УДК 621.391

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛОС ЧАСТОТ 790—862 МГц ДЛЯ СЕТЕЙ LTE

В. П. Высочин, заместитель директора НПП «Перспективные технологии-30», с.н.с., к.т.н.
В. П. Большаков, начальник отдела НПП «Перспективные технологии-30», доцент, к.т.н.
К. О. Дю, начальник отдела ФГУ «30 ЦНИИ Министерства обороны РФ», к.т.н.; ofispt@yandex.ru

Ключевые слова: *частотный канал, электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства.*

Загрузка полосы радиочастот 790—862 МГц и основные проблемы ее использования. Полоса радиочастот 790—862 МГц, идентифицированная на ВКР-07 для систем IMT, вызывает особый интерес у операторов связи. В данном диапазоне частот для систем LTE предполагается использовать инверсный вариант FDD, хотя продолжаются проработки применения и режима TDD.

Для России диапазон частот 790—862 МГц важен вдвойне. Во-первых, он используется радиоэлектронными средствами (РЭС) воздушной радионавигационной службы (ВРНС) и имеет категорию «ПР» (правительственное использование). Во-вторых, на Региональной конференции по радиосвязи (РКР-06) МСЭ был согласован План цифрового радиовещания в диапазонах частот 174—230 и 470—862 МГц. Согласно этому документу к июню 2015 г. в Районе 1 практически все аналоговое телевещание должно быть переведено в цифровой формат. Следует предположить, что продвижение новых информационных технологий внесет свои коррективы в план перехода на цифровое вещание. При этом предстоит решать проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств ВРНС и цифрового телевидения с РЭС IMT (LTE).

Анализ характеристик систем LTE показал, что для полосы частот 790—862 МГц предполагается использование частотных каналов шириной от 1,4 до 20 МГц.

Загрузка полосы радиочастот 790—862 МГц представлена на рис. 1 (здесь СО — самолетный ответчик; УВД — управление воздушным движением; ОВК — определение взаимных координат; РВ-Б — радиовысотомер больших высот). Из рис. 1 видно, что работа систем LTE в канале шириной 2×20 МГц (режим FDD) не перспективна по условиям ЭМС с РЭС ВРНС. Однако для LTE возможно применение каналов, имеющих меньшую ширину, например 1,4 и 3 МГц. Более того, для построения сетей подвижной радиосвязи (СПР) к настоящему времени накоплен достаточный опыт реализации стандарта IS-95 (CDMA) в диапазоне 800 МГц.

Более предпочтительными для построения перспективных СПР являются каналы с полосой частот 5 и 10 МГц.

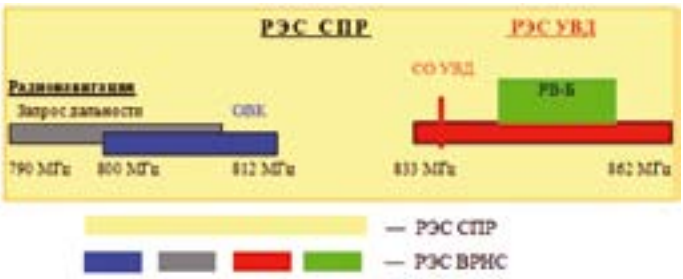

Рис. 1

Такие каналы характерны для UMTS (WCDMA), LTE (OFDMA/SCFDMA) и WiMAX (OFDMA).

При оценке возможности использования полосы частот (частотных каналов) шириной 5 МГц будем ориентироваться на окончательную версию частотного плана IMT для полосы частот 790—862 МГц (рис. 2). В этих условиях наибольший интерес представляет инверсный режим частотного дуплекса FDD.

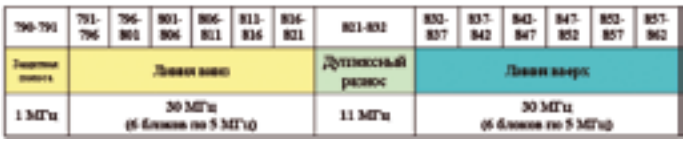

Рис. 2

Сравнение данных, представленных на рис. 1 и 2, позволяет сделать вывод, что защитная полоса в 11 МГц (821—832 МГц) попадает в полосу частот, не занятую РЭС ВРНС. С точки зрения совместного эффективного использования диапазона частот 790—862 МГц предложенная версия для IMT не так удачна, как, например, диапазон частот 824—849 и 869—894 МГц.

