

"Radio" is monthly publication on audio, video, computers, home electronics and telecommunication

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ:

АНО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «РАДИО»

Зарегистрирован Министерством печати и информации РФ 01 июля 1992 г.

Регистрационный ПИ № ФС77-82030

Главный редактор В. К. ЧУДНОВ

Редакционная коллегия:

А. В. ГОЛЫШКО, А. Н. КОРОТОНОШКО, К. В. МУСАТОВ,

И. А. НЕЧАЕВ (зам. гл. редактора), Л. В. МИХАЛЕВСКИЙ,

С. Л. МИШЕНКОВ

Выпускающий редактор: С. Н. ГЛИБИН

Обложка: В. М. МУСИЯКА

Вёрстка: Е. А. ГЕРАСИМОВА

Корректор: Т. А. ВАСИЛЬЕВА

Адрес редакции: 107045, Москва, Селивёрстов пер., 10, стр. 1

Тел.: (495) 607-31-18.

E-mail: ref@radio.ru

Приём статей — e-mail: mail@radio.ru

Отдел рекламы — (495) 607-31-18; e-mail: advert@radio.ru

Распространение — (495) 607-31-18; e-mail: sale@radio.ru

Подписка и продажа — (495) 607-87-39

Бухгалтерия — (495) 607-87-39

Наши платёжные реквизиты:

получатель — АНО "Редакция журнала "Радио", ИНН 7708187140, р/сч. 40703810538090108833

Банк получателя — ПАО Сбербанк г. Москва

корр. счёт 3010181040000000225 БИК 044525225

Подписано к печати 24.01.2024 г. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная.

Объём 8 физ. печ. л., 4 бум. л., 10,5 уч.-изд. л.

В розницу — цена договорная.

Подписной индекс:

Официальный каталог ПОЧТА РОССИИ — П4014;

КАТАЛОГ РОССИЙСКОЙ ПРЕССЫ — 89032.

За содержание рекламного объявления ответственность несёт рекламодатель.

За оригинальность и содержание статьи ответственность несёт автор.

Редакция не несёт ответственности за возможные негативные последствия использования опубликованных материалов, но принимает меры по исключению ошибок и опечаток.

В случае приёма рукописи к публикации редакция ставит об этом в известность автора. При этом редакция получает исключительное право на распространение принятого произведения, включая его публикации в журнале "Радио", на интернет-страницах журнала или иным образом.

Авторское вознаграждение (гонорар) выплачивается в течение двух месяцев после первой публикации в размере, определяемом внутренним справочником тарифов.

По истечении одного года с момента первой публикации автор имеет право опубликовать авторский вариант своего произведения в другом месте без предварительного письменного согласия редакции.

В переписку редакция не вступает. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

© Радио®, 1924—2024. Воспроизведение материалов журнала «Радио», их коммерческое использование в любом виде, полностью или частично, допускается только с письменного разрешения редакции.

Отпечатано в ОАО «Подольская фабрика офсетной печати»

142100, Моск. обл., г. Подольск, Революционный проспект, д. 80/42.

Зак. 01075-24 .

К "вещам"

—
через космос

А. ГОЛЫШКО, канд. техн. наук, г. Москва

"Работайте так, словно деньги не имеют для вас никакого значения".

Марк Твен

Важности различных спутниковых проектов для самых разных отраслей экономики России, включая и Министерство обороны, сегодня вряд ли кто-нибудь сомневается. Ведь самая большая по площади страна расположена преимущественно в высоких широтах, где вечная мерзлота, горы, реки, океаны, тайга и тундра создают препятствия как для транспорта, так и для услуг связи. Поэтому дотянуться до множества отдалённых объектов проще и дешевле не кабелем или сотовыми сетями, а через спутник.

Поскольку без качественной широкополосной многопользовательской связи и идущих поверх неё информационных технологий никакой современной экономики и быть не может, наше будущее — это перспективные спутниковые группировки, в создании которых необходимо оперативно догонять другие космические страны. В последнее время такая работа активизировалась и стала системной, когда речь идёт не о запуске отдельных космических аппаратов для решения локальных задач, а о создании целой экосистемы услуг прикладного космоса, которая станет драйвером для развития всех сфер экономики и жизни страны. Данные сервисы будут ориентированы также и на обычных людей, а не только на частные компании и госсектор.

