

ГМИСС – история взлета и падения



Андрей ГРИЦЕНКО,
генеральный директор
АО «ИКЦ «Северная Корона», к. т. н.

Начало

В июне 2018 г. в ходе прямой линии Президент РФ В.В. Путин анонсировал начало работ над масштабным проектом под общим названием «Сфера», включающим в себя около 640 спутников. Согласно замыслу в состав проекта должны были войти не только телекоммуникационные спутниковые системы, но и глобальные спутниковые навигационные системы, а также системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Изюминкой анонсированного проекта «Сфера», привлекушей, наверное, наибольшее внимание со стороны специалистов, так и обывателей, стал проект Глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы (ГМИСС), ранее представлявшийся специалистами АО «Российские космические системы» (РКС) как проект системы «Эфир» [1]. Нужно сразу отметить, что сейчас

Россия – одна из немногих стран, для которой спутниковые коммуникации играют очень важную роль в ее развитии, обеспечении безопасности, даже статусности. Огромные территории предопределяют необходимость развертывания собственных спутниковых систем различного назначения. Одним из наиболее, как казалось, ярких начинаний последних лет должен был стать проект ГМИСС – глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы, обладающей запредельными возможностями. ГМИСС ворвался в медийное пространство в первой половине 2018 г., но уже в сентябре 2019 был исключен из паспорта федерального проекта «Информационная инфраструктура» национальной программы «Цифровая экономика». Анализу главных причин взлета и падения проекта ГМИСС с позиции заложенных в него технических решений и посвящен данный материал.

под проектом «Сфера» понимается одноименная Федеральная целевая программа (ФЦП).

ГМИСС позиционировалась как «космическая шина данных» для предоставления услуг спутниковой подвижной голосовой связи, доступа в сеть Интернет, получения данных от датчиков и систем Интернета вещей и беспилотных аппаратов. То есть предоставление услуг подвижной персональной связи, широкополосной передачи данных (ШПД) и услуг IoT.

Немного раньше, в мае 2018 г., холдинг «Российские космические системы» представил проект ГМИСС в ходе презентации «Современные космические сервисы» [2]. Систему ГМИСС, состоящую из 288 спутников, размещаемых на круговых орбитах высотой 870 км, предлагалось развернуть к 2025 г. Для передачи информации в любую точку земного шара, а также на воздушный или космический объект предполагалось

