

Исследование проблем обеспечения ЭМС РЭС стандартов LTE и McWILL в диапазоне 1800 МГц и пути их решения

Калугин В.Г., первый заместитель генерального директора, главный инженер АО «НРТБ», к.т.н.; kalugin@nrtb.ru
Сухачкий С.В., заместитель начальника отдела экспериментальных исследований АО «НРТБ»; suhatskiy@nrtb.ru

УДК 621.396

Аннотация. Исследуется уровень внеполосных и паразитных излучений передающих устройств типовых радиомодулей базовых станций (БС) сетей McWILL и LTE. Предложена усовершенствованная методика стендовых измерений, обеспечивающая точность измерений до уровней -95 дБн. Показано, что типовая аппаратура БС сетей LTE и McWILL реализует уровень внеполосного и паразитного излучений на 3–7 дБ ниже установленного Рекомендациями 3GPP.

Ключевые слова: LTE, McWILL, внеполосное излучение, паразитное излучение, ЭМС, измерительный стенд.

ВВЕДЕНИЕ

Радиоинтерфейс стандарта McWILL имеет ряд технологических особенностей, существенно влияющих на эффективную работу сети мобильной радиосвязи в сложной помеховой обстановке. Проработка этих факторов особенно актуальна при использовании полос радиочастот в пределах дуплексного промежутка существующих стандартов мобильной радиосвязи в диапазоне 1800 МГц (DSC1800 и LTE Band 3). В качестве ключевых здесь выступают показатели подавления внеполосного излучения, реализуемые в типовой передающей аппаратуре БС сетей McWILL и LTE. Уровень развязки соседних каналов должен быть достаточно велик. Поэтому задача достоверного измерения соответствующих уровней обладает определенной степенью сложности и требует создания специализированного стенда.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Взаимное помеховое воздействие радиосистем имеет два источника: первый связан с проникновением в рабочую полосу одной системы внеполосного (паразит-

ного) излучения другой системы; второй — с неполным подавлением сигнала одной системы в фильтрах приемного тракта другой. Для современных технологий второй источник воздействия утратил свое значение в связи с переходом на цифровые методы фильтрации, обеспечивающие очень высокие показатели развязки по частоте. Поэтому все задачи по обеспечению ЭМС для современных систем сводятся к реализации заданного уровня подавления внеполосного (паразитного) излучения.

Особую актуальность этот вопрос приобрел с переходом на стандарты 4G, в которых используются сигналы с широкой полосой, что приводит к существенному росту комбинационных продуктов, излучаемых в эфир. Несмотря на повсеместное внедрение таких сетей общего пользования как LTE, данных по уровню внеполосного (паразитного) излучения для типовой аппаратуры в широком доступе нет. Это очень усложняет решение практических вопросов, связанных с организацией работы не только других сетей, но и сетей LTE на совмещенных

Рисунок 1

Методика выбора рабочей точки измерителя, обеспечивающая максимальную точность оценки ACPR (ACLR)

