

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.396.2 (075.8)

Плякин Павел Борисович

Определение параметров и характеристик электромагнитной совместимости  
оборудования систем сотовой связи

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
(указать отрасль наук)

по специальности 1-45-80-01 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»  
(шифр и название специальности согласно учебному плану)

---

(подпись магистранта)

Научный руководитель:  
Мищенко В.Н.  
(фамилия, имя, отчество)  
доцент, канд. техн. наук  
(ученая степень, звание)

---

Минск 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Направление радиоэлектроники, обеспечивающее одновременную и совместную работу различного радиотехнического, электронного и электротехнического оборудования получило название электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС).

Обеспечение ЭМС является сложной комплексной задачей, требующей учёта на возможно более ранней стадии создания РЭС. Это связано с тем, что взаимные непреднамеренные помехи могут определяться количеством и геометрией расположения излучающих и распределительных систем, спектральным составом передающих РЭС и уровнем восприимчивости приёмных устройств, степенью экранирования аппаратуры и её размещением, трассировкой сигнальных, управляющих и силовых линий, временным регламентом работы отдельных частей РЭС.

Особое значение приобретает соблюдение условий ЭМС на межсистемном уровне, когда базовые станции (БС) систем мобильной связи воздействует на работу других РЭС связи в совместных частотных диапазонах. При этом необходимо учитывать помехи не только по основным, но и по побочным каналам приема. Ввиду того, что электромагнитная обстановка в группировках систем мобильной связи непрерывно изменяется, возникает необходимость в рассмотрении вопросов интермодуляционного влияния данных систем на системы связи, работающие в совместных либо близких диапазонах частот

В настоящее время широкое применение находит математическая модель приемника на основе характеристик, которые могут быть получены измерениями без анализа его внутренней структуры. Некоторые из этих характеристик должны определяться в широкой полосе частот, что является характерной особенностью задач по оценке ЭМС. Приводится пример оценки ЭМС для "дуэльной" ситуации, когда оценка производится для двух РЭС, одно из которых рассматривается в качестве приемника полезного сигнала, а второе РЭС является источником непреднамеренных радиопомех.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В работе рассматривается проблема электромагнитно совместимости оборудования систем сотовой связи. Описываются причины возникновения проблемы ЭМС, факторы, влияющие на ЭМС, основные виды электромагнитных помехи и их статические характеристики.

Проводится расчетный анализ ЭМС с целью определения возможностей совместной работы радиотехнических, электронных и электротехнических средств. Результаты этого анализа позволяют прогнозировать выполнение условий ЭМС в конкретной ситуации и служат для принятия практических мер по обеспечению ЭМС РЭС.

Установлена взаимосвязь энергетических, частотных и пространственных параметров РЭС полезного сигнала (рецептора радиопомех) и мешающих сигналов (источников непреднамеренных радиопомех), при которых обеспечивается требуемое качество функционирования РЭС.

В работе представлена оценка ЭМС для двух РЭС, одно из которых рассматривается в качестве приемника полезного сигнала, а второе РЭС является источником непреднамеренных радиопомех.

Экспериментально проведены работы по определению возможного мешающего воздействия излучений базовой станции технологии LTE, работающей в полосе радиочастот 811-816 МГц (DL FDD) на прием сигналов наземных цифровых телевизионных станций, работающих в соседних полосах радиочастот 684-694 МГц (48 ТВК, DVB-T) и 758-766 МГц (57 ТВК, DVB-T2).

# КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## ГЛАВА 1

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ И СИСТЕМ

Под электромагнитной совместимостью РЭС понимается их способность одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех, не создавая недопустимых радиопомех другим радиосредствам. Под электромагнитной обстановкой представляется совокупность электромагнитных полей РЭС различных служб радиосвязи в рассматриваемой области пространства.

За критерий обеспечения ЭМС обычно принимают защитное отношение радиоприемника - минимальное допустимое отношение сигнал/радиопомеха на входе приемника, обеспечивающее требуемое качество функционирования в условиях воздействия непреднамеренных радиопомех.

