

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2158
(09/2009)

**Влияние систем электросвязи по линиям
электропередач на системы радиосвязи,
работающие в полосах НЧ, СЧ, ВЧ и ОВЧ
ниже 80 МГц**

Серия SM

Управление использованием спектра



Международный
союз
электросвязи

Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИКО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции 1 МСЭ-R. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИКО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайновой форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en.>)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра

Примечание. – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке Исследовательской комиссией в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 МСЭ-R.

Электронная публикация
Женева, 2010 г.

© ITU 2010

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2158

Влияние систем электросвязи по линиям электропередач на системы радиосвязи, работающие в полосах НЧ, СЧ, ВЧ и ОВЧ ниже 80 МГц*, **, ***

(Вопрос МСЭ-R 221/1)

(2009)

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Cmp.</i>
1 Введение.....	9
1.1 Передача данных по линиям электропередач	9
2 Характеристики радиочастотного излучения от систем электросвязи по линиям электропередач	10
2.1 Источники излучения в системе электросвязи по линиям электропередач	10
2.1.1 Дифференциальные и синфазные токи	10
2.1.2 Генерирование синфазного тока системы электросвязи по линиям электропередач	11
2.1.3 Синфазный ток, полученный на выходном порте модема электросвязи по линиям электропередач.....	11
2.1.3.1 Электрические характеристики внутренних линий электропередач, наблюдаемые со стороны разъема	13
2.1.3.2 Значения сопротивлений внутренних линий электропередач, измеренные на разъеме	13
2.1.3.3 Разбаланс внутренних линий электропередач, измеренный на разъеме	14
2.1.4 Преобразованный синфазный ток.....	15
2.1.4.1 Преобразованный синфазный ток, сгенерированный на удаленном несбалансированном элементе	15
2.1.4.2 Эффект рамочной антенны, создаваемый группой выключателей	17
2.1.4.3 Преобразование режима на группе выключателей	18
2.1.5 Утечка из внутренних линий электропередач в служебные провода за пределами здания	20
2.1.5.1 Оптимистичные данные	20
2.1.5.2 Пессимистичные данные	21
2.1.6 Эффективность экранирующего действия наружных стен здания.....	22

* Администрация Японии резервирует свою позицию относительно данного Отчета, задерживая дальнейшие вклады по конкретным вопросам, которые должны быть представлены на следующее(ие) собрание(я) Рабочей группы 1A.

** Администрация Сирийской Арабской Республики резервирует свою позицию относительно данного Отчета.

*** Смотрите также Отчет МСЭ-R SM.2157.

Стр.

3	Характеристики радиосистемы, критерии защиты и влияние систем электросвязи по линиям электропередач на системы радиосвязи.....	22
3.1	Радиовещание	22
3.1.1	Общие характеристики аналогового НЧ, СЧ и ВЧ радиовещания	22
3.1.1.1	Ширина полосы	22
3.1.1.2	Шумы приемника	22
3.1.1.3	Минимальная приемлемая напряженность поля	23
3.1.1.4	Защитные отношения	23
3.1.2	Общие характеристики цифрового НЧ, СЧ и ВЧ радиовещания стандарта DRM	24
3.1.2.1	Режимы устойчивости DRM	24
3.1.2.2	Типы занятости спектра	24
3.1.2.3	Модуляция и уровни защиты	25
3.1.2.4	Шумы приемника	25
3.1.2.5	Минимальная приемлемая напряженность поля	25
3.1.2.6	Требуемые отношения сигнал-шум для приема DRM	26
3.1.3	Диапазоны частот НЧ, СЧ, ВЧ и ОВЧ радиовещания	27
3.1.4	Критерии защиты и допустимые помехи	27
3.1.4.1	Рекомендация МСЭ-Р BS.1786 и МСЭ-Р BT.1786 – Критерий для оценки влияния помех за наземную радиовещательную службу	28
3.1.4.2	Рекомендация МСЭ-Р BS.560-4 – Радиочастотные защитные отношения в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании	28
3.1.4.3	Рекомендация МСЭ-Р BS.703 – Характеристики эталонных приемников звукового АМ радиовещания для целей планирования	28
3.1.4.4	Отчет МСЭ-Р BS.1058 – Минимальное отношение сигнал-шум на ЗЧ и РЧ, требуемое для радиовещания в диапазоне 7 (ВЧ)	28
3.1.4.5	Дополнение 2 к Рекомендации МСЭ-Р BS.1615 – Параметры планирования для цифрового звукового радиовещания на частотах ниже 30 МГц – РЧ защитные отношения для DSB (система DRM) на частотах ниже 30 МГц	28
3.1.4.6	Определение диапазона допустимых значений напряженности поля, создаваемых проводными системами электросвязи	29
3.1.4.7	Уровень шума приемника и уровень допустимых помех	29
3.1.4.8	Эквивалентная напряженность поля шума приемника	30
3.1.4.9	Внешний шум	31
3.1.4.10	Допустимая напряженность поля помех	31
3.1.4.11	Критерии защиты для радиовещательной службы	32

	Стр.
3.2 Любительская и любительская спутниковая служба	34
3.2.1 Общие характеристики	34
3.2.1.1 Эксплуатационные характеристики	34
3.2.2 Распределения для любительской службы	35
3.2.3 Требования защиты любительской радиослужбы ВЧ	35
3.2.3.1 Допуск на замирания и критерий защиты 0,5 дБ любительской радиослужбы ВЧ	35
3.2.3.2 Минимальный уровень шума в диапазонах любительской радиослужбы.....	36
3.2.3.3 Допустимые минимальные уровни шума	36
3.3 Воздушная подвижная и радионавигационная службы	37
3.4 Общие аспекты критериев защиты ВЧ фиксированной и сухопутной подвижной служб.....	39
3.4.1 Критерии защиты и требование защиты	39
3.4.1.1 Критерии защиты	39
3.4.1.2 Требование защиты	40
3.4.2 Возможные критерии защиты	40
3.4.3 Системы автоматического установления соединения	40
3.5 Морская подвижная служба.....	40
3.5.1 Общие положения	40
3.5.2 Частоты, распределенные для морской связи.....	41
3.5.3 Параметры приемника для морской подвижной службы в полосах СЧ и ВЧ.....	43
3.6 Радиолокация.....	44
3.7 Фиксированная служба.....	44
3.7.1 Характеристики фиксированной системы	44
3.7.2 Критерии защиты.....	44
3.8 Радиоастрономия	44
3.9 Стандартные частоты и сигналы времени	45
4 Возможные средства для предотвращения или устранения помех	46
4.1 Факторы и методы уменьшения помех для электросвязи по линиям электропередач.....	46
4.1.1 Ослабление переданных сигналов	46
4.1.2 Исключения полос частот.....	47
4.1.3 Географические запретные зоны.....	47
4.1.4 Требования к зоне консультаций	47

	<i>Стр.</i>
4.1.5 Методы адаптивных помех.....	48
4.1.6 Процедуры жалоб на помехи.....	48
4.1.7 База данных операторов электросвязи по линиям электропередач.....	49
4.2 Исследования методов уменьшения помех	49
4.2.1 Исследование методов уменьшения помех в Бразилии.....	49
4.2.1.1 Введение и общая информация	49
4.2.1.2 Схема испытаний	49
4.2.1.3 Узкополосные режекторные фильтры	51
4.2.1.4 Уменьшение мощности	52
4.2.1.5 Вывод	52
5 Общие выводы.....	52
Приложение 1 – Аспекты шумов, излучения и распространения радиоволн.....	53
A1 Аспекты шумов, излучения и распространения радиоволн	53
A1.1 Уровень шума в полосе ВЧ.....	53
A1.1.1 Среда окружающего шума.....	53
A1.1.2 Измерение минимального уровня окружающего шума.....	54
A1.1.3 Определение уровня шума.....	54
A1.1.3.1 Уровни тепловых, промышленных и атмосферных шумов	55
A1.1.3.2 Обновленные результаты измерений шума для Европы.....	58
A1.2 Механизмы распространения радиоволн.....	58
A1.2.1 Ближняя зона и распространение земной волной	58
A1.2.2 Распространение ионосферной радиоволной	59
A1.2.3 Примеры расчетов распространения и исследования	59
Приложение 2 – Анализ возможных помех	60
A2 Анализ возможных помех	60
A2.1 Моделирующий анализ для радиоастрономической службы.....	60
A2.1.1 Использование полос ВЧ радиоастрономической службой (PAC)	60
A2.1.2 Величины территориального разноса между антенной РА и системой электросвязи по линиям электропередач в диапазоне ВЧ.....	61
A2.1.2.1 Система электросвязи по линиям электропередач, использованная для исследований	61
A2.1.2.2 Расчеты.....	62

	Стр.
A2.1.3 Обсуждение	64
A2.1.3.1 Многочисленные системы электросвязи по линиям электропередач	64
A2.1.3.2 Дифракционное распространение	64
A2.1.3.3 Уменьшение излучений утечки из системы электросвязи по линиям электропередач	64
A2.1.3.4 Излучения на более высоких частотах	64
A2.1.4 Выводы	65
A2.2 Обзор помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач (PLT) радиовещательной службе	65
A2.2.1 Введение	65
A2.2.2 Влияние помех на телевидение в нижней части ОВЧ	66
A2.2.3 Влияние помех в полосе ВЧ	69
A2.2.4 Резюме и выводы	73
A2.3 Влияние помех со стороны систем PLT радиовещательной службы ниже 30 МГц	73
A2.4 Методика расчета кумулятивных ионосферных ВЧ помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач	73
A2.4.1 Пример ионосферных помех НАТО, Виннипег, Канада	74
A2.4.1.1 Введение	74
A2.4.1.2 Метод расчета кумулятивных ионосферных ВЧ помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач	74
A2.4.1.3 Кумулятивный инструментарий для PLT	75
A2.4.1.4 Кумулятивный инструментарий для PLT – Инструкция по применению	76
A2.4.1.5 Расчет ВЧ радиошума со стороны систем электросвязи по линиям электропередач	79
A2.4.1.6 Коэффициент усиления антенны проводной системы	83
A2.4.1.7 Оценка текущего проникновения PLT на рынок	83
A2.4.1.8 Выводы	83
A2.4.2 Исследование NTIA по ионосферному распространению и суммированию излучений PLT доступа	83
A2.4.2.1 Введение	83
A2.4.2.2 Аналитическое моделирование распространения ионосферной радиоволной	84
A2.4.2.3 Характеристики моделирования	90
A2.4.2.4 Результаты моделирования	92
A2.4.2.5 Карты ионосферного скопления	95
A2.4.2.6 Резюме	102
A2.4.3 Результаты расчета кумулятивных ВЧ ионосферных помех, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач	102
A2.4.3.1 Введение	102

	<i>Cтр.</i>
A2.4.3.2 Расчет кумулятивного ионосферного поля системы PLT	103
A2.4.3.3 Результаты расчета.....	106
A2.4.4 Результаты сравнительного исследования между радиоастрономическими наблюдениями в полосе ВЧ и кумулятивных ВЧ ионосферных помех, создаваемых внутренними системами электросвязи по линиям электропередач	111
A2.4.4.1 Введение	111
A2.4.4.2 Результаты расчета.....	111
A2.4.4.3 Возможные меры уменьшения помех для защиты радиоастрономической службы в полосе ВЧ	111
A2.5 Экспериментальные результаты субъективных оценочных испытаний приема аналогового ВЧ радиовещания, испытывающего помехи со стороны PLT	111
A2.5.1 Методы испытаний.....	112
A2.5.2 Результаты испытаний	115
A2.5.3 Оборудование для испытаний	118
A2.6 Анализ совместимости в отношении требований защиты ВЧ радиоустройств воздушной подвижной службы по отношению к устройствам PLT внутри зданий	118
A2.6.1 Введение	118
A2.6.2 Предположения для исследования.....	119
A2.6.3 Модель совместимости/геометрические расчеты	120
A2.6.4 Порог оценки для радиоустройств воздушной службы.....	121
A2.6.5 Результаты анализа.....	122
A2.6.6 Другие определители	124
A2.6.7 Требования к устройствам PLT для защиты ВЧ воздушной подвижной службы.....	124
Приложение 3 – Радиочастотные излучения со стороны систем электросвязи по линиям электропередач	124
A3 Радиочастотные излучения со стороны систем электросвязи по линиям электропередач	124
A3.1 Измерение РЧ уровней непреднамеренных излучений, создаваемых линиями PLT доступа в полосах ВЧ	124
A3.1.1 Введение	124
A3.1.2 Цель.....	125
A3.1.3 Основная причина помехи.....	125
A3.1.4 Описание испытаний.....	125
A3.1.5 Комментарии.....	127
A3.1.6 Возможный метод уменьшения помех	127
A3.1.7 Выводы	127

Стр.

A3.2 Измерения создаваемых излучений от устройств электросвязи по линиям электропередач, находящихся внутри зданий в условиях жилой застройки в Канаде	128
A3.2.1 Введение	128
A3.2.2 Измерение проведенной мощности – Процедура и результаты испытаний	128
A3.2.3 Измерения напряженности поля – Процедура и результаты	132
A3.2.4 Выводы	138
A3.3 Результаты измерения излучений, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач, находящимися внутри зданий, в условиях жилой застройки в испытаниях, проведенных в Японии.....	138
A3.3.1 Введение	138
A3.3.2 Метод измерения	138
A3.3.3 Условия связи по линиям электропередач	139
A3.3.4 Результаты измерения	141
A3.4 Результаты измерения излучений утечки, создаваемых системой электросвязи по линиям электропередач (PLT) в полосах ВЧ и УВЧ	144
A3.4.1 Введение	144
A3.4.2 Натурные эксперименты на горе Акаги, Япония, 23 июля 2002 года	144
A3.4.3 Излучения утечки в полосе ВЧ	146
A3.4.4 Побочное излучение в полосе УВЧ	148
A3.4.5 Сравнение уровня шума PLT с Рекомендацией МСЭ-R RA.769 на частоте 327 МГц	150
A3.4.6 Выводы	150
A3.5 Измерение расстояния разноса	151
A3.5.1 Измерения расстояния разноса в Бразилии.....	151
A3.5.2 Измерения расстояния разноса в Канаде	151
A3.5.3 Измерение зависимости от расстояния электрического поля утечки, создаваемого системами электросвязи по линиям электропередач внутри зданий, в Японии	152
A3.5.3.1 Введение	152
A3.5.3.2 Измерение	153
A3.5.3.3 Измеренные данные	154
A3.5.3.4 Определение зависимости от расстояния	163
A3.5.3.5 Резюме	163
Дополнение 1 к Приложению 3 – Измерений электромагнитного (ЭМ) излучения от устройств PLT внутри зданий, работающих в условиях жилой застройки – Отчет о натурных испытаниях	164

	<i>Cтр.</i>
Приложение 4 – Примеры проектов технологии PLT	165
A4 Примеры проектов технологии PLT	165
A4.1 Примеры топологии сетей PLT	165
A4.2 Общие аспекты проектирования	166
A4.2.1 Управление доступом к среде	166
A4.2.2 Повторители	166
A4.2.3 Мультиплексирование и подходы многостанционного доступа	166
A4.2.4 Расстояние	167
A4.3 Архитектуры сети PLT на распределительных линиях среднего напряжения	167
A4.4 Архитектуры сети PLT на распределительных линиях низкого напряжения	167
A4.4.1 Топология сети PLT малой плотности	168
A4.4.2 Топологии сети PLT высокой плотности	169
A4.4.3 Звездообразная топология сети PLT	169
A4.4.4 Древовидная топология сети PLT	169
A4.4.5 Топология многоэтажной сети PLT	169

1 Введение

Как часть исследований совместимости между системами радиосвязи и системами электросвязи с высокой скоростью передачи данных, использующими проводной источник электропитания, или распределительные телефонные провода (Вопрос МСЭ-R 221/1), в настоящем Отчете рассматривается использование радиочастотного спектра и соответствующие требования защиты служб радиосвязи в отношении влияния со стороны электросвязи по линиям электропередач (PLT). Системы электросвязи по линиям электропередач используют радиочастотные сигналы, поданные в линии электропередач, используемые для распределения сетевого электричества. Поскольку линии электропередач не предназначены для передачи сигналов с высокой скоростью передачи, сигналы PLT в линиях электропередач способны создавать помехи службам радиосвязи.

Пункт 15.12 РР требует, что: "Администрации должны предпринимать все практические осуществимые и необходимые меры для того, чтобы работа всевозможной электрической аппаратуры и установок, включая сеть линий электропередач и распределительную сеть электросвязи, но исключая оборудование для промышленного, научного и медицинского применения, не создавала вредных помех какой-либо службе радиосвязи и, в особенности, радионавигационной или любой другой службе безопасности, работающей в соответствии с положениями настоящего Регламента"¹.

В настоящем Отчете рассматривается использование систем электросвязи по линиям электропередач на частотах ниже 80 МГц. Это новое семейство применений иногда называют PLC (связь по линиям электропередач), BPL (широкополосная связь по линиям электропередач), а также PLT (электросвязь по линиям электропередач). В этом Отчете мы будем использовать общий термин PLT.

1.1 Передача данных по линиям электропередач

Передача сигналов по сети энергоснабжения существует много лет, работает в полосах ОНЧ и НЧ, и в настоящее время существует множество применений низкоскоростной передачи данных по сети энергоснабжения, включая передачу энергетическими компаниями сигналов об их распределительных сетях.

Начиная с 1998 года новые разработки в технологии модемов для передачи данных показали возможность использовать более высокие частоты и большие значения ширины полосы для установления связи по линиям сети энергоснабжения с использованием частот вплоть до 80 МГц.

В настоящее время имеется два основных семейства применений PLT:

- PLT доступ, целевым рынком которого является последняя миля (т. е. 1,2 км) между электрической подстанцией и абонентом, и, следовательно, может быть альтернативным средством доступа к локальной сети электросвязи.
- PLT внутри помещений, цель которого состоит в том, чтобы распределять сигналы, приходящие, например, от PLT доступа или от DSL, в розетки сети электропитания внутри зданий.

PLT потенциально предлагает передачу со скоростью в несколько Мбит/с по обычным проводам электропитания внутри каждого здания. В случае PLT доступа, эта скорость передачи данных делится между множеством одновременных пользователей. Так как PLT использует интернет-протокол (IP), основное применение PLT также можно описать как интернет из электрической розетки. Выигрыш PLT в том, что он использует уже существующую и широко развернутую низковольтную электрическую сеть, допуская введение новых услуг без необходимости тянуть дополнительные провода. Реализация систем электросвязи по линиям электропередач и их технические характеристики могут значительно меняться в соответствии с применением и страной использования.

В некоторых условиях может оказаться важным ослабление РЧ сигналов вдоль низковольтных линий электропередачи, где есть множество линейных трансформаторов, запитанных от высоковольтной распределительной сети в локальной сети электропитания, где для небольшого числа потребителей, каждому – с низким напряжением (как правило, в жилые дома и коммунальные учреждения подается

¹ 15.12.1 и 15.13.1 В данном вопросе, администрации должны руководствоваться последними соответствующими Рекомендациями МСЭ-R".

двухфазное напряжение 110 В), или где электрическое измерительное оборудование использует сети с индуктивными или емкостными компонентами.

Однако в 3-фазной распределительной сети с напряжением 220/240 вольт может быть более 100 потребителей на одну фазу, запитанную от высоковольтного трансформатора. В случае подземных сетей может существовать очень малая изоляция от измерителей, так как становятся стандартными электронные измерения. В таких условиях многочисленные системы электросвязи по линиям электропередач могли бы прекратить совместное использование ширины полосы и, таким образом, можно эффективно снизить максимальную скорость передачи данных, имеющуюся в сети электропитания нескольких улиц или охватывающую большое здание с небольшим ослаблением между системами.

Примеры того, как разрабатываются и реализуются системы электросвязи по линиям электропередач в мире, приведены в Приложении 4 к этому Отчету.

2 Характеристики радиочастотного излучения от систем электросвязи по линиям электропередач

2.1 Источники излучения в системе электросвязи по линиям электропередач

Линии электропитания домохозяйства состоят из двух или трех проводов, то есть, проводов под напряжением, нейтрального провода и провода заземления, где электрическая энергия переменного тока (АС) передается по проводу под напряжением и нейтральному проводам. Аналогично, в системе электросвязи по линиям электропередач домашнего пользования, мощность сигнала подается оборудованием PLT (модем) в провод под напряжением и нейтральный провод, и ток ВЧ сигнала в каждом проводе должен быть равным по амплитуде и противоположным по направлению. В большинстве случаев, однако, токи в двух проводах содержат компоненты, текущие в том же направлении. Эти совпадающие по фазе компоненты действуют как, так называемые, антенные токи, которые становятся главным источником нежелательного излучения от системы электросвязи по линиям электропередач.

Аналогично, в распределительных сетях совпадающие по фазе компоненты ВЧ тока в проводах линии электропередач могут рассматриваться, как основные источники излучения, если расстояние между проводниками намного меньше длины волны сигналов PLT.

2.1.1 Дифференциальные и синфазные токи¹

Как правило, токи сигналов PLT в двух проводах линии электропередач должны быть равны по амплитуде и течь в противоположных направлениях друг другу. Этот базовый режим токов в теории линий передач обозначается различными техническими терминами, например, дифференциальный режим, симметричный режим, сбалансированный режим и режим поперечных колебаний. Однако, если источник сигнала, линии электропередач или нагрузка не являются электрически сбалансированными относительно земли, и близлежащие объекты или провода линий электропередач не параллельны геометрически, токи в проводниках линии содержат компоненты, текущие в том же направлении. Этот режим совпадающего по фазе тока называется синфазным режимом, асимметричным режимом или режимом продольных колебаний. Таким образом, ток сигнала PLT в каждом проводнике может быть выражен в виде суммы векторов компонентов дифференциального и синфазного режима, т. е. I_d и I_c , как показано на рисунке 2-1а. Токи этих двух режимов распространяются независимо вдоль линий электропередач, если они сбалансированы. Однако они объединяются на несбалансированных элементах сети линий электропередач. Поскольку в дифференциальном режиме токи PLT в двух близко расположенных проводниках текут в противоположных направлениях, создаваемые электромагнитные поля могут быть устранины, приводя к тому, что в точках, удаленных от линий электропередач, нет значительных полей.

И, наоборот, синфазные токи PLT могут формировать петли токов, показанные на рисунке 2-1а, создающие электромагнитные поля, особенно в диапазонах СЧ/ВЧ. На ВЧ и в более высоких диапазонах частот они могут излучать электромагнитные волны, точно также, как это делают монопольные антенны или V-образные рамочные антенны. Таким образом, в системах электросвязи по линиям электропередач основными источниками излучения считаются синфазные токи.

¹ Прилагаемый документ 1 к Техническому отчету по высокоскоростной передаче данных по PLT, опубликованному в Японии Советом по информации и связи при Министерстве внутренних дел и связи (MIC), Япония, 2006 г.

Несмотря на то что международный стандарт CISPR 22 редакции 5.2 (2006 г.) требует ограничивать до значения 30 дБмА и ниже только синфазные токи, вытекающие из портов электропитания и портов электросвязи ИК оборудования, при определенных условиях нагрузки, т. е. эквивалент сети электропитания (AMN), асимметричный эквивалент сети (AAN) или схема стабилизации полного сопротивления линии (ISN), эти или аналогичные регламентарные меры не могут применяться в случае PLT, так как модемы PLT подают сигнал дифференциального режима в сеть линий электропередач, которая является в значительной мере несбалансированной, в которой дифференциальный режим и синфазный режим значительно связаны между собой. Следует отметить, что источником создаваемого излучения являются синфазные токи, протекающие вдоль сети линий электропередач, а не только синфазные токи, текущие в розетке. Более того, синфазный ток, измеренный при условиях AAN (или ISN), будет существенно занижать оценку преобразованного синфазного тока и, следовательно, создаваемое излучение, поскольку оно может быть значительно снижено синфазным сопротивлением модема PLT, тогда как синфазный ток, создаваемый в реальной сети линий электропередач, не испытывает влияния синфазного сопротивления модема PLT². Следовательно, очень важно полностью описать физические механизмы генерирования в сети линий электропередач.

2.1.2 Генерирование синфазного тока системы электросвязи по линиям электропередач

Токи сигналов PLT в дифференциальном режиме (DM) можно преобразовать в синфазные токи при помощи двух различных механизмов. Один из них создается разбалансировкой модема PLT и называется созданным синфазным током (LCM) (показан красными пунктирными стрелками на рисунке 2-2). Другой создается разбалансировкой в линиях электропередачи и называется преобразованным синфазным током (CCM) (показан сплошными красными стрелками на рисунке 2-2). Разбалансировка в сети линий электропередач включает в себя:

- несбалансированную нагрузку, присоединенную к розетке;
- групповой выключатель, который состоит из выключателя потолочного(ых) светильника(ов) и однополюсного настенного выключателя; и
- в некоторых странах отдельно заземленного служебного провода, показанного на рисунке 2-2.

Обратите внимание, что несбалансированные элементы на сети линий электропередач удалены от модемов PLT на расстояние от нескольких метров до нескольких десятков метров. Следовательно, преобразованные синфазные токи должны рассматриваться при помощи теории распределенной постоянной цепи или линии передачи.

2.1.3 Синфазный ток, полученный на выходном порте модема электросвязи по линиям электропередач³

Эквивалентная цепь, изображенная на рисунке 2-1b, дает следующее выражение для синфазного тока в точке x:

$$I_c(x) = \frac{1}{Z_c(x) \cdot Z_d(x)} [Z_2(x)e_1(x) - Z_1(x)e_2(x)], \quad (2-1)$$

где сопротивления системы электросвязи по линиям электропередач в дифференциальном и синфазном режиме имеют вид:

$$Z_d(x) = Z_1(x) + Z_2(x) \quad \text{и} \quad Z_c(x) = \frac{Z_1(x) \cdot Z_2(x)}{Z_1(x) + Z_2(x)} + Z_3(x), \quad (2-2)$$

соответственно, где $Z_1(x) \equiv Z_{S1}(x) + Z_{L1}(x)$, $Z_2(x) \equiv Z_{S2}(x) + Z_{L2}(x)$, $Z_3(x) \equiv Z_{S3}(x) + Z_{L3}(x)$.

² DUNKER and SISOLEFSKY [May 2008] Using the T-AAN for the measurement at the mains port of PLT modems. CISPR/A/WG1(Dunker/Sisolefsky)08-01, CISPR/I/PT PLT/(Dunker/Sisolefsky)08-01. <http://www.bundesnetzagentur.de/media/archive/17349.pdf>.

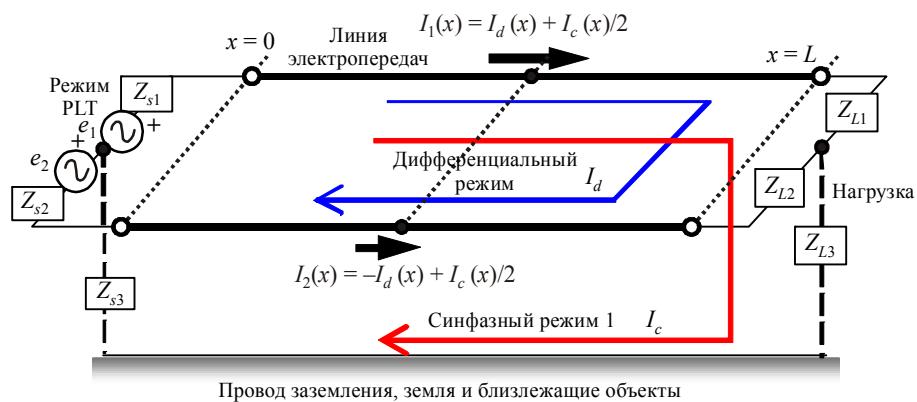
³ KAMI, Y. and XIAO, F. [2006] Equivalent Two-Port Network for Indoor Outlet and its Application, Proc. EMC Europe Int'l Symp. on EMC, p. 420-425, Barcelona, Spain.

Из этих уравнений получается, что синфазные токи индуцируются из сигналов токов дифференциального режима из-за разбаланса в системах электросвязи по линиям электропередач: разбаланса в линиях электропередач, разбаланса в модеме PLT (напряжения источника e_1 и e_2 сопротивления Z_{s1} и Z_{s2}) и разбаланса в присоединенных нагрузках Z_{L1} и Z_{L2} .

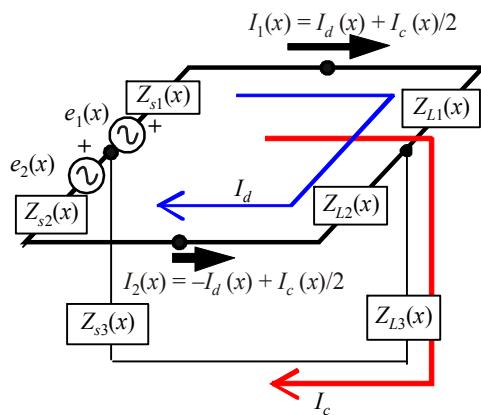
Рисунок 2-1б может соответствовать, как правило, любой точке на линии электропередач, синфазный ток и разбаланс сети линий электропередач оцениваются только в розетке². Оцениваемым синфазным током является синфазный ток, выходящий из модема PLT в розетку из-за разбалансов как в модеме, так и в сети линий электропередач². Однако разбаланс, видимый со стороны розетки, составляет только малую часть разбалансов, существующих в линии электропередач⁴.

РИСУНОК 2-1

Модель линии передачи системы электросвязи по линиям электропередач и эквивалентная ей цепь



a) Модель линии передачи

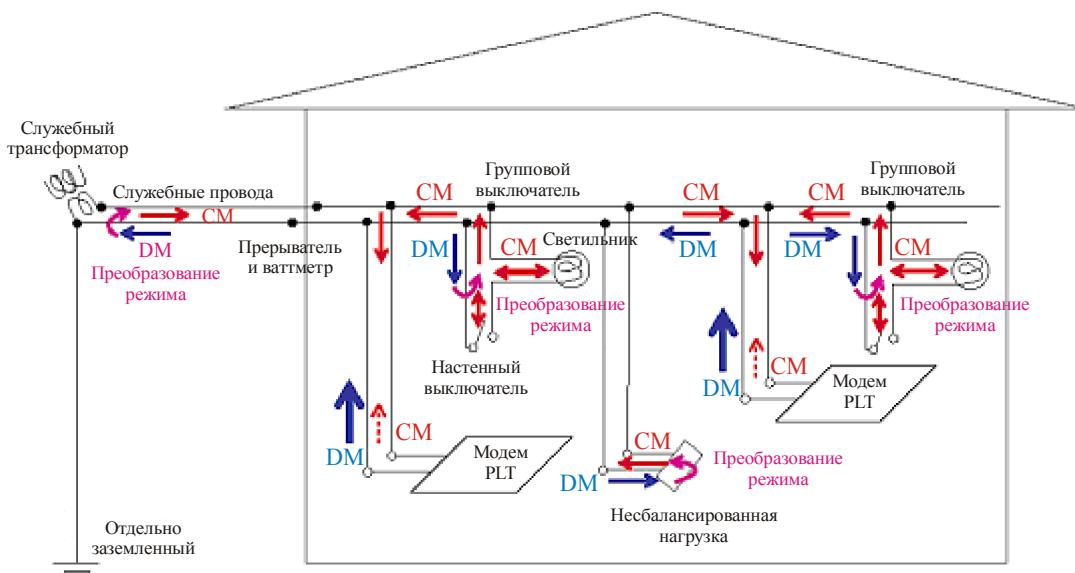


b) Модель эквивалентной цепи

Report 2158-2-01

⁴ KITAGAWA, M. [2009] LCL and Common Mode Current at the Outlet Do Not Tell the Common Mode Current Generated at the Remote Unbalanced Element on the Power-line. Proc. on EMC Zurich 2009, p.1-4, Zurich, Switzerland.

РИСУНОК 2-2
Синфазные токи на сети линий электропередач



Report 2158-2-02

2.1.3.1 Электрические характеристики внутренних линий электропередач, наблюдаемые со стороны разъема

Следует отметить, что синфазные и дифференциальные сопротивления, также потери преобразования, измеренные в настенных розетках, могут не описывать электрические характеристики и возможные излучения всей внутренней электропроводки здания. Сеть линий электропередач должна рассматриваться как распределенная цепь. Измеренные значения, которые проведены далее, являются "местными значениями", и не описывают значений вдоль всей линии электропередач. Однако они могут предоставить полезную информацию о характеристиках внутренней электропроводки здания.

Как объясняется в предыдущих параграфах, нежелательное излучение со стороны систем электросвязи по линиям электропередач, как правило, создается синфазными токами, которые преобразуются из токов сигнала (дифференциального режима) в линиях электропередач. Таким образом, характеристики линий электропередач, такие как сопротивления синфазного/дифференциального режима и электрический баланс, являются ключевыми факторами для анализа излучения PLT. Следовательно, было проведено множество измерений на настенных розетках в различных домах, включая деревянные дома и квартиры из железобетона в Японии.

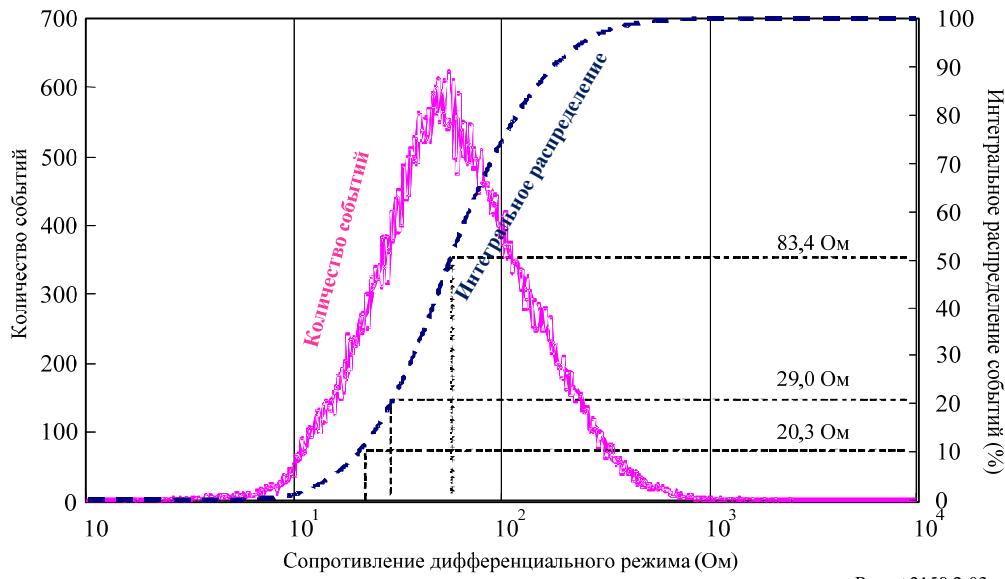
2.1.3.2 Значения сопротивлений внутренних линий электропередач, измеренные на разъеме

Как показано уравнением (2-2), сопротивления дифференциального режима и синфазного режима реальных линий электропередач меняются в широких пределах с изменением частоты и времени, а также положения. Кроме того, на них значительно влияют домашние приборы и другое электрическое/электронное оборудование, присоединенное к линиям электропередач. Следовательно, характеристики сопротивления следует рассматривать на статистической основе.

На рисунке 2-3 показано сопротивление дифференциального режима линий электропередач, измеренное в различных настенных розетках в различных зданиях. Из этого рисунка получается, что во многих случаях сопротивления дифференциальных линий электропередач составляют примерно 100 Ом. Этот результат измерений хорошо соответствует спецификациям CISPR 16-1-2 редакция 1.2 (2006 г.) для нагрузки (т. е. эквивалента сети электропитания), использованной в испытаниях оборудования на соответствие техническим условиям.

