

УДК 621.396.4

https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/28

НОВЫЕ ПОДХОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА В СЕТЯХ 4G И 5G

- ©*Абдыраева Н. Р.*, ORCID: 0009-0008-2443-5427, SPIN-код: 1576-7528, канд. техн. наук,
Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, nabdyraeva80@mail.ru
- ©*Поletaев А. Д.*, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, rania99opa@gmail.com
- ©*Мамазакир уулу К.*, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева,
г. Ош, Кыргызстан, Karaevkylychbek01@gmail.com

NEW APPROACHES TO USING THE RADIO FREQUENCY SPECTRUM IN 4G AND 5G NETWORKS

- ©*Abdyraeva N.*, ORCID: 0009-0008-2443-5427, SPIN-code: 1576-7528, Ph.D., Osh Technological
University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, nabdyraeva80@mail.ru
- ©*Poletaev A.*, Osh Technological University named after M. Adyshev,
Osh, Kyrgyzstan, rania99opa@gmail.com
- ©*Mamazakir uulu K.*, Osh Technological University named after M. Adyshev,
Osh, Kyrgyzstan, Karaevkylychbek01@gmail.com

Аннотация. Описан принцип и преимущества технологии динамического перераспределения частотного спектра. Рассмотрены особенности построения и использования динамического шеринга радиочастотного спектра для реализации совмещенных сетей 5G/LTE с режимом DSS в ранее выделенных операторам для сетей LTE частотных каналах, а также рассмотрены перспективы ее применения в сетях 5G.

Abstract. This article describes the principles and advantages of dynamic spectrum sharing (DSS) technology. It examines the design and implementation of DSS for combining 5G and LTE networks within frequency channels previously allocated to LTE, and discusses the prospects for its application in 5G networks.

Ключевые слова: 5G, LTE, радиоинтерфейс 5G, динамическое перераспределение спектра, радиочастотный спектр, коллизии сигналов.

Keywords: 5G, LTE, 5G air interface, dynamic spectrum sharing, radio frequency spectrum, signal collisions.

Эффективное внедрение 5G требует развертывание сложной и дорогой инфраструктуры. Сети 4G регионов все еще имеют проблемы со стабильностью и скоростью, что существенно осложняет переход на более продвинутовую технологию. Технология 5G, представляющая собой пятое поколение мобильных сетей, призвана изменить цифровую среду за счет обеспечения высоких скоростей передачи данных, минимальных задержек и возможности одновременного подключения большого числа устройств. Несмотря на значительный потенциал данной технологии, в Кыргызской Республике существует ряд факторов, способных замедлить или затруднить ее внедрение. Также, поскольку спецификация 5G предполагает использование более высоких частот [1], сеть имеет ограниченный диапазон. В этой статье рассматривается,

новые подходы к использованию радиочастотного спектра, а также основные требования, предъявляемые к будущему радиоинтерфейсу 5G.

К ключевым требованиям к радиоинтерфейсам 5G относятся: реализация множественного доступа на физическом уровне (PHY) со скоростями передачи данных до нескольких Гбит/с; применение новых участков сантиметрового и миллиметрового диапазонов частот; использование широкополосных радиоканалов с полосой пропускания от 100 МГц до 2 ГГц; обеспечение сверхмалых задержек в сети радиодоступа, при которых время повторной передачи по алгоритму HARQ RTT не превышает 1 мс; низкая стоимость базовых станций и абонентских терминалов; организация доступа и многоузловой маршрутизации на основе универсального радиоинтерфейса и общего спектра частот; поддержка «бесшовной» мобильности между инфраструктурой 5G (UDN) и сетями LTE/2G/3G, обеспечивающими широкие зоны покрытия.

В большинстве современных сетей 5G используются преимущественно средние и высокие диапазоны частот. В результате различные сервисы 5G конкурируют между собой за радиоресурсы в условиях городской застройки, а также за возможность устойчивой работы внутри помещений без привлечения низкочастотных диапазонов. В 5G используются преимущественно средние и высокие диапазоны частот. различные сервисы 5G, а также за возможность устойчивой работы внутри помещений без привлечения низкочастотных диапазонов. В 5G используются только средние и высокие частоты. В результате сервисы 5G конкурируют между собой за радиоресурсы в условиях городской застройки, а также за возможность работать внутри помещений без использования низких частот [3].

