ПРОБЛЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ использования динамического частотного шеринга в сетях 5G/LTE

В.Тихвинский, д.э.н., академик РАЕН, проф. МВТУ им. Н.Э.Баумана, гл. науч. сотр. ФГУП НИИР / vtniir@mail.ru,
В.Уродливченко, к.воен.н., начальник отдела ООО "Гейзер-Телеком" / urodlivchenko@g-tl.ru,
В.Кетат, к.т.н., специалист ООО "Гейзер-Телеком" / ketat@g-tl.ru,
А.Фролов, главный специалист ООО "Гейзер-Телеком" / frolov@g-tl.ru

УДК 621.391.82, DOI: 10.22184/2070-8963.2021.93.1.46.53

Одним из наиболее привлекательных способов быстрого развертывания сетей пятого поколения в условиях отсутствия выделений операторам со стороны администрации связи новых полос частот является построение сети 5G на основе режима динамического частотного шеринга (совместного использования) (Dynamic Spectrum Sharing, DSS) в уже имеющихся частотных каналах. В статье 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 обеспечения внутрисистемной электромагнитной совместимости таких сетей.

Введение

Концепция динамического шеринга спектра DSS [1, 2] основана на использовании гибких возможностей в конструкции физического уровня радиоинтерфейса 5G. Она использует идею о том, что сигналы радиоинтерфейса 5G должны передаваться через неиспользуемые ресурсы радиоинтерфейса LTE в одном частотном канале. В сети LTE все каналы статически назначаются в частотно-временной области, в то время как физический уровень радиоинтерфейса 5G чрезвычайно гибок для опорных сигналов, каналов данных и управления, что позволяет создавать динамические конфигурации, которые минимизируют вероятность коллизий (наложений) при передаче данных двумя технологиями одновременно и использовании общей полосы частотного канала.

При этом должно обеспечиваться планирование частотно-временных ресурсов для передаваемых сигналов данных пользователей радиоинтерфейса 5G в субкадрах сети LTE. Это планирование должно обеспечивать отсутствие воздействия (наложения) сигналов пользователей радиоинтерфейса 5G на данные пользователей LTE в основных физических каналах, таких как передача опорных сигналов синхронизации, и опорных сигналов для измерения

Таблица 1. Перечень решений DSS различных вендоров

Вендор	Huawei	Ericsson	Nokia	ZTE	Qualcomm	MediaTek	Samsung
Название DSS-решения	CloudAIR	ESS – Ericsson Spectrum Sharing	DSS	SuperDSS, Magic Radio Pro	Snapdragon X60	Dimensity 1000	DSS

параметров в линии вниз (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 широковещательной 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 широковещательной одночастотной сети MBSFN [4, 5], при которой часть ресурсных блоков OFDM-сигнала используется для передачи радиоблоков сети 4G (LTE), а другая часть – для передачи радиоблоков сети 5G.

Варианты построения технологии DSS

Технология DSS до настоящего времени не стандартизована Партнерским проектом 3GPP, а запланированные в его Релизе 17 работы по стандартизации DSS [6] охватывают лишь LTE-2300 TDD и LTE-2600 TDD. Поэтому DSS является вендорозависимым решением, которое находится у разных производителей на различных этапах готовности. В табл.1 показаны основные решения различных вендоров, реализующие технологию DSS для сетей 5G [7].

Производителями оборудования рассматривается реализация трех вариантов построения технологии DSS, показанных на рис.1.

Режим DSS, который решает задачу предотвращения возможных коллизий (наложений) опорных сигналов 5G с опорными сигналами CRS, является одной из основ опций построения технологии DSS, показанных на рис.2.

