

УДК 629.78

Описательная модель системы спутниковой связи WGS

Макаренко С. И., Михайлов Р. Л.

Актуальность. Обеспечение услугами связи подразделений, защищающих интересы России за ее пределами, требует создания спутниковых систем связи (ССС) специального назначения, обладающих глобальной зоной покрытия Земли. В настоящее время в России разрабатывается несколько таких проектов. При этом обоснование технических решений для этих СССР требует формирования исходных данных для моделирования различных вариантов организации связи. Для формирования таких исходных данных может быть использована другая технологически развитая СССР, обеспечивающая широкополосную связь для оперативно-тактического и стратегического звена вооруженных сил США – Wideband Global Satellite Communications (WGS), которая может рассматриваться как прототип СССР специального назначения. **Целью работы** является формирование описательной модели СССР WGS. Данная описательная модель может использоваться для разработки исходных данных при моделировании связанных процессов в отечественных СССР в интересах научно-обоснованного выбора принципов организации связи в них. Для разработки описательной модели СССР WGS были использованы только открытые источники. **Результаты и их новизна.** Элементом практической новизны работы являются выявленные общие технологические особенности построения и используемые технологические решения в СССР специального назначения на примере системы WGS. В частности, описаны общие закономерности формирования орбитальной группировки, принципы каналообразования в линиях «вверх» и «вниз», а также использование различных технологических решений для повышения эффективности связи. **Практическая значимость.** Представленная в работе описательная модель будет полезна техническим специалистам для обоснования новых технологических решений для отечественных СССР специального назначения. 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, Wideband Global Satellite Communications, WGS.

Введение

Обеспечение услугами связи частей и подразделений силовых ведомств, обеспечивающих защиту интересов Российской Федерации (РФ) за ее пределами, требует создания спутниковых систем связи (ССС) специального назначения. При этом проектирование конкретных средств связи СССР подразумевает проведение предварительного моделирования и расчетов с целью формирования облика соответствующих технических средств. Так, одной из наиболее технологически развитых СССР специального назначения является система Wideband Global Satellite Communications (WGS), эксплуатируемая в интересах вооруженных сил (ВС) США. Таким образом, в интересах формирования исходных данных для моделирования вариантов организации связи в перспективных

Библиографическая ссылка на статью:

Макаренко С. И., Михайлов Р. Л. Описательная модель системы спутниковой связи WGS // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 1. С. 59-94. DOI: 10.24412/2410-9916-2024-1-059-094

Reference for citation:

Makarenko S. I., Mikhailov R. L. Descriptive Model of WGS Satellite Communications System. *Systems of Control, Communication and Security*, 2024, no. 1, pp. 59-94 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2024-1-059-094

отечественных ССС специального назначения, а также технологических решений при создании космических аппаратов (КА) связи в ее составе в статье предложена описательная модель ССС WGS, как наиболее технически развитого прототипа. Описательная модель сформирована на основе информации, представленной в англоязычных научных статьях [1-17, 19-32, 34, 42].

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

По своей сути, данная работа продолжает цикл публикаций авторов [18, 36-41], посвященных формированию описательных моделей систем связи специального назначения [18, 37, 38], а также описательных моделей ССС [36, 39-41].

Материал статьи декомпозирован на ряд подразделов.

1. Назначение и состав ССС WGS.
2. Организация связи в ССС WGS.
 - 2.1. Краткая характеристика бортового связного оборудования КА WGS.
 - 2.2. Частотный план КА WGS.
 - 2.3. Особенности организации связи КА WGS с наземными абонентами.
 - 2.4. Особенности организации связи в фидерных линиях КА WGS.
3. Организация спутниковой связи при управлении войсками на удаленных театрах военных действий.
4. Наземные средства ССС WGS.
 - 4.1. Абонентские терминалы.
 - 4.2. Терминалы шлюзовых станций.

1. Назначение и состав ССС WGS

Система широкополосной спутниковой связи WGS создавалась в интересах предоставления широкополосных услуг связи пользователям оперативно-тактического и стратегического звеньев управления ВС США, а также их союзников. Дополнительными важными задачами, возлагаемыми на ССС WGS, является предоставление высокоскоростных каналов связи для управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и ретрансляция получаемых ими разведывательных данных на наземные центры обработки, а также организация связи с авианосными соединениями, находящимися в акватории Мирового океана. Система WGS должна в ближайшем будущем заменить устаревающую ССС DSCS (Defense Satellite Communication System). Связь в ССС WGS организована в Ka и X диапазонах и обеспечивает передачу всех видов данных, включая поддержку видеоконференцсвязи и передачу мультимедийных данных [18].

В составе ССС WGS предусматривалось иметь до 10 космических аппаратов (КА) на геостационарной орбите (ГСО) и наземную распределенную инфраструктуру. В финансировании создания ССС WGS помимо США также принимали участие другие страны: Австралия, Канада, Дания, Нидерланды, Люксембург и Новая Зеландия, при этом ресурс WGS выделяется и для ВС этих стран [18].

Заказ от руководства ВС США на проектирование CCC WGS получила компания Boeing Satellite Systems в 2001 г. Субподрядчиками являлись компании Harris, отвечавшая за изготовление антенной системы Ка диапазона, ITT Industries – за создание командно-телеметрической системы и ее сопряжение с наземным оборудованием, а также Northrop Grumman Information Technology и SAIC, обеспечивавшие системное проектирование. Кроме того, компания Northrop Grumman по отдельному контракту создала программное обеспечение для планирования работы сетей связи.

Для КА WGS в соответствии с заявкой ВС США были зарезервированы 13 точек стояния на ГСО: 12°, 42,5°, 52,5°, 112°, 130°, 135°, 151° западной долготы, а также 57°, 60°, 104°, 150°, 175°, 180° восточной долготы. В соответствии с заявкой ВС США в этих точках стояния для КА заявлено использование следующих диапазонов частот в каналах «вверх»/«вниз», соответственно: в S диапазоне – 2257,5, 2277,5 / 1807,764, 1823,779 МГц (каналы управления и телеметрии), в X диапазоне – 7,9-8,4 / 7,25-7,75 ГГц и в Ка диапазоне – 30-31 / 20,2-21,2 ГГц [18].

В ходе 1-го этапа развертывания орбитальной группировки (ОГ) CCC WGS в период 2007-2009 гг. был осуществлен вывод на орбиту 3-х КА WGS-1...WGS-3 модификации «Block I» с общей пропускной способностью по 2,1 Гбит/с. Общие расходы на создание этих КА составили порядка 2,2 млрд долл. США. В процессе опытной эксплуатации КА были подтверждены характеристики их бортовой аппаратуры, в том числе надежность, помехозащищенность и гибкость использования связного ресурса. На втором этапе, с 2012 г., начаты запуски КА WGS-4...WGS-6, которые имеют модификацию «Block II». В данной модификации в состав связного оборудования КА были добавлена каналообразующая аппаратура, формирующая два канала по 400 МГц (для передачи видеоданных с высоким разрешением от БПЛА) с возможностью сквозной ретрансляции данных из этих каналов в другие каналы. Это позволило увеличить пропускную способность КА до 3,6 Гбит/с. Следующие КА WGS-7...WGS-10 имеют модификацию «Block IIA» (или «Block II Follow-On»), которая предусматривала расширение возможностей по максимальной ширине выделяемой абоненту полосе частот 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 КА «Block IIA» до 4,6 Гбит/с (для WGS-7 – до 4,2 Гбит/с). В апреле 2019 г. компания Boeing Satellite Systems получила контракт на разработку КА WGS-11 и WGS-12. Как указано выше, финансирование создания CCC WGS ведется не только США, но и ее союзниками. В частности, создание КА WGS-6 финансировалось Австралией, а КА WGS-9 – Новой Зеландией, Канадой и рядом европейских государств – членов НАТО [1, 3, 5, 11].

CCC WGS была введена в режим эксплуатации в 2014 г. в составе 6 КА. На конец 2023 г. ОГ WGS включает 10 КА на ГСО (таблица 1, рис. 1). В перспективе планируется запустить еще два КА: WGS-11 и WGS-12.

Таблица 1 – Орбитальная группировка CCC WGS
по состоянию на конец 2023 г. [8, 18]

Наименование КА	Точка стояния*	Накл. орбиты, град	Дата запуска
WGS-1	6° в.д.	0,11	11.10.2007
WGS-2	58° в.д.	0,11	04.04.2009
WGS-3	24° в.д.	0,11	06.12.2009
WGS-4	89° в.д.	0,11	20.01.2012
WGS-5	53° з.д.	0,12	25.05.2013
WGS-6	135° з.д.	0,11	08.08.2013
WGS-7	175° в.д.	0,11	24.07.2015
WGS-8	150° в.д.	0,11	07.12.2016
WGS-9	12° з.д.	0,016	19.03.2017
WGS-10	60° в.д.	0,15	16.03.2019

Примечание: * – точки стояния КА могут корректироваться в интересах повышения пропускной способности для ВС США и их союзников в отдельных регионах мира. Так, в течение 2022 года КА WGS-3 совершил три дрейфа, в результате которых переместился из точки стояния 180° в. д. в точку 24° в. д.

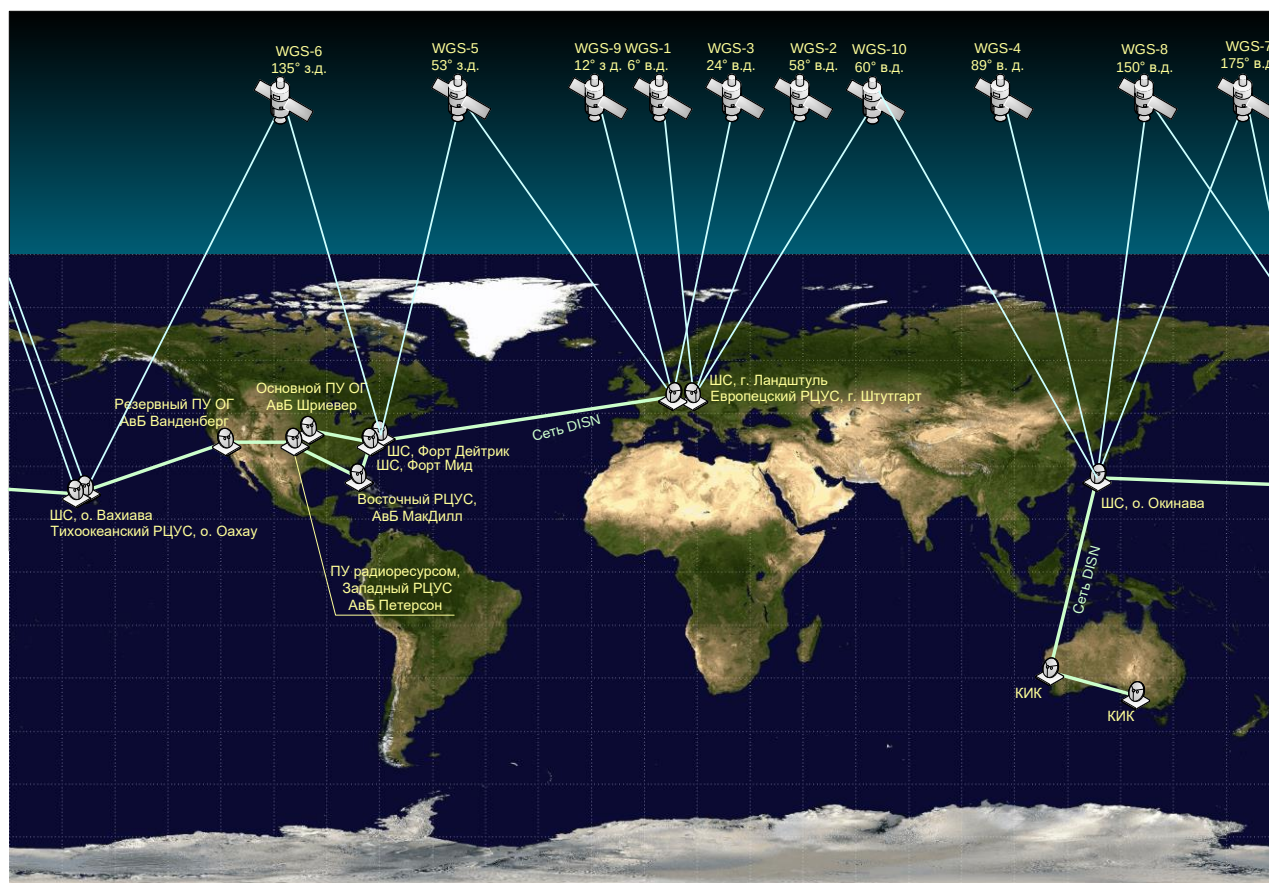


Рис. 1. Структура и состав CCC WGS [1]

КА WGS построены на платформе BSS-702HP, при этом расчетный срок их активного существования составляет 14 лет. Мощность энергетической установки платформы BSS-702HP – 11 кВт. Внешний вид и назначение отдельных элементов КА WGS Block I представлены на рис. 2. Для получения дополнительной информации можно обратиться к работам [2-17] в которых подробно

рассмотрено обоснование различных технических решений при проектировании КА WGS.