Факторы, влияющие на ЭМС РЭС, создающие в процессе работы непреднамеренные помехи, называют источниками электромагнитных помех (ИП). Устройства, подвергающиеся воздействию непреднамеренных помех, называют рецепторами электромагнитных помех (РП). РЭС может быть как источником, так и рецептором электромагнитных помех.

Исследование электромагнитной обстановки включает определение всех видов электромагнитных помех, существующих в рассматриваемой ситуации в заданной области пространства. ЭМО зависит как от характеристик ЭМС устройств и их элементов, так и от условий распространения помех. Любое РЭС не только функционирует в определенной электромагнитной обстановке, но и участвует в создании ЭМО для других средств.

Для решения проблемы ЭМС РЭС используются организационные и технические меры. Технические меры обеспечения ЭМС обусловлены изменением технических параметров РЭС (например, снижение уровней внеполосных и побочных излучений передатчиков, повышение избирательных свойств приемников, снижение уровней боковых лепестков диаграмм направленности антенн и др.). Они достаточно эффективны, но могут быть применимы в основном при разработке новых типов оборудования. Для РЭС, находящихся в эксплуатации, наиболее приемлемыми и действенными мерами обеспечения ЭМС являются организационные меры. Они включают рациональное назначение рабочих частот, сочетаемое с введением частотных, территориальных, временных и пространственных ограничений, накладываемых на РЭС, - все вместе представляющее собой основу частотно-территориального планирования (ЧТП) сетей сухопутной подвижной связи, отвечающее требованиям эффективного использования спектра.

В виду разнообразия задач анализа ЭМС широким является и арсенал используемых средств, включающий:

- 1) аналитические методы исследования, позволяющие получить искомые результаты расчетным путем на основе использования математических моделей изучаемых явлений;
- 2) методы имитационного моделирования, позволяющие получить искомые результаты путем математического моделирования изучаемых явлений с помощью ЭВМ;
- 3) экспериментальные методы, позволяющие получить искомые результаты путем измерений физических величин.

Можно выделить два основных типа моделей, используемых в сухопутной связи. Первый тип, где в качестве основных параметров, характеризующих местность и условия распространения сигналов, являются эффективная высота расположения антенны и эффективная высота неровностей местности (перепад высот земной поверхности). Второй тип - модели ослабления сигналов в городских условиях, где рельеф местности обычно не учитывается. Кроме того целесообразно выделить в особую категорию модели распространения в пределах зданий.

Уравнение ЭМС РЭС устанавливает взаимосвязь энергетических, частотных и пространственных параметров РЭС полезного сигнала (рецептора радиопомех) и мешающих сигналов (источников непреднамеренных радиопомех), при которых обеспечивается требуемое качество функционирования РЭС. Обычно уравнение ЭМС составляют для "дуэльной" ситуации, когда оценка ЭМС производится для двух РЭС, одно из которых рассматривается в качестве приемника полезного сигнала, а второе РЭС является источником непреднамеренных радиопомех. В общем случае, возможно, учесть несколько источников непреднамеренных радиопомех.

Уравнение ЭМС РЭС может быть записано в следующем виде:

$$P_{\text{мин}} - P_{OI} \geq A + k(\sqrt{2} - 1) * \delta. \quad (1.1)$$

где  $P_{\text{мин}}$  - чувствительность РПМ (рецептора радиопомех), дБВт;

$A$  - защитное отношение РПМ в совмещенном канале, дБ;

$k(\sqrt{2} - 1) * \delta$  - запас на замирания сигнала и радиопомехи, дБ;

$P_{OI}$  - мощность радиопомехи на входе РПМ, дБВт.

## ГЛАВА 2

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ РАДИООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM 900, GSM 1800, UMTS

Система подвижной связи стандарта GSM 900/1800 предназначена для использования в различных сферах. Она предоставляет пользователям широкий диапазон услуг и возможность применять разнообразное оборудование для передачи речевых сообщений и данных, вызывных и аварийных сигналов; подключаться к коммутируемым телефонным сетям общего пользования, сетям передачи данных и цифровым сетям с интеграцией служб.

Структура сети стандарта GSM 900/1800 включает три основные функциональные подсистемы:

- подсистему коммутации;
- подсистему базовых станций;
- подсистему технического обслуживания, эксплуатации и управления сетью.