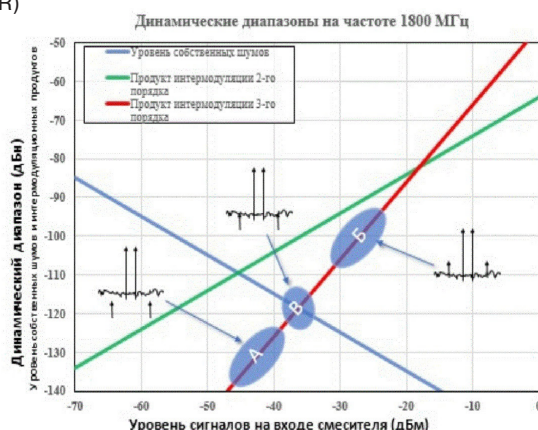
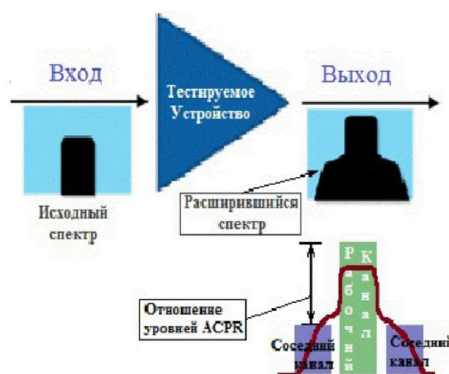
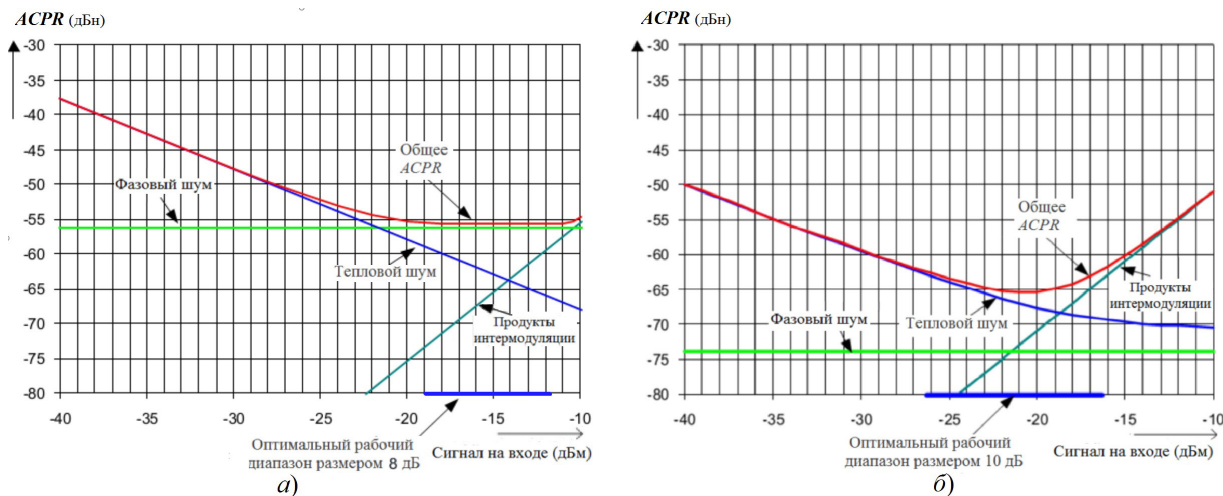


Рисунок 2

Выбор оптимальных параметров, обеспечивающих максимальное значение ACPR для анализаторов спектра: а – R&S® FSL; б – R&S® FSP



территориях. Конкретным примером может служить вопрос об обеспечении ЭМС между сетями LTE, работающими в Band 3 [1], и сетью McWILL в диапазоне 1800 МГц. Статья посвящена вопросу практической оценки уровня внеполосных излучений типовой аппаратуры сетей LTE и McWILL и конкретизации выводов о возможности обеспечения ЭМС между ними в диапазоне 1800 МГц.

Возможные сценарии межсетевых воздействий для случая развертывания сети McWILL в пределах дуплексного промежутка (1785... 1805 МГц) диапазона 1800 МГц существующих стандартов сотовой связи (DCS1800 и LTE Band 3) подробно рассмотрены в [2, 3]. Установлено, что наиболее высокий уровень взаимного влияния наблюдается между БС LTE и БС McWILL. Если сеть McWILL работает в верхней части разделительного промежутка (1797,5... 1802,5 МГц), то основное воздействие оказывается на приемный тракт БС McWILL со стороны передатчиков БС LTE; если в нижней части (1787,5... 1792,5 МГц) – на приемный тракт БС LTE со стороны передатчиков БС McWILL. Чтобы определить уровни межсистемных помех, необходимо измерить внеполосные и паразитные излучения в передающих трактах радиомодулей БС сетей McWILL и LTE.

