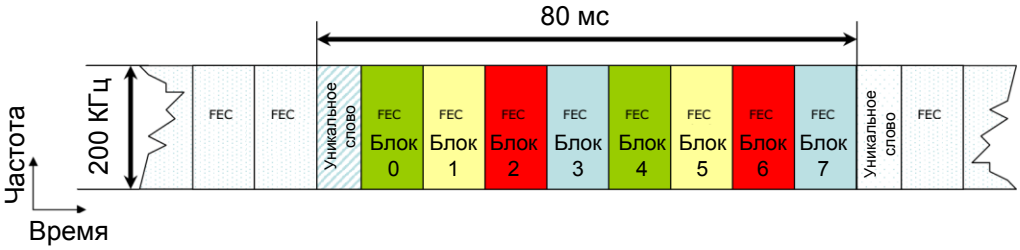

Рис. 7. Частотно-временное мультиплексирование пользовательских данных, передаваемых в стандартном канале линии «вниз»

В каждом кадре длительностью 80 мс формируется уникальное слово и 8 блоков пользовательских данных. Каждый такой блок может использовать собственный вариант помехоустойчивого кодирования. В качестве помехоустойчивого кода используются турбо-кодирование FEC со скоростями кодирования 0,334; 0,642; 0,775; 0,882. Варианты заполнения блоков пользовательским трафиком:

1) 250 байт при скорости кодирования 0,334;
2) 480 байт при скорости кодирования 0,642;

3) 580 байт при скорости кодирования 0,775;

4) 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).

2.3.1. Каналообразование в линии «вверх»

Каналообразование в линии «вверх» в технологии BGAN ведется путем распределения стандартных каналов с полосой 200 кГц и мультиплексирование в них 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 (FTDMA) представлено на рис. 8. Варианты мультиплексирования данных от различных АТ в кадре длительностью 80 мс представлено на рис. 9.