Отличительной особенностью CCC WGS является то, что она создана с применением коммерческих технологий спутниковой связи, в частности стандартов VSAT, DAMA, DVB-S/S2/S2x и DVB-RSC, что значительно улучшает ее возможности в части оказания услуг высокоскоростной широкополосной связи.

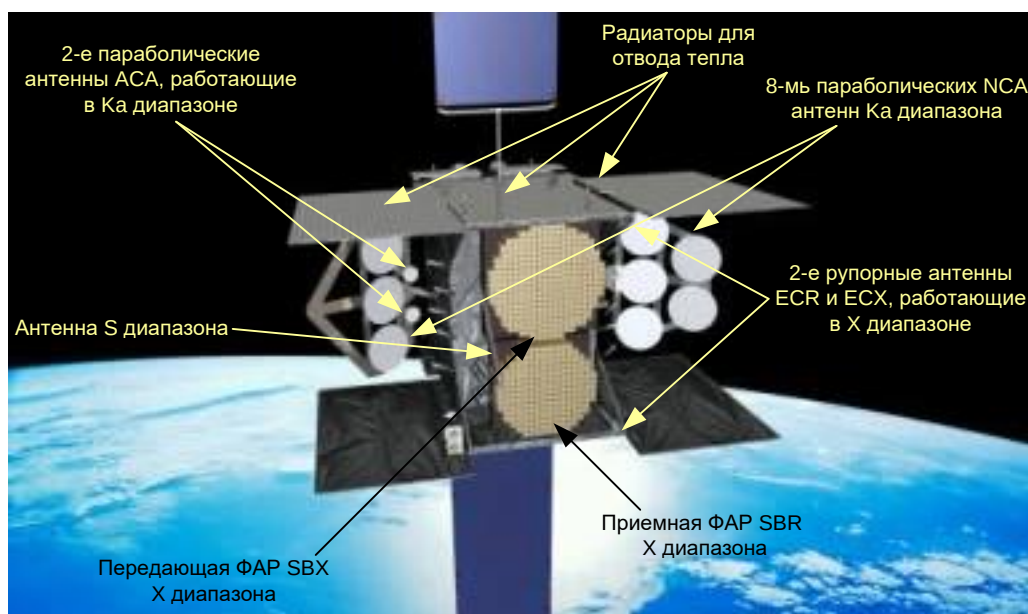


Рис. 2. Внешний вид и назначение отдельных элементов КА WGS Block I [2, 11]

В наземный сегмент CCC WGS входит основной и резервный пункты управления (ПУ) ОГ, основной ПУ радиоресурсом CCC, шлюзовые станции (ШС), региональные центры управления связью, а также станции контрольно-измерительного комплекса (КИК). Основной ПУ ОГ размещен на базе ВВС США Шривер (шт. Колорадо, США), резервный ПУ ОГ – на базе ВВС США Ванденберг (шт. Калифорния, США). ПУ ОГ обеспечивают непрерывный мониторинг состояния КА, работоспособности их бортовых систем, формируют и передают на КА команды управления. Основной ПУ радиоресурсом CCC размещен на базе ВВС США Петерсон (шт. Колорадо, США) и обеспечивает частотное планирование радиоресурса, приоритизацию абонентских терминалов (АТ), предоставление ресурсов CCC, а также управление потоками трафика в режиме реального времени. Пять ШС предназначены для стыковки фидерных линий связи «КА – ШС» с наземной сетью ВС США DISN (Defense Information System Network) и наземными IP-сетями. Они размещены на о. Вахиаве (Гавайские острова, США), в Форте Дейтрик (шт. Мэриленд, США), в Форте Мид (шт. Мэриленд, США), в Форте Бакнер (о. Окинава, Япония) и в г. Ландштуль (Германия). Региональные центры управления связью (РЦУС) размещены: европейский – в г. Штутгарт (Германия), западный – на базе ВВС США Петерсон (шт. Колорадо, США), восточный – на базе ВВС США Мак Дилл (шт. Флорида, США) и тихоокеанский – на базе ВВС США Вхилер (о. Оахау, США). Обе станции КИК размещены на западном и южном побережье Австралии [1].

2. Организация связи в CCC WGS

2.1. Краткая характеристика бортового связного оборудования КА WGS

Каждый КА серии «WGS Block I» оснащается ретрансляторами X и Ka диапазонов частот общей полосой 4875 МГц, что, в зависимости от текущей сигнально-помеховой обстановки и используемых сигнально-кодовых конструкций, позволяет обеспечить имеет пропускную способность от 2,1 до 3,6 Гбит/с. КА серии «WGS Block II» обеспечивают пропускную способность до 6 Гбит/с, а КА серии «WGS Block IIA» – до 11 Гбит/с [3].

Использование на КА WGS оборудования с обработкой сигналов на борту позволяет обеспечивать коммутацию и маршрутизацию сигналов различных каналов и диапазонов. Автоматизация процессов коммутации и маршрутизации позволила отказаться от фиксированного распределения связных ресурсов и перейти к их динамическому распределению по принципу «каждому – по потребностям». Кроме того, в связном оборудовании широко применяются современные гражданские технологии связи: VSAT, SCMA, DAMA, MF-TDMA, DVB-S/S2/S2x, DVB-RCS и др. Ориентировочные тактико-технические характеристики (ТТХ) КА серии «WGS Block I» представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные ТТХ КА серии «WGS Block I» [4, 10]

Характеристика	Значение
Платформа	BSS-702HP
Диапазон используемых частот (в линиях «вверх» / «вниз»):	
– в X диапазоне, ГГц	7,9-8,4 / 7,25-7,75
– в Ka диапазоне, ГГц	30-31 / 20,2-21,2
Частоты фиксированных опорных пилот-сигналов в линии «вниз»:	
– в X диапазоне, ГГц	7,6
– в Ka диапазоне, ГГц	20,7
Число ретрансляторов X диапазона с полосами частот по 125 МГц	39
Число ретрансляторов Ka диапазона с полосами частот по 125 МГц	8
Количество различных тип антенн, размещенных на КА:	
– ФАР (X диапазона)	2*
– параболическая (Ka диапазона)	10
– рупорная (X диапазона)	2*
Количество лучей, формируемые КА (X / Ka диапазонов):	
– узкие лучи (диаметром 500-700 км)	до 8** / 8
– региональные лучи (диаметром 1450-2800 км)	до 8** / 2
– глобальные лучи земного охвата	1 / 0
Максимальная ЭИИМ в X диапазоне, дБ·Вт:	60,8
Максимальная ЭИИМ в Ka диапазоне, дБ·Вт:	
– в узких лучах	58,1
– в региональных лучах	42,5
– в глобальных лучах земного охвата	34,3
Используемые сигналы	BPSK, QPSK, OQPSK, 8PSK, 16APSK, 16QAM, 32APSK

Используемый вид поляризационного разделения каналов	круговая поляризация, левого и правого вращения
Тип кодирования	FEC, турбо-код, LDPC, PC+БЧХ
Скорости кодирования	1/2, 3/4, 2/3, 7/8, 9/10
Технология уплотнения каналов	MF-TDMA по стандарту DVB-RCS
Пропускная способность КА, ГБ/с	от 2,1

Примечания:
* по одной на прием и передачу;
** общее количество региональных и узких лучей в X диапазоне, которые могут формироваться в различных пропорциях – 8 шт.

Бортовая аппаратура связи КА WGS включает оборудование трех типов [2, 4, 18]:

- 1) оборудование X диапазона (7,9-8,4 / 7,25-7,75 ГГц), использующее технологию спектрально-адаптивного частотно-временного много-станционного доступа MF-TDMA, которая, в свою очередь, с незначительными модификациями соответствует коммерческому стандарту DVB-RCS;
- 2) оборудование Ка диапазона (30-31 / 20,2-21,2 ГГц), которое также использует технологию MF-TDMA стандарта DVB-RCS;
- 3) оборудование управления, которое используют для получения команд и телеметрической информации (ТМИ) как антенные системы X и Ка диапазонов, так и антенны S диапазона (2257,5, 2277,5 / 1807,764, 1823,779 МГц).

ТТХ антенн КА серии «WGS Block I» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – ТТХ антенн КА серии «WGS Block I» [4, 10, 18]

Диапа-зон	Обозначение антенны КА	Количе-ство лучей	Тип антенны	Ширина, главного лу-ча ДН, град	ЭИИМ, дБ·Вт	G/T, дБ/К
X	SBX 1-8	до 8 лучей на ПРД	передающая ФАР с круговой поляризацией левого вращения	2,2°-8,8°	от 60,8 до 50,7*	–
	SBR 1-8	до 8 лучей на ПРМ	приемная ФАР с круговой поляризацией правого вращения	2,2°-8,8°	–	от 6,2 до –3*
	ECX	1 луч на ПРМ	передающая рупорная антенна земного охвата	17,4°	34,3	–
	ECR	1 луч на ПРД	приемная рупорная антенна земного охвата	–	–	–10,5

Ka	NCA 1 NCA 2 NCA 3	3 узких луча	приемопередающая параболическая антенна	1,5°	58,1	7,7
	NCA 4 NCA 5 NCA 6	3 узких луча	приемопередающая параболическая антенна	1,5°	55,2	7,7
	NCA 7 NCA 8	2 узких луча	приемопередающая параболическая антенна с изменяемой поляризацией	1,5°	57,6	6,7
	ACA 1	1 региональный луч	приемопередающая параболическая антенна	4,5°	42,6	–1,5
	ACA 2	1 региональный луч	приемопередающая параболическая антенна с изменяемой поляризацией	4,5°	42,4	–1,9

Примечание: * параметры ЭИИМ и G/T меняются в зависимости от количества формируемых лучей, их ширины и угла их отклонения от нормали ФАР и точно указывается в работе [4].

Антенная система КА WGS типа Block I включает в себя [4, 3, 10, 18]:

- передающую ФАР SBX 1-8 из 312 элементов (диаметр 1,27 м), работающую в диапазоне 7,978-8,4 ГГц с круговой поляризацией левого вращения и обеспечивающую формирование на Земле до 8 изменяемых зон обслуживания диаметром 700-2800 км. Совокупная ЭИИМ данной антенны, равная 60,8 дБ·Вт, распределяется между всеми лучами, формирующими вышеуказанные зоны обслуживания;
- приемную ФАР из 188 элементов (диаметр 1,17 м), работающую в диапазоне 7,25-7,672 ГГц с круговой поляризацией правого вращения и обеспечивающую прием данных от абонентов в сформированных на Земле зонах обслуживания;
- комплект из двух рупорных антенн земного охвата (антенна ECR на прием, ECX – на передачу), использующих полосу 50 МГц в X диапазоне (7,9-7,95 / 7,5-7,55 ГГц);
- комплект из восьми независимо перенацеливаемых параболических приемо-передающих антенн NCA, работающих в Ka диапазоне, с узкими лучами для формирования локальных зон обслуживания диаметром порядка 500 км. При этом две из восьми антенн NCA в комплекте имеют возможность переключения вида поляризации (с круговой левого направления вращения на правое и наоборот);
- комплект из двух независимо перенацеливаемых параболических приемо-передающих антенн ACA, работающих в Ka диапазоне и формирующих региональные зоны обслуживания с диаметром 1450 км;
- антенны S диапазона, для приема/передачи телеметрической информации и сигналов управления КА.

2.3. Частотный план КА WGS

КА WGS является двухдиапазонным и для приема/передачи данных от АТ и ШС использует частоты [2, 10, 18]:

- 1) в линии «вверх»:
 - в X диапазоне: 7,978-8,4 ГГц;
 - в Ka диапазоне: 30-31 ГГц;
- 2) в линии «вниз»:
 - в X диапазоне: 7,25-7,75 ГГц;
 - в Ka диапазоне: 20,2-21,2 ГГц.

Кроме того, для приёма команд и отправки ТМИ используется как вышеуказанные X и Ka диапазоны, так и узкополосные каналы на фиксированных частотах в S диапазоне: в линии «вверх» – на частотах 2257,5 и 2277,5 МГц, в линии «вниз» – на 1807,764 и 1823,779 МГц.