РИСУНОК 2-3

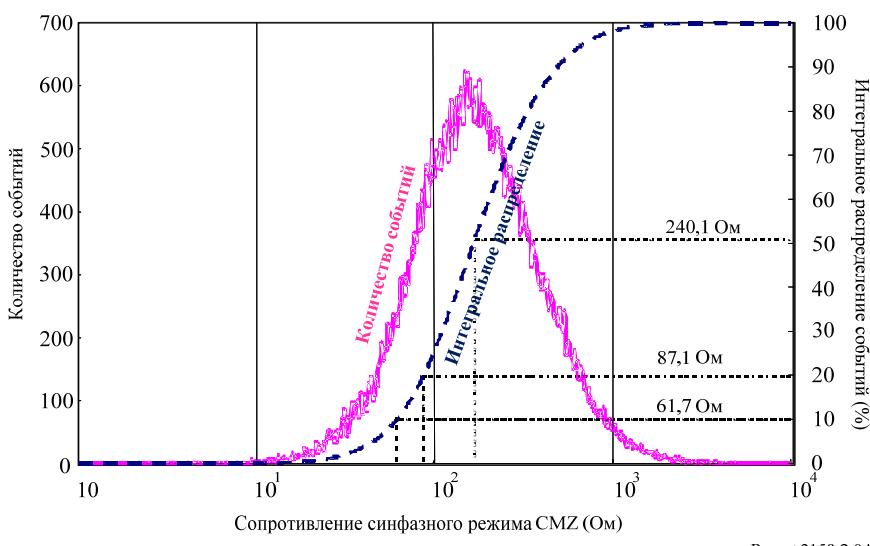
Сопротивление дифференциального режима, измеренное в настенных розетках в жилых домах



На рисунке 2-4 также показано сопротивление синфазного режима, измеренное на множестве настенных розеток. Очевидно, что сопротивления синфазного режима обычно больше 100 Ом. Однако документ CISPR 16-1-2 определяет, что сопротивление синфазного режима испытательной нагрузки должно быть равно 25 Ом, так как такое низкое сопротивление может подчеркнуть разбаланс характеристик испытуемого оборудования (EUT), как выводится из уравнения (2-1).

РИСУНОК 2-4

Сопротивление синфазного режима, измеренное в настенных розетках в жилых домах

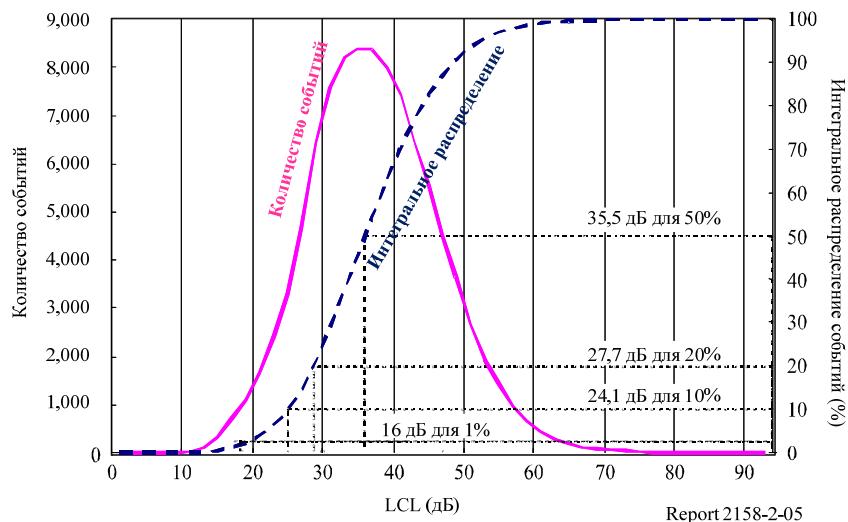


2.1.3.3 Разбаланс внутренних линий электроподачи, измеренный на разъеме

На рисунке 2-5 показаны данные значений LCL, измеренные на множестве настенных розеток различных домов в Японии. LCL (продольные потери преобразования) – это параметр, описывающий разбаланс системы параллельных линий, определяемый отношением приложенного напряжения

синфазного режима к напряжению дифференциального режима, индуцированному на многотерминальном порту. Сбалансированные линии, такие как неэкранированные телефонные кабели, обычно имеют LCL более 50 дБ. Значение LCL зависит от сопротивлений дифференциального режима и синфазного режима, видимых со стороны порта. Поскольку эти сопротивления линий электропередач значительно меняются с изменением времени, частоты и позиции, реальные значения LCL также меняются в очень широких пределах от 20 дБ до 60 дБ, как показано на рисунке 2-5.

РИСУНОК 2-5
LCL, измеренные в настенных розетках в жилых домах



2.1.4 Преобразованный синфазный ток

2.1.4.1 Преобразованный синфазный ток, сгенерированный на удаленном несбалансированном элементе⁴

Как показано на рисунке 2-2, несбалансированные элементы удалены от модема PLT на сети линий электропередач. Следовательно, система должна рассматриваться как постоянная распределенная цепь или линия передачи. Простейшая модель для анализа этой ситуации показана на рисунках 2-6 и 2-7.

РИСУНОК 2-6
Простейшая модель для оценки преобразованного синфазного тока

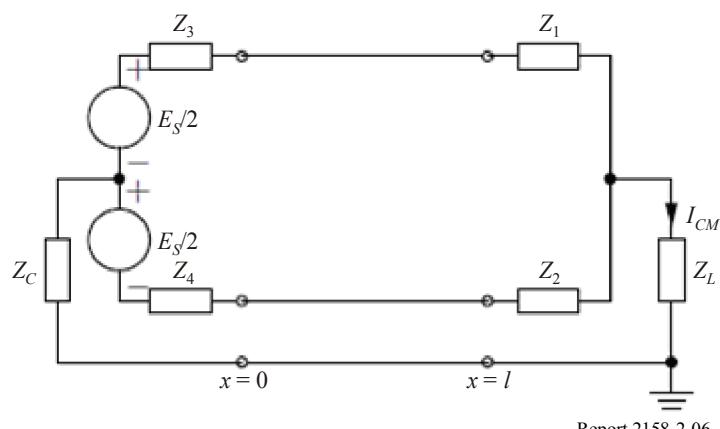
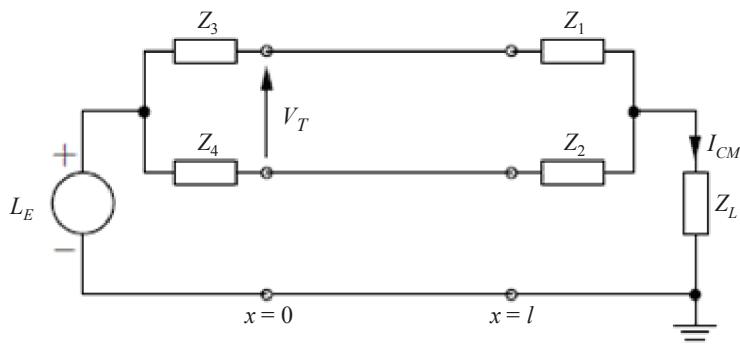


РИСУНОК 2-7
Простейшая модель для оценки LCL удаленной несбалансированной нагрузки



Report 2158-2-07

В соответствии с теоретическим анализом на рисунке 2-6 ток синфазного режима, генерируемый на несбалансированной нагрузке, находящейся от модема PLT на расстоянии l , составляет:

$$I_{CM}^-(l) = \kappa I_{DM}^+(l) = \kappa I_{DM}^+(0) \exp(-\gamma l),$$

где:

$I_{DM}^+(0)$: ток дифференциального режима, поданный на разъем модемом PLT;

γ : постоянная ослабления дифференциального режима;

κ : определяется уравнением:

$$\frac{-\Delta Z_0}{(Z_{CM}' + Z_{0c})(Z_{DM} + Z_0)},$$

где Z_0 и Z_{0c} – характеристические сопротивления дифференциального режима и синфазного режима, соответственно, и

$$\begin{aligned} Z_{DM} &= Z_2 + Z_1, \\ Z_{CM} &= Z_L + Z_1 // Z_2 = Z_L + Z_{DM}/4 - \Delta^2/4Z_{DM}, \\ Z_L + Z_{DM}/4 - \Delta^2/4(Z_{DM} + Z_0), \\ Z_{CM}'' &= Z_L + Z_{DM}/4. \end{aligned}$$

Обратите внимание, что преобразованный синфазный ток, сгенерированный на удаленном несбалансированном элементе, не уменьшается при повышении сопротивления синфазного режима модема PLT.

Взаимосвязь между током синфазного режима и LCL, как правило, достаточно сложна из-за многочисленных отражений тока синфазного режима между двумя окончаниями линии передачи, которая не является точно эквивалентной на рисунках 2-6 и 2-7 на разъеме. Однако в случае уменьшения многочисленных отражений благодаря ослаблению синфазного режима и тому, что для простоты считаем $Z_{DM} = Z_0$, имеется простая взаимосвязь:

$$\left| \frac{I_{CM,all}^-(l)}{I_{DM}^+(0)} \right| \approx |\kappa| \exp(-\alpha l) \approx \frac{1}{LCL_E},$$

$$\left| \frac{I_{CM,all}^-(l)}{I_{DM}^+(0)} \right| \approx \frac{1}{LCL_0}$$

и

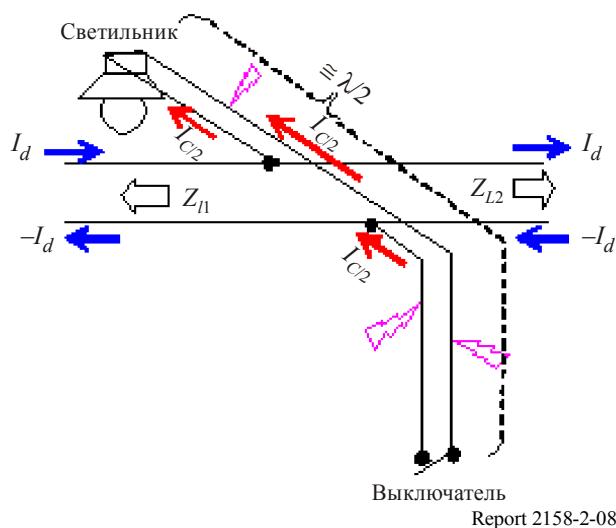
$$LCL_E = LCL_0 \exp(-\alpha_c l),$$

где LCL_E представляет собой эффективные потери от преобразования тока дифференциального режима, поданного на разъем модемом PLT в преобразованный синфазный ток, сгенерированный на удаленной несбалансированной нагрузке LCL_0 представляет собой продольные потери преобразования, измеренные на разъеме, и α_c – постоянная ослабления синфазного режима линии электроперехода. Следовательно, значение LCL , измеренное на разъеме, завышает оценку эффективных потерь преобразования на величину потерь синфазного режима между разъемом и удаленным несбалансированным элементом. Это одна из причин, почему LCL на разъеме не является эффективной мерой разбаланса линии электроперехода и не может использоваться в качестве потерь преобразования тока дифференциального режима в ток синфазного режима, генерируемый в сети линий электроперехода. Другой причиной является скрытый ток антенны в группе выключателей, который объясняется далее.

2.1.4.2 Эффект рамочной антенны, создаваемый группой выключателей

В домах и зданиях имеется множество цепей ответвления, соединенных в параллель к магистральным линиям электроперехода. Не некоторых определенных частотах, когда длина ответвления приближается к половине длины волны, цепь ответвления ведет себя как рамочная дипольная антenna, изображенная на рисунке 2-8, тогда резонирующая ветвь излучает электромагнитные волны. Амплитуда токов синфазного режима в ответвлении зависит от длины и нагрузки ответвления, расположения точек соединения и сопротивлений магистральных линий, представленных в точках соединения. Эти факторы различны в разных ответвлениях, и число ответвлений соответствует числу комнат в здании, неизбежен сценарий наихудшего случая. Максимальный антенный ток в рамочном диполе вдвое больше тока дифференциального режима, поданного на его вход. Следовательно, внутренние потери преобразования тока дифференциального режима в ток синфазного режима составляют -6 dB.

РИСУНОК 2-8
Рамочная дипольная антenna, образуемая группой выключателей*



* SUGIURA A., KAMI Y., AMEMIYA F. и YAMANAKA Y. [2007] Technical Requirements for the Broadband PLT in Japan. IEICE Techni. Rep. (Japanese), Vol. EMCJ2007-36.

Ток дифференциального режима в точке питания рамочной дипольной антенны уменьшен относительно тока дифференциального режима, поданного на разъем модемом PLT на величину от 5 до 10 дБ, поскольку, согласно оценкам ослабление между двумя разъемами обычной цепи составляет от 10 до 20 дБ¹. Поскольку сопротивление дифференциального режима магистральных линий в точке питания рамочной дипольной антенны неизвестно, теряемая часть также неизвестна. Предполагая, эти потери равными 3 дБ, можно оценить суммарное эффективное значение LCL рамочного диполя величиной от 2 до 7 дБ.

Это близко к сценарию наихудшего случая для отдельной группы выключателей. Однако поскольку в здании имеется множество таких ответвлений, необходимо учитывать суммарное излучение от множества групп выключателей, и нет причины предполагать, что все они сильно отличаются от сценария наихудшего случая. Следовательно, оценка эффективного значения LCL, описывающего влияние рамочной антенны, создаваемый группой выключателей, на сеть линий электропередач составит несколько дБ. Обратите внимание, что антенный ток в рамочном диполе, создаваемый группой выключателей, невидим со стороны магистральных линий и разъемов, и, следовательно, что значение LCL, измеренное на разъеме, не учитывает эффекта рамочной антенны, создаваемого группой выключателей. Следовательно, значение LCL на разъеме не может использоваться в качестве меры антенных токов, генерируемых в сети линий электропередач из-за сигнального тока дифференциального режима от модемов PLT.

2.1.4.3 Преобразование режима на группе выключателей

Группы выключателей преобразуют ток дифференциального режима в ток синфазного режима и наоборот, даже если они не образуют рамочную дипольную антенну. Группа выключателей, состоящая из потолочного освещения и однополюсного настенного выключателя, показанная на рисунке 2-9а, моделируется как линия передачи с несколькими короткозамкнутыми шлейфами, как показано на рисунке 2-9б и анализируется⁵. Один из пары токов дифференциального режима, подаваемый на группу выключателей, протекает через короткозамкнутый шлейф длиной l и создает два эффекта:

- короткозамкнутый шлейф излучает как рамочная монопольная антенна длиной l ; и
- короткозамкнутый шлейф задерживает фазу тока на $2\theta = 2\beta l$, где $\beta = 2\pi/\lambda$.

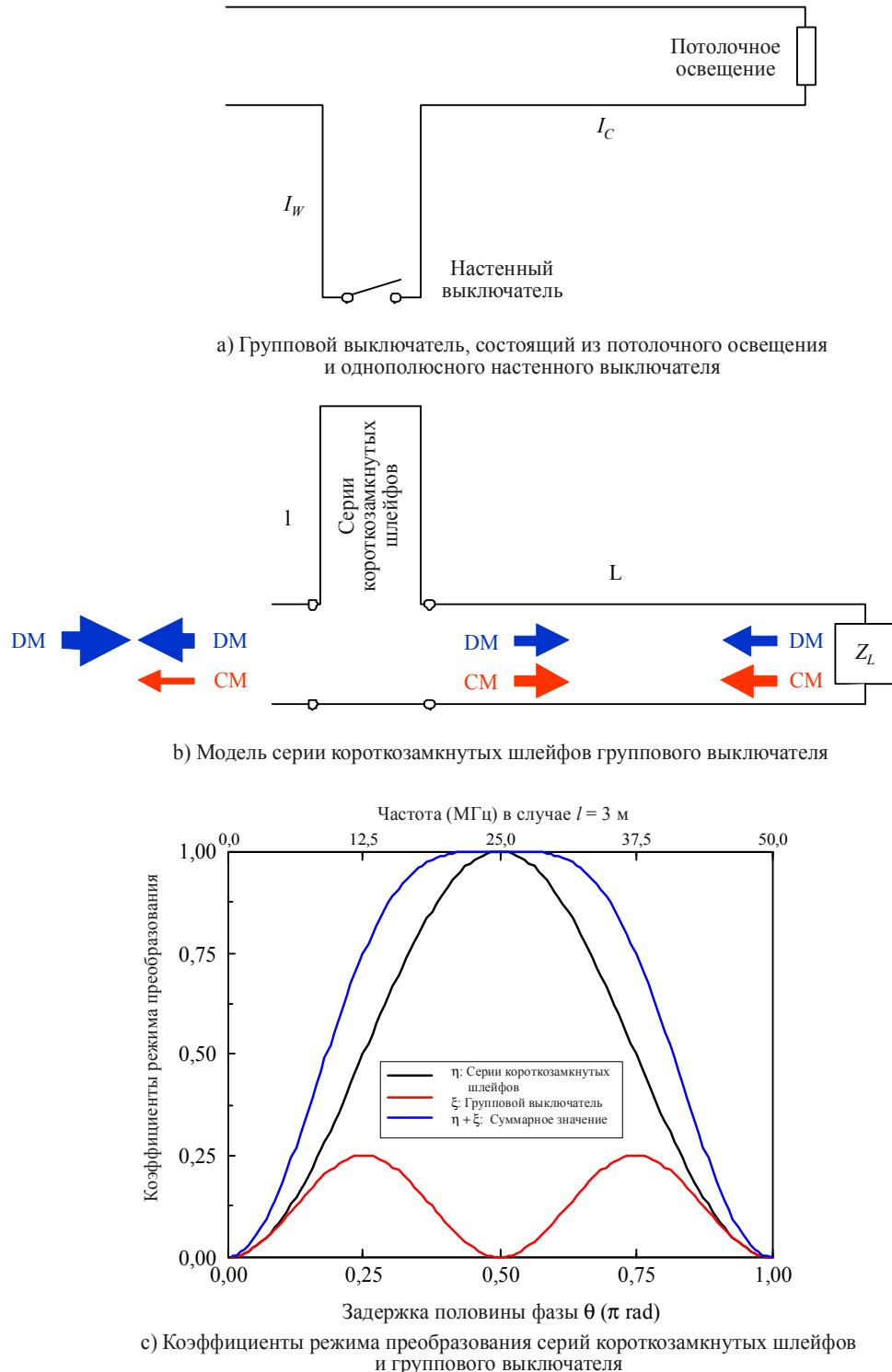
Первый эффект максимален, когда длина короткозамкнутого шлейфа l становится равной четверти длины волны сигнала, и излучающий ток становится двое больше тока дифференциального режима. Последний эффект вызывает преобразование между током дифференциального режима и током синфазного режима. Коэффициент преобразования режима, соотношение мощностей выходного и входного режимов серии короткозамкнутых шлейфов, равно $\eta = \sin^2\theta$ и показано на рисунке 2-9с. Для типичного примера $l = 3$ м коэффициент преобразования режима = 50% (или -3 дБ) для 12,5 МГц и 100% для 25 МГц. Обратите внимание, что коэффициент преобразования намного больше для всего диапазона ВЧ и нижней части диапазона ОВЧ.

Ток дифференциального режима, поступающий в группу выключателей, частично преобразуется в ток синфазного режима за счет сдвига фаз на серии короткозамкнутых шлейфов. Преобразованный синфазный ток, протекающий вдоль линии передач длиной L , отражается в обратном направлении 100% на нагрузке и частично преобразуется обратно в ток дифференциального режима на серии короткозамкнутых шлейфов. Ток дифференциального режима, дважды прошедший процедуру преобразования режима на короткозамкнутом шлейфе, выглядит так, как будто он только что отразился от группы выключателей, хотя он все еще генерирует ток синфазного режима внутри группы выключателей. Ток дифференциального режима, прошедший процедуру преобразования режима только один раз на серии короткозамкнутых шлейфов, подает ток синфазного режима в магистральную линию электропередач. Коэффициент внешнего преобразования режима, то есть соотношение выходной мощности синфазного режима и входной мощности дифференциальный режим группы выключателей равно $\xi = \eta(1-\eta) = \sin^2 2\theta / 4$ и показан на рисунке 2-9с). Коэффициент внешнего преобразования режима достигает значения 25% или -6 дБ. Группа выключателей прочно соединяет синфазный и дифференциальный режимы.

⁵ KITAGAWA, M. [November 2008] Hidden antenna current in domestic power-line network. IEICE Tech. Rep., Vol. 108, 307, EMCJ2008-78, p. 21-26.

Влияние внешнего преобразования режима группы выключателей можно частично видеть со стороны разъема. Однако поскольку коэффициент внутреннего преобразования режима η и коэффициент внешнего преобразования режима ξ могут быть коррелированы как в положительной, так и в отрицательной связи, коэффициент внутреннего преобразования режима и антенный ток, генерируемый внутри группы выключателей, нельзя оценить на основании значения LCL на разъеме, которое может частично определить влияние внешнего преобразования режима группы выключателей.

РИСУНОК 2-9
Преобразование режима на группы выключателей



2.1.5 Утечка из внутренних линий электропередач в служебные провода за пределами здания

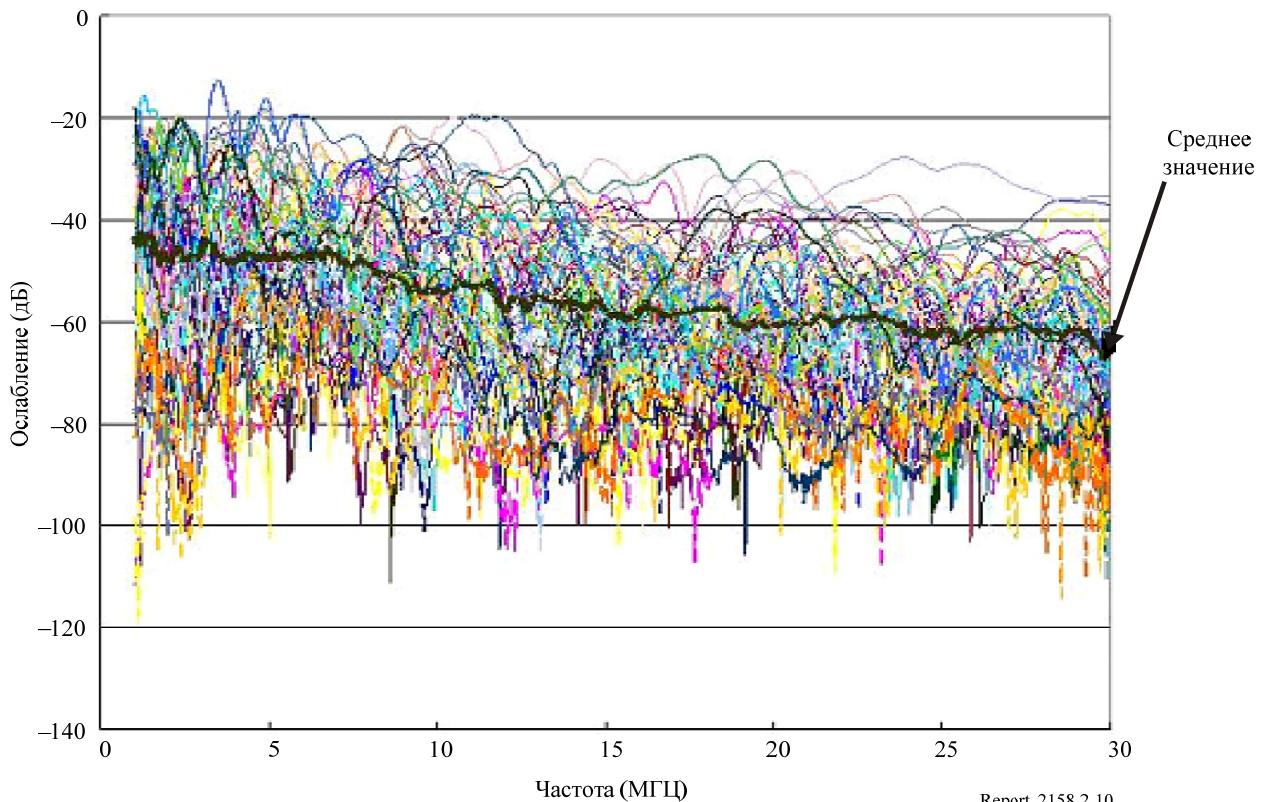
Системы электросвязи по внутренним линиям электропередач вызывают серьезное беспокойство относительно проблем с помехами, создаваемых за счет утечки сигналов PLT за пределы зданий. Поскольку служебные провода за пределами зданий не экранированы, могут иметь длину несколько десятков метров на высоте около десяти метров над землей, синфазный ток в служебных проводах имеет намного большую возможность создавать помехи службам радиосвязи в полосах СЧ и ВЧ. Более того, в некоторых странах служебные провода заземляются только на служебных трансформаторах, они несбалансированы и могут достаточно эффективно преобразовывать ток дифференциального режима в ток синфазного режима. Следовательно, необходимо тщательно исследовать утечку, как тока синфазного режима, так и тока дифференциального режима из сети линий электропередач внутри здания в служебные провода за пределами здания. Поскольку, как показано ниже, имеются различные данные, потребуются дополнительные исследования.

2.1.5.1 Оптимистичные данные

На интерфейсе между сетью доступа и внутренней электропроводкой здания расположены измерители мощности, прерыватели цепи и распределительные цепи, которые могут ослаблять сигналы PLT. Следовательно, многие измерения выполнялись на напряжениях дифференциального режима внутри и снаружи зданий для того, чтобы оценить вносимые потери, обусловленные оборудование электрической сети, таким как распределительные цепи. Результаты, показанные на рисунке 2-10, демонстрируют, что такое оборудование сети может подавлять сигнал PLT дифференциального режима более чем на 20 дБ почти во всех случаях.

РИСУНОК 2-10

Ослабление тока дифференциального режима из-за оборудования внутренней сети электропитания



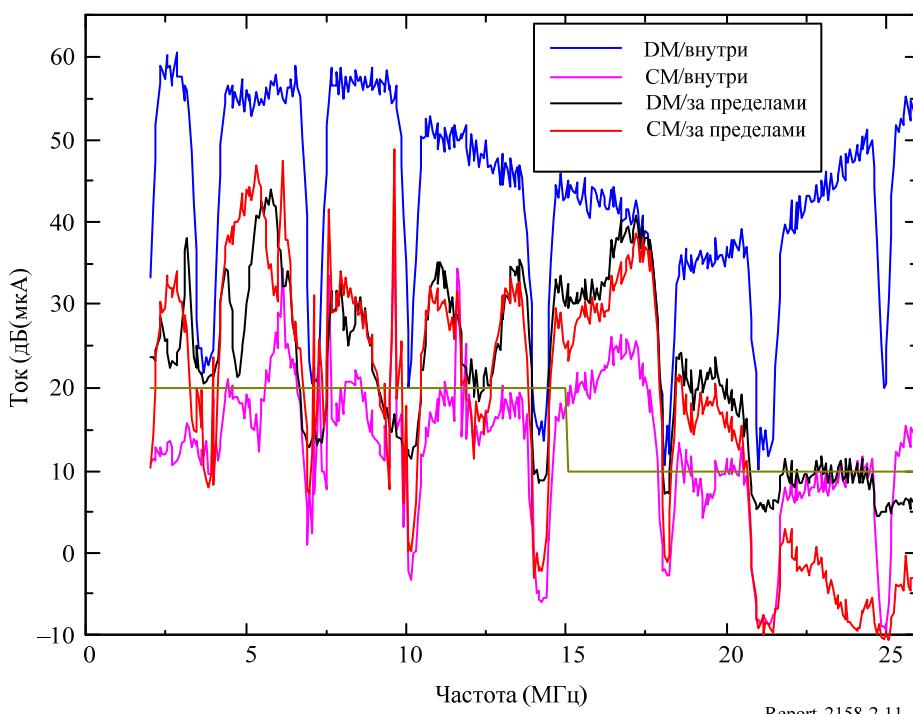
2.1.5.2 Пессимистичные данные

Другой пример⁶ на рисунке 2-11 показывает, что:

- ток дифференциального режима, измеренный в служебных проводах непосредственно за пределами здания, на величину от 0 до 30 дБ меньше, чем ток, измеренный на выходе рубильника внутри здания;
- ток синфазного режима, измеренный в служебных проводах непосредственно за пределами здания, очень близок к току дифференциального режима, измеренному в той же точке; и
- ток синфазного режима, измеренный в служебных проводах непосредственно за пределами здания, на величину от 0 до 30 дБ больше, чем ток, измеренный на выходе рубильника внутри здания.

Второе наблюдение отражает тот факт, что в Японии служебные провода заземляются только на служебных трансформаторах и ток дифференциального режима полностью (100%) преобразуется в ток синфазного режима. Третье наблюдение предполагает, что создаваемое служебными проводами излучение может быть на величину от 20 до 47 дБ сильнее, чем создаваемое линиями электропередач внутри здания, если внутри здания применяются экранирующие эффекты из таблицы 2-1.

РИСУНОК 2-11
Дифференциальные и синфазные токи внутри здания и за его пределами



⁶ KITAGAWA, M. and OHISHI, M. [March 2008] Measurements of the Radiated Electric Field and the common Mode Current from the In-house Broadband Power Line Communications in Residential Environment III. IEICE Tech. Rep., Vol. 107, **533**, EMCJ2007-117, p. 1-6.

2.1.6 Эффективность экранирующего действия наружных стен здания⁷

Электромагнитные поля, излучаемые линиями электропередач, могут до некоторой степени экранироваться внешними стенами и потолком здания. Однако для исследования электромагнитных полей системы электросвязи по линиям электропередач, вытекающих из различных строений, таких как деревянные и железобетонные здания, был выполнен численный анализ с использованием кода конечного интегрирования (FI). В ходе этого анализа эффективность экранирования была определена отношением максимальной напряженности поля на расстоянии 10 м от линий электропередач, не закрытой зданием, к максимальной напряженности поля у линии электропередач, закрытой зданием. Результаты значительно различаются для различных структур зданий, конфигураций линии электропередач и частот. Средние значения полученной эффективности экранирования показаны в таблице 2-1. Однако эти значения не подтверждены измерениями.

ТАБЛИЦА 2-1

Эффективность экранирования внешней стены дома

	Деревянный дом	Железобетонный дом
2–10 МГц	17 дБ	27 дБ
10–30 МГц	10 дБ	27 дБ

3 Характеристики радиосистемы, критерии защиты и влияние систем электросвязи по линиям электропередач на системы радиосвязи

3.1 Радиовещание

3.1.1 Общие характеристики аналогового⁸ НЧ, СЧ и ВЧ радиовещания

При планировании услуг аналогового радиовещания ниже 10 МГц используются следующие физические характеристики и технические параметры.

3.1.1.1 Ширина полосы

Ширина полосы типового современного приемника с АМ равна 4,4 кГц, но можно столкнуться с некоторыми современными приемниками, имеющими выбиральную ширину полосы.

3.1.1.2 Шумы приемника

В дополнение к атмосферному и промышленному шуму также необходимо принять во внимание собственный шум приемника. Он описывается в этом разделе.

Уровень собственного шума приемника E_i^0 вычисляется по формуле:

$$E_i^0(\text{дБ(мкВ/м)}) = E_C(\text{дБ(мкВ/м)}) + 20 \log M - SNR_{af},$$

где:

E_c : шум, ограниченный чувствительностью приемника;

M : глубина модуляции;

⁷ ISHIGAMI, S., GOTOH, K. and MATSUMOTO, Y. [June 2007] Effect of structure and materials of building on electromagnetic fields generated by indoor power line communication systems. Proc. on EMC Europe Workshop 2007.

⁸ Проводятся исследования параметров планирования, подходящих для цифрового ВЧ радиовещания.

SNR_{af} : отношение сигнал/шум по звуковой частоте.

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.703 минимальная чувствительность звукового радиовещательного приемника с АМ составляет:

	НЧ	СЧ	ВЧ
E_C дБ(мкВ/м)	66	60	40

Таким образом:

	НЧ	СЧ	ВЧ
M	0,3	0,3	0,3
SNR_{af} (дБ)	32	32	26
E_i^0 дБ(мкВ/м)	23,5	17,5	3,5

3.1.1.3 Минимальная приемлемая напряженность поля

Минимальный уровень шума, используемый в вычислении требуемой минимальной напряженности поля, определяется как наибольший из: атмосферного шума, промышленного шума и внутреннего шума приемника. Результатирующие значения для шума (независимо от случая), E_n , обычно лежат между 3,5 и 7 дБ(мкВ/м) в рассматриваемых диапазонах частот. Отношение сигнал/шум по РЧ, SNR_{RF} , принимается равным 34 дБ для диапазона ВЧ и 40 дБ для диапазонов НЧ/СЧ. Таким образом, минимальная приемлемая напряженность поля F_{min} вычисляется как:

	НЧ	СЧ	ВЧ
E_n дБ(мкВ/м)	20	20	3,5–7
SNR_{RF} (дБ)	40	40	34
F_{min} дБ(мкВ/м)	60	60	37,5–41

3.1.1.4 Защитные отношения

Защитные отношения по совмещенному каналу и защитные отношения по соседнему каналу приведены ниже, они применяются для защиты радиовещательных передач АМ от других передач АМ и не применяются для защиты от других служб.

Защитные отношения по совмещенному каналу

Качественная оценка	НЧ	СЧ	ВЧ
3 (удовлетворительно)	27 дБ	27 дБ	17 дБ
4 (хорошо)	30 дБ	30 дБ	27 дБ

Защитные отношения по соседнему каналу

ΔF_{kHz}	НЧ	СЧ	ВЧ
0	0–9 ⁽¹⁾	0–9	0
± 2	+10	+10	+10
± 5	-3	-3	-3
± 10	-35	-35	-35

⁽¹⁾ Диапазон значений соответствует разной степени сжатия модуляции и ширины полосы частот (например, 4,5 кГц/10 кГц).

3.1.2 Общие характеристики цифрового⁹ НЧ, СЧ и ВЧ радиовещания стандарта DRM

При планировании услуг цифрового радиовещания ниже 10 МГц используются следующие физические характеристики и технические параметры. Эти характеристики специально разработаны для системы Всемирного цифрового радио (DRM). В системах DRM существуют различные режимы устойчивости, типы занятости спектра, схемы модуляции и уровни защиты, указанные в порядке предоставления надлежащих услуг в условиях множественного распространения и помех. Возможные комбинации этих характеристик дают целый ряд значений S/N , минимальной приемлемой напряженности поля и т. д. Эти значения будут кратко указаны в следующих разделах.

3.1.2.1 Режимы устойчивости DRM

В техническом описании системы DRM четыре режима устойчивости с различными параметрами (номером поднесущей и разнесением, полезным символом и длиной защитного интервала и т. д.) для OFDM (ортогонального частотного разделения) схемы передачи определены для различных условий распространения в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ:

Режим устойчивости	Типовые условия распространения	Предпочтительные диапазоны частот
A	Каналы земной волны с малыми замираниями	НЧ, СЧ
B	Каналы с временной и частотной избирательностью, с длительным разбросом по задержке	СЧ, ВЧ
C	Как в режиме устойчивости B, но с большим доплеровским разбросом	Только ВЧ
D	Как в режиме устойчивости B, но с серьезным разбросом по задержке и доплеровским разбросом	Только ВЧ

3.1.2.2 Типы занятости спектра

Для каждого режима устойчивости ширина полосы, занимаемая сигналом, может изменяться в зависимости от диапазона частот и желаемого применения.

Режим устойчивости	Ширина полосы, занимаемая сигналом (кГц)			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	–	–	–	9,477
D	–	–	–	9,536
Номинальная ширина полосы (кГц)	4,5	5	9	10

⁹ Проводятся исследования параметров планирования, подходящих для цифрового ВЧ радиовещания.