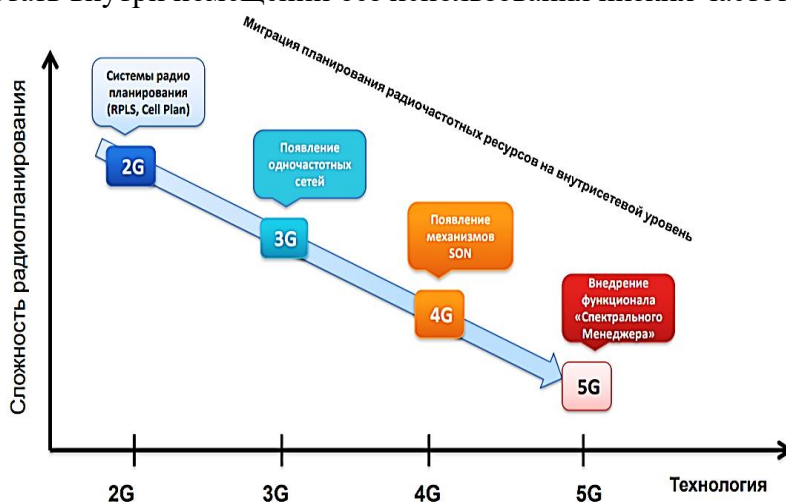


Рисунок 1. Механизмы планировании радиосетей операторами мобильной связи [3]

Технология DSS обеспечивает совместную работу сетей LTE и NR в рамках одной несущей частоты, при этом абонентские устройства обеих технологий получают доступ ко всей полосе пропускания. Распределение радиоресурсов между передатчиками осуществляется в динамическом режиме с учетом текущих требований по трафику как во временной, так и в частотной областях, что дает операторам возможность гибко адаптировать сеть к нагрузке. Дополнительным преимуществом DSS является ее реализация путем обновления программного обеспечения существующего оборудования. Несмотря на возрастание сложности процедур планирования, совокупность указанных достоинств выгодно отличает данную технологию от альтернативных решений (Рисунок 2) [3].

Перераспределение спектра LTE для внедрения технологии радиодоступа сетей пятого поколения (New Radio, 5G NR) в настоящее время не является целесообразной, поскольку

в ближайшей перспективе основная часть трафика продолжит передаваться по сетям LTE. В связи с этим технология динамического шеринга спектра (DSS) рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений, так как она позволяет осуществлять развертывание сетей 5G в уже используемых частотных полосах 4G без изменения структуры несущих и с минимальным влиянием на используемые в настоящее время сервисы. Технология DSS обеспечивает совместную работу сетей LTE и NR в рамках одной несущей частоты, при этом абонентские устройства обеих технологий получают доступ ко всей полосе пропускания. Распределение радиоресурсов между передатчиками осуществляется в динамическом режиме с учетом текущих требований по трафику как во временной, так и в частотной областях, что дает операторам возможность гибко адаптировать сеть к нагрузке. Дополнительным преимуществом DSS является ее реализация путем обновления программного обеспечения существующего оборудования. Несмотря на возрастание сложности процедур планирования, перечисленные преимущества выгодно отличают технологию DSS от других [3] (см. рис. 2).