Вышеуказанные полосы частот в X и Ka диапазонах, используемые для организации как абонентских, так и фидерных линий связи с наземными АТ, так и ШС, соответственно, делятся на стандартные каналы шириной по 125 МГц – 8 стандартных каналов в Ka диапазоне и 3 стандартных канала в X диапазоне. Кроме того, дополнительно, в X диапазоне имеются каналы шириной 50 и 47 МГц (рис. 3). Каждый из таких каналов делится в свою очередь на субканалы шириной по 2,6 МГц [10]:

- каналы 125 МГц состоят из 48 субканалов по 2,6 МГц;
- каналы 50 МГц состоят из 19 субканалов по 2,6 МГц;
- каналы 47 МГц состоят из 18 субканалов по 2,6 МГц.

Таким образом, общий частотный ресурс КА WGS составляет 1872 субканала по 2,6 МГц [2, 4, 6, 10, 18].

Каналы по 50 МГц в линиях «вверх» и «вниз» диапазона 7,978-8,4 / 7,25-7,672 ГГц жестко закреплены за антеннами ECX/ECR земного охвата и отделены защитной полосой 28 МГц от многолучевых ФАР SBX/SBR (рис. 3) [10].

ФАР SBX/SBR могут формировать до 8 лучей как на прием (SBR 1...SBR 8), так и на передачу (SBX 1...SBX 8) с круговой поляризацией левого (для передающей ФАР SBX) и правого направления вращения (для приемной ФАР SBR) в полосе 422 МГц X диапазона 7,978-8,4 / 7,25-7,672 Гц, используя 3 канала по 125 МГц и один канал 47 МГц. Каждый луч ФАР SBX/SBR может повторно использовать всю полосу 422 МГц при условии пространственного разделения всех восьми формируемых лучей т.е. отсутствия пересечения зон обслуживания лучей ФАР на Земной поверхности (рис. 3) [10].

Каждая из параболических антенн NCA и ACA может использовать в Ka диапазоне частотный ресурс в 500 МГц (4 стандартных канала по 125 МГц) либо в верхней, либо в нижней части полосы 1 ГГц при условии пространственного разделения антенных лучей, т.е. отсутствия пересечения их зон обслуживания на Земной поверхности. Таким образом, за счет назначения неперекрывающихся зон обслуживания для каждой параболической антенны NCA/ACA достигается повторное использование полосы частот 500 МГц в одной и той же половине полосы 1 ГГц в Ka диапазоне. Кроме того, антенны

NCA 7, NCA 8 и ACA 2 могут обеспечивать повторное использование одних и тех же частот в перекрывающихся зонах обслуживания за счет поляризационного разделения лучей (рис. 3) [10].

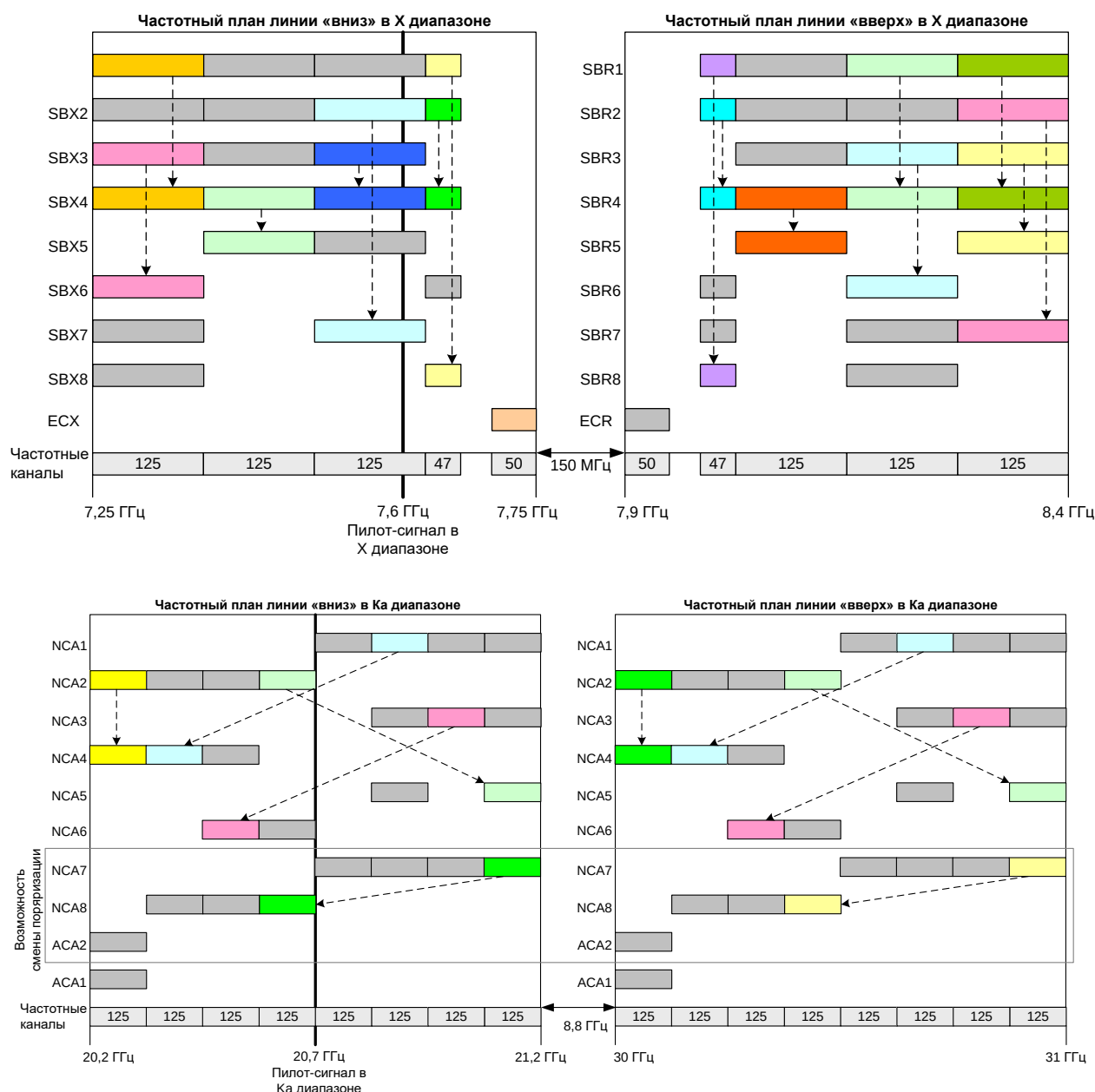


Рис. 3. Вариант распределения частот КА WGS с учетом поляризационного уплотнения и повторного использования частот [10]

Распределение частотного ресурса абонентам ведется субканалами. В случае высоких требований к необходимому частотному ресурсу, ширина полосы частот, выделяемая конкретному абоненту (АТ или ШС), может наращиваться с дискретностью 2,6 МГц вплоть до выделения всего стандартного канала в 126 МГц или даже больше в WGS типа Block II и Block IIA [2, 4, 6, 10, 18].

Для упрощения идентификации нахождения КА в зоне видимости АТ, а также для обеспечения частотной синхронизации при распределении частотных субканалов КА между АТ и ШС используются узкополосные пилот-сигналы,

постоянно транслируемые антенной покрытия Земли в линиях «вниз» на фиксированной частоте 7,6 ГГц в X диапазоне и на фиксированной частоте 20,7 ГГц в Ka диапазоне (рис. 3) [10].

Управление распределением частот между АТ и ШС происходит по командам, поступающим на КА с Земли.

2.3. Особенности организации связи КА WGS с наземными абонентами

В X диапазоне используются две независимые (приемная и передающая) ФАР SBR и SBX, формирующие от 1 до 8 перенацеливаемых лучей на прием и на передачу, которые обеспечивают требуемые зоны обслуживания за счет изменения количества лучей и их ширины. Ширина лучей, формируемых ФАР может изменяться от 2,2° до 17,5°, обеспечивая формирование зон обслуживания диаметром от 700 до 2800 км. Кроме того, в X диапазоне используется две отдельные (приемная и передающая) рупорные антенны ECR и ECX, формирующие лучи шириной 17,4°, охватывающие всю поверхность Земли в зоне радиовидимости КА [3, 4, 18].

В Ka диапазоне комплект из восьми независимо параболических приемо-передающих антенн NCA с перенацеливаемыми узкими лучами по 1,5°, используются для формирования локальных зон обслуживания с диаметром порядка 500 км. При этом две из восьми антенн NCA в комплекте имеют возможность переключения вида поляризации (с круговой левого направления вращения на правое и наоборот). Также в Ka диапазоне независимо работают две параболические приемо-передающих антенны ACA с перенацеливаемыми лучами по 4,5°, формирующие региональные зоны обслуживания с диаметром 1450 км [3, 4, 18].

Таким образом, отдельный КА WGS может формировать до 19 независимых зон обслуживания между 65° северной и южной широты [3, 18]:

- одну глобальную подспутниковую зону обслуживания, использующую 50 МГц X диапазона в полосах частот, отведенных под линии «вверх» и «вниз»: 7,9-7,95 / 7,5-7,55 Гц;
- от 1 до 8 изменяемых по местоположению и диаметру (от 700 до 2800 км) зон обслуживания в X диапазоне (с круговой поляризацией левого направления вращения на передачу и правого – на прием) 7,978-8,4 / 7,25-7,672 Гц;
- 8 изменяемых по местоположению локальных зон обслуживания диаметром 500 км в Ka диапазоне, в том числе в 3-х зонах с выбираемой поляризацией;
- 2 изменяемые по местоположению региональные зоны обслуживания диаметром 1450 км в Ka диапазоне.

Вышеуказанные антенны, с учетом поляризационного уплотнения каналов позволяют реализовать многократное использование используемого спектра частот в 1,5 ГГц (500 МГц в X диапазоне и 1000 МГц в Ka диапазоне), что обеспечивает почти в 3,5 раза увеличенный частотный ресурс и, соответствен-

но, эффективную ширину используемых КА частот до 4,875 ГГц (около 1,8 ГГц в X диапазоне и более 2,7 ГГц в Ka диапазоне). При этом стоит отметить, что часть частотного ресурса Ka диапазона выделяется для системы глобального вещания GBS (Global Broadcast Service) [2, 6, 18].

Общая схема бортового комплекса связи КА WGS представлена на рис. 4. Групповой сигнал по линии «вверх», принимаемый каждой антенной заданной поляризации, подается на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и преобразуется в цифровую форму. Из группового сигнала луча выделяются каналы шириной по 125, 50 и 47 МГц. После этого из каждого канала путем фильтрации при необходимости выделяются субканалы шириной по 2,6 МГц. После чего субканалы поступают на бортовой гибкий цифровой коммутатор КА. Если необходимости выделения субканалов нет, то на цифровой коммутатор поступает весь канал в 125 МГц целиком.

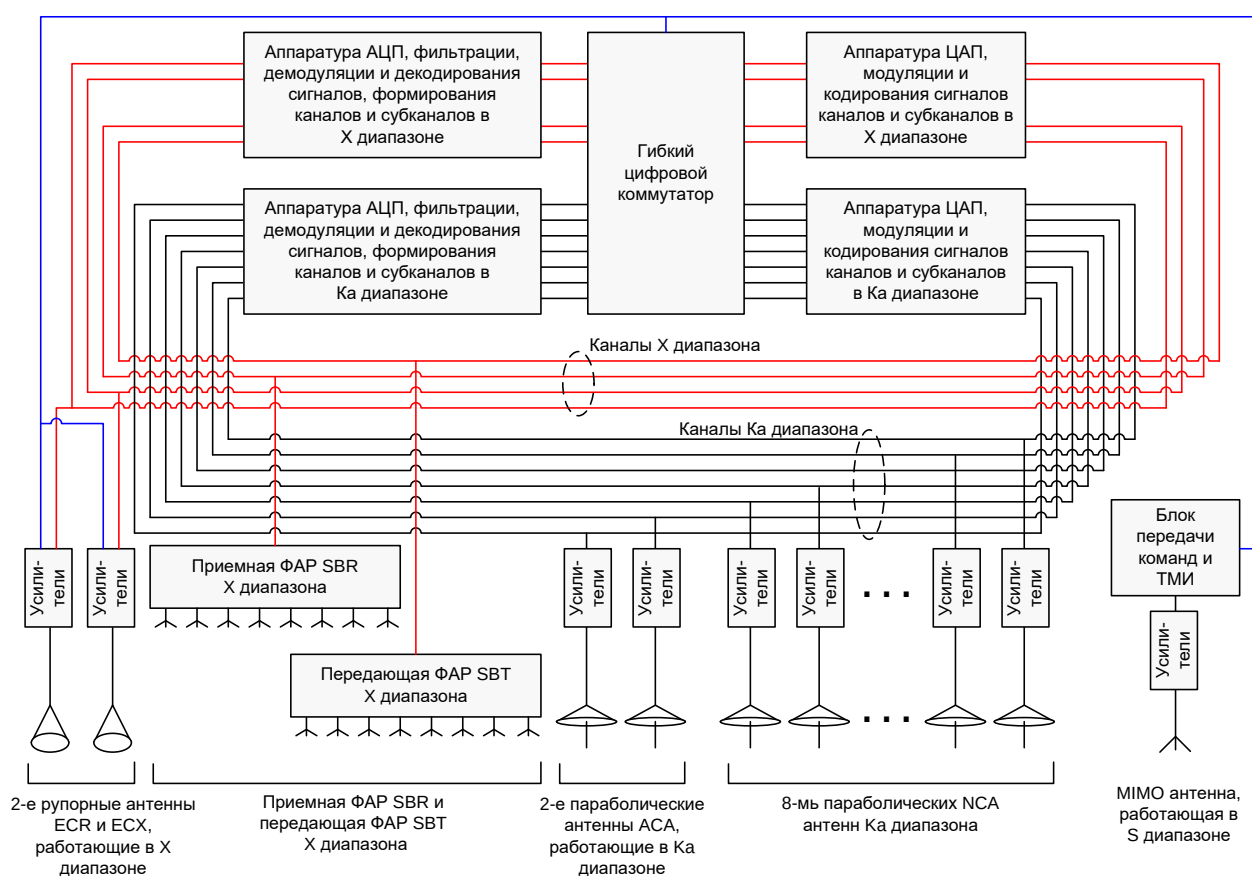


Рис. 4. Функциональная схема связного оборудования КА WGS [4, 8]

