

Технические и регуляторные аспекты реализации спутниковых систем с прямым подключением к устройству

М.В. Стрелец, ООО «Гейзер-Телеком», руководитель департамента, к.т.н.; mstrelets@g-tl.ru

А.Н. Костин, ООО «Гейзер-Телеком», зам. руководителя департамента; kostin@g-tl.ru

А.С. Пастух, ФГБУ НИИР, начальник лаборатории; apastukh@lenta.ru

Е.Е. Девяткин, ФГБУ НИИР, директор Центра исследования перспективных беспроводных технологий связи, к.э.н.; edevyatkin@niir.ru

О.Л. Миронова, ФГБУ НИИР, ведущий инженер; mironovaol@niir.ru

УДК 621.396

DOI: 10.34832/ELSV.2024.58.9.001

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы развития технологии прямого подключения смартфонов к спутникам для предоставления бесшовной услуги в гибридных сетях 4G/5G/6G (Direct-to-Device/D2D или Direct-to-Cell/D2C). Проведен анализ текущей деятельности Международного союза электросвязи по исследованиям, связанным с разработкой международной нормативно-правовой базы (НПБ) для сервиса прямого спутникового доступа, в том числе для дальнейшего совместного функционирования с наземными сетями Международной подвижной электросвязи (ИМТ). Рассмотрен ряд технических аспектов реализации спутниковых систем с прямым подключением к устройству, включая доступные частотные диапазоны, направленности планов размещения частот, вид дуплекса, а также возможные сложности с электромагнитной совместимостью. Проведен анализ национальных подходов к разработке НПБ для сервиса прямого спутникового доступа.

Ключевые слова: Direct-to-Device/D2D, Direct-to-Cell/D2C, BKP-27, MCЭ-R, 4G/5G/6G, ИМТ, FDD, TDD.

ВВЕДЕНИЕ

В динамической среде современной широкополосной связи стремление к более высоким скоростям передачи данных сочетается со стремлением к повсеместному подключению. Проблема предоставления мобильных услуг в удаленных регионах сохраняется, а современные спутниковые решения, хотя и эффективны, часто требуют дорогостоящего и громоздкого пользовательского оборудования, что препятствует созданию значительной базы пользователей и отводит эти системы к нишевым приложениям. Многообещающее решение этой проблемы предполагает предоставление широкополосных спутниковых услуг непосредственно на обычных телефонах, в частности на немодифицированных смартфонах.

Основной задачей спутниковых систем с прямым подключением к устройству является расширение зоны обслуживания сетей 4G/5G/6G в удаленных регионах, где недоступно покрытие наземных сетей мобильной связи ввиду отсутствия инфраструктуры и/или высокой стоимости/минимального числа абонентов. Согласно аналитическим оценкам рынка мобильной связи, проведенным консорциумом GSMA, беспроводные телекоммуникационные технологии охватывают более 80% населения мира, но менее 40% суши Земли. Спутниковая связь с прямым подклю-

чением к устройству может решить эту проблему и обеспечить всемирное повсеместное покрытие, даже в морских, отдаленных и полярных районах.

Внедрением спутниковых систем с прямым подключением к устройству (так называемые Direct-to-Device/D2D или Direct-to-Cell/D2C) в наземных диапазонах спектра в настоящее время занимается целый ряд организаций промышленности. Наиболее известными являются проекты компаний Lyrk Global, AST SpaceMobile (в партнерстве с операторами мобильной связи AT&T, Verizon, Vodafone и др.), SpaceX (в сотрудничестве с оператором мобильной связи T-Mobile) и Apple (в сотрудничестве с оператором подвижной спутниковой связи (ПСС) Globalstar). И Lyrk Global, и конкурирующая AST SpaceMobile уже заявили о том, что они первыми обеспечили двустороннюю голосовую связь между спутником и стандартным смартфоном. В марте 2024 г. компания SpaceX в своем письме в Федеральную комиссию по связи США (FCC) заявила об успешном запуске и тестировании технологий D2C, которые, по словам компании, «продемонстрировали мощный потенциал этой инновационной способности обеспечить повсеместное мобильное покрытие во всем мире». Согласно отчету SpaceX в FCC, помимо прочего, спутники смогли взаимодействовать

с несколькими моделями немодифицированных устройств Samsung, Apple и Google (SMS, сообщения в X и WhatsApp со скоростью скачивания до 17 Мбит/с), в том числе в городских и сельских районах, а также закрытых и открытых помещениях, при ясном небе и под покровом деревьев. При этом за два месяца ежедневного тестирования SpaceX не получила никаких уведомлений о вредных помехах от каких-либо пользователей (полосы частот 1910–1915 МГц (Земля–космос) и 1990–1995 МГц (космос–Земля)). Помимо компаний из США, прикладной разработкой подобных проектов активно занимаются и китайские компании (проекты G60 и Guowang).

В России, помимо операторов мобильной связи ПАО «МТС» и «Ростелеком», об интересе к данной технологии и в некоторых случаях проработке концепции D2C/D2D, заявляли такие компании, как «Бюро 1440», а также Госкорпорация «Роскосмос» в рамках исследований по определению облика гибридной спутниковой системы (ГСС) и реализации соответствующих экспериментов. Кроме этого, Минцифры России рассматривало вопросы возможности реализации ГСС в рамках «дорожной карты 6G».

