

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.371.37
МРНТИ 27.47.21

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОЛОСЫ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СЕТЕЙ 5G

Ш. ЖУМАБЕККЫЗЫ, А.З. АЙТМАГАМБЕТОВ

Международный университет информационных технологий

Аннотация: Статья посвящена анализу и исследованиям в области использования частотного ресурса для мобильных сетей нового поколения 5G. В настоящее время практически все мобильные системы телекоммуникаций работают в диапазоне частот от 300 МГц до 3 ГГц. Во избежание истощения ограниченных частотно-временных радиоресурсов, имеющихся у современных технологий мобильного доступа, международными организациями по стандартизации ведется напряженная работа с целью принятия до 2020 года новых спецификаций, определяющих работу сетей телекоммуникаций 5G. В статье рассмотрены оценка возможностей распределения полос частот для внедрения и развития сетей 5G, планы WRC-19 МСЭ, а также особенности применения миллиметрового диапазона частот для сетей 5G.

Ключевые слова: 5G, мобильная связь, радиочастотный спектр, миллиметровые волны, частотный диапазон

PERSPECTIVE BANDS OF RADIO FREQUENCY SPECTRUM FOR 5G MOBILE NETWORKS

Abstract: The article focuses on the analysis and research on the use of the frequency resource for new-generation of 5G mobile networks. Currently, almost all mobile telecommunication systems operate in the frequency range from 300 MHz to 3 GHz. In order to avoid the depletion of the limited frequency-time radio resources available to modern mobile access technologies, international standardization organizations are working hard to adopt new specifications by 2020 that define the operation of 5G telecommunication networks. The assessment of the allocation of frequency bands for the introduction and development of 5G networks, the plans of ITU WRC-19, as well as the features of the use of the millimeter-frequency range for 5G networks are considered in the article.

Keywords: 5G, mobile communication, radio frequency spectrum, millimeter waves, frequency range

5G МОБИЛЬДІ ЖЕЛІЛЕРІНЕ АРНАЛҒАН РАДИОЖИЛІК СПЕКТРІНІҢ ПЕРСПЕКТИВТІ ЖОЛАҚТАРЫ

Аңдатпа: Мақала 5G мобильді желілер үшін жиілік ресурсын пайдалану саласындағы талдау мен зерттеулерге арналған. Заманауи телекоммуникацияның барлық мобильді жүйелері 300 МГц-тен 3 ГГц-ке дейінгі жиіліктер диапазонында жұмыс істейді. Қазіргі заманғы ұтқыр қатынау технологияларындағы шектеулі жиіліктік-уақытша радио ресурстардың сарқылуын болдырмау үшін стандарттау жөніндегі халықаралық ұйымдар 2020 жылға дейін 5G телекоммуникация желілерінің

жұмысын айқындайтын жаңа ерекшеліктерді қабылдау мақсатында жұмыс жүргізуде. Мақалада 5G желілерін енгізу және дамыту үшін жиілік жолақтарын бөлу мүмкіндіктерін бағалау, ХЭО ДРК-19 жоспарлары, сондай-ақ 5G желілері үшін миллиметрлік жиілік диапазонын қолдану ерекшеліктері қарастырылған.

Түйінді сөздер: 5G, ұялы байланыс, радиожиілік спектрі, миллиметрлік толқындар, жиілік диапазоны

Влияние технологий мобильной связи на нашу жизнь переоценить невозможно. Мобильная связь рассматривается в настоящее время как необходимость, а технологии мобильной связи являются наиболее востребованными и быстро растущими. В среднем каждые 10 лет появляется новый стандарт, который дает пользователям и всей экономике качественно новые возможности. Современный мир стоит на пороге масштабного скачка в развитии мобильных технологий на базе нового стандарта - 5G.

Исследования показывают, что в ближайшие пять лет количество беспроводных устройств достигнет 30 - 50 миллиардов и ежемесячный объем передаваемой информации к 2020 году будет измеряться в Зеттабайтах ($1 \cdot 10^{21}$ байт). Численный рост количества абонентов и все более объемные запросы к информационному сервису настоятельно требуют роста скорости передачи информации в инфотелекоммуникационном пространстве.

