

В статье рассмотрены особенности формирования космических группировок на высокоэллиптических орбитах (ВЭО), обеспечивающих предоставление широкополосного доступа в Ku- и Ka-диапазонах частот для фиксированных и подвижных абонентов на территории России

Основной особенностью космических группировок на ВЭО является возможность создать условие квазигеостационарности, то есть абонент на Земле видит спутники в небольшом телесном угле и при высоких углах места. Реализация систем широкополосного доступа на ВЭО позволяет уйти от проблем, связанных с низкими рабочими углами места, что существенно расширяет применение спутниковых сервисов и снижает стоимость абонентских терминалов. Показано, что перспективное развитие информационной инфраструктуры России должно базироваться в том числе на использовании нескольких спутниковых группировок на ВЭО с использованием орбит типа “Молния” и/или “Тундра”.

СИСТЕМЫ широкополосного доступа на основе высокоэллиптических спутников: российские проекты

Broadband access systems based on highly elliptical satellites: Russian projects



Евгений Камнев

Генеральный конструктор
“ООО НЕБО ГК”, д.т.н., профессор

Evgeny Kamnev

General Designer “LLC NEBO GK”



Андрей Гриценко

Генеральный директор
АО ИКЦ “Северная корона”, к.т.н.

Andrey Gritsenko

General Director, Information Space
Center “Severnaya Corona”



Валентин Анпилов

Заместитель генерального директора
АО “ВИСАТ-ТЕЛ”

Valentin Anpilov

Deputy General Director
of JSC “VISAT-TEL”

Ключевые слова: спутниковый широкополосный доступ, высокоэллиптические спутники

Keywords: satellite broadband access, high elliptical satellites

Развитие спутниковых систем широкополосного доступа в Ku- и Ka-диапазонах на основе традиционных геостационар-



The features of the formation of space gangs in high-elliptical orbits (HEO) Ku/Ka-bands, ensuring the provision of broadband access for fixed and mobile subscribers in Russia. The main feature of space constellations on HEO is the ability to create a quasi-geostationary condition, a subscriber on Earth sees satellites in a small solid angle, but at high angles. The implementation of broadband access to HEOs allows you to get away from the problems associated with low working angles, which significantly expands the use of satellite services and reduces the cost of subscriber terminals. It is shown that the future development of the information infrastructure of Russia should be based on the use of several satellite constellations in the HEO using the Molniya and/or Tundra orbits.

ных спутников или спутников типа HTS базируется на технологиях VSAT, которые в основном ориентированы на обслуживание фиксированных абонентов. Общеизвестно, что спутниковые технологии VSAT являются единственной возможностью обеспечить проникновение широкополосного доступа при разумных ценовых параметрах в регионы с низкой плотностью населения [1]. Например, уже общепризнано, что невозможно на основе любой наземной технологии довести уровень проникновения ШПД более 93% для домохозяйств [2]. Попытки решить эту задачу без привлечения спутниковых технологий приводят к эквивалентным затратам, приведенным к домохозяйству, исчисляемым десятками тысяч долларов.

Но если рассматривать территорию России, то дополнительной проблемой при использовании технологий ШПД, ориентированных на применение спутников на геостационарной орбите, является низкий рабочий угол абонентской станции. Даже в южных регионах России угол места составляет максимум 40 град., а в более высоких северных регионах (65–70 град. с.ш.) составляет менее 12–15 град. (зависит от расположения спутника на ГСО). Соответственно, резко возрастает вероятность отсутствия прямой видимости геостационарного спутника (особенно для подвижных абонентов на суше и на акваториях рек). В общем случае снижается доступность канала связи. Кроме того, чем ниже рабочий угол места, тем больший требуется угол

сканирования луча антенны абонентского терминала, установленного на подвижном объекте. В результате достичь приемлемых рыночных ценовых показателей для такой сканирующей антенны невозможно. Отметим, что такая же проблема возникает и при использовании низкоорбитальных систем ШПД [3, 4], в том числе и для фиксированных абонентов.

