

Гибридные радиосети, или Третья технологическая волна в развитии спутниковых систем



Андрей ГРИЦЕНКО,
генеральный директор
АО «Информационный космический
центр «Северная Корона»

Три волны в развитии спутниковых систем на НГСО

Примерно на рубеже начала 2010-х гг. стало очевидно, что начинается вторая волна в развитии спутниковых телекоммуникационных систем на негеостационарных орбитах (НГСО). Первая волна прошла в 1990-х, когда прорабатывались десятки новых проектов, в том числе Teledesic (а-ля Starlink по тем временам), ICO-P, Ellipso и др. Выжили три – системы персональной спутниковой связи Iridium и Globalstar, а также система передачи данных Orbcomm.

Вторая волна, связанная с развитием спутникового ШПД, оказалась гораздо более масштабной и похожей на цунами. Действительно, чего стоит проект Starlink, в рамках которого, по состоянию на конец 2023 г., уже выведено свыше 5 тыс. космических аппаратов (КА). А в планах компании – дальнейшее

В области спутниковых телекоммуникационных систем прорабатываются технологии, обеспечивающие работу типовых абонентских терминалов сотовых сетей наземной радиосвязи типа «трубка в руке» или «смартфон» путем непосредственного прямого доступа к самим спутникам. Предполагается, что «спутниковое» обслуживание абонентских терминалов будет выполняться за пределами, а в ряде случаев и в пределах зон обслуживания базовых станций (БС) наземной сети. В случае успешной реализации этого замысла возникает угроза новым проектам «классического» спутникового ШПД. Более того, определенные угрозы актуальны и для уже развернутых спутниковых систем ШПД с орбитальными мегагруппировками.

наращивание мощности орбитальной группировки до более чем 30 тыс. спутников.

Система OneWeb с орбитальной группировкой (ОГ) из 648 спутников практически полностью развернута. И таких проектов с ОГ мощностью в сотни и тысячи КА примерно с десятков. Выживут из них не все. Конкурировать с уже развернутыми системами, например, Starlink, достаточно затратно.

На этом фоне начинается подниматься третья волна, связанная с гибридизацией телекоммуникационных услуг. Масштабы волны еще предстоит оценить. Но уже сегодня можно утверждать, что при позитивном сценарии она может не только «похоронить» новые проекты ШПД в традиционном понимании этой услуги, но и серьезно усложнить жизнь действующим.

Гибридные радиосети

Радиосеть относится к гибридной, если она обеспечивает работу абонентских устройств с использованием сочетания каналов различной физической природы: сотовых, кабельных, спутниковых,

тропосферных, метеорных и т. п. Бесшовными называются сети, обеспечивающие работу единого типового абонентского устройства в гибридной сети.

В гибридной сети могут быть различные комбинации каналов разной физической природы. Но очевидно, что основной интерес представляет комбинирование наземных и спутниковых радиосетей. В этом случае, если абонентский терминал оказался вне зоны обслуживания наземной радиосети, «руку помощи» ему протянет спутниковая сеть.

Для спутникового оператора в такой ситуации будет решена одна из основных проблем – наличие абонентских терминалов. Миллионы типовых абонентских терминалов уже используются в наземных радиосетях 2G GSM, 4G LTE, 5G. Обсуждается реализация к 2030 г. сетей 6G. Причем от 6G ожидают полной конвергенции всех технологий, в первую очередь наземных и спутниковых. Остается только предоставить им эту услугу. Или, как вариант, модернизировать абонентские терминалы (АТ) либо использовать дополнительный модуль, который

обеспечит совместимость терминала со спутниковой сетью.

Ожидается также соответствующее обновление нормативной базы, где будут рассмотрены вопросы регулирования услуги прямой связи через спутник со смартфона, использования частот, а также отношений между операторами наземных сетей мобильной связи и поставщиками спутниковых услуг.