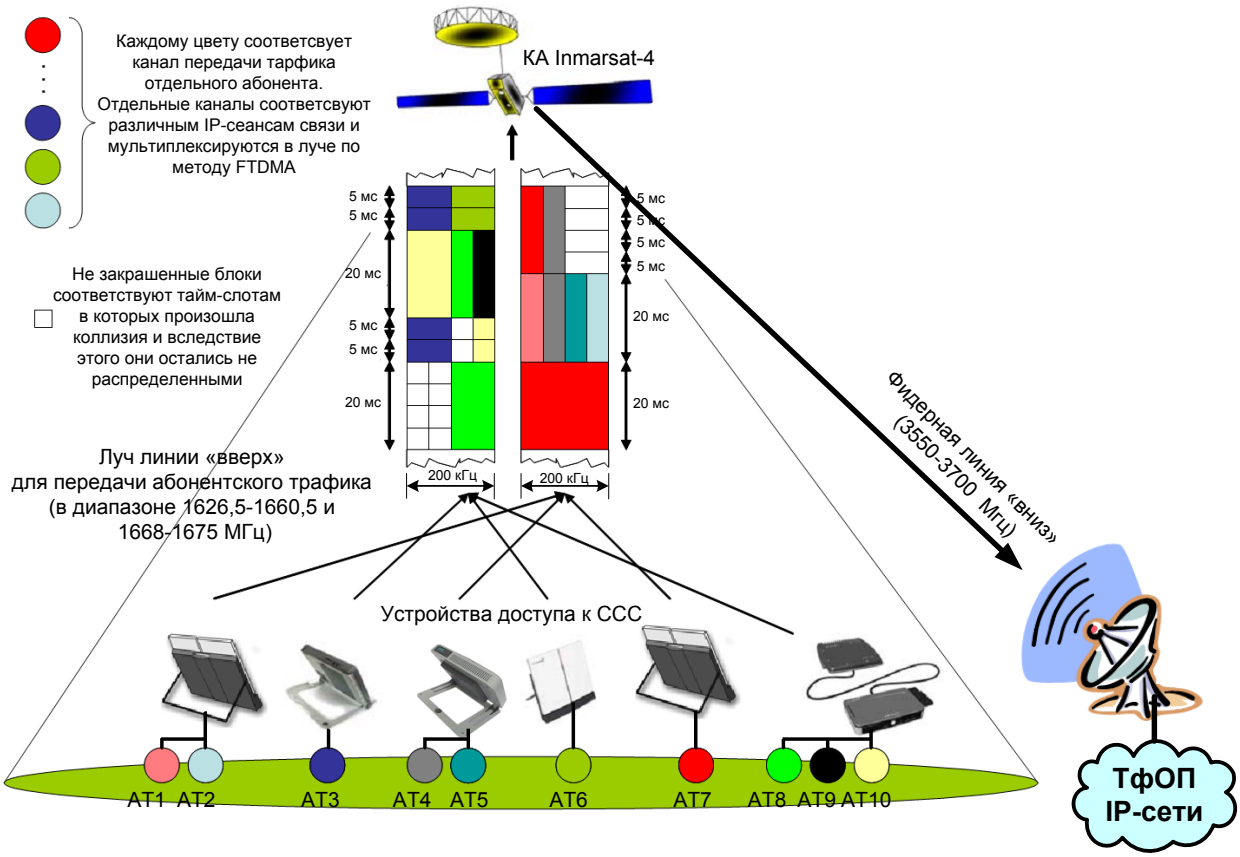

Рис. 8. Организация передачи трафика для различных АТ в луче линии «вверх»

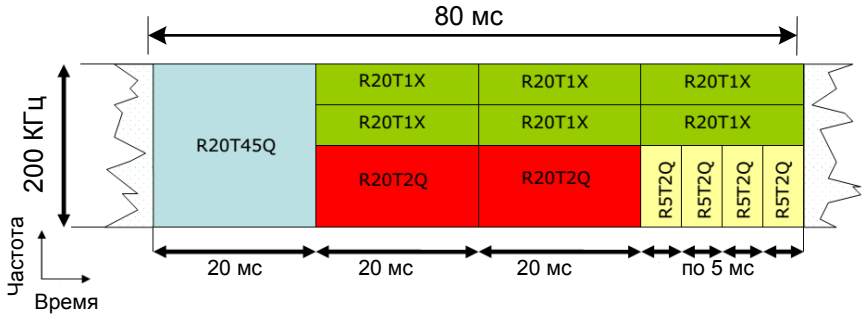

Рис. 9. Частотно-временное мультиплексирование пользовательских данных, передаваемых в стандартном канале линии «вверх»

В составе каждого стандартного канала с полосой 200 кГц линии «вверх» используется 4-е несущих, на которых передаются сигналы QPSK или 16QAM с полосой 42 кГц. Передаваемые данные формируются в кадры длительностью 80 мс, в которые трафик АТ мультиплексируется в блоки по методу FTDMA. Выделение блоков организуется по протоколу S-Aloha. Варианты заполнения блоков пользовательским трафиком:

1) 8,3 ксимв/с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота 5 мс;
2) 33,2 ксимв/с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота 20 мс;
3) 33,2 ксимв/с – сигнал 16QAM, длительность тайм-слота 5 мс;
4) 67,2 ксимв/с – сигнал QPSK, длительность тайм-слота 20 мс;
5) 151,2 ксимв/с – сигнал 16QAM, длительность тайм-слота 20 мс.

В качестве помехоустойчивого кода используются турбо-кодирование FEC. Выбор конкретной сигнально-кодовой комбинации определяется текущими условиями сигнально-помеховой обстановки.

Каждый блок АТ имеет следующую структуру:

1) защитный интервал TDMA (Guard Time – GT) – 0,36 мс;
2) преамбула или кодовое слово (Code Word – CW) – 18 симв;
3) начальное уникальное слово – 40 симв;
4) данные пользователя – количество данных определяется в зависимости от того, какой блок используется для передачи 5 или 20 мс;
5) конечное уникальное слово – 20 симв.