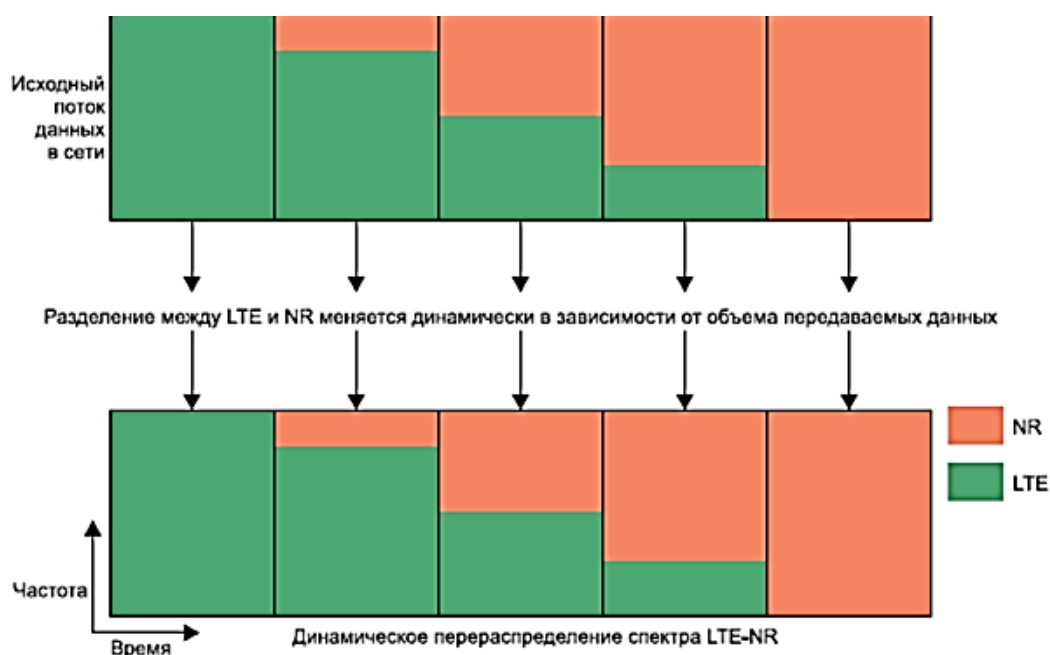


Рисунок 2. Динамические перераспределения частотного спектра, обеспечивающая совместную работу сетей LTE и NR

Концепция динамического совместного использования радиочастотного спектра DSS базируется на применении гибких возможностей физического уровня радиоинтерфейса 5G [1, 2].

В ее основе лежит принцип передачи сигналов 5G с использованием свободных ресурсов радиоинтерфейса LTE в пределах одного частотного канала. Технологии динамического перераспределения частотного спектра (Dynamic Spectrum Sharing) способны обеспечить существенные преимущества для операторов мобильной связи, поскольку позволяют реализовать развертывание сетей пятого поколения без необходимости перераспределения спектра LTE или приобретения дополнительных частотных ресурсов для 5G. Применение DSS может быть осуществлено посредством программной модернизации существующих базовых станций. Основная идея концепции 5G заключается в формировании единой сети, предназначенной для поддержки различных сценариев обслуживания, включая расширенную

мобильную широкополосную связь (eMBB), массовые машинные коммуникации (mMTC) и сверхнадежную передачу данных с минимальной задержкой (URLLC) [5, 6].

В сетях LTE распределение каналов осуществляется по заранее заданной статической схеме в частотно-временной области. В отличие от этого, физический уровень радиointерфейса 5G обладает высокой степенью гибкости при формировании опорных сигналов, каналов передачи данных и управляющей информации. Это позволяет реализовывать динамические конфигурации ресурсов, снижающие вероятность взаимных помех и коллизий при одновременной работе двух технологий в пределах одной полосы частот. При этом необходимо организовать планирование частотно-временных ресурсов для пользовательских данных радиointерфейса 5G внутри субкадров сети LTE таким образом, чтобы исключить влияние сигналов 5G на передачу информации пользователей LTE в основных физических каналах, включая сигналы синхронизации и опорные сигналы для измерения параметров в нисходящей линии связи (UL). Опорные сигналы соты сети LTE (CRS) являются основой концепции DSS, поскольку CRS имеют фиксированное частотно-временное значение в ресурсах сети радиодоступа. Поэтому использование субкадров сети LTE, зарезервированных для услуг многоадресной широкополосной одночастотной сети MBSFN, в целях передачи данных сети 5G явился самым простым способом внедрения технологии DSS в совмещенной сети 5G/LTE. Реализация DSS в совмещенной сети 5G/LTE возможна при развертывании сети 5G по неавтономному сценарию (NSA) с опцией 3X [3], согласно которому управление сетью и все соединения в совмещенной сети осуществляются под управлением базовой сети (EPC) 4G (LTE Core Network). Технологически режим DSS предусматривает работу совмещенной сети радиодоступа 5G/LTE как многоадресной широкополосной одночастотной сети MBSFN, при которой часть ресурсных блоков OFDM-сигнала используется для передачи радиоблоков сети 4G (LTE), а другая часть – для передачи радиоблоков сети 5G [1, 2].