Опция 1 режима DSS основана на использовании частотно-временных блоков многоадресной широковещательной одночастотной сети MBSFN LTE для передачи данных 5G как услуг широковещания eMBMS (evolved

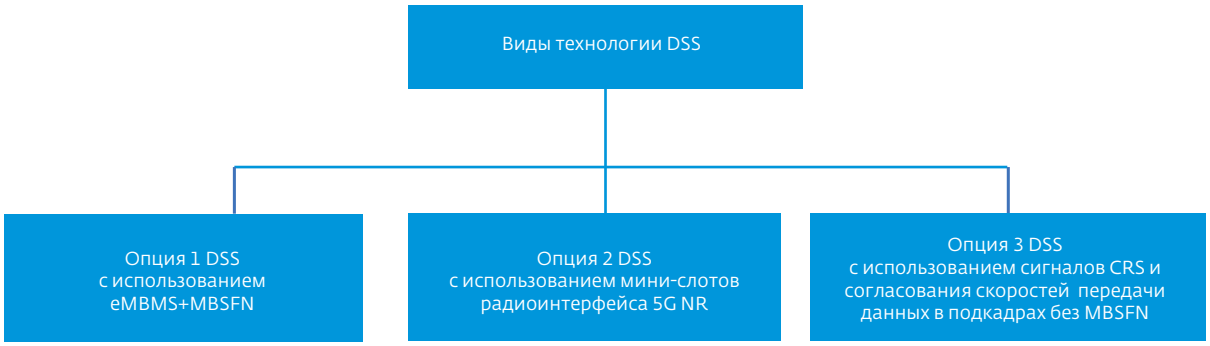


Рис.1. Виды технологий DSS

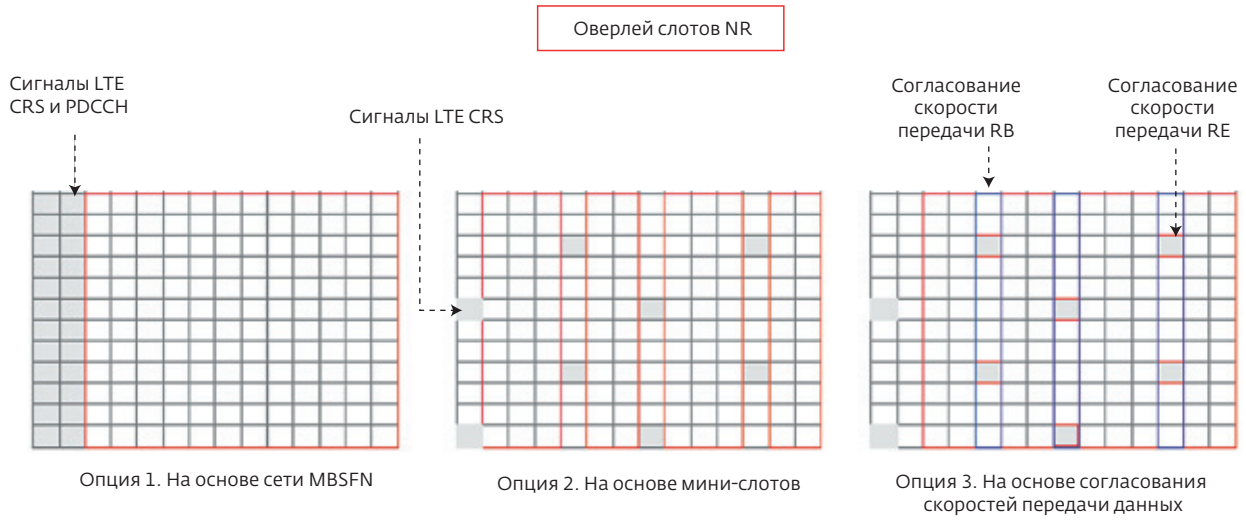


Рис.2. Механизмы опции технологий DSS [1]

Multimedia Broadcast Multicast Services) в сценарии "точка-многоточка".

Общая идея использования частотно-временных блоков одночастотной сети MBSFN состоит в том, что в конкретных субкадрах внутри кадра LTE (показан на рис.3) резервируют последние 12 символов OFDM (1-й и 2-й 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 широковещательные услуги и "отключены" для передачи других данных. Данная идея была применена в технологии DSS. При этом зарезервированные символы используются для передачи сигналов радиоинтерфейса 5G вместо сигналов eMBMS сети LTE.

Использование субкадров сети LTE, зарезервированных для услуг многоадресной широковещательной 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.

Основной недостаток опции 1 DSS – то, что, если субкадры многоадресной широковещательной 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 мини-слотов доступно также и в радиоинтерфейсе 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, как показано на рис.2. Такая передача данных называется "передачей в мини-слотах" [9].

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.

