

УДК 629.76/.78.001.14 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.4.72.76

Вопросы радиочастотного обеспечения космических систем на основе многоспутниковых группировок с учетом требований МСЭ-R и результатов ВКР-19

А. А. Таланов, к.т.н., *corp@tsniimash.ru*

АО «ЦНИИмаш», Королев, Московская обл., Российская Федерация

С. А. Федотов, к. т. н., *fedotov_sa@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

А. М. Степанов, *rjc@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Развертывание космических систем на основе многоспутниковых группировок для оказания услуг широкополосного доступа к Интернету и услугам связи остро ставит вопрос об их радиочастотном обеспечении, включая вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) между конкурирующими космическими системами, использующими многоспутниковые группировки (StarLink, OneWeb, Kuiper и др.), их ЭМС с традиционными космическими системами (системы спутниковой связи, использующие КА на геостационарной и негеостационарных орбитах, космические системы других радиослужб), а также регуляторные вопросы ввода в действие и поэтапного развертывания космических систем. В статье сформулированы проблемные вопросы радиочастотного обеспечения современных космических систем с учетом тенденций развертывания спутниковых группировок и предложены варианты их решения с учетом международных и национальных требований в области регулирования использования радиочастотного спектра, включая требования МСЭ и ГКРЧ, показаны пути совместного использования радиочастотного спектра с учетом новых требований Всемирной конференции радиосвязи 2019 г. (ВКР-19).

Ключевые слова: космическая система, орбитальная группировка, негеостационарная орбита, радиочастотный спектр, электромагнитная совместимость, МСЭ-R, ВКР-19

Radio Frequency Support for Space Systems Based on Multi-Satellite Constellations Taking into Account the ITU-R Requirements and the WRC-19 Results

A. A. Talanov, *Cand. Sci. (Engineering), corp@tsniimash.ru*

*Joint Stock Company “Central Research Institute for Machine Building”,
Korolev, Moscow region, Russian Federation*

S. A. Fedotov, *Cand. Sci. (Engineering), fedotov_sa@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

A. M. Stepanov, *rjc@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. Deployment of space systems based on multi-satellite constellations to provide broadband Internet access and communication services acutely raises the question of their radio frequency support including issues of electromagnetic compatibility (EMC) between competing space systems using multi-satellite constellations (StarLink, OneWeb, Kuiper, etc.), their EMC with traditional space systems (satellite communication systems that employ spacecraft in geostationary and non-geostationary orbits, space systems of other services), as well as regulatory issues of entering into service and staged deployment of space systems. The article formulates the problematic issues of radio frequency support of modern space systems taking into account the trends of satellite constellations deployment and proposes the solutions with consideration to international and national requirements in the regulation of radio frequency spectrum including the ITU requirements and the requirements of Russian State Commission for Radio Frequencies. The paper shows the ways to share the radio frequency spectrum to meet new requirements of the World Radiocommunication Conference 2019 (WRC-19).

Keywords: space system, orbit constellation, non-geostationary orbit, radio frequency spectrum, electromagnetic compatibility, ITU-R, WRC-19

Введение

В настоящее время форсированными темпами идет развертывание космических систем (КС) на основе многоспутниковых группировок малоразмерных космических аппаратов (КА) для оказания услуг широкополосного доступа к Интернету, услугам связи, интернета вещей и так далее. Учитывая большое количество КА в группировке, которое может варьироваться от нескольких сотен (КА OneWeb) до нескольких тысяч (КА Starlink, Kuiper), увеличивающееся число взаимосвязанных земных станций, обеспечивающих передачу команд управления, прием служебной телеметрии, а также работу магистральных радиолиний, остро встает вопрос о радиочастотном обеспечении этих КС, включая вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) КС, использующих многоспутниковые группировки (например, StarLink, OneWeb, Kuiper и др.), их ЭМС с действующими и разрабатываемыми системами спутниковой связи, КС, использующими КА на геостационарной и высокоэллиптических орбитах, КС других радиослужб. Важны также регуляторные вопросы ввода в действие и поэтапного развертывания этих систем. Это, в свою очередь, требует определенного порядка, устанавливаемого требованиями Регламента радиосвязи (РР), Международного союза электросвязи (МСЭ) [5] и рекомендаций Сектора радиосвязи МСЭ (МСЭ-R) в целях обеспечения беспомеховой работы радиоэлектронных средств, входящих в состав КС, соблюдения международного признания и прав использования занимаемого радиочастотного спектра. Данные требования определяют порядок заявления, координации (решение вопросов совместного использования полос радиочастот и обеспечение ЭМС) и регистрации частотных присвоений КС в Международном справочном регистре частот (МСРЧ) Бюро радиосвязи (БР) МСЭ.