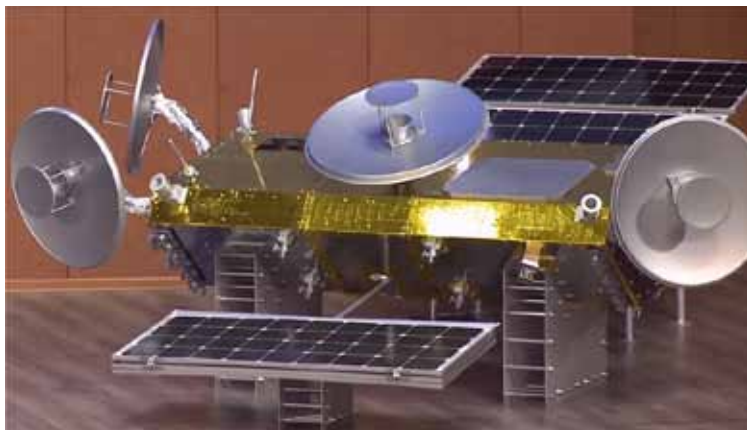


Рис. 1. Макет спутника ГМИСС

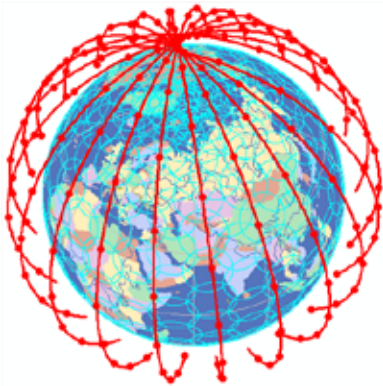


Рис. 2. Структура ОГ проекта ГМИСС

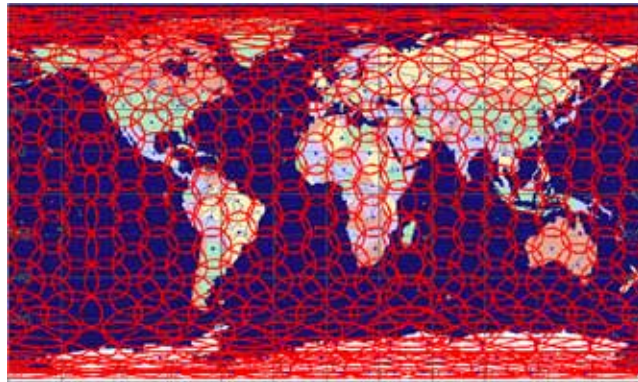


Рис. 3. Мгновенные зоны радиовидимости спутников проекта ГМИСС (минимальный угол места 32°)

использование межспутниковых линий связи.

Менеджеры АО РКС говорили о том, что «система должна войти в состав российской «гибридной» интеллектуальной национальной сети связи, в которой спутниковый сегмент станет частью общей платформы. На территориях отсутствия наземных сетей связи низкоорбитальная спутниковая группировка обеспечит обмен данными практически в реальном времени, в том числе между подвижными объектами» [2].

На презентации системы был показан макет спутника ГМИСС, представленный на рис. 1 [2].

Предполагалось, что эта система должна была быть создана на базе отечественных космических аппаратов и абонентского оборудования. Ее конкурентами назывались спутниковые системы OneWeb и SpaceX.

Так что же из себя представлял проект системы ГМИСС?

Краткая характеристика проекта

Ключевым элементом любой спутниковой системы, особенно на негеостационарных орбитах (НГСО), является баллистическая структура орбитальной группировки (ОГ) [3].

Баллистическая структура ОГ космических аппаратов (КА):

1) полностью определяет потенциальные возможности спутниковой системы в части применения по назначению;

2) существенно влияет на облик и основные характеристики космического аппарата (платформы и полезной нагрузки);

3) определяет стоимость (потребное число запусков ракет-носителей) и время развертывания (запуски и довыведение на рабочие орбиты) спутниковой системы.

Орбитальная группировка проекта ГМИСС представлена одноэшлонным вариантом в составе 288 спутников. Как правило, при классическом построении ОГ для обеспечения относительно равномерного радиопокрытия спутниками поверхности Земли и минимизации числа запусков ракет-носителей (РН) число плоскостей в ОГ должно быть примерно в два раза меньше числа спутников в каждой плоскости.

Например, ОГ спутниковой системы OneWeb включает 18 плоскостей по 36 спутников в каждой, а у системы Iridium – 6 плоскостей по 11 спутников. Следовательно, структура орбитальной группировки проекта ГМИСС должна была включать в себя 12 плоскостей по 24 спутника в каждой.

Также было объявлено, что высота круговой орбиты составляет 870 км (у Iridium она примерно 780 км, у OneWeb – около 1220 км). Система обозначалась как глобальная, а значит, наклонение было выбрано околополярное (у OneWeb и Iridium наклонение рабочих орбит составляет 87,2° и 86,4° соответственно).

Для обеспечения работы в качестве глобальной «космической шины» планировалось использовать межспутниковые линии связи. Оптимальным решением для такой ОГ с околополярными орбитами в этом случае является использование конструкции Уолкера – Можаяева [4], предполагающей расстановку плоскостей «на дуге 180°». К слову, именно эта конструкция и была использована в орбитальных группировках систем Iridium и OneWeb.

Результирующая структура ОГ проекта ГМИСС представлена на рис. 2.

Глобальность обслуживания спутниковых телекоммуникационных систем обеспечивается при определенных минимальных углах места. Для системы проекта ГМИСС – это 32°. Это означает, что углы сканирования лучей для случая, если на борту будут использованы фазированные антенные решетки, составят в пределе $\pm 45^\circ$.