Рассматривая окончательную редакцию частотного плана IMT с точки зрения выбора участков полос частот, необходимо учитывать следующие положения:

- *относительно влияния LTE на РЭС ВРНС:*

— частотный канал 791—796/832—837 МГц мало приемлем из-за взаимного влияния РЭС IMT и РЭС системы цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T (60-й телевизионный канал) и влияния на РЭС ВРНС (приемные устройства маяков радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) и посадочной радиомаячной группы (ПРМГ));

— полоса частот 800—808 МГц должна быть всегда свободна от РЭС СПР, поскольку она используется радиомаяками РСБН/ПРМГ при устранении помех от РЭС стандарта GSM-900 и при оптимизации радионавигационного поля;

— полоса частот 833—883 МГц используется радиолокационными системами посадки, размещенными на аэродромах (существующее и прогнозируемое размещение приемных устройств);

- *относительно влияния РЭС ВРНС на LTE:*

— частотный канал 791—796/832—837 МГц мало приемлем из-за возможного влияния РЭС ВРНС и радиолокации на приемные устройства базовой станции (БС);

— использование частотного канала 796—801/837—842 МГц с точки зрения влияния диспетчерского радиолокатора (ДРЛ) (режим «актив», f = 837,5 МГц), СО УВД и РВ-Б также весьма проблематично;

— частотный канал 801—806/842—847 МГц в меньшей степени загружен передающими устройствами РЭС ВРНС. Ожидается влияние только от РВ-Б и ДРЛ отдельных типов;

— три частотных канала в диапазоне 806—821/847—862 МГц практически будут свободны от помех, создаваемых бортовыми РЭС ВРНС.

Таким образом, для режима FDD целесообразно более подробно рассмотреть полосы частот 811—816/852—857 МГц и 816—821/857—862 МГц, т.е. два дуплексных канала по 5 МГц. В таблице приведены источники и рецепторы помех, каналы влияния непреднамеренных радиопомех (НРП) для указанных полос частот, а также перечень возможных организационно-технических мероприятий (ОТМ). Очевидно, что во многих случаях обеспечить ЭМС без ОТМ не представляется возможным.

Эффективность ОТМ. На данном этапе исследований важно качественно оценить возможность реализации тех или иных ОТМ и их эффективность. Рассмотрим последовательно случаи влияния НРП на РЭС ВРНС, чтобы определить, насколько решаема задача обеспечения ЭМС. Для простоты восприятия результатов расчеты уровней влияния НРП на РЭС ВРНС будем проводить для свободного пространства при удалении источника НРП от рецептора на расстояние $R \sim 10$ км. Данное расстояние соизмеримо с высотами полета летательного аппарата (режим межсамолетной навигации (МСН) для РСБН), а также с дальностью прямой видимости между БС и радиомаяками РСБН/ПРМГ, ДРЛ. При расчетах используем данные [1, 2].

Влияние БС на радиоприемные устройства (РПУ) маяков РСБН/ПРМГ по варианту «влияние внеполосных излучений (ВИ) на основной канал приема». Исходные данные: чувствительность радиоприемного устройства — минус 117 дБ; защитное отношение сигнал/помеха для шумовой помехи с шириной спектра 3,8 МГц — 10 дБ; коэффициент усиления антенны РПУ — 6 дБ; коэффициент усиления антенны БС — 17 дБ.

При расчете мощности ВИ БС воспользуемся данными по спектральной маске сигнала LTE с шириной канала 5 МГц на частотах ниже 1 ГГц [1, 2]. В этом случае мощность внеполосных излучений (в полосе 100 кГц) составит 12,5 дБмВт. С учетом приведенных значений превышение НРП допустимого уровня на входе приемника РСБН составляет не более 4 дБ (на удалении 10 км), поэтому проблема ЭМС может быть решена за счет территориального разноса. На удалениях менее 10 км (единицы километров) задача также решаема: установленные на БС специализированные фильтры позволяют получить дополнительное уменьшение ВИ на частоте 808 МГц (для канала LTE 811—816 МГц) порядка 25 дБ.

Необходимо также заметить, что в настоящее время ряд научных и промышленных организаций проводят разработку и испытания полосовых фильтров для UMTS (WCDMA) на частоте 900 МГц — их результаты могут быть использованы и при внедрении LTE в диапазоне 790—862 МГц.

Обеспечить ЭМС рассматриваемых РЭС можно также путем посекторного планирования СПР с использованием антенн БС, имеющих пониженные уровни боковых лепестков диаграммы направленности.

Влияние БС на радиоприемные устройства РСБН (режим МСН), размещаемые на летательном аппарате. Поскольку влияние НРП будет происходить по основным каналам приема, обеспечить ЭМС только за счет территориального разноса не представляется возможным, так как дальности влияния НРП превышают 100 км. Решить данную проблему можно за счет применения частотной регламентации работы бортового оборудования, т.е. использования частот ниже 810 МГц.