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Согласно рекомендациям 3GPP [1] и результатам [2, 3], условие ЭМС между сетями McWILL и LTE будет обеспечено, если продукты внеполосного и паразитного излучений не превосходят –56,8 дБн. В реальной аппаратуре следует ожидать несколько более высоких показателей. Поэтому точность должна обеспечиваться на уровне не хуже –65 дБн. Это требует использования высокоточного измерительного оборудования, дополнительно адаптированного для расширения диапазона измерения параметра подавления уровня излучения в

соседнем канале (Adjacent Channel Power Ratio – ACPR). Параметр диапазона измерений ACPR определяется такими характеристиками измерительного оборудования, как:

- уровень интермодуляции 3-го порядка;
- уровень собственных шумов;
- разрядность АЦП.

Эти параметры и технология установки оптимальных настроек измерительного прибора, обеспечивающая максимум диапазона измерений ACPR, приведены на рис. 1. В частности, рабочая точка, определяемая по уровню входящего сигнала (рис. 2), должна выбираться с учетом конкретного вида используемого измерительного оборудования.

При неправильно выставленных настройках измерительного оборудования будет наблюдаться искажение реального спектра сигнала, сформированного радиопередающим устройством. Проведение измерений в зоне выше верхней границы оптимального рабочего диапазона, показанного на рис. 2, приводит к увеличению индицируемого прибором уровня внеполосных составляющих за счет нелинейных искажений в самом измерительном приборе – интермодуляции в смесителе анализатора спектра. Работа с сигналами, уровень которых меньше нижней границы оптимального диапазона, ведет к сокрытию реального уровня внеполосных излучений в собственных шумах прибора.

Дополнительное увеличение диапазона измерения значения ACPR возможно за счет усложнения схемы измерения, т.е. включения режекторного фильтра (РЖФ), полоса заграждения которого настроена на полосу функционирования измеряемого сигнала. Такой вариант особенно полезен для обмеров РЭС систем связи, использующих нестабильные каналы с глубокими замираниями, в которых может наблюдаться высокая контрастность уровней сигналов [4, 5].

Рисунок 3

Спектрограмма радиомодуля XWR6408-18 RRU (McWILL) на несущей частоте 1790,0 МГц

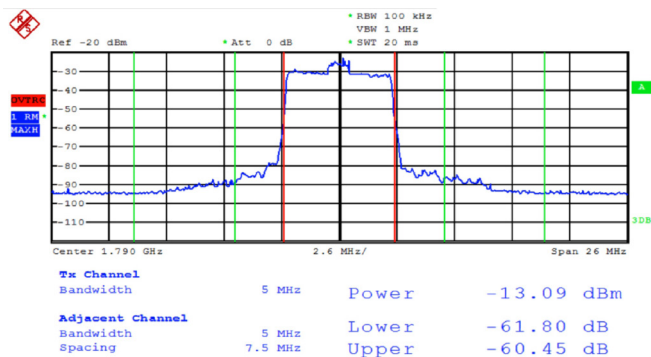


Рисунок 4

Спектрограмма радиомодуля XWR6408-18 RRU (McWILL) на несущей частоте 1790,0 МГц в режиме с дополнительным фильтром для подавления излучения в нижнем соседнем канале