Такой взрывной интерес к технологии D2D/D2C привел к необходимости срочной разработки национальной и международной НПБ для сервиса прямого спутникового доступа, в том числе для дальнейшего совместного функционирования с наземными сетями ИМТ. Как итог, в 2023 г. Всемирная конференция радиосвязи в Дубае (ВКР-23) в своей Резолюции 253 приняла решение до начала ВКР-27 провести исследования потребностей в спектре и возможных новых распределений ПСС в диапазоне частот от 694/698 МГц до 2,7 ГГц для прямого подключения между космическими станциями и пользовательским оборудованием ИМТ в дополнение к покрытию наземных сетей ИМТ (с учетом планов размещения частот ИМТ). Данные исследования проводятся в период 2023–2027 гг. в 4-й и 5-й Исследовательских комиссиях (ИК) Международного союза электросвязи (МСЭ) [1].

ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ С ПРЯМЫМ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ К УСТРОЙСТВУ

К концу 2024 г. в МСЭ планируется завершить разработку рабочего документа, содержащего описание и функциональные возможности предполагаемых спутниковых систем с прямым подключением к устройству.

В настоящее время в МСЭ для реализации таких систем рассматриваются следующие полосы частот: 694/698–960, 1427–1518, 1710–1785, 1805–2025, 2110–2200, 2300–2400 и 2500–2690 МГц. Кроме того, было определено, что работа спутниковых систем с прямым подключением к устройству должна соот-

ветствовать направленности планов размещения частот наземных систем ИМТ (базовая станция (БС) — абонент и абонент — БС), а также парным полосам частот, определенным в последней версии Рекомендации МСЭ-R М.1036 [2]. При этом ожидается, что такое функционирование будет поддерживать прямую связь с пользовательским оборудованием (UE) ИМТ, чтобы дополнить покрытие наземной сети ИМТ. В связи с этим как спутниковая, так и наземная системы будут связываться с одним и тем же UE ИМТ.

Важно отметить, что на данном этапе исследований МСЭ планы размещения частот ИМТ для реализации спутниковых систем с прямым подключением к устройству содержат как частотный дуплекс (FDD), так и временной дуплекс (TDD).

Однако проведенный технический анализ возможностей реализации рассматриваемых спутниковых систем показал наличие целого ряда возможных технических проблем при реализации спутниковых систем для дополнения покрытия наземных сетей ИМТ из космоса с использованием TDD. Эти технические проблемы связаны с тем, что при реализации TDD используется одна и та же полоса частот для передач как по нисходящей, так и по восходящей линии связи, что приводит к снижению эффективности использования спектра из-за большого защитного периода для компенсации дополнительной задержки в обоих направлениях. Такая реализация также отрицательно влияет на общую задержку в системе. Кроме того, существуют технические сложности с наземными сетями, использующими различные структуры кадров TDD в системах, работающих в соседних странах, что может оказаться более сложной задачей при рассмотрении дополнительного покрытия из космоса.

ЗАЩИТНЫЙ ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ В РЕЖИМЕ TDD

TDD использует одну и ту же полосу частот для передач как по нисходящей, так и по восходящей линии связи. Структура кадра TDD состоит из частей передачи и приема, которые разделяют передачу и прием сигналов на станциях, использующих TDD. Чтобы избежать одновременной передачи и приема, в структуру кадра включается защитный временной интервал для учета задержки распространения сигнала туда и обратно, как показано на рис. 1. Например, в случае негеостационарного космического аппарата (КА), работающего на высотах от 300 до 2000 км, потребуется защитный временной интервал от 2 до 13 мс. Кроме того, в случае геостационарного КА на высоте 36 000 км, потребуется защитный временной интервал 240 мс. Однако выделение такого большого защитного интервала времени в пределах типового временного интервала TDD (10 мс — типовое значение для кадров TDD 4G и 5G), снижает эффективность использования спектра, поскольку в течение

Рисунок 1

Защитный временной интервал, необходимый для режима TDD



этого периода никакие сигналы не могут передаваться или приниматься.

В таблице представлены задержки распространения сигнала туда и обратно между спутником и наземным терминалом для спутников, расположенных на различных высотах над поверхностью Земли, при условии, что спутник осуществляет передачу на терминал ИМТ непосредственно под спутником. В случае расположения терминала не в подспутниковой точке, а на определенной наклонной дальности, соответствующие расстояния и, как следствие, задержки сигнала будут больше.

Как известно, реализация спутниковых систем, включая системы D2C/D2D, возможна в двух вариантах построения: прозрачный режим (transparent mode) и регенеративный режим (regenerative mode) [3, 4]. В настоящее время в спецификации 3GPP Rel. 17 рассматривается только прозрачный режим, в котором спутник работает как прямой ретранслятор (bent pipe), а вся цифровая обработка сигнала происходит на станции сопряжения (базовой станции). В спецификации 3GPP Rel. 18 планируется стандартизация регенеративного режима, в котором обработка сигнала будет осуществляться на борту спутника.

Представленные в таблице результаты оценок приводятся для случая взаимодействия между спутником и терминалом. Такой сценарий будет репрезентативен для «регенеративной» полезной нагрузки, т.е. для случая, когда радиочастотная фильтрация, преобразование частоты, усиление, а также демодуляция/декодирование, коммутация и/или маршрутизация происходят на спутнике. В случае реализации полезной нагрузки с прямой ретрансляцией необходимо будет учитывать дополнительные фидерные линии по топологии «звезда», что увеличит время прохождения сигнала и соответствующие задержки в два раза.