Создание указанной выше космической экосистемы воплотилось в федеральный проект "Сфера", о котором впервые заговорили в 2018 г. и который включает орбитальные группировки связи и дистанционного зондирования Земли. В "Сферу" войдут пять спутниковых группировок связи "Ямал", "Экспресс-ПВ", "Экспресс", "Скиф" и "Марафон", а также пять спутниковых группировок дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) "Беркут-Х", "Беркут-О", "Беркут-ВД", "Беркут-С" и "Смотр". В частности, космические аппараты (КА) помогут отслеживать перемещение грузов и пассажиров по железной дороге, морскому или автомобильному транспортом, предоставлять надёжную связь пассажирам в пути. Тем компаниям, которые имеют сложную географию своих производственных активов, КА обеспечат удалённый мониторинг оборудования, инфраструктуры и работы персонала, а также помогут провести разведку природных ресурсов. Первые работы по проекту создания многоспутниковой орбитальной группировки "Сфера" начаты в декабре 2021 г.

Проект "Сфера" также направлен на ликвидацию так называемого "цифрового неравенства" в особо удалённых населённых пунктах. Общий объём финансирования российской многоспутниковой группировки "Сфера" составит около 180 млрд рублей.

Текущая (начальная) конфигурация "Сферы" предполагает запуск 137 КА (132 серийных и пять экспериментальных) группировки Интернета вещей (IoT — Internet of Things) "Марафон IoT", шесть аппаратов "Скиф" для сис-

Dr.Web
Компьютерная сеть редакции журнала «Радио» находится под защитой Dr.Web — антивирусных продуктов российского разработчика средств информационной безопасности — компании «Доктор Веб».
www.drweb.com
Бесплатный номер службы поддержки в России:
8-800-333-79-32

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА — КОМПАНИЯ «РИНЕТ»
РИНЕТ
БЛИЖЕ К ЛЮДЯМ
Телефон: +7(495)981-4571
E-mail: info@rinet.ru
Сайт: www.rinet.ru

темы широкополосного доступа (ШПД) в Интернет, четыре спутника связи "Экспресс-РВ", а также спутники наблюдения Земли. Среди них аппараты "Беркут-О" (обзорная съёмка, 84 КА), "Беркут-ВД" (высокодетальная съёмка) и "Беркут-Х" (радиолокационная съёмка, 12 КА). Наибольшее внимание уделяется радиолокационным космическим аппаратам, работа которых не зависит от наличия облачности. Они особенно полезны там, где требуется круглосуточное всепогодное наблюдение, например, в Арктике или на сегодняшней Украине.

За персональный ШПД в Интернет в "Сфере", и в особенности на высоких широтах и трассе Северного морского пути, будет отвечать группировка "Экспресс-РВ", а за коллективный доступ — группировка из 12 КА "Скиф", которые разместятся на средней круговой орбите высотой 8070 км с полярным наклоном 88,2 градуса. Её выбор обусловлен следующими особенностями:

- возможностью обслуживания северных широт, недоступных для традиционных спутников на геостационарной орбите, в том числе районов Крайнего Севера, Арктики, Северного морского пути и кроссполярных авиатрасс;

- необходимостью небольшого числа спутников для устойчивого обслуживания территории России;

- оптимальным балансом между высотой орбиты, временем видимости космических аппаратов для абонента и числом спутников, необходимых для обслуживания России.

Если сравнивать орбиту группировки "Скиф" с конкурентами, прежде всего OneWeb и Starlink, то это очень высоко. Спутниковая группировка Starlink находится на низких орбитах высотой 300...600 км, а спутники проекта OneWeb на высоте 1100...1200 км. Низкая орбита Starlink, с одной стороны, позволяет снизить задержку при передаче сигнала и не требует особо мощных приёмопередающих устройств, а с другой — такой системе необходимо значительно больше спутников. При полном развёртывании Starlink в ней окажется почти в 100 раз больше КА, чем у "Скифа". Это также означает, что бюджет радиолинии у аппаратов "Скифа" будет хуже, чем у Starlink (т. е. либо мощность передатчика, либо размер антенны необходимо увеличивать). В целом же "Скиф" не будет аналогом Starlink в плане дешевизны и простоты доступа, поскольку предназначен для коллективного стационарного использования.