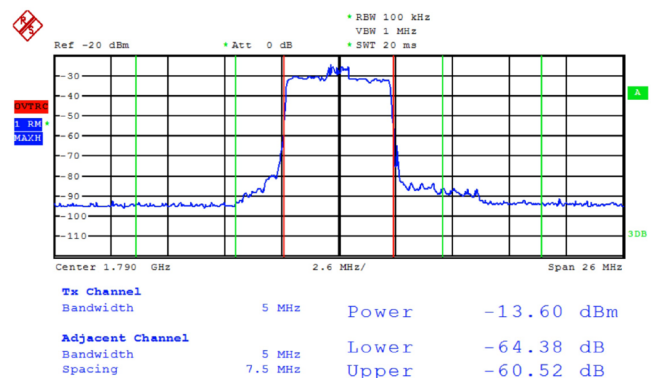
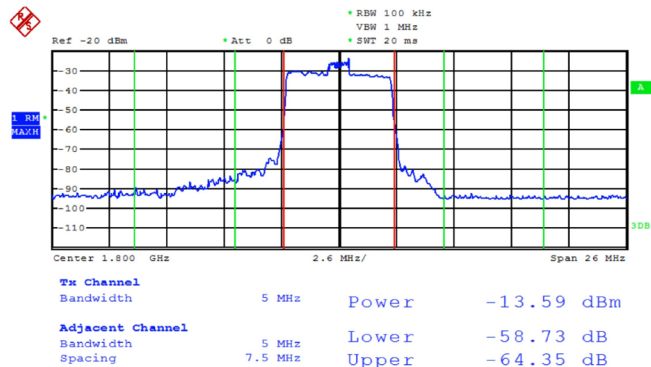


Рисунок 5

Спектрограмма радиомодуля XWR6408-18 RRU (McWILL) на несущей частоте 1800,0 МГц в режиме с дополнительным фильтром для подавления излучения в верхнем соседнем канале



Технологическая сложность решения состоит в том, что в сетях 4G сигналы имеют очень высокую крутизну скатов спектра на краях рабочего диапазона (порядка 65 дБ/250 кГц при рабочих полосах до 20 МГц). Поэтому у фильтра должна быть такая же или более высокая крутизна скатов на краях полосы режекции. Реализовать это можно только для достаточно высокого порядка

фильтра с компенсацией температурного дрейфа.

Как можно видеть из рис. 2, для рассматриваемой задачи не достаточно точности, обеспечиваемой анализатором спектра R&S® FSL. С его помощью можно получить качественное решение только при использовании РЖФ на рабочую полосу обмеряемого сигнала, поэтому для проведения работ был выбран анализатор R&S® FSP. И только для замеров сниженных уровней внеполосного излучения, наблюдаемых при применении дополнительных аналоговых фильтров, в схему стенда включался и РЖФ на рабочую полосу сигнала.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Специалистами АО «НРТБ» на базе испытательной лаборатории измерения параметров электромагнитной обстановки (Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.22МЭ59) были проведены экспериментальные обмеры как базового, так и абонентского оборудования стандартов LTE и McWILL. Режим измерений выбирался по изложенной выше методике.

На рис. 3 представлена спектрограмма, снятая для радиомодуля XWR6408-18 RRU (McWILL) при частичной мощности на канал 3Вт. Видно, что ослабление внеполосных излучений в соседнем канале (5 МГц в соответствии со спецификацией 3GPP) при защитном интервале 2,5 МГц составило: -61,8 дБн — для нижнего и -60,5 дБн — для верхнего каналов, соответственно.

Стандартной опцией оборудования БС McWILL является наличие полосовых фильтров, выделяющих частотный диапазон, соответствующий дуплексному разнесу. Спектрограммы сигналов McWILL при работе на краях диапазона частот в условиях применения полосовых фильтров, представлены на рис. 4 и 5.

Из рисунков видно, что уровень подавления в соседнем канале приема, соответствующем полосе работы LTE FDD, при использовании дополнительных полосовых фильтров составил -64 дБн. Нужно отметить, что при измерениях с помощью анализатора R&S® FSP этот уровень близок к предельному значению, определяемому уровнем собственных шумов. Реальный уровень внеполосных составляющих в полосе заграждения фильтра, соответствующей работе приемника БС LTE, заметно ниже. Его удастся измерить только в режиме с РЖФ.

Результаты измерений и спектр сигнала БС McWILL (XWR6408-18 RRU) до прохождения дополнительного фильтра и АЧХ фильтра показаны на рис. 6. Как можно видеть, уточненная оценка уровня подавления внеполосного излучения для защитного интервала 2,5 МГц составила около -90 дБн. Полученные результаты позволяют заключить, что для сценария воздействия БС McWILL1800 → БС LTE1800 выполняются условия обеспечения ЭМС. С применением дополнительных полосовых фильтров достигается значительный запас (более 33 дБ) по отношению к требованиям Рек. 3GPP [1], без этих фильтров запас составляет около 7,0—7,5 дБ.