Мгновенные зоны радиовидимости спутников системы при минимальных углах места 32° представлены на рис. 3.

На рис. 3 видно, что если в экваториальной зоне обеспечивается хорошее равномерное покрытие, то в приполярных областях наблюдается высокая концентрация спутников. Известно, что максимальная концентрация спутников в одноэшлонной группировке достигается именно на широтах, численно равных значению наклонения i -орбиты



Рис. 4. Число одновременно наблюдаемых КА проекта ГМИСС (максимум – линия зеленого цвета, минимум – линия красного цвета)

(или значению 180° при наклоне больше 90°).

На рис. 4 представлены графики зависимости минимального и максимального числа одновременно наблюдаемых спутников проекта ГМИСС на углах места более 32° в функции значения широты точки наблюдения, полученные путем моделирования [5].

Как видно из рис. 4, проект системы ГМИСС гарантирует наблюдение не менее четырех спутников на углах места выше 32° в широтной полосе $\pm 60^\circ$ град. Однако выше широты 70° наблюдается резкий рост числа одновременно наблюдаемых спутников, доходящий в пределе до 30...36 космических аппаратов.

Краткий анализ проекта

А теперь мы попытаемся по-крупному проанализировать технические решения проекта ГМИСС.

Как видно из рис. 4, максимальную потенциальную

пропускную способность системы проект ГМИСС может обеспечить на широтах выше 70° , причем как в Северном, так и в Южном полушарии. То есть там, где число пользователей минимально и для их обслуживания достаточно хотя бы одного спутника. Следовательно, при минимальном угле места обслуживания абонентских терминалов в 32° , не менее 25%...30% спутников из состава орбитальной группировки ГМИСС будут просто бездействовать, так как загрузка для них отсутствует. Понятно, что бездействие такого высокого процента спутников ОГ предопределяет более высокие цены на предоставление сервисов.

Нужно отметить, что такой же подход к построению ОГ был выбран и в системе OneWeb. В этом проекте планируется развернуть ОГ в составе 648 спутников системы на околополярных (наклонение $87,2^\circ$) орбитах. Число одновременно наблюдаемых КА

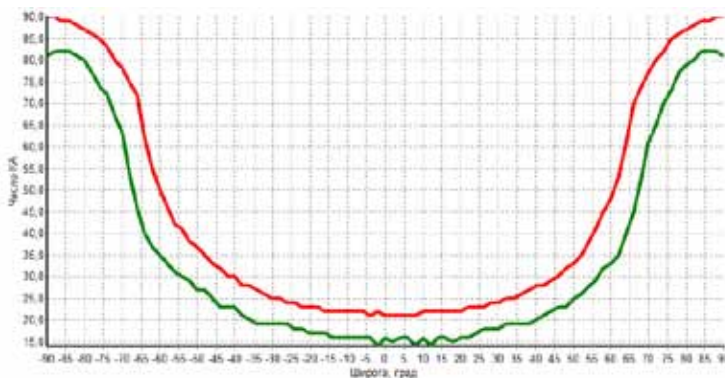


Рис. 5. Число одновременно наблюдаемых КА проекта OneWeb (минимум – линия зеленого цвета, максимум – линия красного цвета)

проекта OneWeb при ограничении на минимальный угол места в 60° представлен на рис. 5. Видно, что экспоненциальный рост концентрации спутников начинается примерно с широты выше 60° .

Правда, с системой OneWeb все обстоит еще хуже: на спутниках используются антенны, формирующие фиксированные лучи (их угловая ориентация не меняется). А это уже означает, что такие лучи по мере приближения к северным широтам должны физически выключаться. На спутниках проекта ГМИСС анонсировались антенные решетки, что теоретически означает возможность перенацеливания лучей и продолжение работы без их выключения (но с обеспечением внутрисистемной электромагнитной совместимости).

Это, наверное, была первая и ключевая ошибка проекта ГМИСС: вместо того чтобы сконцентрировать максимум пропускной способности системы в широтном поясе, покрывающем территорию России, ее сконцентрировали в приполярных районах. А ошибки в выборе ОГ напрямую влияют на все технико-экономические характеристики системы.