Влияние БС на диспетчерский радиолокатор по зеркальному каналу приема (ЗКП). Предварительные расчеты показывают, что при относительном уровне ослабления приема по зеркальному каналу 25—30 дБ (экспериментальные данные) уровень превышения НРП допустимого значения на удалении 10 км составляет 22—27 дБ (случай «Г — Б», где Г, Б — главный и боковой лепестки диаграммы направленности антенны соответственно). Возможность такого влияния НРП на ДРЛ подтверждают зафиксированные случаи возникновения НРП от телевизионных передатчиков. Однако данная проблема не является неразрешимой.

За счет установки фильтров в ДРЛ можно уменьшить дальность влияния НРП до единиц километров. В качестве дополнительного ОТМ может быть рекомендовано посекторное проектирование сетей LTE с учетом объектов (аэродромов), на которых размещаются ДРЛ.

Частоты радиопередающего устройства, МГц		Рецептор помех	Канал влияния НРП	ОТМ
Абонентская станция	Базовая станция			
	811—816	Маяки РСБН/ПРМГ	Влияние основного излучения на внеполосный канал приема; влияние ВИ на основной канал приема	Фильтрация
		МСН (РСБН)	Влияние основного излучения на основной канал приема	Частотная регламентация; снижение уровней боковых лепестков антенно-фидерных устройств БС
		ДРЛ	Влияние основного излучения на зеркальный канал приема	Фильтрация
	816—821	Маяки РСБН/ПРМГ	Влияние внеполосных излучений на основной канал приема	Фильтрация
		ДРЛ	Влияние внеполосных излучений на основной канал приема; влияние основного излучения на зеркальный канал приема	Фильтрация
852—857		ДРЛ	Влияние основного излучения на основной канал приема	Частотно-пространственная регламентация; посекторное проектирование СПР
857—862		ДРЛ	Влияние основного излучения на основной канал приема	– “ –

Влияние БС на диспетчерский радиолокатор за счет внеполосного излучения РЭС сети LTE. В данном случае влияние НРП теоретически ожидается на дальностях более 10 км (превышение НРП допустимого уровня 10—12 дБ). На практике, скорее всего, влияние будет менее значительным. С учетом требований к ВИ БС сетей LTE энергопотенциал излучения базовой станции вне основного диапазона частот не превышает 0,1 Вт. По результатам натурных испытаний с использованием абонентских станций стандарта AMPS/DAMPS (с энергопотенциалом 0,6—1 Вт) установлено, что дальности влияния на ДРЛ не превышали 2—4,5 км. Данная проблема также решаема за счет фильтрации (установки дополнительных фильтров на БС) или посекторного проектирования СПР. В этом случае выбор ОТМ может быть предоставлен оператору.

Влияние абонентской станции на диспетчерский радиолокатор. Степень влияния АС широкополосных систем на ДРЛ целесообразно определять в ходе экспериментальных исследований, так как теоретические оценки дают существенно завышенный результат. Если исходить из практики, то можно ожидать дальности влияния АС до 5 км. Это значительная величина, так как в зону действия БС (15—20 км) может попасть объект — рецептор помех (аэродром). Поэтому необходимо принимать во внимание все БС сети LTE, размещаемые на удалении 20—25 км от ДРЛ (аэродромов). При этом можно предложить следующие решения, исключающие влияние АС на ДРЛ:

- исключение из зон обслуживания абонентов БС сети LTE азимутов территориального размещения аэродромов;
- применение антенн с пониженным уровнем боковых лепестков ДНА в задней полусфере (в горизонтальной плоскости);
- оптимальный выбор полосы частот для БС/АС из двух диапазонов (852—857 и 857—862 МГц) в зависимости от литера, на котором работает ДРЛ.

Таким образом, оценка возможности использования полосы частот 790—862 МГц для режима FDD показала, что для одной сети подвижной радиосвязи целесообразно иметь два дуплексных канала шириной по 5 МГц каждый: 811—816/852—857 МГц и 816—821/857—862 МГц.

Использование двух дуплексных каналов позволит более эффективно реализовать организационные и технические мероприятия по обеспечению ЭМС РЭС сети подвижной радиосвязи LTE с РЭС ВРНС. Кроме того, в этих условиях проще будет обеспечить ЭМС и с РЭС ПВО. Для данных РЭС понадобятся дополнительные исследования, которые можно провести после определения стратегии внедрения LTE. При этом также необходимо использовать опыт обеспечения ЭМС радиолокаторов с РЭС СПР диапазона 800 МГц.