2.4 Организация связи на основе космических аппаратов Inmarsat-5

КА типа Inmarsat-5 созданы на платформе BBS-702HP. Данные КА (другое наименование – Global Express) предназначены для обеспечения высокоскоростной связи для различных категорий пользователей, включая военные и государственные структуры. Использование Ка-диапазона позволило в 20 раз увеличить пропускную способность каналов и линий связи по сравнению с работающими в L-диапазоне космическими и наземными средствами 3-го и 4-го поколений.

На борту КА установлена аппаратура связи двух типов:

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

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

Антенная система КА типа Inmarsat-5 формирует в Ка-диапазоне:

1) 89 широких региональных лучей в земном охвате подспутниковой зоны (рис. 10), которые обеспечивают функционирование аппаратуры GP, и коммутируются на 144 ретранслятора КА с шириной полосы по 40 МГц каждый;
2) 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 Ка-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 (6 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.

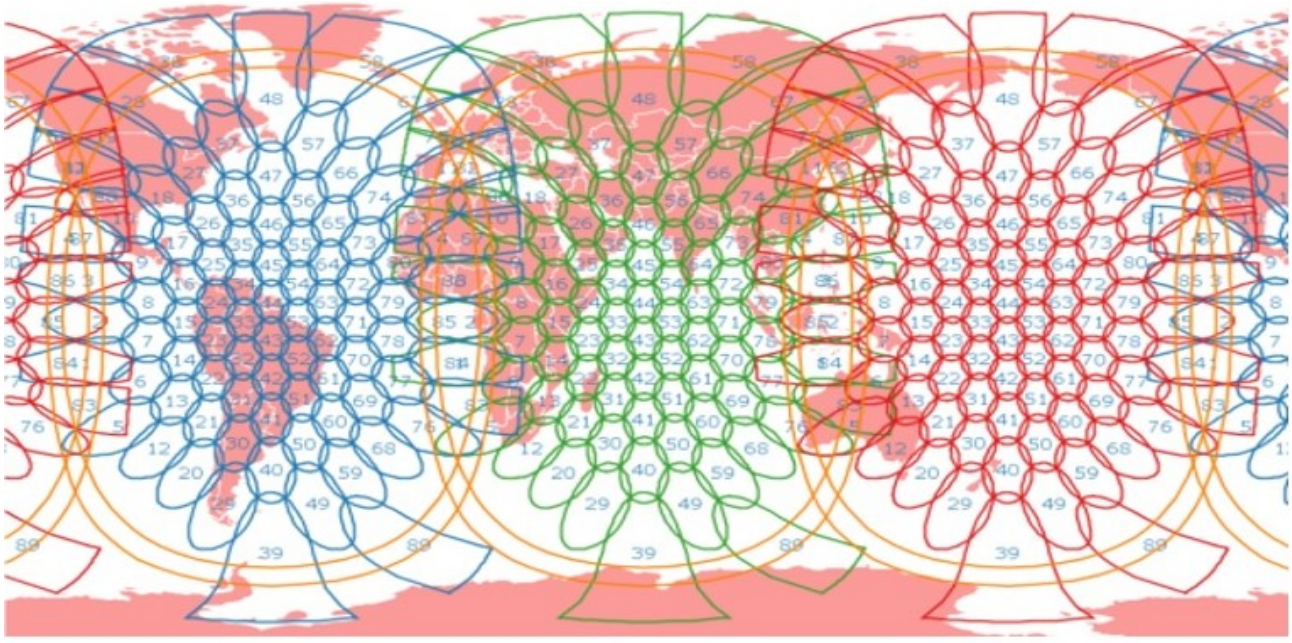

Рис. 10. Пример формирования широких региональных лучей
КА F1, F2, F3 типа Inmarsat-5

По сравнению с технологией BGAN Inmarsat-4 в технологии Global Xpress Inmarsat-5 изменились распределение каналов и используемых в них сигналов.

В качестве стандартного канала в технологии Global Xpress 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 (таблица 4). В абонентских каналах в линии «вверх» использовано MF/TDMA мультиплексирование пользовательских данных. Все это позволило обеспечить повышение скоростей передачи данных в технологии Global Xpress до 5 Мбит/с в абонентских каналах «верх» и до 50 Мбит – в каналах «вниз».