Бортовым коммутатором (рис. 4) обеспечивается перекрестная коммутация, объединение и разделение любых каналов и субканалов во всем спектре используемых частот – как в X, так и в Ka диапазонах между различными антеннами и их лучами, за исключением возможности скомутировать больший канал в меньший (нельзя скомутировать каналы шириной 125 МГц в каналы 50 и 47 МГц). Еще одним дополнительным ограничением на коммутацию каналов и субканалов выступает наличие у бортового коммутатора только 39 входов и 39 выходов: 35 входов/выходов с шириной полосы частот по 125 МГц, 3 вхо-

да/выхода шириной по 47 МГц и по одному входу и выходу шириной полосы частот 50 МГц [10].

После коммутации каналов и субканалов, из них формируются стандартные частные каналы «вниз» по 125, 50 и 47 МГц из которых приёмопередающей частью каждой антенны формируется групповой сигнал, отправляемый наземным АТ по каналам «вниз» [10].

Цифровой коммутатор обеспечивает режим частичной обработки сигналов на борту (ОСБ), позволяющий, по командам с Земли, гибко изменять коммутацию каналов и субканалов между собой, распределение полос частот, выделенные отдельным абонентам, формировать локальные подсети, в которых обслуживание реализуется в соответствии с технологиями DAMA, VSAT и DVB-RSC. Это позволяет гибко формировать подсети связи между воинскими формированиями, находящимися не только в одной зоне обслуживания отдельного луча, но и в различных зонах обслуживания, или находящимися в одной зоне, но обслуживаемыми несколькими лучами КА. Вместе с тем, конфигурация цифрового коммутатора на протяжении часов или даже дней остается статичной, что позволяет говорить о том, что на КА WGS реализован не полноценный режим ОСБ в реальном времени, а, скорее, гибко изменяемый режим прямой ретрансляции каналов и субканалов [2, 4, 7, 10, 18].

При формировании подсетей для различных групп АТ и ШС бортовой коммутатор использует временную коммутацию субканалов, объединяя требуемые субканалы от нужных АТ и ШС аналогично коммутации виртуальных каналов в технологиях ATM или MPLS. При адресации АТ и ШС используются внутренние идентификаторы, аналогичные или соответствующие IP адресам. Кроме того, бортовой коммутатор КА позволяет поддерживать требуемое качество обслуживания абонентов (QoS – Quality of Service) при работе с трафиком в подсетях и соединениях, проходящих через КА, обеспечивая выделение дополнительных субканалов тем абонентам, которые по обратной связи сообщают КА о снижении параметров QoS. К числу параметров QoS, контролируемых для соединения АТ–АТ или АТ–ШС, относятся скорость передачи из конца в конец, задержка передачи на линиях «вниз» и «вверх», вероятность битовой ошибки, количество пакетов, принятых с ошибками за определенный период времени, а также интервал времени между ошибочно принятыми пакетами.

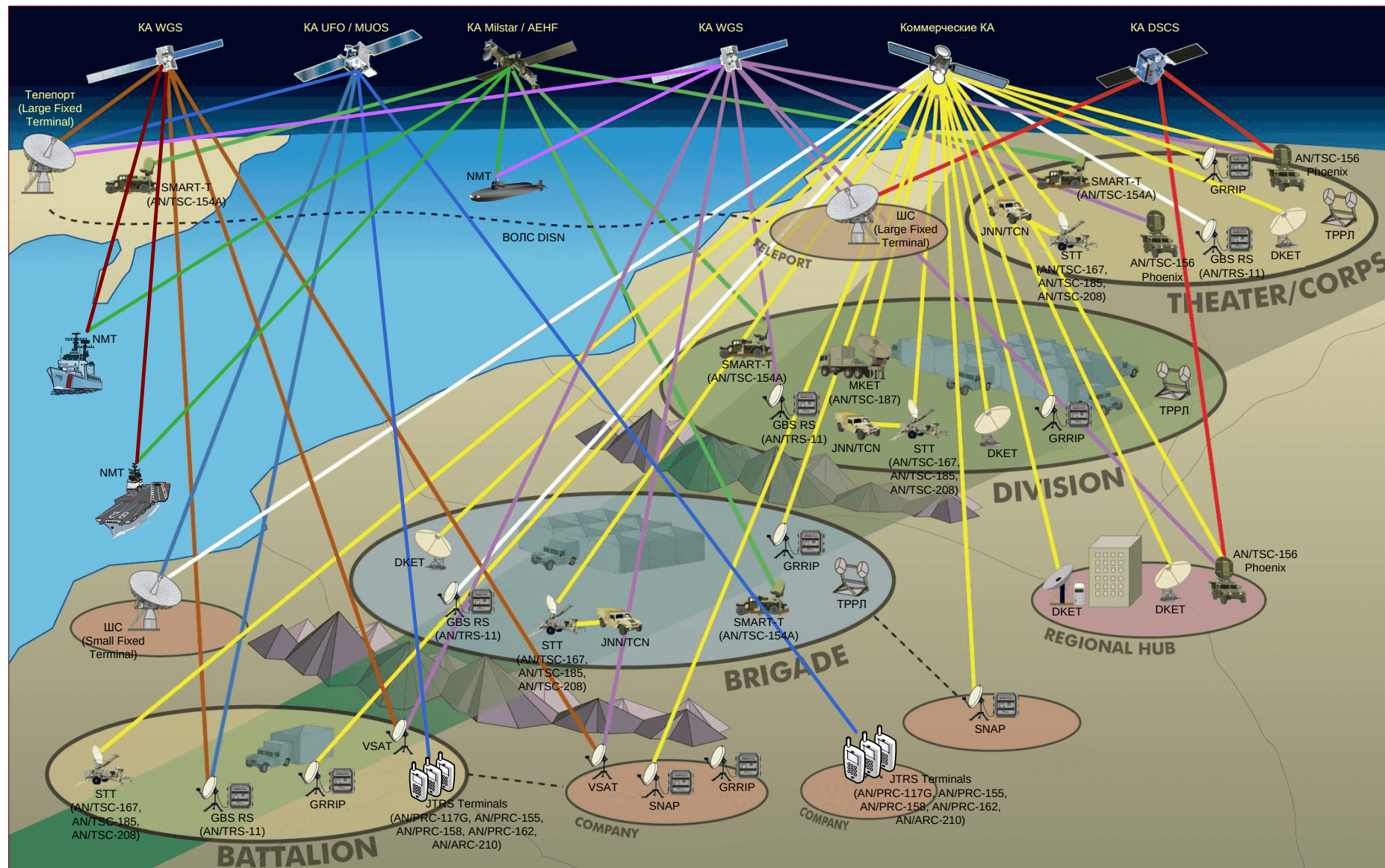
Каждый отдельный субканал шириной 2,6 МГц обеспечивает скорость передачи порядка 3,3-4,5 Мбит/с в относительно благоприятных помеховых условиях. В частности, в работе [10] приводятся моделируемые достижимые скорости передачи в отдельном 2,6 МГц субканале – 3,3-4,67 Мбит/с (при использовании сигнала 8PSK, скорости помехоустойчивого кодирования FEC 2/3 и 0,25 дБ потерях при фильтрации). Для стандарта DVB-S2/S2x такая сигнально-кодовая конструкция соответствует минимальному отношению мощности сигнала к мощности шума (ОСШ) порядка 6-6,5 дБ на входе приемника. Приняв пессимистическую оценку скорости 3,3 Мбит/с на субканал, можно оценить скорость передачи данных в стандартном 125 МГц-канале ориентировочно в 155 Мбит/с ($47 \times 3,3$ Мбит/с) при вышеуказанном ОСШ [10].

Дополнительные сведения по обработке сигналов на борту КА WGS, а также особенности функционирования бортового цифрового коммутатора и планирования использования его ресурса представлены в работах [2, 7, 10, 12]. Вопросы формирования лучей и взаимодействия КА WGS с ШС изложены в работе [4]. Особенности поляризационного уплотнения и улучшения режима повторного использования частот с разной поляризацией применительно к CCC WGS представлены в [13, 14]. В работе [15] представлен анализ возможностей многолучевых ФАР КА WGS для более эффективного обслуживания абонентов. В работах [16, 17] описываются технологии VSAT, DVB-RSC и DVB-S2 в CCC WGS, использование в этой системе IP-протокола, а также вопросы сопряжения WGS с коммерческими CCC.

Широкое применение в последних военных конфликтах разведывательных и разведывательно-ударных БПЛА предопределило необходимость использования КА WGS для ретрансляции высокоскоростных потоков данных (прежде всего – видеоданных высокого разрешения и «сырых» радиолокационных данных) от таких БПЛА. Поэтому каждый КА WGS типа Block I может обеспечивать ретрансляцию данных от 9 БПЛА в полосе стандартного частотного канала 125 МГц со скоростью до 137 Мбит/с. КА WGS типа Block II может обеспечивать высокоскоростную ретрансляцию данных уже от 2 БПЛА, но со скоростью до 310 Мбит/с в суммарно-формируемой полосе частот 400 МГц. При возможности ретрансляции данных с меньшей скоростью (соответственно и необходимости выделения меньших полос частот для этого) КА типа Block II может ретранслировать данные от 6 БПЛА [10, 19-21].

3. Организация спутниковой связи при управлении войсками на удаленных театрах военных действий

При обеспечении связью воинских формирований ВС США и их союзников на удаленных театрах военных действий (ТВД) задействуется целый комплекс CCC специального и коммерческого назначения (рис. 5). В связи с этим, АТ CCC, стоящие на вооружении, зачастую являются многодиапазонными и могут работать одновременно не только с различными военными, но и с гражданскими CCC, ресурс которых во время военных конфликтов арендуется ВС США и их союзниками по блоку НАТО. Примерами АТ, работающих с коммерческими CCC, являются АТ GRRIP (Global Rapid Response Information Package) и АТ SNAP (Secure Internet Protocol Router/Non-Secure Internet Protocol Router (SIPR/NIPR) Access Point) [24].



4. Наземные средства спутниковой связи CCC WGS

4.1. Абонентские терминалы

На вооружение воинских формирований различного уровня управления ВС США и их союзников активно принимаются новые мобильные и подвижные узлы связи, имеющие в своем составе спутниковые АТ, отличительной способностью которых, в свою очередь, является возможность работы как в X и Ka диапазонах CCC WGS и DSCS, так и взаимодействие с КА коммерческих CCC [18, 22-27]. В частности, подобные АТ разрабатываются и внедряются в рамках создания автоматизированной высокомобильной системы связи США WIN-T (Warfighter Information Network-Tactical). Важной особенностью данной системы является то, что соответствующая программа ее развертывания включает в себя три этапа и всю линейку технических средств связи можно также разделить на три поколения, при этом зачастую эти средства схожи по функционалу. На первом (до 2012 г., рис. 6) и на втором (до 2018 г., рис. 7) этапах были приняты на вооружение новые узлы связи и, соответственно, достаточно широкая номенклатура спутниковых, радиорелейных и тропосферных станций. Полная реализация программы WIN-T планируется к 2030 г. и в настоящее время проводятся мероприятия в рамках третьего ее этапа.