Что касается режима TDD, то целесообразно рассмотреть канал шириной 10 МГц. Исходя из загрузки частотного диапазона (см. рис. 1), наиболее приемлемым для этих целей можно считать участок 813—833 МГц. Центральную частоту канала шириной 10 МГц необходимо выбирать из условия минимизации влияния НРП на РЭС специального назначения. С учетом спектральной маски LTE для канала шириной 10 МГц (при минимальном уровне спектральной плотности ВИ –16 дБмВт в полосе 100 кГц при расстройках $\pm$10 МГц) в качестве центральной может быть выбрана частота 823 МГц. С учетом литеров частот для РЭС ВРНС и радиолокации $f_ц = (823 \pm 2)$ МГц.

Центральная частота и диапазон частот для канала LTE шириной 10 МГц выбраны исходя из условий обеспечения ЭМС с РЭС радионавигации и РЭС УВД. При этом влияние НРП будет только по неосновным каналам излучения и приема. Как отмечалось выше, снижение уровня влияния НРП как от БС, так и от АС обеспечивают перечисленные выше ОТМ. Предпочтительным является использование фильтров в приемных устройствах ДРЛ и передающих устройствах БС. Технически данная проблема решаема. Разработку конкретных рекомендаций целесообразно провести после дополнительных исследований по следующим направлениям:

- определение защитных отношений сигнал/помеха в лабораторных условиях с использованием имитатора сигналов LTE;
- оценка дальностей влияния НРП от АС по имитатору в условиях реальной эксплуатации ДРЛ;
- разработка требований к фильтрам по условиям ЭМС, изготовление макетов, испытание в лаборатории;
- апробация фильтров в передающих устройствах БС и оценка их влияния на качество связи.

Приведенный перечень исследований, направленных на устранение влияний НРП от радиопередающих устройств БС/АС сетей LTE на РЭС навигации и радиолокации, целесообразно дополнить аналогичным перечнем ОТМ, обеспечивающих устранение обратного влияния радиопомех, т. е. [2]:

- исследование помехозащищенности реальной аппаратуры связи в лабораторных условиях;
- измерения напряженностей поля от ДРЛ в планируемых точках размещения БС (например, в опытной зоне);
- исследование реальной избирательности приемных устройств БС с макетами режекторных фильтров.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Давыдов П. С., Сосновский А. А., Хаймович И. А.** Авиационная радиолокация. — М.: Транспорт, 1984.
2. Отчет по НИР «Совместимость-IMT/ПТ»/ ЗАО НПП «Перспективные технологии-30», 2009.

Получено 18.08.10

Публикация статей по теме конференции будет продолжена в ближайших номерах.

ИНФОРМАЦИЯ

На заседании Государственной комиссии по радиочастотам 23 августа текущего года под председательством министра связи и массовых коммуникаций И. О. Щёголева были приняты следующие решения:

- утвержден новый вариант Положения о порядке проведения экспертизы, рассмотрения материалов и принятия решения о присвоении (назначении) радиочастот или радиочастотных каналов для радиоэлектронных средств в пределах выделенных полос радиочастот, направленный на сокращение сроков принятия решений о присвоении частот;
- выделены полосы радиочастот 9200—9500 МГц для использования РЭС радионавигационной службы гражданского назначения на внутренних водных путях и полосы радиочастот 283,5—325 кГц для использования РЭС морской радионавигационной службы гражданского назначения (навигационные станции и спасательные ответчики, работающие в этих диапазонах, позволяют повысить уровень безопасности судоходства и повысить точность навигационного обеспечения, существенно снизив погрешность определения координат с помощью спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS);
- внесены изменения в Частотный план мест совместного базирования РЭС Минобороны РФ и РЭС морской радионавигационной службы Минтранспорта РФ в полосах частот 2900—3400, 8850—9000, 9200—9500 МГц и 31,8—34,2 ГГц, утвержденный решением ГКРЧ от 6 декабря 1999 г. № 18/2;
- утверждены нормы частотно-территориального разноса РЭС сухопутной подвижной радиосвязи стандарта IMT-2000/UMTS с РЭС Космических войск в зоне от 110 до 300 км, что должно способствовать развитию 3G-сетей;
- выделены радиочастоты 401,62—401,68 МГц для использования радиомаяками спутниковой системы определения местоположения и сбора данных Argos, которые используются в рамках программы по изучению миграций животных и птиц, реализуемой Институтом проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова;
- утверждены условия применения на территории России абонентских станций системы подвижной спутниковой связи ИНМАРСАТ.

Решение по выделению радиочастот для LTE (давно ожидаемое отраслью) принято не было.