Требования РР (с учетом решений ВКР-19) по вводу в действие частотных присвоений многоспутниковых группировок

Сегодня отмечается ужесточение предъявляемых требований для подтверждения ввода в дей-

ствии частотных присвоений КС, использующей многоспутниковые группировки на негеостационарных орбитах (НГСО), при ее развертывании. РР установлены следующие ограничения на регистрацию и ввод в действие частотных присвоений КС:

– согласно статье 11 РР [5] от момента заявления частотных присвоений до их ввода в действие дается 7 лет, в противном случае они аннулируются по истечении данного срока. Помимо этого, космические станции вводимой в действие КС должны иметь возможность осуществлять передачу или прием в рамках данного частотного присвоения, а также должны быть развернуты и удерживаться в заявленной орбитальной позиции (для КС на ГСО) или в одной из заявленных орбитальных плоскостей (для КС на НГСО) непрерывно в течение в 90 дней;

– на ВКР-19 была принята Резолюция 35 (ВКР-19) [5], которая определяет условия поэтапного подхода к внедрению частотных присвоений космических станций КС на НГСО в полосах радиочастот 10,7–13,25 ГГц, 13,75–14,5 ГГц, 17,3–20,2 ГГц, 27–30 ГГц, 37,5–42,5 ГГц, 47,2–50,2 ГГц, 50,4–51,4 ГГц в рамках фиксированной, радиовещательной и подвижной спутниковых служб, в частности:

- спутниковые сети, для которых семилетний регламентный период заканчивается 1 января 2021 г. или после этой даты; заявляющая администрация должна предоставить БР информацию о развертывании не позднее чем через 30 дней после окончания регламентарного периода или через 30 дней после окончания периода ввода в действие;
- спутниковые сети, для которых окончание семилетнего регламентарного периода наступило до 1 января 2021 г.; заявляющая администрация должна предоставить БР информацию о развертывании не позднее 1 февраля 2021 г. Таким образом, этим сетям предоставляется дополнительное время (переходный период).

1 этап развертывания считается выполненным, если в течение 2 лет (с 1 февраля 2023 г. или с даты ввода в действие КС) будет развернуто 10% группировки (заявленных космических станций);

2 этап — 5 лет и 50%;

3 этап — 7 лет и 100% минус 1 космическая станция.

В случае если требования поэтапного развертывания КС не выполняются, БР вносит изменения в зарегистрированные в МСЧР частотные присвоения КС, сокращая количество космических станций в орбитальной группировке, вплоть до исключения частотных присвоений из МСРЧ.

Обеспечение ЭМС действующих и развертываемых космических систем

Из-за ограничений доступного радиочастотного спектра, распределенного для фиксированной спутниковой службы (ФСС), подвижной спутниковой службы (ПСС), радиовещательной спутниковой службы (РВСС), КС могут создавать взаимные помехи в пересекающихся полосах радиочастот и соседних зонах обслуживания, в связи с чем необходимо выполнять процедуры международной координации (статья 9 РР) [5] для разработки условий совместного использования частот (частотная сегментация, использование поляризационной развязки, пространственная сегментация КА за счет избыточности группировки, подбор орбитальных характеристик группировки для снижения времени помехового воздействия, использование многолучевого покрытия).

Большинство спутниковых систем связи используют геостационарную орбиту, обладающую рядом преимуществ:

- постоянное нахождение пользователя в зоне;
- необходимость малого количества аппаратов для обеспечения полноценного покрытия зоны обслуживания;
- минимальное число станций управления;
- относительная стабильность параметров пространства радиоволн.