В качестве примера рассмотрим спутниковые АТ поставленные в войска к настоящему моменту. К ним относятся:

а) АТ в составе регионального полевого ПУ TacHub (Tactical Hub Node) AN/TSC-61 дивизионного уровня управления (1 этап программы WIN-T) [1, 25, 26]:

- AN/TSC-187 / MKET, работающий в X, Ka и Ku диапазонах, с параболической антенной диаметром 3,7 м (в источнике [26] данный АТ имеет наименование – MKET (Mobile Kit Earth Terminal) или «мобильный DKET»);
- АТ типа DKET (Deployable Kit Earth Terminal), работающие в X, Ka и Ku диапазонах, с параболической антеннами диаметром 6,3 и 4,8 м, соответственно;

б) АТ в составе объединенного узла связи JNN (Joint Network Node) AN/TTC-59 (1 этап программы WIN-T) или тактического узла связи TCN (Tactical Communications Node, 2 этап программы WIN-T), в дивизионном, бригадном и батальонном уровнях управления [1, 25-27]:

- AN/TSC-185 Satellite Transportable Terminal (STT), работающий в Ka и Ku диапазонах, с параболической антенной диаметром 2,4 м;
- AN/TSC-167 V1, V2 Satellite Transportable Terminal (STT), работающий в Ka и Ku диапазонах, с параболической антенной диаметром 2,4 м;
- AN/TSC-208 Satellite Transportable Terminal (STT), работающий в Ka и Ku диапазонах;
- AN/TSC-156 «Phoenix» Tactical SHF Satellite Terminal (TSST), работающий в C, X, Ka и Ku диапазонах;

в) АТ в составе командно-штабной машины PoP v1 (Point of Presence) в бригадном и батальонном уровнях управления, а также в составе мобильного

узла связи SNE (Soldier Network Extension node) и возимые АТ в ротном уровне управления (2 этап программы WIN-T) [1, 18]:

- TRM-1000/2000, работающий в X, Ka и Ku диапазонах, с антенной диаметром 0,5 м, для командно-штабной машины PoP v1 и мобильного узла связи SNE;
- AN/TSC-232, работающий в X, Ka и Ku диапазонах, с антенной диаметром 1,2 м;
- AN/TSC-233, работающий в X, Ka и Ku диапазонах, с антенной диаметром 2,4 м;

г) АТ-приемники сигналов системы глобальной широковещательной службы GBS, транслируемых через CCC WGS [1]:

- AN/TSR-11 Global Broadcast System Receive Suite (GBS RS) – стандартный носимый комплект приема сигналов GBS для подразделений сухопутных войск (рис. 8);
- AN/PSR-11 – носимый комплект приема сигналов GBS типа «чемодан» для подразделений сил специальных операций (ССО);
- AN/PSR-12 – носимый комплект приема сигналов GBS типа «рюкзак» для подразделений ССО.

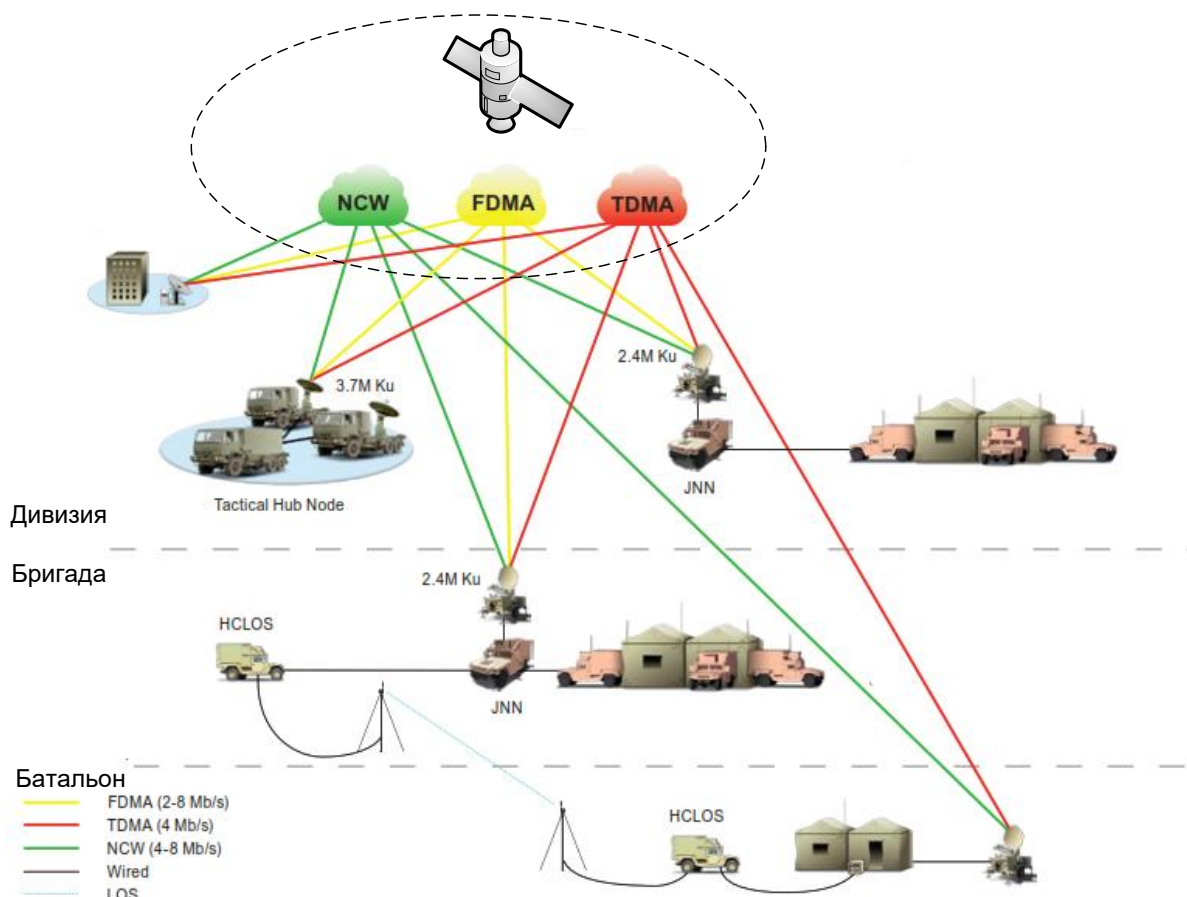


Рис. 6. Вариант развертывания связи системы WIN-T с использованием CCC WGS (1 этап программы WIN-T) [25]

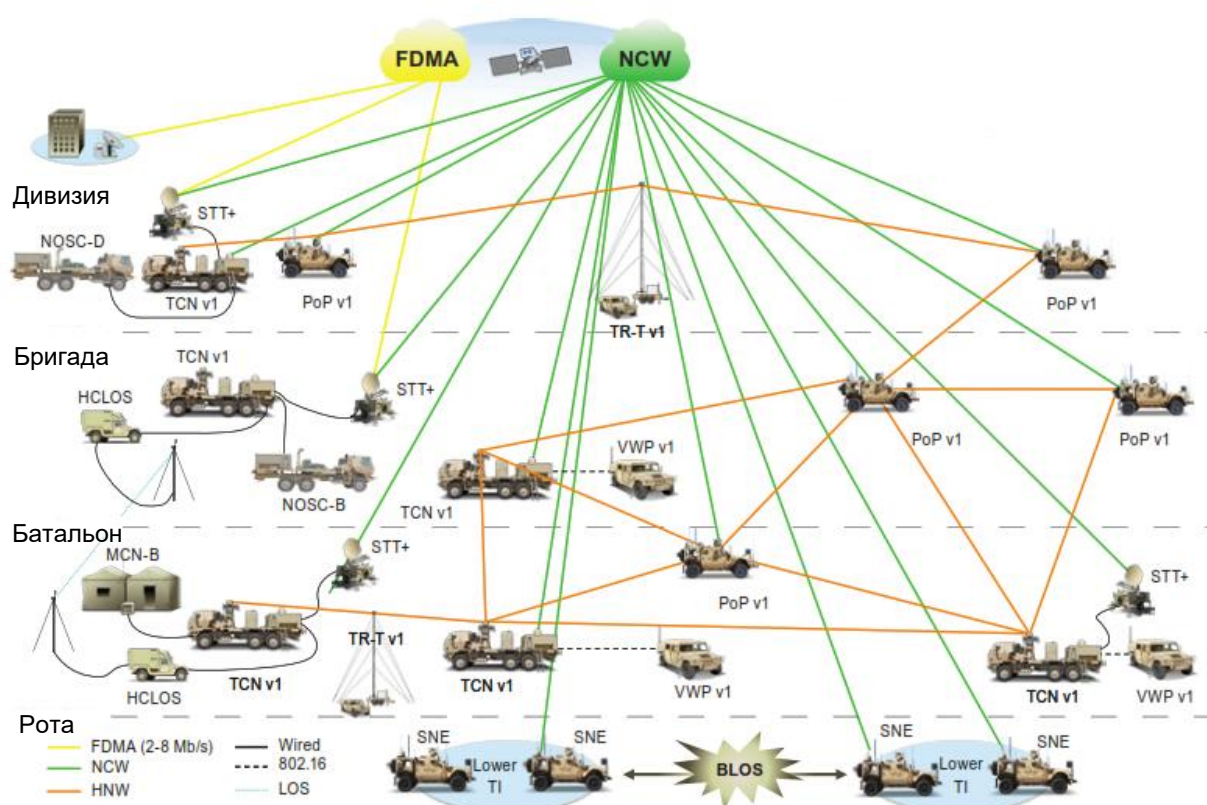


Рис. 7. Вариант развертывания связи системы WIN-T с использованием CCC WGS (2 этап программы WIN-T) [25]



Рис. 8. AT AN/TSR-11 GBS RS [1]

Помимо вышеуказанных АТ, работающих с CCC WGS и используемых сухопутными войсками ВС США и их союзниками по НАТО, имеются также АТ для платформ морского и авиационного базирования, в частности: АТ GMT с антеннами диаметром 2,4 и 4,6 м, предназначенный для наземных подразделений Военно-воздушных сил (ВВС); АТ AN/WGS-6(V)10 с антенной диаметром 1,5 м и АТ SSR-2 с антенной диаметром 1 м, предназначенные для установки на надводных кораблях (НК) Военно-морских сил (ВМС); АТ SubHDR с антенной диаметром 0,4 м, предназначенные для установки на подводных лодках (ПЛ) ВМС. Ведется активная разработка и перевооружение на новые мульт-

тидиапазонные АТ, одновременно работающие с несколькими CCC (WGS и АЕНФ). В качестве примера можно привести новые АТ WGS для НК и ПЛ, такие как NMT (Navy Multiband Terminal, рис. 9) [28, 29] и v130NX PM Dual-Ka (AN/USC-73) [30], или АТ WGS для БПЛА [19, 20].



а.



б.

Рис. 9. АТ NMT: а. антенная группа; б. связное оборудование [28]

Рассмотрим отдельные АТ, которые являются типовыми для своих классов.



Рис. 10. АТ AN/TSC-187 / МКЕТ [25]

Таблица 4 – ТТХ АТ AN/TSC-187 / МКЕТ [26]

Характеристика / диапазон частот		X	Ku	Ka
Определение местоположения		Автоматическое через GPS, электронный компас, инклинометр		
Наведение антенны на КА		Автоматический режим, механическое наведение		
Размер антенны, м		3,8		
ЭИИМ, дБ·Вт		79	77,6	81
Отношение коэффициента усиления приемной антенны к температуре шумов, дБ/К		34	33,8	36
Вид поляризационного разделения каналов		круговая	линейная	круговая
Кол-во разделяемых каналов		2	4	4
Диапазон поворота антенны	по азимуту	180° в пересекающихся секторах по 30° (перекрытие 5°)		
	по углу места	5°-90°		
Диапазон частот, ГГц	передача	7,9-8,4	13,75-14,5	30-31
	прием	7,25-7,75	10,95-12,75	20,2-21,2
Совместимость с КА		Intelsat, Eutelsat, WGS и FCC		



а. DKET 2000 Series (DKET LT)



б. DKET 3000 Series



в. DKET

Рис. 11. АТ типа DKET [26]

Таблица 5 – ТТХ АТ серии DKET 2000 и DKET 3000 [26]

		DKET 2000			DKET 3000		
Характеристика / диапазон частот		X	Ku	Ka	X	Ku	Ka
Определение местоположения		Автоматическое через GPS, электронный компас, инклинометр					
Наведение антенны на КА		Автоматический режим, механическое наведение					
Размер антенны, м		4,8			4,0		
ЭИИМ, дБ·Вт		77,8	82	80,3	71,6	75,0	79
Отношение коэффициента усиления приемной антенны к температуре шумов, дБ/К		29,7	31,5	33,7	26,7	28,6	31,9
Вид поляризационного разделения каналов		круговая	линейная	круговая	круговая	линейная	круговая
Кол-во разделяемых каналов		2	4	4	2	2	2
Диапазон поворота антенны по азимуту		180° в пересекающихся секторах по 30° (перекрытие 5°)					
Диапазон частот, ГГц	передача	7,9-8,4	13,75-14,5	30-31	7,9-8,4	13,75-14,5	30-31
	прием	7,25-7,75	10,95-12,75	20,2-21,2	7,25-7,75	10,95-12,75	20,2-21,2
Совместимость с КА		Intelsat, Eutelsat, WGS и FCC					

Таблица 6 – ТТХ АТ типа DKET и DKET LT [26]

		DKET			DKET LT	
Характеристика / диапазон частот		X	Ku	Ka	X	Ku
Определение местоположения		Автоматическое через GPS, электронный компас, инклинометр				
Наведение антенны на КА		Автоматический режим, механическое наведение				
Размер антенны, м		6,3			4,8	
ЭИИМ, дБ·Вт		106,8	110,3	н/д	109,8	112,2
Отношение коэффициента усиления приемной антенны к температуре шумов, дБ/К		29,7	33,7	н/д	32,5	35,9
Вид поляризационного разделения каналов		круговая	линейная	круговая	круговая	линейная
Кол-во разделяемых каналов		2	4	4	н/д	2
Диапазон поворота антенны по азимуту		180° в пересекающихся секторах по 30° (перекрытие 5°)				
Диапазон частот, ГГц	передача	7,9-8,4	13,75-14,5	30-31		10,95-12,75
	прием	7,25-7,75	10,95-12,75	20,2-21,2		13,75-14,5
Совместимость с КА		Intelsat, Eutelsat, WGS и FCC				

Примечания: н/д – нет данных.

