

Гриценко А. А.

*кандидат технических наук, Генеральный директор
АО "Информационный Космический Центр "Северная Корона"*

О ПРИОРИТЕТАХ В РАЗВИТИИ СПУТНИКОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РОССИИ

Аннотация: в настоящей статье проведен краткий обзор спутниковых телекоммуникационных проектов, прорабатываемых в России. На основе проведенного анализа предлагаются приоритеты в развитии спутниковых телекоммуникационных систем в России, прежде всего в части ШПД и IoT.

Ключевые слова: орбитальные группировки, спутниковая связь, спутниковый ШПД, спутниковый IoT, D2D системы.

Gritsenko Andrey

PhD, General Director JSC "Information Space Center "Severnaya Corona"

ON THE PRIORITIES IN THE DEVELOPMENT OF SATELLITE TELECOMMUNICATION SYSTEMS IN RUSSIA

Annotation: this article provides a brief overview of satellite telecommunications projects being developed in Russia. Based on the analysis, priorities are proposed for the development of satellite telecommunications systems in Russia, primarily in terms of broadband access and IoT.

Keywords: orbital constellations, satellite communications, satellite broadband access, satellite IoT, D2D systems.

Бум в развитии спутниковых систем на негеостационарных орбитах (НГСО) захватил практически все "космические" страны. И Россия здесь — не исключение. В последние годы на конференциях и в СМИ публикуется информация о все новых и новых проектах спутниковых систем, предназначенных для предоставления услуг или широкополосного доступа (ШПД), или интернета вещей (IoT) или для обслуживания смартфонов (D2D 4/5G) или для "всего сразу". Отдельные проекты включены в федеральные целевые программы (например, ФЦП "СФЕРА", нацпроект "Экономика данных" и др.). Разработка других — ведется инициативно, но практически всегда с прицелом на государственную поддержку.

Цель этого материала — попытаться оценить целевую эффективность проектов и определиться с приоритетами в их реализации.

Начинать безусловно нужно со спутниковых систем, использующих космические аппараты (КА) на геостационарной орбите (ГСО).

Российская орбитальная группировка на ГСО

По состоянию "на сегодня", на ГСО развернута вполне приличная группировка спутников типа "Экспресс" и "Ямал", прикрывающая территорию РФ в С-, Ku- и частично в Ka диапазонах частот. Все позиции РФ на ГСО заняты. Более подробная информация представлена в Таблице 1.

Таблица 1 — Геостационарная группировка КА на ГСО

№	Позиция на ГСО	Спутник	Диапазон частот	Дата запуска	САС, лет	Дата окончания САС
1	-14	EXPRESS AM-8	L,C,Ku	2015	15	2030
2	-11	EXPRESS AM-44	L,C,Ku	2009	12	2021
3	36	EXPRESS AMU1	Ku,Ka	2015	15	2030
4	40	EXPRESS AM-7	L,C,Ku	2015	15	2030
5	49	YAMAL 601	C,Ka	2019	15	2034
6	53	EXPRESS AM-6*	L,C,Ku,Ka	2014	15	2029
7	54,9	YAMAL 402	Ku	2012	12	2024
8	56	EXPRESS AT1	Ku	2014	15	2029
9	80	EXPRESS 80*	L,C,Ku	2020	15	2035
10	90	YAMAL 401	C,Ku	2014	15	2029
11	96,5	EXPRESS 103	L,C,Ku	2020	15	2035
12	103	EXPRESS AMU-3	L,C,Ku	2021	15	2036
13	140	EXPRESS AT2	Ku	2014	15	2029
14	140	EXPRESS AM-5*	L,C,Ku,Ka	2013	15	2028
15	145	EXPRESS AMU-7	L,C,Ku	2021	15	2036
16	-177	YAMAL 300K	C,Ku	2012	14	2026

* — функциональные возможности могут быть ограничены

Но хотелось бы отметить следующее.

1. В ближайшие 5 лет потребуется заменить 2/3 флота, так как у 11-ти спутников из 16-ти закончится срок активного существования (САС). Необходимо уже сейчас формировать ТЗ и запускать проектирование новых бортов.

