Терабитные скорости передачи по спутнику

Андрей ШЕСТАКОВ,
ООО «Телеком-проект-5»

Николай ШЕСТАКОВ,
ООО «Телеком-проект-5»

Михаил ХОДАКОВ,
ООО «Телеком-проект-5»

Николай ЯМБУРЕНКО,
ООО «Телеком-проект-5»

В настоящее время мировая отрасль спутниковой связи переживает этап бурного технологического развития, сопровождаемый значительным ростом качественных и количественных характеристик систем спутниковой связи и спутниковых услуг, что позволяет операторам связи перейти к решению глобальной задачи – ликвидации цифрового неравенства как в развитых, так и в развивающих странах.

Куда движется мировая отрасль спутниковой связи

Для решения задачи ликвидации цифрового неравенства на всей планете в настоящее время необходимо подключить к сети Интернет около 3 млрд человек, которые сейчас не имеют выхода во Всемирную паутину. Расчеты и оценки показывают, что для обслуживания 3 млрд человек на орбите должна быть создана группировка спутников связи с пропускной способностью около 500 Тбит/с и с эквивалентной емкостью 7 млн транспондеров по 36 МГц. Казалось бы, фантастические величины, однако на орбите уже работают 700 спутников проекта Starlink, а в ближайшие годы планируется достижение пропускной способности этой системы

до 100 Тбит/с. В 2021 г. ожидается запуск на орбиту двух новых проектов терабитного класса – Viasat-3 и O3B mPower, вдогонку за которыми идут такие проекты, как OneWeb, Kuiper, «Скиф» и др.

Безусловно, все то, что происходит в мире в отрасли спутниковой связи представляет значительный интерес и для России, но еще более актуальным является вопрос о роли и месте перспективных систем спутниковой связи в телекоммуникационном пространстве РФ.

Российская проблема с охватом отдаленных регионов

Действительно, к настоящему времени определилось главное, приоритетное направление ликвидации цифрового неравенства в РФ путем развития наземных сетей беспроводного доступа и прокладки ВОЛС к населенным пунктам страны.

По имеющимся данным, охват населения страны сетями 3/4G уже достиг величины свыше 85%. В ближайшие годы линии ВОЛС обеспечат подключение к услугам ШПД всех населенных пунктов России с населением более 250 человек после завершения проекта «250-500» ПАО «Ростелеком».

Однако на телекоммуникационной карте страны остается большое количество малых населенных пунктов, где проживают менее 250 человек, куда линии ВОЛС еще не проложены. По данным статистики, всего в РФ малых населенных пунктов с населением менее 250 человек, в которых проживает 5,175 млн человек, насчитывается 102,146 тыс. (табл. 1).

Численность населения в населенных пунктах, чел.	Кол. населенных пунктов, тыс.	Численность населения, тыс. чел.	Количество домохозяйств, тыс.
менее 6	22,971	63,964	24,602
6 - 10	13,254	103,304	39,732
11 - 25	19,225	323,600	124,462
26 - 50	13,522	494,390	190,150
51 - 100	13,798	1006,132	386,974
101 - 200	14,682	2132,641	820,247
200 - 249	4,694	1051,000	404,231
Итого:	102,146	5 175	1 990

Таблица 1. *Данные статистики по малым населенным пунктам РФ с населением менее 250 человек*

Почему ВОЛС не может решить все проблемы

Уже анонсирован проект подключения по ВОЛС населенных пунктов с населением от 100 до 249 человек. Однако проведенный анализ (на основе достигнутых показателей строительства ВОЛС по проекту «250-500») показал, что для подключения 102,146 тыс. малых населенных пунктов страны с населением менее 250 человек к сети Интернет по ВОЛС потребуется:

- проложить 1,2 млн км линий ВОЛС;
- затратить на прокладку ВОЛС около 1 трлн руб.;
- 60 лет, при условии сохранения существующих темпов прокладки ВОЛС до 20 тыс. км в год.