UMTS – универсальная подвижная телекоммуникационная система, один из стандартов, разрабатываемый ETSI для внедрения системы связи третьего поколения (3G) в Европе.

Диапазоны частот GSM 900/1800 приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1: Диапазоны частот GSM 900/1800

	Стандартная полоса частот (P-GSM 900), МГц	Расширенная полоса частот (E-GSM 900), МГц	Стандартная полоса частот GSM 1800
Передача от ПС (прием ППБС)	890-915	880-915	1710-1785
Передача ППБС (прием ПС)	935-960	925-960	1805-1880

Приемник ППБС должен обеспечивать способность принимать полезный GSM модулированный сигнал в присутствии мешающего сигнала. В нормальных условиях, при уровне полезного сигнала приемника для соответствующего типа ППБС и уровне мешающего сигнала для соответствующего диапазона частот при блокировке, количество частот помехи, при которых RBER в канале TCH/FS класса II превышает 2%, должно быть:

Для GSM 900:

- а) при расстройке частоты мешающего сигнала от полезного 45 МГц и менее - общее количество не более 6;
- б) при расстройке 45 МГц и менее – не более трех подряд;
- в) при расстройке частоты мешающего сигнала от полезного более чем на 45 МГц - общее количество не более 24;
- г) при расстройке более чем на 45 МГц – не более трех подряд.

Для GSM 1800:

- а) при расстройке частоты мешающего сигнала от полезного 95 МГц и менее - общее количество не более 12;
- б) при расстройке 95 МГц и менее – не более трех подряд;
- в) при расстройке частоты мешающего сигнала от полезного более чем на 95 МГц - общее количество не более 24;
- г) при расстройке более чем на 95 МГц – не более трех подряд.

Уровень интермодуляции передачи – мощность продуктов интермодуляции при попадании на антенный разъем модулированной WCDMA помехи, уровень средней мощности которой на 30 дБ меньше уровня средней мощности полезного сигнала. Частота помехи должна быть сдвинута на  $\pm 5$  МГц,  $\pm 10$  МГц или  $\pm 15$  МГц по отношению к частоте несущей полезного сигнала, за исключением помех, находящихся за пределами присвоенной полосы частот для нисходящего канала UTRA-FDD .

### ГЛАВА 3

#### РАСЧЕТ ЭМС СОТОВЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Требуется провести анализ ЭМС между двумя базовыми станциями (БС), с целью их взаимной беспомеховой (корректной) работы.

Ниже приведены исходные данные, необходимые для расчета в таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Исходные данные для расчета

Характеристика	GSM	UMTS	РЛС
Рабочий диапазон	890-915	1710-1785	824-840
	935-960	1805-1880	869-894
Мощность передатчика БС, дБ	40	24.5	50
Чувствительность приемника БС, дБ	-110	-106	-106
К-нт усиления антенны РПД в направлении на РПМ	16	18	20
ГРПД(ФРПМ), дБ			
Разнос каналов, кГц	200	5000	
Защитное отношение (сигнал/помеха), дБ	7	9	9
Среда распространения радиоволн	Пригород	Пригород	Пригород

Применяя уравнение ЭМС РЭС, определяем возможна ли взаимная беспомеховая работа двух базовых станций

$$P_{\text{мин}} - P_{OI} \geq A + k * (\sqrt{2} - 1) * \sigma \quad (3.1)$$

(3.1) - уравнение ЭМС РЭС, где:

$k=1,65$  (коэффициент, учитывающий допустимый процент времени ухудшения качества радиосвязи ниже заданного уровня) [21]

$\sigma = 6$  дБ

$P_{\text{мин}} = -106$  дБ (чувствительность приемника)

$A=9$  дБ (защитное отношение сигнал/помеха)

$$-106 - (-56,3) > 9 + 1,65(0,4)6$$



-49,7 > 12/96 - Неравенство не выполняется.

Вывод: взаимная беспомеховая работа невозможна.

