

# МОНИТОРИНГ НЕФТЕ- ГАЗОДОБЫЧИ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ С КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ВЫСОТНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОРБИТАХ ТИПА "МОЛНИЯ"

И.А. Астраханцев, А.М. Голиков (научный руководитель)

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР  
E-mail: rts2\_golikov@mail.ru

Географические особенности Российской Федерации (большая протяженность в долготном направлении, северное расположение территорий, включая Полярный бассейн и акваторию Северного Ледовитого океана) требуют использования систем спутниковой связи (ССС) с применением космических аппаратов (КА) на высотных эллиптических орбитах (ВЭО) типа «Молния». Они обеспечивают на всей обслуживаемой территории высокие углы видимости КА с объектов связи (в пределах 45°-90°), что особенно важно при связи с подвижными объектами, а также со стационарными объектами, расположенными в районах со сложным рельефом местности. Применение системы связи на ВЭО является оптимальным с точки зрения количества КА для обеспечения связи, такой геометрии трасс. В докладе рассмотрена реализация модели DVB-S2 (линии "вниз"). Разработана модель в среде Simulink для стандарта DVB-S2. Получены результаты исследования Simulink модели DVB-S2 и результаты исследований модели Symulink линии "вверх" MF-TDMA.

Система спутниковой связи «НордМедиаСтар» [1-3] предназначена для построения сетей с предоставлением мультимедийных услуг (в частности, телефонии, передачи данных, телематических услуг, включая высокоскоростной доступ в Интернет, непосредственного многопрограммного цифрового телевизионного вещания, включая видео по запросу, непосредственного многопрограммного цифрового радиовещания) на подвижные и стационарные объекты на всей территории России, сопредельных государств и в Северном Полярном бассейне.

Таблица 1. Общие характеристики СССР «НордМедиаСтар»

Зона обслуживания	Территория РФ, сопредельных государств и Арктической зоны РФ
Тип орбиты	Высокоэллиптическая типа «Молния»
Количество КА	Четыре
Срок эксплуатации КА	10 лет
Ориентация КА	Трехосная
Масса КА, кг	2000
Энергопотребление полезной нагрузки, Вт	8000
Диапазоны частот	C – абонентские линии сетей теле- и радиовещания, доступа в Интернет, корпоративных мультисервисных сетей
	L – абонентские линии корпоративных мультисервисных

	сетей для <i>VIP</i> -пользователей
	<i>Ku</i> – фидерные линии и обмен ТВ и РВ программами

Орбитальная группировка ССС «Глобсатком» включает в себя четыре синхронизированных КА на орбитах типа «Молния». Из них во включенном состоянии находится один, располагающийся вблизи апогея на основном витке над севером Западной Сибири. При полетах самолетов через Северный полюс может включаться и второй КА, находящийся на сопряженном витке с апогеем над Севером Канады. Возможности обслуживания территорий земного шара с орбиты типа «Молния» показаны на рисунке 1.



Рис. 1. Зона обслуживания КА на орбите типа «Молния»

Бортовой ретрансляционный комплекс обеспечивает работу в L (1,5/1/6 ГГц), С (6/4 ГГц) и Ku (14/11 ГГц) диапазонах. В состав БРТК входят приемный и передающие комплексы, антенно-фидерная система, аппаратура обработки сигналов, во многом определяющая особенности и преимущества РТР «НордМедиаСтар».

Адаптивное когерентное сложение сигналов по приему на БРТК позволяет реализовать следующие приемные системы:

- *L*-диапазон - адаптивная приемная ФАР на 16 несущих с 24 ветвями пространственного разнесения на каждой несущей (КНД<32 дБ для каждого луча на своей несущей);
- *C*-диапазон - адаптивная приемная ФАР на 64 несущих с 24 (или 48) ветвями пространственного разнесения на каждой несущей (КНД<37 дБ, или 40 дБ для каждого луча на своей несущей);
- *Ku*-диапазон - адаптивная приемная ФАР на 24 несущих с 24 (или 96) ветвями пространственного разнесения на каждой несущей (КНД<37 дБ, или 43 дБ для каждого луча на своей несущей).

Приемные комплексы различных диапазонов построены по схожему принципу и имеют в своем составе специальный процессор адаптивного сложения и усиления разнесенных сигналов на базе так называемых «когераторов» [3].

Всего в составе БРТК реализовано: 16 когераторов на 24 ветви разнесения в *L*-диапазоне; 64 на 4 (или на 48) в *C*-диапазоне; 24 на 24 (или на 96) в *Ku*-диапазоне.

Структурная схема приемного комплекса на примере *C*-диапазона приведена на рисунке 3. Организовано 64 частотных ствола шириной по 8 МГц с шагом через 10 МГц, входящих в 16 групп по четыре ствола каждая, занимающих полосы по 40 МГц с шагом через 50 МГц (всего 800 МГц). Земной сегмент ССС включает центр управления полетом (ЦУП), контрольно-измерительный комплекс (КИК), наземный комплекс технического обеспечения КА, центр управления связью (ЦУС) и ЗС различного назначения.



Рис. 3. Структурная схема приемного комплекса С-диапазона

В работе проведен энергетический расчет для ССС «НордМедиаСтар», что позволило произвести оценку пропускной способности линий связи при заданной BER -  $10^{-7}$  и обеспечить скорость передачи "линии вниз" 150 Мбит/с, а "линии вверх" 5 Мбит/с. Такие технические характеристики могут быть обеспечены с использованием стандарта двухсторонней связи DVB-RCS [4]. Стандарт DVB-S2 (прямой канал) предусматривает четыре возможных схемы модуляции.