3.1.2.3 Модуляция и уровни защиты

Для всех режимов устойчивости определены две различные схемы модуляции (16-QAM или 64-QAM), которые могут использоваться в сочетании с одним из двух (16-QAM) или четырех (64-QAM) уровнями защиты, соответственно.

Модуляция	Уровень защиты	Средняя скорость передачи
16-QAM	0	0,5
16-QAM	1	0,62
64-QAM	0	0,5
64-QAM	1	0,6
64-QAM	2	0,71
64-QAM	3	0,78

3.1.2.4 Шумы приемника

В дополнение к атмосферному и промышленному шуму, также должны быть учтены собственные шумы приемника, как описано в п. 3.1.1.2.

3.1.2.5 Минимальная приемлемая напряженность поля

Для того чтобы достичь достаточно высокого качества обслуживания для услуги цифрового звукового вещания DRM, необходим коэффициент ошибок по битам (КОБ) порядка 10^{-4} . Отношение сигнал/шум (SNR) на входе приемника, требуемое для получения данного значения КОБ, помимо параметров системы, зависит также от условий распространения радиоволн в различных диапазонах частот.

Ряд соответствующих значений для минимальной приемлемой напряженности поля приведен в таблице ниже. Данные значения применимы для возможных схем модуляции и уровней защиты. Приводятся только несколько сочетаний возможностей, достаточных, для того чтобы дать представление о широком диапазоне значений, которые могут возникнуть.

Режим устойчивости	НЧ	СЧ	ВЧ
Режим устойчивости А (Распространение земной волны)	39,1–49,7	33,1–43,7	
Режим устойчивости А (Распространение земной волны плюс ионосферной волны)		33,9–47,4	
Режим устойчивости В (Распространение ионосферной волны)	–		19,1–30,4

Значения параметров планирования для системы DRM ниже 30 МГц

Диапазон	НЧ		СЧ		ВЧ	
Ширина полосы (кГц)	4,5 кГц	9 кГц	4,5 или 5 кГц	9 или 10 кГц	5 кГц	10 кГц
Требуемое S/N (дБ) ⁽¹⁾	8,8–22,9	8,6–22,0	8,8–31,2	8,6–30,9	9,5–31,2	9,3–35,5
Собственный шум приемника (дБ(мкВ/м))	27,5	30,5	21,5	24,5	1,5	4,5
Минимальная приемлемая напряженность поля (дБ(мкВ/м)) ⁽¹⁾	39,3–49,7	39,1–49,2	33,3–47,4	33,1–46,5	19,2–30,4	19,1–29,9

(1) Значения зависят от схемы модуляции (16-QAM или 64-QAM), скорости кодирования (0,5–0,78) и моделей канала распространения (земная волна и/или ионосферная волна).

3.1.2.6 Требуемые отношения сигнал-шум для приема DRM

Для того чтобы получить коэффициент ошибок по битам (КОБ) порядка 10^{-4} , ниже приведены следующие отношения сигнал-шум (SNR) для типовых условий распространения в соответствующих диапазонах частот.

	НЧ	СЧ	ВЧ
Распространение земной волны (BW 9; 10 кГц)	8,6–21,4	8,6–21,4	
Режим устойчивости А, В (BW 4,5; 5 кГц) (Распространение земной волны)	8,8–19,5	8,8–19,5	
Режим устойчивости В (Распространение земной волны плюс ионосферной волны)	–	9,4–22,8	14,6–30,9
Режим устойчивости С (Распространение земной волны плюс ионосферной волны)	–	–	14,6–33,3
Режим устойчивости D (Распространение ионосферной волны)	–	–	16,0–35,0

3.1.2.6.1 Защитные отношения (PR)

Сочетание типов занятости спектра и режимов устойчивости приводит к возникновению нескольких РЧ спектров передатчика, которые вызывают различные помехи и, следовательно, требуют применения различных защитных отношений по РЧ. Различия в защитных отношениях для различных режимов устойчивости DRM весьма малы. Следовательно, защитные отношения по РЧ, представленные в следующих таблицах, ограничены режимом устойчивости В.

3.1.2.6.2 Защитные отношения по совмещенному каналу

Полезный сигнал	Нежелательный сигнал	Диапазон PR по совмещенному каналу
AM	DRM	23,0–23,6
DRM	AM	4,8–7,8
DRM	DRM	12,8–16,4

3.1.2.6.3 Защитные отношения по соседнему каналу

Значения диапазона защитных отношений по соседнему каналу лежат выше частоты разнесения, от -20 кГц до $+20$ кГц, но здесь не воспроизводятся.

3.1.3 Диапазоны частот НЧ, СЧ, ВЧ и ОВЧ радиовещания

В Статье 5 РР для радиовещания выделены следующие диапазоны частот ниже 80 МГц:

Диапазон	Частоты
НЧ	148,5–283,5 кГц (Район 1)
СЧ	526,5–1 605,5 кГц (Районы 1, 3) 525–1 705 кГц (Район 2)
ВЧ	3 950–4 000 кГц (Районы 1, 3) 5 900–6 200 кГц 7 100–7 350 кГц ВКР-03: 7 200–7 350 (03-2007) и –7 400 (03-2009) 9 400–9 900 кГц 11 600–12 100 кГц 13 570–13 870 кГц 15 100–15 800 кГц 17 480–17 900 кГц 18 900–19 020 кГц 21 450–21 850 кГц 25 670–26 100 кГц
ОВЧ	47–68 МГц (Район 1) 54–72 МГц (Район 2) 47–50 МГц, 54–68 МГц (Район 3) 76–108 МГц (Район 2)
Тропические диапазоны (используются для государственного радиовещания странами тропического региона):	
	2 300–2 498 кГц (Район 1, Тропики)
	2 300–2 495 кГц (Районы 2+3)
	3 200–3 400 кГц (Все Районы)
	4 750–4 995 кГц
	5 005–5 060 кГц

3.1.4 Критерии защиты и допустимые помехи

В Регламенте радиосвязи, различных Рекомендациях и Отчетах МСЭ-R представлены технические характеристики и полезная информация, которая может быть использована в целях получения требований защиты для надежного приема радиовещания. В данном разделе обобщается соответствующая информация и предпринимаются попытки получения требований защиты для ВЧ аналогового звукового радиовещания. Поскольку большинство модемов PLT используют методы модуляции OFDM и расширение спектра (SS), то в нижеследующем анализе помеха со стороны PLT рассматривается как случайный шум.

3.1.4.1 Рекомендация МСЭ-R BS.1786 и МСЭ-R BT.1786 – Критерий для оценки влияния помех за наземную радиовещательную службу

Описание	Приемлемый критерий для оценки общей помехи радиовещательной службе от устройств и систем без распределения частот в Регламенте радиосвязи
Полученное значение	Никогда не должно превышать одного процента от общей мощности шума системы приема

3.1.4.2 Рекомендация МСЭ-R BS.560-4 – Радиочастотные защитные отношения в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании

Описание	Минимальная приемлемая напряженность поля: 34 дБ плюс больше на 3,5 дБ(мкВ/м) (собственный шум приемника) и атмосферный шум
Полученное значение	$C/N: 34 \text{ dB}$ Минимальная приемлемая напряженность поля $\geq 37,5 \text{ dB}(\text{мкВ/м})$

3.1.4.3 Рекомендация МСЭ-R BS.703 – Характеристики эталонных приемников звукового АМ радиовещания для целей планирования

Описание	Чувствительность, ограниченная шумом: 40 дБ(мкВ/м), полученным из среднеквадратического отношения сигнала – нежелательный шум на ЗЧ, равным 26 дБ, связанного с модуляцией 30%
Полученное значение	$C/N: 26 \text{ dB} - 20 \log(0,3) \text{ dB} = 26 + 10,5 = 36,5 \text{ dB}$ Напряженность поля: 40 дБ(мкВ/м)

3.1.4.4 Отчет МСЭ-R BS.1058 – Минимальное отношение сигнал-шум на ЗЧ и РЧ, требуемое для радиовещания в диапазоне 7 (ВЧ)

Описание	Отношение сигнал-шум на ЗЧ для целей планирования: 24 дБ
	Отношение сигнал-шум на ЗЧ соответствует оценке 4 по шкале МСЭ-R (заметный, но не раздражающий): 31 дБ
	Отношение сигнал-шум на ЗЧ соответствует оценке 3 по шкале МСЭ-R (слегка раздражающий): 20–21 дБ
Полученное значение	$C/N: 24 \text{ dB} - 20 \log(0,3) \text{ dB} = 24 + 10,5 = 34,5 \text{ dB}$

3.1.4.5 Дополнение 2 к Рекомендации МСЭ-R BS.1615 – Параметры планирования для цифрового звукового радиовещания на частотах ниже 30 МГц – РЧ защитные отношения для DSB (система DRM) на частотах ниже 30 МГц

Описание	Относительное защитное отношение по РЧ для АМ помехи со стороны цифрового сигнала: от 6 до 6,6 дБ, для защитного отношения по ЗЧ 0 дБ, взятого в качестве эталонного значения
Полученное значение	$C/N: 6 \text{ dB} + 17 \text{ dB} = 23 \text{ dB}$, для защитного отношения по ЗЧ 17 дБ ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Значение 17 дБ использовали в качестве примера для получения C/N в абсолютных величинах.

3.1.4.6 Определение диапазона допустимых значений напряженности поля, создаваемых проводными системами электросвязи

Резюме полученного значения	Минимальная приемлемая напряженность поля ВЧ радиовещания: от 37,5 до 40 дБ(мкВ/м) C/N: от 30 до 36,5 дБ
Полученная напряженность поля	Диапазон значений напряженности поля, создаваемых проводными системами: от 1 до 10 дБ(мкВ/м)

3.1.4.7 Уровень шума приемника и уровень допустимых помех

Для оценки ухудшения чувствительности приемника в результате воздействия помехи в совмещенном канале или для оценки приемлемого уровня помехи в совмещенном канале, важно знать уровень шума приемника, а не чувствительность приемника, поскольку чувствительность приемника ухудшается из-за увеличения шумов приемника, создаваемых мощностью помехи в совмещенном канале. Например, если принимаемая мощность помехи в совмещенном канале имеет тот же уровень, что и оригинальные шумы приемника, результирующая мощность шума увеличится в 2 раза (3 дБ) (без учета разницы шума сигналов) и чувствительность ухудшится на 3 дБ.

Обычно, уровень внешнего шума приемника и уровень помех выражаются через напряженность поля. Соответственно, удобно выразить собственные шумы приемника посредством эквивалентной напряженности поля для простоты сравнения (на месте фактического шума, существующего в приемнике, предполагается эквивалентный шум, полученный через антенну бесшумного приемника).

Уровень шума приемника может быть вычислен, как показано в п. 3.1.1.2. Хотя оцениваются эти шумы приемника, используя чувствительность аналогового приемника, данные результаты также применяются для цифровых приемников, когда были приняты во внимание различия в ширине полосы частот.

Оценка выше шумов приемника производится при условии, что внешний шум отсутствует. Однако шумы приемника обычно включают в себя внешний шум, то есть полученный через приемную антенну, кроме внутреннего (собственного) шума, который создается в приемнике. Внешний шум для приемников, работающих ниже 30 МГц, включает в себя атмосферный, промышленный и космический шумы.

В Рекомендации МСЭ-R P.372-9 приведено каждое среднее значение напряженности атмосферного шума, промышленного и космического шумов в сравнении с уровнем тепловой шумы kT_0b , когда они были приняты через короткий вертикальный несимметричный вибратор без потерь над идеально плоской землей. Следовательно, удобно преобразовать уровень внутреннего шума приемника в эквивалентную напряженность поля (E_{rt}), как уже упоминалось выше, на основании идентичности антенны.

Эквивалентная напряженность поля (общая) шума приемника (E_{rt}) выражена через напряженность поля, соответствующей степенной сумме вышеупомянутого E_{rt} и среднюю напряженность поля внешнего шума (E_{re}). То есть:

$$E_{rt}^2 = E_{ri}^2 + E_{re}^2. \quad (3-1)$$

Когда напряженность поля помехи в совмещенном канале, E_u , накладывается на E_{rt} , эквивалентную напряженность поля шума приемника, мощность возрастает до E_{rtu} , которая соответствует степенной сумме E_{rt} и E_u . То есть:

$$E_{rtu}^2 = E_{rt}^2 + E_u^2. \quad (3-2)$$

Например:

- когда E_u равна E_{rt} , общие шумы приемника увеличиваются на 3 дБ, то есть чувствительность приемника ухудшается на 3 дБ;
- когда E_u на 6 дБ ниже E_{rt} , чувствительность приемника ухудшается на 1 дБ;

- когда E_u на 10 дБ ниже E_{rt} , чувствительность приемника ухудшается на 0,5 дБ;
- когда E_u на 20 дБ ниже E_{rt} , чувствительность приемника ухудшается на 0,05 дБ.

То есть, для того чтобы ограничивать ухудшение чувствительности приемника вследствие воздействия помехи в совмещенном канале (E_u) в пределах 0,05 дБ, E_u должна быть на 20 дБ ниже, чем эквивалентная напряженность поля приемника (общая) шума приемника (E_{rt}).

3.1.4.8 Эквивалентная напряженность поля шума приемника

Внутренний шум приемника в п. 3.1.1.2 рассчитывается, используя чувствительность приемника со встроенной антенной. Однако чувствительность, изображенная в п. 3.1.1.2, значительно улучшится при использовании внешней антенны, такой как короткий провод, проложенный в комнате. С учетом такого улучшения и низких потерь в работе, в антenne соответствующих приемников ОВЧ принимается во внимание внешний шум, чье минимальное значение определяется промышленным шумом и считается основной составляющей шумов приемника в приемниках, работающих ниже 80 МГц.

С учетом указанных выше условий для антенн, определенных в Рекомендации МСЭ-R P.372, которая является коротким вертикальным несимметричным вибратором без потерь над идеально плоской землей, принимаемая мощность (P_r) от напряженности поля E выражается:

$$P_r = E^2 \lambda^2 / (640\pi^2), \quad (3-3)$$

где:

- P_r : максимально возможная принимаемая мощность (Вт);
 E : напряженность поля (В/м);
 λ : длина волны (м) = $3 \times 10^2/f$;
 f : частота (МГц).

Подставляя kT_0b (-164,5 дБВт) в указанное выше P_r , эквивалентная напряженность поля теплового шума $E(kT_0b)$ для ($b = 9000$ Гц) определяется по формуле:

$$E(kT_0b) = 20 \log f - 56 \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (3-4)$$

где:

- $E(kT_0b)$: эквивалентная напряженность поля теплового шума kT_0b дБ(мкВ/м);
 k : постоянная Больцмана = $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К;
 T_0 : эталонная температура = 288 К;
 b : ширина полосы приемной системы на уровне мощности шума (Гц);
 kT_0b = -164,5 дБВт (для $b = 9000$ Гц (ширина полосы b должна быть скорректирована в соответствии с необходимыми шириной полосы системы передатчика)).

Значения $E(kT_0b)$ показаны на рисунке 3-1. В Рекомендации МСЭ-R P.372 выражена средняя напряженность каждого вида внешнего шума по сравнению с уровнем теплового шума (F_{am} дБ относительно kT_0). То есть каждое значение напряженности поля получено как F_{am} (дБ) выше $E(kT_0b)$ дБ(мкВ/м).



Report 2158-3-01

3.1.4.9 Внешний шум

В Рекомендации МСЭ-R P.372 выражена каждая средняя напряженность поля атмосферного шума, промышленного шума и космического шума по сравнению с уровнем теплового шума (F_{am} дБ относительно kT_0), когда они принимаются через короткий вертикальный несимметричный вибратор без потерь над идеально плоской землей.

3.1.4.9.1 Промышленный шум

На рисунке 3-1 показан суммарный промышленный шум в различных условиях окружающей среды. Эквивалентная напряженность поля показана для $b = 9000$ Гц.

3.1.4.9.2 Сравнение между промышленным шумом и атмосферным шумом

Минимальный уровень внешнего шума определяется промышленным шумом, поскольку он является основным фактором, когда исчезает атмосферный шум.

3.1.4.10 Допустимая напряженность поля помех

Из вышесказанного делается вывод о том, что:

- Когда используется внешняя антенна, внешний шум является основным шумом приемника.
- Когда используется встроенная антенна, внешний шум является основным фактором в деловой зоне и жилых районах. Даже в сельской местности внешний шум является существенным.
- Начиная с минимального значения внешний шум определяется величиной промышленного шума, допустимая напряженность поля помех также определяется промышленным шумом.
- Считается, что в данном анализе на рисунке 3-1 значение промышленного шума для тихой сельской местности используется в качестве эталонного.

3.1.4.11 Критерии защиты для радиовещательной службы

- Для того чтобы защитить радиовещательную службу от излучаемого шума со стороны систем электросвязи по линиям электропередач, работающих по инфраструктуре с электрическими проводами и от электрического оборудования, подключенного к розетке, уровни защиты между значениями, показанными как линия F на рисунке 3-2 (среднеквадратическое значение), а также показанными как линия G на рисунке 3-2 (пиковое значение), должны быть не больше значения в любом месте, где может располагаться приемник. Значения на рисунке 3-2 подтверждают ограничение минимального уровня шума радиовещательного приемника выше 30 МГц.
- Уровни защиты, необходимые для защиты радиовещательного приемника от помех с помощью кабеля питания приемника, используя сеть переменного тока, являются эквивалентными значениями, приведенными на рисунке 3-1, включая случай, когда используется внешний длинный антенный провод или когда линия электропередач используется в качестве антенны при помощи заземления внешнего терминала антенны.

Медианные значения мощности промышленного шума для ряда категорий окружающей среды показаны на рисунке 3-1. Рисунок также включает в себя кривую для галактического шума.

Во всех случаях результаты согласуются с изменением медианного значения по линейному закону, F_{am} , с частотой f в виде:

$$F_{am} = c - d \log f \quad \text{дБ}, \quad (3-5)$$

где f выражается в МГц, c и d взяты из таблицы 3-1. Обратите внимание, что уравнение (3-5) справедливо для диапазона от 0,3 до 250 МГц для всех категорий окружающей среды, за исключением кривых D и E, как указано на рисунке 3-1.

Поскольку выше полученные значения – это значения для короткого вертикального несимметричного вибратора без потерь над идеально плоской землей, вертикальная составляющая среднеквадратичного значения напряженности поля получена, как F_{am} (дБ) выше $E(kT_0b)$ (дБ) и описывается уравнением (3-4).

Для $b = 9000$ Гц:

$$E_n = F_{am} + 20 \log f - 56 \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (3-6)$$

где:

- E_n : напряженность поля в ширине полосы b ; и
- f : центральная частота (МГц);
- b : ширина полосы приемной системы на уровне мощности шума (Гц).

Медианные значения напряженности поля промышленного шума для ряда категорий окружающей среды описаны уравнением (3-6) и показаны на рисунке 3-1.

Подставляя F_{am} , выраженное уравнением (3-5), в уравнение (3-6),

$$E_n = c - d \log f + 20 \log f_{\text{MHz}} - 56 \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (3-7)$$

$$= c' + d' \log f \quad \text{дБ(мкВ/м)}, \quad (3-8)$$

где:

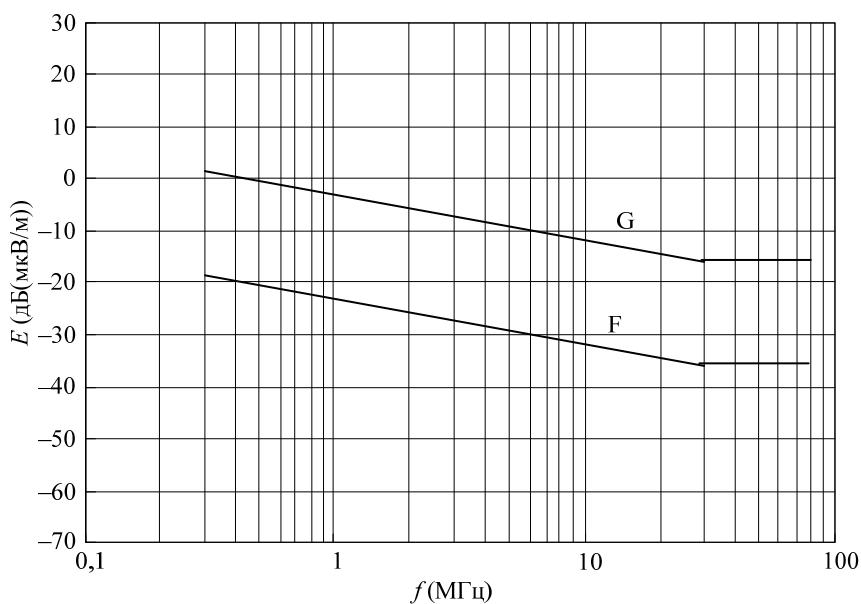
$$\begin{aligned} c' &= c - 56, \\ d' &= 20 - d, \end{aligned}$$

Значения c' и d' взяты из приведенной таблицы 3-1.

ТАБЛИЦА 3-1
Значения констант c' и d'

Категория окружающей среды	c'	d'
Деловая зона (кривая А)	20,8	-7,7
Жилые районы (кривая В)	16,5	-7,7
Сельская местность (кривая С)	11,2	-7,7
Тихая сельская местность (кривая D)	-2,4	-8,6
Галактический шум (кривая Е)	-4	-3,0

РИСУНОК 3-2
Критерии защиты для напряженности поля помех ($b = 9000$ Гц)



Report 2158-3-02

Кривая F: Критерии защиты для среднеквадратичного значения напряженности поля помех (20 дБ ниже кривой D на рисунке 3-1 или ниже 30 МГц).

Кривая G: Критерии защиты для пикового значения напряженности поля помех (та же кривая D на рисунке 3-1 или ниже 30 МГц).

Значения c' и d' для кривых F и G взяты из приведенной таблицы 3-2.

ТАБЛИЦА 3-2
Значения постоянных c' и d' ниже 30 МГц

Категория окружающей среды	c'	d'
Кривая F	-22,4	-8,6
Кривая G	-2,4	-8,6

3.2 Любительская и любительская спутниковая служба

3.2.1 Общие характеристики

В РР любительская радиослужба определяется как:

"1.56 любительская служба: служба радиосвязи для целей самообучения, переговорной связи и технических исследований, осуществляемая любителями, т. е. лицами, имеющими на это должное разрешение и занимающимися радиотехникой исключительно из личного интереса и без извлечения материальной выгоды.

1.57 любительская спутниковая служба: служба радиосвязи, использующая космические станции, установленные на спутниках Земли, для тех же целей, что и любительская служба".

Максимально допустимая мощность передатчика зависит от государственных регуляторных положений и выходная мощность изменяется в пределах от 100 Вт до 1,5 кВт. Любительские службы являются единственными потенциальными пользователями относительно высокой мощности передатчика в жилых районах. Однако многие пользователи выбирают для работы передатчик с низкой мощностью порядка несколько ватт. При этом используется большое разнообразие антенн и оборудования в зависимости от местоположения и финансовых средств. Следовательно, не существует стандартной любительской радиостанции.

Пользователи любительских служб, как правило, не имеют возможности расположить антенну вдали от электрических проводов. Они должны устанавливать свои антенны в пределах границ своих домов, что обычно означает, в непосредственной близости к электрической и телефонной проводке. Другие источники локализованных помех могут быть сведены к минимуму, если любитель не будет использовать оборудование, такое как источники света, импульсные источники питания и другое оборудование, создающее при работе помехи. Выбор такого решения не доступен в случае мультиканальных систем передачи, где излучения присутствуют все время.

Связь между станциями любительской службы происходит на длинных расстояниях в диапазоне ВЧ, что делает оптимальным использование окон распространения. Для эффективной связи любители часто работают с минимальным значением отношения сигнал-шум или около него. Границы связи, как правило, определяются напряженностью принимаемого сигнала по отношению к фоновому шуму. Для установления эффективной связи любители управляют отношением сигнал-шум от примерно 6 дБ для голосовой связи в номинальной ширине полосы 2,4 кГц и до минус 6 дБ (связанного с той же шириной полосы) для кода Морзе или спектрально эффективного режима передачи данных.

Многие пользователи любительской службы предоставляют связь в случае оказания помощи при бедствиях. Во многих странах любительское радио рассматривается как ценная резервная служба в случае поломки или перегрузки обычных систем связи. Правительства полагаются на эту возможность во время чрезвычайных ситуаций. Для этой цели используются диапазоны ВЧ и ОВЧ для любительской службы.

3.2.1.1 Эксплуатационные характеристики

Станции любительской службы и земные станции любительской спутниковой службы, как правило, не имеют присвоенных частот, но динамически выбирают частоты в пределах выделенного диапазона, используя технологии "прослушай перед началом передачи" (LBT). Наземные ретрансляторы, цифровые радиорелейные станции и станции любительской службы используют частоты, выбранные на основе добровольной координации в рамках любительской службы. Некоторые распределения для любительской службы являются исключительными для операторов любительской службы и любительской спутниковой службы. Многие распределения используются совместно с другими операторами радиослужб и любительской службы, которые извещены об ограничениях при совместном использовании.

Рабочие протоколы изменяются в соответствии с требованиями к связи и распространению. Диапазоны СЧ и ВЧ используются для ионосферной волны с почти вертикальным падением (NVIS) до глобальных путей распространения. Диапазоны ОВЧ, УВЧ и СВЧ используются для связи малой дальности. Спутники любительской службы предоставляют возможность использовать частоты выше диапазона ВЧ для связи на дальние расстояния.

3.2.2 Распределения для любительской службы

Подробная информация о диапазонах частот, распределенных для любительской службы в диапазоне от 1,8 до 80 МГц, меняется от Района к Району. В таблице 3-3 представлены частотные распределения.

3.2.3 Требования защиты любительской радиослужбы ВЧ

Станции в любительской службе часто работают при очень низких значениях отношения сигнал/шум (SNR). Применяемое SNR, как правило, ограничивается факторами окружающей среды, такими как эффективность антенны, но так как большинство станций любительской службы находятся в жилых районах, обычным ограничением является внешний промышленный шум.

ТАБЛИЦА 3-3

**Диапазоны частот, распределенные любительской службе
в диапазоне от 3 до 80 МГц**

Примерная частота (МГц)
1,8
3,5
7
10,1
14
18,1
21
24,9
28
50
70

3.2.3.1 Допуск на замирания и критерий защиты 0,5 дБ любительской радиослужбы ВЧ

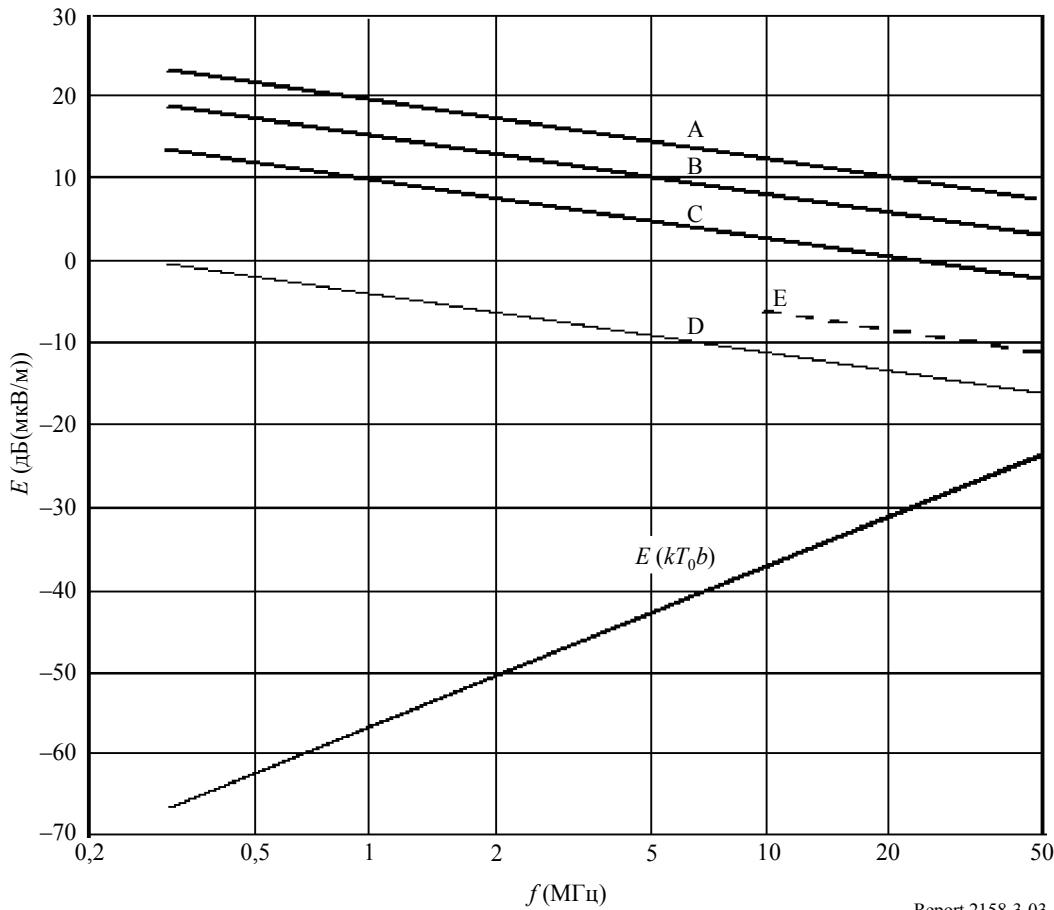
В профессиональном радиовещании для того чтобы гарантировать высокую степень доступности сигнала, принимают во внимание достаточный допуск на замирания. Это, в сочетании с низкой чувствительностью радиовещательных приемников, приводит к высоким уровням мощности, используемой в ВЧ радиовещании. В любительской радиослужбе, допустимая мощность передатчика относительно низкая и при связи на дальних расстояниях остается допуск на замирания больше минимально необходимой напряженности поля сигнала на дальнем расстоянии, что составляет примерно от 0 до 1 дБ. Данная форма напряженности сигнала по отношению к кривой времени узкополосного ВЧ сигнала с замираниями означает, что в некоторых линиях связи на дальних расстояниях часть передач будет потеряна из-за замираний, что потребует повторения передачи. Повышение минимального уровня окружающего шума только лишь на несколько дБ окажет огромное влияние на возможности дальней связи для станций любительской службы.

По этой причине максимально допустимое увеличение общего минимального уровня шума из-за излучений PLT должно составлять 0,5 дБ. Для того чтобы не превысить увеличение на 0,5 дБ, средняя напряженность поля шума, излучаемого сетью питания на расстояние 10 м должна быть на 9,14 дБ ниже ранее существующего уровня шума.

3.2.3.2 Минимальный уровень шума в диапазонах любительской радиослужбы

Вместе с другими ВЧ услугами, возможность получения удовлетворительной любительской связи зависит от соотношения между желаемым сигналом и шумом. Шум состоит из четырех компонент, шумов приемника (создаваемых внутри), атмосферных, промышленных и космических шумов. Рисунок 3-3 был взят из Рекомендации МСЭ-R Р.372, в которой используется график представляющий собой превышаемые в течение 99,5% времени местоположения, с шириной полосы измерения 6 кГц и частотой f (МГц).

РИСУНОК 3-3

Эквивалентная напряженность поля промышленного шума ($b = 6$ кГц)

Report 2158-3-03

Обозначения кривых:

Кривая А: Деловая зона

Кривая Д: Тихая сельская местность

Кривая В: Жилые районы

Кривая Е: Космический шум

Кривая С: Сельская местность

3.2.3.3 Допустимые минимальные уровни шума

Из критерия указанного в п. 3.2.3.1 видно, что допустимое увеличение минимального уровня шума, созданного PLT, на 0,5 дБ больше, чем значение, полученное из графика на рисунке 3-3. Следует отметить, что требование не зависит от ширины полосы принимаемого сигнала: для сравнения с обычной шириной полосы измерения 9 кГц, значения могут быть увеличены на 1,8 дБ. В таблице 3-4 перечислены встречающиеся значения напряженности поля, допустимые на расстоянии 10 м от установки PLT. Данные для 70 МГц получены путем экстраполяции из рисунка 3-3.

ТАБЛИЦА 3-4

**Общие требования защиты, основанные на критерии 0,5 дБ –
максимальная напряженность поля на расстоянии 10 м от установки PLT**

Диапазон частот (МГц)	дБ(мкВ/м) в 6 кГц			
	Деловая зона	Жилые районы	Сельская местность	Тихая сельская местность
1,8	18,5	13,5	8,5	-7,5
3,5	16,5	12,5	5,5	-8,5
7	14,5	9,5	4,5	-9,5
10	12,5	8,5	3,5	-5,5
14	11,5	7,5	2,5	-6,5
18	11	7	2	-7
21	10	6	0,5	-8,5
24	9,5	5,5	0	-9
28	9	5	-0,5	-9,5
50	8,5	4,5	-1,5	-10
70	8	4	-2	-10,5

3.3 Воздушная подвижная и радионавигационная службы

Для оценки совместимости важно знать, по крайней мере, следующие характеристики радиослужбы, испытывающей помехи:

- тип службы;
- используемый диапазон частот;
- минимальную полезную напряженность поля;
- горизонтальное и вертикальное расширение назначенной рабочей зоны покрытия (DOC).

Информацию для воздушных радиослужб, которые потенциально могут испытывать помехи от просачивающегося излучения ТВ кабеля в диапазоне частот выше 30 МГц, можно найти в таблице 3-5.

Многие из военных ВЧ радиостанций расположены на воздушных платформах. Следовательно, они могут испытывать помехи в силу низких потерь распространения помеховых сигналов и большого расстояния радиогоризонта (RHD) воздушных радиостанций.

ВЧ радиостанции используются в аэрокосмической окружающей среде в качестве основных средств связи вне зоны прямой видимости (BLoS) с самолетами, землей и морской подвижной службой. Обмен информацией осуществляется с помощью ВЧ радиостанций в голосовом формате, формате сообщений и передачи данных.

Связь в диапазоне ВЧ используется между элементами авиационного командования и земного управления и самолетом для обмена функциями управления и наблюдения за сигналами датчика в расширенных диапазонах, а также когда другие средства связи не доступны из-за отказа оборудования или помех. Диапазон ВЧ также используется для целей управления воздушным движением (ATC), когда объекты находятся за пределами диапазона ОВЧ.

ТАБЛИЦА 3-5

Характеристики систем воздушной и радионавигационной служб

Диапазон частот	Сокращенное название применения	Тип службы, краткое описание	Назначенная рабочая зона покрытия (DOC)	Угроза помехи	Принимаемая ширина полосы (кГц)	Минимальная полезная напряженность поля (дБ(мкВ/м))
90–110 кГц	LORAN C			DSL		
255–526,5 кГц	NDB	Ненаправленный маяк		DSL		
2,8–22 МГц	ВЧ связь	ВЧ связь		PLT, DSL, CATV		
3 023 кГц	Бедствие/ чрезвычайная ситуация			PLT, DSL		
5 680 кГц	Бедствие/ чрезвычайная ситуация			PLT, DSL, CATV		
74,8–75,2 МГц	ILS/MKR	Маркерный маяк воздушной радионавигационной службы (ARNS), принадлежащий системе ILS, передающий сигнал пилоту или системе организации полетами (FMS), когда самолет проходит определенные точки фиксированной службы в время посадки и взлета.	Горизонтальное расширение: круг радиусом примерно 100 м вокруг местоположения маяка. Вертикальное расширение: от 30 м до 1 км в зависимости от местоположения маяка. Местоположение маяка: 2 или 3 точки на расширенной осевой линии взлетно-посадочной полосы, от 100 м до 7,5 км от порогового значения.	CATV		63

ВЧ связь используется между элементами авиационного командования и управления и земными элементами, главным образом, в резервном режиме, когда первичные средства и средства с более высокими возможностями не доступны.