В результате можно констатировать, что одна из стратегических задач России – развитие информационной инфраструктуры северных регионов и Северного морского пути в частности не может быть решена ни с использованием геостационарных спутников, ни с использованием будущих многоспутниковых низкоорбитальных систем ШПД типа OneWeb [5, 6] и т.п.

Решение этой задачи может быть найдено за счет применения высокоэллиптических спутников на орбитах “Молния” и/или “Тундра”. Свойства таких орбит известны и изучены [7, 8].

Например, планируется создать одну группировку в составе четырех КА “Экспресс-РВ” на орбите “Молния” с долготами апогея 90 град. в.д. на основном витке и 90 град. з.д. на сопряженном витке. Достоинством такого построения космического сегмента является достижение эффекта квази-геостационарности и обеспечение работы абонентских устройств при высоких углах места на значительной части территории России (рис. 1), более 60 град. для фиксированных абонентов. Соответственно, для подвижных абонентов требуемый угол сканирования луча антенны должен быть в телесном угле более ± 30 град. Но все же значительная часть территории будет обслуживаться при рабочих углах места абонентского терминала 45 град., то есть для подвижных абонентов требуется сканирование уже в телесном угле более ± 45 град. В некоторых дальневосточных регионах телесный угол сканирования потребует более ± 60 град.

Отметим, что реализация антенн абонентских терминалов на основе обычных механических или электромеханических зеркальных антенных систем малоэффективна, а в большинстве северных регионов практически невозможна по эксплуатационным соображениям. Решение здесь может быть на основе фазированных решеток. Но цена такой антенны зависит от требуемого угла сканирования [3, 4]. Чем меньше этот угол, тем де-

Зоны гарантированной радиовидимости системы “Экспресс-РВ” и трасса спутников на орбите “Молния”