К основным техническим проблемам в части спутниковой компоненты относятся:

- низкая энергетика радиоканалов, обусловленная использованием на АТ ненаправленной антенны (типовое усиление: минус 3 дБи) и малой максимально допустимой мощности передатчика АТ (2 Вт для GSM 900 МГц; 1 Вт для GSM 1800 МГц; 0.25 Вт для UMTS 3G и 0.2 Вт для LTE 4G);
- электромагнитная совместимость (ЭМС), причем как внутрисистемная (между РЭС в рамках одной гибридной сети), так и межсистемная (между РЭС гибридной сети и РЭС других спутниковых и наземных радиосетей) и определяемая во многом «ненаправленностью» антенны АТ;
- эффект Доплера, возникающий вследствие движения спутника относительно АТ и приводящий к смещению рабочей частоты сигнала.

Очевидно, что с точки зрения энергетики и задержки в прохождении сигнала оптимально (особенно для 5G и 6G) использование низких (LEO) и даже очень низких орбит (VLEO). Правда, это приводит к возрастанию влияния эффекта Доплера.

Все известные проекты в этой области можно условно разделить на следующие группы:

- выделенные спутниковые системы, т. е. спутниковые системы, которые являются составной компонентой гибридной сети;
- спутниковые сети на основе действующих спутниковых навигационных систем;
- спутниковые сети на основе действующих спутниковых телекоммуникационных систем.

Рассмотрим их более подробно.

Спутниковые сети на основе действующих спутниковых навигационных систем

В основе спутниковых навигационных систем лежит возможность приема абонентским терминалом навигационного сообщения от спутника. Следовательно, принципиально возможна отправка и пользовательского сообщения (SMS).

BeiDou и Huawei

Компания Huawei одной из первых представила смартфоны серии P60 (рис. 1а) с функцией приема и передачи через спутник коротких текстовых сообщений. Причем прием таких сообщений может быть осуществлен и на «умные» часы WATCH Ultimate (рис. 1б).



Рис. 1. Абонентские устройства Huawei: а – Huawei P60; б – WATCH Ultimate

Спутниковой компонентой в данном случае выступает китайская навигационная система третьего этапа BeiDou-3 (BDS-3) с аппаратурой поддержки сервиса коротких сообщений (SMS). Номинальный состав ОГ BDS-3 включает три спутника на ГСО (80, 110,5 и 140 град. в. д.), три спутника на наклонной ($i=55$ град.) геосинхронной орбите (IGSO) и 24 спутника на средневисотных (MEO) орбитах высотой 21528 км и наклонением 55 град.

Спутники на ГСО и IGSO обеспечивают региональное обслуживание SMS-сервиса на территории Китая и прилегающих районах (полосы частот 1,6/2,5 ГГц).

Спутники на МЕО используют межспутниковые линии связи и благодаря этому обеспечивают глобальное обслуживание (полосы частот 1,6/1,2 ГГц).

На рис. 2а представлены треки движения ГСО и IGSO спутников BDS-3 в Гринвичской системе координат, обеспечивающих региональное обслуживание. Нужно отметить, что в 2023 г. в позицию 160 град. в. д. выведен новый спутник BEIDOU 3 G4 (на рис. 2 не показан).

Орбитальная группировка на МЕО, как следует из данных каталога NORAD, развернута полностью. Ее структура представлена на рис. 2б. Следовательно, SMS-сервис в данном случае может быть доступен в любой точке мира.

Структура SMS-обслуживания через систему BDS-3 при региональном и глобальном обслуживании представлена на рис. 3.