Она включает в себя:

- резервную передачу в системы связи НАТО;
- линии связи к РПР и элементам, не принадлежащим НАТО;
- линии связи для развертывания/подвижных объектов;
- линии связи для тактических формирований.

Не существует единого документа, который для систем, работающих ниже 80 МГц объединяет информацию по определению характеристик системы и требуемых критериев защиты для морской и воздушной подвижной служб. Обзор существующих текстов показывает, что некоторая информация о характеристиках содержится в следующих Рекомендациях: МСЭ-R M.257, МСЭ-R M.488, МСЭ-R M.541, МСЭ-R M.627, МСЭ-R M.688, МСЭ-R M.822, МСЭ-R M.1081, МСЭ-R M.1082, МСЭ-R M.1173 и МСЭ-R M.1458, а также положениях РР.

Кроме того, не существует официальных Рекомендаций для защиты существующих систем морской подвижной службы или воздушной подвижной службы.

В Приложении 2.6 изложен анализ совместимости, который дает оценки возможным помехам для бортовых приемников из-за суммирования влияния источников PLT.

3.4 Общие аспекты критериев защиты ВЧ фиксированной и сухопутной подвижной служб

В данном разделе рассматриваются требования защиты, необходимые для ВЧ фиксированной и сухопутной подвижной служб радиосвязи, особенно тех, которые поддерживают радионавигационную или другую службу безопасности, для того чтобы они не испытывали вредное воздействие от установок и сетей PLT, как того требует Статья 15.12 РР.

Сухопутным войскам необходимо иметь ВЧ связь, для того чтобы обеспечить эффективные консультации, командование и управление, как в пределах НАТО, так и государств-партнеров во имя мира. Кроме того, ВЧ связь для радиостанций сети боевого управления используется на нижних эшелонах в качестве первичных или вторичных средств, где требования к местности, расстоянию или подвижности препятствуют уверенности в тактической районной системе связи.

Подавляющее большинство использования сухопутной подвижной службы относится к: национальной обороне, правоохранительной деятельности, управлению и сохранению национальных ресурсов, поиску и спасению, а также чрезвычайным ситуациям и безопасности деятельности связи в национальной морской зоне, озерах, лесах, водных ресурсах и заповедниках. Области эксплуатации этих радиостанций включают городские, пригородные и сельские районы, а также прибрежные и внутренние сухопутные районы. Эксплуатация этих сухопутных подвижных радиостанций обычно происходит вблизи линий электропередач, которые могут использоваться для системы электросвязи по линиям электропередач.

3.4.1 Критерии защиты и требование защиты

3.4.1.1 Критерии защиты

В целях обеспечения ВЧ связи, критерии защиты от помех основаны на уровнях тепловых, промышленных и атмосферных шумов, определенных в Приложении 1 настоящего Отчета.

Уменьшение чувствительности на 0,5 дБ

Вообще говоря, критерии допустимых помех основаны на уменьшении максимальной чувствительности на **0,5** дБ. Это означает, что общий шум и помеха (созданная PLT) должны быть не более чем на 0,5 дБ выше общего шума в ВЧ приемнике без помехового влияния со стороны PLT.

Другими словами:

$$(Общие I и N) (\text{дБм}/\text{Гц}) < N (\text{дБм}/\text{Гц}) + 0,5,$$

где:

I: помеха, создаваемая PLT (дБм) в ширине полосы 1 Гц;

N: общие шум приемника и промышленный шум (дБм) в ширине полосы 1 Гц.

Вышеуказанный критерий уменьшения чувствительности на 0,5 дБ выбирается на основе того факта, что военные системы радиосвязи работают близко к их уровню чувствительности.

Основные параметры ВЧ радиостанций, требуемые для расчетов

Требуемые параметры ВЧ радиостанций, испытывающих помехи, следующие:

- значение шумов приемника: 10 дБ;
- коэффициент усиления антенны приемника: 0 дБи¹⁰;
- тепловой шум: -174 дБм/Гц.

При таком подходе дополнительные параметры ВЧ радиостанции **не** требуются.

¹⁰ Коэффициент усиления антенны ВЧ системы обычно лежит около 0 дБи. Положительный коэффициент усиления антенны позволит сократить относительное влияние теплового шума.

3.4.1.2 Требование защиты

На основе вышеуказанного критерия защиты, требование защиты системы ВЧ радиосвязи следующие:

- a) Увеличение фонового шума и помех на Гц не должны превышать 0,5 дБ из-за нежелательных излучений кабельных сетей передачи (CTN)), включая нежелательные излучения со стороны систем электросвязи по линиям электропередач.
- b) Эталонный уровень шума зависит от района и может отличаться для тихой сельской местности, жилых районов и деловой зоны.
- c) Минимальный разнос между кабелем и ВЧ приемником, испытывающим помехи, считается равным 10 м.

3.4.2 Возможные критерии защиты

Системы электросвязи по линиям электропередач используют радиочастотную энергию по неэкранированным, несбалансированным линиям передачи, что приводит к неизбежным излучениям РЧ энергии. Излученная энергия от сетей PLT может оказывать вредные помехи системам радиосвязи. Таким образом, будет необходимо наложить ограничения на создаваемые излучения, для того чтобы обеспечить защиту существующей лицензированной ВЧ фиксированной службы.

Системы электросвязи по линиям электропередач не подразделяются по классу излучения или обслуживанию и поэтому должны рассматриваться как источник внешнего излучения.

Предложенный критерий защиты для ВЧ фиксированной службы со стороны систем электросвязи по линиям электропередач приблизительно основан на ухудшении показателей качества на 1% для нежелательных излучений по сравнению со средними значениями, как приведено в Рекомендации МСЭ-R F.1094, разработанной бывшем WP/9A. При рассмотрении следует принять во внимание пиковое значение излучений PLT.

Также должен быть принят во внимание уровень совокупного помехового сигнала на приемной антенне относительно уровня шума в тихой сельской местности, как указано в Рекомендации МСЭ-R P.372. Некоторые методы смягчения, такие как процедуры реализации для системы электросвязи по линиям электропередач, могли бы уменьшить потенциальную проблему совместимости, которая появляется в результате использования этих показателей.

3.4.3 Системы автоматического установления соединения

Опыт с военными миссиями показывает, что ВЧ связь иногда является единственным способом распространить миссии и предоставить отчеты о достигнутых результатах без задержки и без опасности подавления сигнала. Кроме того, в случае ядерного взрыва линии связи SATCOM выйдут из строя. В отличие от этого, линии ВЧ связи по-прежнему будут доступны. Выход из строя линий ВЧ связи будет происходить только в течение короткого промежутка времени.

Как правило, используются адаптивные системы радиосвязи, которые могут автоматически выбрать лучшие частоты по отношению к лучшим условиям распространения и максимальной пропускной способности данных, но только если минимальный уровень шума достаточно низок (т. е. ниже порогового значения систем). Более высокие уровни шума снижают показатели систем, основанных на ALE, а также общие показатели цифровых радиосистем.

3.5 Морская подвижная служба

В настоящей главе рассматриваются различные диапазоны частот, распределенных для морской связи и морской подвижной службы.

3.5.1 Общие положения

Морская радиосвязь, в которой наиболее важной является связь в случаях бедствий и для обеспечения безопасности, в значительной степени основана на использовании диапазонов частот СЧ и ВЧ, что в первую очередь связано с уникальными условиями распространения в диапазонах СЧ/ВЧ.

Морская связь определяется как служба в соответствии с Регламентом радиосвязи МСЭ. Связь может быть между береговыми станциями и судовыми станциями, или между судовыми станциями; станции спасательных средств и станции радиомаяков-указателей места бедствия также могут участвовать в этой службе. Она также включает в себя действия портовой службы и службы движения судов.

В Статье 1.59 РР служба безопасности определяется как:

"1.59 служба безопасности: любая служба радиосвязи, которая используется постоянно или временно в целях безопасности человеческой жизни и имущества".

Морское сообщество также использует радионавигацию, которая также определена как служба, имеющая исключительные распределения, определенные в РР.

Условия для использования морской радиосвязи согласованы в соответствии с Уставом и Конвенцией МСЭ, которые дополняются решениями Всемирной конференции радиосвязи (ВКР), опубликованными как Регламент радиосвязи (РР). РР также определяет обязательные положения для всех администраций, с тем чтобы принять все необходимые меры для защиты этих радиочастот от вредных помех.

3.5.2 Частоты, распределенные для морской связи

Связь в случаях бедствий и для обеспечения безопасности

В Приложении 13 РР (изд. 2004 г. – прим. перев.) определены частоты, которые используются для связи в случаях бедствий и для обеспечения безопасности не относящейся к ГМСББ. Хотя предполагалось, что 1 февраля 1999 года система ГМСББ в целом заменит Приложение 13 РР, было отмечено, что некоторые администрации и суда не попадающие под СОЛАС, соглашение 1974 года, с поправками, могут пожелать продолжать использовать положения Приложения 13 для связи в случаях бедствий и для обеспечения безопасности в течение некоторого времени после 1 февраля 1999 года.

В следующих пунктах изложена подробная информация о регулировании защиты частот в случаях бедствий и для обеспечения безопасности.

"Раздел II – Защита частот бедствия и безопасности"

A – Общие положения

§ 13 За исключением случаев, предусмотренных в настоящем Регламенте, запрещаются любые излучения, которые могут создавать вредные помехи сообщениям бедствия, тревоги, срочности или безопасности на частотах 500 кГц; 2174,5 кГц; 2182 кГц; 2187,5 кГц; 4125 кГц; 4177,5 кГц; 4207,5 кГц; 6215 кГц; 6268 кГц; 6312 кГц; 8291 кГц; 8376,5 кГц; 8414,5 кГц; 12 290 кГц; 12 520 кГц; 12 577 кГц; 16 420 кГц; 16 695 кГц; 16 804,5 кГц; 121,5 МГц; 156,525 МГц; 156,8 МГц или в полосах частот 406–406,1 МГц; 1544–1545 МГц и 1645,5–1646,5 МГц (см. также Приложение 15). Запрещается любое излучение, вызывающее вредные помехи связи в случае бедствия и для обеспечения безопасности на любой из других дискретных частот, указанных в Разделе I Части A2 настоящего Приложения и в Приложении 15".

Глобальная морская система связи в случаях бедствий и для обеспечения безопасности

Глобальная морская система связи в случаях бедствий и для обеспечения безопасности (ГМСББ) полностью определена в Международный конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС, 1974 г.). В Резолюции 331 (Пересм. ВКР-97)* сказано, что все судовые станции, указанные в ИМО СОЛАС, должны быть оборудованы для ГМСББ к 1 февраля 1999 года.

* Данная Резолюция была впоследствии пересмотрена на ВКР-03 и ВКР-07.

Частоты, которые будут использоваться для ГМСББ, содержатся в Приложении 15 РР. Частоты, распределенные для связи в случае бедствия и для обеспечения безопасности приведены в таблице 3-6. В дополнение к частотам, перечисленным в Приложении 15, береговым станциям следует использовать другие соответствующие частоты для передачи сообщений безопасности.

ТАБЛИЦА 3-6

**Таблица частот для связи в случае бедствия и для обеспечения безопасности
в морской подвижной службе ниже 30 МГц**

	В случае бедствия			Для обеспечения безопасности	
	DSC	RTP-COM	NBDP-COM	MSI/MSI-HF	AERO-SAR
	кГц	кГц	кГц	кГц	кГц
СЧ	2 187,5	2 182,0	2 174,5	490,0	3 023,0
				518,0	
ВЧ	4 207,5	4 125,0	4 177,5	4 209,5	5 680,0
				4 210,0	
	6 312,0	6 215,0	6 268,0	6 314,0	
	8 414,5	8 291,0	8 376,5	8 416,5	
	12 577,0	12 290,0	12 520,0	12 579,0	
	16 804,5	16 420,0	16 695,0	16 806,5	
				19 680,5	
				22 376,0	
				26 100,5	
				MSI	
				MSI-HF	

Обозначения:

AERO-SAR Эти воздушные несущие (эталонные) частоты могут использоваться подвижными станциями, участвующими в координированных операциях по поиску и спасанию, для связи в случае бедствия и для обеспечения безопасности.

DSC Эти частоты используются исключительно для вызовов в случае бедствия и для обеспечения безопасности с помощью цифрового избирательного вызова в соответствии с п. 32.5 (см. пп. 33.8 и 33.32).

MSI В морской подвижной службе эти частоты используются исключительно для передачи береговыми станциями информации о безопасности на море (MSI) (включая метеорологические и навигационные предупреждения и срочные сообщения) судам с помощью узкополосной буквопечатающей телеграфии.

MSI-HF В морской подвижной службе эти частоты используются исключительно для передачи береговыми станциями информации о безопасности на море (MSI), касающейся обстановки в открытом море, судам с помощью узкополосной буквопечатающей телеграфии.

NBDP-COM Эти частоты используются исключительно для связи (обмена) в случае бедствия и для обеспечения безопасности с помощью узкополосной буквопечатающей телеграфии.

RTP-COM Эти несущие частоты используются для радиотелефонной связи (обмена) в случае бедствия и для обеспечения безопасности.

Частоты, распределенные для морской подвижной службы

Таблица распределения частот (Статья 5 РР), показанная в таблице 3-7, содержит следующие частоты ниже 30 МГц, распределенные исключительно для морской подвижной службы в Районе 1. Эти частоты также должны быть защищены от помех, как указано в п. 15.12 РР.

ТАБЛИЦА 3-7

Частоты, распределенные для морской подвижной службы

14–19,95 кГц		2 625–2 650 кГц	19 680–19 800 кГц
20,05–70 кГц	415–495 кГц 505–526,5 кГц	4 000–4 438 кГц	22 000–22 855 кГц
72–84 кГц	1 606,5–1 625 кГц	6 200–6 525 кГц	25 070–25 210 кГц
86–90 кГц	1 635–1 800 кГц	8 100–8 815 кГц	26 100–26 175 кГц
110–112 кГц		12 230–13 200 кГц	
117,6–126 кГц	2 045–2 160 кГц	16 360–17 410 кГц	
129–148,5 кГц	2 170–2 173,5 кГц 2 190,5–2 194 кГц	18 780–18 900 кГц	

3.5.3 Параметры приемника для морской подвижной службы в полосах СЧ и ВЧ

Стандарт ETSI 300 373 содержит следующие значения.

Максимальная применимая чувствительность:

В полосе 1605–4000 кГц: 5 дБ(мкВ)

В полосе 4000–27 500 кГц: 0 дБ(мкВ)

Чувствительность по соседнему каналу:

–500 Гц, +500 Гц: 40 дБ (с узкополосным фильтром)

–1 кГц, +4 кГц: 40 дБ

–2 кГц, +5 кГц: 50 дБ

–5 кГц, +8 кГц: 60 дБ

Постоянныe времена автоматической регулировки усиления:

Время установления = от 5 до 10 мс

Время восстановления = от 1 до 4 с

Перекрестная модуляция:

±20 кГц: максимальный уровень нежелательного сигнала = +90 дБ(мкВ)

Интермодуляция:

+70 дБ(мкВ)

Подавление паразитного выходного сигнала:

70 дБ

Для характеристик системы и требуемых критериев защиты для морской и воздушной подвижной служб на частотах ниже 80 МГц, не существует единого документа, который объединяет требуемую информацию для работы систем ниже 80 МГц. Обзор существующих текстов показывает, что некоторая информация о характеристиках содержится в следующих Рекомендациях: МСЭ-R M.257, МСЭ-R M.488, МСЭ-R M.541, МСЭ-R M.627, МСЭ-R M.688, МСЭ-R M.822, МСЭ-R M.1081, МСЭ-R M.1082, МСЭ-R M.1173 и МСЭ-R M.1458, а также положениях РР.

Кроме того, не существует ни технических исследований, связанных с критериями защиты, ни официальных Рекомендаций для такой защиты существующих систем морской подвижной службы или воздушной подвижной службы.

3.6 Радиолокация

Радиолокационная служба это служба радиоопределения для обнаружения и определения местоположения удаленных объектов (целей).

3.7 Фиксированная служба

Деятельность по радиотехнической разведке (SIGINT) имеет большое значение для военных. Следовательно, военными осуществляется прослушивание (очень слабых) сигналов и данная деятельность может быть нарушена помехой низкого уровня.

Военные ВЧ радиостанции также могут подводить питание по общедоступным линиям электропередач. Система электропитания, возможно, не предоставляет специальные фильтры для удаления ВЧ сигналов. Фильтрация сигналов PLT на линии электропередач не практична.

3.7.1 Характеристики фиксированной системы

Обзор существующих текстов показывает, что некоторая информация о характеристиках содержится в Рекомендациях МСЭ-R F.758 и МСЭ-R F.764 и Положениях РР, часть которых устарела и подлежит пересмотру или удалению в ходе настоящего периода работы МСЭ-R. Кроме того, Рекомендация МСЭ-R F.339 предоставляет информацию о ширине полосы, отношению сигнал-шум и допусках на замирание для полных характеристик ВЧ систем.

3.7.2 Критерии защиты

Может быть рассмотрен уровень совокупного мешающего сигнала на приемной антенне относительно уровня шума в тихой сельской местности, как указано в Рекомендации МСЭ-R P.372, однако ни технических исследований, касающихся критериев защиты, ни официальных Рекомендаций для такой защиты ВЧ систем фиксированной службы на данный момент не существует.

Как правило, в детерминированном анализе используется методика, когда рассматривается защита первичной фиксированной службы в ВЧ диапазоне от помех, создаваемых при высокой скорости передачи данных применений связи с использованием проводки электроснабжения.

3.8 Радиоастрономия

Пороговые уровни помех для помех, причиняющих вред работе радиоастрономической службы (РАС) приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Как там отмечено, значения представляют собой пороговые уровни вредных помех для типовых наблюдений, с использованием интеграции (наблюдений) за время 2000 с и антенны с коэффициентом усиления 0 дБи. В Рекомендации МСЭ-R SA.509 представлены коэффициент усиления и диаграмма направленности антенны радиоастрономической службы.

Радиоастрономической службе (РАС) распределены частоты 13,36–13,41 МГц и 25,55–25,67 МГц на первичной основе. С точки зрения общей мощности помех в диапазонах, пороговые уровни помех из Рекомендации МСЭ-R RA.769 равны –185 дБВт и –188 дБВт, соответственно, что соответствует спектральной плотности потока мощности в пределах диапазона –248 и –249 дБ(Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{Гц}$)).

Все диапазоны частот ниже 80 МГц в настоящее время распределены и интенсивно используются радиоастрономической службой, как показано в таблице 3-8, которая воспроизводит критерии защиты для диапазона частот, где можно обнаружить сигнал кабеля. Эти значения приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

Защита полос в этом диапазоне частот имеет большое значение для будущего радиоастрономии из-за создания нового поколения радиотелескопов, таких как MWA, eVLA, низкочастотная матрица (LOFAR) и матрица на квадратный километр (SKA).

ТАБЛИЦА 3-8

Диапазон частот (МГц)	Статус распределения Общего европейского распределения (ECA)	Эталонная ширина полосы для побочных излучений (МГц)	Уровень вредных помех (непрерывные наблюдения) (дБ(мкВ/м))	Уровень вредных помех (наблюдения за спектральной линией) (дБ(мкВ/м))
13,36–13,41	Совместное использование на первичной основе (5,149)	0,05	-55,2	
25,55–25,67	Первичная основа (исключительно пассивное использование) (5,149)	0,12	-53,2	
37,5–38,25	Вторичная основа (5,149)		-50,2	
73,0–74,6	Вторичная основа (5,149)	1,60	-50,2	

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – В Статье 5.149 РР для диапазонов частот 13,36–13,41 МГц, 25,55–25,67 МГц, 37,5–38,25 МГц и 73,0–74,6 МГц говорится, что "...администрации должны применять все практически возможные меры для защиты радиоастрономической службы от вредных помех. Особенно серьезными источниками помех для радиоастрономической службы могут быть излучения космических или воздушных станций".

3.9 Стандартные частоты и сигналы времени

Рабочая группа 7А МСЭ-R отмечает, что анализ помех не может точно предсказать возможное влияние помех PLT на специализированные услуги, такие как прием стандартных частот и сигналов времени радиоконтролируемыми часами.

Таблица 3-9 получена из таблицы Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R SM.1138.

ТАБЛИЦА 3-9
Защита стандартных частот и сигналов времени

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
1 Высокая частота (голос)			
Голосовые сообщения, двухполосное излучение	$B_n = 2M$	Речь $M = 4\ 000$ Ширина полосы: $8\ 000\ \text{Гц} = 8\ \text{кГц}$	8K00A3XGN
2 Высокая частота Высокая частота (тональные посылки)			
Такты, используемые для измерения времени появления сигнала	$B_n = 2/t_R$	$t_R = 1\ \text{мс}$ Ширина полосы: $2\ 000\ \text{Гц} = 2\ \text{кГц}$	2K00K2XAN
3 Высокая частота (код времени)			
Код времени как телеграфия	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/\text{с}$ $M = 1$ $K = 5$ Ширина полосы: $7\ \text{Гц}$	7H00A2XAN

ТАБЛИЦА 3-9 (окончание)

Описание излучения	Необходимая ширина полосы		Обозначение излучения
	Формула	Пример расчета	
4 Низкая частота (код времени)			
Передний фронт кода времени, используемый для измерения времени появления сигнала	$B_n = 2/t_R$	$t_R = 1 \text{ мс}$ Ширина полосы = 2 000 Гц = 2 кГц	2K00K2XAN
Код времени как телеграфия	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/\text{с}$ $M = 1$ $K = 3$ Ширина полосы: 5 Гц	5H00A2XAN

4 Возможные средства для предотвращения или устранения помех

Для предотвращения помех в октябре 2006 года администрация Японии решила разрешить PLT только внутри помещений, то есть запретить PLT доступа.

Другим способом предотвращения или, по крайней мере, достаточного подавления помех является определение подходящих пределов излучения для систем и устройств электросвязи по линиям электропередач на уровне, достаточно низком, чтобы гарантировать защиту служб электросвязи или радиоастрономии.

Электроэнергетические системы могут предназначаться для высокоскоростной передачи данных при помощи полного экранирования излучений, РЧ блокирующих фильтров в точке перехода или других способов.

4.1 Факторы и методы уменьшения помех для электросвязи по линиям электропередач

Во всем мире существует постоянно растущая потребность в и использование широкополосного доступа в интернет, и системы электросвязи по линиям электропередач могут предоставить один из способов такого доступа. Но такие системы являются ненамеренными излучателями РЧ излучения и могут вызывать помехи в радиоприемниках.

Система электросвязи по линиям электропередач может использовать внутреннюю домашнюю проводку низкого напряжения для передачи сигналов связи, или внешнюю (воздушную или подземную) проводку низкого напряжения (LV), или внешнюю проводку высокого напряжения (MV) или их комбинации.

Некоторые радиоприемники, например, ВЧ радиовещательный приемник с внутренней антенной, который использует шнур электропитания в качестве части подсистемы антенны, могут испытывать помехи от проводимых излучений, но линия связи помех к большинству других приемников, испытывающих помехи, может прокладываться при помощи создаваемых излучений.

Принимая регуляторные положения, применимые к PLT, национальные администрации могут надеяться только на ограничения уровней излучения для защиты от помех, или они могут надеяться на комбинацию ограничений излучений и факторов уменьшения. В данном разделе предложены руководящие указания по факторам уменьшения, которые могут рассматриваться национальными администрациями.

4.1.1 Ослабление переданных сигналов

Основной проблемой некоторых администраций является защита ВЧ радиовещательных приемников в квартире или доме, когда в соседней квартире или доме используется PLT. В этом случае проведенное излучение может быть основным механизмом соединения помехи.

В некоторые исследования были включены измерения, показывающие, что ослабление сигналов PLT из электрической розетки в домохозяйствах при помощи счетчика электроэнергии и электрощита, составляет порядка от 30 дБ до 40 дБ. Это, как понимается, происходит из-за комбинации потерь в

самом счетчике плюс комплекса электрических свойств электрических сетей внутри зданий. Было обнаружено, что электросчетчики, которые могут содержать электронные схемы для дистанционного управления и наблюдения, ослабляют в некоторых частотах сигналы PLT примерно на 20 дБ, и частотная зависимость достаточно сложна. Следовательно, в многоквартирном доме, где один сосед использует технологию PLT, а ближайший сосед имеет ВЧ радиовещательный приемник, подключенный к сети питания, общее ослабление проведенных сигналов PLT может составлять порядка от 60 до 80 дБ от одного соседа к другому.

Эти результаты могут или не могут быть применимы ко всем странам, так как технологии строительства зданий могут различаться, и конфигурация электрических сетей отличается в разных странах. Следовательно, рассуждая принимать ли во внимание это ослабление в качестве фактора уменьшения при утверждении национальных регуляторных положений, администрации должны исследовать ослабление в типичных зданиях внутри каждой страны.

Более того, ослабление можно усилить, добавив в сеть электропитания фильтр. Такой фильтр можно поместить между штекером шнура электропитания и электрической розеткой, в которую он включается. Так как физическая конфигурация штекеров и розеток в разных странах отличается, администрации должны исследовать осуществимость подхода уменьшения и доступность таких фильтров в каждой стране. Более подробно о расстоянии разноса написано в п. А3.5.

4.1.2 Исключения полос частот

Администрации могут потребовать, чтобы системы электросвязи по линиям электропередач исключали (не помещали несущих частот в) определенные выделенные диапазоны. Это требование может применяться только к воздушным проводам среднего напряжения (СН), к внешним проводам СН и низкого напряжения (НН) или к подземным кабелям (НН или СН).

Например, одна администрация применила это требование к некоторым диапазонам между 2 МГц и 22 МГц, а также 74,8–75,2 МГц. Это защищает диапазоны, распределенные для воздушной подвижной и радионавигационной служб, которые используются для обеспечения воздушной безопасности служб обеспечения безопасности жизнедеятельности. В этом случае требования применялись только к воздушным СН кабелям снаружи зданий, а не к НН или подземным СН кабелям.

4.1.3 Географические запретные зоны

Администрации могут запретить операторам PLT использовать определенные диапазоны частот для некоторых служб на определенном расстоянии от лицензированных радиостанций.

Например, одна администрация запретила PLT использовать диапазон частот 2,1735–2,1905 МГц (всемирный морской службы сигналов бедствия и вызова) в пределах 1 км от примерно 110 выделенных радиостанций морской службы. Она также запретила операторам PLT использовать 73,0–74,6 МГц (частоты радиоастрономии) в пределах 65 км от одной радиоастрономической (РА) обсерватории (применяется только к воздушным СН) или в пределах 47 км RA обсерватории (применимо к подземным СН и воздушным НН линиям).

Такие регуляторные положения, основанные на расстоянии, должны применяться к компаниям, обслуживающим системы электросвязи по линиям электропередач для предоставления услуг доступа в интернет, но не должны к домашним сетям, использующим оборудование PLT, принадлежащее пользователю.

Расстояния, на которых могут наблюдаться вредные помехи со стороны систем электросвязи по линиям электропередач, в высшей степени зависят от таких факторов, как характеристики локальной электрораспределительной сети и устройство и топология определенной системы электросвязи по линиям электропередач. Так как эти факторы очень сильно отличаются в разных местах, выводы, сделанные из одной системы и конфигурации, не могут достоверно применяться к несходным случаям. Администрации должны стараться основывать регуляторные решения только на тех анализах, которые точно отражают национальную ситуацию.

4.1.4 Требования к зоне консультаций

Чтобы сделать определение и уменьшение помех более эффективным, администрации могут потребовать от операторов систем электросвязи по линиям электропередач предварительно уведомлять об установках определенных лицензиатов радиослужб.

Например, одна администрация потребовала от операторов PLT уведомлять об установках за 30 дней в следующих диапазонах и местах:

- в 1,7–30 МГц, если в пределах 4 км находится определенные станции администрирования наблюдения и примерно 60 воздушных и земных ВЧ радиостанций;
- в 1,7–80 МГц, если в пределах 4 км находятся 16adioастрономических станций;
- в 1,7–30 МГц, если в пределах 37 км находятся три определенные принимающие радиолокационные станции;
- в 1,7–80 МГц, если в пределах 1 км находятся другие определенные станции администрирования;
- для координаторов распределения частот для полиции, пожарных служб и служб экстренной медицинской помощи, имеющих лицензию на использование подвижных радиослужб в данном районе.

Для планируемых действий в пределах областей консультаций, определенных выше, операторы PLT должны предоставить следующую информацию:

- 1 название оператора PLT;
- 2 рабочие частоты PLT;
- 3 почтовые коды, обслуживаемые действиями PLT;
- 4 производитель и тип развертываемого оборудования PLT;
- 5 пункт контактной информации (и телефон и адрес электронной почты); и
- 6 предполагаемая или реальная дата начала работы PLT.

4.1.5 Методы аддативных помех

Администрации могут потребовать от операторов PLT использовать оборудование с технологией ослабления с аддативным интерфейсом под управлением оператора. Это позволит операторам PLT отмечать или уменьшать мощность сигнала для уменьшения помех в определенных местах в определенных диапазонах, когда о ней сообщается. Администрации могут потребовать, чтобы отметки снижали излучения на значение фиксированной службы (например, 10 дБ или 20 дБ) ниже применимых ограничений излучения.

Также может допускаться разработка оборудования PLT, которое улавливает радиосигналы определенных служб радиосвязи и аддативно автоматически применяет отметки для защиты этих радиосигналов. Если такое оборудование возможно, администрации могут указать радиослужбы или диапазоны частот, которые должны защищаться таким способом.

Также администрации могут потребовать, чтобы операторы PLT использовали оборудование с функцией отключения ВЧ передачи с дистанционным управлением для действий в исключительных обстоятельствах для отключения любого блока, который вызывает вредные помехи.

4.1.6 Процедуры жалоб на помехи

Администрации должны гарантировать, что существуют процедуры для подачи и отклика на жалобы на помехи PLT.

Например, податель жалобы сначала должен предпринять необходимые шаги для подтверждения того, что помехи существуют, и они создаются системой электросвязи по линиям электропередач. Податель жалобы должен оповестить оператора PLT. Оператор PLT должен провести расследование в течение срока, подходящего для службы, испытывающей помехи. Например, оператор PLT может иметь 24 часа на расследование и снижение уровня жалоб от обладателей лицензий служб общественной безопасности, но больше для расследования помех радиовещательным ВЧ службам. Если помехи нельзя уменьшить таким способом, обладатель лицензии может отправить жалобу в соответствующее административное агентство, которое затем задействует свои технические и юридические источники для снижения помех.

4.1.7 База данных операторов электросвязи по линиям электропередач

Администрации могут потребовать от операторов PLT создать общедоступную базу данных о работе PLT, чтобы уменьшить помехи более эффективным. Такая база данных может управляться профессиональной ассоциацией отрасли, самой администрацией, или независимой третьей стороной. В базе данных может содержаться, например, следующая информация:

- 1 название оператора PLT;
- 2 рабочие частоты PLT;
- 3 почтовые коды, обслуживаемые действиями PLT;
- 4 производитель и тип развертываемого оборудования PLT;
- 5 пункт контактной информации (и телефон и адрес электронной почты); и
- 6 предполагаемая или реальная дата начала работы PLT.

Управляющий базой данных не должен играть никакой роли в любых предоставлениях жалоб на помехи или их расследовании, но информация из базы данных может использоваться в таких расследованиях.

4.2 Исследования методов уменьшения помех

4.2.1 Исследование методов уменьшения помех в Бразилии

4.2.1.1 Введение и общая информация

В данном разделе представлены результаты, полученные при помощи испытаний на месте систем передачи по широкополосной линии электропередач (PLT), представленных Администрацией Бразилии. Испытания проводились с целью вычисления эффективности техник уменьшения, встроенных в системы электросвязи по линиям электропередач второго поколения. Учитывались аспекты радиопомех и уровни создаваемого излучения. Эти излучения сравнивались как с ограничениями из Рекомендации МСЭ-Т К.60¹¹, так и с ограничениями одной администрации.

4.2.1.2 Схема испытаний

Испытания проводились на типичном оборудовании с воздушными проводами низкого напряжения длиной 240 м. Сеть состояла из фонарных столбов общественного освещения так, чтобы шум, производимый моторами и электрическими устройствами, был минимален.

Применявшаяся методика была основана на Рекомендации МСЭ-Т К.60¹¹ и процедурах ФКС 04-245.

Чтобы получить самые высокие значения считывания излучений помех, на оборудовании PLT был выставлен максимальный уровень выходной мощности (примерно -58 дБм/Гц) чтобы увеличить излучения помех.

Для измерения излучений магнитных компонентов, создаваемых ниже 30 МГц, использовались калиброванная рамочная антенна, штатив и анализатор спектра (в соответствии с процедурами измерения из Рекомендации МСЭ-Т К.60, вместо анализатора спектра также может использоваться квазипиковый детектор CISPR 16-1-1). На рисунке 4-1 показана установка.

¹¹ В Статье 1 (Обзор) Рекомендации МСЭ-Т К.60 – Пределы излучений и методы их тестирования для проводных сетей электросвязи для снижения электромагнитных помех радиослужб (2008-02) говорится: "Целью данной Рекомендации является предоставление руководящих указаний администрациям при рассмотрении жалоб на помехи между системами электросвязи, и она не предназначена для создания требований к совместимости или рекомендаций для защиты радиоспектра".

РИСУНОК 4-1
Распределительная сеть и рамочная антенна



Report 2158-4-01

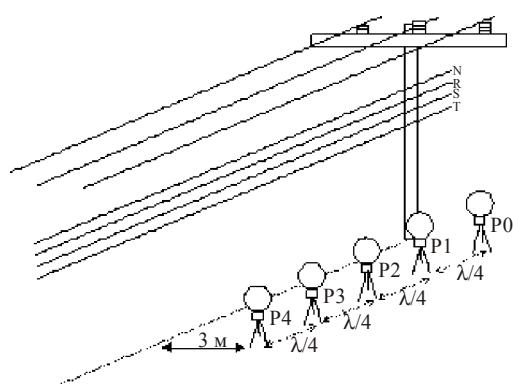
Анализатор спектра при помощи пикового детектора был настроен на значение ширины полосы распознавания (RBW) 9 кГц. Сравнение этих значений с полученными при помощи квазипикового детектора показало разницу менее 4 дБ.

Измерения проводились на расстоянии горизонтального разноса в 3 м. За расстояние принималась прямая линия от проекции линии электропередач на уровень земли для измерения эталонной точки антенны.

Как показано на рисунке 4-2, испытания проводились по линии от точки PLT подачи с интервалом длины волны $0, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}$ и 1 на основе частоты среднего диапазона, использованной оборудованием. Положения соответствуют точкам P0, P1, P2, P3 и P4, соответственно.

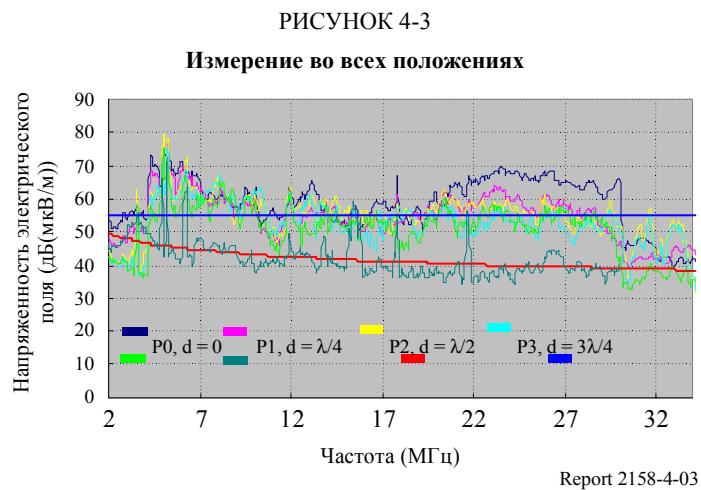
В каждом положении были сделаны три измерения; по одному для каждого направления магнитной рамочной антенны для вычисления трех компонентов ортогонального поля.