Однако рост скорости передачи информации в основном возможен за счет расширения полосы используемых частот и требования, предъявляемые к сетям передачи информации поколения 5G, возможно реализовать лишь в миллиметровом диапазоне (ММД) частот.

Для развертывания сетей 5G ввиду повышенных требований к их пропускной способности потребуется более широкая (чем для 4G) полоса спектра и, следовательно, возникнет необходимость в дополнительном спектре.

Множество практических результатов подтвердило целесообразность использования крайне высоких частот, т.е. миллиметровых волн для организации соединений в сетях 5G [1]. Действительно, диапазон с длиной волны от 10 до 1 мм, соответствующий частотам от 30 до 300 ГГц, содержит значительный

спектральный запас, обещающий закрыть существенную долю потребности сетей 5G в радио ресурсах.

Поиск и исследование частотного ресурса для мобильных сетей 5G

Поиск свободных диапазонов частот, в которых можно осуществлять развитие будущих сетей 5G, стал задачей не только исследовательских проектов Европейского союза по 5G (5G PPP, METIS и 5GIC), в период, предшествующий Всемирной конференции радиосвязи ВКР-15 Международного союза электросвязи (МСЭ), но и предстоящей ВКР-19 [2].

Вопросы оценки глобальной потребности в радиочастотном спектре для сетей связи 5-го поколения лежат в сфере ответственности Сектора радиосвязи МСЭ-Р и основываются на позициях и оценках крупнейших региональных союзов Администратий связи, таких как СЕРТ, РСС, ASMG, CИTEL и др., а также на оценках национальных Администратий связи.

В ходе подготовительных собраний к ВКР-19 по пункту повестки 1.13 были рассмотрены полосы частот для будущего развития Международной подвижной электросвязи (ИМТ) и произведена оценка потребностей в спектре для наземного сегмента ИМТ в диапазоне частот между 24,25 ГГц и 86 ГГц, в соответствии с Резолюцией 238 (ВКР-15) и Документом СА/226.

Наземные системы ИМТ-2020 будут включать новые технологии, использующие преимущества физических характеристик частот в диапазоне частот от 24,25 до 86 ГГц и потенциально доступных полос большой ширины, которые обеспечивают более высокую скорость передачи данных и меньшую задержку. Был рассмотрен ряд подходов; краткий обзор результатов, полученных с помощью подхода, основанного

Таблица 1 – Потребности в спектре для диапазонов частот между 24,25 и 86 ГГц

	Примеры	Соответствующие условия для разных примеров	Общие потребности в спектре (ГГц) ³	Потребности в спектре для каждого диапазона (ГГц)
Подход, основанный на применении	1	Перенаселенные зоны, городские зоны с плотной застройкой и обычные городские зоны	18,7	3,3 (диапазон частот 24,25–33,4ГГц) 6,1 (диапазон частот 37–52,6ГГц) 9,3 (диапазон частот 66–86ГГц)
		Городские зоны с плотной застройкой и обычные городские зоны	11,4	2,0 (диапазон частот 24,25–33,4ГГц) 3,7 (диапазон частот 37–52,6ГГц) 5,7 (диапазон частот 66–86ГГц)
	2	Зоны с чрезвычайно большим скоплением людей	3,7	0,67 (диапазон частот 24,25–33,4ГГц) 1,2 (диапазон частот 37–52,6ГГц) 1,9 (диапазон частот 66–86ГГц)
		Зоны с большим скоплением людей	1,8	0,33 (диапазон частот 24,25–33,4ГГц) 0,61 (диапазон частот 37–52,6ГГц) 0,93 (диапазон частот 66–86ГГц)
Подход, основанный на технических характеристиках (Тип 1 ⁴)	1	Скорость передачи данных через интерфейс пользователя составляет 1Гбит/с при N одновременно обслуживаемых пользователей/устройств на краю соты, например, в помещении	3,33 (N=1), 6,67 (N=2), 13,33 (N=4)	Нет данных
		Скорость передачи данных через интерфейс пользователя составляет 100Мбит/с при N Одновременно обслуживаемых пользователей/ устройств на краю соты, для широкой зоны покрытия	0,67 (N=1), 1,32 (N=2), 2,64 (N=4)	Нет данных
	2	eMBB в городской зоне с плотной застройкой	0,83–4,17	Нет данных
		eMBB с точкой доступа в помещении	3–15	Нет данных
	3	Передача файла объемом 10 Мбит одним пользователем на краю соты за 1 мс	33,33 ГГц (в одном направлении)	Нет данных
		Передача файла объемом 1 Мбит одним пользователем на краю соты за 1 мс	3,33 ГГц (в одном направлении)	
Передача файла объемом 0,1 Мбит одним пользователем на краю соты за 1 мс		333 МГц (в одном направлении)		
Подход, основанный на технических характеристиках (Тип 2 ⁵)	-	Микросота городской зоны плотной застройки		5,8–7,7 (диапазон частот 24,25–43,5 ГГц)
		Точка доступа в помещении	14,8–19,7	9–12 (диапазоны частот 24,25–43,5 ГГц и 45,5–86 ГГц)

