

ИССЛЕДОВАНИЕ МИРОВОГО ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОС ЧАСТОТ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЧАСТНЫХ СЕТЕЙ PRIVATE LTE/5G-NR

Шепелев С.В., Бабин А.И., Коротков М.В.

АО «МТУ Сатурн», Москва,

e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru

Аннотация. Для построения выделенных (частных) и технологических мобильных сетей предприятий остро стоит вопрос выделения необходимого радиочастотного ресурса, а для Российской Федерации – еще и наличия отечественного радиооборудования, способного работать в этих полосах частот. В данной статье авторы исследовали мировой опыт применения полос частот для создания частных сетей Private-LTE/5G в различных странах и континентах. Технические решения выделения полос частот CBRS (Citizens Broadband Radio Service), Multifire, sXGP (shared Xtended Global Platform), S-диапазона спутниковой сети Globalstar, pLTE EU в полосе частот 2300–2320 МГц, BB-PPDR (Broadband – Public Protection Disaster Relief) в полосе 4940–4990 МГц могут найти применение и на территории Российской Федерации. Выделенные (частные) сети выступают базовой инфраструктурой для программ цифровизации промышленности, как изолированная, безопасная и стабильная цифровая среда для передачи данных. Изучение мирового опыта использования полос частот выделенными (частными) мобильными сетями связи позволит эффективнее планировать и строить технологические сети сотовой связи России, которые найдут большое применение при реализации критически важных коммуникаций, индустрии 4.0 в рамках программ цифровой трансформации страны.

Ключевые слова: выделенные сети Private LTE/5G, pLTE, CBRS, Multifire, sXGP, Globalstar, выделенные и технологические сети

A STUDY OF THE GLOBAL EXPERIENCE OF USING FREQUENCY BANDS TO CREATE PRIVATE LTE/5G-NR NETWORKS

Shepelev S.V., Babin A.I., Korotkov M.V.

Joint-stock company MTU Saturn, Moscow,

e-mail: SSHepelev@k-tech.ru, ABabin@k-tech.ru, MKorotkov@k-tech.ru

Annotation. To build dedicated (private) and technological mobile networks of enterprises, the issue of allocating the necessary radio frequency resource is acute, and for the Russian Federation there is also the availability of domestic radio equipment capable of operating in these frequency bands. In this article, the authors examined the global experience of using frequency bands to create private Private-LTE/5G networks in various countries and continents. Technical solutions for the allocation of frequency bands CBRS (Citizens Broadband Radio Service), Multifire, sXGP (shared Xtended Global Platform), S-band of the Globalstar satellite network, pLTE EU in the frequency band 2300-2320 MHz, BB-PPDR (Broadband-Public Protection Disaster Relief) in the band 4940-4990 MHz can be used on the territory of the Russian Federation. Dedicated (private) networks act as the basic infrastructure for industrial digitalization programs, as an isolated, secure and stable digital environment for data transmission. Studying the global experience of using frequency bands by dedicated (private) mobile communication networks will make it possible to more effectively plan and build technological cellular networks in Russia, which will find great application in the implementation of critical communications, industry 4.0 as part of the country's digital transformation programs.

Keywords: dedicated Private LTE/5G networks, pLTE, CBRS, Multifire, sXGP, Globalstar, dedicated and technological networks

Частные сети (Private), основанные на технологиях LTE и 5G-NR, получили признание как всеобъемлющая платформа подключения для критически важных коммуникаций, индустрии 4.0 и приложений, связанных с преобразованием предприятия в рамках программ цифровой трансформации страны. Этому способствовала стандартизация под руководством 3GPP таких функций, как критически важные РТТ (Push-to-Talk), видео и данные, сверхнадежная связь с низкой задержкой и другие функции. Обеспечивая сплошное непрерывное покрытие, выделенная сеть позволяет подключить автоматизированные

устройства, обеспечивать видеотрансляцию (4K) с производственных площадок, контролировать и управлять беспилотным транспортом, а также внедрить AR/VR-технологии. И здесь остро встает вопрос выделения необходимого радиочастотного ресурса для данных сетей Private-LTE/5G [1].

