

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-

дельно допустимое максимальное значение вектора ошибки передаваемого абонентским терминалом (АТ) модулированного сигнала равно 17,5% для модуляции QPSK или BPSK и 12,5% для модуляции 16QAM, при этом минимально допустимый уровень выходной мощности АТ составляет -40 дБм при нормальных условиях.

В проводимых исследованиях оценивалось влияние НРП на приемник БС сети сухопутной подвижной радиосвязи (СПР) стандарта LTE-800 при работе с сигналом модуляции 16QAM, обеспечивающим максимальную пропускную способность и имеющим более низкую помехозащищенность.

Таким образом, основным критерием недопустимого помехового воздействия непреднамеренных радиопомех от РЭС ВРНС и радиолокации на приемное устройство БС сети СПР стандарта LTE-800 выбрано предельно допустимое максимальное значение вектора ошибки передаваемого абонентским терминалом модулированного сигнала для модуляции 16QAM, равное 12,5%.

Для некоторых видов НРП в процессе измерений при увеличении помехового сигнала на больших частотных разносах отмечалась перегрузка входа приемника базовой станции (БС) стандарта LTE-800 или возникала ошибка синхронизации еще до достижения вектором ошибки своего предельно допустимого максимального значения (12,5%). Перегрузка входа приемника БС, а также ошибка синхронизации являлись дополнительными критериями недопустимого помехового воздействия НРП от РЭС ВРНС и радиолокации.

**Описание лабораторной установки.** Для оценки влияния НРП от РЭС ВРНС и радиолокации на приемники БС сети СПР стандарта LTE была создана лабораторная установка (рис. 1 и 2). Она представляет собой комплект средств стандарта LTE (радиокommunikационный тестер CMW500 производства Rohde&Schwarz плюс радиомодем GT-B3740 от Samsung), совокупность средств измерений и устройств для задания имитируемой суммы полезного и помехового сигналов, а также набор средств измерений и устройств для определения параметров сигналов: измерения мощностных и фиксации спектральных характеристик полезного и помехового сигналов.

Имитируемая сумма полезного сигнала и помехи задается генераторами SMB100 (фирмы Rohde&Schwarz) и Г5-75, причем последний используется для создания некоторых видов радиопомех в качестве формирователя стробов. Созданный помеховый сигнал на сумматоре складывается с поступающим на него через делитель ( $\Delta 1$ ) и циркулятор 1 сигналом

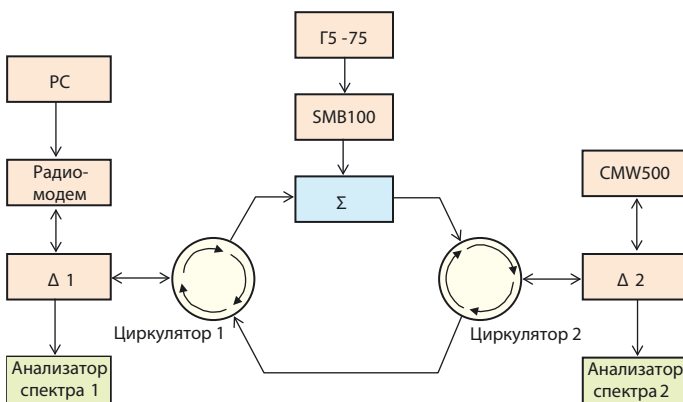


Рис. 1. Функциональная схема лабораторной установки по исследованию помехозащищенности приемника БС стандарта LTE от сигналов ВРНС



Рис. 2. Лабораторная установка

радиомодема, работающего под управлением компьютера. Качество функционирования РЭС стандарта LTE контролировалось радиокommunikационным тестером.

**Результаты измерений.** В процессе исследований экспериментально были получены защитные отношения сигнал/помеха  $K_3$  для различных видов импульсных НРП. Результаты исследований условно можно разбить на три группы в зависимости от вида НРП:

- 1) импульсные помехи с большой скважностью ( $Q > 100$ ) длительного воздействия;
- 2) импульсные помехи с большой скважностью кратковременного воздействия ( $T_0$  — десятки миллисекунд);
- 3) импульсные помехи длительного воздействия с небольшой скважностью ( $Q = 3...15$ ).

Выбор такой классификации НРП обусловлен тем, что в [2] была установлена зависимость  $K_3$  не от параметров НРП, а от скважности (т.е. от средней мощности импульсных помех). Кроме того, при измерениях были получены

Таблица 1. Значения  $K_3$ , дБ, для первой группы НРП

$P_c$ , дБм	Вид НРП (параметры)	
	$\tau_n = 2...2,4$ мкс; $F_n = 500...600$ Гц	$\tau_n = 1...2$ мкс; $F_n = 800...1200$ Гц
-30	-5,5...-8	-7...-10
-50	-3...-7	-1...-7,8

Таблица 2. Зависимость  $K_3$  от скважности НРП

$P_c$ , дБм	$Q$	
	$\sim 800...900$	$\sim 400$
-30	-6,5...-8	-5,5...-7
-50	-3...-5,5	-1...-7

Таблица 3. Значения  $K_3$ , дБ, в зависимости от скважности  $Q$  для третьей группы НРП

$P_c$ , дБм	Вид НРП (параметры), $\tau_n > 100$ мкс для разных значений $Q$				
	3	5	7	10	15
-30	19	18,6	19	18,4	17,6
-50	21,4	19,8	20,7	20,2	18,2

Таблица 4. Значения (нормированные)  $\bar{K}_3(\Delta f_p)$ , дБ

Вид НРП	$\Delta f_p$ , МГц							
	0	$\pm 2$	$\pm 2,5$	$\pm 3$	$\pm 4$	$\pm 6$	$\pm 8$	$\pm 10$
$Q > 100$	0	-0,5...-2	-6...-11	-13...-15	-14...-19	-15...-19	-17...-20	-18...-21
$Q < 15$	0	-0,5...-1,5	-11...-23	-22...-24	-23...-24	-23...-24	-23...-25	-24...-25

значения  $K_3$  для двух уровней полезных сигналов  $P_c$ , равных -30 и -50 дБм.