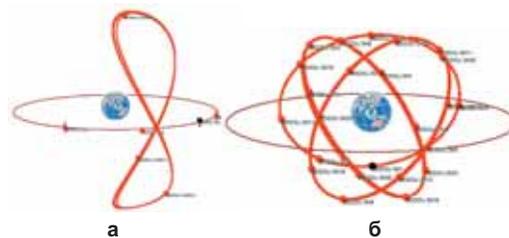


Рис. 2. Орбитальная группировка BDS-3 с поддержкой D2D: а – региональное обслуживание; б – глобальное обслуживание

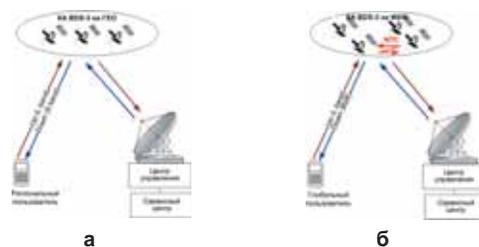


Рис. 3. Структура SMS-обслуживания через систему BDS-3: а – региональное обслуживание; б – глобальное обслуживание

Выделенные спутниковые системы

Link Global

Link – это спутниковая система, полностью ориентированная на выполнение функции спутниковой компоненты гибридной

сети. По замыслу разработчиков спутники будут выступать в роли базовых станций, развернутых в космосе. Работа таких БС будет осуществляться там, где отсутствует радиопокрытие наземных сотовых сетей.

Для обеспечения беспомехового функционирования совместно с оператором сотовой наземной сети заранее определяются координаты точек прицеливания луча спутников, при которых сформированная зона обслуживания не создает помех действующей наземной сети.

Компания Lynk разработала собственные модификации программного обеспечения для стандартных программных стеков BTS, eNB и gNB, которые позволяют спутникам взаимодействовать с типовыми абонентскими станциями, соответствующими стандартам 2G GSM, 4G LTE и 5G NR.

Поскольку современные технологии позволяют адаптироваться к реальной помеховой обстановке (например, перераспределению ресурсных блоков и/или агрегации частотных полос LTE), допускается и совместная работа базовых и космических станций в зоне обслуживания.

При приближении спутника к зоне обслуживания управляемый луч бортовой антенны направляется в заранее определенную точку прицеливания. Если необходимо, проводится дополнительный угловой разворот самого спутника. Минимальное значение угла места радиовидимости спутника в пределах зоны обслуживания для всех радиотехнологий было определено в 35 град.

В процессе дальнейшего движения выполняется сопровождение точки прицеливания путем изменения угловой ориентации луча. Так как спутник эмулирует характеристики стандартной БС, то при наличии в зоне радиовидимости шлюза (т. е. стыка с наземной сетью) реализуются все стандартные функциональные возможности типовой БС,

причем незаметно для абонентского терминала. Если шлюз отсутствует, то обмен данными может быть организован только между пользователями, расположенными в пределах зоны обслуживания спутника.

Согласно первоначальному замыслу, мощность начальной орбитальной группировки должна составить десять спутников. Такая конфигурация получила наименование Lynk Smallsat System. К настоящему времени выведены два тестовых спутника и три штатных (на солнечно синхронную орбиту высотой примерно 520 км). По заявлению разработчиков, эксперимент на спутнике LYNK TOWER 3 показал, что типовые АС при выходе из зоны покрытия наземной сети стандартно, как в роуминге, подключались к «спутниковой БС».

Очевидно, что малая мощность орбитальной группировки не позволяет обеспечить непрерывность покрытия, предоставляя на этом этапе эпизодические услуги. В планах компании – увеличить мощность группировки вплоть до глобального непрерывного покрытия.

AST SpaceMobile

Компания AST SpaceMobile также работает над созданием спутниковой системы, которая должна обеспечить услугу широкополосного доступа на скоростях 4G/5G стандартным (не модифицированным) смартфонам напрямую через спутник.

В сентябре 2022 г. на наклонную (наклонение 53 град.) орбиту высотой 520 км был выведен тестовый спутник BlueWalker-3 (рис. 4). Отличительной чертой спутника стала антенная фазированная решетка: ее площадь составляет 64 кв. м (квадрат со стороной 8 м). Антенная решетка включает множество идентичных субантенных модулей для прямого подключения к стандартным мобильным телефонам. На участках фидерных линий используются Q/V-диапазоны частот.