РИСУНОК 4-2
Положения измерений



Report 2158-4-02

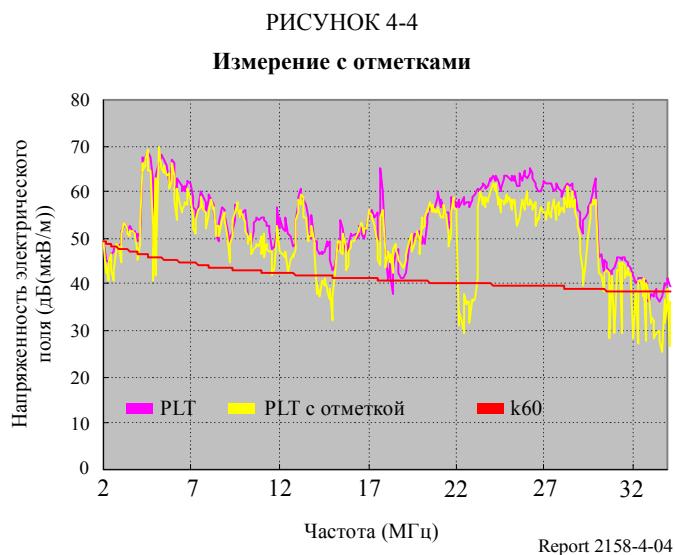
На рисунке 4-3 показано, что оборудование установлено на максимальную введенную мощность, электрическое поле гораздо выше квазипиковых ограничений, использованных одной администрацией. К значению ограничений применялась поправка расстояния в соответствии с фактором экстраполяции, принятым одной из администраций (см. Дополнение 3.6). При сканировании спектра в присутствии или в отсутствие PLT, можно заметить, что сигнал PLT создает помехи существующим службам. Однако при движении вниз от точки подачи сигнала наблюдается значительное уменьшение излученной мощности.



Три схемы анализировались с учетом уменьшения помех.

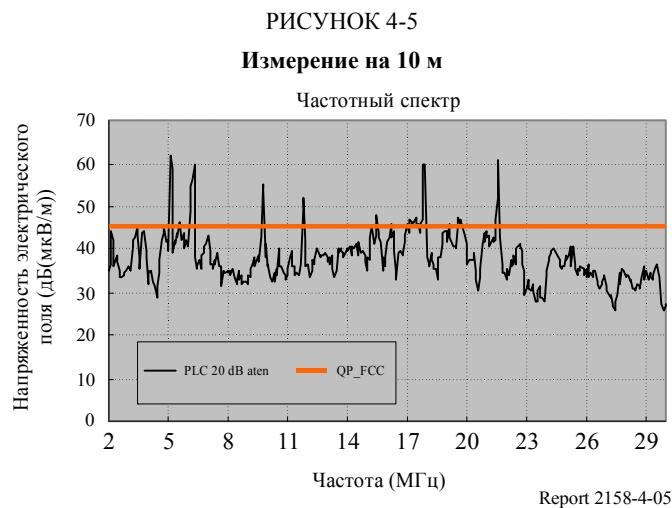
4.2.1.3 Узкополосные режекторные фильтры

Вначале узкополосные режекторные фильтры были сконфигурированы для ослабления уровня сигнала в выделенных диапазонах частот. На рисунке 4-4 можно увидеть три отметки в диапазонах 4,8–4,9 МГц, 14–15 МГц и 22–23 МГц. Во всех трех диапазонах значения интенсивности излучения ниже уровней, приведенных в Рекомендации МСЭ-Т К.60¹¹. Более того, демодуляция радиосигнала подтверждает эффективность этой технологии уменьшения в предустановленных диапазонах исключения.



4.2.1.4 Уменьшение мощности

Наконец, введенная мощность ослаблялась до тех пор, пока создаваемое излучение не достигло пределов, установленных ФКС. Данное испытание проводилось в небольшом секторе сети, где можно было получить расстояния измерения в 10 метров. На рисунке 4-5 показано небольшое увеличение фонового шума из-за PLT. Пики отражают РЧ сигналы, которые не затронуты излучениями PLT.



4.2.1.5 Вывод

Испытания показали, что реализация технологий уменьшения, например, узкополосных режекторных фильтров и управления выходной мощностью, должна обеспечить эффективную защиту ВЧ систем.

Учитывая результаты этих испытаний, недостаточную инфраструктуру для обеспечения широкополосного доступа и необходимость поощрения цифровых подключений, Администрация Бразилии разрабатывает регуляторные положения, правила и необходимые требования, которые позволяют существование систем электросвязи по линиям электропередач, работающих на линиях электропередач низкого (НН) и среднего напряжения (СН) в частотном диапазоне от 1705 кГц до 50 МГц, с лицензированными ВЧ системами.

5 Общие выводы

Данный отчет показывает возможность помех различным службам радиосвязи в присутствии излучений со стороны систем и устройств электросвязи по линиям электропередач. В отчете описываются характеристики излучения радиочастот систем электросвязи по линиям электропередач, а также характеристики и критерии защиты систем радиосвязи, которые испытывают воздействие систем электросвязи по линиям электропередач. Дополнительно обсуждаются возможные методы уменьшения помех от излучений PLT.

Приложение 1

Аспекты шумов, излучения и распространения радиоволн

A1 Аспекты шумов, излучения и распространения радиоволн

A1.1 Уровень шума в полосе ВЧ

В данном разделе представлено общее объяснение шума в полосе ВЧ (3–30 МГц). Более подробные сведения приведены для уровней шума в разделах касающихся отдельных пользователей радиоспектра в данном отчете.

Чувствительность первоклассного радиоприемника определяется шумом, созданным на его низкоуровневых этапах сигнала. Это шум создается активными компонентами внутри оборудования. Данный уровень шума определяет полную чувствительность приемника. Однако в ВЧ радиоспектре связь в целом не ограничивается только внутренним шумом в приемнике, а также другими внешними для самого приемника источниками шума. Эти источники шума, взятые вместе, составляют среду *окружающего шума*.

A1.1.1 Среда окружающего шума

В полосе ВЧ среда внешнего шума состоит из двух частей: неуменьшаемый остаточный окружающий шум, который можно предсказать, и который может изменяться в зависимости от времени года, времени и места, и побочный шум от местных промышленных источников. Их комбинация определяет минимальный используемый уровень сигнала. Они называются минимальный уровень окружающего шума и побочный шум, соответственно.

Побочный шум, который создается устройствами, отвечающими соответствующим стандартам ЭМС, может намного превышать минимальный уровень шума. Несмотря на это возможен прием ВЧ сигналов низкого уровня из-за случайного и, следовательно, вероятностного характера побочного шума. Многие устройства излучают в пределах границ их стандарта только в нескольких отдельных частотах, или в узком диапазоне частот. Кроме того, побочный шум в основном имеет небольшую продолжительность.

ВЧ службы связи должны учитывать непостоянный характер ВЧ распространения. Следует выбрать рабочую частоту и время передачи так, чтобы улучшить вероятность получения удовлетворительного отношения сигнала к шуму. Некоторые системы в фиксированной службе и подвижных службах обладают достаточной гибкостью своих рабочих протоколов, чтобы передача повторялась позднее, когда уменьшатся помехи, если побочный шум мешает радиосвязи в определенное время. В случае автоматических или адаптивных систем эти функции могут быть встроены в рабочий протокол. И, наоборот, служба ВЧ радиовещания обычно должна поддерживать удовлетворительное качество услуг на определенной частоте, для определенной целевой области, для периодов времени в диапазоне от получаса до нескольких часов в различных условиях распространения.

Естественные источники шума

- a) Атмосферный шум, главным источником которого является практически постоянная активность молний около экватора, от которых помехи распространяются на весь мир посредством ионосферного отражения. Общий уровень шума зависит от частоты, времени суток, времени года и места. В умеренных широтах шум от этого источника относительно низок, хотя в определенное время из-за местной электрической активности в атмосфере будут наблюдаться кратковременные всплески шума.
- b) Космический шум, происходящий из открытого космоса, в основном от Солнца и Млечного Пути (вклад от последнего также известен как галактический шум). В полосе ВЧ космический шум, попадающий на антенну, зависит от экранирующего эффекта ионосферы и в целом будет на уровнях ниже промышленного шума. На нижних ВЧ частотах непрактично различать космический шум и фоновый шум от других источников.

Источники промышленного шума

Источники промышленного шума состоят из двух частей:

Первая происходит из большого количества относительно удаленных источников. Это фактически белый шум и один из составляющих минимального уровня окружающего шума. Часто окружающая среда классифицируется как город, жилые районы, сельская местность и тихая сельская местность. Промышленный шум создается электрическим, электронным и радио оборудованием. С точки зрения пользователя радиосвязи разница между этими средами заключается в уровне шума и длительности времени, в течение которого он наблюдается.

Во-вторых, существует побочный шум от локальных источников, уровень которого меняется в зависимости от типа окружения и плотности ближайшего оборудования. Ожидается, что в сельских и тихих сельских местностях побочный шум будет редок, и ВЧ связь оптимальна.

A1.1.2 Измерение минимального уровня окружающего шума

Измерения минимального уровня окружающего шума проводились несколькими организациями, включая MASS Consultants, BNetzA, BBC, Qinetiq¹² и RSGB¹³. Выполнение этих измерений требует большой тщательности. В частности важно выбрать радиочастоту, которая не занята существующим радиосигналом. Шум не должен создавать помех преднамеренным радиосигналам в районе любой определенной частоты.

Из-за уровня высокой занятости в полосах ВЧ и необходимого метода измерения простая частотная развертка в пределах ВЧ диапазона, использующая стандартный ЭМС измерительный приемник со стандартной шириной полосы 9 кГц не будет обеспечивать точные измерения уровня фонового шума. Более того, измерения, выполненные при помощи стандартной рамочной ЭМС измерительной антенны, могут ограничиваться шумом системы приемника, а не шумом окружающей среды.

Для выполнения измерения развертки истинного минимального уровня окружающего шума на ВЧ, должна использоваться более узкая, чем 9 кГц, ширина полосы – примерно в пределах 100–200 Гц. Затем она конвертируется в ширину полосы 9 кГц с целью сравнения.

Обычно является непрактичным измерять минимальный уровень окружающего шума в промышленных деловых районах, где побочный шум все время превышает минимальный уровень шума. В жилых районах обычно достаточно практичным является выбор периода, когда не наблюдается значительного побочного шума. Это подразумевает, что измерения проводятся на достаточном расстоянии (больше 10 м) от любого здания или жилого помещения, и что измерительная антenna расположена соответствующим образом. При истолковании опубликованных графиков минимального уровня окружающего шума, важно учитывать условия измерений, особенно ширину полосы, используемый детектор, пиковый, квазипиковый или усредняющий и тип антенны.

A1.1.3 Определение уровня шума

Далее приведены важные выдержки из Рекомендации МСЭ-R P.372. Данные по атмосферному радиошуму из-за молний были получены во время всесторонних исследований МККР, проведенных в 60-х годах, хотя глобальное потепление может привести к изменению степени и интенсивности грозовой активности, и хотя для предоставления доказательств того, изменились ли со временем эти данные может потребоваться пересмотр анализа, нет оснований ожидать, что эти данные изменились со временем. Данные по промышленному шуму основаны на анализе, выполненном в США, в основном в окружающей среде США, в 70-е годы.

¹² Qinetiq это компания, занимающаяся защитой Британских технологий ([British defence technology company](#)), созданная в основном из членов бывшего Управления по исследованиям и оценке Министерства обороны Великобритании ([Defence Evaluation & Research Agency \(DERA\)](#)), июнь 2001 года.

¹³ Радиообщество Великобритании.

Уровни, содержащиеся в Рекомендации, используются в данном Отчете как эталонные, хотя остается вопрос, отражают ли они уровни, существующие в современной Европе. СЕРТ провел кампанию по измерению минимального уровня шума в Европе с целью выяснения, отражает или нет минимальный уровень шума в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах, указанных в Рекомендации МСЭ-R P.372, существующие в современной Европе уровни.

A1.1.3.1 Уровни тепловых, промышленных и атмосферных шумов

Чтобы иметь возможность работать с основными типами модуляции, используемыми в ВЧ радиоприемниках, расчеты помех, касающиеся шума, и помех основаны на эталонной ширине полосы 1 Гц.

Шум рассматриваемых источников является термальным шумом, свойственным радио и промышленности, а также радиошумом, упомянутым в Рекомендации МСЭ-R P.372.

Термальный шум на Герц:

$$N_0/\text{Hz} = kT_0 \text{ Вт/Гц},$$

где:

k : постоянная Больцмана $= 1,38 \times 10^{-23}$ (Дж/К);

$T_0 = 290$ К.

Радиошум, описанный в Рекомендации МСЭ-R P.372, используется для расчетов. Он содержит компоненты промышленного, космического и атмосферного шумов. Более подробно:

Срединное значение выше kT_0 равно следующему:

$$F_{am} = c - d \log(f) \quad \text{дБ.}$$

Значения для c и d можно найти в указанной выше справочной Рекомендации МСЭ-R, а f – это частота (МГц). Значения равны:

ТАБЛИЦА А1-1

**Постоянные c и d из Рекомендации МСЭ-R P.372
для разных типов областей**

Тип области	c	d
Город	76,8	27,7
Жилые районы	72,5	27,7
Сельская местность	67,2	27,7
Тихая сельская местность	53,6	28,6
Космос (10–80 МГц)	52,0	23,0

На рисунке А1-1 указаны соответствующие уровни:



Атмосферный шум моделируется следующим образом:

ТАБЛИЦА А1-2

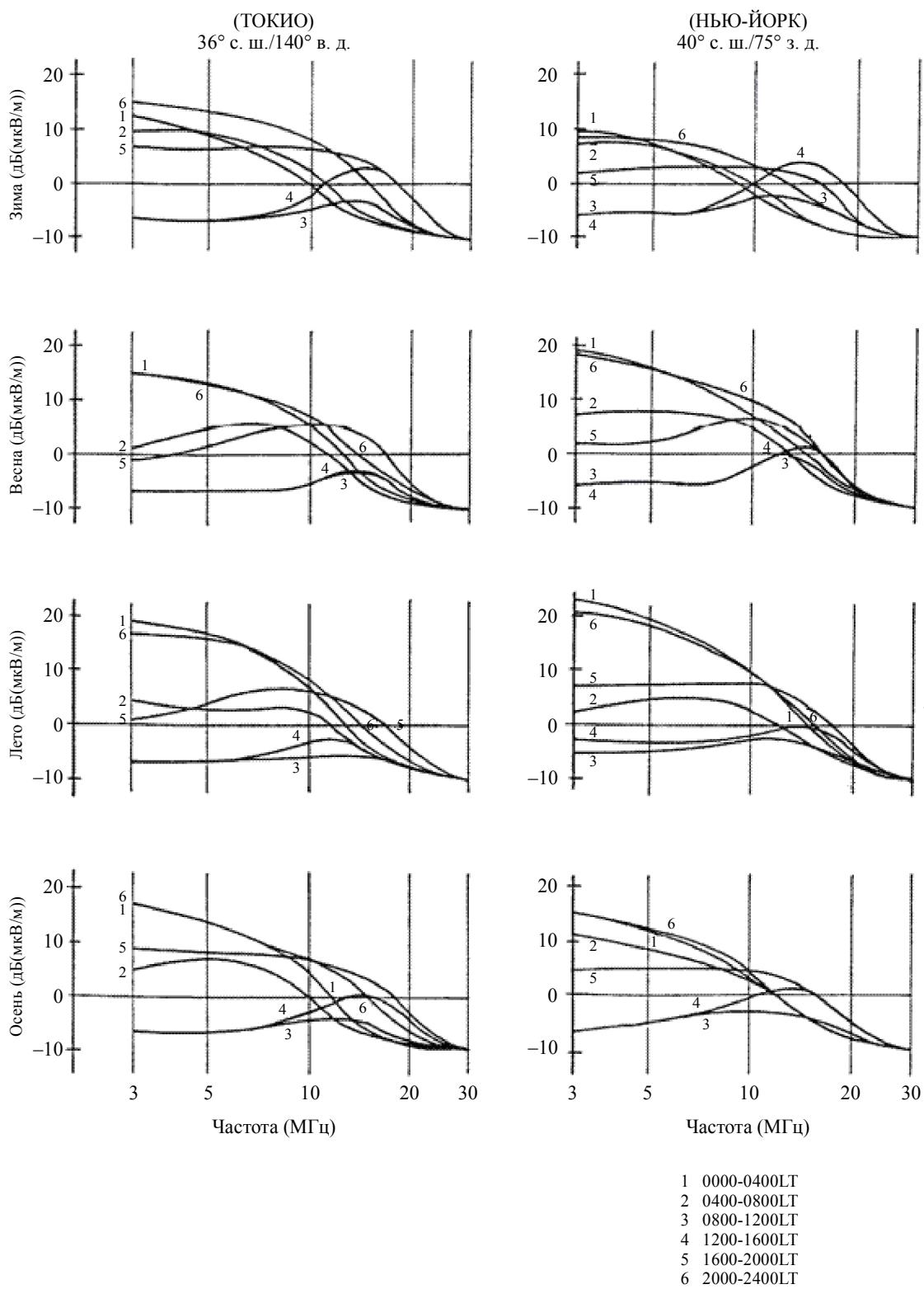
Формулы, отражающие уровень атмосферного шума, с превышением значения 99,5%

Диапазон частот (МГц)	Формулы
1,5–10	$F_a = 27,8 - 0,35 (8,2 - f(\text{МГц}))^2 \text{ дБ}$
10–15	$F_a = 46,4 - 1,98 f(\text{МГц}) \text{ дБ}$
15–20	$F_a = 66,8 - 3,34 f(\text{МГц}) \text{ дБ}$
20–30	0

Эти формулы получены из Рекомендации МСЭ-R Р.372 при помощи графика, отражающего ситуацию превышения значения времени 99,5%, а f это частота (МГц). Приведенные выше формулы были получены только для данного исследования. Следовательно, хотя формулы полностью не соответствуют оригинальному графику в точках, где влияние других компонентов подавляющее, конечные результаты в практических показателях верны и действительны.

РИСУНОК А1-3

Примеры напряженности поля атмосферного шума (Токио, Нью-Йорк)



- 1 0000-0400LT
- 2 0400-0800LT
- 3 0800-1200LT
- 4 1200-1600LT
- 5 1600-2000LT
- 6 2000-2400LT

Report 2158-A1-03

A1.1.3.2 Обновленные результаты измерений шума для Европы

В июне 2002 года СЕРТ/ECC WGSE попросила у ECC FM22 в заявлении о взаимодействии провести кампанию измерений в Европе в НЧ, СЧ и ВЧ диапазонах для вычисления уровней минимального уровня шума, указанных в Рекомендации МСЭ-R P.372-8. Вопрос был задан с целью помочь ее группе по проекту SE35 в технической работе, относящейся к совместимости систем передачи по кабелю и радиослужб.

Рекомендация МСЭ-R P.372-9 была недавно обновлена в 2007 году, хотя показатели минимального уровня шума остались неизменными. Результаты промышленного шума продолжают основываться на анализе 70-х годов, в основном на измерениях, сделанных в США. Существует несколько предложений, которые предполагают ограниченное увеличение существующего минимального уровня шума, а, следовательно, важно иметь верные значения существующего минимального уровня шума.

FM22 организовала кампанию по измерению в Европе в ноябре 2002 года и использовала предложения SE35 для методов и процедур измерения, как упомянуто в заявлении о взаимодействии. Отдельные члены и организации РТ SE35, например НАТО и Европейская ассоциация радиолюбителей объявили о своем желании внести вклад в исследования. Результаты Европейской кампании по измерению были неопределенными, и стало очевидно, что задача получения сравнимых результатов была гораздо сложнее, чем казалось в начале кампании.

В Нидерландах начала исследования группа экспертов, состоящая из представителей военных, промышленных, радиолюбительских кругов и Агентства по радиосвязи. Параллельно исследование проводилось в FM22.

Вскоре стало ясно, что методы и процедуры измерений, использованные в Соединенных Штатах Америки в 70-х годах, невозможно воспроизвести, и что следует создать тщательно описанный метод измерений.

Недавние исследования, проведенные консультантами MASS в Соединенном Королевстве, использовали современные технологии для получения больших наборов данных, позволяющих провести точный статистический анализ. Были разработаны методы для получения коэффициента шума, предоставляющие данные для окончательного преобразования информации в Рекомендации. Также был создан метод определения статистических характеристик импульсного компонента; см. Отчет МСЭ-R P.2089. Эти результаты были введены в базу данных по шуму 3-й Исследовательской комиссии радиосвязи вместе с похожими результатами исследований, проведенных в Германии.

Уровни промышленного шума, обнаруженные в обоих исследованиях, относятся к тому же порядку уровней, что и уровни из Рекомендации, что привело к мнению, что за последние 30 лет не произошло серьезных изменений, вероятно, возросшее потребление электричества было скомпенсировано улучшенными технологиями подавления. Однако прежде чем с уверенностью можно будет говорить о пересмотре Рекомендации, нужно больше результатов.

В Рекомендации МСЭ-R P.372 представлена оценка уровней шума в спектре для промышленного, атмосферного и космического радиошума. На ВЧ в большинстве ситуаций доминирует именно промышленный шум, хотя есть ситуации на радиостанциях с низким шумом, например, где атмосферный и космический шум могут ограничивать уровень шума. Не предполагается, что уровень шума, создаваемый естественными источниками, изменился из-за появления моделей из Рекомендации МСЭ-R P.372. Однако промышленный шум может изменяться в соответствии с промышленной деятельностью.

A1.2 Механизмы распространения радиоволны

A1.2.1 Ближняя зона и распространение земной волной

Частота линейных источников излучения PLT потребует расчета излучения от общей части всей сети, привязанной к точке включения. Расчеты можно проводить на расстояниях до 1 км, применяя пакет программ для моделирования, например, цифровой электромагнитный код (NEC). Для определения уровней излученной мощности на расстояниях в 1 км или больше, когда будет наблюдаться распространение земной волной, уровни напряженности поля можно вычислить при помощи кривых

из Рекомендации МСЭ-R P.368¹⁴ на частотах до 30 МГц. Для всего рассматриваемого диапазона частот до 80 МГц может использоваться GRWAVE. Копию GRWAVE можно получить на программной странице 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи¹⁵.

Для больших расстояний в пределах линии видимости как выше, так и ниже линии электропередач, можно использовать Рекомендацию МСЭ-R P.525, а Рекомендацию МСЭ-R P.1546 можно использовать на более высоких частотах.

A1.2.2 Распространение ионосферной радиоволной

На ВЧ ионосфера является важным фактором, позволяющим относительно слабым сигналам распространяться на большие расстояния, самое главное, посредством как отражения, так и преломления от более высоких районов – уровни E и F. Поглощение также может быть важным фактором, особенно в районе D, самой низкой части ионосферы, так что этот режим распространения может и расширить и ослабить мощность сигналов, полученных на больших расстояниях. Так как ионизация зависит от Солнца, в ионосфере наблюдаются дневные и сезонные колебания, зависящие от уровня солнечной активности.

Рабочая группа МСЭ-R 3L посчитала, что высоко геометрическая организация линий электропередач, несущих системы электросвязи по линиям электропередач, может вызвать более высокое и более направленное излучение в совокупности, чем более редкое распределение.

Может потребоваться вычислить общую излученную мощность при помощи совокупности всех общих частей для области, например, города. Если наблюдается совокупное воздействие систем электросвязи по линиям электропередач с многостанционным доступом, они могут вносить свой вклад или быть причиной ионосферного распространения, которое наблюдается на больших расстояниях в зависимости от частоты. Для дальнейших исследований в Дополнении к документу была представлена методика, предназначенная для обеспечения способов оценки воздействия совокупных излучений от источников PLT с большой плотностью распределения при помощи ионосферного распространения.

A1.2.3 Примеры расчетов распространения и исследования

В приведенном ниже списке содержатся примеры работы, выполненной в соответствующих режимах распространения радиоволны:

- 1 Отчет NTIA 04-413 – Возможные помехи от систем широкополосной передачи по линиям электропередач (BPL) в федеральные государственные системы связи на 1,7–80 МГц – Исследование фазы 1. Можно найти на: <http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl>.
- 2 Рекомендация МСЭ-R P.368 – Кривые распространения земной волной для частот между 10 кГц и 30 МГц.
- 3 Рекомендация МСЭ-R P.834 – Воздействие тропосферного преломления на распространение радиоволн и Рекомендация МСЭ-R P.1546 – Метод указания на прогнозирование областей для наземных служб в частотном диапазоне 30 МГц – 3000 МГц.
- 4 Рекомендация МСЭ-R P.533 – Метод ВЧ распространения.

¹⁴ Доступно по адресу: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.368/recommendation.asp?lang=en&parent=R-REC-P.368-9-200702-I>.

¹⁵ <http://www.itu.int/oth/R0A0400000F/en>.

Приложение 2

Анализ возможных помех

A2 Анализ возможных помех

A2.1 Моделирующий анализ для радиоастрономической службы

"Возможность вредных помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач в высшей степени зависит от таких факторов, как характеристики местной электрической сети и устройства и топологии определенной системы электросвязи по линиям электропередач. Так как эти факторы очень заметно отличаются в зависимости от местонахождения, выводы, сделанные из одной системы и конфигурации, не могут в полной мере применяться к непохожим случаям. Администрации должны стараться создавать регуляторные решения только на тех анализах, которые точно отражают национальную ситуацию".

Системы электросвязи по линиям электропередач включают широкополосную радиочастотную энергию в систему электропроводки, которая по своей природе несбалансирована, по всему миру ее можно обнаружить в различных конфигурациях, даже в рамках одной администрации. Как следствие проведения нескольких кампаний по измерению, очевидно, что будет наблюдаться сочетание и точечных и линейных источников излучения. В случае линейных источников потребуется оценка излучения от общей части всей сети, привязанной к одной точке подачи.

Оценка излучения может проводиться на расстояниях до 1 км, применяя пакет программ для моделирования, например, цифровой электромагнитный код (NEC). Для определения уровней излученной мощности на расстояниях в 1 км или больше, когда будет наблюдаться распространение земной волной, уровни напряженности поля можно вычислить при помощи кривых из Рекомендации МСЭ-R P.368¹⁶ на частотах до 30 МГц. Для всего рассматриваемого диапазона частот до 80 МГц может использоваться GRWAVE. Копию GRWAVE можно получить на программной странице 3-й Исследовательской комиссии по радиосвязи¹⁷.

Может потребоваться рассчитать общую излученную мощность при помощи совокупности всех общих частей для области, например, города. Также возможно, что источники линий электропередач инициируют компонент ионосферной волны. В таких случаях напряженность полей ионосферной волны можно вычислить при помощи Рекомендации МСЭ-R P.533¹⁸.

Следует отметить, что в разрабатываемых критериях для систем электросвязи по линиям электропередач необходимо измерение обоих полей Е и Н из-за неизвестных отношений между этими полями в ближней зоне для этих источников излучения.

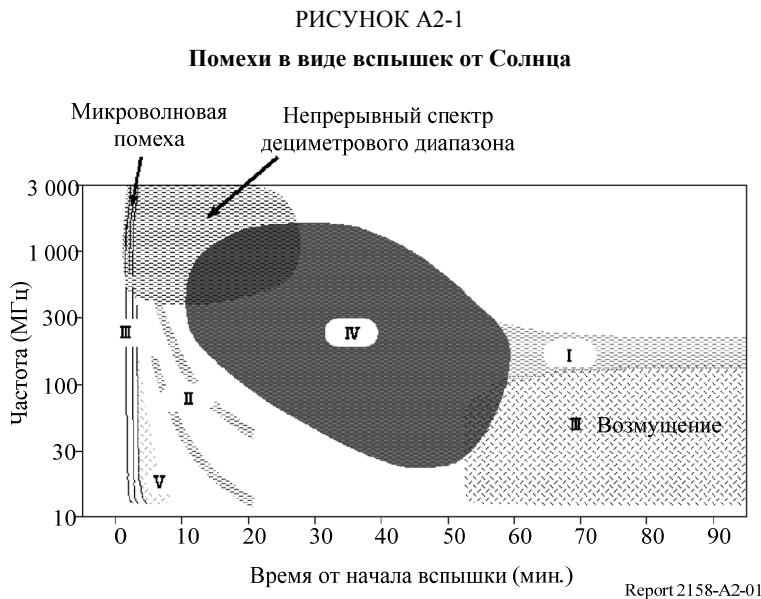
A2.1.1 Использование полос ВЧ радиоастрономической службой (РАС)

Защищенные диапазоны 13,36–13,41 МГц и 25,55–25,67 МГц в значительной степени используются радиоастрономами для наблюдений за электромагнитными волнами, излучаемыми Солнцем, Юпитером, пульсарами и многими другими типами небесных объектов. Эти излучения в основном производятся посредством синхротронного излучения и взаимодействий волна-частица, управляемых электронами, движущимися со скоростью, близкой к скорости света, и постоянно распространяемыми по относительно широкому спектру частот.

¹⁶ Доступно по адресу: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.368/recommendation.asp?lang=en&parent=R-REC-P.368-9-200702-I>.

¹⁷ <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&rlink=rsg3&lang=en>.

¹⁸ <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.533/en>.



Солнце производит радиоизлучения многих видов. Однако излучения, исследуемые в ВЧ диапазоне, относятся к излучениям, создаваемым вспышками и другими кратковременными событиями. На рисунке А2-1¹⁹ показаны характеристики и классификация этих излучений. Излучения имеют множество характеристик и происходят в широком частотном диапазоне от 10 МГц до 3 ГГц. Импульсы и бури Типа III являются самыми наблюдаемыми солнечными радиоизлучениями в ВЧ диапазоне, хотя временами наблюдаются все типы с разной степенью частоты. Некоторые импульсы солнечных радиоизлучений достаточно сильны, чтобы прервать наземные радиопередачи. Так как ВЧ диапазоны имеют множество критических приложений, например, воздушная связь на больших расстояниях, очень важна способность прогнозировать ухудшение условий связи, вызванных солнечным излучением, в полосе ВЧ. Для удовлетворения таких нужд в Государственном институте информации и коммуникационных технологий (NICT) Японии уже много лет работает служба "прогнозирования космической погоды".

Дополнительно, в ВЧ и ОВЧ/УВЧ диапазонах можно изучать некоторые аспекты развития Вселенной сразу же после Большого Взрыва, представляющие большой интерес в настоящее время. Для исследования этой области спектра в настоящее время планируют использовать новые радиотелескопы, например, с низкочастотной матрицей (LOFAR), с матрицей большой длины волны (LWA) и с матрицей квадратного километра (SKA).

A2.1.2 Величины территориального разноса между антенной РА и системой электросвязи по линиям электропередач в диапазоне ВЧ

A2.1.2.1 Система электросвязи по линиям электропередач, использованная для исследований

В нескольких странах была предложена высокочастотная система электросвязи по линиям электропередач, использующая диапазон частот 2–30 МГц. Так как линии электропередач не предназначены для приложений ВЧ связи, передачи сильно страдают от ослабления. Для компенсации потерь предложенные системы используют высокую мощность передач (например, -50 дБм/Гц, которая является значением, используемым в данном исследовании). Следовательно, линии электропередач, несущие сигналы PLT, будут излучать значительную мощность в ВЧ полосах.

Считается, что усиление антенны, сформированное линией электропередач, будет равно -20 дБи²⁰.

¹⁹ <http://hiraiso.crl.go.jp/>.

²⁰ MUTO, K., MANABE, K. and MORIMOTO, T. [2001] On the EMI / EMC issues in the Power Line Communication. 12-6, Records of Shikoku Sections Joint Convention of Institutes of Electrical Engineering of Japan (in Japanese).

A2.1.2.2 Расчеты

Будет очень сложно провести общеприменимые вычисления мощности, полученной антенной радиотелескопа от системы электросвязи по линиям электропередач. Следует учитывать геометрию провода(ов), несущих сигналы, и их расстояние от проводящих и диэлектрических структур. Кроме того, в сравнении с длиной волн, "антенна" может находиться близко к земле. На частотах ниже примерно 30 МГц ионосфера может быть главным фактором распространения излучений.

Уравнение для вычисления полученной антенной РАС мощности

Полученная радиоастрономической антенной мощность вычисляется по формуле:

$$P_r = P_t - L_{bf} + G_r, \quad (\text{A2-1})$$

где:

- P_r : полученная радиоастрономической антенной мощность (дБВт);
- P_t : мощность, переданная на расстояние 30 м от передатчика (дБВт);
- G_r : усиление радиоастрономической антенной в направлении передатчика (дБи);
- L_{bf} : потери при распространении на расстояние больше 30 м от передатчика (дБ).

Учитывая, что усиление радиоастрономической антенны (0 дБи) и усиление линии электропередач (-20 дБи), необходимо определить P_t и L_{bf} до вычисления полученной радиоастрономической антенной мощности. Определить P_t будет сложно. Определение L_{bf} потребует рассмотрения возможных факторов дополнительно к потерям в геометрическом тракте, например, роль ближайших проводящих и диэлектрических структур, волновые помехи и ионосферное распространение.

Мы подразумеваем расстояние в 30 м. Следовательно, мы показываем здесь вычисление для данного расстояния и затем обсуждаем применение этой модели на других расстояниях.

Расчеты переданной мощности на расстоянии в 30 м от передающей антенны

Можно рассчитать переданную напряженность поля на расстоянии в 30 м, E , от передатчика при помощи уравнения (1) из п. 2 Рекомендации МСЭ-R P.525 следующим образом:

$$\begin{aligned} E &= \frac{\sqrt{30G_t P}}{d} \\ &= 408 \text{ (мкВ/м)} \text{ (в диапазоне 13 МГц)} \end{aligned} \quad (\text{A2-2})$$

и

$$E = 633 \text{ (мкВ/м)} \text{ (в диапазоне 25 МГц)}.$$

G_t и d отражают усиление в системе электросвязи по линиям электропередач (дБи) и расстояние от передатчика, соответственно. Затем напряженность поля конвертируется в мощность при помощи уравнения (8) в п. 4 Рекомендации МСЭ-R P.525,

$$P_r = E - 20 \log f - 167,2, \quad (\text{A2-3})$$

где:

- P_r : выражается в дБВт;
- E : дБ(мкВ/м); и
- f : ГГц.

Следовательно, полученная радиоастрономическая антенной мощность с усилением 0 дБи и расположенной в 30 м от передающей антенны (линии электропередач) выражается как,

$$P_r = -77,52 \text{ дБВт (в диапазоне 13 МГц)}$$

и

$$P_r = -79,34 \text{ дБВт (в диапазоне 25 МГц).}$$

Эти значения намного выше критериев защиты приемников РАС. Это вычисление, даже для такого малого расстояния разноса, стоит принимать во внимание, так как, как правило, радиотелескопы соединены с линиями электропередач. Однако этот результат подчеркивает необходимость того, чтобы системы электросвязи по линиям электропередач находились максимально далеко от антенн радиотелескопов.

Полученная мощность на расстояниях от передающей антенны, превышающих 30 м

Расчет мощности, полученной на расстояниях от передающей антенны, превышающих 30 м, сложен. Как правило, расчет полученной мощности на больших расстояниях от антенн основан на допущении, что характеристический размер шкалы в антенне невелик по сравнению с диапазоном, или что у них есть единообразное распространение к бесконечности, как в случае бесконечного прямого провода. Как правило, системы электросвязи по линиям электропередач не удовлетворяют таким допущениям. Однако расчет в свободном пространстве имеет значение с целью иллюстрации.