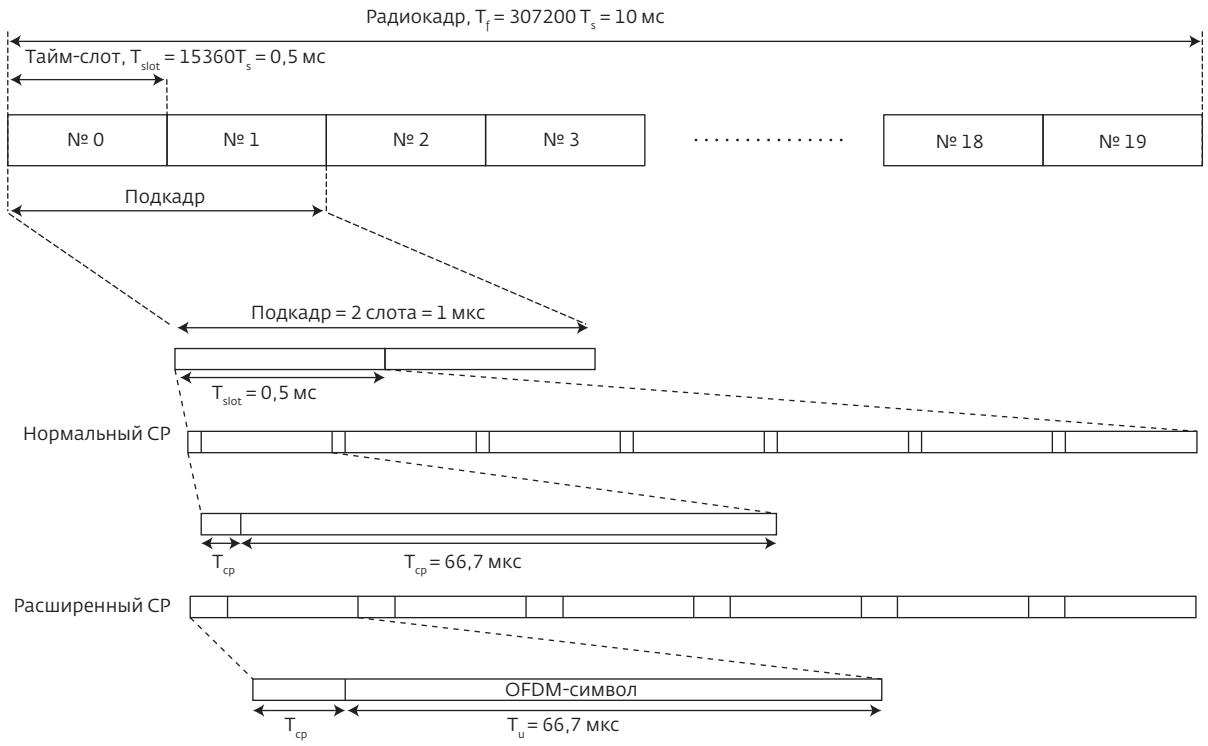
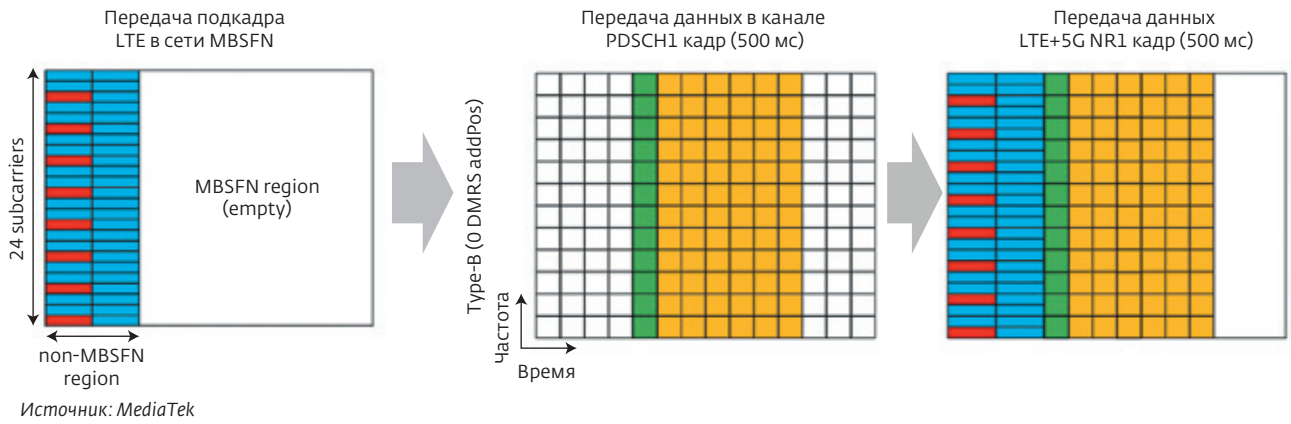