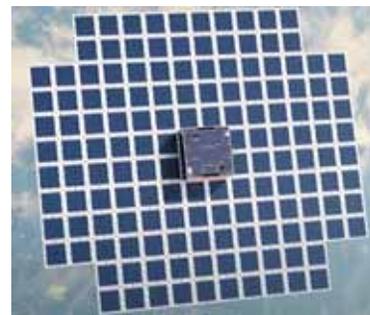


Рис. 4. Спутник BlueWalker-3

По заявлению представителей компании, они добились полной совместимости с телефонами всех основных производителей и поддержки 2G, 4G LTE, а теперь и 5G.

В апреле 2023 г. с использованием смартфона Samsung Galaxy S22 в полосе частот, выделенной для AT&T, был совершен первый голосовой вызов из Мидленда (штат Техас) в Ракутен (Япония). А уже в сентябре 2023 г. прошла успешная демонстрация прямого спутникового канала 5G между абонентами, расположенными на Гавайях (США) и в Мадриде (Испания). Скорость передачи данных в полосе 5 МГц составила 14 Мбит/с.

В первом квартале 2024 г. компания AST SpaceMobile планирует развернуть первые пять спутников BlueBird (массой около 1500 кг), прототипом которых является BlueWalker-3.

Предполагается, что мощность орбитальной группировки составит 168 спутников, которые обеспечат широкополосную прямую связь с сотовыми телефонами на стандартных частотах консорциума 3GPP, что позволит наладить связь в труднодоступных районах Земли. Сообщается, что сборочное производство в Техасе способно обеспечить изготовление до шести спутников в месяц.

Компания AST SpaceMobile уже заключила партнерские соглашения с более чем 25 операторами мобильной связи на 24 рынках, включая эксклюзивное соглашение с Vodafone. В числе инвесторов и партнеров – AT&T, Samsung, Bell, Rakuten и др.

Спутниковые сети на основе действующих спутниковых телекоммуникационных систем

Starlink + T-Mobile

В конце 2022 г. компания SpaceX подала заявку в FCC на дополнительное включение в состав спутников модуля обеспечения «прямого доступа» для смартфонов. Такой модуль планируется установить на почти 2 тыс. спутниках второго поколения Starlink Gen 2. В частности, по этой причине спутник Starlink Gen 2 будет больше, мощнее и тяжелее: 1250 кг против 260 кг Starlink Gen 1.

Для того чтобы развернуть группировку более тяжелых КА с прежней оперативностью, SpaceX планирует использовать ракету-носитель Starship, которая в данный момент проходит испытания. Тем не менее, по заявлению SpaceX, может быть разработана и уменьшенная версия Starlink Gen 2, которую можно будет разместить под обтекателем ракеты-носителя Falcon 9.

Спутники Starlink Gen 2 обеспечат в пределах зоны обслуживания пропускную способность около 2...4 Мбит/с. Это суммарная пропускная способность, которая будет разделена между всеми пользователями. Поэтому на начальном этапе будет поддерживаться только обмен текстовыми сообщениями, прежде всего для подачи сигнала бедствия в экстренной ситуации. Со временем планируется добавить возможность звонков и обмена другими данными.

Стратегическим партнером Starlink выступает компания T-Mobile. По заявлению представителей T-Mobile, для подавляющего большинства их абонентов услуга прямого доступа к спутнику будет доступна сразу после активации этого

сервиса. Клиенты с дорогими тарифными планами смогут пользоваться спутниковой связью бесплатно, остальным придется доплачивать.

Предполагается, что тестирование технологии начнется в конце 2023 г. или в начале 2024 г.