В Рекомендации МСЭ-R P.525 представлена модель для потерь при распространении в свободном пространстве между системами электросвязи по линиям электропередач и антенной радиотелескопа. В эту модель не включено воздействие из-за затухания в атмосфере. Затухание в атмосфере равно всего лишь $2,5 \times 10^{-2}$ дБ/км (рисунок 1 в Рекомендации МСЭ-R P.676), следовательно можно пренебречь этим затуханием.

Потери при распространении в свободном пространстве между изотропными антennами, L_{bf} , приведены в уравнении (4) в п. 2.2 Рекомендации МСЭ-R P.525 как:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{дБ}), \quad (\text{A2-4})$$

где:

f : частота (МГц);

d : расстояние между антенной РАС и системой электросвязи по линиям электропередач (км).

Однако при более реалистичном подходе следует использовать более детерминированный анализ, например, разработанный в рамках Рабочей группы 9С. Он будет включать в себя моделирующие излучения от линий электропередач в диапазоне от 10 до 1000 м.

Расчеты величины территориального разноса

При определении величины территориального разноса следует рассмотреть, как минимум, два основных режима распространения: распространение по пути прямого сигнала, включая наземное воздействие и ионосферное распространение.

a) Вычисление по пути прямого сигнала

Используя приведенные выше аргументы, можно рассчитать расстояние разноса, d .

В диапазоне 13 МГц, $L_{bf} = 107,48$ дБ, а $d = 424$ км. Аналогично в диапазоне 25 МГц, $L_{bf} = 108,66$ дБ, а $d = 253$ км.

В этом режиме распространения расстояние разноса до 424 км необходимо для защиты ВЧ радиоастрономической антенны от помех, создаваемых одной системой электросвязи по линиям электропередач. Более реально, следует учитывать множество передатчиков, некоторые из которых работают с теми же сигналами, но на разных расстояниях от антенны радиотелескопа.

b) Ионосферное распространение

На ВЧ частотах ионосфера является важным фактором, позволяющим относительно слабым сигналам распространяться на большие расстояния при помощи отражения и преломления. В районе D, самой нижней части ионосферы, можно наблюдать поглощение. Так что этот режим распространения может как усиливать, так и ослаблять мощность сигналов на больших расстояниях. Ионосфера зависит от Солнца и также имеет дневные и сезонные колебания, так что в зависимости от уровня солнечной активности

мощность сигнала, полученного на больших расстояниях, может отличаться более чем на 60 дБ. Следовательно, этот режим распространения становится доминирующим фактором в приеме излучений PLT и может, при случае, обеспечить всемирный охват.

A2.1.3 Обсуждение

Непросто сделать реалистичные оценки возможностей помех радиотелескопам от систем электросвязи по линиям электропередач. Существует начальное значение в упрощенных примерах и ситуационных исследованиях, как обсуждается в данном разделе.

A2.1.3.1 Многочисленные системы электросвязи по линиям электропередач

Очевидно, что система электросвязи по линиям электропередач состоит из множества модемов для установления связи. Таким образом, необходимо рассмотреть случай, когда существует значительное количество PLT модемы. Была введена система ADSL, и в разных странах используется более 1 000 000 систем. Следовательно, подразумевается, что в зоне находятся 10 000 PLT модемов. В таком случае совокупная передаваемая мощность от системы электросвязи по линиям электропередач становится на 10 000 (= 40 дБ) выше, чем в случае с одной системой, и даже в простом случае приема по пути прямого сигнала необходимое расстояние разноса для защиты антенны РАС становится на 20 дБ больше, т. е. расстояние больше радиуса Земли.

A2.1.3.2 Дифракционное распространение

Преломление вокруг искривленной поверхности Земли является важным фактором в распространении радиоволн на большие расстояния. В Рекомендации МСЭ-R P.526 представлено руководящее указание для разработки модели дифракционного распространения, а в его Приложении представлены номограммы для получения потерь при распространении из-за преломления, относящегося к случаю свободного распространения. Например, на рисунке 2 в Рекомендации МСЭ-R P.526 представлены потери при преломлении из-за сферической Земли как функции расстояния.

На рисунке показано, что потери из-за преломления больше для расстояний в 38 км или больше (при 25 МГц и $k = 1$, где k – это эффективный фактор радиуса Земли, определенный в Рекомендации МСЭ-R P.310), и что на расстоянии в 100 км получаются дополнительные потери примерно в 20 дБ. Однако эти номограммы также показывают, что преломление не дает очень большие дополнительные потери, если расстояние разноса нет так велико.

A2.1.3.3 Уменьшение излучений утечки из системы электросвязи по линиям электропередач

Нельзя исключать, что будут доступны технические и рабочие методы, которые могут существенно уменьшить излучение радиосигналов от линий электропередач ниже подразумевающихся здесь уровней. Это может иметь значительные последствия для обсуждений совместимости. Например, подразумевая распространение по пути прямого сигнала в свободном пространстве, уменьшение излучений утечки на 60 дБ, расстояние разноса между ВЧ антенной РАС и системой электросвязи по линиям электропередач становится равным примерно 0,4 км, уменьшать расстояние разноса нужно примерно в 1000 раз. В таком случае будет возможно распределить 10 000 PLT модемов, установив зону отчуждения с радиусом 40 км вокруг каждого телескопа РАС. Если степень уменьшения меньше 60 дБ, радиус зоны отчуждения становится соответственно больше.

A2.1.3.4 Излучения на более высоких частотах

Системы распределения энергии не создавались с расчетом передачи ВЧ сигналов. Дополнительно к различным компонентам сопротивления и реакции, вне всякого сомнения, существуют нелинейные характеристики, например оксидные слои, покрытие на изоляционных материалах, разряды во влажной атмосфере и пр., которые создадут гармонические и интермодуляционные компоненты, могущие слишком расширить более высокие частоты, в отличие от частоты PLT. Это также надо принимать во внимание. Однако в этих случаях вопросы распространения могут быть менее сложными.

A2.1.4 Выводы

Модели для оценки ВЧ излучений со стороны систем электросвязи по линиям электропередач в область работы радиотелескопов до сих пор находятся в начальной стадии. Соответствующие величины территориального разноса будут важным фактором в защите радиотелескопов от этих излучений. Простая модель распространения по пути прямого сигнала в свободном пространстве указывает на максимальное расстояние защиты, равное примерно 420 км. Однако оно может изменяться из-за воздействия местной топографии и из-за ионосферы, которая может, в определенных условиях, допустить распространение излучений на расстояния, равные континенту, или даже по всему миру. В более реальных предположениях следует рассмотреть множество источников, как минимум, некоторые из которых работают с теми же сигналами и на разных расстояниях от радиотелескопа. Если методы станут доступны, это сможет понизить излучение примерно на 60 дБ, вопрос совместимости между PLT и радио обсерваториями станет намного проще, так что совместно использующийся службами радиоастрономического наблюдения и системами электросвязи по линиям электропередач диапазон может стать заметно более жизнеспособным.

Излучение продуктов и гармоник интермодуляции из-за нелинейности (на радиочастотах) в компонентах линии электропередач создает излучения на частотах более высоких, чем основная частота PLT. Это также требует исследований, хотя в этом случае можно применить простые модели распространения.

Системы электросвязи по линиям электропередач могут быть широко развернуты, и как только это произойдет, будет сложно исследовать вопросы совместимости с радиоастрономической службой и другими службами связи. Это указывает на необходимость всесторонних исследований, включающих комбинации отдельных и множественных сигналов, свойства излучения больших связанных сетей в условиях, подобных тем, в которых будут работать системы электросвязи по линиям электропередач, и для соответствующих измерений реальных систем и компонентов. На данном этапе невозможно сообщить о совместимости; требуется больше исследований.

A2.2 Обзор помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач (PLT) радиовещательной службе

A2.2.1 Введение

Перспектива высокоскоростной передачи данных при помощи существующей инфраструктуры электроснабжения является привлекательной альтернативой предоставлению услуг интернета, особенно в сельских районах. Системы электросвязи по линиям электропередач (PLT) используют существующие системы распределения энергии низкого и высокого напряжения для управления распространением радиочастотных сигналов и таким образом предлагают доступ к широкополосным услугам. Так как линии электропередач не экранированы, могут наблюдаться излучения вдоль линий распределения энергии. Излучения PLT устройствами без соответствующего распределения частот в Регламенте радиосвязи являются темой этого обзора.

6-я Исследовательская Комиссия по радиосвязи пояснила, что служба радиовещания должна быть защищена от помех устройствами без соответствующего распределения частот в Регламенте радиосвязи, которые создают основные излучения в диапазонах частот, распределенных для радиовещательной службы. Для определения вероятности помех от PLT различным системам радиосвязи было проведено множество исследований^{21,22}. В данном обзоре рассматриваются два недавних исследования, которые напрямую применимы к ВЧ и нижней части ОВЧ радиовещательных диапазонов.

²¹ NTIA [апрель 2004 г.] Возможность помех от систем широкополосной связи по линиям электропередач (BPL) федеральным правительенным линиям радиосвязи в 1,7–80 МГц, Фаза I исследования. Т. I и II, Отчет NTIA 04-413.

²² HENRY, P.S. [April 2005] Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires. IEEE Comm. Mag., p. 92-98.

A2.2.2 Влияние помех на телевидение в нижней части ОВЧ

Калдуэлл и Вестмор²³ исследовали вероятность помех от PLT в нижней части ОВЧ телевизионного диапазона (54–88 МГц). Их анализ моделировал разные места в Лос-Анджелесе, штат Калифорния Соединенных Штатов Америки. Области моделировались при помощи программы цифрового электромагнитного кода (NEC). Одной из областей был жилой район в западном Лос-Анджелесе, обслуживаемый трехфазной распределительной системой с напряжением 12 кВ без нейтрального провода среднего напряжения, где между фазами были включены первичные обмотки трансформатора. На рисунке A2-2 изображены типичные опоры распределения (обозначенные как 2 и 6). Общая площадь, охваченная моделированием, изображена на рисунке A2-3. Местонахождение опор распределения 2 и 6, изображенных на рисунке A2-2, определено. Точка возбуждения PTL, E, находится на опоре 1.

РИСУНОК A2-2

Пример системы распределения линий электропередач в жилом районе, использованная в модели PLT на переднем плане – опора 2, всего 6 опор



Report 2158-A2-02

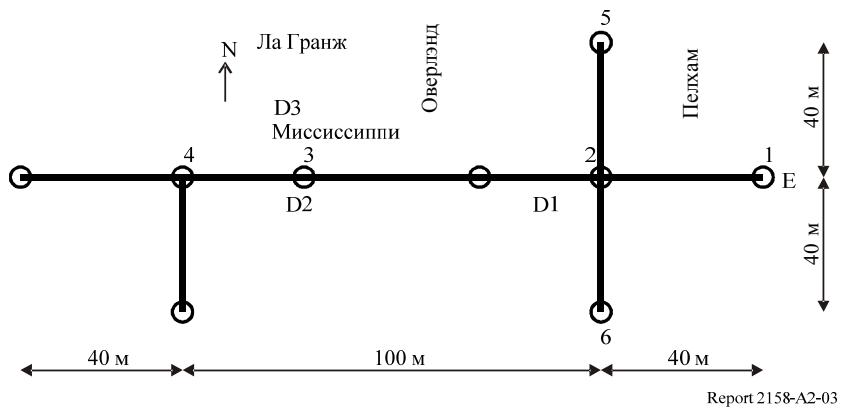
В модели NEC использовался отдельный частотный тональный звук на уровне входной мощности -56 дБм в 6 МГц телевизионном диапазоне. Исследование учитывает как модуляцию расширения спектра по методу прямой последовательности (DSSS), так и модуляцию ортогонального частотного разноса (OFDM). Если подразумевается модуляция OFDM с 50 равномерно распределенными носителями, измерение совместимости при помощи рекомендованной ширины полосы разрешения 120 кГц сможет измерить 1/50 существующей мощности сигнала в канале 6 МГц. Следовательно, следует добавить $10 \log_{10}(50) = 17$ дБ для точного отражения совокупного усиления мощности сигнала из-за множества носителей OFDM.

²³ WINSTON CALDWELL, M. and WETMORE EVANS, R. [3 February 2005] Fox Technology Group. Interference Effects into Low VHF Television Arising From Broadband Over Power Line. (Filed in FCC ET Docket 03-104 by the Association for Maximum Service Television on 7 February 2005 and available at www.mstv.org/docs/feb72005tech.pdf).

Три полууволновых диполя были расположены в местах на высоте 9,1 м от уровня земли. Расположение диполей моделировало принимающие телевизионные антенны, помещенные на дома, расположенные в пределах жилого района. На рисунке A2-4 изображена полученная напряженность поля в диполях в присутствии сигнала PLT 50 несущих OFDM как функции телевизионной антенны (нижняя часть ОВЧ каналов 2, 3, 4 и 5). Мощность сигнала ($\text{дБ}(\text{мкВ/м})$) сравнивается с порогом шума на границе покрытия для цифрового телевизионного сигнала ATSC. Порог шума в 13 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$ является определяющей напряженностью поля ФКС в 28 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$ на 15 дБ ниже SNR, необходимого для цифрового телевидения ATSC²⁴. Определяющая напряженность поля ФКС является значением напряженности поля, необходимой для отображения зоны покрытия для цифровой телевизионной станции²⁵. Факторы планирования ФКС требуют, чтобы отношения полезного-к-нежелательному (D/U) для помех по совмещенному каналу цифрового телевидения ATSC было больше +15 дБ и +23 дБ на периферии покрытия. Следовательно, мощность сигнала PLT больше 13 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$ (или 5 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$ на периферии покрытия) в присутствии цифрового телевизионного сигнала в 28 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$ сделает телевизионный сигнал непригодным.

РИСУНОК A2-3

План системы распределения линий электропередач в западном Лос-Анджелесе, Калифорния, для оценки излучений PLT в ОВЧ диапазоне. Точка возбуждения PLT, E, находится на опоре 1



Напряженность поля сигнала PLT также превышает пределы, установленные в Рекомендации МСЭ-R SM.1757 для помех от любых устройств без распределения в РР (например, сверхширокополосных устройств). В этой рекомендации указано, что энергия, излучаемая в 3 м от устройства, не должна превышать $-114,2 \text{ дБм}$ в 6 МГц. Эквивалентная напряженность поля равна максимуму 2,5 $\text{дБ}(\text{мкВ/м})$. Излучения PLT значительно превышают эти ограничения.

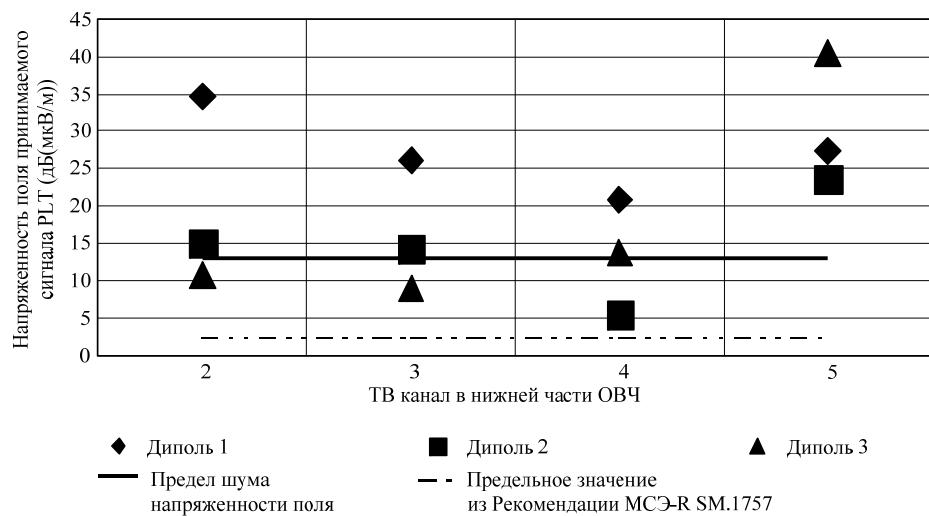
Кроме того, для определения напряженности поля в отдельных точках исследование включает в себя графики напряженности поля (мкВ/м) для всей рассматриваемой области. На рисунках A2-5 и A2-6 приведена напряженность поля (мкВ/м) излучений PLT в ТВ каналах 2 и 5 на 4 м выше уровня земли, соответственно, в области площадью примерно 2500 м^2 . Значения напряженности поля выше 90 (мкВ/м) считаются не совместимыми. Точки в пределах 10 м проводника PLT не включены. Следует отметить, что излучение PLT во многих местах превышает пределы и ФКС и МСЭ-R для приема цифрового ТВ. Это исследование показывает, что сигналы PLT, хоть они и соответствуют правилам Части 15 ФКС, вызовут материальные помехи нижней части ОВЧ цифрового телевидения и сделают эти каналы непригодными для служб радиосвязи.

²⁴ ATSC – Advanced Television Systems Committee – Комитет по новейшим телевизионным системам.

²⁵ FCC [2 July 1997] Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference. OET Bulletin No. 69. Federal Communication Commission.

РИСУНОК А2-4

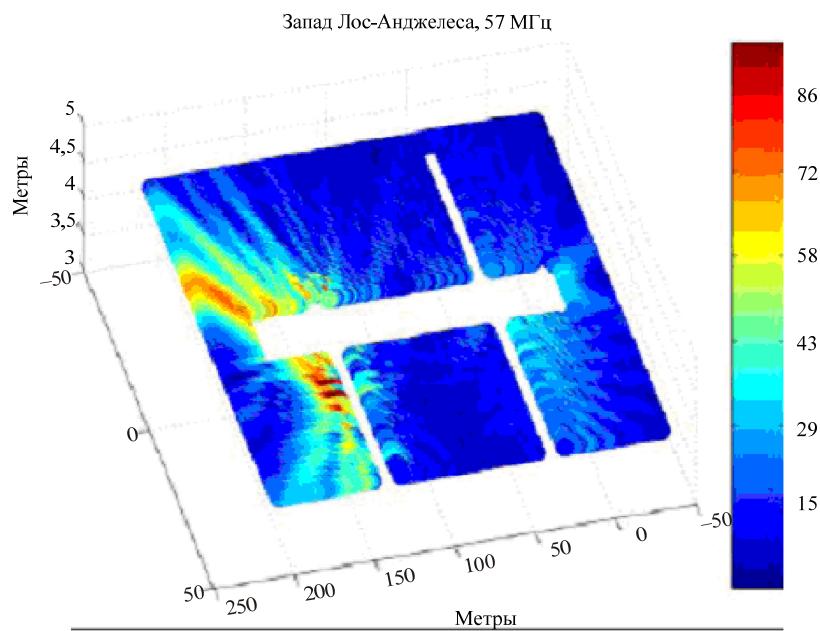
Напряженность поля сигнала PLT, полученного в трех местах для нижней части ОВЧ каналов в исследованиях в западном Лос-Анджелесе. PLT сигнал моделирует модуляцию OFDM 50 несущих с мощностью возбуждения -56 дБм на несущую, в ТВ полосе шириной 6 МГц. График показывает, что сигнал PLT значительно превышает напряженность поля, использованную ФКС для определения области покрытия цифровой телевизионной станции, и пределов приема



Report 2158-A2-04

РИСУНОК А2-5

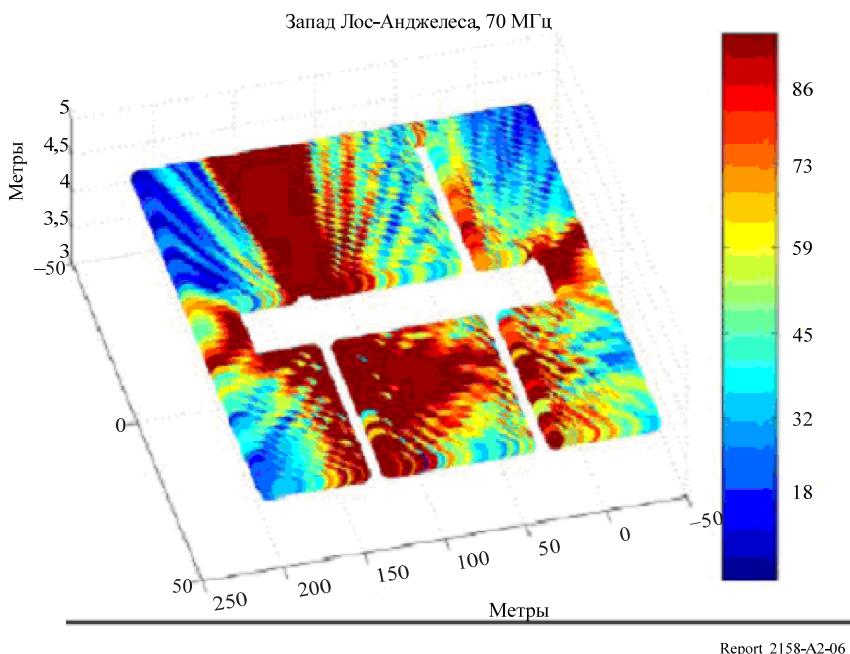
**Напряженность поля излучения PLT (мкВ/м) во 2 ТВ канале при 4 м AGL.
Отмечены сильные излучения, в частности наблюдаемые в разрывах разных линий передач**



Report 2158-A2-05

РИСУНОК А2-6

**Напряженность поля излучения PLT (мкВ/м) в 5 ТВ канале при 4 м AGL.
Отмечены сильные излучения, значительно отличающиеся с учетом ТВ канала**



A2.2.3 Влияние помех в полосе ВЧ

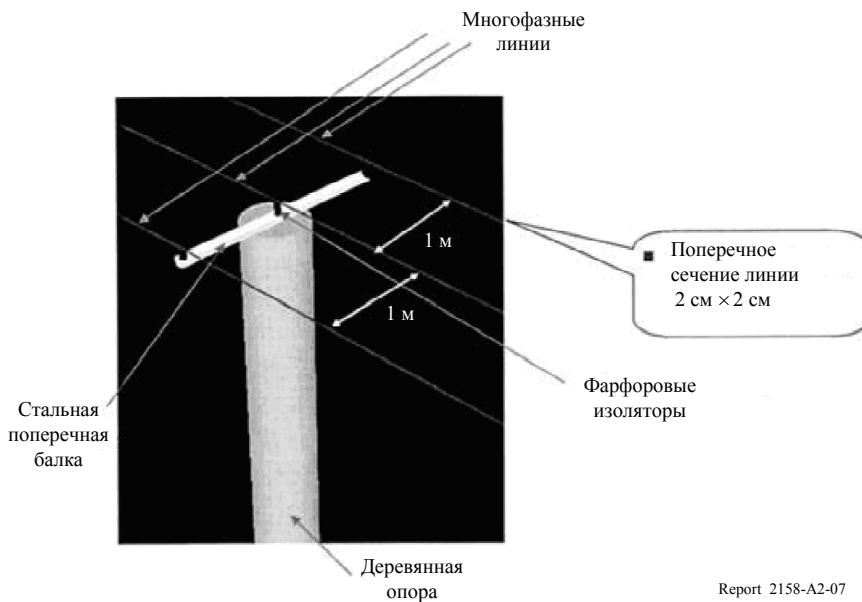
Чжан и Лаубер²⁶ моделировали схожую ситуацию в диапазоне от 5 до 35 МГц, но включили воздействие трансформаторов распределения. Они характеризовали систему электросвязи по линиям электропередач при помощи трехфазной линии среднего напряжения с нейтральной линией. Линии были отделены на 1 м на высоте 10 м с нейтральной линией на 0,9 м выше линии центральной фазы. На рисунке А2-7 изображена конфигурация опор.

На рисунке А2-8 изображена система распределения электроэнергии. Линия электропередач состоит из 360 м прямого сектора и второго 180 м прямого сектора под углом 60°. Оба конца линии оканчиваются трансформаторами в конфигурации "звезда". Для представленного здесь случая, линия также была загружена трансформаторами в двух дополнительных местоположениях. Точка возбуждения PLT была помещена в 60 м от конца линии путем использования широкополосного Гауссова источника со спектральной плотностью мощности -50 дБм/Гц. Чжан и Лаубер показывают, что введение индуктивного сопротивления трансформаторов усиливает разрывы сопротивления, и, следовательно, нежелательные резонансы и излучения от линий электропередач. Их результаты подтверждают наблюдения Калдуэлла и Вестмора, что излучения превалируют там, где наблюдаются разрывы в системе распределения энергии.

²⁶ ZHANG, M. and LAUBER, W. [26-29 March 2006] Evaluation of Interference Potential of PLT Systems. Proc. 2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLT), Orlando, Florida, United States of America.

РИСУНОК А2-7

Конфигурация опоры распределения электроэнергии для моделирования Чжан и Лаубера*
помех электросвязи по линиям электропередач в ВЧ диапазоне от 5 до 30 МГц

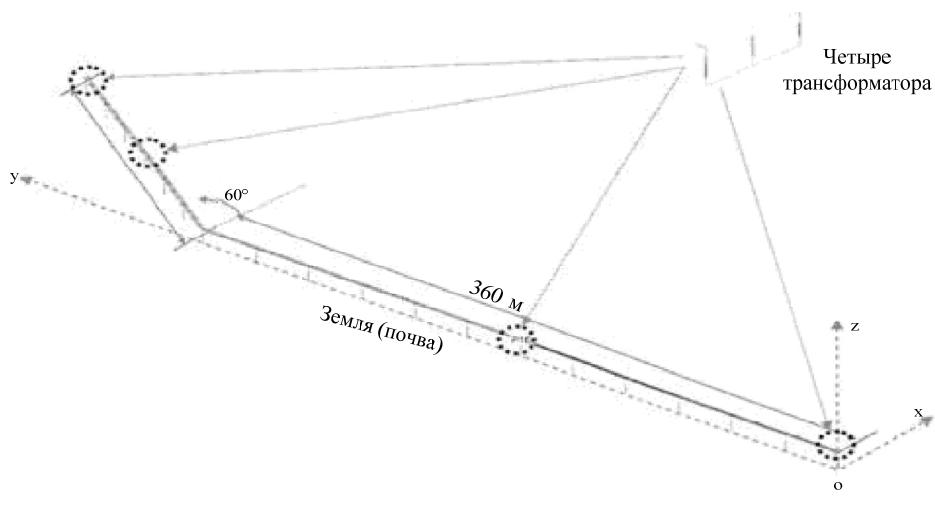


Report 2158-A2-07

- * ZHANG, M. и LAUBER, W. [26–29 марта 2006 г.] Оценка потенциальной помехи от систем электросвязи по линиям электропередач. Proc. 2006 IEEE Международный симпозиум по Электросвязи по линиям электропередач и их применению (ISPLT), Орландо, Флорида, Соединенные Штаты Америки.

РИСУНОК А2-8

Модель Чжана и Лаубера* для распределительной сети электроэнергии, содержащей загрузку трансформатора и точки окончания. Линии расположены в 10 м над уровнем земли с почвенным покрытием



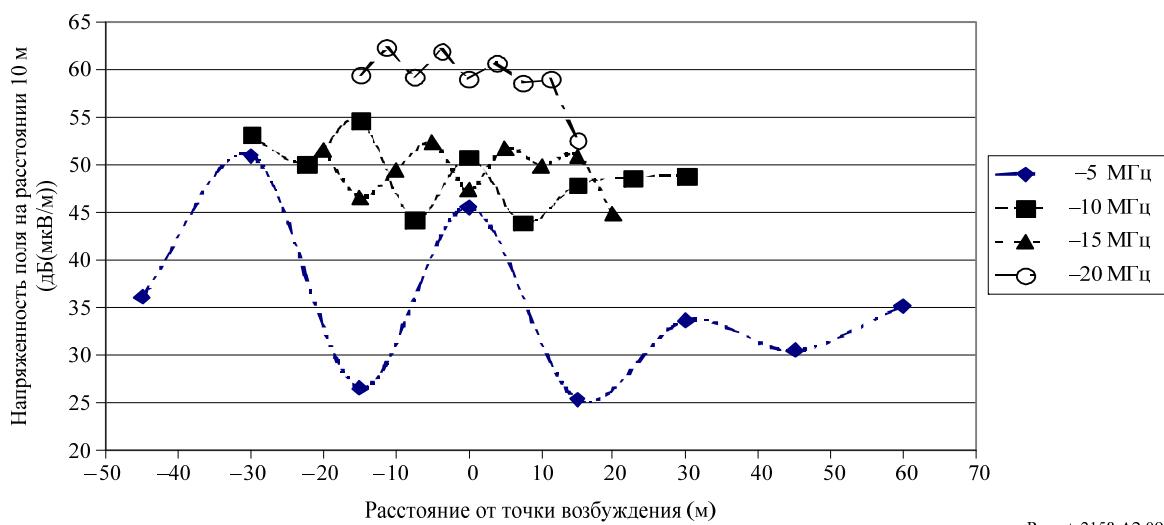
Report 2158-A2-08

- * ZHANG, M. и LAUBER, W. [26–29 марта 2006 г.] Оценка потенциальной помехи от систем электросвязи по линиям электропередач. Proc. 2006 IEEE Международный симпозиум по Электросвязи по линиям электропередач и их применению (ISPLT), Орландо, Флорида, Соединенные Штаты Америки.

При помощи этой модели Чжан и Лаубер²⁷ моделировали точки измерения на расстоянии четверти длины волны от точки возбуждения. Вертикально поляризованные измерения были проведены на высоте 2 м над уровнем земли и горизонтальном расстоянии в 10 метров от ближайшего проводника. Результаты уменьшены на 3 дБ для компенсации разницы между пиковыми значениями в моделировании и квазипиковым детектором, определенными значениями предела ФКС²⁸. На рисунках A2-9 и A2-10 показаны результаты моделирования как функции расстояния от точки возбуждения для 5–20 МГц и 25–35 МГц, соответственно. Обратите внимание, что в линии электропередач присутствуют стоячие волны. Эти стоячие волны в присутствии разрывов сопротивления приводят к значительному резонансу на разных частотах и расстояниях на линиях электропередач. На рисунке A2-11 показано чистое воздействие этих резонансов, показывающих, что излучения PLT на линиях электропередач намного превышают пределы ФКС и возникают вдоль линии электропередачи.

РИСУНОК А2-9

Напряженность поля излучений PLT, соседних с линией распределения электроэнергии, полученная из моделирования Чжаном и Лаубером* на частотах от 5 до 20 МГц



Report 2158-A2-09

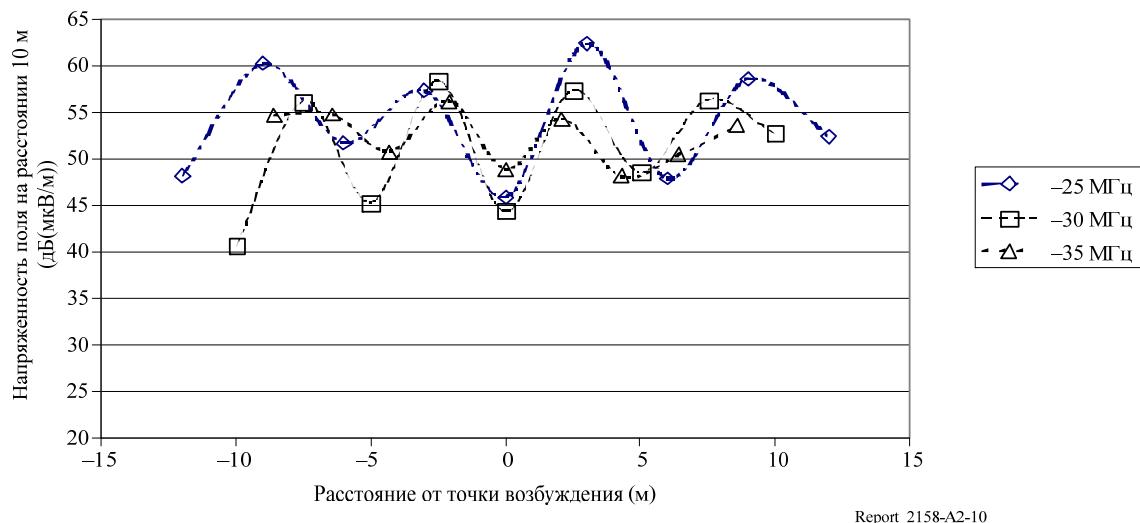
* ZHANG, M. и LAUBER,W. [январь 2006 г.] Оценка потенциальной помехи от систем электросвязи по линиям электропередач. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Оттава, Канада.

²⁷ ZHANG, M. and LAUBER, W. [January 2006] Evaluation of the Interference Potential of Power Line Communication Systems. CRC Technical Report Phase II, VWS-TM-05-06-02, Ottawa, Canada.

²⁸ FCC [2004] Report and Order, In the Matter of Amendment of Part 15 regarding new requirements and measurement guidelines for Access Broadband over Power Line (BPL) Communication Systems. Adopted in October 14, 2004 and Released 28 October 2004. Federal Communications Commission, United States of America.

РИСУНОК А2-10

Напряженность поля излучений PLT, соседних с линией распределения электроэнергии, полученная из моделирования Чжаном и Лаубером* на частотах от 25 до 30 МГц

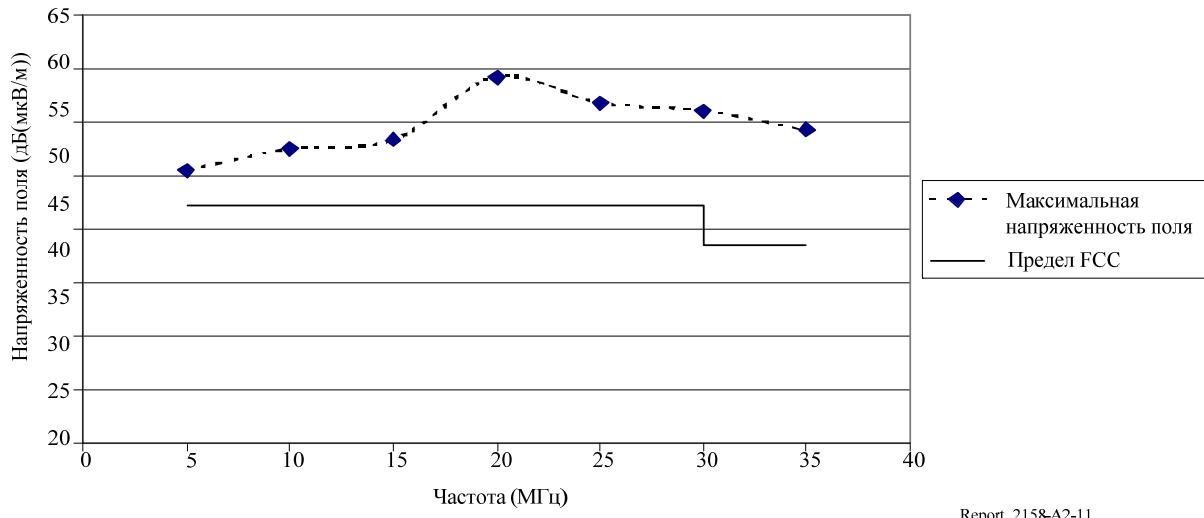


Report 2158-A2-10

- * ZHANG, M. и LAUBER,W. [январь 2006 г.] Оценка потенциальной помехи от систем электросвязи по линиям электропередач. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Оттава, Канада.

РИСУНОК А2-11

Максимальная напряженность поля излучений PLT, возникающих вдоль системы распределения электроэнергии, моделируемой Чжаном и Лаубером*



Report 2158-A2-11

- * ZHANG, M. и LAUBER,W. [январь 2006 г.] Оценка потенциальной помехи от систем электросвязи по линиям электропередач. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Оттава, Канада.

A2.2.4 Резюме и выводы

Очевидно, что служба радиовещания и ее рабочий диапазон ограничиваются минимальным уровнем шума принимающего оборудования. Следовательно, службы радиовещания особенно восприимчивы к излучениям шума вблизи от принимающей антенны. В этом обзоре был проиллюстрирован вопрос с PLT и необходимость ограничения работы устройств PLT в диапазонах частот, распределенных радиовещательной службе.