Таблица 4 – Параметры адаптивного выбора сигнально-кодовой конструкции для канала DVB-S2

ОСШ в полосе частот канала, дБ	Тип сигнала	Скорость кодирования *R*	Коэффициент эффективности спектра, (бит/с)/Гц
–2,35	QPSK	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	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	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	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

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

3. Наземные абонентские терминалы в ССС Inmarsat

Абонентское оборудование для сети Inmarsat GX производят компании-партнеры Inmarsat, при этом в сети возможна работа только АТ одобренных компанией Inmarsat, 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 1-я – опознаватель стандарта Inmarsat, следующие 3 цифры – код страны, которой принадлежит АТ (Maritime Identification Digits – MID), остальные три (пять) цифры – номер, присвоенный данной СЗС. 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 (answerback) АТ состоит из идентификационного номера, за которым следуют четыре буквы (как правило, позывной сигнал Call Sign судовой радиостанции).

В ССС 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, Global Xpress).

В связи с выработкой ресурса КА типов Inmarsat-2 и Inmarsat-3 часть стандартного наземного оборудования ССС Inmarsat в период до 2017 г. была выведена из эксплуатации. К такому оборудованию относятся АТ стандартов: Inmarsat-A, Inmarsat-B, Aero-mini-M, Inmarsat-mini-M, Inmarsat-M4 GAN.

В настоящее время в ССС Inmarsat используются следующие стандарты связи.

- Inmarsat-C – стандарт ССС 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 GPS, 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. Стандарт Inmarsat-C обеспечивают следующие связные услуги:

а) обмен сообщениями (судно-судно);
б) отправка сообщений на e-mail (судно-берег, берег-судно);
в) отправка сообщений на электронный ящик PSDN;
г) отправка факсимильных сообщений (судно-берег);
д) отправка расширенного группового вызова на терминалы Inmarsat-C (EGC);
е) передача телексных сообщений;
ж) отправка географических координат, курса, скорости (Data Reporting);

- Inmarsat Fleet используется для обеспечения связью морских абонентов. АТ Fleet делятся на 3 типа:

а) Fleet-77 (введен в эксплуатацию в 2002 г.) – телефонная и факсимильная связь в канале ISDN (64 кбит/с) в зоне земного охвата;
б) Fleet-33 (введен в эксплуатацию в 2003 г.) – телефонная и факсимильная связь со скоростью 9,6 кбит/с в зоне земного охвата и в региональных лучах;
в) 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 Fleet обеспечивает определенный набор услуг связи. 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 функциональ-

ность, 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. АТ 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:
  а) Aero-L – обеспечивает низкоскоростную передача данных (600 бит/с) в реальном масштабе времени. АТ Aero-L в основном устанавливаются на вертолеты и легкие воздушные суда. Стандарт соответствует требованиям Международной организации гражданской авиации (ICAO – International Civil Aviation Organization) по обеспечению безопасности и управления воздушным транспортом.
  б) 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.
  в) 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 региональных лучей.
  г) Aero-H+ обеспечивает многоканальную телефонную и факсимильную связь, а также передачу данных в интересах пассажиров и экипажей воздушных судов. Стандарт Aero-H+ работает через КА 3-го и 4-го поколения и использует технологию региональных лучей.
- Inmarsat BGAN – 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 BGAN введена в эксплуатацию в 2005 г., функционирует через КА 4-го поколения и ШС сопряжения, принадлежащие компании Inmarsat. Сеть обеспечивает глобальное покрытие территории земного шара (за исключением полярных областей). Сеть Inmarsat BGAN обес-

печивает 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 BGAN HDR – аналог стандарта Inmarsat BGAN, в котором используются повышенные скорости передачи данных и потокового видео (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 GPS приемником, а также цифровым и аналоговым портами для подключения датчиков. Система очень востребована на морском рынке, так как с её помощью суда могут передавать информацию об уровне топлива, температурных режимах двигателя, а также о скорости передвижения.
- IsatM2M – глобальный сервис хранения и пересылки сообщений между оборудованием «Machine-to-Machine» на невысоких скоростях для отслеживания, мониторинга и контроля объектов и операций. Стандарт 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 море. 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 КА Inmarsat 4-го поколения и станции ШС, принадлежащие компании Inmarsat. Предоставляемые услуги связи: телефонная связь; голосовая почта; передача текстовых сообщений и сообщений; e-mail; определение координат местоположения.
- Global Xpress – обеспечивает высокоскоростную передачу (до 5 Мбит/с) и прием (до 50 Мбит/с) данных, а также поддержку современных стандартов связи: DVB-S2, DVB-RSC, I-Direct, IPv4/IPv6.