2. Одна из главных задач, которая будет стоять перед проектировщиками новых бортов — это снижение себестоимости их пропускной способности. И в этом, как следует из докладов представителей НИИР (теперь "НИЦ Телеком"), могут помочь гибкие полезные нагрузки, позволяющие адаптировать (перераспределить) пропускную способность бортов под конкретные текущие требования.

Спутниковые системы на НГСО

Спутниковые системы на НГСО позволяют решить две ключевые проблемы, характерные для ГСО — малые углы места видимости спутников и значительная задержка в прохождении сигнала. Первая проблема не позволяет разворачивать в России эффективные системы сухопутной подвижной спутниковой радиосвязи. Вторая — тормозит развитие радиосистем, способных работать в режиме "почти реального времени".

Поэтому, основные сервисы НГСО систем направлены на предоставление услуг именно подвижным абонентам. Основной перечень услуг можно свернуть к следующему списку:

- широкополосный доступ;
- персональная голосовая связь;
- интернет вещей;
- гибридные D2D системы.

Нужно отметить общую закономерность систем на НГСО — чем выше высота орбиты, тем меньше нужно спутников в орбитальной группировке, но тем больше и время в прохождении сигнала на спутниковых радиолиниях.

Основные проекты российских спутниковых телекоммуникационных систем представлены на рис. 1.

Системы подвижной персональной спутниковой связи

Системы подвижной персональной спутниковой связи (ПСС) используют, как правило, отдельные полосы частот в L и S диапазонах спектра. Но этот "золотой" для ПСС частотный ресурс уже давно выбран. Поэтому единственный проект системы ПСС "Гонец-М" характеризуется относительно небольшой пропускной способностью - по заявлению оператора составляет около 40 тыс. пользователей. По всей видимости, это будет классическая ведомственная система подвижной персональной спутниковой связи.



Рис. 1. Основные проекты спутниковых систем на НГСО в России

Системы спутникового ШПД

В данном направлении заявлено три проекта: "Экспресс-РВ", "СКИФ" и "Рассвет".

"Экспресс-РВ" включает 4-е спутника на высокоэллиптической орбите (ВЭО) типа "Молния"/"Кентавр". Эти 4-е спутника формируют две позиции на широте около 60 град, с которых обеспечивается непрерывное обслуживание территории России и Арктики. Спутники практически неподвижны в своих позициях — их угловой дрейф для абонентов составляет 12х2 град. Гарантированные зоны радиовидимости и зоны обслуживания системы представлены на рис. 2 и 3.

На каждом спутнике планируется использовать 12 антенн зеркального типа, формирующих лучи шириной около 2 град. Пропускная способность одного луча на линии "вниз" зависит от условий приема и составляет около 70 Мбит/с. Планируется использование абонентских станций с антеннами 60.70 см.

"Экспресс-РВ" очень хорошо комбинируется с аналогичными системами на ГСО, поэтому целесообразно создавать единую интегрированную систему, гарантирующую непрерывность в обслуживании на всей территории России и в Арктике. Это возможно, если у этих систем будет один оператор, например, ФГУП "Космическая связь".

"СКИФ" появился на свет как продолжение известной системы ОЗВ. Только ОЗВ развернута над экватором, а в проекте "СКИФ" используются полярные орбиты.