Теоретически в будущем могут быть разработаны передовые технологии, обеспечивающие одновременную передачу и прием на станциях TDD. Однако реализация таких методов потребует сложной обработки сигналов и разработки нового или модификации существующего оборудования. Все это было бы контрпродуктивно для достижения основной цели прямой связи между космическими станциями и

пользовательским оборудованием ИМТ — экономически эффективного дополнения покрытия наземной сети ИМТ.

ВЛИЯНИЕ НА СПЕКТРАЛЬНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Использование режима TDD в спутниковых системах с прямым подключением к устройству приводит к снижению спектральной эффективности. Большие защитные временные интервалы, вызванные длительными задержками при распространении радиосигналов, приводят к тому, что значительная часть кадра выделяется защитным периодам, а не фактической передаче данных, что делает режим TDD менее привлекательным для реализации дополнительного покрытия из космоса, где максимизация спектральной эффективности имеет большое значение из-за ограниченной доступности и высокой ценности радиочастотного спектра (а также высокой его стоимости за счет торгов и аукционов).

Как видно из таблицы, чтобы повысить спектральную эффективность системы TDD до более высокого значения, необходимо увеличить размер кадра, но это также увеличит задержку всей системы.

Формула для расчета задержки всей гибридной системы T , предполагая, что восходящая и нисходящая линии связи имеют одинаковую продолжительность в миллисекундах, примет вид

$$T = (\text{Размер кадра} - \text{Период простоя})/2.$$

Для получения общей задержки гибридной системы к T нужно еще добавить период простоя.

Таким образом, задержка системы напрямую связана с размером кадра. Чем выше значение размера кадра, тем больше будет задержка, а поскольку также добавляется период простоя, его значение также будет увеличиваться с высотой спутника.

С учетом изложенного, поддержка TDD для спутниковых сетей может потребовать разработки новой структуры кадра TDD, которая не поддерживается текущими спецификациями и, следовательно, не может быть реализована существующими БС 4G и 5G и аппаратным обеспечением пользовательского оборудования. Следовательно, не существует реального способа гармонизировать эту новую структуру кадра с существующими структурами кадров назем-

Расчет времени задержки распространения сигнала

Высота спутника, км	Расстояние Земля–космос–Земля, км	Задержка*, мс	Длительность кадра TDD, мс	Эффективность**, %
300	600	2	10	80
400	800	2,67	10	73,33
500	1000	3,33	10	66,67
600	1200	4	10	60
700	1400	4,67	10	53,33
800	1600	5,33	10	46,67
900	1800	6	10	40
1000	2000	6,67	10	33,33
1100	2200	7,33	10	26,67
1200	2400	8	10	20
1300	2600	8,67	10	13,33
1400	2800	9,33	10	6,67
1500	3000	10	10	0
1600	3200	10,67	10	-
1700	3400	11,33	10	-
1800	3600	12	10	-
1900	3800	12,67	10	-
2000	4000	13,33	10	-
36000	72000	240	10	-

*время=расстояние/скорость, где скорость= $3 \cdot 10^8$ м/с
 **эффективность= $[(\text{длительность кадра} - \text{задержка}) / \text{длительность кадра}] \cdot 100\%$

ного TDD, что приводит к фрагментированной стандартизации и потенциальным проблемам совместимости.

Другие потенциальные сложности включают корректировки времени обратной связи в схеме адаптации физического канала передачи информации, времени планирования для физического канала передачи пользовательского трафика и количества процессов HARQ. HARQ (Hybrid automated repeat request) — это метод исправления ошибок, используемый в технологиях LTE и 5G для обеспечения надежной передачи данных. Он сочетает в себе автоматическую запросную повторную передачу (ARQ) с корректирующим кодированием (например, кодами с прямым исправлением ошибок, FEC). Получатель проверяет полученные данные на наличие ошибок. Если данные получены без ошибок, получатель отправляет положительное подтверждение (ACK). Если обнаружены ошибки, отправляется отрицательное подтверждение (NACK). При получении NACK отправитель повторно передает проблемные блоки данных. В технологии HARQ используется метод мягкого комбинирования (soft combining), где повторно переданные данные комбинируются с ранее полученными,

что улучшает шансы на успешную демодуляцию данных.

Из-за высоких задержек и использования одного и того же канала для восходящей и нисходящей линии в TDD метод HARQ будет крайне непросто реализовать, так как в алгоритме адаптации (исправления ошибок) канала будет существенно увеличено время ожидания ответа на запрос на повторную передачу (NACK), что в свою очередь замедляет процесс восстановления данных. Кроме того, из-за увеличенного времени ожидания, потребуется большее буферное пространство для хранения данных, ожидающих повторной передачи, что может быть проблематично в условиях ограниченных ресурсов спутника.

Эти изменения потребуют существенных изменений в существующих протоколах и временных структурах, что еще больше усложнит реализацию TDD в спутниковых средах. Одновременно с этим при внесении таких изменений теряется возможность использования спутниковой системы для предоставления услуг на немодифицированные смартфоны. Что, по сути, приведет спутниковую систему D2D к тем же проблемам, с которыми сталкивались предыдущие системы ПСС, а именно к отсутствию необходимого количества АТ на руках у людей и, как следствие, к недостаточной абонентской базе для окупаемости системы.

ВОПРОСЫ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТ И СОВМЕСТИМОСТИ В РЕЖИМЕ TDD

Отдельным вопросом, рассматриваемым при описании функциональных возможностей спутниковых систем с прямым подключением к устройству, является проблема помех восходящей и нисходящей линий связи в режиме TDD в соседних странах.