OneWeb + SatixFy + CGI

Что касается системы OneWeb, то после анализа этой системы возникает ощущение, что проектировщиков очень топили. Текущая конфигурация этой системы спутникового ШПД характеризуется двумя «тяжелыми» факторами. Первый – используется одношелонная орбитальная группировка на полярных орбитах (что нерационально, так как при углах места более 25 град. значительная часть спутников не будет использоваться в высокоширотных и околополярных областях). Второй – на борту установлена антенна, формирующая фиксированные лучи (что также нерационально, поскольку по мере приближения к высокоширотным областям лучи придется выключать, чтобы избежать помех).

Словом, в рамках этой системы об организации прямого доступа смартфонов к спутнику речи не идет. Скорее, это двухрежимные абонентские станции, где один режим обеспечивает работу с наземными радиосетями (в их полосах частот), а второй – работу со спутниками, соответственно в «спутниковых» полосах частот.

Оператор провел первые тестовые испытания. В ходе теста использовались компактный пользовательский спутниковый терминал со встроенным модемом DVB-S2X, разработанный компанией SatixFy, и решения для сетей 5G системного интегратора CGI. Терминал устанавливался на автомобиле, на который передавался трафик из наземной сети 5G. Терминал также подключался к спутнику на геостационарной орбите

и спутникам OneWeb. В итоге OneWeb надеется получить готовое коммерческое решение для наземного, морского и авиационного транспорта.

Globalstar + Apple

Компании Globalstar и Apple объединили усилия по реализации услуги прямого доступа смартфонов iPhone к спутникам системы Globalstar. На первом этапе это будет услуга по отправке сигнала бедствия через спутник. По состоянию на сегодня этот сервис уже доступен владельцам iPhone 14 в США, Канаде и ряде европейских стран (Франции, Германии, Ирландии и Великобритании). Ожидается, что в ближайшее время функция заработает и в других странах. Также им будет доступна функция «Найди меня», позволяющая отслеживать местоположение владельца iPhone 14 вне зоны обслуживания сотовых сетей.

Функция прямого доступа к спутнику пока не позволяет организовать голосовой вызов и активируется только при полном отсутствии сетей мобильной связи и Wi-Fi. После нескольких безуспешных попыток связаться с экстренными службами iPhone 14 предлагает пользователю передать экстренное сообщение через спутник. Сообщение отправляется в специализированный колл-центр вместе с данными о координатах пользователя, уровне заряда аккумулятора и данными медкарты (если они привязаны к телефону).

Для организации прямого доступа к спутнику iPhone 14 использует L-диапазон на линии «Земля – космос» и S-диапазон на линии «Космос – Земля». Кроме того, в этом смартфоне реализована поддержка Band 53 (2483,5—2495 МГц).

Нужно отметить, что в 2016 г. Globalstar получил разрешение FCC на создание наземной беспроводной сети в полосе Band 53, а немного позднее и одобрение 3GPP. В начале

2023 г. Globalstar подписал с MDA контракт на 327 млн долл. на изготовление 17 новых спутников. Возможно, спутники новой серии уже будут поддерживать и этот диапазон частот.

Учитывая, что соединение возможно только тогда, когда телефон направлен прямо на спутник, Apple разработала специальный пользовательский интерфейс, который показывает, куда необходимо направить смартфон, чтобы организовать спутниковый радиоканал (рис. 5). При этом отправка сообщения может занимать минуту и даже больше, в зависимости от качества радиоканала между телефоном и спутником.



Рис. 5. Смартфон iPhone 14 в режиме отправки экстренного сообщения через спутники системы Globalstar

Iridium + Qualcomm

В начале 2023 г. Qualcomm Technologies анонсировала технологию Snapdragon Satellite, предназначенную для обеспечения прямого доступа к спутнику с обычных смартфонов. Сервис будет запущен в партнерстве с компанией Iridium, орбитальная группировка которой составит 66 аппаратов. Это позволит не только отправлять сигналы бедствия, но и обмениваться сообщениями практически в любой точке мира.

Snapdragon Satellite работает аналогично соответствующей функции Apple: специальное приложение на телефоне предлагает пользователю направить телефон в нужном направлении, чтобы подключиться к спутнику.