Таблица 5 – Ориентировочные характеристики некоторых АТ Inmarsat-C

Диапазон		Скорость передачи/ приема, кбит/с	ЭИИМ, дБВт	G/T, дБ/К	Тип антенны	Размер антенны, м	Коэф. усиления антенны (прием/ передача), дБ	Используемые сигналы
линия «вверх», МГц	линия «вниз», МГц							
1626,5-1646,5	1530-1545	0,6	10-14	-23	квадрифилярная спиральная	0,3	8-10 дБ	QPSK

Таблица 6 – Ориентировочные сравнительные характеристики некоторых АТ Inmarsat-C, Inmarsat-D, BGAN, Aero-H, IsatPhone

Наименование параметра	Inmarsat-C	Inmarsat-D	BGAN (включая Fleet Broad band, Swift Broad band)	Aero-H	IsatPhone
Полосы радиочастот в линиях «вверх» / «вниз», МГц	1626,5-1660,5 / 1525-1559				
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 мощность излучения на выходе передатчика, дБВт	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, дБВт/Гц	-17,8	-19	-23	-32,8	-44
Приемник:					
Чувствительность радиоприемника, не хуже, дБВт	-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 среднесрочной перспективе продолжится использование аппаратуры следующих стандартов:

- Inmarsat-C и Inmarsat-Mini-C;
- Fleet-33, Fleet-55, Fleet-77;
- Isatphone и Isatphone Pro;
- BGAN и BGAN HDR;
- Global Xpress.

В настоящее время широкое распространение получили АТ типа BGAN. При этом в среднесрочной перспективе, наиболее востребованными АТ будут терминалы, работающие через КА Inmarsat-4 с поддержкой услуг связи BGAN, FleetBroadband и SwiftBroadband, а также терминалы, работающие через КА Inmarsat-5 с поддержкой услуг связи нового поколения на основе стандарта Global Xpress.

Основными типами мобильных АТ стандарта BGAN является оборудование Explorer-110, -300, -500, -510, -710, HNS-BGAN-9201, -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 пример АТ Explorer-110 как штатного средства связи по технологии BGAN в ССС Inmarsat. Данный АТ реализует связь в L-диапазоне КА Inmarsat-4, работает с 4-мя несущими и требует снижения уровня входного сигнала 3 дБ. Коэффициент усиления антенны АТ, как на прием, так и на передачу равен 8,5 дБ. На линии «вверх» обеспечивается ЭИИМ в 10 дБВт на одну несущую.

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

Таблица 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 5^0 К), дБ/К	-7	-15	-15
ЭИИМ, дБВт	22	15,1	15,1
Тип антены	Направленная	Направленная	Направленная

Двухканальная аппаратура SwiftBroadband создана для обеспечения связью самолетов и вертолетов и включает в себя оборудование AeroH+ 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 БПЛА через КА типа Inmarsat-4 в наземные системы связи, включая сотовые сети стандарта GSM.

В связи с запуском КА типа Inmarsat-5 был разработан ряд малогабаритных АТ наземного, морского и воздушного базирования, предназначенных преимущественно для обеспечения связи в движении. АТ стандарта Global Xpress производит компания Cobham. На основе стандарта Global Xpress возможна работа АТ VSAT одобренных компанией Inmarsat и специально разработанных для отдельного вида транспорта: морского, наземного и авиационного с диаметром антенных систем от 0,3 до 1,8 м. Скорости передачи данных при этом могут достигать до 50 Мбит/с в абонентском канале линии «вниз» и до 5 Мбит/с – в абонентском канале линии «вниз». 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 КА 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, использование современных протоколов IPv4/IPv6, включая Интернет-телефонию.