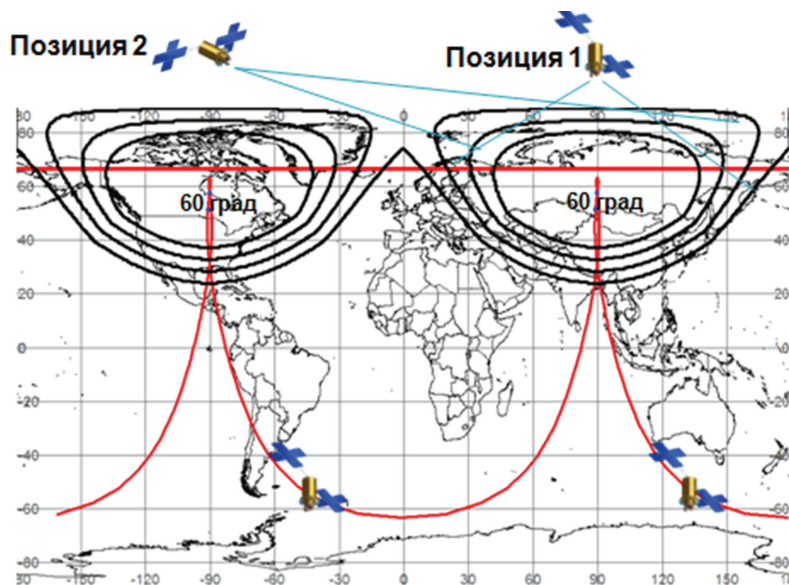


Рис. 2. Гарантированные зоны радиовидимости проекта "Экспресс-РВ"

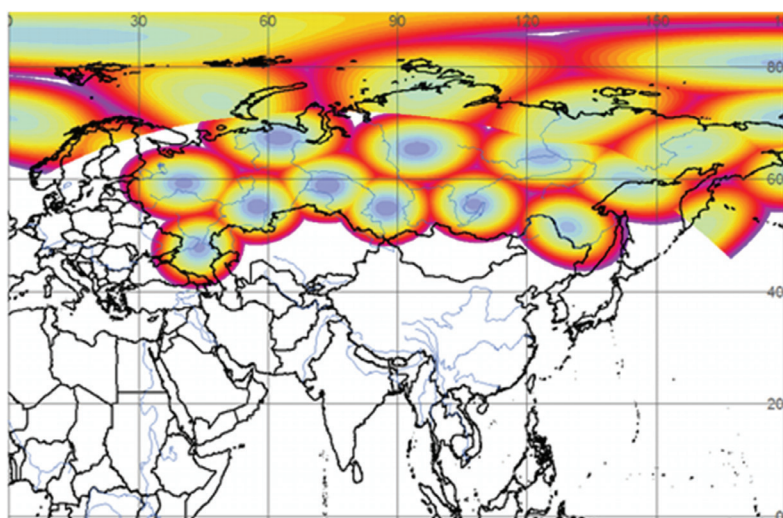


Рис. 3. Пример покрытия системы "Экспресс-РВ" (22 луча)

Орбитальная группировка должна включать 12 КА массой 1480 кг. Высота орбиты 8080 км. Пропускная способность спутника заявлена на уровне 200 Гбит/с. Скорость на абонентской линии около 400 Мбит/с. Используется Ка диапазон частот. Диаметр антенн абонентских станций — 1,8 и 2,4 м.

В системе нет межспутниковых линий, а значит зона обслуживания будет определяться сетью наземных станций сопряжения (шлюзов). Моделирование показало, что при полном развертывании орбитальной группировки, территория России будет обслуживаться на углах места выше 20 град. Однако, при 12-ти спутниках в группировке число реально обслуживающих территорию России КА составит от 4 до 6. Т.е. коэффициент использования бортов [1] будет меняться в процессе эксплуатации от 33% до 50%. К примеру, в системе ОЗВ этот параметр не меняется и составляет 100%. В системе "Экспресс-РВ" он также постоянен и составляет 50%.

Использование проекта "СКИФ" для сухопутной подвижной связи при таких размерах (1,8 м и 2,4 м) антенн абонентских станций — нецелесообразно. Работа систем в режиме "почти реального времени" — не обеспечивается. Проект может обеспечить фиксированные линии связи, но эту задачу легко решают спутники на ГСО. При этом он явно проигрывает проекту "Экспресс-РВ" и по минимальным углам места, и по компактности абонентских линий. Проект "СКИФ" просто не вписывается в единую картину спутниковой связи в России.

"Рассвет" — низкоорбитальная спутниковая система ШПД, разработку которой ведет компания ООО "Бюро 1440".