Вторая проблема заключалась в попытке создать универсальную спутниковую систему: анонсировались и пакетная передача данных (IoT), и персональная голосовая связь, и высокоскоростная передача данных, а это очень сильно отличающиеся друг от друга технологии. Попытка сростить их в одну систему в большинстве случаев ни к чему хорошему не приводит.

Например, подвижная персональная спутниковая связь сегодня – это L- или S-диапазон, минимальные углы места от 10° , отсутствие жестких требований к задержке в прохождении сигнала и, в принципе, актуальность организации связи между абонентами, расположенными в разных уголках земного шара. То есть целесообразность межспутниковых линий обоснована. Наверное, если синтезировать оптимальную

ОГ для системы, удовлетворяющей этим требованиям, то мы получим систему Iridium в составе всего 66 спутников и с межспутниковыми радиолиниями. Кстати, эта система полностью соответствует предъявленным требованиям, правда, стоимость услуг у нее довольно высока. Но какова же будет стоимость услуг подвижной персональной связи, если в системе будет не 66, а 288 спутников, как в проекте ГМИСС?

Услуги ШПД очень актуальны на территории России. Даже в наших крупных мегаполисах (например, в Санкт-Петербурге) качество и скорость передачи информации оставляют желать лучшего. Углы места в спутниковых системах, предоставляющих такие услуги, как правило, составляют 30° и выше. При таких углах места число спутников в ОГ в зависимости от высоты составляет сотни и даже тысячи КА. И вот здесь крайне важно, чтобы пропускная способность всех спутников системы (их частотно-энергетический ресурс) была максимально загружена. Но пик пропускной способности системы ГМИСС приходится на приполярные рай-

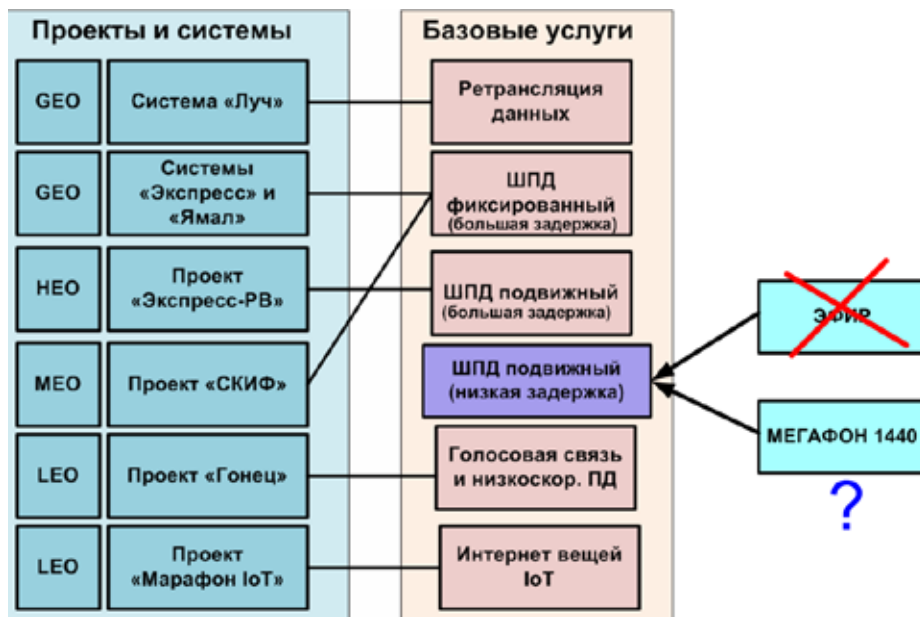


Рис. 6. Телекоммуникационные проекты и системы ФЦП «Сфера» и ее новые составляющие

проектирования были просто скопированы, точнее скомбинированы, основные решения от систем Iridium и OneWeb. Наверное, было бы лучше взять полезные решения от системы Starlink и добавить к ним свои собственные оригинальные наработки. Но, возможно, техническим специа-

исключить проект по созданию ГМИСС «Эфир» из паспорта федерального проекта «Информационная инфраструктура» национальной программы «Цифровая экономика» [6]. Нужно особо отметить, что такое решение «Роскосмоса» дало шанс на выживание других проектов ФЦП «Сфера». Более того, оно показало, что в Роскосмосе умеют правильно оценивать ситуацию.