Таблица 7 – ТТХ АТ AN/TSC-156 «Phoenix» [31]

Характеристика / диапазон частот		C	X	Ku	Ka
Диапазон частот, ГГц	«вверх»	3,625-4,2	7,25-7,75	10,95-12,75	20,2-21,2
	«вниз»	5,85-6,425	7,9-8,4	13,75-14,5	30-31
Шаг сетки частот		1 кГц			
Стабильность рабочей частоты		$6 \cdot 10^{-11}$ в месяц			

Коэффициент усиления приемной антенны (минимальный)	36,7 дБ на частоте 3,625 ГГц	43,1 дБ на частоте 7,25 ГГц	46,6 дБ на частоте 10,95 ГГц	51,5 дБ на частоте 20,2 ГГц
Отношение коэффициента усиления приемной антенны к температуре шумов	>17,8 дБ/К на частоте 4 ГГц	>22,8 дБ/К на частоте 7,25 ГГц	>26 дБ/К на частоте 11 ГГц	>28 дБ/К на частоте 20,2 ГГц
Коэффициент усиления передающей антенны (минимальный)	41,4 дБ на частоте 5,85 ГГц	44,3 дБ на частоте 7,9 ГГц	48,6 дБ на частоте 13,75 ГГц	54,5 дБ на частоте 30 ГГц
Максимальная ЭИИМ	59 дБ Вт	67 дБ Вт	66,5 дБ Вт	68 дБ Вт
Вид поляризационного разделения каналов	круговая, линейная	левого («вниз») и правого («вверх») вращения	линейная	круговая
Используемые стандарты формирования каналов	IESS-601	MIL-STD-188-164A	IESS-208 STD E1, 47 CFR 25.209	ITU 580 47 CFR 25.209
Поляризационное разрешение каналов	<2,3 дБ (круговая) >30 дБ (линейная)	<2,3 дБ	>30 дБ	<1 дБ («вверх»); <1,5 дБ («вниз»)
Совместимость с КА	Intelsat G	DSCS/WGS	Intelsat E1	DSCS/WGS



Рис. 12. АТ AN/TSC-156 «Phoenix» [31]

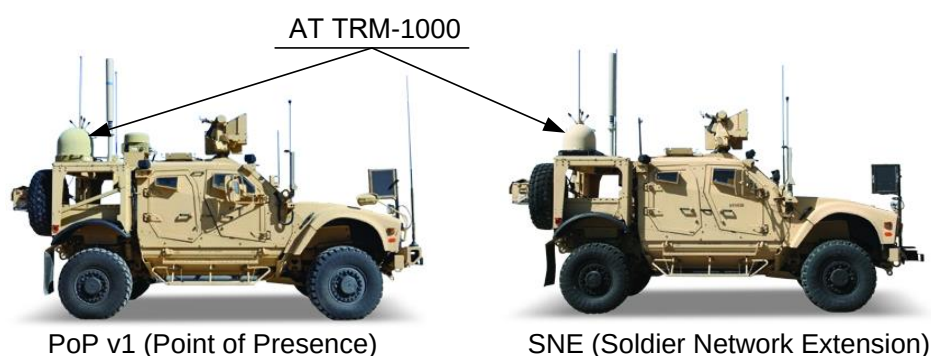


Рис. 13. Командно-штабная машина PoP v1 и мобильный ротный узел связи SNE, а также размещение на них АТ TRM-1000

Базовой станцией спутниковой связи для аппаратных, поставленных в войска в рамках 2 этапа программы WIN-T, является АТ TRM-1000/2000. Ее основные особенности [32]:

- готовая коммуникационная структура для удаленной работы в жестких полевых условиях;
- обслуживание максимального количества абонентов и высокая скорость передачи данных за счет оптимизации мощности и скорости передачи информации в спутниковом канале связи;
- использование IP сигналов совместно с технологиями многостанционного доступа с частотным и временным разделением каналов (MF-TDMA) и множественного доступа с предоставлением канала по требованию (DAMA), а также приоритетного доступа с гарантированной скоростью к определённым ресурсу (QoS);
- оптимизация автоматического соединения с адаптивным управлением скоростью передачи данных, расширением спектра и управлением мощностью излучения;
- предоставление услуг голосовой и видео связи в реальном времени с низкой задержкой по времени;
- заменяемые антенные фидеры, позволяющие работать с КА в X, Ku и Ka диапазонах частот;
- возможность применения различных оконечных устройств абонентов в топологиях полносвязной сети, звезды, хаб-узлов или гибридной сети;
- автоматическим установлением соединения АТ и КА;
- механический поворот антенны по азимуту и углу места;
- 100 % точность наведения антенны в пределах 0,5° с покрытием по углу места до 70°;
- бесшумная работа и высокая надежность;
- высокая скрытность от средств перехвата, анализа и расшифровки сигналов противника;
- использование сертифицированного кодирования сигналов по стандарту AES-256.

ТТХ АТ TRM-1000/2000 представлены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – ТТХ АТ TRM-1000/2000 [32, 33]

Общие характеристики	
Диапазон рабочих частот на прием/передачу, ГГц	
- Ku диапазон	10,95-12,75 / 13,75-14,5
- Ka диапазон	20,2-21,2 / 30-31
- X диапазон	7,25-7,75 / 7,9-8,4
ЭИИМ, дБ Вт	43,8
Отношение коэффициента усиления приемной антенны к температуре шумов, дБ/К	12,4

Снижение усиления приемника из-за неточности позиционирования антенны		менее 1 дБ до 70° по углу места E1 (для антенного комплекта FSS-4000-LC/2); менее 1 дБ до 90° по углу места E1 (для антенного комплекта FSS-4000-3)	
Максимальная скорость транспортного базы, км/ч		100	
Электропитание:			
- модем		RMPM-1000: от 90 до 132 и от 180 до 264 В сети переменного тока частотой от 47 до 63 Гц, потребляемая мощность 170 Вт; MPM-2000: от 18 до 36 В источника постоянного тока, потребляемая мощность 43 Вт	
- антенна		28 В источника постоянного тока, потребляемая мощность 450 Вт (постоянно)	
Характеристики антенны			
Тип антенны	FSS-4000-LC	FSS-4000-2	FSS-4000-3
Платформа	2-х осная	2-х осная	3-х осная
Доступные диапазоны частот	X, Ku и Ka	Ku и Ka	Ku и Ka
Размеры апертуры антенны, см	41 и 46 см	41, 46 и 51 см	46 и 51 см
Поворот антенны			
по азимуту	360°		
по углу места	от 0° до 90°		от -5° до 105°
Приемник навигационных сигналов	Встроенный	нет	нет
Инерционный блок навигации (INU)	Встроенный	Talon-система спутникового позиционирования от компании Honeywell или модуль ориентации по Северу (NFM) от GE Aviation	Talon-система спутникового позиционирования от компании Honeywell или модуль ориентации по Северу (NFM) от GE Aviation
Наработка на отказ	5000 ч	7000 ч	7000 ч

Таблица 9 – Возможности АТ TRM-1000/2000 в режиме NCW MF-TDMA (многостанционного доступа с частотным и временным разделением каналов и с применением сетцентрических сигналов) [32, 33]

Параметр	Значение
Скорость передачи данных, кбит/с	32-13107
Виды модуляции	двоичная фазовая модуляция (ФМн-2): скорость кодирования с R=1/2 (Турбо и LDPC-код с малой плотностью проверок на чётность); квадратурно-фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK): скорость кодирования с R=1/2, 2/3 и 3/4 (Турбо код); квадратурно-фазовая манипуляция со сдвигом (OQPSK): скорость кодирования с R=1/2, 2/3, 8/11 и 4/5 (LDPC); 8 PSK: скорость кодирования с R=2/3 (Турбо код и LDPC)
FEC (система коррекции ошибок с избыточным кодированием)	Турбо-код SCCC и LDPC

Коэффициенты расширения прямой последовательности	1, 2, 4, 6, 8, 12 и 16
Количество несущих	RMPM-1000: 2 (передача), 4 (прием) MPM-2000: 1 (передача), 2 (прием)
Полоса обзора	1,2 ГГц
Интерфейс широкополосной передачи данных	Спецификация канала Ethernet 10/100/1000 Base-T
Модем контроля	10/100/1000 Base-T Ethernet и ПО управления терминалом по протоколу SNMP от Linkabit

4.2. Средства связи шлюзовых станций

В 2010-х гг. началась программа «U.S. Army's Modernization of Enterprise Terminals program» (MET) по модернизации терминалов для CCC WGS, устанавливаемых в составе ШС и телепортов. Программа MET рассчитана на 10 лет. Программа MET предусматривает проектирование, производство и постановку оборудования нового поколения, которое должно заменить свыше 80 устаревших стационарных терминалов WGS. К заменяемому оборудованию относятся терминалы типа AN/GSC-39, AN/GSC-52, AN/GSC-70, AN/FSC-78 (рис. 14) и др. устаревающие типы.



а. AN/FSC-78



б. AN/GSC-39



в. AN/GSC-52

Рис. 14. Заменяемые устаревшие терминалы WGS в составе ШС и телепортов [1]

Новое оборудование поддерживает одновременную работу в X и Ka диапазонах, способно взаимодействовать с KA WGS, а также с KA устаревшей CCC DSCS, использует IP-протокол, выделенные подсети, подключение к глобальной информационной сети МО США GIG [1, 35, 43-45]. По программе MET должны быть разработаны терминалы следующих типов (рис. 15) [35]:

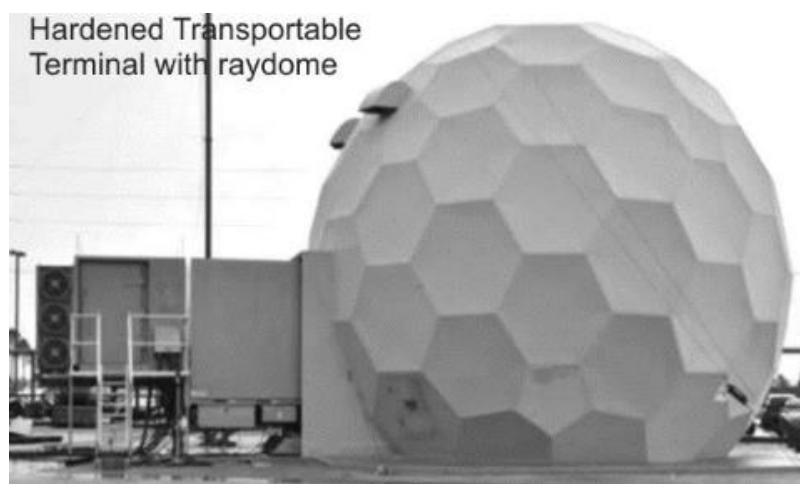
- 1) стационарный двухдиапазонный терминал (Large Fixed Terminal) с параболической антенной размером 12,2 м, обеспечивающий одновременную связь в X и Ka диапазонах с KA WGS и KA DSCS и имеющий

защиту от поражения мощными электромагнитными импульсами (ЭМИ);

- 2) типовой мобильный терминал (Hardened Transportable Terminal) с параболической антенной размером 7,2 м, обеспечивающий одновременную связь в X и Ka диапазонах с КА WGS и КА DSCS и также имеющий защиту от ветра и поражения мощными ЭМИ;
- 3) типовой мобильный терминал (Standard Transportable Terminal) с параболической антенной размером 7,2 м, обеспечивающий одновременную связь в X и Ka диапазонах с КА WGS и КА DSCS, без защиты от ветра и ЭМИ;
- 4) малый стационарный терминал (Small Fixed Terminal) с параболической антенной размером 4,8 м, обеспечивающий одновременную связь в X и Ka диапазонах с КА WGS и КА DSCS и имеющий сниженные требования по пропускной способности. Он может устанавливаться как на крышах зданий, так и на небольших оборудованных площадках. Данный тип терминала также не имеет защиты от ветра и ЭМИ.