Что должна обеспечить спутниковая система связи

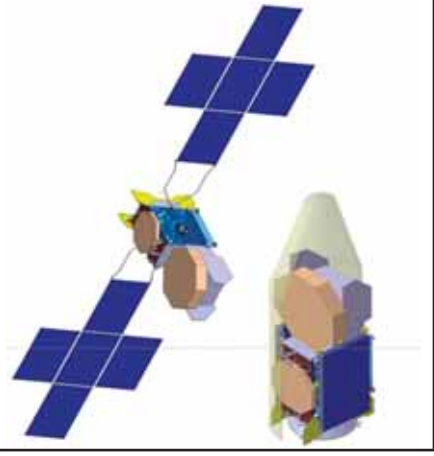
Новая спутниковая система должна будет обеспечить:

- высокую пропускную способность – не менее 450–500 Гбит/с на территории РФ для подключения к широкополосному доступу до 102 тыс. населенных пунктов с населением до 5,175 млн человек в составе 1,99 млн домохозяйств;
- многократное снижение общих капитальных затрат на ликвидацию цифрового неравенства по сравнению с дорогостоящей прокладкой ВОЛС;
- достижение тарифов на услуги, не превышающих тарифы наземных сетей связи;
- возможность массового применения дешевых спутниковых терминалов для населения;

> В ближайшие годы линии ВОЛС обеспечат подключение к услугам ШПД всех населенных пунктов России с населением более 250 человек.

Очевидно, что решение задачи ликвидации цифрового неравенства в РФ прокладкой только линий ВОЛС – дело весьма затруднительное, затратное и длительное (если вообще реальное). Кроме того, актуальным является рассмотрение альтернативных вариантов решения этой задачи на основе технологий спутниковой связи путем создания новой экономически эффективной системы спутниковой связи с высокой пропускной способностью.

Возможный облик спутника



Характеристики системы:
- орбита – ГСО;
- количество спутников в системе – два;
- пропускная способность спутника:
- для терминала 0,72 м – 650 Гбит/с;
- для терминала 1,2 м – 1050 Гбит/с;
- количество эквивалентных транспондеров по 36 МГц на спутнике – 13,5 тыс.;
- масса спутника – 3,3 т;
- мощность электропитания полезной нагрузки – 16 кВт;
- количество приемных/передающих лучей – 4096/4096;
- ресурс спутника – 15 лет

Рис. 1. *Характеристики спутника и системы связи*

- решение задачи полной ликвидации цифрового неравенства в России за ограниченный срок – не более 10–15 лет.

При этом спутниковая система может быть использована как для непосредственного подключения абонентов к сети Интернет с помощью индивидуальных терминалов, так и для организации магистральных каналов связи для подключения базовых станций Wi-Fi, 3/4/5G в малых населенных пунктах.

Система на ГСО с пропускной способностью по 1 Тбит/с на спутник

Наша компания за последние годы выполнила разработку проекта такой системы спутниковой связи на основе геостационарных спутников с высокой пропускной способностью с использованием технологии полезных нагрузок на основе многолучевых активных фазированных антенных решеток (АФАР) с цифровым диаграммообразованием. Характеристики спутника и системы связи, полученные в результате проектирования, приведены на рис. 1.

Для формирования зоны обслуживания системы с охватом большей части территории РФ необходимо использовать не менее двух аппаратов – в восточной и западной части дуги геостационарной орбиты (рис. 2).

Формирование значительного количества узких перенацеливаемых лучей и многократное использование полосы частот обеспечивают достижение высокой пропускной способности и гибкости системы спутниковой связи.

Для приземления трафика на территории России необходимо развернуть сеть телепортов с использованием антенн спутниковой связи с апертурой 2,4–3,7 м (рис. 3).

Планируется применение двух основных типов абонентских терминалов:
- с антенной 0,72 м и BUC 3 Вт – для индивидуального пользования домохозяйствами;
- с антенной 1,2 м и BUC 3 Вт – для организации каналов связи для базовых станций (Бэкхол).

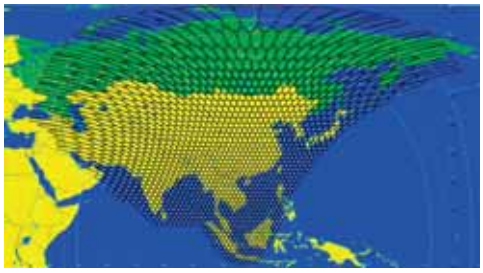
Ожидаемая стоимость терминала с антенной 0,72 м при организации крупносерийного производства составляет 10–12 тыс. руб.

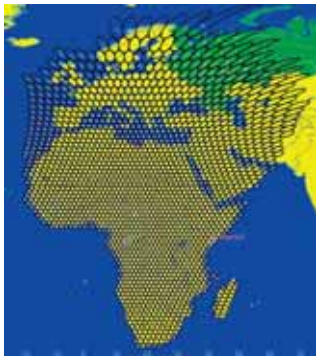
Кроме территории России система сможет обслуживать территорию большого количества зарубежных стран, где сегодня актуально предоставление услуг спутникового ШПД.