Рис.3. Структура кадра LTE для частотного дуплекса (FDD)

Последняя из рассматриваемых опций, Опция 3 режима DSS, основана на согласовании скорости передачи опорных сигналов соты CRS в субкадрах без использования MBSFN. Ожидается, что именно эти сигналы будут наиболее часто применяться для каналов передачи данных радиоинтерфейса 5G.

В данном варианте абонентское устройство UE выполняет исключение (режекцию) ресурсных элементов (RE), используемых опорными сигналами соты CRS LTE, так что планировщик радиоинтерфеса 5G знает, какие ресурсные элементы RE недоступны для планирования данных радиоинтерфейса 5G по каналу PDSCH (совместный физический канал линии связи "вниз").

В Опции 3 для неавтономного сценария NSA при двойном подключении E-UTRA (Evolved Universal Terrestrial Radio Access) – 5G NR Dual Connectivity (EN-DC) несущая радиоинтерфейса



Источник: MediaTek

Рис.4. Формирование кадров MBSFN для Опции 1 DSS

LTE служит для привязки мобильности базовой станции Master Node (мастер-БС), в то время как несущая радиоинтерфейса 5G обеспечивает расширенную услугу передачи данных и служит в качестве Secondary Node (вторичной БС).

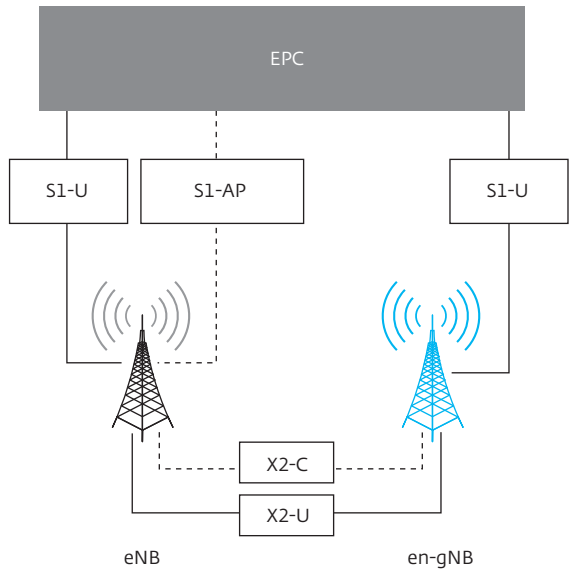


Рис.5. Неавтономный вариант развертывания сети 5G NR

Особенности технологии DSS на основе сети MBSFN

Поскольку основным методом реализации DSS выбрана Опция 1, разработчики используют службу многоадресной передачи мультимедийного вещания по одночастотной сети MBSFN. Механизм MBSFN иногда блокирует пилот-сигналы LTE и заменяет заблокированные ресурсы LTE передачей данных сети MBSFN, в которую вставляет сигналы синхронизации 5G.

Подкадры LTE MBSFN играют ключевую роль в реализации DSS в линии связи "вниз". Эти субкадры давно стандартизированы 3GPP для сети LTE в целях предоставления широковещательных услуг для мобильного соединения абонентов в сети. Теперь подкадры LTE MBSFN могут использоваться для передачи трафика 5G NR в канале LTE. На рис.4 используемые радиоблоки RB каналов управления показаны синим и красным цветом в начале подкадра. Пустая область – это часть подкадра LTE MBSFN, изначально предназначенная для передачи полезной нагрузки широковещательной службы eMBMS, которая теперь может быть задействована под данные интерфейса 5G NR.