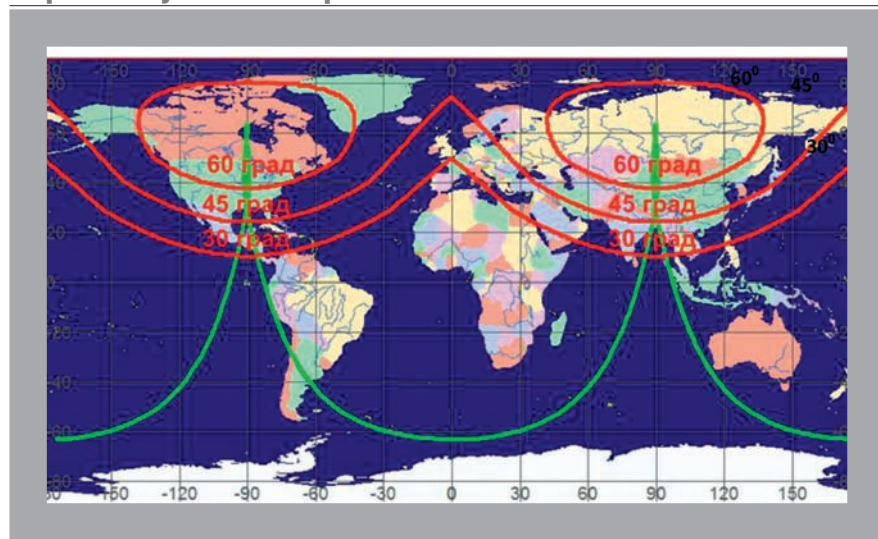


Рис. 1

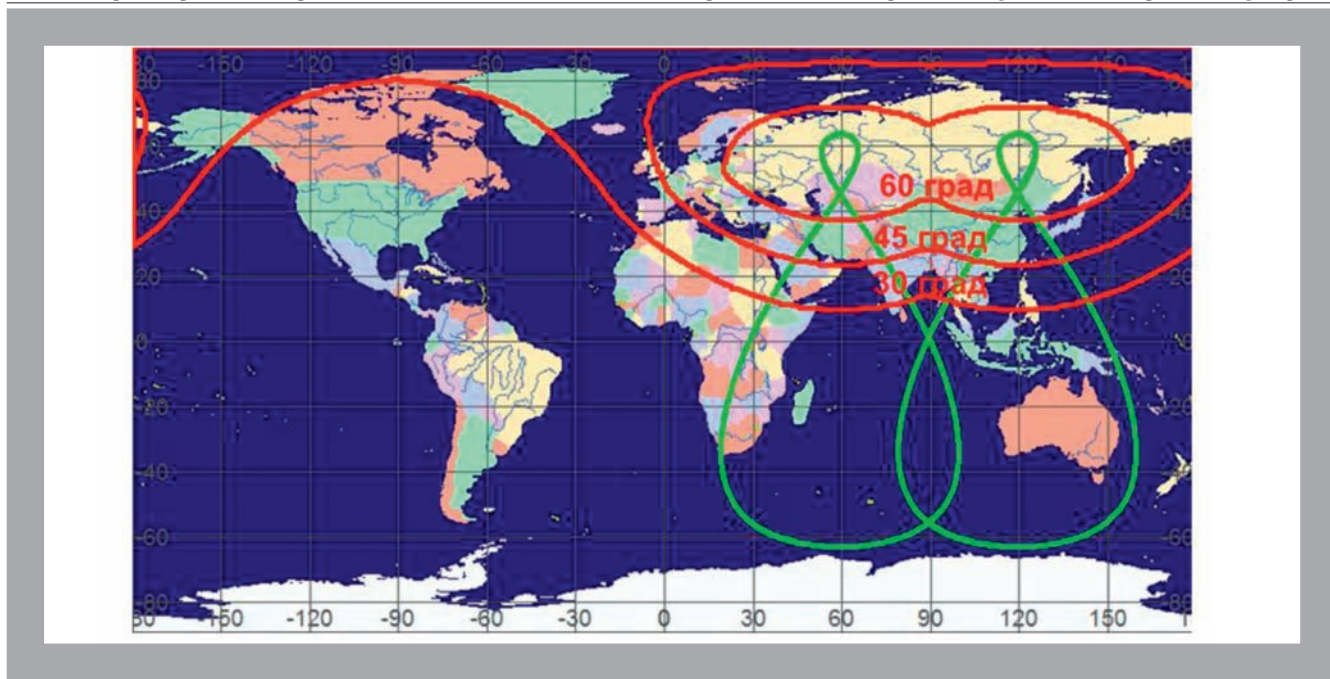


Рис. 2

Рабочая зона совместного обслуживания интегрированной системы ВЭО (“Экспресс-РВ” и “Росинфоком-ВЭО”)