Это, с одной стороны, самая технологически сложная и самая дорогая, но при этом и наиболее закрытая в техническом плане система — закладываемые технические решения фактически неизвестны.

Единственный объективный источник информации — BRIFIC, публикуемый БР МСЭ. Согласно BRIFIC система будет включать два эшелона. Один на приполярных орбитах высотой 800 км, другой на наклонных высотой 600 км. Заявлено, что будет обеспечена скорость передачи данных на терминал до 1 Гбит/с с очень малой задержкой.

Заявлено также, что к концу 2027 г для обслуживания России будет развернуто 292 спутника на орбитах высотой 800 км. То есть будет развернут эшелон на приполярных орбитах.

Для оценки прикладных характеристик системы с использованием САПР "Альбатрос" было проведено моделирование функционирования этого эшелона. Полярный эшелон показан на рис. 4.

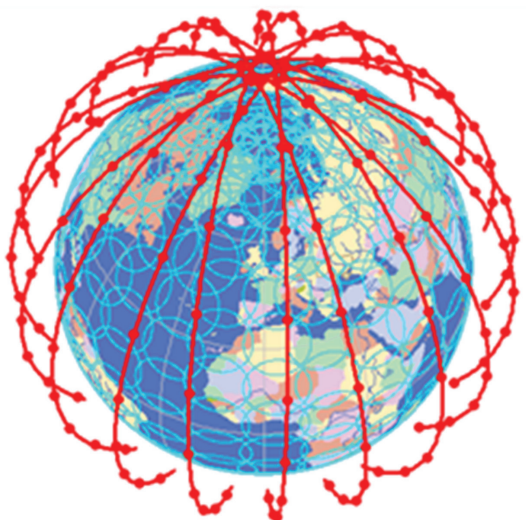


Рис. 4. Полярный эшелон системы "Рассвет"

На рис. 5 показано число спутников, одновременно находящихся над территорией России.

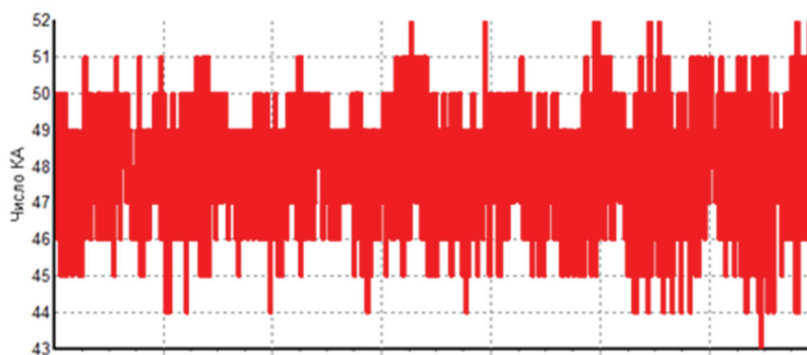


Рис. 5. Число спутников над территорией России и Арктики

Из рисунка видно, что их число колеблется в диапазоне от 44 до 51. Следовательно, коэффициент использования бортов составляет от 15% до 17%. Т.е., КПД системы «Рассвет» по доступности космического сегмента из зоны обслуживания составляет около 16%. Это, к слову, означает, что при массе спутника 370 кг, почти 90 т спутнико-

вого "железа" будет "болтаться" в космосе как балласт, на вывод которого затрачены огромные ресурсы.

И это еще оптимистичная оценка. На рис. 6. показаны графики минимального и максимального числа наблюдаемых на углах места более 25 град спутников. Видим, что большая часть из этих 16% спутников будет располагаться выше широтной отметки 70 град, где их полная загрузка трафиком маловероятна.