На рис.4 также показан объединенный подкадр, передаваемый по каналу DSS, с областью ресурсных блоков, относящихся к сети MBSFN и заполненных данными абонентов 5G. Использование подкадров MBSFN допускает любую нумерологию сети пятого поколения для передачи сигналов 5G. Эта нумерология не

Таблица 2. Ширина частотного канала передатчиков АС и БС сетей LTE

Параметры	Ширина частотного канала АС и БС, МГц для OFDM			
Разнос поднесущих частот SCS = 15 кГц	5	10	15	20
Число передаваемых радиоблоков 5G в канале	25	50	75	100

Таблица 3. Ширина частотного канала передатчиков АС и БС сетей 5G

Параметры	Ширина частотного канала АС и БС, МГц для CP-OFDM			
Разнос поднесущих частот SCS = 15 кГц	5	10	15	20
Число передаваемых радиоблоков 5G в канале	25	52	79	106

обязательно должна соответствовать разнесению поднесущих, определенных для сети LTE (15 кГц).

Для построения сети 5G с режимом DSS Опция 1 используют один из семи сценариев развертывания сети, предложенных Партнерским проектом 3GPP [3, 8]. Учитывая, что наиболее подходящим вариантом построения сети является неавтономный вариант NSA, когда от сети предыдущего поколения (LTE) сохраняется базовая сеть EPC, используемая для поддержки сети радиодоступа 5G NR. Выбранный сценарий NSA реализует вариант архитектуры сети, в котором базовые станции сети 5G (en-gNB), использующие радиоинтерфейс 5G NR, взаимодействуют по интерфейсам X_2 с базовыми станциями сети LTE eNB, как показано на рис.5, и не требуют двух отдельных соединений с опорной сетью 5G Core и EPC для сигнализации.

Рассмотренный выше вариант неавтономного развертывания (NSA) сети 5G упрощает и ускоряет строительство на основе соединений в плоскости управления по интерфейсам X2-C/S1-AP и в плоскости пользователя по интерфейсам X2-U/S1-U, используемым между базовыми станциями eNB, en-gNB и базовой сетью EPC. Реализация NSA-сценариев для варианта 3X не требует модернизации протоколов и интерфейсов опорной сети EPC и базовых станций eNB.

Разработчиками при создании радиомодемов абонентских станций 5G для реализации сценария NSA в архитектуре совмещенной сети 5G/LTE используются два возможных подхода: архитектура с одним чипом (многорежимный модем LTE+5G); архитектура с двумя автономными чипами (модем LTE + модем 5G). В дополнение к очевидному уменьшению габаритов за счет совместного использования общих блоков, таких как предварительная (front-end) цифровая обработка, одночиповое решение DSS в модеме на кристалле SoC обладает неотъемлемым преимуществом для работы по неавтономному сценарию (NSA) радиоинтерфейса 5G.

Внедрение сетей 5G с технологией DSS

Технология динамического шеринга спектра (DSS) внедряется и применяется, как метод упрощенного развертывания сети радиодоступа 5G с целью предоставления услуг нового поколения в уже выделенных диапазонах спектра операторами сетей LTE, использующими как частотное разделение каналов доступа (FDD): 1800 МГц (n3), 2100 МГц (n1), 2600 МГц (n7), так и временное разделение (TDD): 2300 МГц (n40).

При исследовании возможностей внедрения DSS необходимо сравнить спектральные маски излучения и ширину используемых частотных каналов сетей 5G и сетей LTE-1800, LTE-2100, LTE-2600 с режимом FDD, которые, как правило, выбираются оператором равными 5, 10, 15 или 20 МГц и показать выполнение требований 3GPP к ним в режиме DSS.

Исходя из анализа значений ширины частотных каналов в сетях LTE можно сделать вывод о возможности внедрения динамического

шеринга спектра сетей LTE и сетей 5G в частотных диапазонах сетей LTE-1800, LTE-2100, LTE-2600, так как ширина частотного канала определяет параметры ключевых услуг 5G (eMBB, uRLLC и eMTC) и, соответственно, обоснованность использования режима 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 БС сетей LTE и 5G, равной 5, 10, 15 и 20 МГц.