а.



б.



в.



г.

Рис. 15. Новые терминалы WGS для ИС и телепортов: а. Large Fixed HEMP Terminal; б. Hardened Transportable Terminal; в. Standard Transportable Terminal; г. Small Fixed Terminal [1, 35]

ТТХ терминалов, разрабатываемых по программе МЕТ, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – ТТХ терминалов, разрабатываемых по программе МЕТ [35]

Характеристика \ тип терминала	Large Fixed / Large Fixed HEMP Terminal	Small Fixed Terminal	Standard Transportable Terminal	Hardened Transportable Terminal
Диапазон частот пере-дача/прием, ГГц:				
- в Х диапазоне	7,25-7,75/7,9-8,4	7,25-7,75/7,9-8,4	7,25-7,75/7,9-8,4	7,25-7,75/7,9-8,4
- в Ка диапазоне	20,2-21,2/30-31	20,2-21,2/30-31	20,2-21,2/30-31	20,2-21,2/30-31
Отношение коэффици-ента усиления прием-ной антенны к темпера-туре шумов, дБ/К:				
- в Х диапазоне	>35	>25	>30	>30
- в Ка диапазоне	>38	>30	>34	>34
ЭИИМ, дБ Вт:				
- в Х диапазоне	>117,5	>101	>112,5	>112,5
- в Ка диапазоне	>115,5	>101	>111,5	>111,5
Температура окружа-ющей среды	-40° ... 49° С			
Влажность	10 % ... 90 %			
Наработка на отказ, ч	1250			

Заключение

В статье представлена описательная модель геостационарной CCC WGS. Данная модель может использоваться для формирования исходных данных при формализации связных процессов по аналогии с некоторыми отечественными геостационарными CCC специального назначения. Кроме того, данная модель может быть использована при проектировании АТ, функционирующих совместно с CCC WGS, в перспективных международных проектах обеспечения услугами связи воинских подразделений организации объединенных наций (ООН) и при проведении совместных учений в рамках программы партнерства «Россия – ООН».

Литература

1. ATP 6-02.54. Techniques for satellite communications. – Washington, DC: Headquarters Department of the Army, 2020. – 98 p.
2. Kumar R., Taggart D., Monzingo R., Goo G. Wideband gapfiller satellite (WGS) system // 2005 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 2005, p. 1410-1417, doi: 10.1109/AERO.2005.1559431.
3. WGS 1, 2, 3 (WGS Block I) // Gunter's Space Page [Электронный ресурс], 2023. – URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/wgs-11.htm (дата доступа 12.09.2023).

4. Williams R. A., Paul H. I. Analysis of ground segment broadcast architectures for the Wideband Gapfiller Satellite (WGS) // MILCOM 2002. Proceedings. 2002. Vol. 2. P. 1412-1416.
5. Wideband Global SATCOM (WGS). Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR). – U. S. Air Force, 2013. – 35 p.
6. Fritz D. A., Doshi B. T., Oak A. C., Jones S. D., Burbank J. L., Miller H. L., Oetting J. D., Collins R. M., Gonzalez L. A., Nichols R. A. Military satellite communications: space-based communications for the global information grid // Johns Hopkins APL technical digest. 2006. Vol. 27. № 1. P. 32-40.
7. Kumar R., Nguyen T. M., Wang C. C., Goo G. W. Signal processing techniques for wideband communications systems. In MILCOM 1999. IEEE Military Communications. Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36341). Vol. 1. P. 452-457.
8. WGS – Wideband Global Satcom // Spaceflight101.com [Электронный ресурс], 2023. – URL: <https://spaceflight101.com/spacecraft/wgs-wideband-global-satcom/#:~:text=WGS%20%E2%80%93%20The%20Wideband%20Global%20Satcom,gathering%20operations%20around%20the%20globe> (дата доступа 12.09.2023).
9. Cinlemis M. Military Satellite Communications (MILSATCOM) Systems [Доклад] // National Defense Industry Association Proceedings. 2005. – URL: <https://present5.com/military-satellite-communications-milsatcom-systems-25-26/> (дата доступа 12.09.2023).
10. Paul H. I. Multi-carrier network-centric satellite communications modem design // MILCOM 2002 Proceedings. 2002. Vol. 1. P. 12-17. DOI: 10.1109/MILCOM.2002.1180372.
11. WGS 8, 9, 10 (WGS Block 2 Follow-On) // Spaceflight101.com [Электронный ресурс], 2023. – URL: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/wgs-8.htm (дата доступа 12.09.2023).
12. McLain C., Gonzalez L., Swenarton C. Optimized loading of NCW networks on WGS // IEEE Military Communications Conference. 2009. P. 1-7.
13. Gonzalez L., Rippon J. On minimizing WGS transponder power by optimizing channel gains designed for uplink frequency reuse via circular polarization // MILCOM 2017 - 2017 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). 2017. P. 147-152.
14. Gonzalez L., McLain C., Hall W. A plausible CONOPS for frequency reuse at Ka-band on WGS system // MILCOM 2011 Military Communications Conference. 2011. P. 1676-1683.
15. Roper D. H., Babiec W. E., Hannan D. D. WGS phased arrays support next generation DOD SATCOM capability // IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology. 2003. P. 82-87.
16. Bennett B., Hannan D., Marshall J., Gibbons R. Link analysis of commercial and wideband gapfiller satellite (WGS) satellites using DVB-S2 with variable coding and modulation (VCM) // MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications conference. 2006. P. 1-7.

17. Bennett B., Quock K., Greeves J., Nguyen M. H. DoD IP SATCOM Transition to WGS // MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference. 2007. P. 1-5.
18. Михайлов Р. Л. Описательные модели систем спутниковой связи как космического эшелона телекоммуникационных систем специального назначения. Монография. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2019. – 150 с.
19. Williams R. A., Paul H. I. Wideband Gapfiller Satellite System Support for the Global Hawk Mission // Proceedings of MILCOM 2002. 2002. pp. 1383-1387. DOI: 10.1109/MILCOM.2002.1179683/
20. Wang L., Ferguson D. WGS air-interface for AISR missions // MILCOM 2007 – IEEE Military Communications Conference. 2007. P. 1-7.
21. Timmerman C., Wright M., Brick T. Extension of DVB-S2 capabilities for high rate AISR data transport // MILCOM 2009 – 2009 IEEE Military Communications Conference. 2009. P. 1-7.
22. Gonzalez L., Greel R. E. A regulatory study and recommendation for EIRP Spectral Density requirement/allowance for SOTM terminals at Ka-Band on WGS system // MILCOM 2010 – IEEE Military communications conference. 2010. P. 1992-1997.
23. Rice M., Giles T., Wong V., Shakeel I., Mein D. Ground Mobile WGS Satcom for Disadvantaged Terminals // Journal of Battlefield Technology. 2009. Vol. 13 (1). P. 13-19.
24. WIN-T SATCOM Overview Briefing // Program Executive Office for Command, Control and Communications-Tactical (PEO C3T) [Электронный ресурс], 2013. – URL: <http://peoc3t.army.mil/wint/> (дата доступа: 20.01.2024).
25. WIN-T: Warfighter Information Network-Tactical. Commander's Handbook. Version 2.0. – General Dynamics, 2016 [Электронный ресурс]. – URL: <https://gdmissionsystems.com/-/media/General-Dynamics/Ground-Systems/PDF/general-dynamics-2016-win-t-commanders-handbook.ashx> (дата доступа: 20.01.2024).
26. Custom Engineered Satellite Communications // Data Path [Электронный ресурс], 2014. – URL: https://datapath.com/wp-content/uploads/2014/11/DataPath_CustomSystems_313.pdf (дата доступа: 20.01.2024).
27. Satellite Transportable Terminal (STT) // SBOLC 001-12 [Электронный ресурс], 2012. – URL: <http://sbolc.blogspot.com/2012/05/satellite-transportable-terminal-stt.html> (дата доступа: 14.09.2023).
28. Navy Multiband Terminal (NMT) // The Office of the Director, Operational Test and Evaluation [Электронный ресурс], 2017. – URL: <https://www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2017/navy/2017nmt.pdf?ver=2019-08-19-113708-867> (дата доступа: 14.09.2023).
29. Navy Multiband Terminal (NMT) // Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR) [Электронный ресурс], 2016. – URL: https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/FOID/Reading%20Room/Selected_

Acquisition_Reports/FY_2014_SARS/15-F-0540_NMT_SAR_Dec_2014.PDF (дата доступа: 14.09.2023).

30. Intellian receives WGS Certification for the new NX PM VSAT terminal // Intellian [Электронный ресурс], 2022. – URL: <https://www.intelliantech.com/en/news/newsroom/intellian-receives-wgs-certification-for-the-new-nx-pm-vsats-terminal-2/#> (дата доступа: 14.09.2023).

31. Tactical SHF Satellite Terminal (TSST) // L3Harris [Электронный ресурс], 2010. – URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=7AC54D9CDB5272D24ED2E24539B0F4DB?doi=10.1.1.190.2753&rep=rep1&type=pdf> (дата доступа: 14.09.2023).

32. TRM-1000/2000 SATCOM ON-THE-MOVE TERMINAL // L-3 Linkabit [Электронный ресурс]. 2016. – URL: <http://www2.l-3com.com/linkabit/pdf/datasheets/TRM-10002000.pdf> (дата обращения: 09.05.2016).

33. Мобильный SATCOM терминал TRM-1000/2000 // RadioCom-Review - Радиосистемы и оборудование [Электронный ресурс]. 2016. – URL: <https://radiocom-review.blogspot.com/2016/05/l-3-linkabit-satcom-trm-10002000.html> (дата обращения: 23.10.2023)

34. MET. Modernization of enterprise terminals // L3Harris [Электронный ресурс], 2020. – URL: <https://www.l3harris.com/sites/default/files/2022-10/cs-bcs-modernization-of-enterprise-terminals-met-sell-sheet.pdf> (дата доступа: 14.09.2023).

35. Храмов В. Ю., Чепурнов П. А. Состояние и перспективы развития систем спутниковой связи тактического звена управления США и стран НАТО // Информация и космос. 2016. № 2. С. 23-26.

36. Макаренко С. И. Использование космического пространства в военных целях: современное состояние и перспективы развития систем информационно-космического обеспечения и средств вооружения // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 161-213. DOI: 10.24411/2410-9916-2016-10409.

37. Макаренко С. И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113-164. DOI: 10.24411/2410-9916-2017-10205.

38. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18-68. DOI: 10.24411/2410-9916-2017-10202.

39. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 1-34. DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10401.

40. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Inmarsat // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 64-91. DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10404.

41. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально-помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. С. 2. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (дата обращения 05.03.2019).

42. ETSI TS 125 211 v. 7.2.0 (2007-05). Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD). 3GPP TS 25.211 version 7.2.0 Release 7. – Route des Lucioles, European Telecommunications Standards Institute, 2007. – 55 p. – URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125200_125299/125211/07.02.00_60/ts_125211v070200p.pdf (дата обращения 05.03.2019).

43. Александров С., Туров Д. Перспективные системы и средства радиосвязи тактического звена управления ВС США // Зарубежное военное обозрение. 2018. № 11. С. 42-48. – URL: http://pentagonus.ru/publ/perspektivnye_sistemy_i_sredstva_radiosvjazi_takticheskogo_zvena_upravlenija_vs_ssha_2018/11-1-0-2868 (дата доступа 03.07.2019).

44. Спутниковые системы связи и вещания. 2019. № 1. – URL: <http://www.radiotec.ru/media/journal/%D0%94%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-CCCB-2019-1.pdf> (дата доступа 03.07.2019).

45. Спутниковые системы связи и вещания. 2019. № 2. – URL: http://www.radiotec.ru/media/journal/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_2019_2.pdf (дата доступа 03.07.2019).

References

1. ATP 6-02.54. *Techniques for satellite communications*. Washington, DC, Headquarters Department of the Army, 2020. 98 p. (in English).