Однако в настоящее время найти свободную орбитальную позицию на ГСО, которая обеспечивает работу собственной КС и не создает помех прочим КС на ГСО, проблематично. Именно этим вызван рост популярности использования КС на НГСО. Для защиты ГСО спутниковых систем

от помех действуют положения Резолюции 79 [5] и статьи 22 РР [5], в которых описаны пределы эквивалентной плотности потока мощности, излучаемой негеостационарными спутниковыми системами в некоторых полосах радиочастот.

Дополнительным механизмом обеспечения ЭМС как в процессе координации, так и за счет разработки Рекомендаций МСЭ-R и Резолюций РР может быть:

- установление ограничений нежелательных излучений;
- обеспечение пространственной избирательности приемопередающих антенн земных и космических станций;
- наложение требований к боковым лепесткам диаграммы направленности антенн;
- обеспечение регулировки мощности передатчика в зависимости от угла места и взаимного положения станций ГСО и НГСО систем.

Использование радиоэлектронных средств иностранных КС на территории Российской Федерации с учетом требований нормативных документов

Использование иностранных космических систем на территории Российской Федерации регламентируется Постановлением Правительства РФ от 14.11.2014 № 1194 (ред. от 21.02.2019) «О международно-правовой защите присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов и порядке использования на территории Российской Федерации спутниковых сетей связи, находящихся под юрисдикцией иностранных государств, а также о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (вместе с «Правилами проведения в Российской Федерации работ по международно-правовой защите присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов», «Правилами использования на территории Российской Федерации спутниковых сетей связи, находящихся под юрисдикцией иностранных государств»). Основные требования к этим системам следующие:

- завершение координации с российскими спутниковыми системами и наземными радиослужбами;

– российский оператор связи, использующий иностранную спутниковую систему, формирует российский сегмент такой системы и обеспечивает управление этим сегментом с территории Российской Федерации;

– трафик, формирующийся абонентскими станциями (терминалами) на территории Российской Федерации, включая станции иностранных абонентов, с которыми российским оператором связи не заключен договор об оказании услуг связи и которые находятся в роуминге на российской территории, должен проходить через станцию сопряжения российского оператора связи, находящуюся на территории Российской Федерации;

– не допускается использование средств криптографической защиты, не имеющих соответствующей лицензии Федеральной службы безопасности Российской Федерации, полученной в установленном порядке.

В таблице показаны некоторые характеристики космических систем на основе многоспутниковых группировок, которые находятся на стадии

развертывания на сегодняшний день. Актуализация таблицы приведена на сентябрь 2021 года.

Необходимо отметить, что на данный момент в России ведется проектирование собственной КС на основе многоспутниковой группировки под названием «Сфера». Состав группировки, орбитальные характеристики и используемые полосы радиочастот пока не определены.

В соответствии с регламентом радиосвязи Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union/ITU) операторы НГСО должны согласовывать работу своих сетей, однако согласование и взаимные договоренности пока не заключены. В результате этого увеличивается риск того, что помехи, создаваемые сетями на НГСО, могут вызвать локальное ухудшение качества и надежности предоставления услуг как операторов НГСО, так и операторов геостационарных КА, предоставляющих услуги широкополосного доступа и телекоммуникаций.

Поэтому необходимо проводить проверки на возможные риски из-за помех при рассмотрении

Т а б л и ц а. Характеристики некоторых космических систем на основе многоспутниковых группировок