Чем ниже орбита, тем меньше зона покрытия одного спутника. Следует заметить, что российские "Скифы" на роль глобальной системы не претендуют и призваны обеспечить услугами ШПД только территорию России, что ограничивает их число. Масса КА "Скиф" — до 900 кг (в четыре раза тяжелее Starlink). Ожидаемый срок службы каждого "Скифа" — около двенадцати лет. Ну, а логика работы отечественного спутникового Интернета в целом аналогична Starlink. Сами спутники — это типичные ретрансляторы.

Планируется, что пропускная способность одного КА составит более 150 Гбит/с, и соответственно, вся система может считаться группировкой терабитного класса. Запуск спутника-демонстратора "Скиф-Д" состоялся 22 октября 2022 г. с космодрома Восточный совместно с тремя КА связи "Тонец-М", также изготовленными в АО "Информационные спутниковые системы имени академика М. Ф. Решетнёва" (АО ИСС). 23 октября спутники вышли на свои орбиты. Так началось реализация всего федерального проекта "Сфера". Кстати, "Скиф-Д" стал первым за всю историю отечественного создания спутников КА, который выведен на среднюю круговую орбиту высотой 8070 км.

"Скиф" числится в Международном союзе электросвязи (ITU) как SKY-F. В 2015 г. "Зонд Холдинг" получил разрешение на создание спутниковой группировки на негеостационарной орбите с использованием частот Ка-диапазона (27600...28400 МГц (Земля—космос) и 17800...18600 МГц (космос—Земля)). Как видим, было выделено две полосы шириной 800 МГц и 600 МГц соответственно.

Также, в отличие от Starlink, где на спутник подаётся сигнал в Ка-диапазоне, а на наземный терминал уходит сигнал по Ку-диапазону, "Скиф" работает исключительно в Ка-диапазоне.

В 2015 г. была зарегистрирована заявка в ИТУ на орбитально-частотный ресурс с получением приоритета на задействованные радиочастоты. Заинтересованные страны получают доступ к орбитально-частотному ресурсу в соответствии с положениями Регламента радиосвязи ИТУ после успешного выполнения всех предусмотренных процедур, начиная с заявления частотных присвоений и заканчивая их занесением в Международный справочный регистр частот (МСПЧ). Согласно правилам ИТУ, заявка должна быть подтверждена на практике в течение семи лет (т. е. не позднее 2022 г.) путём запуска спутников, числом не меньше 10 % от группировки (на первом этапе — шесть КА). Таким образом, главная задача, стоявшая перед "Скиф-Д", — в обусловленные сроки дать сигнал на зарегистрированных в ИТУ частотах.

Частотное присвоение, занесённое в МСПЧ, получает право на международное признание. На практике это означает, что другие администрации должны учитывать такое частотное присвоение, чтобы избежать вредных помех. Однако это ни в коей мере не означает, что частотное присвоение и связанная с ним орбитальная позиция принадлежат заявителю-государству или частной компании. Частотное присвоение — это лишь разрешение на использование радиочастоты или радиочастотного канала, причём на определённых условиях и предоставленное на определённый срок.

Первый этап развёртывания спутниковой группировки для широкополосного доступа в Интернет "Скиф" подразумевает запуск шести КА к концу 2025 г. и середине 2026 г. Выводиться на орбиту они будут с помощью ракеты-

носителя "Союз-2.1б" с разгонным блоком "Фрегат". Одной из задач, решаемых в рамках этой спутниковой группировки, — сделать стоимость передачи информации через спутниковую связь, которую обеспечат аппараты "Скиф", сопоставимой с ценами наземных операторов. Ещё одной немаловажной задачей, которую, по словам главного конструктора многоспутниковых систем АО ИСС Олега Графодатского, удалось решить, является полная замена импортных комплектующих в прежних массо-габаритных параметрах.