Технология Snapdragon Satellite планируется к использованию компаниями Honor,

Motorola, Nothing, OPPO, Vivo и Xiaomi. Воспользоваться спутниковой связью смогут владельцы новых Android-смартфонов на базе процессора Snapdragon 8 Gen 2 с модемом Snapdragon X70. Помимо смартфонов Snapdragon Satellite будет использоваться в других устройствах, в частности, в системах автономного управления автомобилями и IoT-датчиках.

Inmarsat + MediaTek

Оператор Inmarsat и производитель полупроводников MediaTek объединили усилия в области разработки технологии прямого доступа смартфона к спутнику. В качестве технологической платформы выступает MediaTek 5G NTN, которая работает в сети Inmarsat ELERA в L-диапазоне. За последнее время Inmarsat и MediaTek провели ряд успешных испытаний организации двусторонней связи в режиме реального времени.

Следует отметить, что сейчас компания Inmarsat занимается созданием сети ORCHESTRA, которая, согласно замыслу, объединит спутники на ГСО и LEO, а также сети 5G в одну гибридную сеть. Очевидно, что в качестве космического сегмента на ГСО будут использоваться спутники серии I-6 (INMARSAT 6-F1, INMARSAT 6-F2), запущенные в 2021 и 2023 гг.

Проект Kuiper

Kuiper – один из проектов спутникового ШПД с орбитальной группировкой на LEO орбитах, мощностью 3236 спутников. Трехшелонная орбитальная группировка должна быть развернута до 2029 г.

Проект в целом напоминает систему Starlink и пока не очень понятно, каким образом он сможет обойти эту систему. Предполагалось, что в системе Kuiper будут использоваться типовые абонентские станции (с механическим и/или электронным наведением) с диаметром антенн 20...65 см.

Очевидно, что прямой доступ смартфонов к спутникам заинтересовал и разработчиков проекта Kuiper. Однако более подробная информация на данный момент времени отсутствует.

Модули радиодоступа

Помимо организации прямого доступа смартфона к спутнику ведутся разработки дополнительных компактных устройств, обеспечивающих доступ (уже не прямой) смартфона к спутнику. Линейка таких устройств достаточно разнообразна. В частности, компания Motorola разработала брелок Defy Satellite Link, который позволяет передавать спутниковые сообщения на любой смартфон (рис. 6).



Рис. 6. Брелок Defy Satellite Link компании Motorola для доступа смартфона к спутнику

Брелок интегрируется с приложением Bullitt Satellite Messenger – сервисом, который позволяет обмениваться сообщениями. Пользователь вводит сообщение в BSM, и Defy Satellite Link отправляет его через спутник. Получателю не обязательно устанавливать приложение, он получит присланный ему текст в виде обычного СМС.

Брелок весит около 68 граммов и подключается к смартфону через Bluetooth. Аккумулятор на 600 мАч обеспечит работу в течение нескольких дней.

Российские проекты

На основе ГНСС «Глонасс»

Использование спутников глобальной навигационной

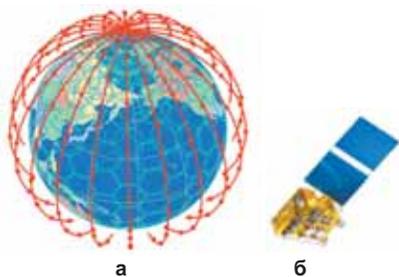


Рис. 7. Проект системы «Марафон IoT»: а – структура орбитальной группировки; б – макет КА «Марафон IoT»

спутниковой системы «Глонасс» для реализации сервиса передачи коротких сообщений смартфонам было предложено в свое время доктором технических наук Евгением Федоровичем Камневым. Однако это предложение, по всей видимости, не получило необходимой поддержки.

Проект спутниковой системы «Марафон IoT»

В рамках ФЦП «Сфера» планируется развертывание системы «Марафон IoT». По сути, это первая российская система, ориентированная на формирование глобальной гибридной сети Интернета вещей (рис. 7).