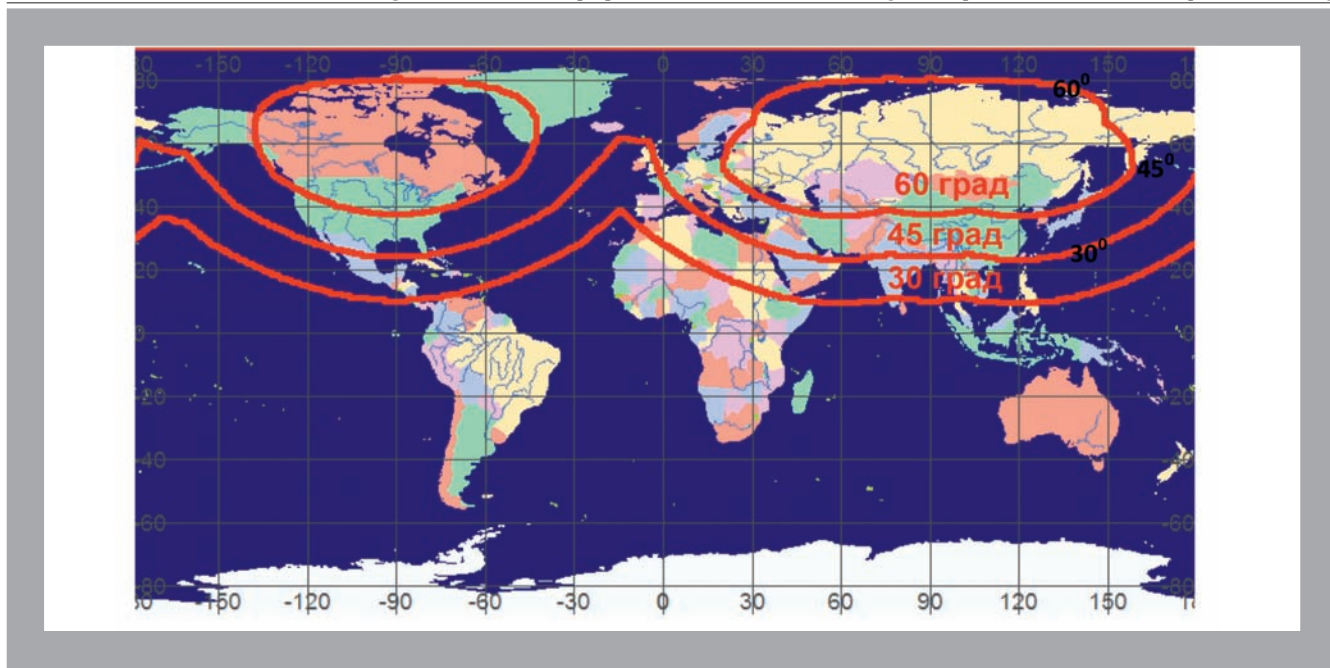


Рис. 3

шевле антенная решетка. В данном случае получается, что за пределами основной рабочей зоны, ограниченной углом места 60 град. (рис. 1), стоимость абонентского терминала за счет удорожания его антенной решетки увеличится примерно в 2,25 раза и в четыре раза соответственно. Естественно, что желательно на всей

территории России обеспечить максимальный рабочий угол места более 60 град. Для достижения этой цели следует дополнять космический сегмент, например, использованием спутниковых группировок на орбитах типа “Тундра” с апогейными точками в 60 град. в.д. и 120 град. в.д. Каждая такая группировка должна

состоять минимум из трех спутников. Границы рабочих зон с высокими углами места в этом случае расширяются, как показано на рис. 2. Например, такое решение возможно в рамках варианта развития в проекте “Росинфоком-ВЭО” [9, 10]. Возможны и иные варианты построения спутниковых группировок на ВЭО,



но в любом случае эти варианты должны быть направлены на создание интегрированной системы ШПД. Совместная гарантированная рабочая зона систем “Экспресс-РВ” и “Росинфоком-ВЭО” в таком варианте показана на рис. 3. В этом случае уже примерно на 90% территории России (проживает более 99% населения РФ) могут применяться абонентские терминалы с антеннами, обеспечивающими сканирование в пределах телесного угла приблизительно ± 30 град. Стоимость таких абонентских терминалов может быть примерно в четыре раза ниже, чем предлагаемые сегодня терминалы с антенными решетками Kymeta по цене около \$36 тыс. (при серийном производстве компания обещает снизить цену примерно в четыре раза).

Отметим, что для достижения подобного эффекта с использованием низкоорбитальных спутников их численность должна больше, чем в системе Starlink компании SpaceX и в разы больше, чем в системе OneWeb. Стоимость таких низкоорбитальных систем составляет минимум \$10 млрд.

Затраты на создание интегрированной системы на ВЭО для обслуживания 90% территории России с углами места выше 60 град. (системы “Экспресс-РВ” и “Росинфоком-ВЭО”) тоже значительные и составляют, по нашим оценкам, примерно 2 млрд в долларовом исчислении. Но, очевидно, это в разы ниже, чем затраты на создание низкоорбитальной спутниковой группировки широкополосного доступа типа LEO-HTS.

Реализацию проектов спутниковых систем широкополосного доступа на ВЭО возможно осуществлять по этапам. Например, если в качестве первого этапа интегрированной системы может быть реализована система “Экспресс-РВ”, то на втором этапе может быть предусмотрено ее расширение за счет развертывания дополнительных спутниковых группировок в рамках системы “Росинфоком-ВЭО”. Это позволит оптимально распределить финансовые ресурсы и скоординировать технические параметры систем. Но проектирование интегрированной системы на ВЭО с целью координации технических параметров следует начинать уже на первом этапе.