В апреле 2023 г. ТАСС сообщало, что Роскосмос планирует приступить к формированию передовой спутниковой системы, которая позволит подключать мобильные устройства к сети даже в условиях полного отсутствия сотовой инфраструктуры по технологии direct-to-cell (или satellite-to-cell, или direct-to-mobile), уже известная читателям журнала и предусматривающая прямая доступ смартфонов к спутникам без дополнительного оборудования. Новая российская группировка спутников будет создаваться на базе КА "Беркут-С" с высотой орбиты около 2000 км. В рамках этого проекта будет создана группировка из сотен спутников, однако их число и сроки запусков будут уточнены в процессе проектирования.

За рубежом спутниковую связь для обычных смартфонов будут совместно тестировать компании SpaceX и T-Mobile. Также компания Qualcomm в 2023 г. объявила, что спутниковый сервис Snapdragon Satellite позволит отправлять экстренные сообщения вне зоны действия традиционных мобильных сетей через спутник и будет доступен через смартфоны, использующие чипсеты Snapdragon. Поддержка будет предусмотрена не только для флагманских моделей, но и для бюджетных устройств. Смартфоны Apple и некоторых других компаний последнего поколения уже поддерживают спутниковую связь, но география действия сервисов и их функциональность ограничены.

В конце 2025 г. запланирован запуск первого спутника высокоэллиптической системы связи "Экспресс-РВ". Развёртывание полной орбитальной группировки произойдёт в 2026 г. В неё войдут четыре одноимённых КА на высокоэллиптической орбите (ВЭО), предназначенных для организации услуг фиксированной и подвижной связи. Они будут оснащены оборудованием для работы в диапазонах частот С, Ku и L. Гарантированный срок активной жизни спутников составит 10 лет. По словам специалистов, орбитальная группировка "Экспресс-РВ" обеспечит предоставление услуг связи, включая широкополосный доступ в Интернет на всей территории России и акватории Северного Ледовитого океана.

По мнению специалистов, наиболее экономичный и приемлемый с точки зрения электромагнитной совместимости (ЭМС) способ — использование спутников на высокоэллиптических орбитах. Геостационарная орбита (ГСО) при всех её несомненных преимуществах имеет два серьёзных недостатка. С неё не обеспечивается обслуживание



территорий выше 76...78 град. с. ш. и малы углы видимости спутника с российской территории, что затрудняет организацию связи с подвижными объектами.

Негеостационарные системы со спутниками на средних и низких круговых орбитах, также способные решить задачу связи в Арктике, требуют значительных капитальных вложений, исчисляемых многими миллиардами долларов США (особенно низкоорбитальные системы), при этом вероятность возврата затраченных средств крайне невелика. Также не вполне понятно, как обеспечить ЭМС с ГСО-системами. Система связи со спутниками на ВЭО способна с успехом решить задачи обеспечения связью Арктической зоны, связи с подвижными объектами и ряд других важных государственных задач. При этом капитальные затраты на создание системы в разы ниже, чем для низкоорбитальных систем, а ЭМС с геостационарными системами гарантированно обеспечивается без принятия каких-либо дополнительных мер.

Пользователями этой системы спутникового ШПД могли бы стать местные администрации, государственные структуры (МЧС, МВД, Минтранс, Минобороны, различные федеральные службы), корпоративные пользователи (геологоразведка, нефте- и газодобыча, телемедицина, дистанционное обучение), службы мониторинга в интересах различных ведомств.

В 2023 г. АО ИСС заключило госконтракт с Роскосмосом на изготовление КА для глобальной низкоорбитальной многоспутниковой системы передачи данных "Марафон IoT", которая предназначена для предоставления услуг IoT. Развитие системы "Марафон IoT" для глобального обслуживания запланировано на 2025—2028 гг., восполнение спутниковой группировки — на 2028—2030 гг.

