

УДК 621.391.8

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ СПР СТАНДАРТА LTE В ДИАПАЗОНЕ 791–821/832–862 МГц НА ТЕРРИТОРИИ РФ

**В. П. Высочин**, начальник отдела НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России, к.т.н.; ofispt@yandex.ru

**Ю. Я. Смирнов**, ведущий специалист НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России, к.т.н.

**О. Ю. Благостов**, старший научный сотрудник НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России

**В. П. Большаков**, старший научный сотрудник НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России, к.т.н.

**Ключевые слова:** сети сухопутной подвижной радиосвязи (СПР), мобильный широкополосный доступ, сети LTE, технология IMT FDD, радиочастотный спектр.

**Введение.** Развитие более совершенных технологий широкополосного доступа на базе OFDMA (многостанционный доступ с частотным разделением каналов) предопределило разработку новой версии системы мобильной связи – стандарта LTE [1]. При этом особый интерес у игроков рынка вызывает полоса радиочастот 790–862 МГц. Начиная с 2012 г. отдельные операторы связи приступили к проектированию сетей LTE-800. Первый, начальный опыт проектирования обострил проблемы, которые уже обсуждались в научном плане, в том числе на конференциях НРА в 2011 и 2012 гг. [2, 3].

В России распоряжением правительства от 21.01.2011 г., № 57-р утвержден план использования полос радиочастот в рамках развития перспективных радиотехнологий. Один из его пунктов предусматривает развитие технологии IMT FDD (LTE) в диапазоне 790–862 МГц (791–857 МГц). Кроме того, руководствуясь решением ГКРЧ РФ от 28 декабря 2010 г., ведущие операторы сотовой связи приступили к проработке вопросов создания опытных зон сетей мобильного широкополосного доступа в диапазоне 700–900 МГц (Краснодарский край). Все это подчеркивает актуальность внедрения технологии LTE на территории нашей страны.

**Особенности использования диапазона частот 790–862 МГц для РЭС стандарта LTE.** Экспертиза первых частотно-территориальных планов сетей LTE-800 показала следующее:

- на 80–90% сети LTE-800 «не работоспособны» по условиям электромагнитной совместимости (ЭМС) с РЭС радиолокации и радионавигации;

- возможности операторов связи по решению проблем ЭМС РЭС за счет частотного разноса ограничены полосой частот, выделенной под лот (7,5 МГц при сигнале примерно 5 МГц);

- интересы операторов в плане организационно-технических мероприятий (ОТМ) (доработка и модернизация специальной техники) разновекторны, что по сути своей будет определенным тормозом для развития сетей LTE;

- «лотовое» деление радиочастотного спектра (РЧС) между пользователями не способствует внедрению разработанных ОТМ по высвобождению полос радиочастот 726–960 МГц от РЭС радиолокации и радионавигации Минобороны России, Росавиации и экспериментальной авиации (авиации Минпромторга России).

Анализ ситуации, которая сложилась на начальном этапе внедрения LTE-800, показывает, что с точки зрения эффективности использования РЧС (с учетом ЭМС РЭС) и ускорения внедрения сетей связи целесообразнее было

бы предоставить оператору всю полосу частот LTE-800, т.е. произвести деление между пользователями не спектра, а территорий для развития сетей LTE. В этом случае интересы операторов по вопросам ОТМ и конверсии совпадали бы – независимо от территорий (регионов). На сегодняшний день есть регионы (области), где конкретный оператор не может с приемлемым качеством связи развивать LTE в диапазоне 800 МГц и 2,5–2,7 ГГц, т.е. условия лицензий не могут быть реализованы.

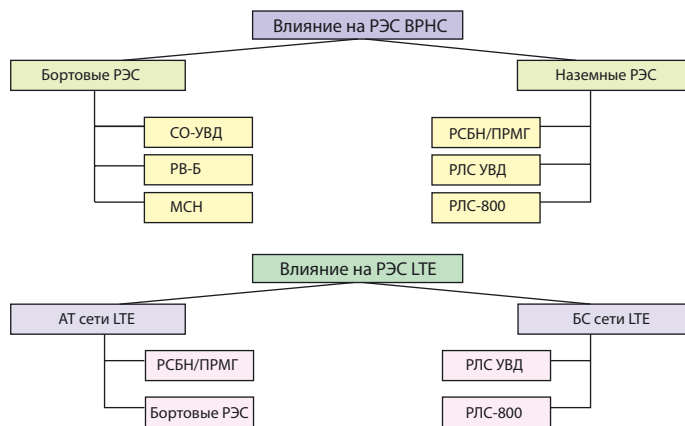
**Основные проблемы обеспечения ЭМС радиоэлектронных средств СПР стандарта LTE с другими РЭС.** Многие проблемы ЭМС связаны с тем, что РЭС специального назначения используют один-два номинала частот (в первую очередь это относится к РЭС УВД и радионавигации). Это также ограничивает возможности обеспечения ЭМС данных РЭС.