Целью исследования является рассмотрение мирового опыта использования полос частот для частных сетей сотовой связи технологии LTE/5G и либерализации радиочастотного спектра, в зависимости от страны и в зависимости от нормативно-правовой базы (НПБ) каждого региона и района МСЭ. Результаты исследований

могут быть использованы для планирования полос частот и создания выделенных и технологических мобильных сетей предприятий ТЭК (ПАО «Росатом», ПАО «Газпром», ПАО «Россети»).

Материалы и методы исследования

При проведении исследований применяются следующие методы: теоретические; методологические; эмпирические и логические методы исследования радиочастотного спектра (РЧС) и методов его управления.

Полосы радиочастот, используемые для выделенных (частных) и технологических сетей сотовой связи Private-LTE/5G, можно классифицировать на четыре составляющих РЧС [2]:

– *Лицензированный (публичный) спектр.* Спектр, выделенный для использования сетевыми операторами или поставщиками услуг сотовой связи. Он также может быть предоставлен для использования в частной сети Private-LTE/5G-NR в соответствии с нормативными актами стран или в процессе торгов.

– *Общий спектр.* Многие страны предлагают совместное использование спектра в определенных частотных диапазонах для размещения частных сетей сотовой связи Private-LTE/5G-NR. В США CBRS работает в диапазоне 3,55–3,70 ГГц и позволяет разным пользователям, например частным сетям, совместно использовать доступ.

– *Нелицензионный спектр.* Полосы частот, доступные для использования любым пользователем в определенных пределах без необходимости получения специальной лицензии. В качестве примера можно привести диапазоны ISM, которые используются для Wi-Fi и частных сетей сотовой связи. Эти диапазоны составляют 2400–2483,5 МГц и 5150–6425 МГц. Другим примером является MulteFire, технология для небольших ячеек, работающая в диапазоне 5 ГГц и основанная на LTE.

– *Промышленный спектр.* Регулирующие органы в некоторых странах (например, в Германии и Японии) выделяют спектр специально для промышленного использования. Такой подход диверсифицирует владение спектром, облегчает выход на рынок альтернативных поставщиков и, следовательно, обеспечивает более широкий выбор сетевых поставщиков. Промышленный спектр, как и общий, снижает барьеры для развертывания частных сетей 5G.

Все радиочастотные диапазоны делятся на составляющие РЧС:

Низкочастотный спектр (ниже 1 ГГц) обеспечивает более широкое покрытие при более низких скоростях передачи дан-

ных и полезен для обеспечения покрытия больших территорий, особенно в сельской местности и отдаленных районах, где подключение имеет решающее значение.

Среднечастотный спектр (от 1 до 6 ГГц) обеспечивает хороший баланс между покрытием и пропускной способностью. Он обеспечивает более высокую скорость передачи данных, чем нижние диапазоны, и при этом обеспечивает достойное покрытие.

Широкополосный спектр (выше 6 ГГц) обеспечивает очень высокую скорость передачи данных и меньшую задержку, но с ограниченным покрытием. Для реализации частных сетей Private-5G-NR в этом диапазоне требуется более плотная инфраструктура с ячейками значительно меньшего размера.

Результаты исследования и их обсуждение

Либерализация спектра

Одним из движущих факторов развития частных беспроводных сетей 4G/5G в любой стране является наличие эффективных норм регулирования использования частот для промышленного применения. В разных странах по-разному решаются вопросы лицензирования спектра для корпоративных сетей, где-то выделяется отдельный диапазон для определенной индустрии, где-то разрешают переиспользовать спектр, выделенный на первичной основе мобильным операторам связи. Примерами общего спектра частных сетей Private-5G-NR являются системы лицензирования и совместного использования РЧС в США – CBRS (Citizens Broadband Radio Service) в полосе 3550–3700 МГц, Канаде – NCL (Non-Competitive Local Licensing Framework) в полосе 3900–3980 МГц, Индии – CPWN (Captive Non-Public Networks) в полосах 3,7–3,8 ГГц, 4,8–4,99 ГГц и 28,5–29,5 ГГц. Японии – sXGP (shared Xtended Global Platform) в полосе 1800–1920 МГц. Примерами промышленного спектра частных сетей Private-LTE служит 2300–2320 МГц в Финляндии, 1800–1920 МГц в Японии и Сингапуре, частных сетей Private-5G-NR 3,7–3,8 ГГц в Германии и Швеции, 4,8–4,99 ГГц и 28 ГГц в Японии, 4,7–4,8 ГГц и 28 ГГц в Южной Корее [2]. Нелицензионный спектр, согласованный на глобальном и региональном уровнях, используется на оборудовании LTE-U/LAA и 5G NR-U и платформе MulteFire.