Какие же проекты фигурируют сейчас в ФЦП «Сфера»?

ФЦП «Сфера»

В телекоммуникационную составляющую ФЦП «Сфера» входят как действующие системы («Луч», «Экспресс», «Ямал», «Гонец»), так и перспективные проекты («Экспресс-РВ», «Скиф», «Гонец-М», «Марафон-IoT») [3]. Это и геостационарные, и негеостационарные системы, особенности развития которых в ближайшей перспективе рассмотрены в [7].

Под проектом «Гонец-М» (обозначение «М» – от автора) понимается перспективная система, в том числе для предоставления услуг подвижной персональной связи (в действующей системе этой услуги нет).

Услуги ШПД очень актуальны на все территории России.

оны и, как следствие, значительная часть спутников становится бесполезной.

Чтобы понять, почему для сервисов IoT целесообразно использовать «выделенную» спутниковую систему, нужно просто ознакомиться с проектом «Марафон-IoT».

Падение

Одним словом, ощущение такое, что на этапе

листам просто не хватило времени, так как за этот короткий период в РКС сменили не одну команду разработчиков проекта. А надо отметить: каждая команда пыталась найти и предложить свою изюминку в данном проекте.

Но факт остается фактом – в основу проекта ГМИСС в конечном счете легли, мягко говоря, неоптимальные решения. По этой причине становится ясно, почему «Роскосмос» решил

Поясняющая картинка представлена на рис. 6.

Спутники проекта системы ШПД «Скиф» способны обеспечить очень высокую скорость передачи данных – этот проект наиболее эффективен в задачах цифровизации городов и поселков северной части территории России.

Как видно из нашего рисунка, перечень проектов и систем ФЦП «Сфера» покрывает практически весь спектр возможных услуг. Единственный неприкрытый кубик – это подвижный ШПД с малым временем задержки в прохождении сигнала. Подвижный – значит, услуги должны предоставляться на компактные абонентские станции и на углах места не менее 30° (лучше от 60°). С малым временем задержки – значит, что необходимо иметь именно низкоорбитальную (LEO) систему с малой высотой орбиты – желательно, 200...300 км. Это при наличии на борту двигателей коррекции орбиты на основе преобразования атмосферы в плазму. В крайнем случае в высотном поясе выше орбиты МКС, то есть – 450...600 км.

Оптимальные орбитальные группировки

Когда говорят об оптимальных системах, то вводят критерии оптимальности и пытаются обеспечить экстремум соответствующих критериальных параметров.

Применительно к ОГ телекоммуникационной спутниковой системы одним из критериев оптимальности является минимизация числа спутников, обеспечивающих 100%-ное покрытие заданного региона (или глобально) с минимальными углами места, не ниже заданного значения.

При использовании полярных и околополярных орбит равномерное распределение спутников обеспечивается