Информация от некоторых стран, подготовленная с учетом их национальных потребностей	-	-	7-16	2-6 (диапазон частот 24,25-43,5 ГГц) 5-10 (диапазон частот 43,5-86 ГГц)
---	---	---	------	--

на применении, и подхода, основанного на технических характеристиках, приводится в Таблице 1. Оцениваемые потребности в спектре различаются в зависимости от используемого подхода и лежащих в его основе допущений [3].

- использование полос, имеющих распределение на первичной основе для категорий подвижная/фиксированная радиослужб, или совместно использующие полосу на первичной основе;

- пропускная способность: непрерывный спектр шириной несколько сотен МГц в полосе ниже 40,5 ГГц и не менее 1 ГГц выше 40,5 ГГц рассматривается как минимальное требование для выполнения потребностей пользователей;

- на первом этапе развития 5G не предполагается оценка возможности агрегации несущих, то есть полоса частот должна быть непрерывной. Однако если поиск такой полосы не приведет к положительным результатам, то сценарии простой агрегации, которые объединяют небольшое количество несмежных участков спектра можно будет оценить на втором этапе проекта METIS;

- диапазоны, в которых из-за их ширины может быть развернута только одна сеть, не должны быть исключены из рассмотрения на начальном этапе исследований, т.е. нет никакой высшей необходимости размещения нескольких параллельных сетей в одной полосе частот;

- рассмотрение кандидатных полос для 5G должно проводиться как для парных, так и непарных участков спектра (то есть, сети TDD и FDD);

- наличие готовой нормативной базы для частотных диапазонов, выбранных для развития 5G рассматривается как дополнительное преимущество.

Исходя из принятых выше критериев, особое внимание необходимо уделить миллиметровому диапазону волн, так как до насто-

ящего времени этот диапазон является наименее загруженным частотным диапазоном и позволяет найти полосы частот шириной от 500 МГц до 1 ГГц.

Результаты анализа текущего использования диапазона частот 9,9-40,5 ГГц согласно Европейской таблице распределения полос частот приведены в таблице 2 [4].

Таблица 2 – Использование диапазона частот 9,9-40,5 ГГц

Диапазон, ГГц	Ширина доступного участка спектра, ГГц	Приоритет
9,9-10,6	0,7	Средний/высокий
17,1-17,3	0,2	Низкий
17,7-19,7	2,0	Низкий
21,2-21,4	0,2	Низкий
27,5-29,5	2,0	Средний
31,0-31,3	0,3	Средний
31,8-33,4	1,6	Высокий

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в полосе 9,9 - 40,5 ГГц восемь полос частот имеют распределение на первичной основе подвижной или фиксированной радиослужбам, наиболее близким по сценариям использования к 5G. Оценка их текущей загрузки радиоэлектронными средствами (РЭС) различных радиослужб показала, что четыре из них имеют высокую загрузку радиорелейными линиями или ширину полосы менее 500 МГц, что исключает их из дальнейшего исследования в интересах развития 5G.