Во многих странах выделен специальный национальный спектр частот в интересах общественной безопасности и техногенных катастроф, критически важных приложений, связанных со BB-PPDR (Broadband – Public Protection Disaster Relief).

Диапазоны частот мировых частных сетей Private-LTE/5G-NR

Наименование тех. решений сетей Private-LTE/5G-NR	CBRS (GAA)	MulteFire	Globalstar (BRS/EBS)	sXGP (PHS/DECT)	BB-PPDR region 1 ITU	BB-PPDR region 1 ITU	Private-5G EU	pLTE EU	LTE-U, Private-5G EU
Диапазоны частот Private-LTE, МГц	3550–3700	5150–5925	2483,5–2500	1880–1910	380–470	733–736 788–791	3700–3800	2300–2320	5925–6425 + pLTE
Методы разделения и обмена RAN	TDD-LTE	TDD-LTE	TDD-LTE	TDD-LTE	FDD-LTE	FDD-LTE TDD-LTE	TDD-LTE	TDD-LTE	Wi-Fi 6E + LTE-U
Стандартизованные диапазоны 3GPP ETSI для LTE *), МГц	Band 48 Band 49 3550–3700	Band 46 5150–5925	Band 53 2483,5–2495	Band 39 1880–1920	Band 87 410–415 420–425 Band 88 412–417 422–427	Band 28 703–748 758–803 Band 44 703–803	Band 43 3600–3800	Band 40 2300–2400	IEEE 802.11ax LTE-U
Регионы применения сетей Private-LTE/5G-NR	США, Канада	США, страны Альянса MulteFire	Страны в зоне спутниковой подвижной сети	Япония, Сингапур	Район 1 РР МСЭ, Европа	Район 1 РР МСЭ, Европа	Германия (кампусные сети 5G)	Финляндия (локальные сотовые сети предприятий)	Страны Европы, Азия
Каналы LTE, МГц (+ агрегация CA)	20+20+20 +20+20	20+20+20 +20+20	5; 10	5; 10	3; 5	1,4; 3	20+20+20 +20+20	5; 10; 15; 20	40; 80; 160
Диапазоны частот Private 5G-NR, ГГц (доп. к Private-LTE)	28,5–29,5	28,5–29,5	28,5–29,5	1,88–1,92 4,8–4,99	26,5–27,5	26,5–27,5	3,7–3,8	26,5–27,5	6,425–7,125
Стандартизованные диапазоны 3GPP ETSI для 5G-NR **), МГц	n257 26500–29500	n257 26500–29500	n257 26500–29500	n98 1880–1920 n101 1900–1910 n79 4400–5000	n258 24250–27500	n28 703–748 758–803	n78 3300–3800	n40 2300–2400 n258 24250–27500	n96 5925–7125 n102 5925–6425 n104 6425–7125
Каналы 5G-NR в сети Private-5G, МГц	50; 100	50; 100	50; 100	5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40	50; 100	3; 5	40; 60; 80; 100	5; 10; 15; 20; 50; 100	20; 40; 60; 80; 100

*) ETSI 3GPP TS 136 101 version 16.19.0 Release 16 (2024-02) таблица 5.5-1 [4].

**) ETSI 3GPP TS 138 101-1 version 17.12.0 Release 17 (2024-02) таблица 5.2-1 [5].

В таблице приведен ряд диапазонов частот мировых частных сетей Private-LTE/5G-NR. Рассмотрим технические решения выделенных полос частот для частных сетей Private-LTE/5G более подробно.