Основные результаты измерений  $K_3$  (для импульсной мощности помехи) для первой группы импульсных НРП представлены в табл. 1.

Значения  $K_3$  в зависимости от скважности сигнала НРП приведены в табл. 2.

Анализ воздействия НРП (импульсных помех с  $Q > 400$ ) при их кратковременном влиянии показал, что данное влияние, относящееся ко второй группе НРП, незначительно (на 2–4 дБ) отличается от случая более длительного воздействия одинаковых по структуре сигналов. В итоге можно констатировать, что при расчетах ЭМС рассматриваемых РЭС целесообразно воспользоваться следующими значениями сигнал/помеха, характеризующими помехозащищенность приемников базовых станций сети LTE-800:

- при влиянии по боковым лепесткам ДНА РЭС ВРНС (РЛС УВД) и радиолокации: по импульсной мощности  $K_3 = -1...-7$  дБ; по средней мощности  $K_3 = 19...25$  дБ;

- при влиянии по главному лепестку ДНА радиолокации: по импульсной мощности  $K_3 = -3...-12$  дБ; по средней мощности  $K_3 = 16...22$  дБ.

Результаты экспериментальных исследований влияния импульсных помех с малой скважностью (третья группа НРП) на приемники БС сети LTE-800 показали, что это влияние существенно больше, чем рассматриваемое в предыдущем случае. Из анализа данных по  $K_3$  (по импульсной мощности) (табл. 3) следует, что при  $Q = 3...7$  значение  $K_3 = 19...21$  дБ ( $K_3$  по средней мощности соответственно равно 24...29 дБ), а при  $Q=10...15$  значение  $K_3 = 18...20$  дБ ( $K_3$  по средней мощности равно 28...30 дБ).

С учетом вышеизложенного можно констатировать, что на значение  $K_3$  в основном оказывает влияние скважность сигнала НРП. Для  $K_3$ , определенного по средней мощности, разброс допустимых значений сигнал/помеха существенно меньше (верхние пределы отличаются на 5 дБ).

При проведении в дальнейшем расчетов зон влияния НРП на приемники БС сетей LTE-800 целесообразно ограничиться следующими значениями  $K_3$ :

- по главному лепестку ДНА источника НРП ( $Q > 100$ ):  $K_3 = -5$  дБ (по импульсной мощности);  $K_3 = 22$  дБ (по средней мощности);

- по главному лепестку ДНА источника НРП ( $Q \leq 15$ ):  $K_3 = 18$  дБ (по импульсной мощности); средний  $K_3 = 26$  дБ (по средней мощности).

При проведении лабораторных исследований также была определена зависимость  $K_3$  от частотного разнеса. Обобщенные данные по  $\bar{K}_3(\Delta f_p)$  (табл. 4) показывают, что при расстройках от 0 до  $\pm 2,25...2,5$  МГц ослабление влия-

ния НРП на радиоприемные устройства БС незначительное. При расстройках более 6 МГц НРП независимо от их параметров ослабляются в среднем не менее чем на 20 дБ.

Обобщенные дальности влияния НРП на БС сети СПР стандарта LTE-800 составили 30–84 км для различных РЭС ВРНС и радиолокации, видов сигналов НРП, высот подвеса АФУ. На этих расстояниях (удалениях источников НРП от БС) вероятности влияния НРП достаточно высока и при проектировании сетей LTE-800 ее необходимо учитывать.

Однако надо добавить, что влияние НРП оценивалось по критерию незначительного снижения качества работы БС. На практике вполне может оказаться, что за счет изменения модуляции сигнала, уменьшения зоны действия сети (алгоритмического увеличения мощности АТ) и других факторов пользователь не всегда почувствует факт влияния НРП. Такой эффект наблюдался в сетях связи 3-го поколения (UMTS).

**Заключение.** Исследование влияния РЭС ВРНС и радиолокации на качество функционирования РЭС сетей LTE позволяет сделать ряд важных выводов.

Как показала практика работы различных устройств радионавигации и радиолокации (РЭС), они могут представлять собой источники НРП для РЭС стандарта LTE. Характер НРП — это импульсные помехи различной скважности.

Оценка качества функционирования сети (РЭС) в условиях помех производилась на созданной в ЗАО «НПП «Перспективные технологии — 30» и апробированной лабораторной установке. Из анализа результатов оценки влияния помех на РЭС стандарта LTE от РЭС ВРНС и радиолокации следует, что характер влияния импульсных радиопомех в меньшей степени зависит от длительности импульсов  $\tau_n$  и частоты их повторения  $F_n$ , а в большей степени определяется их скважностью  $Q$ . Защитное отношение составляет  $K_3 = 19...30$  дБ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Таблица распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации.
2. Измерения — LTE/ПТ: Отчет о НИР // НПП «Перспективные технологии-30», Щелково, 2013.
3. ТВ-каналы — ПТ: Отчет о НИР // НПП «Перспективные технологии-30», Щелково, 2007.
4. Правила применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE, утвержденные приказом Минкомсвязи России № 128 от 06.06.2011.

Получено 24.07.13