Будут разработаны и изготовлены пять опытных КА "Марафон", а затем поэтапно 132 штатных спутника, что составит половину орбитальной группировки системы Марафон IoT. Также по условиям контракта на предприятии будет организован участок для их серийной сборки. Первая партия из пяти спутников должна быть выведена на орбиту в 2025 г. Помимо этого, предприятие произведёт и подготовит к запуску экспериментальный космический аппарат "Марафон" — негерметичный спутник микрокласса массой менее 100 кг, оснащённый полезной нагрузкой для передачи данных в интересах IoT. В настоящее время завершается изготовление составных частей этого КА, развёрнуты процессы отладки взаимодействия бортовой аппаратуры, разрабатывается программное обеспечение. Спутник планировалось запустить до конца 2023 г.

Спутники массой всего 45...50 кг планируют выпускать на конвейере. На предприятии ИСС в Красноярском крае готовятся к массовой сборке спутников. Если ещё в 2021 г. здесь собирали десять относительно крупных КА (в основном средние и тяжёлые спутники телекоммуникационного назначения и

системы ГЛОНАСС), то с 2024 г. объёмы производства должны возрасти до ежемесячного выпуска 10—15 малых КА массой до 100 кг. Для этого уже создана новая линия поточной сборки, и завершается создание линейки новых КА проекта "Сфера".

Человек, попавший в беду где-нибудь в районе Северного морского пути, сможет с помощью малогабаритного гаджета подать сигнал бедствия. Пока это устройство носит имя "Кнопка жизни" и является индивидуальным аналогом автомобильной "ЭРА-ГЛОНАСС". Работать "Кнопка жизни" будет без телефона и громоздкой системы энергообеспечения, благо орбита "Марафона" это позволяет. О высокоскоростной передаче информации речь не идёт, поскольку спутник используется как ретранслятор несложных сигналов от устройств IoT.

Если рассматривать гражданскую миссию этой системы, то, в первую очередь, "Марафоны" будут транслировать информацию от морских и речных судов, а также самолётов из самых отдалённых районов России. А в остальном они будут заниматься многим — от мониторинга провисания и нагрева линий электропередач до предупреждения о паводках и землетрясениях. Спутниковая группировка "Марафон" будет предоставлять услуги по поиску людей, в том числе в горах. Информация будет поступать напрямую в МЧС или поисковым службам. Задержка при передаче сигналов через орбиту высотой 8000 км составляет 150 мс, что является допустимым пределом для голосовой связи, однако для сигналов устройств IoT (где в большом числе случаев передаётся телеметрия) это вообще некритично.

Стоимость самых простых датчиков вместе с модемом в "Марафон IoT" не будет превышать 400 рублей, а срок работы с одним источником питания достигает 10 лет. Средняя же стоимость полноценного персонального устройства связи планируется в районе 1500 рублей. Кстати, "Марафонами" планируют "закрыть" всю планету.

Полностью группировка "Марафон IoT" будет состоять из 264 спутников, включая 12 резервных КА, по одному в каждой плоскости, и охватит услугами всю планету. Ожидается, что со временем этих КА будет тысячи. Спутникам предстоит работать на низкой круговой орбите высотой 750 км, где они будут распределены по 12 плоскостям с приполярным наклонением. "Марафон IoT" считается аналогом группировки Starlink компании SpaceX. Аппараты предполагается изготавливать серийно с периодичностью выпуска изделий — один спутник в два дня. Для этого в ИСС создаются новые рабочие места поточной сборки и испытаний. Для формирования полномасштабной орбитальной группировки предусмотрены групповые запуски по 33—44 аппарата одной ракетой-носителем типа "Ангара 1.2".

Предполагается, что половина спутников из состава группировки "Марафон" для обслуживания регионов, рас-

положенных выше 50 градусов с. ш., будет запущена в третьем квартале 2024 г., одновременно планируется ввод в эксплуатацию наземного сегмента системы.

Система "Марафон IoT" научится автоматически корректировать сигналы спутников геопозиционирования ГЛОНАСС. Марафоны займут место самых низкоорбитальных систем Российской космической группировки, и в перспективе они будут работать в связке с системой "Гонец", аппараты которой вращаются на высоте 1500 км. Логика следующая — наземное устройство транслирует сигнал на один из "Марафонов", который может ретранслировать информацию на "Гонец". Последний через наземного оператора передаёт сигнал абоненту. Но "Марафоны" могут работать и без посредников.