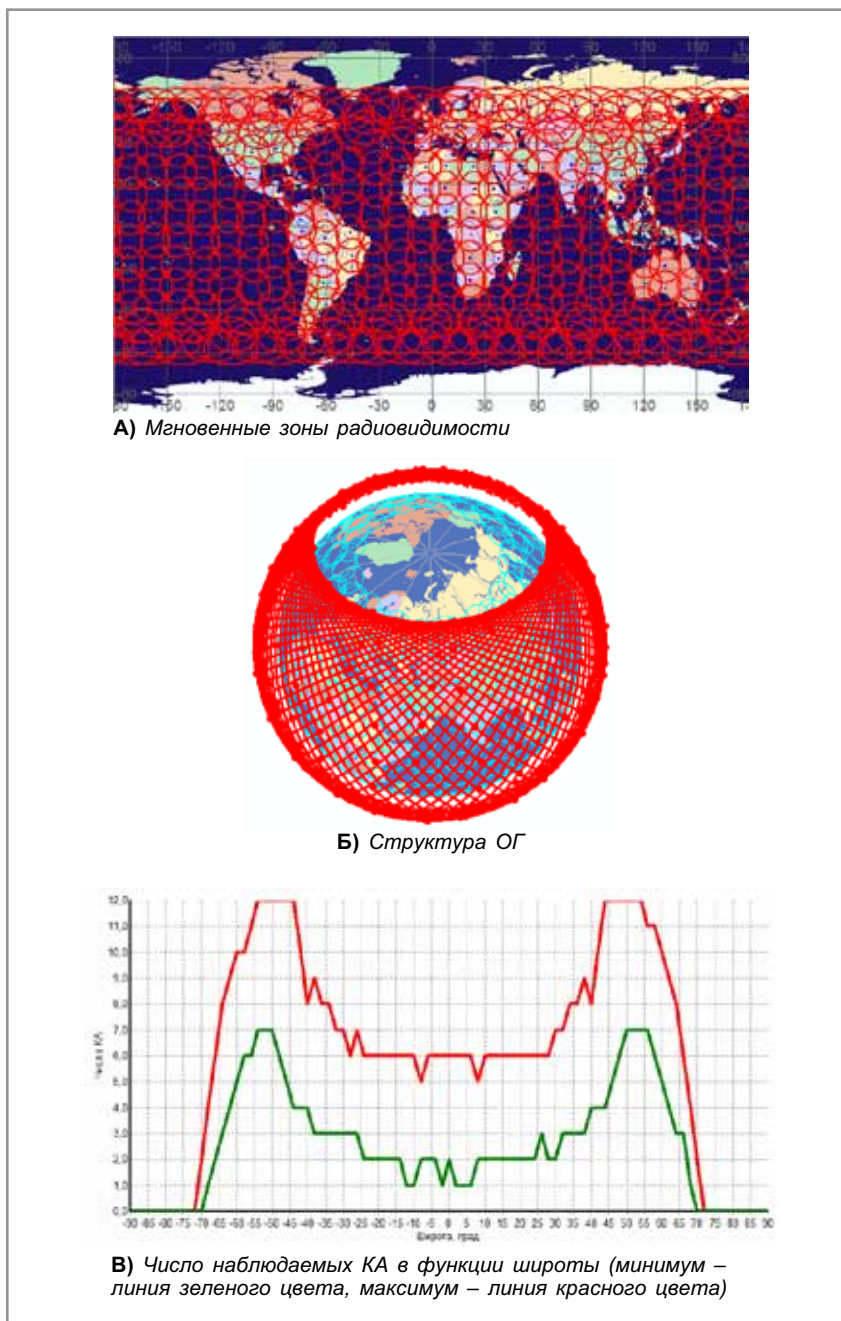


Рис. 7. Оптимальная орбитальная группировка

правильной «нарезкой» $N \times M$, где N – число плоскостей, M – число спутников, численно равное удвоенному значению N . Нужно также отметить, что «обратное» (N в два раза больше M) также справедливо, но, как правило, дороже при использовании принципа «одна плоскость – одна РН». Главный недостаток такого построения – концентрация спутников над полюсами.

Для наклонных орбит с наклоном, например, в 60° и ниже такая «нарезка» уже не пройдет – возникают обрывы в обслуживании в виде дыр либо полос.

Ситуацию можно изменить, если использовать принцип «один спутник – одна плоскость», а распределение космических аппаратов обеспечивать параметром «фазирование» [8].

Один из примеров оптимального построения ОГ на низких орбитах представлен на рис. 7. Как видно из этого рисунка, в любой момент времени спутники достаточно равномерно распределены над поверхностью Земли, двигаются в составе характерных вертикальных цепочек (рис. 7а), а пик их концентрации наблюдается на широте 60° (рис. 7в), где число потенциальных потребителей может быть достаточно велико, а процент загрузки спутников может достигать максимума. То есть минимизируется число спутников ОГ и обеспечивается потенциальная возможность их полной загрузки.