При использовании режима TDD для прямой связи между космическими станциями и пользо-

вательским оборудованием IMT в одной стране требуется структура кадра TDD с большим защитным временным интервалом, как описано выше. Однако такая структура кадра TDD не будет использоваться в других странах, эксплуатирующих наземные сети IMT, поскольку она снижает эффективность использования спектра. При этих предположениях использование различных структур кадров TDD в соседних странах приводит к сценариям потенциальных помех, при которых спутниковая нисходящая линия связи мешает наземной восходящей линии связи соседней страны, как показано на рис. 2. Эти помехи возникают из-за несоответствия между структурами кадров TDD, используемых в разных странах.

Следовательно, введение ограничений на излучение спутниковых станций будет необходимо для защиты наземных БС IMT. В качестве альтернативы можно рассмотреть возможность реализации специализированной структуры кадра TDD для прямой связи между космическими станциями и пользовательским оборудованием IMT при сохранении синхронизированных привязок времени между соседними странами. Однако на практике было бы сложно реализовать такие меры в нескольких соседних странах.

Кроме того, при работе спутниковой системы в полосах частот наземного IMT в режиме TDD спутниковый приемник будет принимать на той же частоте, что и передающие БС наземного сегмента IMT, что может приводить к помехам от БС приемникам космических станций, как показано на рис. 3. В случае применения FDD спутниковый приемник будет работать на той же частоте, что и передающие абонентские терминалы (АТ) наземного сегмента IMT, тогда как в режиме TDD возможны помехи от БС IMT, которые имеют значительно более высокую энергетику, чем АТ. Согласно отчету МСЭ-R М.2292, средняя эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ) БС составляет 58 дБм (диапазон 1–3 ГГц), а средняя ЭИИМ АТ составляет –1 дБм (или –5 дБм с учетом потерь в теле абонента), т.е. разница в энергетике составляет порядка 60 дБ [5, 6]. Также из-за средней высоты подвеса антенны БС более 20 м помехи между БС и спутниковым приемником в режиме TDD не будут ослабляться за счет городской застройки (с учетом медианной высоты застройки городов), что приведет к высоким суммарным помехам от БС, расположенных в городской среде, что сделает линию Земля–космос практически неработоспособной, если в зону видимости спутника будут попадать регионы с развернутыми наземными сетями IMT TDD.

Таким образом, с учетом проведенного технического анализа есть все основания полагать, что реализация спутниковых систем в полосах наземного IMT будет в дальнейшем ограничена системами с FDD.

Рисунок 2

Потенциальные помехи на восходящей и нисходящей линии связи в режиме TDD в соседних странах

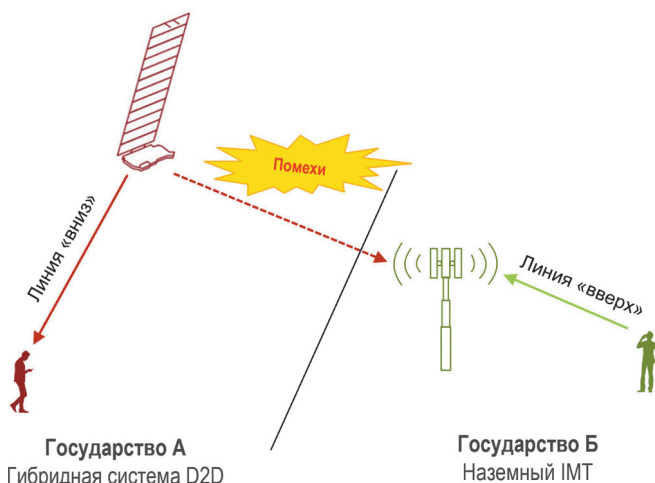
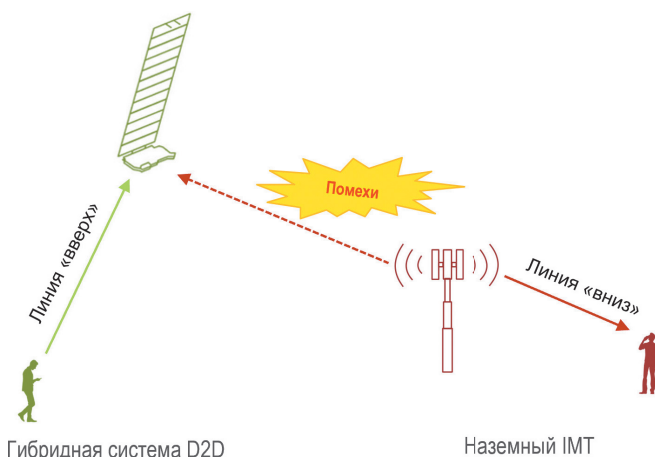


Рисунок 3

Проблема совместимости спутниковой системы с наземными сетями IMT, работающими в режиме TDD



В текущем исследовательском периоде МСЭ предстоит определить технический облик и функциональные возможности спутниковых систем с прямым подключением к устройству, включая приоритетные полосы частот и частотные планы IMT для передачи и приема, направления передачи и приема, а также метод дуплекса, и подтвердить, что и спутниковая, и наземная системы будут связываться с одним и тем же UE IMT. Далее в период до 2027 г. должны быть проведены исследования совместного использования частот и совместимости с действующими службами и изучены возможные технические и эксплуатационные меры для обеспечения того, чтобы станции спутниковых систем не создавали вредных помех станциям, работающим в сетях наземной подвижной связи, и не требовали защиты

от них. После чего на ВКР-27 будет принят новый регуляторный порядок для обеспечения возможности прямого подключения между космической(ими) станцией(ями) и пользовательским оборудованием ИМТ в дополнение к покрытию сетей наземного сегмента ИМТ.