Срок активного существования спутников составит четыре или пять лет с возможностью увеличения до семи (т. е. конвейер АО ИСС простаивать не будет). После завершения эксплуатации КА "Марафон" будут сведены с орбиты и затоплены.

Появление спутников "Марафон" на орбите станет для нашей страны таким же важным этапом развития, как система ГЛОНАСС, которая сегодня используется очень активно миллионами потребителей.

Коммерческая эксплуатация начнётся по мере развёртывания орбитальной группировки и создания земного сегмента для предоставления услуги. Проблема — не произвести спутники, а создать устойчивую кооперацию для их серийного производства и крупносерийного производства оконечных устройств потребителей, в общем, для всех составных частей системы. А система — это не только спутники. Пока планируются только опытно-конструкторские работы, которые лишь косвенно затрагивают вопросы серийного производства составных частей и эксплуатации многоспутниковой низкоорбитальной системы передачи данных "Марафон IoT" с целевой функцией прямого доступа в диапазонах 868/915 МГц на линиях абонентский терминал—космический аппарат (АТ—КА), космический аппарат—абонентский терминал (КА—АТ) к оконечным устройствам любых видов сервисов в сфере IoT, в том числе и при их работе в движении. Предварительные расчёты показывают, что максимальная эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ — произведение мощности радиочастотного сигнала, подводимого к антенне, на абсолютный коэффициент усиления антенны) должна составлять 36 дБмВт на линии КА—АТ и 18 дБмВт — на линии АТ—КА.

У спутниковой связи есть несколько рыночных сегментов. На рынке голосовой спутниковой связи работает Iridium, который, в отличие от других аналогичных систем, захватывает полярные районы планеты. ШПД в Интернет займут OneWeb и Starlink. Ну, а третий сегмент — IoT. Этот сегмент предполагает успех, если предостав-

ление услуг осуществляется по самой низкой цене, потому что перечисленные системы также будут оказывать такие услуги. Если их и можно победить, то только за счёт ценового демпинга, это требует жесточайшей оптимизации бизнес-процессов, технологических процедур и снижения стоимости КА.

Системы персональной спутниковой связи и передачи данных, в том числе и модернизируемые, не имеют будущего на рынке IoT. Они имеют высокие цены абонентского оборудования (сотни долл. США) и трафика, а также неудовлетворительные эксплуатационные параметры этого оборудования (энергопотребление, масса, габариты). Как считают специалисты, для конкурентного предложения услуг IoT необходимо достичь параметров, сопоставимых с предложениями наземных сотовых сетей и также наземных сетей IoT LPWAN. Это означает, что себестоимость абонентского устройства должна быть в пределах 10...30 долл. США, ежемесячная плата должна быть около

двух долл. США в месяц для типовых режимов работы off-line и восемь долл. США для работы on-line. Работа абонентского устройства от стандартных источников питания должна составлять не менее 5—10 лет. То есть для рынка необходимы новые спутниковые системы IoT, которые интегрированы с наземными сетями в части технологий, протоколов и абонентского оборудования. Ну, а, помимо рынка, такие системы нужны, к примеру, Министерству обороны РФ.

Смогут ли компоненты "Сферы" составить конкуренцию Starlink? Ожидается, что смогут уже через 5—6 лет. Впрочем, российской армии они были нужны ещё вчера. Догоним!

По материалам habr.com/ru/news/669266/, gazeta.ru/science/topwar.ru, iss-reshetnev.ru/ses.com, dzen.ru/a/ZCpkuhMCLi570ZCQ, tehnoomsk.ru/archives/7879, tadviser.ru, [/ka-band.info/resources](http://ka-band.info/resources), news.rambler.ru/tech

МОДУЛЬНАЯ РЕКЛАМА

Разработка программ для микроконтроллеров STM32, ATmega и других на заказ:

Сбор данных, передача на сервер, управление, свет, звук, CAN и LIN, генерация сигналов, измерения и т. д.

E-mail: micro51@mail.ru
т. +7-912-619-5167

* * *

Пытливый ум, умелые руки, нужные радиодетали — и нет больше скуки!

www.radiodetali.perm.ru

Тел: 8-800-201-75-54