Очевидно, что для обеспечения глобального обслуживания достаточно дополнительно развернуть полярный эшелон. Понятно также, что возможно оптимальное построение и многоэшелонной группировки, когда суммарное потребное число спутников будет меньше, чем это нужно для функционирования каждого эшелона в отдельности.

Для развертывания такой оптимальной группировки потребуются нестандартные решения в области выведения и разведения спутников. Но это уже отдельная тема.

Проект «МегаФон 1440»

8 декабря 2020 г. на свет появилась компания «МегаФон 1440». Целевая задача этой компании – разработка низкоорбитальной спутниковой системы для предоставления услуг высокоскоростной передачи данных.

На проведение прикладных исследований, разработку технических решений и испытания «МегаФон» намерен направить значительные средства в ближайшие два года. В планах компании проработать и развернуть спутниковую систему, обладающую малым временем задержки в прохождении

сигнала (от 20 мс) и высокой скоростью передачи данных – от 50 Мбит/с до 1 Гбит/с [9].

Да, нам нужна система, обладающая такими возможностями, но только оптимальная, продвинутая и эффективная.

В качестве эпилога

Во всей этой истории с проектом ГМИСС есть одна невосполнимая потеря – это время. За прошедшие несколько лет в Бюро радиосвязи (БР) МСЭ были зарегистрированы десятки новых проектов на НГСО в составе сотен, тысяч и даже десятков тысяч (система Starlink) спутников, которые используют Ku-, Ka-, а также более высокие Q- и V-диапазоны частот. И сейчас на первый план выходит уже не только проблема в обеспечении ЭМС между системами и проектами на НГСО, которой посвящено множество публикаций, в том числе [10, 11], но и проблема занятости высотных эшелонов. Для новой системы может просто не хватить места на низких орбитах.

Поэтому, нам остается надеяться, что компания «МегаФон 1440» учтет ошибки проекта «ГМИСС-Эфир» и, опираясь на научно-технический и промышленный потенциал России, сможет построить новую российскую спутниковую систему ШПД на основе новейших технических решений. ■

Литература

1. «Дочка» «Роскосмоса» представила спутниковую систему «Эфир» за \$299 млрд. https://www.rbc.ru/technology_and_media/22/05/2018/5b03edff9a7947620e3bbbde.
2. РКС провел презентацию новой системы глобальной спутниковой связи. <https://russianspacesystems.ru/2018/05/22/rks-provel-prezentaciyu-novoy-sistemy-efir/>.
3. Гриценко А.А. Анализ основных характеристик НГСО систем путем математического моделирования // Конгресс «Сфера» и XIV Международный навигационный форум. 26.04.2021.
4. Акимов А.А., Гриценко А.А., Степанов А.А., Чазов В.В. Особенности построения и эксплуатации орбитальных группировок систем спутниковой связи // Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2016». С. 72–86.
5. Гриценко А.А. Ситуационно-аналитический центр спутниковых систем // Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2020». С. 38–39.
6. Юлия Тишина. «Эфир» испарился из нацпрограммы. 30.09.2019. https://www.kommersant.ru/doc/4109763?from=main_3.
7. Гриценко А.А. Настоящее и будущее спутников ГСО // Connect. 2020. № 11–12. С. 46–49.
8. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А. Оптимальные низкоорбитальные группировки // Специальный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2022». С. 2–5.
9. МегаФон инвестирует 6 млрд рублей в разработку системы спутниковой передачи данных. https://corp.megafon.ru/press/news/federalnye_novosti/20201029-1037.html.
10. Анпилогов В.Р., Гриценко А.А., Чекушкин Ю.Н., Зимин И.В. Результаты анализа совместной работы систем OneWeb и «Экспресс-РВ» в Ku-диапазоне // Юбилейный выпуск «Спутниковая связь и вещание-2019». С. 48–54.
11. Локшин Б. Негеостационарные системы фиксированной спутниковой связи: состояние и перспективы развития // Электросвязь. 2018. № 2. С. 30–39.