Существует две основные проблемы обеспечения ЭМС РЭС LTE с другими РЭС (рисунок):

- влияние передающих устройств абонентских терминалов (АТ) и базовых станций (БС) сетей СПР стандарта LTE-800 на РЭС специального назначения;

- влияние РЭС специального назначения на приемные устройства АТ и БС сетей СПР стандарта LTE-800.

За последнее время данные проблемы в области ЭМС РЭС нашли подтверждение не только в теоретических исследованиях, но и на практике – в лабораторных условиях и в ходе натурных экспериментов. Кратко упомянутые проблемы можно охарактеризовать следующим образом [2–4]:



### Проблемы обеспечения ЭМС РЭС LTE с другими РЭС

1. *Влияние передающих устройств АТ и БС на бортовые РЭС:*

- влияние АТ на радиовысотометры больших высот (РВ-Б) и самолетные ответчики (СО) УВД существенно зависит от плотности размещения БС (количества секторов в БС), количества АТ обслуживаемых и от распределения

мощности излучения АТ. При расширении сетей LTE-800 актуальна замена РВ-Б на аналогичные, функционирующие в диапазоне 4200–4400 МГц;

- влияние БС на бортовое оборудование радиотехнической системы ближней навигации (БО РСБН) в режимах «ОВК» и «Встреча» существенно ограничивает развитие LTE-800. «Приемлемые» условия возможны только при использовании антенно-фидерных устройств (АФУ) с вертикальной поляризацией.

2. Влияние передающих устройств БС на наземные РЭС:

- влияние БС на наземные радиомаяки (НРМ) РСБН/ПРМГ подтверждается экспериментами. При этом возможности применения ОТМ ограничены из-за централизованного назначения частотно-кодированных каналов (ЧКК); радиоэлектронная обстановка (РЭО) – фиксированная;

- влияние АТ на РЛС различного назначения также подтверждено экспериментально. Отмечаются сложности контроля мест работы АТ.

3. Влияние РЭС ВРНС и радиолокации на приемные средства базовых станций LTE:

- экспериментально (в лабораторных условиях) подтверждена возможность влияния РЛС на приемные устройства сетей стандарта LTE-800. Каналы возможного влияния РЭС приведены в табл. 1;

- теоретические исследования показали, что дальности влияния непреднамеренных радиопомех (НРП) от РЛС на приемники БС ( $R_{вл} = 30...70$  км) могут существенно превышать дальности недопустимого воздействия РЭС сетей СПР на РЭС радионавигации и радиолокации.

Таблица 1. Каналы возможного влияния РЭС

Каналы возможного влияния НРП от РЭС стандарта LTE на РЭС ВРНС и УВД					
	РЭС LTE	РЭС ВРНС		РЭС УВД	
ПРД	диапазон, МГц	Борт, ПРМ	Земля, ПРМ	Борт, ПРМ	Земля, ПРМ
БС	791,0–798,5	+	+	-	-
	798,5–806,0	+	+	-	-
	806,0–813,5	+	+	-	-
	813,5–821,0	+	-	-	-
АТ	832,0–839,5	+	-	+	+
	839,5–847,0	+	-	+	+
	847,0–854,5	+	-	-	+
	854,5–862,0	-	-	-	+
Каналы возможного влияния НРП от РЭС ВРНС и УВД на РЭС стандарта LTE					
	РЭС LTE	РЭС ВРНС		РЭС УВД	
ПРД	диапазон, МГц	Борт, ПРД	Земля, ПРД	Борт, ПРД	Земля, ПРД
АТ	791,0–798,5	+	-	-	-
	798,5–806,0	+	-	-	-
	806,0–813,5	+	-	-	-
	813,5–821,0	-	-	-	-
БС	832,0–839,5	-	-	-	+
	839,5–847,0	+	-	-	+
	847,0–854,5	+	-	-	+
	854,5–862,0	-	-	-	+

Примечание: ПРД — передатчик; ПРМ — приемник.