Технология DSS до настоящего времени не стандартизована Партнерским проектом 3GPP, а запланированные в его Релизе 17 работы по стандартизации DSS охватывают лишь LTE-2300 TDD и LTE-2600 TDD [6]. Поэтому DSS является вендорозависимым решением, которое находится у разных производителей на различных этапах готовности.

Производителями оборудования рассматривается реализация трех вариантов построения технологии DSS [2], показанных на Рисунке 3. Режим DSS, который решает задачу предотвращения возможных коллизий опорных сигналов 5G с опорными сигналами CRS, является одной из основ опций построения технологии DSS. Опция 1 режима DSS основана на использовании частотно-временных блоков многоадресной широкополосной одночастотной сети MBSFN LTE для передачи данных 5G как услуг широкополосного вещания eMBMS (evolvedMultimedia Broadcast Multicast Services) в сценарии «точка-многоточка».

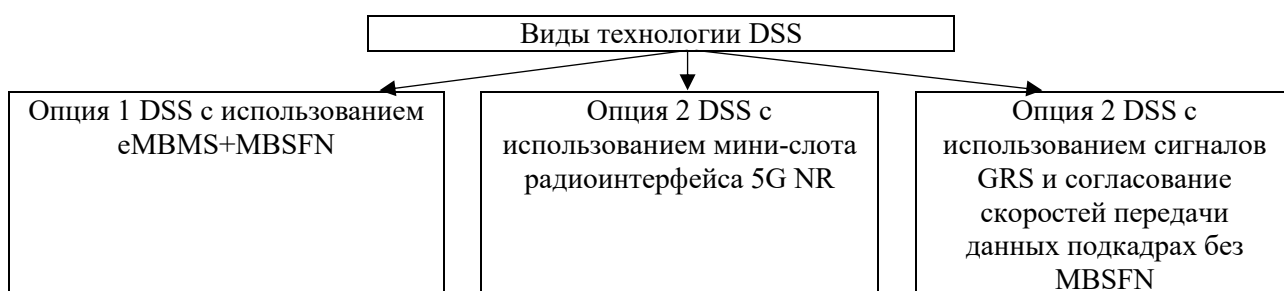


Рисунок 3. Виды DSS

Общая идея использования частотно-временных блоков одночастотной сети MBSFN состоит в том, что в конкретных субкадрах внутри кадра LTE резервируют последние 12 символов OFDM (1 и 2 символы используются для передачи опорных сигналов соты CRS и данных физического канала управления на линии «вниз» – PDCCH), чтобы они были свободны от передачи других данных. Эти OFDM-символы изначально предназначались для использования под широкоэвещательные услуги и «отключены» для передачи других данных. Данная идея была применена в технологии DSS. При этом зарезервированные символы используются для передачи сигналов радиointерфейса 5G вместо сигналов eMBMS сети LTE. Использование субкадров сети LTE, зарезервированных для услуг многоадресной широкоэвещательной сети передачи данных (MBSFN), для передачи данных сети 5G является самым простым способом внедрения технологии DSS в совмещенной сети 5G/LTE. Хотя в общем случае физический канал управления в линии «вниз» (PDCCH) LTE может занимать от одного до трех символов OFDM (с учетом загрузки соты), первые два символа OFDM такого субкадра сети MBSFN используются для физического канала управления в линии «вниз» LTE, а режим DSS для сети 5G может задействовать третий символ. Основным недостатком опции 1 DSS – то, что, если субкадры многоадресной широкоэвещательной одночастотной сети MBSFN используются для динамического частотного шеринга очень часто, этот процесс отнимает частотно-временные ресурсы у абонентов сети LTE, значительно снижая пропускную способность этой сети радиодоступа. Опция 2 режима DSS основана на использовании «мини-слота» LTE. Планирование минислотов доступно также и в радиointерфейсе 5G для приложений URLLC, которые требуют чрезвычайно низкой сквозной задержки и высокой надежности связи. OFDM-символы LTE могут быть размещены в любом месте внутри кадра 5G. Такая передача данных называется «передачей в мини-слотах» [3].