Компания	Space X (США) [3, 4]	OneWeb (Великобритания) [2]	Amazon (США) [1]
Наименование спутниковой системы	Starlink	OneWeb	Kuiper
Наименование спутниковой сети в МСЭ	Серия USASAT-NGSO-3	THEO	Серия USASAT-NGSO-8A/8B/8C/9
Количество КА в группировке	4084 (USASAT-NGSO-3)	720 (THEO)	3236
Параметры орбит	83 орбитальные плоскости, высота орбит от 1110 до 1325 км	18 орбитальных плоскостей, высота орбит 1200 км	98 орбитальных плоскостей, 3 орбитальных оболочки на высотах 590, 610 и 630 км
Диапазон частот для абонентских/ магистральных линий, а также для целей ТТ&С	10,7–12,75 ГГц, 13,85–14,5 ГГц, 17,8–18,6 ГГц, 18,8–19,3 ГГц, 27,5–29,1 ГГц и 29,5–30 ГГц	10,7–12,75 ГГц, 12,75–14,5 ГГц, 17,8–18,6 ГГц, 18,8–19,3 ГГц, 27,5–28,35 ГГц, 28,35–29,1 ГГц и 29,5–30 ГГц	17,7–20,2 ГГц и 27,5–30 ГГц
Функционирует на орбите КА	1789 [6]	322 [7, 8]	0 [9]

заявок на лицензию на НГСО, а также более мощные инструменты для борьбы с ними, если таковые появятся.

На сентябрь 2021 года компания SpaceX вывела на орбиту 1789 КА системы Starlink, из них

– 1420 КА находятся на рабочих орбитах (высотой около 547 км, наклоном 53° и высотой 563 км, наклоном 97,5°);

– 24 КА медленно снижаются под действием остаточного атмосферного сопротивления (7 КА из них — из первой запущенной серии тестовых КА версии 0,9);

– 102 КА сведены с орбиты (53 КА из них — из первой запущенной серии тестовых КА версии 0,9) [6].

Компания OneWeb вывела на орбиту 322 КА системы OneWeb, и все КА из состава группировки находятся в рабочем состоянии [7].

Компания Amazon пока не вывела на орбиту ни одного КА системы Kuiper [9].

Заключение

Рассмотренные в настоящей статье проблемные вопросы по использованию радиочастотного спектра позволяют сделать следующие выводы:

– в связи с глобальным характером использования НГСО систем с многоспутниковыми группировками первоочередным мероприятием при проектировании КС является выбор доступных полос радиочастот на основе оценки загрузки радиочастотного спектра, т. к. он является ограниченным ресурсом;

– при проектировании и разработке системы необходимо провести исследования совместного использования радиочастотного спектра с другими космическими системами в целях обеспечения ЭМС; предусмотреть меры, снижающие негативное влияние, такие как возможность гибкого перестроения использования полос радиочастот полезной нагрузкой КА, использование многолуче-

вого покрытия; введение избыточности орбитальной группировки; использование антенных систем станций с подавлением уровня боковых лепестков; динамическое формирование зоны обслуживания;

– при планировании графика изготовления и запуска КА космической системы следует обеспечивать выполнение требований по этапному развертыванию НГСО систем, установленных РР.

Список литературы

1. Federal Communications Commission FCC, 20-102, FCC-20-102A1.pdf, Released: July 30, 2020. 24 p.
2. OneWeb Orbital Debris Mitigation Plan File No. SAT-LOI-20160428-0004. November 10, 2016. 6 p.
3. Memorandum opinion, order and authorization, Released: March 29, 2018, Before the Federal Communications Commission Washington, D.C. 20554, IBFS File No. SAT-LOA-20161115-00118, Call Sign S2983, SAT-LOA-20170726-00110, Call Sign S3018. P. 18–38.
4. SPACEX non-geostationary satellite system, March 29, 2018. 68 p. <https://fcc.report/IBFS/SAT-MOD-20181108-00083/1569860> (Дата обращения 26.02.2021).
5. Radio Regulations Articles Edition of 2020. <https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2020/09/02/14/23/Radio-Regulations-2020> (Дата обращения 12.04.2021).
6. Search satellite database Starlink. <https://www.n2yo.com/database/?q=Starlink#results> (Дата обращения 24.09.2021).
7. Search satellite database OneWeb. <https://www.n2yo.com/database/?q=OneWeb#results> (Дата обращения 24.09.2021).
8. Новые 36 спутников OneWeb выведены на орбиту. <https://www.roscosmos.ru/30878/> (Дата обращения 26.04.2021).
9. Search satellite database Amazon. <https://www.n2yo.com/database/?q=Kuiper#results> (Дата обращения 24.09.2021).