Заключение

В статье представлена описательная модель геостационарной ССС Inmarsat. Данная модель может использоваться для формирования исходных данных при формализации связных процессов в отечественных геотсационарных ССС в случае, если в качестве их прототипа используется ССС Inmarsat. Кроме того, данная модель может быть использована при проектировании АТ, функционирующих совместно с ССС Inmarsat, в перспективных проектах обеспечения услугами связи морских и воздушных судов, автомобильного транспорта, а также глобальных информационно-телеметрических систем мониторинга.

Литература

1. Буйдинов Е. В., Кузовкова Т. А., Шаравова О. А. Методика и результаты оценки внешней эффективности развития инфраструктуры спутниковой связи на основе метода экстерналий // Электросвязь. 2018. № 4. С. 29-33.

2. Кузовкова Т. А., Кузовков Д. В., Шаравова О. И. Методические особенности комплексной оценки эффективности инфраструктурных проектов развития спутниковой связи // Век качества. 2017. № 1. С. 97-109.

3. Аджемов А. С., Буйдинов Е. В., Кузовкова Т. А. Применение интегральной модели для оценки эффективности построения системы спутниковой связи // Электросвязь. 2016. № 4. С. 25-29.

4. Ильин А. А. К расчету параметров спутниковых радиолиний для связи с нефтеперерабатывающей платформой // Вестник государственного

университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3 (25). С. 19-23.

5. Маринич А. Н., Припотнюк А. В., Устинов Ю. М. Мониторинг судов на трассах северного морского пути с помощью спутниковых систем связи // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2016. № 6 (40). С. 184-205.

6. Росторгуева Н. Ю., Юсупов Л. Н. Вариативность качества обмена информацией с морским объектом через спутники с адаптивной диаграммой направленности антенн в системе Inmarsat // Транспортное дело России. 2014. № 4. С. 3-6.

7. Бугаев П. А. Анализ современных станций системы Inmarsat // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений. Труды научно-технической конференции. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2018. – С. 35-42.

8. Inmarsat maritime communications handbook. Issue 4. 2004. – URL: http://seaworm.narod.ru/12/Inmarsat_Maritime_Handbook.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

9. Ornes A. Satellite Services Inmarsat. Communications for Disaster and Emergency Response [Доклад]. 2012. – 25 с. – URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Emergency-Telecommunications/Documents/Bogota_2012/presentation/PresentationAlejandraOrnesEn.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

10. Inmarsat Group Limited Interim Results 2016. – London, 2016. – 168 с. – URL: https://www.companyreporting.com/sites/default/files/annual-report-index/inmarsat-annual-report-2016.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

11. Pelton J. N., Madry S., Camacho-Lara S. Handbook of Satellite Applications. – Cham: Springer, 2017. – 1556 с.

12. Cochetti R. Mobile satellite communications handbook. – Hoboken: John Wiley & Sons Inc, 2015. – 249 с.

13. Крылов А. Спутниковые системы связи и вещания. Состояние и перспективы развития. – М., 2014. – 182 с.

14. Персональная подвижная спутниковая связь. Конспект лекций. – Красноярск, 2016. – 60 с.

15. Chini P., Giambene G., Kota S. A survey on mobile satellite systems // International journal of satellite communications. 2010. Vol. 28. P. 29-57.

16. Ильин А. А. Цифровые терминалы спутниковых системы связи. Монография. – СПб.: Деан, 2005. – 189 с.

17. Maksimov V. Inmarsat Maritime Safety Services today and tomorrow. [Доклад]. 2013. – 28 с. – URL: http://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/CPRNW/WWNWS2/WWNWS2-3-4-2A.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

18. Inmarsat satellite system // Morsviazsputnik [Электронный ресурс]. 2018. – URL: https://www.marsat.ru/technologies-inmarsat-satellite-system (дата доступа: 15.10.2018).