Результаты оценки ЭМС рассматриваемых РЭС приведены в табл. 2 и 3 [4].

Таблица 2. Дальность влияния АТ ( $R_{вл}$ ) на РЛС УВД, км

$h_{АТ}$ , м	Модели			Экспериментальные данные ( $h_{АТ} = 1,5...2$ м)
	«О-Хата»	Рек. 1546-4 (Р)	Рек. 1546-4 (Г)	
1,5	2,5	1,2–1,4	3–6	2,5–5,6
10	9,5	5,3–9	7,5–12	при $P_{АТ} = 0,2$ Вт; 6,5–8,5 при $P_{АТ} = 1$ Вт

Примечания: 1. Рек. 1546-4 (Р) — расчеты с учетом рельефа местности.

2. Рек. 1546-4 (Г) — расчеты без учета рельефа местности (используется при международно-правовой защите).

3. Максимальные значения  $R_{вл}$  — для 10%t и 10%S, а минимальные — для 10%t и 50%S.

4. Расчеты сделаны для  $P_{АТ} = 200$  мВт.

Таблица 3. Дальности влияния БС на НРМ РСБН/ПРМГ и диспетчерский радиолокатор (ДРЛ), км

Поляризация	НРМ РСБН/ПРМГ (О-О)		ДРЛ (О-ЗКП)	
	«О-Хата»	Рек. 1546-4 (Г)	«О-Хата»	Рек. 1546-4 (Г)
Наклонная	32–33	32	37–38	37
Вертикальная	14–15	17	19–20	20

Примечания: 1. О-О — влияние по основным каналам излучения и приема; О-ЗКП — влияние по зеркальному каналу приема.

2.  $E_{дон}$  для РСБН и ДРЛ составляли соответственно: для Х-антенн — 45 и 42 дБмкВ/м; для V-антенн — 58 и 55 дБмкВ/м.

3. ЭИИМ БС соответствовала 30 дБВт,  $H_{повд} \sim 50$  м.

**Результаты и перспективы исследований.** В настоящий момент в области исследований ЭМС сетей СПР стандарта LTE с другими РЭС достигнуты следующие результаты:

- разработка методических подходов к оценке ЭМС РЭС LTE-800 с РЭС ВРНС и радиолокации находится на стадии корректировки в соответствии с результатами выборочных экспериментальных исследований;

- экспериментально определены характеристики помехозащищенности РСБН-4Н (М), ДРЛ-6М2, ДРЛ-10МН, ДРЛ-7СМ;

- дана оценка помехозащищенности (экспериментально) БО РСБН в режимах межсамолетной навигации;

- получены зависимости сигнал/помеха для приемников БС сетей СПР;

- в ряде регионов экспериментально определены зоны влияния АТ на ДРЛ.

В перспективе целесообразно осуществить следующий комплекс мероприятий:

- летный эксперимент и полунатурное моделирование влияния БС сетей СПР на БО РСБН (режим межсамолетной навигации);

- летные и наземные испытания по оценке влияния БС сетей СПР на систему ближней навигации (режим измерения дальности);

- эксперимент по оценке зон обслуживания АТ;

- экспериментальные исследования по оценке помехозащищенности РЛС-800;

- экспериментальные работы по СО УВД ( $f = = 835...840$  МГц);

- экспериментальные работы по ЭМС РЭС в «тестовом» регионе.

Данный перечень работ позволит уточнить условия обеспечения ЭМС рассматриваемых РЭС. Однако уже сегодня очевидно, что без проведения ряда ОТМ и конверсионных мероприятий получить приемлемый (в первую очередь для операторов) результат невозможно.

Решение проблем видится в проведении конверсии РЧС (включая разработку новых систем) и/или в соответствующей доработке (модернизации) существующих систем и средств; сюда же следует добавить проведение организационно-технических мероприятий.

Сегодня в части РЛС различного назначения уже имеются технические решения, практически позволяющие снять в большинстве случаев серьезные ограничения в области ЭМС РЭС.

Сложной остается проблема обеспечения ЭМС с бортовым оборудованием. Кардинальное решение – ускорить процесс замены существующего оборудования новыми образцами. Как вариант рассматривается выполнение определенных требований к оборудованию БС сети СПР и их уточнение по результатам летного эксперимента. В настоящий момент подготовлены предложения по возможным путям решения задачи обеспечения ЭМС РЭС, т.е. определены сроки и требуемые финансовые затраты для реализации локально-территориального принципа конверсии РЧС.