A2.3 Влияние помех со стороны систем PLT радиовещательной службе ниже 30 МГц

Следующая информация является одной из иллюстраций влияния помех со стороны систем PLT радиовещательной службе ниже 30 МГц.

Демонстрацию воздействия PLT на ВЧ службы радиовещания можно увидеть и услышать на: <http://www.ebu.ch/en/technical/publications/userguides/index.php>. Демонстрация называется "Цифровая мгла" и является презентацией, включающей аудиовизуальную демонстрацию помех²⁹.

Демонстрация показывает, что помехи от устройств и сетей PLT влияют на прием аналоговых ВЧ служб. Более того, широкополосные помехи, излучаемые сетями PLT, могут вызвать полный отказ цифровых служб, использующих систему DRM^{30,31}. Из-за трансграничного характера этих служб слушатели, страдающие от помех, не будут знать, кому жаловаться. С ожидаемым увеличением слушателей с DRM, эта проблема может стать более частой и может помешать развитию новых цифровых услуг. Следовательно, попытки развертывания PLT без учета этого являются серьезной проблемой радиовещательного сообщества.

Единственным способом предотвратить это, или, по крайней мере, эффективно ослабить эту проблему является определение подходящих пределов излучений сетей PLT до уровней, достаточно низких, чтобы гарантировать защиту служб радиовещания.

A2.4 Методика расчета кумулятивных ионосферных ВЧ помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач

В данный раздел включены четыре исследования ионосферных скоплений излучений PLT. Чтобы определить совокупный уровень полученной мощности, прежде всего надо оценить выходную мощность и плотность размещения устройств и систем PLT. Затем можно объединить совокупное воздействие систем электросвязи по линиям электропередач из разных мест на местоположение определенного приемника, добавив доступные значения полученной мощности. Четыре исследования включают в себя:

- 1 В исследовании, выполненном Группой экспертов Целевой исследовательской группы (RTG) по технологиям информационных систем (IST) Исследовательской и технологической организации НАТО по ВЧ помехам, процедурам и инструментам IST-050/RTG-022, вычисляется потенциальное воздействие всемирного распределения домашних систем или устройств электросвязи по линиям электропередач на определенную испытательную площадку. Также представлены примеры вычислений, использовавших Виннипег, Канада, в качестве определенного места.

²⁹ Загрузите zip-файл и сохраните все файлы в одной папке после распаковки. Запустите демонстрацию в режиме слайд-шоу в PowerPoint.

³⁰ Консорциум Всемирного цифрового радио (DRM), состоящий из 90 членов и включающий 36 европейских компаний, разработал новую технологию цифрового радиовещания для улучшения качества и расширения возможностей НЧ, СЧ и ВЧ радиовещания по сравнению с тем, что предлагают в этих диапазонах существующие аналоговые системы. Эта система также описана в Рекомендации МСЭ-R BS.1514-1.

³¹ Демонстрацию DRM можно увидеть и услышать на: <http://www.drm.org/system/watchandhear.php>. Многие радиовещатели уже начали вещать в прямом эфире в DRM. Их расписание доступно на: <http://www.drm.org/livebroadcast/livebroadcast.php>. Полные сведения по DRM с последними новостями можно найти на: <http://www.drm.org/news/events/pressrelease.php>.

- 2 В исследовании, проведенном NTIA, анализировалась возможность помех из-за совокупности ионосферных сигналов с использованием программного обеспечения для распространения, методики моделей моментальных электромагнитных моделирований линии электропередач PLT под напряжением.
- 3 В исследовании, проведенном в Японии, использовалась модель распространения ионосферной волной, приведенная в Рекомендации МСЭ-R P.533 "Модель прогнозирования ВЧ распространения". Здесь представлен пример расчетов, использующих большеугловое распространение в Японии.
- 4 В исследовании, проведенном IUCAF, содержится исследование совместимости, соответствующее радиоастрономической службе в ВЧ полосе, на основе фрагментов исследования, проведенного в Японии.

A2.4.1 Пример ионосферных помех НАТО, Виннипег, Канада

A2.4.1.1 Введение

В данном разделе представлены результаты работы, выполненной Группой экспертов Целевой исследовательской группы (RTG) по технологиям информационных систем (IST) Исследовательской и технологической организации НАТО по "ВЧ помехам, процедурам и инструментам IST-050/RTG-022"³², касающейся исследования вопросов, возникших из-за возможности создания непреднамеренных радиопомех широко распространенными широкополосными системами проводной электросвязи, например электросвязи по линиям электропередач (PLT, PLC). Целевая исследовательская группа начала их изучение в 2004 году при участии международной группы экспертов, а заключительный отчет свободного использования был опубликован в 2006 году.

A2.4.1.2 Метод расчета кумулятивных ионосферных ВЧ помех со стороны систем электросвязи по линиям электропередач

Для прогнозирования совокупного воздействия PLT помех дальней зоны (ионосферных) в месте расположения приемника была предложена всесторонняя методика. Имея сведения обо всех значимых параметрах передачи, методика должна дать точный прогноз. Она хорошо обоснована, и легко объясняет, что совокупная мощность сигнала от большого количества непреднамеренных излучателей (например, установок PLT) в том виде, как она получается на приемной станции, может быть выражена:

$$P_{cum}(f, t) = \iint_{x, y} \frac{g_{RX}(x, y, f)}{L(x, y, f, t)} P_{TX}(f) D_A(x, y) \eta_{PEN}(x, y) \eta_{USAGE}(t) dA, \quad (\text{A2-5})$$

- $P_{cum}(f, t)$ – это спектральная плотность всей полученной мощности (Вт/Гц), на частоте f и момент времени t .
- Интеграл выполнен для области с географическими координатами (x, y) .
- Интеграл (суммирование) выполнен непоследовательно, т. е. на основе мощности, а не на основе амплитуды.
- $g_{RX}(x, y, f)$ – это направленность антенны приемника по направлению (азимут и угол места) сигналов, исходящих от передатчика в точке (x, y) . Необходимо использовать направленность, а не усиление для того, чтобы иметь возможность сравнить результаты с установленными уровнями фонового шума.
- $L(x, y, f, t)$ – это основные потери при передаче из точки (x, y) на принимающую станцию. Для каждой частоты они отличаются по времени (как функции солнечной активности и времени дня и года). Предлагается использовать усредненные потери при передаче "LOSS", как прогнозируется ICEPAC³³, который рассчитывает прогноз вероятности, что сигнал PLT будет ослаблен в условиях усредненного распространения для указанных параметров подачи.

³² The Report and "Cumulative PLT calculation Tool" can be downloaded from: <http://www.rta.nato.int/Pubs/RDP.asp?RDP=RTO-TR-IST-050>.

³³ ICEPAC это часть семейства IONCAP программ ВЧ прогнозов, которая считается, согласно Рекомендации МСЭ-R F.1611, моделями, соответствующими содержащимся в Рекомендации МСЭ-R P.533.

ICEPAC доступен для скачивания на: <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&link=rsg3&lang=en>.

- Обратите внимание, что ICEPAC может вычислить $\frac{L(x,y,f,t)}{g_{RX}(x,y,f)}$ напрямую, если даны характеристики антенны приемника, которые в таком случае должны нормализовывать кпд антенны, чтобы давать направленность антенны, а не усиление. Если об антенне приемника ничего неизвестно, можно подразумевать изотропную антенну $g_{RX}(x,y,f) = 1$.
- $P_{TX}(f)$ – это средняя спектральная плотность э.и.и.м. (Вт/Гц) одной установки PLT.
- $D_A(x, y)$ – это плотность населения (человек на единицу площади). Такие демографические данные (фактическое количество в 2005 году и прогнозируемое количество в 2010 и 2015 годах) можно бесплатно загрузить из базы данных "Распределение населения в мире на координатную сетку"³⁴. Рекомендовано загрузить данные "Распределение населения на координатной сетке", которые содержат количество людей на каждую клетку координатной сетки, с разрешением сетки 0,25° в формате BIL. Эти данные полностью учитываются в разных областях квадрата сетки на разных широтах (и что некоторые квадраты сетки имеют меньшие площади земли, так как они частично содержат морские участки) и потому напрямую содержат $D_A(x, y)dA$.
- $\eta_{PEN}(x, y)$ – это проникновение на рынок (установок PLT на душу населения).
- $\eta_{USAGE}(t)$ – это рабочий цикл; средний период времени, в течение которого каждая установка PLT ведет передачу. Он будет различаться в разное время суток и недели, так как домашние установки, скорее всего, будут давать больше нагрузки, когда люди не работают. При рассмотрении домашних систем электросвязи по линиям электропередач, проникновение на рынок будет относиться к количеству установленных модемов, а рабочий цикл будет средним количеством модемов (и потому не превысит 50%, учитывая, что всегда будет как минимум один модем, который принимает данные от передающего модема).
- Для оценки возможности совокупного воздействия помех PLT на стороне приемника, Рабочая группа 5С рекомендует следующую методику:
 - Этап 1: Загрузить и импортировать данные о плотности населения $D_A(x, y)dA$.
 - Этап 2: Вычислить $\eta_{PEN}(x, y)$ на основе доступной рыночной информации.
 - Этап 3: Выбрать несколько типичных рабочих частот, периодов времени суток и года, чисел солнечных пятен (SSN) и уровня геомагнитной активности³⁵. Для каждой их комбинации пройти оставшиеся этапы.
 - Этап 4: Запустить ICEPAC (ICEAREA_INV) для получения усредненных значений $\frac{L(x,y,f,t)}{g_{RX}(x,y,f)}$.
 - Этап 5: Вычислить значения $P_{TX}(f)$ и $\eta_{USAGE}(t)$ на основе доступной информации.
 - Этап 6: Определить интеграл в цифровом виде.
 - Этап 7: Сравнить результат с уровнями фонового шума.

A2.4.1.3 Кумулятивный инструментарий для PLT

Использование интерфейса ICEAREA INVERSE позволяет охватить только 9 разных комбинаций входных параметров, что делает обременительным осуществление всестороннего анализа. Количество входных параметров равно пяти (месяц, время суток, число солнечных пятен, геомагнитный Q-index и частота), так что общее количество комбинаций параметров легко превышает 1000, даже с умеренным числом вариантов для каждого параметра.

³⁴ Центр социоэкономических данных и приложений (SEDAC), Колумбийский университет, которые можно загрузить со следующего веб-сайта: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>.

³⁵ Входные данные о геомагнитной активности (Q-index), которые отражают индекс эффективных геомагнитной активности, если известен планетарный магнитный индекс K_p . Q-index имеет диапазон [0–8], 0 – для спокойствия, 5 – для активности и 8 – для условий сильной бури.

Для решения этой проблемы Целевая группа разработала инструментарий на основе MATLAB "кумулятивный инструментарий для PLT", который проигнорирует интерфейс пользователя ICEAREA INVERSE и выполнит программу напрямую в пакетном режиме для произвольно большого количества комбинаций параметров. Инструментарий PLT осуществляет это, изменяя входные файлы перед запуском команды DOS, чтобы запустить программу ICEPAC без пользовательского интерфейса.

Для каждой комбинации параметров кумулятивный инструментарий для PLT будет выполнять пункты 1, 4, 6 и 7 из методики, описанной в предыдущем разделе, и сохраняет итоговый совокупный уровень сигнала PLT в текстовом файле, который легко можно импортировать в Excel, MATLAB или любую другую программу для постобработки и отображения. Текстовый файл также будет содержать уровень шумов из Рекомендации МСЭ-R P.372 и абсолютный уровень требования защиты (APR). Целевая группа предложила, чтобы абсолютное требование защиты со значением -15 дБ(мкВ/м) на ширину полосы 9 кГц преобразовывалось в (дБм/Гц) со следующим уравнением для защиты радиослужб от помех, созданных PLT:

$$APR(f) = -15 \text{ дБ(мкВ/м)} - 20 \log_{10}(f) - 10 \log_{10}(b) + 95,5 - 174 \quad \text{дБм/Гц}, \quad (\text{A2-6}),$$

где:

f : частота (МГц);

b : ширина полосы мощности шума (Гц).

Также в определенных редких условиях ICEPAC прогнозирует потери в тракте передачи меньше 30 дБ от определенных районов до места нахождения приемника. Это однозначно невозможно физически и происходит, скорее всего, из-за изъяна в ICEPAC. Кумулятивный инструментарий для PLT сбросит любой процесс ICEPAC, который прогнозирует потери в тракте передачи в любом районе меньше 50 дБ и пометит предсказанный уровень совокупного сигнала PLT как NaN (не номер), чтобы указать на отсутствие данных. Во время испытания этого инструмента NaN наблюдался 107 раз из общего числа запусков ICEPAC, равного 7992.

До использования инструментария, нужно один раз использовать ICEAREA INVERSE для определения местонахождения приемника и сетки местонахождения передатчика и соответственно настроить входные файлы (которые позже изменят инструмент). Сетка местонахождения передатчика должна быть сеткой широты/долготы с разрешением $0,25^\circ$ в обоих направлениях, а результат сохраняться в поддиректории "default\". Инструментарий имеет пользовательский интерфейс на текстовой основе, а не графический интерфейс пользователя (GUI). Также $P_{TX}(f)$, $\eta_{PEN}(x, y)$ и $\eta_{USAGE}(t)$ являются постоянными входными параметрами, так что изменения в этих параметрах по частоте, месту и времени не включены.

A2.4.1.4 Кумулятивный инструментарий для PLT – Инструкция по применению

Программные файлы и кумулятивный инструментарий для PLT можно загрузить с: <http://www.rta.nato.int/Pubs/RDP.asp?RDP=RTO-TR-IST-050>, а этапы использования инструментария приведены ниже.

Для начала использования инструментария сделайте следующее:

- 1 Запустите один раз ICEAREA INVERSE для установки сетки местоположения приемника и местоположения передатчика:
 - a) Запустите ICEAREA INVERSE.
 - b) Нажмите "Параметры" LOSS (напрямую прогнозирует потери в тракте передачи).

- c) Нажмите автovыбор "Метод".
- d) Коэффициенты: URSI88 (не наблюдается разницы при использовании коэффициентов МККР, но рекомендуется использовать URSI88, так как он новее).
- e) Нажмите "Приемник" для выбора местонахождения приемника.
- f) Нажмите "Центр плана", → "Установить на приемник" и выберите ось X и ось Y для сетки передатчика. Удостоверьтесь, что ось X и ось Y охватывают одинаковое количество градусов. Должно хватить сетки от -4000 км до +4000 км, что примерно является максимальным расстоянием для распространения на одном пролете, ограниченного кривизной Земли, если помехи из еще более удаленных районов не представляют особого интереса. (Исследуйте карту, чтобы найти точные значения минимальной/максимальной широты и долготы. Удостоверьтесь, что разница между максимальным и минимальным значениями одинаковы для широты и долготы так, чтобы угловая разрешающая способность была идентичной в обоих направлениях).
- g) Нажмите "Сетка", выберите Тип сетки = "1 Lat/Lon" и выберите размер сетки так, чтобы каждая ячейка сетки была равна $0,25 \times 0,25^\circ$, например, если ось X и ось Y охватывают $70 \times 70^\circ$, выберите размер сетки 281×281 . Сетка Долг/Шир удобна, когда используется в сочетании с данными о плотности населения, нанесенными на сетку.
- h) Выберите "Запустить" → "Только карта" чтобы увидеть границы сетки передатчика.
- i) Удостоверьтесь, что в "Группах" существует только одна комбинация параметров (фактические значения параметров неважны).
- j) Нажмите "Параметры системы", мин. угол = $0,1^\circ$, допуск многоточечной мощности = 10 дБ, максимальная допустимая задержка времени = 15 мс (два последних значения увеличены по сравнению со значениями по умолчанию, чтобы учесть различные пути распространения). Другие параметры системы, включая мощность передатчика, неважны, если прогнозируются только потери в тракте.
- k) Нажмите "Fprob" Сохранить значения по умолчанию.
- l) Нажмите "Антенна передатчика" по умолчанию/изотропная³⁶.
- m) Нажмите "Антенна приемника" по умолчанию/изотропная, или вставьте известные параметры антенны в местоположение приемника, если требуется.
- n) Выберите "Запустить" → "Рассчитать" → "Сохранить/Рассчитать/Вывести на экран".
- o) Если предлагается ввести название файла, найдите подпапку с названием "default" и введите значащее название файла.
- p) Теперь программа должна провести расчеты и вывести на экран диаграмму. Закройте программу и все созданные ею окна. Файлы, созданные программой, будут использоваться кумулятивным инструментарием для PLT.

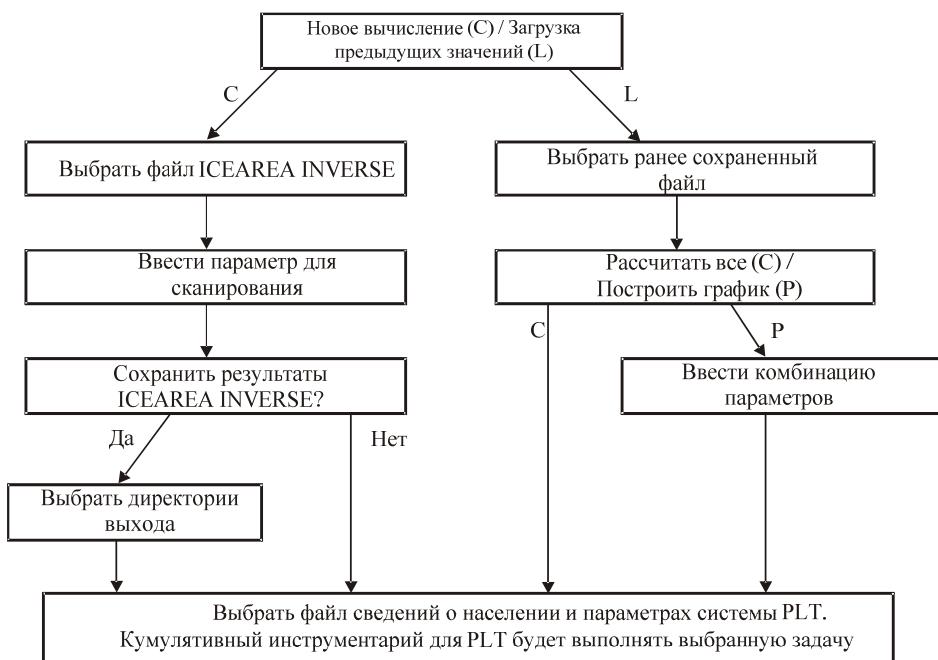
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если в "Группах" выбран только один случай, запустите "Сохранить/Рассчитать/Вывести на экран". Результат будет выходными данными для карты на экране и сохранен под именем xxx.ig1. Если в "Группах" выбрано несколько случаев, запустите "Сохранить/Рассчитать". Результаты будут сохранены в файлах xxx.ig1, xxx.ig2, xxx.ig3 и т. п. Файлы вывода xxx.igx являются текстовыми файлами, которые можно использовать для дальнейшей пост-обработки для оценки совокупных воздействий.

- 2 Запустите MATLAB, идите в папку установки и введите "cumulative_plt_tool", чтобы запустить инструментарий. Следуйте инструкциям на экране.
- a) Процедуры подачи должны быть относительно надежны; в случае неожиданной передачи инструментарий должен повторить вопрос.
 - b) На рисунке А2-12 изображены опции пользовательского интерфейса на основе текста.

³⁶ Изотропная антенна: всенаправленная антенна.

- c) Если вам предлагается выбрать файл с данными о населении, обратите внимание, что, например, файл с именем glp05ag15.bi соответствует данным за 2005 год, а glp10ag15.bil за 2010 год (цифры в середине имени файла показывают год).
- d) Знайте, что могут понадобиться большие объемы времени на обработку и дискового пространства, если запущено большое количество комбинаций параметров.

РИСУНОК А2-12

Блок-схема доступных опций в интерфейсе пользователя кумулятивного инструментария для PLT

Report 2158-A2-12

Инструментарий имеет три разных режима работы:

- 1 "Рассчитать новое": Инструментарий проводится через несколько комбинаций параметров и для каждой комбинации делает следующее:
 - a) Вызывает ICEAREA INVERSE.
 - b) Сохраняет итоговый файл, созданный ICEAREA INVERSE, для использования в будущем (дополнительно).
 - c) Вычисляет кумулятивный уровень сигнала PLT и сравнивает с кривыми шума МСЭ-R и с абсолютными требованиями защиты.
 - d) Записывает полученные значения в текстовом файле.
- 2 "Загрузить предыдущее/Рассчитать все": Инструментарий проводится через созданные до того ICEAREA INVERSE в режиме 1 файлы и для каждого файла делает следующее:
 - a) Загружает в память итоговый файл ICEAREA INVERSE.
 - b) Вычисляет кумулятивный уровень сигнала PLT и сравнивает с кривыми шума МСЭ-R и с абсолютными требованиями защиты.
 - c) Записывает полученные значения в текстовом файле.
- 3 "Загрузить предыдущее/Отобразить одно": Инструментарий предложит пользователю выбрать одну из рассчитанных ранее комбинаций параметров и создать тип рисунка/графика, показанного на рисунке А2-13.

Во время работы инструментария создаются следующие файлы:

- 1 "xxx_summary.txt": Текстовый файл, содержащий рассчитанный кумулятивный уровень сигнала PLT, сравненный с кривыми фонового шума для каждой комбинации параметров.
- 2 "xxx_swept_parameters.mat": Файл данных MATLAB, содержащий информацию, согласно которой моделировались комбинации каждого параметра (должен использоваться в режимах "Загрузить предыдущее").
- 3 (Дополнительно) "xxx_00001.ig1", "xxx_00002.ig1" и т. д.: Результаты, созданные ICEAREA INVERSE (один файл на комбинацию параметров).

A2.4.1.5 Расчет ВЧ радиошума со стороны систем электросвязи по линиям электропередач

В данном разделе приведен пример, когда для вычисления возможности помех в местоположении гипотетического приемника используется кумулятивный инструментарий для PLT. Место было выбрано на основе того, что это должен быть город, для простоты обозначения. Параметры подачи в качестве примера приведены в п. A2.1.

Пример местонахождения приемника в Виннипеге, Канада

В этом примере использовалось гипотетическое местоположение приемника в Виннипеге, Канада (49,53 с. ш. и 97,09 з. д.). Было отмечено, что Виннипег расположен в Провинции Манитоба и представляет собой сельскую местность Канады с плотностью населения меньше двух человек на км^2 , и что использование уровня шума "тихой сельской местности" из Рекомендации МСЭ-R P.372 подходит для вычислений. Кроме того отмечено, что Центр радиовещательной передачи (CBC) Radio-Canada использует многие частоты, распределенные радиовещательной службе в полосе ВЧ из ниже 80 МГц.

Анализ проводился со следующими допущениями:

Усредненная э.и.и.м. на установку PLT составляет $P_{TX} = -80 \text{ дБм/Гц}$ (например, -50 дБм/Гц модемы HomePlug и соответствующее усиление антенны от электропроводки -30 дБи). Значение -80 дБм/Гц , используемое в этом примере вычислений, соответствует средним уровням в данных CRC (см. п. A3.2), но могут не представлять собой возможности для высоких пиковых уровней, которые должны быть выше на 20 дБ.

Проникновение на рынок составляет $\eta_{PEN} = 0,05$ PLT модема на душу населения. Другие исследования, приведенные в п. A2.4.3, использовали показатели проникновения на рынок (системы электросвязи по линиям электропередач на домашнее хозяйство) в пределах от 20% до 35% со средним значением 30%.

Рабочий цикл каждого модема равен $\eta_{USAGE} = 0,3$. Исследования CRC показали, что домашний модем продолжит работу и излучение РЧ сигнала, даже если данные не передаются. Некоторые модемы могут работать на 50% рабочего цикла (100% на пару модемов). При доступе к системам электросвязи по линиям электропередач отдельные модемы могут работать с намного более низким рабочим циклом.

Сетка местоположения передатчика использует диапазон от -120° до -50° по долготе и -15° до 55° по широте PLT модемы вне этой области игнорируются. Не подразумевается никаких сведений о характеристиках антенны приемника, поэтому в данном анализе используется изотропная антenna приемника.

Используется прогноз данных по населению в 2010 году.

Ниже приведен кумулятивный инструментарий для вычисления PLT в MATLAB:

Кумулятивный инструментарий для PLT

Роальд Отнес (Roald Otnes), Научно-исследовательская организация Министерства обороны Норвегии (FFI), октябрь 2006 года

HATO RTO IST-050/RTG-022 по ВЧ помехам, процедурам и инструментам

Данная программа оценит кумулятивное воздействие PLT,
на основе прогнозов ICEPAC о потерях в тракте ионосферной волны и данных о населении
из базы данных "Распределение населения в мире на координатную сетку" (gpwv3)

Программа тестировалась в версиях MATLAB 6.5 и 7.1,
и с версией ICEPAC 05.0119WW

Пожалуйста, запустите один раз в обычном режиме ICEAREA INVERSE для установки всех параметров прежде, чем запускать эту программу для удаления некоторых параметров.
затем ICEAREA INVERSE будет вызываться (пакетный режим) для всех выбранных комбинаций параметров.

Использование интерфейса на основе текста:

Ввод обеспечит параметры по умолчанию.

Использование синтаксиса MATLAB для параметров должно быть пропущено.

Обращаем внимание, что использование значений по умолчанию для всех пропущенных параметров потребует много времени на обработку.

Ctrl-C прекращает работу окна MATLAB.

НЕ закрывайте всплывающее окно ICEPAC; это приведет к сбою в работе Windows.

Пакетное вычисление ICEAREA INVERSE: (Р)асчитать новое или (З)агрузить предыдущее?

Директория установки ICEPAC [c:\itshfbc]:

Выберите файл ввода, созданный во время первого установочного запуска (например, WINNIPERG.ice)

ICEPACfile =

WINNIPERG

Пропустить месяцы [2:2:12]: 2:2:12

Пропустить UTC [0:4:20]: 0:4:20

Пропустить SSN [50 100 200]: [50 100 200]

Пропустить Q [0 5]: [0 5]

Пропустить частоты [2 4 8 16 24]: [2 4 8 12 16 20 24]

Общее планируемое количество запусков ICEAREA INVERSE: 1512

Сохранить результаты ICEAREA INVERSE для дальнейшего использования (требуется места на диске: 20267,1 МБ). [Д]/Н? Д

Директория вывода [.ICEPAC]:

Выберите файл с данными по населению (например, glp10ag15.bil для данных по 2010 г.)

Э.и.и.м. на модем PLT (дБм/Гц) [-80]:

Проникновение на рынок (модемов PLT на душу населения) [0,05]:

Рабочий цикл (период времени, в течение которого каждый PLT модем передает) [0,3]:

Рыночный фактор (проникновение * рабочий цикл): -18,2 дБ

Э.и.и.м. на душу населения: -98,2 дБм/Гц

Результаты будут сохранены в файл .\icepac\WINNIPERG_summary.txt

Изменение файлов ввода ICEAREA INVERSE

копировать c:\itshfbc\run\temp1.txt c:\itshfbc\run\iceareax.da1

1 файл(ов) скопирован.

копировать c:\itshfbc\run\temp2.txt c:\itshfbc\area_inv\default\WINNIPERG.ice

1 файл(ов) скопирован.

c:\itshfbc\bin_win\icepacw.exe c:\itshfbc\INV CALC default\WINNIPERG.ice

копировать c:\itshfbc\area_inv\default\WINNIPERG.ig1 .icepac\WINNIPERG_00001.ig1

1 файл(ов) скопирован.

Интеграл населения / потерь над всей областью: -31,4 дБ

Полученный шум PLT: -129,7 дБм/Гц

Нижняя граница атмосферного шума: -159,7 дБм/Гц

Промышленный, сельская местность: -115,0 дБм/Гц

Промышленный, тихая сельская местность: -129,0 дБм/Гц

Абсолютное требование защиты: -139,1 дБм/Гц

и так далее для 1511 других комбинаций параметров.

Показанное выше служебное окно MATLAB открывается вместе с объяснением документации и использования, за ним следуют пользовательские параметры ввода и краткие отчеты о каждом запуске ICEPAC. Первый из 1512 запусков (для $6*6*3*2*7$ комбинаций параметров) показан выше. Использованные для этого примера 1512 запусков ICEPAC с сеткой 281×281 занимают в целом примерно 22 часа на стандартном персональном компьютере образца 2006 года и 20 ГБ дискового пространства при сохранении (дополнительно) подробных результатов ICEPAC для дальнейшего использования.

Поскольку значение ввода "э.и.и.м. на PLT модем" является нормализованной шириной полосы и приведенной в показателях дБм/Гц, итоговое вычисление кумулятивного сигнала PLT также приведено в показателях дБм/Гц. Результаты сохранены в текстовом файле с разделителями табуляции, одна строка на запуск ICEPAC, подобно примеру WINNIPEG, приведенному в п. 5.1. (ПРИМЕЧАНИЕ. – В случае сброшенных запусков ICEPAC, показатели в столбце "шум PLT" будут заменены на "NaN"):

WINNIPEG [ISOTROPE], данные по населению в 2010 году, э.и.и.м. = -98,2 дБм/Гц на человека:

Месяц	UTC	SSN	Q	Част.	Шум PLT	Атм (нижняя)	С/м	Тихая с/м	Абс. треб.
защ.									
2	0	50	0	2,000	-129,69	-159,65	-114,99	-129,01	-139,06
2	0	50	0	4,000	-134,53	-152,37	-123,18	-137,62	-145,08
2	0	50	0	8,000	-139,32	-146,21	-131,36	-146,23	-151,10
2	0	50	0	16,000	-149,54	-160,64	-139,55	-154,84	-157,12
2	0	50	0	24,000	-165,75	-187,36	-144,34	-159,87	-160,65

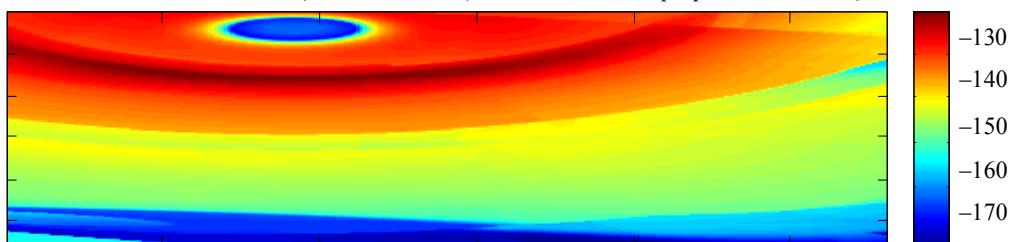
Кумулятивные карты вывода PLT

Кумулятивный инструментарий для PLT также предлагает возможность создания карт, иллюстрирующих соответствие между потерями в тракте ICEPAC и плотностью населения. Это требует, чтобы на диске были сохранены подробные результаты ICEPAC. На рисунке A2-13 пример для случая, когда предсказанный сигнал PLT превышает медианный уровень промышленного шума в тихой сельской местности больше, чем на 6 дБ. Как правило, высокий прогнозируемый уровень сигналов PLT соответствует случаям, когда наблюдаются низкие потери в тракте в районах с большой плотностью населения. Некоторые Члены Сектора пришли к выводу, что использованные в примере вычисления параметры соответствуют условиям, и что результаты точно указывают, что уровень сигналов PLT превышает срединный уровень промышленного шума "в тихой сельской местности" как минимум на 6 дБ.

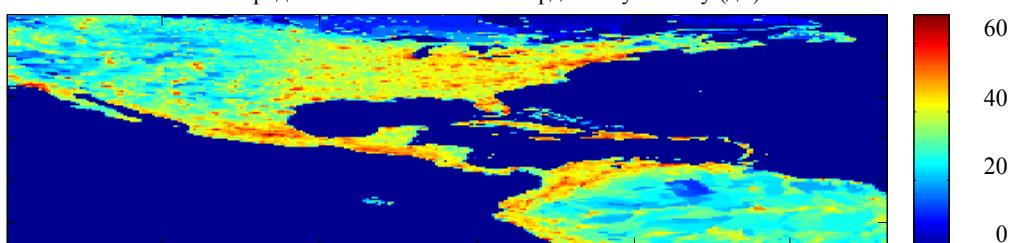
РИСУНОК А2-13

Верхний график: медианные потери в тракте (дБ), спрогнозированные ICEPAC для комбинаций параметров ввода для приемника в Виннипеге; График посередине: распределение населения на ячейку координатной сетки $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ в дБ ($10 \log_{10}$ (население)); Нижний график: Итог (дБ-сумма) двух верхних графиков

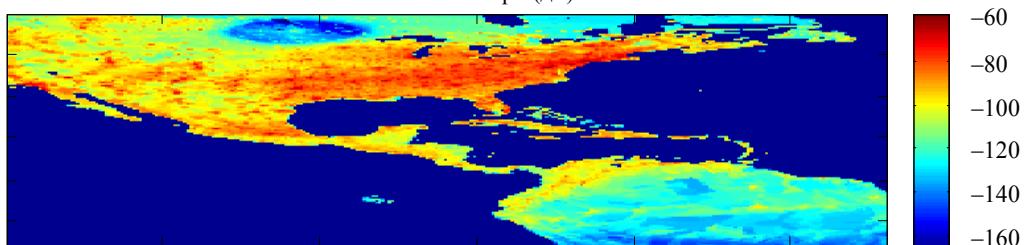
ВИННИПЕГ (ИЗОТРОПНОЕ) 08ut; 8,000 МГц; февраль; 50ssn 0.0Q



Распределение населения на координатную сетку (дБ)



Население/потери (дБ)



Report 2158-A2-13

Карты на рисунке А2-13 созданы при помощи кумулятивного инструментария для PLT MATLAB, как показано ниже:

Пакетное вычисление ICEAREA INVERSE: (Р)асчитать новое или (З)агрузить предыдущее? З

ICEPACfile =

WINNIPEG

(Р)асчитать кумулятивный шум PLT для всех файлов или (О)тобразить один? о

Выбрать UTC, один из (0 4 8 12 16 20): 8

Выбрать частоту, одну из (2 4 8 16 24): 8

э.и.и.м. на модем PLT (дБм/Гц) [-80]:

Проникновение на рынок (модемов PLT на душу населения) [0,05]:

Рабочий цикл (период времени, в течение которого каждый PLT модем передает) [0,3]:

Рыночный фактор (проникновение * рабочий цикл): -18,2 дБ

э.и.и.м. на душу населения: -98,2 дБм/Гц

Месяц: 2 / UTC: 8 / SSN: 50 / Q: 0 / Част.: 8.00

Интеграл населения / потерь над всей областью: -41,3 дБ

Полученный шум PLT: -139,6 дБм/Гц

Нижняя граница атмосферного шума: -146,2 дБм/Гц

Промышленный, сельская местность: -131,4 дБм/Гц

Промышленный, тихая сельская местность: -146,2 дБм/Гц

Абсолютное требование защиты: -151,1 дБм/Гц

A2.4.1.6 Коэффициент усиления антенны проводной системы

Усиление антенны проводной системы передачи определяется как отношение между э.и.и.м. и поданной мощностью. Для систем электросвязи по линиям электропередач в литературе были отражены некоторые результаты измерений, а отчет RTG рекомендует следующее усиление антенны:

- -30 дБи для систем в доме;
- -15 дБи для систем доступа к сети воздушных линий передач;
- -50 дБи для систем доступа к сети подземных линий передач.

Следует отметить, что существует неопределенность в этих числах порядка от ± 5 до ± 10 дБ из-за статистического разброса. Более того, в случае систем доступа к сети воздушных линий передач, на резонансных частотах усиление антенны может быть выше на 10–13 дБ.