Работа мини-слотами в режиме DSS попросту исключает использование символов, содержащих LTE CRS, и планирует только свободные символы для передачи 5G NR. Основным ограничением применения Опции 2 является то, что у приложений eMBB слишком много ресурсов находится за пределами управления со стороны планировщика 5G NR. Внедрение сетей 5G с технологией DSS рассматривается как эффективный способ упрощенного развертывания сетей радиодоступа пятого поколения (5G) с целью предоставления услуг нового поколения в уже выделенных диапазонах спектра операторами сетей LTE. Данная технология применяется как в диапазонах с частотным разделением дуплекса (FDD): 1800 МГц (n3), 2100 МГц (n1), 2600 МГц (n7), так и в диапазонах с временным разделением (TDD): 2300 МГц (n40) [4]. При анализе возможности внедрения DSS необходимо проводить сопоставление спектральных масок излучения и ширины частотных каналов сетей 5G и сетей LTE-1800, LTE-2100, LTE-2600, функционирующих в режиме FDD. Как правило, операторы используют полосы шириной 5, 10, 15 или 20 МГц, что требует проверки соответствия установленным требованиям стандарта 3GPP при работе в режиме DSS.

Анализ значений ширины частотных каналов, применяемых в сетях LTE, позволяет сделать вывод о технической реализуемости динамического совместного использования спектра между сетями LTE и 5G в диапазонах 1800, 2100 и 2600 МГц. Поскольку ширина канала напрямую определяет параметры ключевых сервисов 5G (eMBB, uRLLC и mMTC), это подтверждает целесообразность применения технологии DSS в совмещенных сетях радиодоступа NG-RAN 5G/4G (LTE). Для технологии DSS в диапазонах частот 1800/2100/2600 МГц (FDD) могут быть использованы сигналы с шириной полосы излучения передатчиков АС и ВС сетей LTE и 5G, равной 5, 10, 15 и 20 МГц [6, 7].

Сравнение основных ЭМС-характеристик (мощностей излучения, уровней внеполосных и побочных излучений и др.) базовых и абонентских станций 5G, использующих технологию

DSS, и ЭМС характеристик базовых и абонентских станций LTE, работающих в наиболее освоенных диапазонах мобильной связи 1800/2100/2600 МГц (FDD), также показало возможность использования уже имеющихся у операторов мобильных сетей выданных на использование частот для сетей LTE в интересах сетей пятого поколения без их повторного оформления для БС 5G, использующих технологию DSS [4].

Заключение

Эволюционное развитие сетей мобильной связи приводит к снижению сложности частотно-территориального планирования радиосетей 4G и 5G для операторов и перенос этого планирования на внутрисетевой уровень как внутрисистемную функцию инфраструктуры сетей. Внедрение сетей 5G обусловит необходимость изменения принципов регулирования использования спектра для внедрения преимуществ совместного использования радиочастотного спектра операторами сетей 4G и 5G путем выдачи разрешений операторам на совместное использование полос радиочастотного спектра (спектрального шеринга), возможности передачи прав на использование радиочастотного спектра, полученных операторами на первичной основе, с согласия регулирующего органа и определения таких условий его использования. Применение технологии динамического частотного шеринга (DSS) в сетях 5G в условиях дефицита частотного ресурса позволит ускорить развертывание таких сетей в уже выделенных операторам частотных каналах сети LTE в диапазонах частот 1800/2100/2600 МГц. Для реализации технологии DSS наиболее привлекательна Опция 1, которая основана на совместном использовании частотно-временных блоков многоадресной ширококвещательной одночастотной сети MBSFN LTE для передачи данных 5G как услуг ширококвещания eMBMS. Хотя использование динамического перераспределения частотного спектра DSS предполагает некоторые сложности, оно обеспечивает серьезные преимущества в использовании имеющегося спектра. Обратная совместимость с существующими устройствами LTE гарантирует, что пользователи LTE не столкнутся с ухудшением качества предоставления услуг. Стандарты 3GPP продолжают развиваться. В Release 16 будет оптимизировано использование ресурсов для DSS. Длина NR PDSCH Type B увеличится с 7 до 9 или 10 символов, шаблоны DMRS предотвратят коллизии с символами, содержащими LTE-CRS. Принципы согласования скоростей LTE-CRS будут применимы к нескольким несущим LTE, что позволит проводить широкополосную передачу 5G NR с наложением на несущие LTE. Это сделает принцип динамического перераспределения частотного спектра еще более перспективным.