19. Trachtman E. Broadband for a mobile planet. BGAN, Its Extension and Evolution [Доклад]. 2006. – 41 с. – URL: http://kosst.or.kr/data/Eyal.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

20. Boeing Commercial Satellite Services. Inmarsat-5: Overview Brief for Arctic [Доклад]. 2014. – 12 с. – URL: https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/boeing_satcom_for_alaska1.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

21. Система Global Xpress в диапазоне Ка. Inmarsat [Доклад]. – 13 с. – URL: https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2011/CrossReg_BWA_Chisinau_October11/Presentations/CrossReg_Broadband_2011_Presentation_P26.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

22. Rossbacher Sh. Inmarsat Global Xpress [Доклад]. 2012. – 17 с. – URL: https://www.thedigitalship.com/conferences/presentations/2012hamburg/day1/DS_hamburg12_Shane_Rossbacher_Inmarsat.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

23. Koulikova Yu., Roberti L. Global Xpress [Доклад]. 2012. – 16 с. – URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/iturka.band/c/R12-ITURKA.BAND-C-0002!!PDF-E.pdf (дата доступа: 15.10.2018).

References

1. Buydinov E. V., Kuzovkova T. A., Kuzovkov D. V. The rationale for the selection of effective satellite communications project based on expert qualimetry method. *Electrosvyaz*, 2018, no. 4, pp. 25-33 (in Russian).

2. Kuzovkova T. A., Kuzovkov D. V., Sharavova O. I. Methodological features of complex evaluation of efficiency of infrastructure projects of satellite communication. *Age of Quality*, 2017, no. 1, pp. 97-109 (in Russian).

3. Adjemov A. S., Buydinov E. V., Kuzovkova T. A. The application of the integrated model to assess the effectiveness of constructing a system of satellite communication. *Electrosvyaz*, 2016, no. 4, pp. 25-29 (in Russian).

4. Ilin A. A. Parameters calculations of satellite radio links for communication with oil-extracting platform. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2014, vol. 35, no. 3, pp. 19-23 (in Russian).

5. Marinich A. N., Pripotnyuk A. V., Ustinov Yu. M. Monitoring of ships along the northern sea route using satellite communication systems. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2016, vol. 40, no. 6, pp. 184-205 (in Russian).

6. Rostorgueva N. Ju., Yusupov L. N. Variability in the quality of information exchange from offshore facilities via satellite with adaptive radiation pattern of antennas in the Inmarsat system. *Transport business in Russia*, 2014, no. 4, pp. 3-6. (in Russian).

7. Bugayov P. A. Analysis of modern Inmarsat system stations. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya, postrojki i ehkspluatatsii morskikh sudov i sooruzhenij. Trudy nauchno-tekhnicheskoj konferentsii* [Topical issues of design, construction and operation of ships and structures. Proceedings of the scientific and technical conference]. Sevastopol, Sevastopol State University, 2018, pp. 35-42 (in Russian).

8. *Inmarsat maritime communications handbook*. Issue 4. 2004. Available at: http://seaworm.narod.ru/12/Inmarsat_Maritime_Handbook.pdf (accessed 15 October 2018).

9. Ornes A. *Satellite Services Inmarsat. Communications for Disaster and Emergency Response*. 2012. 25 p. Available at: https://www.itu.int/en/ITU-D/Emergency-Telecommunications/Documents/Bogota_2012/presentation/PresentationAlejandraOrnesEn.pdf (accessed 15 October 2018).

10. *Inmarsat Group Limited Interim Results 20*16. London, 2016. 65 p. Available at: https://www.companyreporting.com/sites/default/files/annual-report-index/inmarsat-annual-report-2016.pdf (accessed 15 October 2018).

11. Pelton J. N., Madry S., Camacho-Lara S. *Handbook of Satellite Applications*. Cham, Springer, 2017. 1556 p.

12. Cochetti R. *Mobile satellite communications handbook*. Hoboken, John Wiley & Sons Inc, 2015. 249 p.

13. Krylov A. Sputnikovye sistemy sviazi i veshchaniia. Sostoianie i perspektivy razvitiia [Satellite communication and broadcasting systems. Status and prospects of development]. Moscow, 2014. 182 p. (in Russian).