Стоит отметить, что практика показывает, что взаимные помехи в режиме TDD являются значительной проблемой при совместном использовании даже в наземных сетях ИМТ. Например, в полосе частот 2500–2690 МГц в Районе 1 применяется частотный план, где полоса 2500–2570 МГц выделена для восходящей линии, полоса 2620–2690 МГц – для нисходящей линии, а диапазон 2570–2620 МГц используется в режиме TDD. Опыт совместного использования БС, работающих в режимах FDD и TDD в этих частотных диапазонах, показал, что для их беспомеховой работы необходимо обеспечить их пространственное разделение примерно на 60 км и защитный частотный интервал шириной 5 МГц. Также в рамках Рабочей группы (РГ) 5D МСЭ-R администрацией связи России проведен анализ помехового воздействия систем 5G в TDD в странах Района 3 (Китай, Корея, Япония). При анализе рассматривалось помеховое воздействие на несущую частоту системы Starlink, взятую из заявки МСЭ по п. 4.4 Регламента радиосвязи (т.е. на условии, что новые радиоэлектронные средства (РЭС) не должны создавать помехи другим службам, имеющим распределения в данных полосах, и не должны требовать защиты от помех со стороны этих служб), с учетом реального размещения в Китае, Японии и Корее. Результаты расчета продемонстрировали высокие уровни отношения помеха/шум (I/N) на входе приемника, которые в зонах высокой концентрации БС ИМТ достигали значений 30 дБ. Также стоит отметить, что помимо самих стран размещения систем 5G TDD, неприемлемые помехи затронули и соседние государства, граничащие с Китаем, Японией и Кореей. Результаты анализа приведены на рис. 4, 5 и 6. Результаты исследований отражены в выходных материалах РГ 5D МСЭ-R.

РЕГУЛЯТОРНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ С ПРЯМЫМ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ К УСТРОЙСТВУ

Помимо разработки и определения международных условий использования технологии D2D/D2C национальными регуляторами ведутся обсуждения и уже сейчас принимаются соответствующие национальные регуляторные решения.

Так в марте 2023 г. FCC США опубликовала Уведомление о предлагаемом регуляторном порядке (Notice of Proposed Rulemaking), в котором запрашивались комментарии участников рынка и национальных регуляторов по предлагаемой нормативной базе, необходимой для обеспечения дополнитель-

Рисунок 4

Уровни I/N при помеховом воздействии на КА D2D в Китае

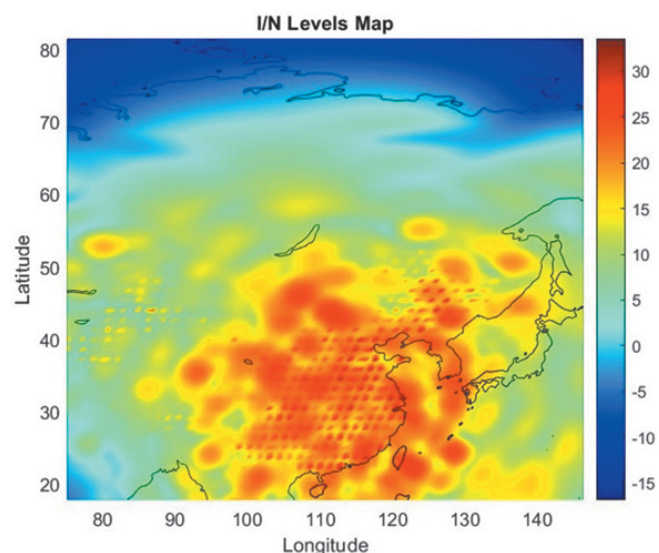
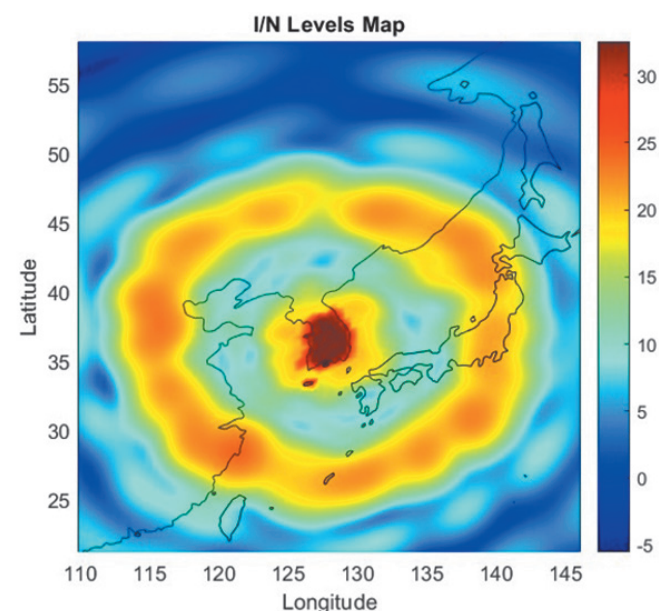