В табл.2 и 3 приведены характеристики OFDM-сигналов, формирующих частотные каналы в сетях радиодоступа LTE и 5G. Их сравнение показывает, что при одинаковых значениях ширины полосы излучения передатчиков абонентских и базовых станций сетей LTE и сетей 5G и одинаковых значениях разносов поднесущих OFDM-сигнала (SRS=15 кГц), используемых в технологии DSS, число радиоблоков, формирующих соответствующий частотный канал 5G, различается, начиная с ширины канала 10 МГц.

Из анализа данных табл.2 и 3 также видно, что при формировании частотных каналов в сети 5G шириной 10, 15 и 20 МГц используется большее число ресурсных радиоблоков (RB) по сравнению с сетью LTE на два, четыре и шесть RB соответственно, но спектральная маска излучения не выходит за пределы ограничительных линий установленных 3GPP для внеполосных излучений [4].

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 Роскомнадзором разрешений на использование частот для сетей LTE в интересах сетей пятого поколения без их повторного оформления для БС 5G, использующих технологию DSS.

Предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы для внедрения сетей 5G с технологией DSS

Совместное использование сетей 5G/LTE в диапазонах частот 1800/2100/2600 МГц (FDD) и 2300 МГц (TDD) на основе динамического шеринга спектра потребует пересмотра ряда действующих нормативно-правовых актов (НПА) отрасли.

Это касается прежде всего:

1. Методики расчета размеров разовой платы и ежегодной платы за использование в Российской Федерации радиочастотного спектра.
2. Перечня наименований услуг связи, вносимых в лицензии на осуществление деятельности в области оказания услуг связи и лицензионных условий осуществления деятельности в области оказания соответствующих услуг связи.
3. Правил применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE и его модификации LTE-Advanced.
4. Правил применения оборудования систем базовых станций и ретрансляторов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE.

Предложения по корректировке действующих НПА отрасли в части динамического спектрального шеринга (DSS) должны учитывать следующие факторы:

- возможность реализации и внедрения вендоронезависимых решений на основе технологии DSS;
- национальные особенности в управлении, регулировании и использовании радиочастотного спектра;
- особенности действующей нормативно-правовой базы отрасли связи в области технического регулирования;
- особенности построения сетей радиодоступа для технологий 4G (LTE) и 5G NR, стандартизованные Партнерским проектом 3GPP и МСЭ;
- вариант развертывания сети для неавтономного сценария NSA с двойным подключением базовых станций LTE и 5G к опорной сети EPC поколения 4G;
- использование одночастотной сети eMBMS в сети радиодоступа LTE и 5G;
- применение абонентских терминалов, поддерживающих режим динамического спектрального шеринга, в совмещенных сетях 4G/5G при использовании одночастотной сети eMBMS.

Заключение

Внедрение 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 широковещательной одночастотной сети MBSFN LTE для передачи данных 5G как услуг широковещания eMBMS.

Внедрение рассмотренной в статье технологии создаст возможность использования уже имеющихся у операторов мобильных сетей разрешений на задействование частот, выданных Роскомнадзором операторам сетей LTE, для развертывания сетей 5G без их повторного оформления для базовых станций 5G, применяющих технологию DSS.

Совместное использование сетей 5G/LTE с использованием технологии динамического шеринга спектра в диапазонах частот 1800/2100/2600 МГц (FDD) и 2300 МГц (TDD) потребует пересмотра ряда действующих нормативно-правовых актов отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. NR and 4G LTE Coexistence, WhitePaper: A Comprehensive Deployment Guide to Dynamic Spectrum Sharing. MediaTek, Inc., 2020.
2. Nokia dynamic spectrum sharing for rapid 5G coverage rollout, White Paper. Nokia, 2020.
3. **Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Коваль В.А.** Сети мобильной связи 5G: технологии, архитектура и услуги. М.: Медиа Паблишер, 2019. 376 с.
4. 3GPP TS 25.346. Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN). Stage 2.
5. 3GPP TS 36.440. General aspects and principles for interfaces supporting Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) within E-UTRAN.
6. 3GPP RP-193232 New WID on NR Dynamic spectrum sharing (DSS)
7. **Tikhvinskiy V., Deviatkin E., Aitmagambetov A., Kulakayeva A.** Provision of IoT services for co-located 4G/5G networks utilization with dynamic frequency sharing // Proceedings of 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH). 2020.EMCTECH 49634.
8. 3GPP TR 38.912. Study on New Radio (NR) access technology of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN). Stage 2.