Нужно отметить, что для сценария воздействия БС

Рисунок 6

Измерение спектра БС McWILL (XWR6408-18 RRU) на несущей 1790,0 МГц в режиме с дополнительным фильтром. Применена методика режекторной фильтрации в рабочей полосе

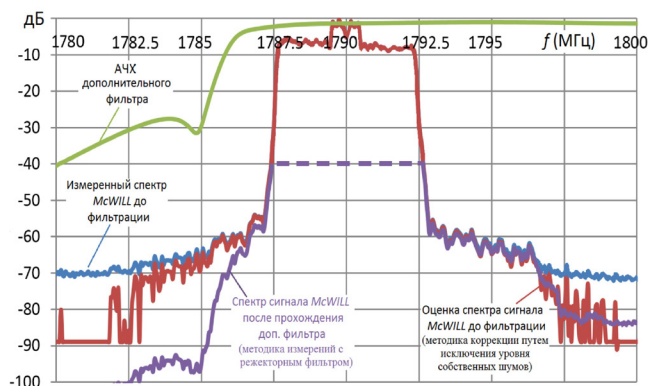


Рисунок 7

Режекторный СВЧ фильтр 4-го порядка с компенсацией температурного дрейфа для БС McWILL1800

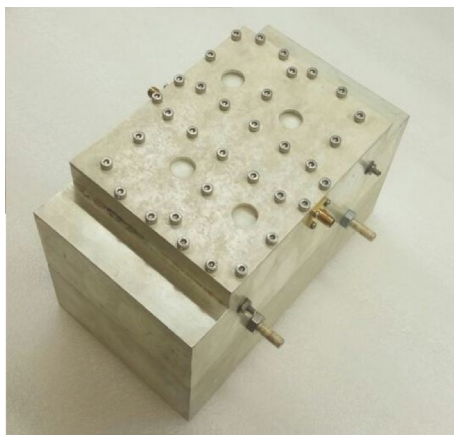
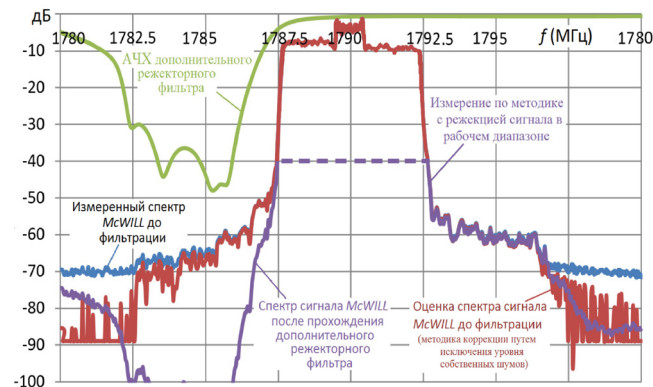


Рисунок 8

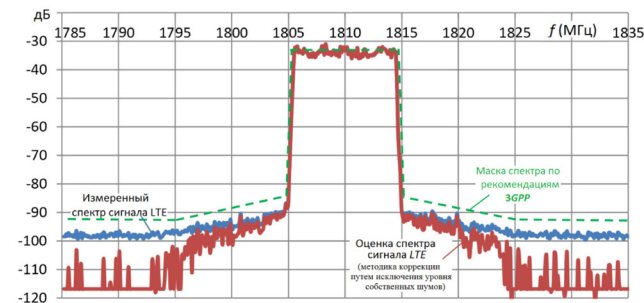
Измерение спектра БС McWILL (XWR6408-18 RRU) на несущей 1790,0 МГц в режиме с дополнительным РЖФ 4-го порядка. Применена методика режекторной фильтрации в рабочей полосе



McWILL → БС LTE возможно еще более значительное сокращение защитного интервала (до 1 МГц) за счет применения дополнительных фильтров с более высокой крутизной спадов АЧХ. По эксплуатационным параметрам

Рисунок 9

Спектрограмма радиосигнала БС LTE (NSN Flexi Multiradio) с рабочей полосой 10 МГц. Несущая частота 1810,0 МГц



трам в диапазоне радиочастот 1800 МГц наиболее подходящими можно считать режекторные СВЧ фильтры 4–8 порядка с компенсацией температурного дрейфа. Пример реализации такого фильтра представлен на рис. 7.