Рисунок 5

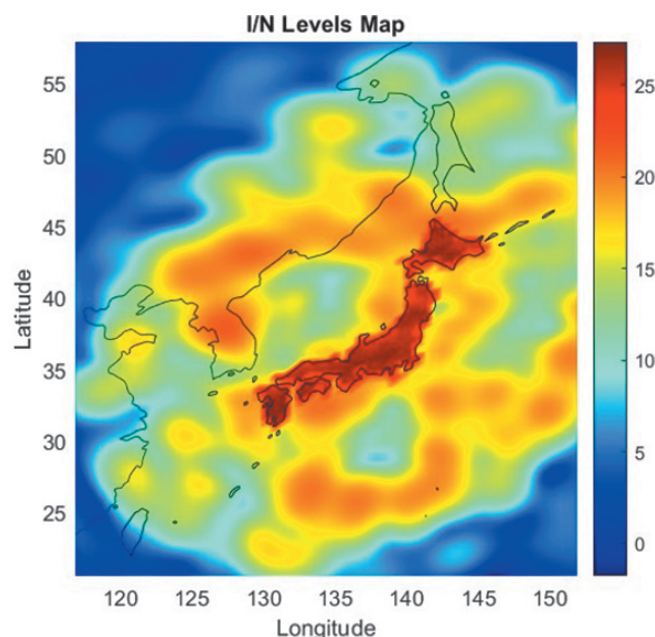
Уровни I/N при помеховом воздействии на КА D2D в Корее



ного покрытия из космоса (Supplemental Coverage from Space, SCS). В Уведомлении FCC рассмотрела различные виды партнерства между поставщиками услуг спутниковой связи и поставщиками услуг наземных беспроводных сетей, которые, по мнению Комиссии, могли бы способствовать развитию организации связи между спутниковыми и наземными сетями. Комиссия отмечала, что некоторые виды такого партнерства предусматривают использование спектра, выделенного для спутниковых операторов, для предоставления расширенных возможностей обслуживания абонентам, использующим смартфоны.

Рисунок 6

Уровни I/N при помеховом воздействии на КА D2D в Японии



Другие партнерства были основаны на взаимоотношениях между спутниковыми операторами и операторами наземных сетей для использования спектра, выделенного для наземных беспроводных сетей.

В марте 2024 г. FCC приняла Отчет и Распоряжение (R&O), устанавливающие внутреннюю нормативную базу для дополнительного покрытия из космоса (SCS). Данный порядок позволяет спутниковым операторам сотрудничать с операторами наземных сетей связи для получения разрешения FCC на эксплуатацию космических станций в определенных полосах частот, распределенных для наземных сетей. По мнению FCC, данный порядок, определенный в R&O, позволит расширить спутниковое покрытие для абонентов операторов наземных сетей, которые имеют лицензии в отдаленных, необслуживаемых или недостаточно обслуживаемых районах [7].

Регуляторный порядок, принятый в R&O, является, по мнению FCC, первым шагом для поощрения развития SCS при минимизации рисков вредных помех для существующих наземных и спутниковых сетей. Также FCC было принято Дополнительное уведомление о предлагаемом регуляторном порядке (Further Notice of Proposed Rulemaking, FNPRM) для дальнейшего рассмотрения и разработки НПБ в данной области.

R&O вносит изменения в Таблицу распределения частот США, чтобы разрешить работу ПСС в обоих направлениях на вторичной основе в определенных полосах частот, в которых нет первичных федеральных или нефедеральных лицензиатов, за исключением держателей лицензий на наземные сети связи.

Для этих диапазонов R&O будет разрешать использование SCS только в том случае, если один или несколько наземных лицензиатов, совместно владеющих всеми лицензиями на соответствующий спектр в определенной географически независимой зоне (geographically independent area, GIA), сдают в аренду права на наземный спектр участвующему спутниковому оператору, в чью лицензию будут внесены эти частоты и географическая зона обслуживания, в которой спутниковый оператор и наземный провайдер беспроводной связи будут предлагать услуги дополнительного покрытия из космоса.

В рамках дальнейшего рассмотрения нормативной базы согласно FNPRM будут учтены комментарии по: 1) вызовам экстренных служб (911) через дополнительное покрытие из космоса, включая использование маршрутизации голосовых вызовов и текстов на основе местоположения; и 2) процедурам, связанным с защитой радиоастрономии.

В частности, в рамках указанных R&O FCC приняла следующие действия:

- утвердила порядок использования радиочастотного спектра, который позволяет расширить зону обслуживания для абонентов наземной компании-лицензиата за счет сотрудничества в рамках договора аренды или договоренности со спутниковым оператором;
- утвердила вторичное распределение ПСС в обоих направлениях (космос—Земля и Земля—космос) наряду с новым определением для дополнительного покрытия из космоса (SCS) в определенных полосах частот, в которых нет федеральных или нефедеральных держателей лицензий на традиционные виды связи первичных радиослужб с «негибким» использованием спектра;
- добавила вторичное распределение ПСС в следующих полосах частот, распределенных наземным службам, а также новое примечание, которое будет указывать на то, что использование ПСС в этих полосах подпадает под действие правил FCC в части SCS:
 - 600 МГц: 614–652 и 663–698 МГц;
 - 700 МГц: 698–769, 775–799 и 805–806 МГц;
 - 800 МГц: 824–849 и 869–894 МГц;
 - широкополосные услуги персональной связи (Personal Communications Service, PCS): 1850–1915 и 1930–1995 МГц;
 - блок спектра для расширенных услуг беспроводной связи (Advanced Wireless Services, AWS): 1915–1920 и 1995–2000 МГц;
- приняла положение о предоставлении разрешений для SCS в следующих GIA: (1) континентальная часть США; (2) Аляска; (3) Гавайи;

(4) Американское Самоа; (5) Пуэрто-Рико/Виргинские острова США; и (6) Гуам/Северные Марианские острова;