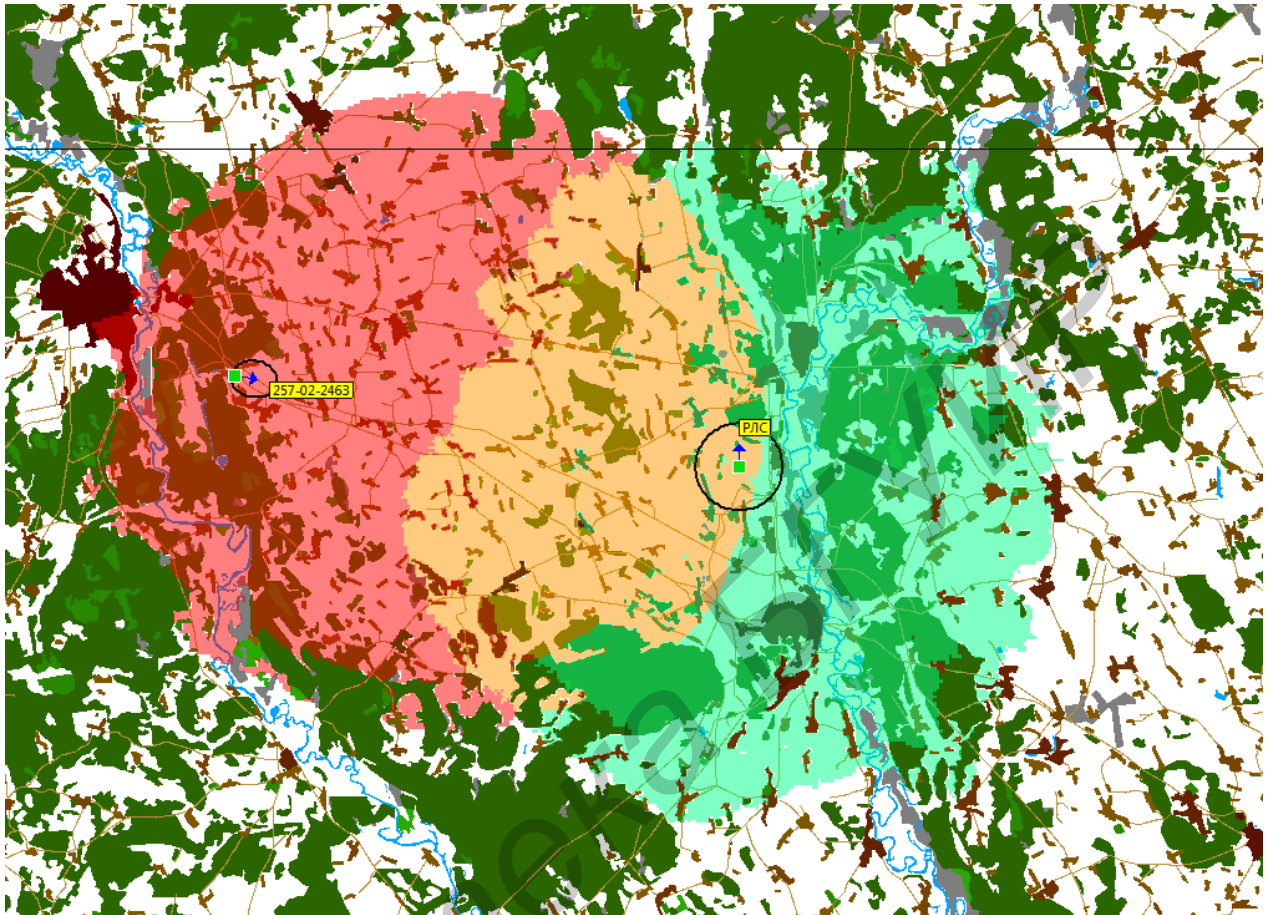


Рисунок 3.2 – Зона перекрытия

Итак, если неравенство не выполняется, то необходимо:

1. Уменьшить мощность  $P_{\text{РПД}}$  БС стандарта UMTS, что в свою очередь приведет к уменьшению обслуживаемой зоны.
2. Уменьшение  $G_{\text{РПД}}(\text{ФРПМ})$  - коэффициента усиления антенны РПД в направлении на РПМ. Это достигается применением направленных (секторных) антенн и их ориентацией в пространстве.
3. Уменьшение  $G_{\text{РПМ}}(\text{ФРПД})$  - коэффициента усиления антенны РПМ в направлении на РПД. Это достигается применением направленных (секторных) антенн и их ориентацией в пространстве.
4. Изменить угол наклона РПД БС UMTS, что в свою очередь приведет к уменьшению обслуживаемой зоны.