Список литературы:

1. Тихвинский В., Уродливченко В., Кетат В., Фролов А. Проблемы и особенности использования динамического частотного шеринга в сетях 5G/LTE // Первая миля. 2021. №1. С. 46-53. <https://doi.org/10.22184/2070-8963.2021.93.1.46.53>
2. Тихвинский В. О., Терентьев С. В., Коваль В. А. Сети мобильной связи 5G: технологии, архитектура и услуги. М.: Медиа Паблишер, 2019. 376 с.
3. Копылов Д. Динамическое перераспределение частотного спектра DSS // Электронные компоненты. 2021. №1. С. 36–38.
4. Ташполотов Ы. Т., Абдыраева Н. Р. Разработка фрактальной антенны на основе кривой Коха для сотовых систем связи, работающих на частотах 2100 и 2600 МГц // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №6. С. 197-204.

5. Saha R. K., Cioffi J. M. Dynamic spectrum sharing for 5G NR and 4G LTE coexistence-a comprehensive review //IEEE Open Journal of the Communications Society. – 2024. – Т. 5. – С. 795-835. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2024.3351528>

6. Shrivastava V. K., Baek S., Baek Y. 5G evolution for multicast and broadcast services in 3GPP release 17 //IEEE Communications Standards Magazine. – 2022. – Т. 6. – №. 3. – С. 70-76. <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.0001.2100068>

7. Рекомендация 3GPP TS 38.104 V15.0.0 (2017-12) Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.

References:

1. Tikhvinskij, V., Urodlivchenko, V., Ketat, V., & Frolov, A. (2021). Problemy i osobennosti ispol'zovaniya dinamicheskogo chastotnogo sheringa v setyakh 5G/LTE. *Pervaya milya*, (1), 46-53. (in Russian). <https://doi.org/10.22184/2070-8963.2021.93.1.46.53>

2. Tikhvinskij, V. O., Terent'ev, S. V., & Koval', V. A. (2019). Seti mobil'noj svyazi 5G: tekhnologii, arkhitektura i uslugi. (in Russian).

3. Kopylov, D. (2021). Dinamicheskoe pereraspredelenie chastotnogo spektra DSS. *Elektronnye komponenty*. (1), 36–38. (in Russian).

4. Tashpolotov, Y., & Abdyraeva, N. (2018). Development of the fractal antenna of Koch curve for cellular communication systems operating at 2100 and 2600 MHz. *Bulletin of Science and Practice*, 4(6), 197-204. (in Russian).

5. Saha, R. K., & Cioffi, J. M. (2024). Dynamic spectrum sharing for 5G NR and 4G LTE coexistence-a comprehensive review. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 5, 795-835. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2024.3351528>

6. Shrivastava, V. K., Baek, S., & Baek, Y. (2022). 5G evolution for multicast and broadcast services in 3GPP release 17. *IEEE Communications Standards Magazine*, 6(3), 70-76. <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.0001.2100068>

7. Rekomendatsiya 3GPP TS 38.104 V15.0.0 (2017-12) Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception.

Поступила в редакцию
02.03.2026 г.

Принята к публикации
15.03.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Абдыраева Н. Р., Полетаев А. Д., Мамазакир уулу К. Новые подходы использования радиочастотного спектра в сетях 4G и 5G // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №5. С. 233-239. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/28>

Cite as (APA):

Abdyraeva, N., Poletaev, A., & Mamazakir uulu, K. (2026). New Approaches to Using the Radio Frequency Spectrum in 4G and 5G Networks. *Bulletin of Science and Practice*, 12(5), 233-239. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/126/28>