Выводы

Как следует из доклада Ю.М. Урличича на конференции “Инжиниринг & Телекоммуникации – En&T 2018” (Физтехпарк, 15 ноября 2018 г.,

<http://en-t.info/report2018.shtml>), посвященного формированию комплексной программы развития космической информационной структуры России – ФЦП “Сфера”, одной из ключевых ее целей является максимально эффективное (технически и экономически) решение задач цифровой трансформации экономики Российской Федерации.

Естественно, что в рамках этой перспективной программы, которая только формируется и должна определить среднесрочные перспективы развития космической отрасли России в части спутниковой связи, ДЗЗ и навигации, целесообразно принять во внимание стратегические задачи обеспечения возможности широкополосного доступа для фиксированных и подвижных абонентов на всей территории России, включая северные и арктические регионы, и наметить этапы их реализации.

В настоящее время работы по созданию российских спутниковых систем ШПД с использованием спутников на ВЭО ведутся тремя российскими компаниями: ФГУП “Космическая связь” (ГПКС, проект “Экспресс-РВ”), АО “Газпром космические системы” (ГКС, проект “Полярная звезда”) и ООО “НЕБО ГК” (проект “Росинфоком-ВЭО”). В рамках ФЦП “Сфера” представляется целесообразным объединить все эти три проекта в один проект по созданию единой российской системы спутниковой связи ШПД с космическими аппаратами на ВЭО. На данном этапе наши проработки показывают, что наиболее оптимальным решением является использование трех группировок на ВЭО: одна центральная на орбитах “Молния” из четырех спутников и две (восточная и западная) на орбитах “Тундра” по три спутника в каждой.

Целесообразна взаимная координация разработки этих систем уже на начальном этапе работ, как по их техническим параметрам, так и по временным факторам реализации. Их параметры должны быть взаимосвязаны с целью достижения максимального синергетического эффекта при минимальных затратах средств и времени на их создание в рамках интегрированного системного решения.

Литература

1. Анпилогов В.Р., Тырин П.М., Эйдус А.Г. Характерные особенности развития спутниковой связи и вещания // Технологии и средства

связи. – 2014. – № 6–2, специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание – 2015”. – С. 36–41.
 2. Анпилогов В.Р., Урличич Ю.М. Тенденции развития спутниковых технологий и критерии оценки их технико-экономической эффективности // Технологии и средства связи. – 2016. – № 2. – С. 46–53.
 3. Анпилогов В.Р., Шишлов А.В., Эйдус А.Г. Анализ систем LEO-HTS и реализуемости фазированных антенных решеток для абонентских терминалов // Технологии и средства связи. – 2015. – № 6–2, специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание – 2016”. – С. 14–26.
 4. Шишлов А.В., Анпилогов В.Р. Проблемные вопросы антенной техники при реализации абонентских терминалов негеостационарных систем широкополосного доступа // Доклад на 5-й международной конференции “Инжиниринг и телекоммуникации – 2018”: <http://en-t.info/report2018.shtml>.
 5. Урличич Ю.М. Высокоинформативные системы связи и вещания HTS и LEO/MEO-HTS: бумажные проекты или прорывное направление космической индустрии // Технологии и средства связи. – 2016. – № 6–2, специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание – 2017”. – С. 44–48.
 6. Гриценко А.А. Обзор проектов негеостационарных систем широкополосного доступа: конфликт в радиочастотном спектре // Доклад на 5-й международной конференции “Инжиниринг и телекоммуникации – 2018”: <http://en-t.info/report2018.shtml>.
 7. Камнев Е.Ф., Аболиц А.И. и др. Системы спутниковой связи с эллиптическими орбитами, разнесением ветвей и адаптивной обработкой. – Глобсатком, 2009. – 724 с.
 8. Степанов А., Акимов, А., Гриценко А., Чазов В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи // Технологии и средства связи. – 2015. – № 6–2, специальный выпуск “Спутниковая связь и вещание – 2016”. – С. 72–86.
 9. Камнев Е., Камнев В., Медведев В., Бобков В., Белов А. Система спутниковой связи “Росинфоком” // Военный парад. – 2012. – Февраль. – С. 60–62.
 10. Гриценко А.А., Негеостационарные спутниковые системы – конкуренция или синергия? // Доклад на форуме CSTB, Telecom&Media (Москва, 31 января 2018 г.).