В основе проекта «Марафон IoT» лежит технология LoRaWan. Сотни тысяч абонентских терминалов LoRa уже эксплуатируются в разных странах мира, в том числе и в России. Система «Марафон IoT» способна обеспечить прямое подключение к спутнику тех абонентских устройств, которые по разным причинам вышли из зоны радиопокрытия сети наземных базовых станций.

Стоит отметить, что обслуживание осуществляется через сеть станций сопряжения. Так как IoT является очень низкоскоростной и, соответственно, узкополосной, то для нее не является необходимым условием подключение станций сопряжения к оптическим каналам связи. Шлюзы могут быть размещены не только на территории России, в том числе в интересах отдельных ведомств («Газпром

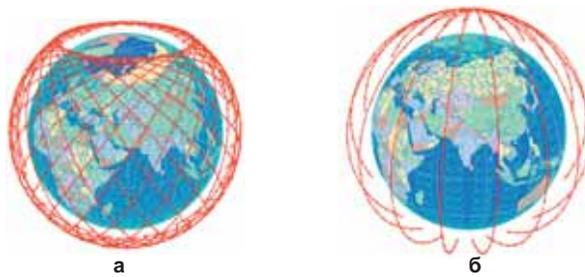


Рис. 8. Проект системы ШПД компании «Бюро 1440»: а – эшелон на наклонных орбитах; б – эшелон на полярных орбитах

и др.), но и в зарубежных странах. Например, если страны БРИКС+ разместят на своей территории станции сопряжения, то на их территории будет обеспечен полностью автономный сервис спутникового IoT.

Проект спутниковой системы «Бюро 1440»

Проект спутниковой системы ШПД компании «Бюро 1440», заявленный в БР МСЭ под наименованием Rassvet, очень напоминает ситуацию с проектом Kuiper. По замыслу разработчиков, космический сегмент будет включать два эшелона – на наклонных и приполярных орбитах. Типовые абонентские станции, вероятно, будут похожи на аналогичные в системе Starlink (рис. 8).

Однако заявка на эту систему, поданная в БР МСЭ, включает частоты, используемые в интересах 5G. Следовательно, разработчики системы уже на начальном этапе рассматривают возможность реализации сервиса прямого доступа смартфонов к спутникам системы.

Вместо заключения

В настоящее время ведущие производители смартфонов, операторы спутниковых и наземных телекоммуникационных систем продолжают активную работу по поиску технических и технологических решений в части организации прямого доступа миллионов абонентских устройств (смартфонов) к спутникам орбитальной группировки. За последние годы уже реализованы

сервисы передачи коротких сообщений через спутник посредством смартфона.

В ближайшей перспективе следует ожидать реализации сервисов и высокоскоростной передачи данных. Данная тенденция может оказать существенное влияние на развитие спутниковой связи. Это необходимо учитывать при планировании дальнейшего развития спутниковой связи в России. ■

Литература:

1. Гриценко А. А. Спутниковые системы класса HTS // Connect. 2017. № 4. С.120—126.
2. Анпилогов В. П., Гриценко А. А. Спутниковый IoT – новые системы и новый рынок // Connect. 2023. № 5—6. С. 76—80.
3. Dr. Jun Shen. Development of the BeiDou Navigation Satellite System (BDS), United Nations/China Forum on Space Solutions: Realizing the Sustainable Development Goals, 24—27 April 2019, Changsha, Hunan, China.
4. BeiDou Navigation Satellite System Signal In Space. Interface Control Document. Open Service Signal B11 (Version 3.0). China Satellite Navigation Office. February 2019.
5. Гриценко А. А. Повышение эффективности применения многоспутниковых систем на базе малых космических аппаратов: Доклад на Пятом Евразийском аэрокосмическом конгрессе, 24.07.2023. Конгресс-Центр ЦМТ, Москва.