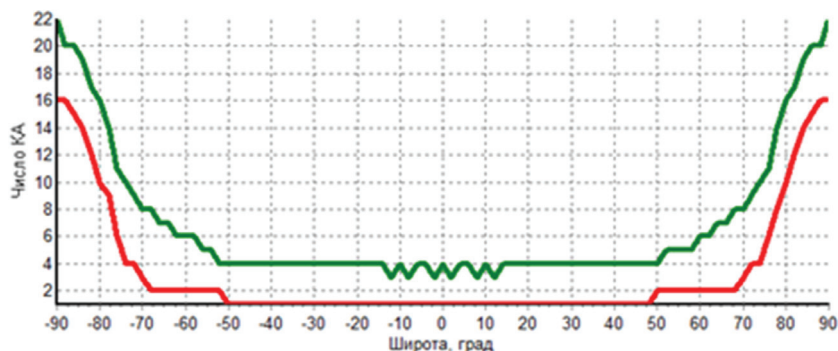


Рис. 6. Число (мин и макс) наблюдаемых КА при УМ>25° в функции географической широты

Очевидно, что для увеличения коэффициента использования бортов необходимо расширять зону обслуживания системы и предоставлять ее услуги за пределами России. Но где, в Китае? Но они развивают свою систему. И совсем не очевидно, что существует рынок этой системы за пределами России.

Одним словом, технико-экономические параметры проекта не известны. Экспертные заключения об рациональности и эффективности принятых решений — отсутствуют. Стоимость проекта очень велика. Риски коммерческой реализации — значительны. Возможно, необходимо уточнение заложенных технических решений, которые практически не известны. И было бы жаль, если этот проект пойдет по пути ГМИСС [2].

Очевидно, что из трех представленных систем только "Экспресс-РВ" дает максимальные гарантии по обеспечению приемлемыми услугами ШПД для подвижных абонентов на всей территории России и Арктике. Проект "Рассвет" на этом этапе характеризуется значительными рисками и требует более детального технического анализа принятых решений.

Гибридные системы (IoT и D2D)

Проекты систем IoT и D2D удобно рассматривать через призму гибридных систем. Определимся с этим понятием.

К «гибридным» относятся системы, включающие как минимум две компоненты (например, наземная + спутниковая), причем работающие в ЕДИНОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ. Это значит, что у них единая система управления. Это значит, что выполнена глубокая интеграция двух подсистем. И в этом случае обеспечивается основное свойство гибридной сети — «бесшовность». В гибридной сети абонентское устройство даже не знает, с какой базовой станцией оно работает — с наземной или размещенной в космосе.

К примеру, двухрежимный спутниковый терминал Iridium, у которого две SIM карты, одна для работы в наземной сети, другая в спутниковой - это не гибридная система. Это комбинирование двух разных радиосистем, каждая из которых имеет свою систему управления сетью.

И еще один очень важный момент применительно к гибридной сети — парк абонентских станций, как правило, уже готов, отработан и находится в эксплуатации. Не надо тратить время и средства на его разработку.

Классификация гибридных систем дана в [3]. К наиболее сложным гибридным системам можно отнести D2D 5/6G, где абонентским терминалом выступает обычный немодифицированный смартфон. По состоянию "на сегодня" известно о начальной проработке таких систем со стороны АО "Газпром СПКА" и АО "Решетнев" (система "Беркут"). Но о проработанных технических решениях здесь, наверное, говорить еще рано.

Но вот о D2D системах IoT — говорить можно и нужно. Дело в том, что в России есть проект первой гибридной системы IoT — это проект "Марафон". Все остальные спутниковые проекты IoT требуют разработки абонентских устройств. И в этом смысле они менее интересны. Поэтому рассмотрим более детально проект "Марафон".

Проект "Марафон IoT" — это спутниковая компонента гибридной сети, поддерживающая технологию LoRa Wan. Задача — обеспечить услуги по передаче данных для формирования сервисов «Интернет вещей» на основе глобально-распределённой сетевой инфраструктуры, а также передачи управляющих команд на беспилотники и АЗН-В.

Орбитальная группировка включает 264 микроспутника (на первом этапе планируется развернуть только 132). Спутники не имеют межспутниковых линий, поэтому для организации зоны обслужива-

ния необходимо развернуть станции сопряжения. Абонентские же устройства — уже готовы.