## ГЛАВА 4

# ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЕРЕДАЮЩИХ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИИ LTE НА ПРИЕМНЫЕ СРЕДСТВА ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

Определение возможного мешающего воздействия излучений базовой станции технологии LTE, работающей в полосе радиочастот 811-816 МГц (DL FDD) на прием сигналов наземных цифровых телевизионных станций, работающих в соседних полосах радиочастот 684-694 МГц (48 ТВК, DVB-T) и 758-766 МГц (57 ТВК, DVB-T2).

R&S SFE

Векторный генератор сигналов LTE

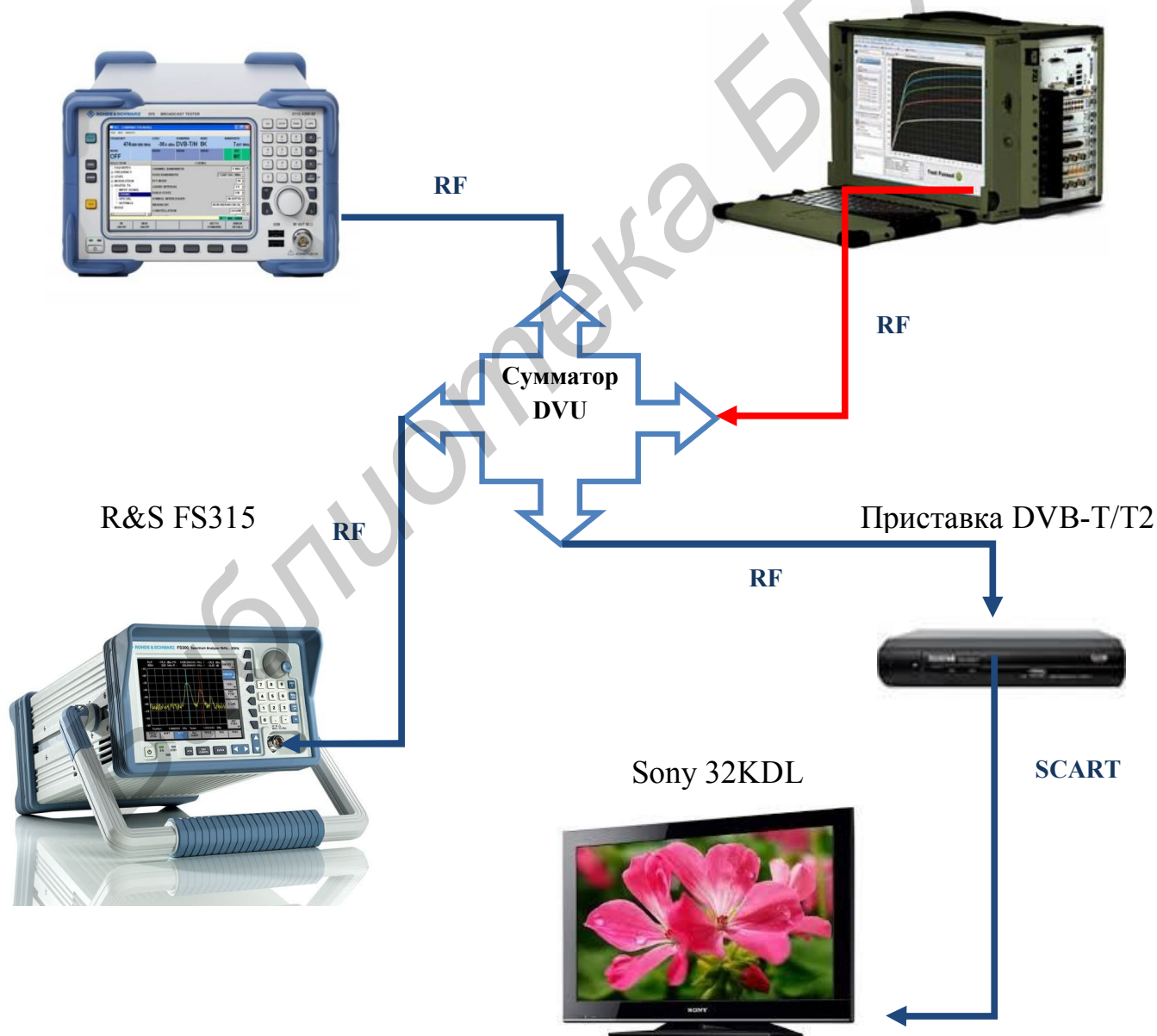


Рисунок 4.1 - Схема проведения измерений

Таблица 4.1 -Параметры полезного сигнала DVB-T

Полоса радиочастот	<b>470-790 МГц</b>
Ширина канала	<b>8 МГц</b>
Модуляция	<b>COFDM</b>
Тип модуляции	<b>64-QAM 3/4</b>
Режим модуляции	<b>8К</b>
Защитный интервал	<b>1/4</b>

Таблица 4.2 -Параметры мешающего сигнала BS LTE

Полоса радиочастот	<b>791-821 МГц</b>
Модуляция	<b>OFDM</b>
Ширина канала	<b>5, 10 МГц</b>
Тип модуляции	<b>16-QAM</b>
Сверточный код	<b>1/3</b>
Дуплекс	<b>FDD</b>

На вход приставки DVB-T через сумматор подается постоянный полезный сигнал уровнем 41 дБ мкВ (55.5 дБ мкВ/м) с генератора телевизионных сигналов DVB-T R&S SFE с шириной канала 8 МГц (N-1,N-2,N-3,N-9) и мешающий сигнал LTE с шириной канала 5(10) МГц.