С помощью представленной технологии могут быть осуществлены доработки как БС McWILL, так и БС LTE, направленные на снижение уровня взаимных помех. Анализ показал, что их установка позволит снизить уровень внеполосных составляющих излучений ниже – 90 дБн при защитных полосах 1 МГц.

На рис. 8 представлена АЧХ данного фильтра и спектрограмма сигнала БС стандарта McWILL (XWR6408-18 RRU) после включения фильтра в РЧ тракт БС. Уровень подавления составил – 88 дБн при защитном интервале 1 МГц.

Внедрение технологии РЖФ на БС сетей 4G имеет хорошие перспективы, поскольку позволяет существенно повысить эффективность использования спектрального ресурса. Действительно, если обратиться к сетям общего пользования стандарта LTE, то можно заметить, что в подавляющем большинстве случаев они используют режим FDD. Для него наиболее негативным (с точки зрения обеспечения ЭМС) является воздействие по сценарию БС LTE1 → АС LTE2. Введение РЖФ напрямую снизит уровень указанного воздействия на 30–40 дБ и обеспечит условия для сокращения частотных защитных интервалов до 1 МГц. Для современной структуры распределения спектра между операторами, используемыми на территории РФ защитные частотные интервалы 5 МГц, можно освободить около 15% частотного ресурса, занятого сетями LTE. В соответствии с [6–11], это позволит заметно поднять экономические показатели эффективности даже на уровне отрасли в целом.

Перейдем к сценарию воздействия БС LTE1800 → БС McWILL1800. Спектрограмма сигнала БС (NSN Flexi Multiradio) стандарта LTE шириной 10 МГц, зарегистрированного на выходе передатчика, работающего на частоте 1810,0 МГц, представлена на рис. 9. Там же приведена спектрограмма после коррекции по уровню собственных шумов, рекомендованная производителем измерительного оборудования R&S® FSP для увеличе-

ния динамического диапазона.

Как видно из рис. 9, наибольшая спектральная плотность мощности внеполосных излучений сосредоточена в полосе, соответствующей интермодуляции 3-го порядка, возникновение которой связано с нелинейным режимом работы передатчика БС. Ширина полосы, занимаемой продуктами интермодуляции, напрямую определяется шириной спектра сигнала. Действительно, границы спектральных составляющих ИМЗ можно рассчитать как $2f_n - f_v$ и $2f_v - f_n$, где f_v и f_n — частоты верхней и нижней спектральных составляющих (верхняя и нижняя поднесущие OFDM сигнала LTE).

Результаты измерений показали, что уровень внеполосного излучения БС LTE1800 при отстройках от края рабочего диапазона на 2,5 МГц составляет –60,8 дБн. Это ниже уровня, заданного в Рек. 3GPP [1] (зеленая штриховая кривая на рис. 9), на 4 дБ. Поэтому условия обеспечения ЭМС выполняются и для сценария воздействия БС LTE1800 → БС McWILL1800. Запас 4 дБ демонстрирует, что оценки необходимого пространственного разнесения антенн БС McWILL и БС LTE, полученные в [2, 3], могут быть скорректированы в лучшую сторону.

Так, если воспользоваться формулой затухания на трассах с прямой видимостью, то предельно допустимый уровень сближения антенн сетей McWILL и LTE сокращается с 89 до 56 м. В случае проектирования сети McWILL по предложенной в [2] методике с «грубой» настройкой наклона антенн (для подавления помех от ближайших БС LTE) предельное сближение сокращается с 40 до 25 м. Также следует отметить, что в сети McWILL на БС используется адаптивная антенная ре-

шетка, дополнительно подавляющая помехи [12] от БС LTE. Следовательно, условия обеспечения ЭМС скорее всего будут еще мягче.