- установила правило, в соответствии с которым FCC будет разрешать использование SCS в диапазонах SCS только в том случае, если один или несколько наземных лицензиатов, совместно владеющих всеми лицензиями на соответствующий спектр в определенной GIA, сдают в аренду права на наземный спектр участвующему спутниковому оператору, чья лицензия на космическую станцию включает эти частоты и соответствующую географическую зону;
- установила начальные критерии, которым должны соответствовать операторы спутниковой связи, чтобы подать заявку на получение новой или модифицирование существующей лицензии космической станции для эксплуатации спутников в диапазонах SCS;
- установила подход «лицензирование по правилам» для наземных устройств, таких как земные станции SCS, взаимодействующие со спутниковой сетью для целей SCS;
- рассмотрела необходимость изменения существующих и выдачи новых разрешений на использование оборудования для наземных устройств и предоставила ограниченное освобождение от определенных правил авторизации оборудования;
- применила с небольшими поправками существующие правила предоставления услуг, регулирующие деятельность лицензиатов спутниковой и наземной сетей связи, для обеспечения возможности предоставления SCS;
- ввела технические правила и другие рекомендации по снижению потенциальных вредных помех существующим службам, включая радиоастрономические;
- уточнила обязательства по международной координации, включая описание шагов по обеспечению того, чтобы работа SCS соответствовала соответствующим положениям Регламента радиосвязи МСЭ;
- приняла временные требования к отправке вызовов и текстовых сообщений в службу спасения 911 для маршрутизации вызовов и текстовых сообщений в службу общественной безопасности с использованием маршрутизации на основе местоположения или в центр экстренных вызовов;
- разъяснила, что регуляторный порядок для систем SCS рассматривается независимо от существующей НПБ для систем ПСС.

В России НПБ и условия использования спутниковых систем с прямым подключением к устройству

находятся в ведении Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ).

На своем заседании в марте 2024 г. ГКРЧ приняла протокольную запись о формировании РГ из заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и организаций для определения сводной потребности в орбитально-частотном ресурсе для гибридных сетей связи.

В рамках данной РГ планируется в первую очередь рассмотреть вопросы, связанные с перспективами использования гибридных сетей связи в Российской Федерации.

В частности, рассматриваются вопросы о сферах применения сетей ГСС в России, предполагаемом облике и функциональных возможностях (включая типы орбит, тип дуплекса и т.д.), полосы частот и планы размещения частот (включая полосы частот, идентифицированные для ИМТ или распределенные для ПСС), необходимости и целесообразности заявления частотных присвоений ГСС в МСЭ (включая п. 4.4 Регламента радиосвязи), технико-экономические аспекты разработки и использования ГСС в России.

По результатам работы указанной группы и по мере поступления и рассмотрения ГКРЧ соответствующих радиочастотных заявок от российских операторов на выделение полос частот для использования спутниковых систем с прямым подключением к устройству, будет выработан соответствующий регуляторный режим для такого использования.

Так, на своем заседании в марте 2024 г. ГКРЧ приняла решение выделить ПАО «МТС» полосы радиочастот 1950–1965 МГц (Земля–космос) и 2140–2155 МГц (космос–Земля) для проведения на территории Томской области научных, исследовательских, опытных, экспериментальных и конструкторских работ по оценке возможности функционирования прямой линии связи «спутник–смартфон» и фидерных линий связи («БС–спутник») в рамках участков ГСС связи стандарта 5G при выполнении ряда условий [8].

Помимо стандартных условий при выделении полос частот для использования РЭС, таких как соответствие РЭС заявленным параметрам и получение установленным порядком разрешений на использование радиочастот, ГКРЧ определила следующие условия для проведения эксперимента с ГСС:

- исключение вредных помех станциям иностранных государств и отсутствие требований защиты от вредных помех со стороны этих станций;
- исключение вредных помех действующим и планируемым РЭС, работающим в соответствии с Таблицей распределения полос радиочастот (ТРПЧ) между радиослужбами Российской Федерации, и отсутствие требо-

ваний защиты от вредных помех указанных РЭС в общих и смежных полосах радиочастот.

Таким образом, определенный ГКРЧ для эксперимента с ГСС регуляторный порядок использования полос радиочастот из Рекомендации МСЭ-R M.1036, определяющий, по сути, вторичную основу для таких применений, в целом соответствует общемировым трендам регулирования использования сетей ГСС.

Одним из важных вопросов, не определенных ГКРЧ в данном решении, является вопрос необходимости заявления частотных присвоений сети ГСС в Бюро радиосвязи МСЭ, а также статус таких частотных присвоений. Очевидно, что такое заявление может быть нецелесообразно на этапе проведения экспериментальных работ в ограниченной зоне обслуживания спутника-демонстратора, однако при развертывании штатной группировки данный вопрос становится актуальным. В соответствии Правилами проведения в Российской Федерации работ по международно-правовой защите присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов, утвержденными постановлением Правительства РФ от 14.11.2014 № 1194, определение необходимости заявления, координации и регистрации в МСЭ частотных присвоений для РЭС, используемых космическими системами Российской Федерации гражданского назначения, осуществляется ГКРЧ в соответствии с Регламентом радиосвязи, иными документами МСЭ, международными договорами и соглашениями. Соответственно, именно ГКРЧ должна определять необходимость и порядок заявления частотных присвоений ГСС в МСЭ.