Структура орбитальной группировки проекта "Марафон IoT" показана на рис. 7.

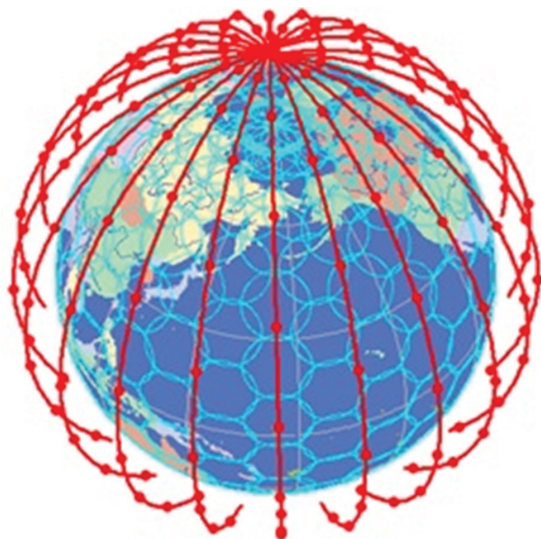


Рис. 7. Структура орбитальной группировки проекта "Марафон IoT"

Система крайне привлекательна для отдельных министерств и ведомств. Например, АО "РЖД", развернув несколько своих станций сопряжения, получает выделенную систему мониторинга и управления. Это может быть контроль за движением контейнеров по всей территории России и даже за ее пределами. АО "Газпром" может построить систему мониторинга за своими инфраструктурными объектами, в том числе подвижными.

Более того, свои сегменты могут развернуть отдельные государства. Для этого достаточно просто установить станцию сопряжения. А так как затраты на развертывание и использование системы достаточно малы, это может быть актуальным для стран Африки или БРИКС. А абонентские устройства уже используются во всем мире.

Кроме того, возможность сохранения на борту для последующей передачи на станцию сопряжения пакетов данных позволяет использовать ее, в том числе, как дополнение в системе спасения на море — "Коспас-Сарсат".

То есть система "Марафон" обладает достаточно мощным экспортным потенциалом. При этом технические риски минимальны, а вероятность окупаемости достаточно велика.

Нужно отметить, что для развертывания группировок на основе малых (в том числе микро) КА целесообразно использовать ракеты-носители (РН) легкого класса. Так, например, в Китае разрабатывается целая плеяда РН легкого класса. Остается надеяться, что подобные работы идут и в России.

Выводы

Таким образом, необходимо отметить следующее.

1. Необходимо инициировать проработку новых геостационарных КА, в которых должна использоваться технология гибких полезных нагрузок, предлагаемая, например, "НИЦ Телеком".

2. Необходимо в приоритетном порядке разворачивать спутниковую систему ШПД "Экспресс-РВ" и создавать единую, комбинированную с КА на ГСО, спутниковую систему ШПД.

3. Необходимо в приоритетном порядке разворачивать спутниковую систему "Марафон IoT" и предлагать ее широкое использование в том числе за пределами России (страны БРИКС, Африканского континента и др.).

4. Для снижения рисков в реализации проекта, необходимо проведение экспертной оценки принятых технических решений в проекте системы "Рассвет".

5. Для обеспечения комплексного подхода и экспертной оценки спутниковых проектов, финансируемых (даже частично) из государственного бюджета, целесообразно создание национального научно-технического центра (экспертного совета), который бы мог объективно проводить анализ реализуемости и технической эффективности заявляемых проектов. Это позволило бы повысить эффективность использования бюджетных средств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анпилогов В. Р., Гриценко А. А. О построении орбитальных группировок большой мощности на LEO для телекоммуникационных систем / Специальный выпуск "Спутниковая связь и вещание-2023", 2023, с. 48–52.
2. Гриценко А. А. ГМИСС – история взлета и падения / Журнал Connect, 2021, №11-12, с. 76–81.
3. Анпилогов В. Р., Гриценко А. А. Технологии Direct-to-Device и их перспективы в России / Журнал Connect, 2024, №11-12, с. 58–62.