14. *Personalnaia podvizhnaia sputnikovaia sviaz* [Personal mobile satellite communication]. Krasnoiarsk, 2016. 60 p (in Russian).

15. Chini P., Giambene G., Kota S. A survey on mobile satellite systems. *International journal of satellite communications*, 2010, vol. 28, pp. 29-57.

16. Ilin A. A. *Tsifrovye terminaly sputnikovykh sistemy svyazi. Mon*ografiya [Digital terminals of satellite communication systems. Monograph]. Saint Petersburg, Dean Publ., 2005. 189 p.

17. Maksimov V. *Inmarsat Maritime Safety Services today and tomorrow*. 2013. 28 p. Available at: http://www.iho.int/mtg_docs/com_wg/CPRNW/WWNWS2/WWNWS2-3-4-2A.pdf (accessed 15 October 2018).

18. Inmarsat satellite system. *Morsviazsputnik*, 2018. Available at: https://www.marsat.ru/technologies-inmarsat-satellite-system (accessed 15 October 2018).

19. Trachtman E. *Broadband for a mobile planet. BGAN, Its Extension and Evolution*. 2006. 41 p. Available at: http://kosst.or.kr/data/Eyal.pdf (accessed 15 October 2018).

20. *Boeing Commercial Satellite Services. Inmarsat-5: Overview Brief for Arctic*. 2014. 12 p. Available at: https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/boeing_satcom_for_alaska1.pdf (accessed 15 October 2018).

21. *Global Xpress System of Inmarsat*. Available at: https://www.itu.int/ITU-D/tech/events/2011/CrossReg_BWA_Chisinau_October11/Presentations/CrossReg_Broadband_2011_Presentation_P26.pdf (accessed 15 October 2018).

22. Rossbacher Sh. *Inmarsat Global Xpress*. 2012. 17 p. Available at: https://www.thedigitalship.com/conferences/presentations/2012hamburg/day1/DS_hamburg12_Shane_Rossbacher_Inmarsat.pdf (accessed 15 October 2018).

23. Koulikova Yu., Roberti L. *Global Xpress*. 2012. 16 p. Available at: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/12/iturka.band/c/R12-ITURKA.BAND-C-0002!!PDF-E.pdf (accessed 15 October 2018).

Статья поступила 20 октября 2018 г.

Информация об авторе

Макаренко Сергей Иванович – кандидат технических наук, доцент. Заместитель генерального директора по научной работе. ООО «Корпорация «Интел Групп». Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197372, Санкт-Петербург, Богатырский пр., д. 32, корп. 1, лит. А, офис 6Н.

Descriptive Model of Inmarsat Satellite Communication System

S. I. Makarenko

Relevance. *New promising projects such as a sea route, the development of minerals, the information and telemetric systems for monitoring air, sea and land transport require global communication service. Geostationary satellite communication systems (GSCS) provide uninterrupted and stable global communication for all users. Currently GSCS projects are being created in Russia. Simultaneously the technical decision making of GSCS requires the source data for modeling various ways of building the communication services. GSCS Inmarsat, which is a prototype of new Russian GSCS, can be used for form that kind of the source data.* ***The aim of the paper*** *is to form a descriptive model of GSCS Inmarsat. The descriptive model will be used for development of the source data for create of the new Russian GSCS. Only open sources were used to develop the descriptive model of the GSCS Inmarsat.* ***Results and their novelty****. The element of practical novelty of the paper is the revealed general technological features of GSCS by the example of GSCS Inmarsat. In particular, general principles of formation of orbital grouping satellites with next generation satellites, organization channel in "up" and "down" lines, using of signal-code structures in channels are described.* ***Practical significance.*** *Technical specialists to justify new technological solutions for the new Russian GSCS will use the descriptive model, which is presented in the paper. In addition, the model will be helpful for scientists who conduct research in the field of satellite communications.*

Keywords*: model, descriptive model, satellite communication system, mobile satellite communication system, Inmarsat.*

Information about Author

Sergey Ivanovich Makarenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Docent. Chief designer. “Intel Group Corporation” ltd. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197372, Saint Petersburg, Bogatyrskiy prospect, 32, korp. 1A, office 6N.