Высоким приоритетом для дальнейших исследований будут обладать две полосы 9,9 - 10,6 ГГц и 31,8 - 33,4 ГГц. Из четырех полос частот нижней части миллиметрового диапазона волн две полосы получили средний приоритет и одна высокий.

Второй участок миллиметрового диапа-

зона волн, подлежащий анализу в интересах будущего развития 5G, был определен в границах 40,5-95,0 ГГц (табл. 3).

Таблица 3 – Использование диапазона частот 40,5-95,0 ГГц

Диапазон, ГГц	Ширина доступного участка спектра, ГГц	Приоритет
40,5-42,5	2	Средний
42,5-43,5	1	Высокий
43,5-45,5	2	Низкий
45,5-47,0	1,5	Высокий
47,2-50,2	3	Высокий
50,4-52,6	2,2	Средний/Низкий
55,78-57,0	1,22	Высокий
57-66	7	Высокий
66-71	5	Высокий
71-76	5	Высокий
81-86	5	Высокий

Оценка текущей загрузки полос частот в границах 40,5-95,0 ГГц РЭС различных радиослужб на основе исследований СЕРТ показала, что две из них 43,5-45,5 и 50,4-52,6 ГГц имеют высокую загрузку радиорелейными линиями в Европе, несмотря на их привлекательную ширину – более 2 ГГц, они исключены из дальнейшего исследования в интересах развития 5G.

Высоким приоритетом для дальнейших исследований будут обладать восемь полос частот и лишь одна полоса 40,5-42,5 нижней части этого диапазона получила средний приоритет.

Сценарии использования 5G потенциально могут обеспечиваться различными участками частотного спектра. Например, для приложений с короткой задержкой и малой дальностью действия (подходящих для густонаселенных городских районов), вероятно, подходят частоты ММД (выше 24 ГГц). Для приложений дальнего действия с низкой пропускной способностью (более подходящих для сельской местности), вероятно, подходят частоты до 1 ГГц. Если более низкие частоты имеют лучшие характеристики распространения, обеспечивая лучшее покрытие, то более

высокие частоты поддерживают повышенную пропускную способность благодаря большей доступности спектра в полосах ММД. Например, компания Huawei предложила подход на основе многоуровневого спектра, который наилучшим образом характеризует это направление:

- **Уровень покрытия.** Используется спектр частот ниже 2 ГГц (например, 700 МГц), обеспечивающий покрытие широких зон и глубокое покрытие внутри помещений.
- **Уровень покрытия и пропускной способности.** Используется спектр в диапазоне 2–6 ГГц, который обеспечивает наилучший компромисс между покрытием и пропускной способностью.
- **Уровень суперданных.** Спектр выше 6 ГГц и ММД используется в особых случаях, когда требуются сверхвысокие скорости передачи данных [5].

Ассоциация GSM предполагает, что спектр 3,3–3,8 ГГц образует основу многих первоначальных услуг 5G, в частности для улучшенных услуг подвижной широкополосной связи. Это связано с тем, что диапазон 3,4–3,6 ГГц согласован почти во всем мире и, следовательно, имеет хорошие перспективы для обеспечения экономии на масштабах, позволяющей создавать недорогие устройства.

Особенности связи ММД

Свободные участки спектра в диапазоне ММД имеются, что и создает определенную нишу для практического применения радиосистем этого диапазона для развития инфокоммуникационных технологий при освоении нового поколения мобильной связи 5G. Но по сравнению с частотами до 3 ГГц частоты миллиметрового диапазона в настоящее время используются слабо.

Основные причины слабого освоения в значительном затухании сигналов ММД при распространении и в недостаточно еще развитой элементной базе радиокомпонентов. Однако именно в ММД возможно организовать каналы передачи информации с высокой пропускной способностью и реализовать стандарт 5G со скоростями передачи данных до 10 Гбит/с.