Существенный вопрос проекта – величина задержки. С одной стороны, геостационарные системы широкополосного доступа получили развитие и нашли широкое применение – сейчас на планете около 2 млн абонентов. С другой стороны, позиции операторов ГСО-систем критикуются авторами и апологетами низкоорбитальных проектов как решения, соизмеримые по скорости с голубиной почтой, что, конечно, некорректно. Анализ влияния величины задержек на услуги ШПД приведен в табл. 2.

Проведенный анализ и мировая практика показывают, что использование геостационарной орбиты для ликвидации цифрового неравенства является приемлемым решением.

Ключевой элемент проекта – полезная нагрузка спутника на основе технологии многолучевых





Зоны обслуживания «восточного» и «западного» спутников системы формируются ансамблем из 4096 перенацеливаемых приемных/передающих лучей с повторным использованием полосы частот 256 раз

Рис. 2. *Зона обслуживания системы*

Рис. 3. *Возможная схема размещения телепортов на территории России*

№	Приложение	Допустимые нормы, мс	Степень влияния задержки на качество	Возможность компенсации
1	Голосовая связь	< 300, выполняется	Приемлемое качество	Отсутствует
2	ШПД в сеть Интернет	< 1000	Средняя	Применение механизмы компенсации задержки (спуффинга, кеширования)
3	Видео	Не критично	Низкое	Не требуется
4	M2M, IoT и пр.	-	Низкое	Не требуется
5	Беспилотный транспорт, транзакции, игры	< 50	Высокое	Отсутствует

Таблица 2. *Влияние величины задержек на услуги ШПД*

АФАР с цифровым диаграммообразованием. Ввиду полного отсутствия на рынке предложений по данного типа полезным нагрузкам авторами проекта была выполнена углубленная разработка полезной нагрузки в целом и отдельных ее элементов. В результате были определены основные системные и технические решения, характеристики полезной нагрузки и ее составных частей, необходимые бюджеты, выполнена детальная разработка блока цифрового диаграммообразования и комплектующих для его создания, разработан график. Проведенные работы показали, что создание полезной нагрузки с требуемыми характеристиками высокой пропускной способности на основе АФАР с цифровым диаграммообразованием возможно за срок не более пяти лет.

Преимущества российского проекта

Выбор типа и технологии полезной нагрузки определяется рядом весьма значительных факторов – преимуществ, которые являются весьма важными для всего проекта.

Высокая пропускная способность спутника, с одной стороны, обеспечивает возможность решения масштабных задач типа ликвидации цифрового неравенства, с другой – определяет существенное снижение тарифов на услуги связи до уровня тарифов наземных сетей благодаря уменьшению себестоимости каналов связи.

Кроме того, при достижении высоких показателей пропускной способности появляется возможность предоставления значительной части емкости спутников на зарубежных рынках, что позволяет заметно улучшить экономические показатели всего проекта.

Значительная гибкость спутников в орбитальном полете достигается изменением зон обслуживания, формируемых ансамблем перенацеливаемых лучей, изменением телекоммуникационной плотности услуг в пределах зон обслуживания (от одного до 20 лучей в каждой точке зоны обслуживания), что позволяет адаптировать проект к изменению рынка во время полета спутника.

Гибкость системы также обеспечивает возможность размещения телепортов для приземления трафика практически в любом месте зоны обслуживания – на территории России и зарубежных стран.

Возможность быстрого, оперативного переключения телекоммуникационной плотности услуг между различными территориями позволяет адаптировать систему к изменениям трафика и повышать ее отдачу.

Экономика проекта

Экономические оценки, выполненные при разработке проекта, показали, что общие затраты на ликвидацию цифрового неравенства в Российской Федерации на создание высокоэффективной системы спутниковой связи могут составить до 130 млрд руб. – при обеспечении 100% орбитального резерва и развертывании сети из 100 тыс. базовых станций Wi-Fi. Это примерно в восемь раз ниже, чем для проекта по прокладке ВОЛС и строительства базовых станций Wi-Fi в 100 тыс. малых населенных пунктах страны.

> Общие затраты на ликвидацию цифрового неравенства в РФ могут составить до 130 млрд руб. – при обеспечении 100% орбитального резерва.

Выполненная нашей компанией разработка проекта системы спутниковой связи с высокой пропускной способностью для решения задачи ликвидации цифрового неравенства показала, что рассмотрение альтернативных технологий для решения этой масштабной задачи является актуальным и может привести к положительному результату с точки зрения сокращения затрат и сроков.

Огромным плюсом геостационарных систем спутниковой связи являются низкая цена абонентских терминалов, возможность получения и использования орбитально-частотного ресурса на ГСО для реализации новых проектов, а также невысокая стоимость проекта в целом по сравнению с низкоорбитальными системами. ■