Выводы

1. Предложенная методика измерения уровня внеполосных излучений радиомодулей БС сетей мобильной связи 4G позволяет измерять побочные и паразитные излучения до уровней – 95 дБн в условиях высокой крутизны скатов спектра сигналов (до 65 дБ/250 кГц) на границах рабочей полосы (с шириной до 20 МГц).
2. Измерения, проведенные для типового оборудования БС LTE и БС McWILL с помощью предложенной методики, показали, что оборудованием обеспечивается реальный уровень внеполосного излучения на 3–7 дБ ниже граничного порога, установленного Рекомендациями 3GPP [1].
3. Реальные уровни внеполосного излучения позволяют уменьшить полученные в [2, 3] значения допустимого сближения антенн БС LTE1800 и БС McWILL1800 в 1,5–2 раза: до значений 50–70 м при защитном частотном интервале между краями рабочих диапазонов в 2,5 МГц.
4. Выявленный «запас» по уровню внеполосного излучения показал возможность взаимной беспомеховой работы на совмещенной территории РЭС стандарта McWILL (частотного диапазона 1787,5...1802,5 МГц) и РЭС стандарта LTE (частотного диапазона Band 3 по классификации 3GPP [1]) при обеспечении необходимого территориального разнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3GPP TS 36.104 v. 8.5.0 (2009-03). 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).
2. Шорин О.А., Бокк Г.О. Анализ электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Первая миля. – 2016. – № 1(54). – С. 44–53.
3. Шорин О.А., Бокк Г.О., Сухацкий С.В. Методы улучшения межсистемной ЭМС для систем мобильной связи четвертого поколения // Электросвязь. – 2016. – № 2. – С. 35–41.
4. Патент № 2221330 РФ. Широкополосная система радиосвязи КВ-диапазона / О.Ф. Бокк, С.С. Аджемов, В.А. Маковий, Г.О. Бокк. Заявлено 10.01.2002. Оpubл. 10.01.2004, Бюл. № 1. – С. 906.
5. Патент № 2209511 РФ. Широкополосная система радиосвязи КВ диапазона / О.Ф. Бокк, В.А. Маковий, С.С. Аджемов, Г.О. Бокк. Заявлено 30.07.2001. Оpubл. 27.07.2003, Бюл. № 21. – С. 629.
6. Володина Е.Е. Экономические вопросы использования радиочастотного спектра как производственного ресурса и объема государственного регулирования // Электросвязь. – 2015. – № 4. – С. 50–54.
7. Володина Е.Е., Плосский А.Ю. Критерии кластерного подхода к перераспределению радиочастотного спектра при внедрении цифрового телевидения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – Т. 6, № 12. – С. 4–6.
8. Volodina E., Plossky A. Influence of Economic Factors on Clustering of Regions for the Digital Dividend Implementation in a Number of Specific Conditions // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. "EMC EUROPE 2012 – International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Proceedings". – 2012. – P. 6396914.
9. Володина Е.Е., Бессилин А.В. Методические вопросы определения платы за использование радиочастотного спектра // Вестник РАЕН. – 2009. – № 2. – С. 28.
10. Володина Е.Е., Тихвинский В.О. Конкуренция и качество услуг на рынке подвижной связи // Мобильные системы. – 2003. – № 8. – С. 31.
11. Бутенко В.В., Володина Е.Е., Десяткин Е.Е. и др. Концепция WAPECS как современное направление использования РЧС // Электросвязь. – 2008. – № 9. – С. 1–7.
12. Шорин О.А., Щучкин В.М. Использование интеллектуальных антенн в системах мобильной связи для снижения перегрузок // Труды МАИ. – 2012. – № 53. – С. 19.

Получено 27.12.16