Результаты измерений для ширины канала LTE 5 МГц представлены в таблице 4.3:

Таблица 4.3 - Результаты измерений для ширины канала LTE 5 МГц

№	Разнос центральных частот, МГц	Уровень полезного сигнала дБ мкВ	Уровень мешающего сигнала дБ мкВ	Отношение Сигнал/Помеха дБ	Уровень перегрузки дБ мкВ
<b>60 ТВК (782-790 МГц)</b>					
1	7.5	41	79.75	- 38.75	89.75
2	12.5	41	85.75	- 44.75	91.75
3	17.5	41	87.75	- 46.75	92.75
4	22.5	41	88.75	- 47.75	93.75
5	27.5	41	89.75	- 48.75	93.75
6	32.5	41	90.75	- 49.75	93.75
<b>59 ТВК (774-782 МГц)</b>					
1	15.5	41	86.75	- 45.75	91.75
2	20.5	41	87.75	- 46.75	92.75

Таблица 4.3- Продолжение

3	25.5	41	88.75	- 47.75	93.75
4	30.5	41	89.75	- 48.75	93.75
5	35.5	41	90.75	- 49.75	95.75
6	40.5	41	90.75	- 49.75	95.75
<b>58 ТВК (766-774 МГц)</b>					
1	23.5	41	88.75	- 47.75	93.75
2	28.5	41	88.75	- 47.75	93.75
3	33.5	41	90.75	- 49.75	95.75
4	38.5	41	90.75	- 49.75	95.75
5	43.5	41	91.75	- 50.75	96.75
6	48.5	41	91.75	- 50.75	96.75
<b>52 ТВК (718-726 МГц) – зеркальный канал к Блоку А LTE</b>					
1	71.5	41	92.75	- 51.75	96.75
<b>35 ТВК (582-590 МГц) – случайно выбранный канал</b>					
1	207.5	41	95.75	- 54.75	96.75

Результат измерений мешающего воздействия излучений базовой станции технологии LTE на прием сигналов наземных цифровых телевизионных станций по 57 ТВК (DVB-T2) представлен на рисунке 4.7:

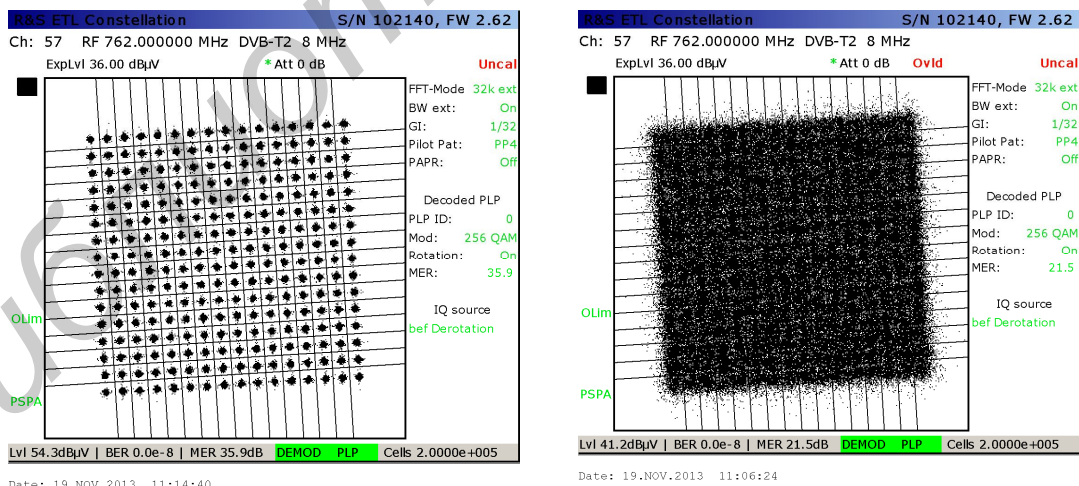


Рисунок 4.7 – Результаты измерений по 57 ТВК (DVB-T2)

Уровень полезного сигнала – 61 дБ мкВ/м. Уровень мешающего сигнала – 97 дБ мкВ/м. При уровне мешающего сигнала выше 97 дБ мкВ/м наблюдается блокирование приемной приставки с невозможностью декодирования полезного сигнала.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В случае обеспечения ЭМС указанных РЭС наибольшее влияние оказывают такие факторы (в соответствии с условным путем прохождения сигнала НРП), как:

1. рабочая частота, маска спектра сигнала;
2. эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) РПДУ сектора БС в направлении рецептора НРП;
3. ослабление сигнала при распространении, соответствующее среднестатистическим условиям;
4. дополнительное ослабление сигнала при распространении, обусловленное особенностями застройки, лесного массива и др.;
5. поляризационные потери, отражающие несогласованность антенн источника и рецептора НРП по поляризации;
6. коэффициент усиления антенны рецептора;
7. диаграмма направленности антенны (ДНА) рецептора и ее ориентация в пространстве;
8. затухание в антенно-фидерном тракте радиоприемного устройства (РПУ) рецептора;
9. динамический диапазон РПУ рецептора «сверху» (блокирование, интермодуляция);
10. селективные свойства РПУ рецептора;

В работе были представлены модели, используемые при анализе ЭМС и проектирование сетей подвижной связи. На основании представленных моделей производился расчет соблюдения условий ЭМС на межсистемном уровне, когда базовые станции (БС) систем мобильной связи воздействует на работу других РЭС связи в совместных частотных диапазонах. Ввиду того, что электромагнитная обстановка в группировках систем мобильной связи непрерывно изменяется, возникает необходимость в рассмотрении вопросов интермодуляционного влияния данных систем на системы связи, работающие в совместных либо близких диапазонах частот.

В проведенных исследованиях были определены наиболее эффективные пути улучшения ЭМС РЭС сети стандарта UMTS с РЭС РЛС и сети стандарта LTE с РЭС НЦТВ. К ним относятся снижение ЭИИМ в направлении рецептора НРП, использование поляризационной развязки РЭС, а также экспериментальное измерение и учет дополнительных потерь на трассе распространения сигналов НРП.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1-А.] Плякин, П. Б. Оценка параметров электромагнитной совместимости сетей сотовой связи GSM 900/1800 и UMTS. // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года) : материалы конф. В 2 ч. Ч. 1. -Минск, 2014. - С. 239-240.

Библиотека БГУИР