CBRS (Citizens Broadband Radio Service) – диапазон Band 48, это полоса частот 3550–3700 МГц, работающая в спектре LTE в Соединенных Штатах, Канаде и ряде стран Латинской Америки [3]. 150 МГц были взяты из двух диапазонов LTE, Band 42 (в диапазоне от 3550 до 3660 МГц) и Band 43 (в диапазоне от 3660 до 3700 МГц). Этот частотный диапазон идеально подходит для услуг, требующих сверхвысоких ресурсов, и он может стать основой для внедрения технологий сетей Private-LTE 4.9G и 5G. Платформа CBRS организована на трех уровнях, которые следуют иерархическому порядку. Первый уровень – это тот, где размещены действующие системы. Это такие системы, как радары ВМС, Вооруженных сил США, спутниковые станции и т.д. Этот уровень имеет приоритет на всех 150 МГц. На втором уровне выдается трехлетняя лицензия PALS в полосе 3550–3650 МГц. На третьем (нижнем) уровне общего доступа (GAA) находятся частные сети 4G/5G.

Multefire – это нелицензионная форма LTE, работающая в диапазоне 5 ГГц технологий Wi-Fi, стандартизированный 3GPP диапазон Band 46 (5150–5925 МГц). Используется в США и странах Альянса MulteFire. Он поддерживает режим LBT (Listen-Before-Talk), что означает, что он достаточно дружелюбен к существующим службам Wi-Fi. MulteFire базируется на стандарте 3GPP Licensed Assisted Access (LAA Release 13) на нисходящем и Enhanced Licensed Assisted Access (eLAA Release 14) на восходящем соединении. MulteFire эффективно дополняет гетерогенные сети (HetNets), использующие микс макро- и малых сот, обеспечивая на 50% лучшую «дальнобойность» и вдвое лучшее качество покрытия по сравнению с Wi-Fi.

sXGP (shared Xtended Global Platform) – форма Private-LTE в полосе PHS/DECT (начально 1884,5–1906,1 МГц) в нелицензированном диапазоне Японии, стандартизация 3GPP его в Band 39 (1880–1920 МГц) TDD-LTE, использование в качестве инфраструктуры беспроводной связи для IoT (Интернета вещей), которая способствует автоматизации за счет соединения сенсорных устройств и устройств управления. Это будет самоорганизующаяся сеть, сфера использования sXGP простирается от голосовой связи до современных сред мобильной передачи данных, таких как использование данных, потоковое видео и онлайн-конфе-

ренции. Кроме того, одной из особенностей является то, что он обладает высокой связью с локальной сетью 5G, которую планируется развернуть в диапазоне 4,8–4,99 ГГц [6].

Спутниковая система связи Globalstar в S-диапазоне (2483,5–2500 МГц) планирует организовать наземный сегмент локальных сетей LTE в стандартизированном 3GPP диапазоне Band 53 (2483,5–2495 МГц) для коммунальных служб США и в других странах мира. В России, в связи с уходом спутниковой американской системы Globalstar, планируется полосу частот 2483,5–2500 МГц предоставить государственным предприятиям ТЭК (ПАО «Росатом» и ПАО «Газпром») для развертывания технологических сетей TDD-LTE на принципах сетей Private-LTE.

Существуют две основные модели развертывания частных сетей LTE/5G:

– *Выделенные локальные сети.* Предприятие развертывает выделенную локальную сеть (сеть радиодоступа и ядро), специально созданную для использования одним предприятием. Предприятие развертывает собственные активы периферийных вычислений.

– *Гибридные сети.* Сеть основана на сочетании компонентов общедоступной мобильной сети и выделенных локальных элементов. Например, часть общедоступной радиосети может быть объединена с выделенной локальной основной сетью. 5G обеспечивает различные комбинации развертывания, такие как разделение плоскостей управления и пользовательской плоскости (CUPS) базовой сети.

Другие модели могут развиваться на основе сегментирования общедоступной сети или выделенных корпоративных сетей (например, специальная сеть для коммунальных служб).

Выделенные (частные) производственные сети Private-LTE/5G в Индии получили название кэптивны не публичные сети.