**Заключение.** Исследовательские и экспериментальные работы, реализованные предприятием по направлению сетей СПР стандарта LTE-800, позволяют сделать ряд важных выводов.

В полосе частот 790–862 МГц, определенной для развития сетей связи стандарта LTE, существуют серьезные проблемы совместного функционирования с РЭС специального назначения. Проведенные в 2012–2013 гг. эксперименты

подтвердили ранее полученные результаты теоретических исследований в области ЭМС рассматриваемых РЭС.

Анализ результатов обсуждения первых радиочастотных заявок показал, что большинство РЭС сетей СПР существенно ограничены по своим параметрам (характеристикам). Процесс планирования сетей требует проведения трудоемких экспериментальных работ.

Принятое деление РЧС между операторами ограничивает возможности реализации различных организационно-технических мероприятий: частотное планирование по каналам, территориальное размещение БС и т.п.

Для внедрения LTE-800 целесообразно объединить силы и средства операторов в каждом отдельном регионе. При этом рассматривается вероятность локально-территориального принципа конверсии РЧС. Приемлемое развитие сетей LTE-800 возможно при обязательной конверсии РЧС в части бортовых РЭС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Скрынников В. Г.** Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. – М.: Спорт и культура–2000, 2012.
2. **Высочин В. П., Тихвинский В. О.** Возможности развертывания опытных зон сетей мобильной связи LTE на территории Российской Федерации в диапазонах 700 и 900 МГц: Мат. XIII ежегод. конф. Национальной радиоассоциации «Актуальные вопросы повышения эффективности использования национального радиочастотного ресурса», 2011.
3. **Высочин В. П., Большаков В. П., Дю К. О.** Перспективы использования полос частот 790..862 МГц для сетей LTE // Электросвязь. – 2010. – № 9.
4. LTE-ПТ: Науч.- техн. отчет // НПП «Перспективные технологии–30», Шелково, 2011.

Получено 24.07.13

УДК 621.391.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЭС ВРНС И РАДИОЛОКАЦИИ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЭС СЕТЕЙ LTE

**В.П. Высочин**, начальник отдела НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России, к.т.н.; ofispt@yandex.ru

**М.И. Недобежкин**, старший научный сотрудник НИЦ АТ и В 4 ЦНИИ Минобороны России

**В.В. Антохин**, старший научный сотрудник ЗАО «НПП «Перспективные технологии — 30»

**Ключевые слова:** воздушная радионавигационная служба, радиоэлектронные средства, сети LTE, непреднамеренные помехи, импульсные помехи различной скважности.

**Введение.** В Российской Федерации диапазон частот 790–862 МГц используется воздушной радионавигационной службой (ВРНС) и имеет категорию полос радиочастот ПР (полоса частот, предназначенная для преимущественного использования радиоэлектронными средствами правительственного назначения) [1]. Внедрение новых систем связи стандарта LTE-800 в диапазоне частот 791–821/832–862 МГц напрямую будет связано с возможностью решения проблем электромагнитной совместимости (ЭМС) с радиоэлектронными средствами ВРНС и радиолокации.

Для выработки оптимальных решений по совместному использованию данных полос частот РЭС различных служб необходимо выработать нормы частотно-территориального разнеса. С этой целью были проведены экспериментальные

измерения защитных отношений сигнал/помеха, т.е. дана оценка помехозащищенности радиоприемников РЭС сети LTE-800 при воздействии непреднамеренных радиопомех (НРП) различной структуры.

К РЭС, функционирующим в полосе частот 790–862 МГц, как к потенциальным источникам НРП для сетей LTE можно отнести РЭС ВРНС и радиолокации (РЛС УВД в первую очередь). Эти НРП представляют собой импульсные радиопомехи с разной скважностью, их основные характеристики определены в [2].

**Критерии оценки ЭМС РЭС.** Экспериментальные исследования [3] показали, что помехозащищенность приемных устройств, использующих структуру сигнала OFDM с модуляцией 16QAM и QPSK, в большей степени зависит от скважности импульсных сигналов  $Q$ , чем от параметров  $\tau_n$  и  $F_n$ .

При оценке влияния НРП необходимо определить критерии помехозащиты. В «Правилах...» [4] указано, что пре-