Главным достоинством ММД является возможность использования широкой полосы частот, но есть и серьезные недостатки, сдерживающие развитие телекоммуникаций в этом диапазоне, а именно:

- сильное затухание миллиметровых волн при распространении;
- уровень принимаемого сигнала существенно зависит от влияния гидрометеоров (капли дождя, снег, град, туман) и от присутствия в атмосфере твердых неоднородностей (листва деревьев, стаи птиц, пыль);
- высокая степень влияния на уровень принимаемого сигнала закрывающих трассу препятствий;
- наличие зон сильного ослабления сигнала на некоторых частотах из-за ослабления сигналов ММД частот молекулами кислорода и парами воды.

Особенностью диапазона ММВ является и многолучевость. При передаче информации, даже при радиовидимости между передатчиком и приемником, на антенну приемника кроме прямой волны приходит целый ряд других волн, появившихся в результате отражений от почвы, зданий и от других местных предметов.

Многолучевость приводит к случайным и в общем случае нестационарным флуктуациям как амплитуды, так и фазы принимаемого сигнала, то есть замираниям сигнала. Из-за наличия препятствий на трассе связи и по причине присутствия отраженных сигналов, приводящих к многолучевости, ослабление сигналов ММД дополнительно может значительно увеличиваться.

Эти причины существенно затрудняют освоение ММД для высокоскоростной передачи информации [6].

Большинство имеющихся исследований в области связи в ММД сходятся к заключению, что ввиду более коротких длин волн передача на крайне высоких частотах подвержена блокированию радиосигнала сравнительно небольшими объектами. Этот эффект приводит к падению уровня мощности на принимающей стороне и, тем самым, делает соедине-

ния менее надежными. Как следствие, уплотнение сотовой инфраструктуры статическими малыми сотами ММД может быть дополнено подвижными узлами мобильной связи, что приводит к увеличению надежности установления соединения.

По приведенным данным можно сделать вывод, что переход к поколению 5G и освоение с этой целью ММД не означает отказ от уже используемых в сотовой связи диапазонов частот. Большое количество терминалов Интернета вещей не требуют высоких скоростей передачи цифровой информации и поэтому должна остаться возможность работы в сетях 5G оборудования предыдущих поколений сотовой связи. Это означает, что в сетях 5G будут использоваться радиоканалы с различными частотными диапазонами и иметь существенно отличающиеся характеристики. В свою очередь многообразие каналов приведет к многообразию необходимого для передачи информации оборудования.

Заключение

При разработке стандарта нового поколения 5G необходимо разрешить проблему, заключающуюся в том, что, с одной стороны, высокоскоростной широкополосный доступ возможен только в гигагерцовых диапазонах частот, а с другой стороны, организация передачи информации и сотовой связи в ММД встречает много на первый взгляд непреодолимых трудностей, которые требуют детального изучения в ближайшие несколько лет.

Слабая загруженность миллиметрового частотного диапазона, возможность выделения широких полос частот (до 7 ГГц), упрощенная процедура выделения частот во всех странах мира делает этот диапазон уникальным для построения сетей 5G.

У ММД есть еще ряд нерешенных задач, но возможности данного диапазона должны стать дополнительным импульсом для развития новых рынков, продуктов и услуг, а также реализовать стандарт 5G со скоростями передачи данных до 10 Гбит/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rappaport, T. S. Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work! / T. S. Rappaport, S. Sun, R. Mayzus, et al. // IEEE Access. -2013. Vol. 1. Pp. 335–349.
2. В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.З. Айтмагамбетов. Сети мобильной связи 5G: Перспективы создания и развития // – Алматы, Казахстан: Из-во «Ақ-Шағыл», 2019. – С. 16–24.
3. Отчет ПСК по техническим, эксплуатационным и регламентарно-процедурным вопросам, подлежащим рассмотрению Всемирной конференцией радиосвязи 2019 года. – С.164-167.
4. Бочечка Г. С., Тихвинский В. О. Перспективные миллиметрового диапазона для 5G России // Первая миля. – 2014. – № 12. – С. 36-39.
5. Отчет МСЭ «Подготовка к внедрению 5G: возможности и проблемы», 2018. – С.28-30.
6. Куракова Т.П. Имитация радиоканалов миллиметрового диапазона поколения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://diss.vlsu.ru/uploads/media/Dissertacija_Kurakovoi.pdf