По сравнению с QPSK, верхняя схема модуляции, 32 APSK, позволяет повысить общую скорость потока в 2.5 раза. Для защиты от помех в новом стандарте, как и в прежних, используется перемежение данных и наложение двухуровневого кода для прямой коррекции ошибок (Forward Error Correction FEC). Но системы внешней и внутренней кодозащиты – другие, чем в стандарте DVB-S. В качестве внешней кодозащиты вместо кода Рида-Соломона используется код Боуза-Чоудхури-Хоквингема (Bose-Bhauhdhuri-Носquenghem, BCH), а в качестве внутренней, вместо сверхточного кода, – код с низкой плотностью проверок на четность (Low Density Parity Check Codes – LDPC). Критерием выбора была достижимая с помощью кода эффективность передачи в канале, и коду LDPC удалось максимально приблизить ее к пределу Шеннона при соблюдении установленных ограничений на сложность чипа декодера. Код LDPC накладывается на блоки длиной 64800 бит, которые для приложений, чувствительных к задержкам, могут быть сокращены в 4 раза. Относительная скорость передачи может составлять от 1/4, до 9/10. Первый вариант предусматривает передачу трех защитных бит на каждый полезный, а последний, одиннадцати – один контрольный бит на девять полезных.

Новая пара кодов обеспечивают более эффективное использование канального ресурса, чем коды DVB-S. Она позволяет работать при уровнях SNR всего на 0.7 дБ выше требуемого соотношением Шеннона для заданной скорости, в то время как применение свертки в паре с кодом Рида-Соломона требовало превышения этого предела примерно на 5 дБ. Правда, при этом не выполняются условия бесконечно высокой достоверности передаваемой информации, оговоренные в теореме Шеннона. Более того, новый стандарт допускает более высокую частоту ошибок BER на выходе декодера, чем старый. Если кодеры стандарта DVB-S обеспечивают снижение BER до  $10E-10$  –  $10E-11$ , то LDPC в сочетании с BCH снижают его до уровня  $10E-7$ . Такой уровень соответствует появлению одной ошибки в час при передаче потока скоростью 5 Мбит/с. В случае передачи пакетной информации, перед ее подачей в FEC- кодеры, на нее накладывается CRC-8 (Cyclic Redundancy Check) кодирование. А после FEC кодирования данные подвергаются перемежению, защищающему ее от длительных помех.

Реализация модели DVB-S2 (линии "вниз"). Разработана модель в среде разработки Simulink для стандарта DVB-S2 [5]. Результаты исследования Simulink модели DVB-S2.

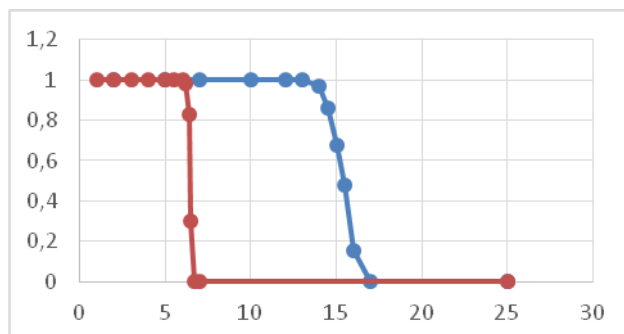


Рис. 4. График зависимости BER от SNR на входе/выходе системы. Синяя линия – для QPSK, Красная линия – для 8-PSK

Результаты исследований модели Symulink линии "вверх" MF-TDMA при использовании двух входных последовательностей представлены на рисунке 5. По полученным данным построены зависимости BER от SNR для первой и второй последовательности.

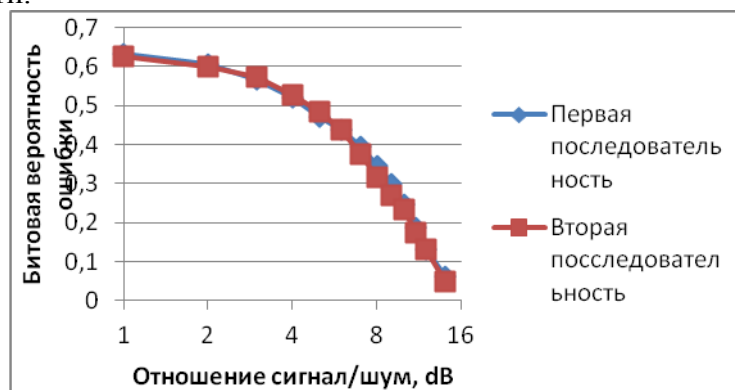


Рис. 5. Зависимость BER от SNR для двух последовательностей

В докладе представлены основные результаты исследований модели спутниковой системы передачи данных на базе стандарта DVB-RCS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А. С., Бобков В. Ю., Камнев Е. Ф. «Глобсатком» - новая система спутниковой связи на базе использования космических аппаратов на высокой эллиптической орбите // Мир связи. 2007. № 12.
2. Захаров Ф.Н. Оценка величины зенитной задержки радионавигационных сигналов в юго-восточной части охотского моря по данным метеоизмерений вблизи навигационного приемника /Захаров Ф.Н., Госенченко С.Г., Крутиков М.В. // Доклады ТУСУР. 2015, т.2 №35, с. 9-17,
3. Российские патенты RU 72 804 U1 от 27.12.2007 и RU 75 812 U1 от 18.03.2008, Камнев Е. Ф. и др.
4. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Видеоинформационные системы. Теория и практика. - М.: Техносфера. - 1008 с.
5. Спутниковые и телекоммуникационные системы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.telecomnetworks.ru/support/discription/dvbrcs/>. (Дата обращения 25.02.2017 г.)