2. Kumar R., Taggart D., Monzingo R., Goo G. Wideband gapfiller satellite (WGS) system. *2005 IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 2005, pp. 1410-1417, doi: 10.1109/AERO.2005.1559431 (in English).

3. WGS 1, 2, 3 (WGS Block I). Gunter's Space Page, 2023. Available at: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/wgs-11.htm (accessed 12.09.2023) (in English).

4. Williams R. A., Paul H. I. Analysis of ground segment broadcast architectures for the Wideband Gapfiller Satellite (WGS). *MILCOM 2002. Proceedings*, 2002, vol. 2, pp. 1412-1416 (in English).

5. Wideband Global SATCOM (WGS). *Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR)*. U. S. Air Force, 2013. 35 p. (in English).

6. Fritz D. A., Doshi B. T., Oak A. C., Jones S. D., Burbank J. L., Miller H. L., Oetting J. D., Collins R. M., Gonzalez L. A., Nichols R. A. Military satellite communications: space-based communications for the global information grid. *Johns Hopkins APL technical digest*, 2006, vol. 27, no 1, pp. 32-40 (in English).

7. Kumar R., Nguyen T. M., Wang C. C., Goo G. W. Signal processing techniques for wideband communications systems. In MILCOM 1999. *IEEE Military Communications. Conference Proceedings (Cat. No. 99CH36341)*, vol. 1, pp. 452-457.
8. WGS – Wideband Global Satcom. Spaceflight101.com, 2023. Available at: <https://spaceflight101.com/spacecraft/wgs-wideband-global-satcom/#:~:text=WGS%20%E2%80%93%20The%20Wideband%20Global%20Satcom,gathering%20operations%20around%20the%20globe> (accessed 12.09.2023) (in English).
9. Cinlemis M. Military Satellite Communications (MILSATCOM) Systems. *National Defense Industry Association Proceedings*. 2005. Available at: <https://present5.com/military-satellite-communications-milsatcom-systems-25-26/> (accessed 12.09.2023).
10. Paul H. I. Multi-carrier network-centric satellite communications modem design. *MILCOM 2002 Proceedings*, 2002, vol. 1, pp. 12-17. DOI: 10.1109/MILCOM.2002.1180372.
11. WGS 8, 9, 10 (WGS Block 2 Follow-On). *Spaceflight101.com*, 2023. – Available at: https://space.skyrocket.de/doc_sdat/wgs-8.htm (accessed 12.09.2023).
12. McLain C., Gonzalez L., Swenarton C. Optimized loading of NCW networks on WGS. *IEEE Military Communications Conference*, 2009, pp. 1-7.
13. Gonzalez L., Rippon J. On minimizing WGS transponder power by optimizing channel gains designed for uplink frequency reuse via circular polarization. *MILCOM 2017 - 2017 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, 2017, pp. 147-152.
14. Gonzalez L., McLain C., Hall W. A plausible CONOPS for frequency reuse at Ka-band on WGS system. *MILCOM 2011 Military Communications Conference*, 2011, pp. 1676-1683.
15. Roper D. H., Babiec W. E., Hannan D. D. WGS phased arrays support next generation DOD SATCOM capability. *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, 2003, pp. 82-87 (in English).
16. Bennett B., Hannan D., Marshall J., Gibbons R. Link analysis of commercial and wideband gapfiller satellite (WGS) satellites using DVB-S2 with variable coding and modulation (VCM). *MILCOM 2006 - 2006 IEEE Military Communications conference*, 2006, pp. 1-7.
17. Bennett B., Quock K., Greeves J., Nguyen M. H. DoD IP SATCOM Transition to WGS. *MILCOM 2007 - IEEE Military Communications Conference*, pp. 1-5.
18. Mikhailov R. L. *Opisatelnye modeli sistem sputnikovoj svyazi kak kosmicheskogo eshelona telekommunikacionnyh sistem specialnogo naznacheniya. Monografiya* [Descriptive models of satellite communication systems as a space echelon of special purpose telecommunication systems. Monograph]. Saint Petersburg, Naukoemkie Tekhnologii Publ., 2019. 150 p. (in Russian).

19. Williams R. A., Paul H. I. Wideband Gapfiller Satellite System Support for the Global Hawk Mission. *Proceedings of MILCOM 2002*, 2002, pp. 1383-1387. DOI: 10.1109/MILCOM.2002.1179683.
20. Wang L., Ferguson D. WGS air-interface for AISR missions. *MILCOM 2007 – IEEE Military Communications Conference*, 2007, pp. 1-7.
21. Timmerman C., Wright M., Brick T. Extension of DVB-S2 capabilities for high rate AISR data transport. *MILCOM 2009 – 2009 IEEE Military Communications Conference*, 2009, pp. 1-7.
22. Gonzalez L., Greel R. E. A regulatory study and recommendation for EIRP Spectral Density requirement/allowance for SOTM terminals at Ka-Band on WGS system. *MILCOM 2010 – IEEE Military communications conference*, 2010, P. 1992-1997 (in English).
23. Rice M., Giles T., Wong V., Shakeel I., Mein D. Ground Mobile WGS Satcom for Disadvantaged Terminals. *Journal of Battlefield Technology*, 2009, vol. 13 (1), pp. 13-19.
24. WIN-T SATCOM Overview Briefing. Program Executive Office for Command, Control and Communications-Tactical (PEO C3T) Available at: <http://peoc3t.army.mil/wint/> (accessed 20.01.2024).
25. WIN-T: Warfighter Information Network-Tactical. Commander's Handbook. Version 2.0. General Dynamics, 2016. Available at: <https://gdmissionsystems.com/-/media/General-Dynamics/Ground-Systems/PDF/general-dynamics-2016-win-t-commanders-handbook.ashx> (accessed 20.01.2024).
26. Custom Engineered Satellite Communications. Data Path, 2014. Available at: https://datapath.com/wp-content/uploads/2014/11/DataPath_CustomSystems_313.pdf (accessed 20.01.2024).
27. Satellite Transportable Terminal (STT). SBOLC 001-12, 2012. Available at: <http://sbolc.blogspot.com/2012/05/satellite-transportable-terminal-stt.html> (accessed 14.09.2023).
28. Navy Multiband Terminal (NMT). The Office of the Director, Operational Test and Evaluation, 2017. Available at: <https://www.dote.osd.mil/Portals/97/pub/reports/FY2017/navy/2017nmt.pdf?ver=2019-08-19-113708-867> (accessed 14.09.2023).
29. Navy Multiband Terminal (NMT). Defense Acquisition Management Information Retrieval (DAMIR), 2016. Available at: https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/FOID/Reading%20Room/Selected_Acquisition_Reports/FY_2014_SARS/15-F-0540_NMT_SAR_Dec_2014.PDF (accessed 14.09.2023).
30. Intellian receives WGS Certification for the new NX PM VSAT terminal. Intellian, 2022. Available at: <https://www.intelliantech.com/en/news/newsroom/intellian-receives-wgs-certification-for-the-new-nx-pm-vsats-terminal-2/#> (accessed 14.09.2023).

31. Tactical SHF Satellite Terminal (TSST). L3Harris, 2010. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=7AC54D9CDB5272D24ED2E24539B0F4DB?doi=10.1.1.190.2753&rep=rep1&type=pdf> (accessed 14.09.2023).
32. TRM-1000/2000 SATCOM ON-THE-MOVE TERMINAL. L-3 Linkabit, 2016. Available at: <http://www2.l-3com.com/linkabit/pdf/datasheets/TRM-10002000.pdf> (accessed 09.05.2016).
33. Mobil'nyj SATCOM terminal TRM-1000/2000 [Mobile SATCOM terminal TRM-1000/2000]. *RadioCom-Review*, 2016. Available at: <https://radiocom-review.blogspot.com/2016/05/l-3-linkabit-satcom-trm-10002000.html> (accessed 23.10.2023) (in Russian).
34. MET. Modernization of enterprise terminals, 2020. Available at: <https://www.l3harris.com/sites/default/files/2022-10/cs-bcs-modernization-of-enterprise-terminals-met-sell-sheet.pdf> (accessed 14.09.2023).
- 35 Khramov V. Ju., Chepurnov P. A. US and NATO Satellite Communication System Tactical Wing Management: Current State and Development Prospects. *Informatsiia i kosmos*, 2016, no. 2, pp. 23-26 (in Russian).
36. Makarenko S. I. Information-Space Systems and Space Weapons – Current State and Prospects of Improvement. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 4, pp. 161-213. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/09-Makarenko.pdf> (accessed 03 March 2019) (in Russian).
37. Makarenko S. I. Descriptive Model of a Special Purpose Communication Network. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 113-164 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2016-10409
38. Makarenko S. I. Prospects and Problems of Development of Communication Networks of Special Purpose. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 18-68 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2017-10202
39. Makarenko S. I. Descriptive Model of Iridium Satellite Communication System. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 4, pp. 1-34 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10401
40. Makarenko S. I. Descriptive Model of Inmarsat Satellite Communication System. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 4, pp. 64-91 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10404
41. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. The research of data link layer and network layer parameters of communication channel in the conditions of dynamic vary of the signal and noise situation. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10, pp. 2. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf> (accessed 05 March 2019) (in Russian).
42. ETSI TS 125 211 v. 7.2.0 (2007-05). *Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*. 3GPP TS 25.211 version 7.2.0 Release 7. Route des Lucioles, European Telecommunications Standards Institute, 2007. 55 p. Available at:

https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125200_125299/125211/07.02.00_60/ts_125211v070200p.pdf (accessed 05 March 2019) (in English).

43. Aleksandrov S., Turov D. Perspektivnye sistemy i sredstva radiosvyazi takticheskogo zvena upravleniya VS SSHA [Advanced systems and means of radio communication tactical management of the US armed forces]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie* [Foreign military review], 2018, no. 11, pp. 42-48. Available at: http://pentagonus.ru/publ/perspektivnye_sistemy_i_sredstva_radiosvjazi_takticheskogo_zvena_upravlenija_vs_ssha_2018/11-1-0-2868 (accessed 03 June 2019) (in Russian).

44. *Sputnikovye sistemy svyazi i veshchaniya* [Satellite communication and broadcasting systems]. 2019, no. 1. Available at: <http://www.radiotec.ru/media/journal/%D0%94%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-CCCB-2019-1.pdf> (accessed 03 June 2019) (in Russian).

45. *Sputnikovye sistemy svyazi i veshchaniya* [Satellite communication and broadcasting systems]. 2019, no. 2. Available at: http://www.radiotec.ru/media/journal/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_2019_2.pdf (accessed 03 June 2019) (in Russian).

Статья поступила 12 февраля 2023 г.

Информация об авторах

Макаренко Сергей Иванович – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Советник генерального директора. ПАО «Интелтех». Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

Михайлов Роман Леонидович – доктор технических наук, доцент. Научно-педагогический работник. Военный университет радиоэлектроники. Область научных интересов: информационные конфликты, координация подсистем наблюдения и воздействия. E-mail: cvviur6@mil.ru

Адрес: 162622, Вологодская обл., г. Череповец, Советский пр., д. 126.

Descriptive Model of WGS Satellite Communications System

S. I. Makarenko, R. L. Mikhailov

Relevance. Providing communication services for military units which protect the interests of Russia beyond its borders requires the creation of special-purpose satellite communication systems (SATCOMM) with a global coverage area. Currently such projects are being developed in Russia. Simultaneously the technical decision making of geostationary SATCOMM requires the source data for modeling various ways

of building the communication services. Another technologically advanced SATCOMM - Wideband Global Satellite Communications (WGS), which provides broadband operational, tactical and strategic link of the US armed forces, can be used for form that kind of the source data and may be a prototype of a special-purpose SATCOMM. **The aim of the paper** is to form a descriptive model of WGS. The descriptive model will be used for development of the source data for create of the new SATCOMM of Russian. **Results and their novelty.** The element of practical novelty of the paper is the revealed general technological features of special-purpose SATCOMM by the example of WGS. 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.** Presented descriptive model will be useful for technical specialists to substantiate new technological solutions for domestic special-purpose SATCOMM. 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, SATCOMM, mobile satellite communication system, Wideband Global Satellite Communications, WGS.

Information about Authors

Sergey Ivanovich Makarenko – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electrotechnical University 'LETI'. Advisor to the CEO. JSC "Inteltech". Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: Russia, 197376, Saint Petersburg, Professor Popov Street, 5.

Roman Leonidovich Mikhailov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Scientific and pedagogical worker. Military University of Radio Electronics. Field of research: information warfare, coordination of monitoring and impact subsystems. E-mail: cvviur6@mil.ru

Address: Russia, 162622, Vologda region, Cherepovets, Sovetskiy prospect, 126.