Кэптивная мобильная сеть (от англ. *captive* – «пленный») – производственная не публичная сеть, принадлежащая материнской структуре (предприятию, концерну) и обслуживающая только ее риски. Аренда РЧС ими и ИТ-компаниями потребует от них принятия мер по предотвращению помех любым сетям общего пользования или другим лицензированным пользователям спектра. Лицензиат автономной сети общего пользования или CNPN может создать закрытую или локальную изолированную автономную сеть общего пользования для собственного использования в пределах операционных зон лицензии.

Существующие частные сети сотовой связи варьируются от локализованных беспроводных систем в промышленных и корпоративных условиях до частных беспроводных широкополосных сетей с частотой ниже 1 ГГц для коммунальных служб, готовых FRMCS сетей поездной связи LTE-R и гибридных государственно-коммерчески широкополосных сетей общественной безопасности ВВ-PPDR, а также быстро развертываемых систем LTE/5G, обеспечивающих временную сотовую связь или подключение по требованию. Организации – конечные пользователи в обрабатывающей промышленности, горнодобывающей промышленности, нефтегазовой отрасли, портах и других вертикальных отраслях отмечают, что установки частных сетей сотовой связи увеличивают производительность и КПД в диапазоне от 30 до 70%, снижают затраты более чем на 20% и повышают до 80% безопасность работников и снижение аварийности [7].

Множество полностью выделенных гибридных государственно-коммерческих и локальных безопасных сетей Private-LTE общественной безопасности на базе MVNO / MOCN (базовая сеть с несколькими операторами) функционируют или находятся в процессе развертывания по всему миру, начиная от национальных критически важных широкополосных платформ, таких как *FirstNet*, *Safe-Net* Южной Кореи, *RRF* (радиосеть будущего) Франции, *SIRDEE* Испании, служба LTE общественной безопасности Италии и *VIRVE 2.0* Финляндии.

Заключение

Выделенные (частные) сети выступают базовой инфраструктурой для программ цифровизации промышленности, как изолированная, безопасная и стабильная цифровая среда для передачи данных. LTE была доминирующей технологией в 2022–2023 гг., но к 2028 г. почти половина всех мировых частных сетей будут сетями

5G. ГКРЧ России выделила полосу частот 24,25–24,65 ГГц для использования РЭС стандарта 5G, в том числе с целью создания технологических сетей связи, на территории Российской Федерации. Этот частотный ресурс 5G смогут использовать не только операторы связи, но и промышленные компании.

Наиболее оптимальными вариантами выделения полос радиочастот для выделенных и технологических сетей LTE/5G на территории Российской Федерации авторы видят 380–390 МГц и 2483,5–2500 МГц. В диапазонах частот 2300–2400 МГц и 3550–3700 МГц возможно проработать минимально-оптимальные полосы частот для сетей Private-LTE/5G Российской Федерации.

Список литературы

1. Трифонов Е.В. PRIVATE LTE и системы связи и управления уровня Mission Critical // Первая миля. 2022. № 2. С. 30–38.
2. Company Report SNS Telecom & IT. The Private LTE & 5G Network Ecosystem: 2023–2030 – Opportunities, Challenges, Strategies, Industry Verticals & Forecasts». 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.snstelecom.com/cbrsplt> (дата обращения: 11.01.2024).
3. Зайтжанов М.С. Исследование технологии Private LTE и ее использование в производстве // Молодой ученый. 2023. № 24 (471). С. 41–44.
4. ETSI 3GPP TS 136 101. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception. Version 16.19.0 Release 16. (2024-02). [Электронный ресурс]. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100.v161900p.pdf (дата обращения: 14.01.2024).
5. ETSI 3GPP TS 138 101-1. 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone. Version 17.12.0 Release 17. (2024-02). [Электронный ресурс]. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/13810101v171200p.pdf (дата обращения: 18.01.2024).
6. Brown G. Private LTE Networks-Qualcomm. Qualcomm 2017. P. 1-11. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/private-lte-networks.pdf> (дата обращения 10.01.2024).
7. Фрейнкман В.А. Технология Private LTE/5G как оптимальная технология беспроводной связи для решения задач цифровизации промышленности. Взгляд НТЦ ПРОТЕЙ. 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://ict.moscow/static/pdf/files/PROTEI.pdf> (дата обращения 12.12.2023).