Таким образом, можно сделать вывод, что проводимая в России работа по определению регуляторного порядка применения сетей ГСС в целом соответствует подходам и общим принципам, рассматриваемым МСЭ и другими национальными регуляторами. При этом в дальнейшем, по всей видимости, как и в случае с США, потребуются внесение определенных изменений в национальную ТРПЧ, определяющих порядок применения сетей ГСС в России. Также потребуются дать определение ГСС и определить необходимость заявления и координации соответствующих частотных присвоений в МСЭ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отрасль услуг подвижной спутниковой связи переживает трансформационный сдвиг из-за быстрого роста спутниковых решений прямой связи с устрой-

ствами, и, в первую очередь, услуг прямой связи со смартфонами, что обусловлено развитием технологии интеграции наземных и неназемных сетей связи. Уже сейчас по отчетам аналитических агентств, рынок услуг D2D/D2C оценивается в миллиарды долларов США. Взрывной интерес к технологии прямой связи с устройствами привел к необходимости срочной разработки национальной и международной НПБ для сервисов D2D/D2C, в том числе для сопряжения с наземными сетями IMT.

В рамках работ, проводимых МСЭ, предстоит определить технический облик и функциональные возможности спутниковых систем D2D/D2C, включая приоритетные полосы частот и частотные планы IMT для передачи и приема, направления передачи и приема, а также метод дуплекса и подтвердить, что и спутниковая, и наземная системы будут связываться с одним и тем же UE IMT. Далее в период до 2027 г. будут проведены исследования совместного использования частот и совместимости с действующими службами и изучены возможные технические и эксплуатационные меры для обеспечения того, чтобы станции спутниковых систем не создавали вредных помех станциям, работающим в подвижной службе, и не требовали защиты от них. После чего на ВКР-27 будет принят новый регуляторный порядок для обеспечения возможности прямого подключения между космической(ими) станцией(ями) и пользовательским оборудованием IMT в дополнение к покрытию сетей наземного сегмента IMT.

Параллельно с исследованиями МСЭ некоторые национальные регуляторы уже приступили к разработке и утверждению национальной НПБ для использования систем D2D/D2C.

При этом дальнейшие национальные и глобальные условия работы систем D2D/D2C будут во многом зависеть от результатов исследований МСЭ в период до 2027 г., позиций различных региональных групп и решений, принятых на ВКР-27. От результатов разработки международной НПБ и соответствующих решений ВКР-27 во многом зависит будущая реализация и условия функционирования систем D2D/D2C. Уже сейчас компании, активно занятые (в том числе инвестиционно) в разработке систем D2D/D2C (прежде всего, SpaceX и Apple), прилагают значительные усилия, в том числе с привлечением административного ресурса, для продвижения наиболее выгодных для себя технических и регуляторных режимов работы систем D2D/D2C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бюро радиосвязи МСЭ. Административный циркуляр CA/270. Результаты первой сессии Подготовительного собрания к кон-

ференции для ВКР-27 (ПСР27-1). – <https://www.itu.int/md/R00-CA-CIR-0270/en>.
2. Recommendation ITU-R M.1036-7

(12/2023). Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications

in the bands identified for IMT in the Radio Regulations.

3. 3GPP TS 38.108. Satellite Access Node radio transmission and reception.

4. Stuhlfauth, R. Non-Terrestrial Network Technology from a 3GPP Perspective / R. Stuhlfauth / Microwaves & RF (сайт). – <https://www.mwrf.com/technologies/embedded/systems/article/21252945/rohde-schwarz-non-terrestrial-network-technology-from-a-3gpp-perspective>.

5. Report ITU-R M.2292-0 (12/2023). Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses.

6. Tikhvinskiy, V. Provision of IoT Services for CO-Located 4G/5G Networks Utilisation with Dynamic Frequency Sharing / V. Tikhvinskiy, E. Deviatkin, A. Aitmagambetov, A. Kulakaeva // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and

Technology (EMCTECH). – DOI: 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261551.

7. ITU-R R23-WP4C Contribution 57. Information paper - Update on recent U.S. activities on Supplemental Coverage from Space. – <https://www.itu.int/md/R23-WP4C-C-0057/en>.

8. Заседание ГКРЧ от 29.03.2024 (протокол № 24-72). – <https://digital.gov.ru/ru/documents/9534/>.

Получено 27.08.24

Technical and regulatory aspects for the implementation of direct to device satellite systems

M.V. Strelets, Geyser-Telecom, LLC, head of department, Ph.D.; mstrelets@g-tl.ru

A.N. Kostin, Geyser-Telecom, LLC, deputy head of department; kostin@g-tl.ru

A.S. Pastukh, The M.I. Krivosheev Radio Research & Development Institute (NIIR), head of laboratory; apastukh@lenta.ru

E.E. Devyatkin, NIIR, director of Advanced Wireless Communication Technologies Research Center; edevyatkin@niir.ru

O.L. Mironova, NIIR, leading engineer; mironovaol@niir.ru

Abstract. The article considers the development of technology for direct connection of smartphones to satellites to provide seamless service in hybrid 4G/5G/6G networks (Direct-to-Device/D2D or Direct-to-Cell/D2C). The analysis has been performed regarding current activities of the International Telecommunication Union on studies related to the development of an international regulatory framework for direct to device satellite access, including compatibility studies with terrestrial networks of the International Mobile Telecommunications (IMT). A number of technical aspects of the implementation of satellite systems with direct to the device connectivity are considered, including available frequency bands, directionality of frequency plans, duplex type, as well as possible difficulties with electromagnetic compatibility. An analysis of national approaches to the development of a regulatory framework for direct to device satellite access was carried out.

Keywords: *Direct-to-Device/D2D, Direct-to-Cell/D2C, WRC-27, ITU-R, 4G/5G/6G, IMT, FDD, TDD.*