A2.4.1.7 Оценка текущего проникновения PLT на рынок

В п. 5.6.5 оценочное значение проникновения на рынок $\eta_{PEN} = 0,05$ использовалось для примеров расчетов. Достаточно трудно получить информацию о рынке и сделать прогноз на будущее, так как продавцы неохотно делятся информацией, а технология до сих пор развивается. Попытка прогнозировать развитие рынка для PLT³⁷ дает прогноз, что к 2010 году в США будет примерно 2,5–5 миллиона абонентов PLT доступа (BPL). Это соответствует проникновению на рынок 0,9–1,7% населения. В Германии количество устройств HomePlug "на рынке" в феврале 2005 года составляло 300 000, а в феврале 2006 года – 800 000³⁸. Эта информация была предоставлена Целевой группе BITKOM Германии (отрасль) через Министерство торговли Германии. Количество населения Германии составляло 82 миллиона, таким образом, проникновение на рынок HomePlug по состоянию на февраль 2006 года составляло 0,01 модема на человека. В апреле 2006 года Intellon продал 10 миллионов наборов микросхем HomePlug по всему миру и отправил 5 миллионов³⁹. (Intellon, DS2 и Panasonic являются главными продавцами наборов микросхем PLT). Пользователи кумулятивного инструментария для PLT могут ввести соответствующее значение для этого параметра.

A2.4.1.8 Выводы

Абсолютное требование защиты является термином, разработанным исследовательской целевой группой, и было использовано в данном тексте для сохранения целостности кумулятивного инструментария для PLT. Уровень абсолютной защиты не влияет на расчеты и используется только для сравнения, так же, как используются разные уровни окружающего шума. Рабочая группа 5С не закончила исследования по уровням защиты для наземных радиослужб от систем электросвязи по линиям электропередач. Представленная в данном документе методика основана на методе прогнозирования распространения ICEPAC и может использоваться для прогнозирования кумулятивных ВЧ помех от ионосферной волны со стороны систем электросвязи по линиям электропередач. Эту технологию можно использовать для анализа воздействия сигналов PLT, полученных в местоположении приемника, для исследований помех наземных служб радиосвязи.

A2.4.2 Исследование NTIA по ионосферному распространению и суммированию излучений PLT доступа

A2.4.2.1 Введение

Целью данного исследования является обзор и анализ возможного воздействия широкомасштабного развертывания систем PLT доступа на совокупный уровень шума в масштабах страны. Совокупное воздействие помех PLT, если они есть, будет наблюдаться из-за ионосферного или "sky wave" распространения. Так как существующие системы электросвязи по линиям электропередач используют ВЧ частоты, и так как моделирование линии электропередач под напряжением PLT указывает на то, что большинство излучений PLT, скорее всего, излучаются по направлению вверх, эти ВЧ PLT излучения имеют возможность проходить много миль от их источника. Более того, так

³⁷ HELD, J. [2006] *Understanding Broadband over Power Line*. Auerbach Publications.

³⁸ BITKOM-Informationen zu Anwendungen der Powerline-Technologie, Stand März 2006.

³⁹ BPL Today, April 11, 2006, p. 3.

как данный пункт прослушивания может получать создаваемое излучение PLT от многих источников, возможно, что может наблюдаться совокупность сигналов, увеличивая минимальный уровень шумов приемника и приводя слабые полезные сигналы к уровню невосприятия. Как правило, ионосферное распространение наблюдается на частотах между 1,7 МГц и 30 МГц, как обсуждалось в исследовании фазы 1 NTIA⁴⁰.

A2.4.2.2 Аналитическое моделирование распространения ионосферной радиоволновой Общие положения

Представленный здесь анализ использовал программное обеспечение VOACAP для статистического прогнозирования ВЧ распространения⁴¹ и модели воздушных и подземных линий электропередач, использующих программное обеспечение NEC⁴².

NTIA использовала VOACAP в ее "зоновом" режиме для расчета совокупных излучений, полученных во множестве пунктов от крупномасштабного распределения PLT. В географическом центре каждого округа Соединенных Штатов Америки NTIA разместила эффективные излучатели PLT, каждый отражал все излучения PLT из своего соответствующего округа. Моделирование распространения последовательно проводилось для каждого эффективного излучателя на сетку точек приема фиксированной службы, охватывающую континентальную часть Соединенных Штатов Америки, и результаты были собраны в домене мощности. NTIA проводила эти моделирования в течение долгого времени и используя множество частотных условий.

Подход

Модели линий электропередач

Для данного отчета NTIA определила уровни излученной мощности для каждого эффективного PLT передатчика при помощи разработанной модели воздушной линии электропередач. Эти уровни мощности были рассчитаны при помощи руководящих указаний по измерению, принятых в Отчете и Предписании ФКС по PLT⁴³. NTIA вычислила выходной уровень излученной мощности от модели линии электропередач, который приведет к возникновению электрических полей, соответствующих предельным значениям из Части 15, а результаты были пересчитаны на основе модели распределения NTIA и населения округа, чтобы оказаться в точке выхода энергии каждого эффективного излучателя PLT (таблица A2-1).

Модель для воздушной линии электропередач была основана на реальной структуре линии электропередач, в которой NTIA проводила измерения излучений PLT (рисунки A2-14 и A2-15). Модель была создана при помощи наблюдений и измерений *на месте* и была предназначена для моделирования при помощи NEC-4.1. Максимально близко и в пределах программных ограничений эта модель была предназначена для соответствия реальным функциям электрической сети, включая использование продольно-несущих тросов, правильного распределения нагрузки трансформаторов, высоты подвеса проводов и размещения на опорах электросети, проводов заземления, линий с одного этажа на другой, размещения опор и точки разветвления проводов.

Общая протяженность модели составила примерно 328 м по направлению оси x и 435 м по направлению оси y. Высота моделируемой линии электропередач была 12 м. Разнос линии электропередач равен 0,6 м с линией многократного заземления нейтрали на 1 м ниже других линий. Все провода имели 12,6 мм в диаметре и показатели проводимости меди ($5,8 \times 10^7$ См/м). Уровень земли для модели (плоская земляная структура под проводами) имеет типичные характеристики для "хорошей" земли (диэлектрическая постоянная 15,0, проводимость 0,005 См/м).

⁴⁰ Исследование фазы 1 NTIA, Том. I, раздел 5.2.2, доступно на:
<http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl/index.html>

⁴¹ Пакет программного обеспечения для ионосферного распространения NTIA/ITS доступен для скачивания на: <http://www.greg-hand.com/hfwin32.html>.

⁴² Программное обеспечение электромагнитного моделирования метода моментов цифрового электромагнитного кода доступно на странице Государственной лаборатории Lawrence Livermore: https://ipo.llnl.gov/?q=technologies-software-browse_software-app&s=NEC.

⁴³ BPL Report and Order, at Appendix C, Measurement Guidelines 2.b.

РИСУНОК А2-14
Угловая проекция разработанной модели воздушной линии электропередач

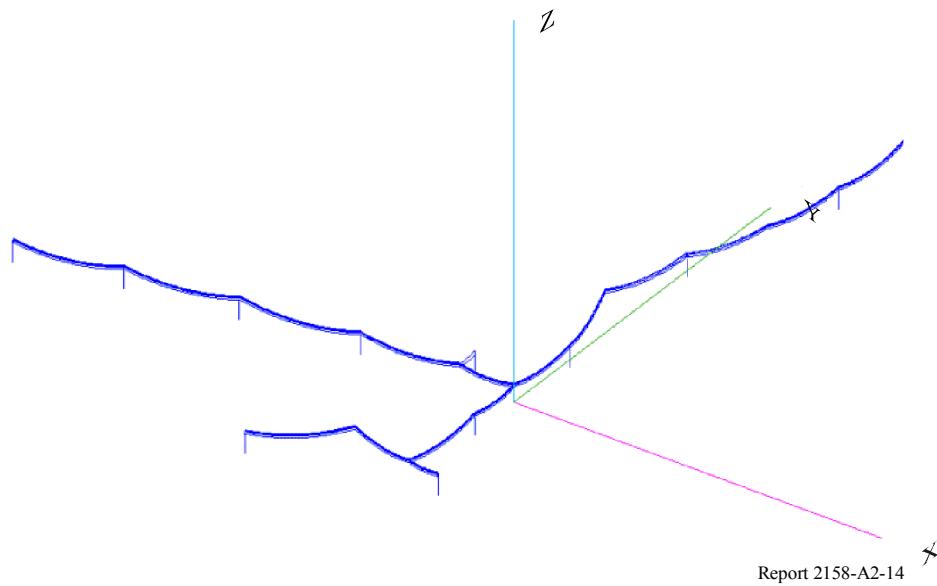
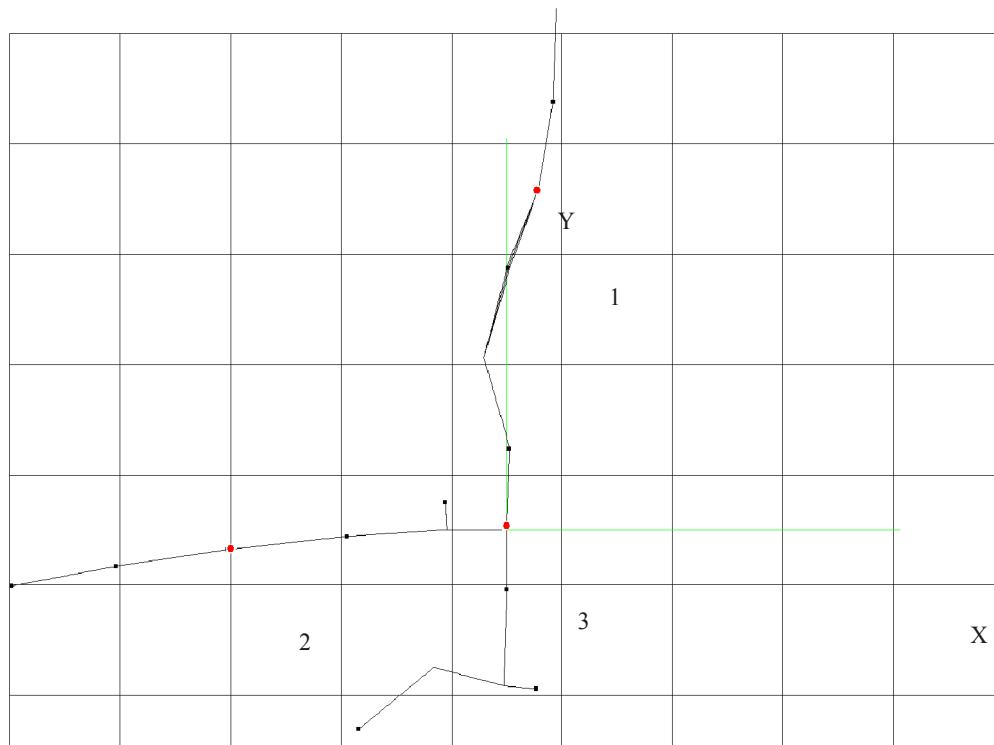


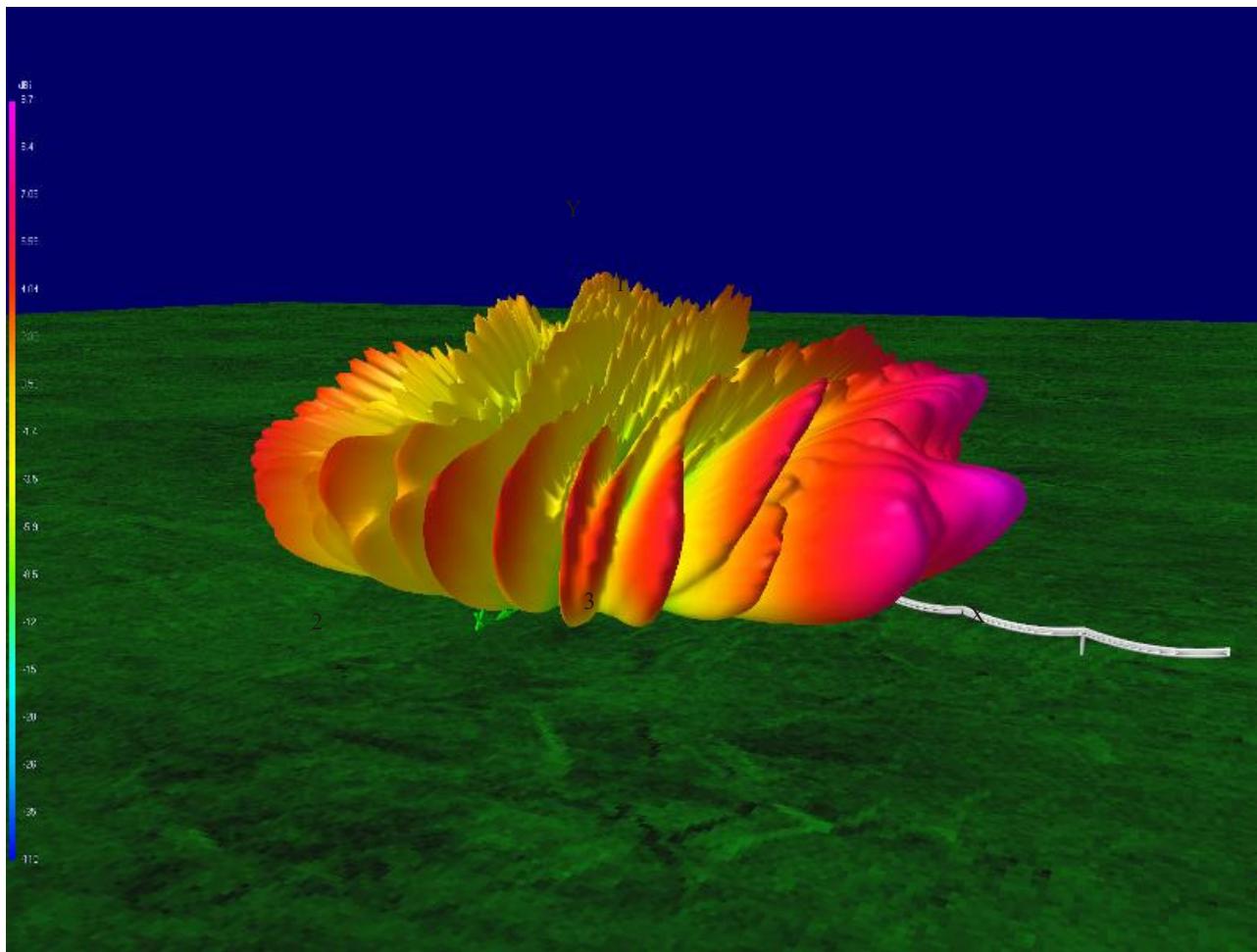
РИСУНОК А2-15
Проекция сверху модели линии электропередач, отображающая точки включения PLT (красные точки).
Точка включения 3 использовалась для данного анализа. Черными точками показаны
трансформаторы распределения (нагрузка сопротивления на нейтраль)



На рисунке А2-16 показан пример диаграммы излучения, вычисленной при помощи этой модели. Эта диаграмма излучения была рассчитана для 16 МГц.

РИСУНОК А2-16

**Пример диаграммы излучения направленного усиления дальней зоны на 16 МГц
при помощи включения сигнала в точке включения 3**



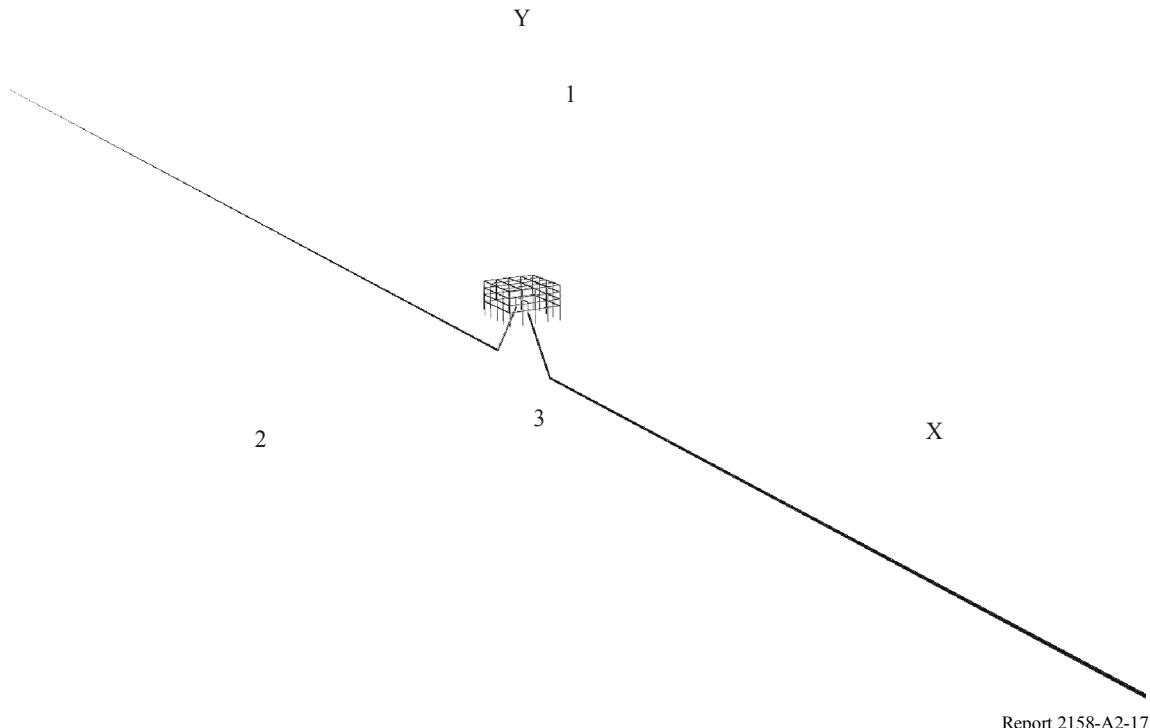
Report 2158-A2-16

NTIA создала дополнительную модель NEC подземной системы электросвязи по линиям электропередач (рисунки А2-17 и А2-18). Как и для воздушной модели, NTIA использовала NEC для выведения диаграмм излучения направленного усиления, зависящего от частоты, необходимой для соответствия предельных значений из Части 15 для подземной модели. Расчеты излученной мощности опять осуществлялись при помощи новых руководящих указаний измерения PLT в Отчете и Предписании PLT⁴⁴. В таблице А2-1 приведены уровни излученной мощности.

⁴⁴ BPL Report and Order, at Appendix C, Measurement Guidelines 2.b.

РИСУНОК А2-17

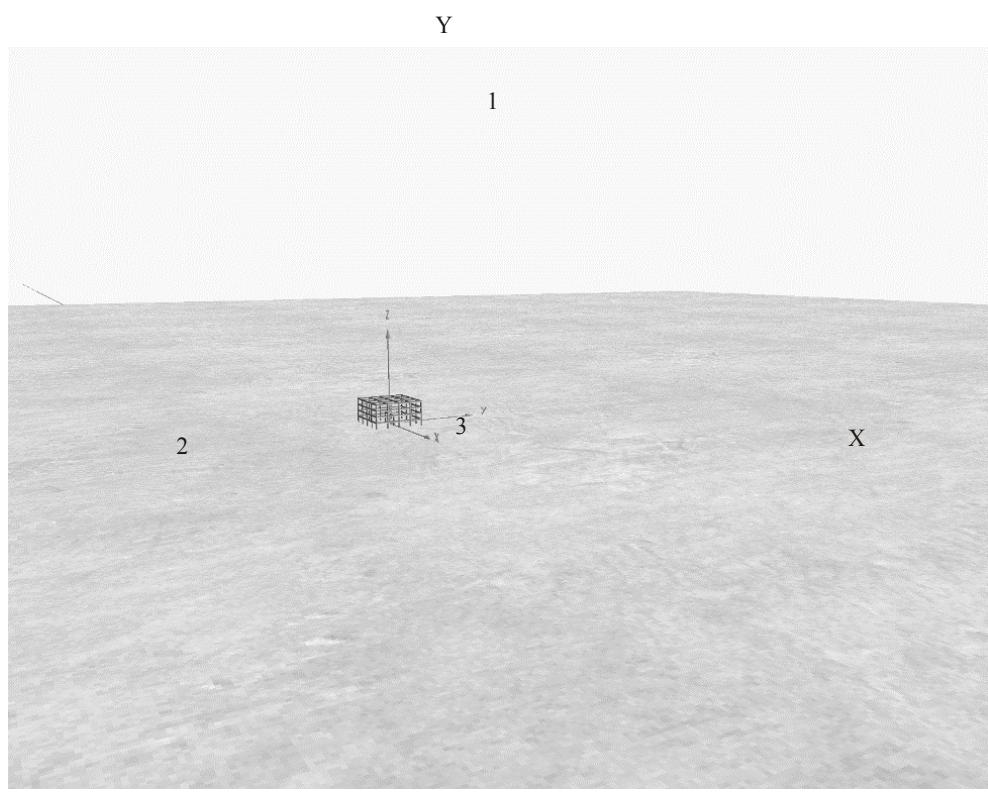
Модель подземной линии электропередач с исключенным уровнем земли. Подземная линия, состоящая из трех нейтральных проводов, окружающих центральный провод с изоляцией, имеет длину 340 м от края до края



Report 2158-A2-17

РИСУНОК А2-18

Модель подземной линии электропередач с включенным уровнем земли. Видимый блок с проволочным каркасом отражает трансформатор на бетонной подушке, на которой установлен источник PLT



Report 2158-A2-18

ТАБЛИЦА А2-1

Структурная излученная мощность PLT в пределах Части 15

Частота (МГц)	Излученная мощность (дБВт/Гц)	
	Воздушная	Подземная
2	-103,04	-94,26
4	-106,71	-87,84
6	-104,38	-84,66
8	-102,99	-82,73
10	-102,89	-83,29
12	-102,93	-79,38
14	-104,06	-78,43
16	-106,32	-74,75
18	-97,48	-75,16
20	-103,48	-79,52
22	-104,29	-81,67
24	-101,04	-82,24
26	-105,71	-82,45
28	-100,98	-83,47
30	-98,04	-84,28

От подземных структур не ожидается большего уровня мощности излученной мощности, вычисленной NEC, так как земные потери в диаграммах прямого усиления, вычисленного NEC, последовательно и значительно ослабляют эту мощность. Таким образом, следует ожидать, что подземная модель NTIA будет излучать значительно больше мощности, чем воздушные системы в рамках требований Части 15. По итогам рассмотрения воздушной и подземной моделей, ясно, что расширенная изменчивость излученной мощности с частотой наблюдается в основном из-за значительного увеличения сложности модели, использованной в предыдущей работе.

В Отчете и Предписании PLT указано, что измерения совместимости должны проводиться на интервалах 1/4 длины волны по линии электропередач от устройства PLT на расстоянии одной длины волны частоты срединного диапазона на высоте измерения 1 м⁴⁵.

Уровни излученной мощности были выведены при помощи возбуждения рассматриваемых моделей NEC с использованием источника единичного напряжения, обнаружения значений магнитного или электрического поля при помощи моделей NEC в соответствующих точках вокруг моделей, как указано в руководящих указаниях PLT по измерениям, и деления всех последовательных значений электрического поля на остаток рассчитанного электрического поля, разделенного на значение ограничения из Части 15. Для перевода этих преобразований в область мощности, уровни излученной мощности, рассчитанные NEC, были поделены на квадрат величины этого коэффициента.

⁴⁵ Отчет и Предписание BPL, Дополнение С, Руководящие указания по измерению 2.b.2, для описания дополнительных измерений, которые могут потребоваться, если частота срединного диапазона сигнала PLT в два или больше раз больше самого нижнего сигнала PLT, введенного в линию электропередачи.

Применение программы анализа покрытия радиостанции Voice of America

NTIA рассчитала помехи PLT и значения мощности промышленного шума при помощи зонального режима VOACAP в фиксированной сетке 31×31 точек приема, охватывающей CONUS и с центром в Канзас-Сити, Миссури⁴⁵. NTIA предполагала, что плотность размещения PLT частично основывается на данных переписи США для моделирования эффективных излучателей PLT в географическом центре каждого округа в Соединенных Штатах Америки, включая Аляску и Гавайи⁴⁶. Эти излучатели получили диаграмму направленности антенны (ДНА), зависящую от частоты, и с коэффициентом направленности, рассчитанные при помощи продуманной NEC модели воздушной линии электропередач или подземной модели и расположенной в центре каждого округа. Использованные ДНА были арифметически усреднены по азимуту для моделирования произвольной ориентации множества линий электропередач под напряжением PLT, представленных каждым эффективным излучателем.

Для продуманной модели воздушных линий электропередач NTIA провела полное моделирование ионосферного скопления при помощи всестороннего комплекса более чем 8500 наборов условий (включая все месяцы года, времени суток, высокий и низкий уровни солнечной активности и частоты от 2 до 30 МГц с шагом в 2 МГц). NTIA использовала эти модели для расчета условий отношения Помехи-к-шуму, или $(I + N)/N$, из-за большого количества развернутых устройств PLT⁴⁷. Результаты, представленные здесь, изучались в показателях набора условий, создающих усиление наихудшего случая для локального минимального уровня шума приемника.

Сходные анализы распространения были проведены для подземной модели для большого отрезка времени дня, частот, месяцев в году и солнечной активности (более 1300 наборов условий), включая те же условия, которые привели к самым большим совокупным отношениям помех-к-шуму при использовании модели воздушной линии электропередач в качестве излучения.

VOACAP сообщает о результатах распространения в показателях отношения сигнала-к-шуму (SNR). В таблице A2-2 указано, как значения SNR, указанные VOACAP, преобразуются в усиление минимального уровня шума.

ТАБЛИЦА A2-2

Усиление минимального уровня шума $(I + N)/N$ как функции SNR

Усиление минимального уровня шума, $(I + N)/N$ (дБ)	SNR (дБ)
3	0
1	-5,868
0,5	-9,135
0,1	-16,327
0,05	-19,363
0,01	-26,373
0,005	-29,386

⁴⁶ Комментарии NTIA, Техническое Дополнение, разд. 4.2, доступно:
http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/BPLTechAppdx_06042004.doc. См. также County and City Data Book: 2000, U.S. Census Bureau, National Data Summary File 1, Table P-15.

⁴⁷ В этом Отчете $(I + N)/N$ также называется **усиление минимального уровня шума**.

A2.4.2.3 Характеристики моделирования

NTIA провела моделирование с параметром Выровненного количества солнечных пятен (SSN), установленным на максимальное значение (150) для моделирования характеристик прекрасного распространения во время 11-летнего пика цикла солнечной активности и на нижнее значение (25) для моделирования характеристик подавленного распространения в нижней точке солнечного цикла. Из-за устройства программного обеспечения все точки приема использовали вертикальный несимметричный вибратор VOACAP с четвертью волны (тип 22) над землей с диэлектрической постоянной $\epsilon_r = 15$ и проводимостью $\sigma = 0,005 \text{ См}/\text{м}$ ⁴⁸. В реальности характеристики почвы в Соединенных Штатах Америки различаются от очень скучных ($\epsilon_r = 3$ и $\sigma = 0,001 \text{ См}/\text{м}$) до прекрасных ($\epsilon_r = 20$ и $\sigma = 0,030 \text{ См}/\text{м}$).

Промышленный уровень шума был установлен на уровень удаленных или тихих сельских местностей ($-164 \text{ дБВт}/\text{Гц}$ на 3 МГц) на всех точках приема, чтобы лучше соответствовать условиям приема на многих государственных станциях США⁴⁹. Как и с антеннами точек приема, устройство программного обеспечения позволяет назначать промышленный уровень шума всем точкам приема на сетке расчета VOAAREA. Реальный уровень промышленного шума в Соединенных Штатах Америки может варьироваться от условий тихой сельской местности до очень высокого уровня шума, который можно обнаружить в промышленных районах.

NTIA индивидуально соотнесла уровни излученной мощности, рассчитанной NEC, эффективного излучателя в каждом округе с количеством активных устройств PLT, которые должны обслуживать городские домашние хозяйства в этом округе. Городские домашние хозяйства, как они определены Бюро переписи населения США, использовались в этом анализе, так как они дают большую плотность размещения, чем сельские домашние хозяйства и потому, вероятнее всего, будут основной составляющей раннего развертывания услуг PLT доступа. Как и в предыдущем анализе NTIA предположила, что устройство подачи PLT имело функцию обработки данных для поддержки в среднем 30 пользователей, а 1 из 4 городских домашних хозяйств был пользователь PLT. Другими словами, предполагалось, что на одно устройство ввода PLT приходилось 120 городских домашних хозяйств. Имея примерно 85 миллионов городских домашних хозяйств в Соединенных Штатах Америки, это предположение в целом в этом анализе дает более 705 000 моделируемых устройств PLT⁵⁰.

При прогнозировании увеличения минимального уровня шума приемника рассматривалось несколько других факторов. Во-первых, NTIA предположила, что не все устройства PLT будут соответствовать предельным значениям Части 15; следовательно, предполагалось, что средний излучаемый сигнал будет на 4 дБ ниже предельных значений Части 15. Во-вторых, анализ VOAAREA основывался на среднеквадратичных (RMS) значениях; следовательно, для преобразования уровней квазипиковых сигналов PLT были проведены настройки, как измерялось для соответствия предельных значениям ФКС, для уровня RMS⁵¹. В-третьих, так как не все устройства в системе работают на одной частоте⁵², дан допуск в 6 дБ (т. е. предполагалось, что 1 из 4 устройств подачи PLT работало на одной частоте). Наконец, предполагаемый рабочий цикл устройств PLT был установлен на значение 55%. Эти настройки под уровни излученной мощности PLT приведены в таблице A2-3.

⁴⁸ VOAAREA позволяет установить длину вертикальной антенны или в фиксированном положении в метрах или позволить отличаться по частоте. В данном анализе предполагалось, что приемник страдает от возможных помех на любой заданной частоте и будет использовать антенну, предназначенную для этой частоты, поэтому в этом случае антenna была установлена на длину четверти волны для каждой частоты (например, 7,5 м на 10 МГц). VOACAP автоматически настраивает эту длину так, чтобы диаграмма приема оставалась одинаковой вне зависимости от частоты. Как подобает несимметричному вибратору, максимальное усиление для антенны на любой высоте было установлено на 3 дБ, чем для диполя.

⁴⁹ Уровень шума, использованный в данном анализе, основан на Рекомендации МСЭ-R P.372, включенной в VOACAP/VOAAREA.

⁵⁰ NTIA Comments, at Technical Appendix, § 4.

⁵¹ Выбор коэффициента преобразования квазипиковых значений в г.м.с основывался на данных измерений из Фазы 1 Исследования NTIA Phase, которая указывает, что мощность сигнала PLT, измеренная при помощи квазипикового детектора, превышает уровень, измеренный при помощи усредняющего детектора, на 0–5 дБ. NTIA Phase 1 Study, at Volume II, section D.3.4.

⁵² NTIA Phase 1 Study, Vol. I, a section 2.2.

ТАБЛИЦА А2-3

Факторы настройки для устройств PLT доступа

Фактор	Настройка (дБ)
Устройства, работающие на уровнях ниже предельных значений из Части 15	-4
Преобразование квазипиковых значений в среднеквадратические	-3
Фактор распределения на совмещенных частотах	-6
Рабочий цикл	-2,6
Всего	-15,6

Точки приема в сетке расчета VOAAREA использовали ширину полосы 1 Гц, установленную при настройке излучаемой мощности мешающего сигнала PLT в каждой точке передачи для мощности (дБ(Вт/Гц)). Пороговый уровень шума, представленный VOAAREA, выражался в дБ(Вт/Гц). Полученная мощность сигнала от всех эффективных излучателей PLT в заданной точке приема складывалась в домене мощности вне зависимости от порогового уровня шума, а результат сложения с мощностью помех PLT и мощностью шума в этой точке использовался для вычисления отношения помехи-к-шуму. Таким образом, совокупное отношение помехи-к-шуму в точке находилось в ширине полосы 1 Гц.

В таблице А2-4 обобщены перечисленные выше предположения, как они применялись в данном моделировании.

ТАБЛИЦА А2-4

Условия моделирования

Эффективные излучатели PLT	Воздушные	Подземные
Возбуждение	Источник напряжения в одной линии, расположен в центре	Источник напряжения в трансформаторе на бетонной подушке, расположен в центре
Диаграмма ближней зоны		
Источник	Воздушная модель NEC-4.1	Подземная модель NEC-4.1
Изменчивость	Усредненная по азимуту, изменяются на углу места и частоте	
Тип		Направленное усиление
Уровень мощности		
Источник	Воздушная модель NEC-4.1	Подземная модель NEC-4.1
Предельные значения структурных излучений	Ограничены предельными значениями Части 15, как они измерены при помощи руководящих указаний по измерению PLT	
Преобразование на уровне округа	Преобразовано городскими домашними хозяйствами в округе	
Использованные параметры	Значение "излученной мощности" NEC-4.1 (определяется как структурные потери выходной мощности, а не наземные потери)	
Размещение	Географические центры всех округов Соединенных Штатов Америки	

ТАБЛИЦА А2-4 (окончание)

Антенны приема	
Тип антенны	Несимметричный вибратор четверти волны (тип VOACAP 22)
Условия земли	"Средняя" земля
Проводимость	0,005 См/м
Относительная проницаемость	15
Размещение	Сетка 31 × 31 точек приема в CONUS
Шум	Условия "тихой сельской местности" на 3 МГц (-164 дБ(Вт/Гц))
Моделирование	
Частоты	От 2 до 30 МГц с шагом 2 МГц
Время суток	От 0 до 23 часов UTC с шагом 1 час
Месяц года	С января по декабрь
Солнечная активность	Выровненное количество солнечных пятен (SSN) от 25 до 150
Геометрия основного тракта	Короткий тракт
Метод вычисления	Сглаживание короткого/длинного тракта
Вычисленные параметры	Мощность принятого сигнала (S дБВт), принятого шума (N дБВт)
Фактор настройки мощности	-15,6 дБ (подробнее в таблице А2-3)

A2.4.2.4 Результаты моделирования

Чтобы оценить, представляют ли данные совокупные уровни сигнала PLT опасность создания вредных помех для приемников радиосвязи правительства США, NTIA учитывало два пороговых значения $(I + N)/N$, или усиление минимального уровня шума приемника⁵³. Нижний порог, усиление минимального уровня шума на 1 дБ (соответствует отношению PLT помеха-шум, равному примерно -5,9 дБ), был выбран в качестве уровня, на котором могут наблюдаться некоторые вредные помехи. Более высокий порог, увеличивающий минимальный уровень шума на 3 дБ (отношение PLT помеха-шум 0 дБ), выбран как уровень, на котором вредные помехи, как считается, могут представлять значительную опасность.

Анализ воздействия совокупности PLT проводился при помощи объединения уровней сигнала PLT моделируемых воздушной и подземной систем электросвязи по линиям электропередач с уровнями фонового шума так, чтобы эта комбинация соответствовала указанным выше усилениям порога минимального уровня шума. Этот анализ позволил NTIA исследовать воздействия ионосферного скопления в условиях изменения относительного числа воздушных и подземных систем.

Сравнение результатов воздушного и подземного анализов

В ходе моделирования выяснилось, что воздушные системы создают совокупные уровни намного больше подземных систем, даже когда оба класса систем были настроены на соответствие предельным значениям Части 15. Срединное значение воздушного совокупного уровня сигнала PLT было примерно на 20 дБ выше, чем для того же количества подземных систем с учетом тех же характеристик ионосферного распространения для всех моделировавшихся условий. Это открытие предполагает, чтобы, где это возможно, установка устройств PLT, работающих в частотном диапазоне от 1,7 до 30 МГц по подземным кабелям имела значительное преимущество перед теми же устройствами, работающими с воздушными системами с точки зрения скопления сигналов из-за ионосферного распространения.

⁵³ Термин "I" относится к мощности помехового сигнала, связанного с излучениями, создаваемыми PLT.

Относительное воздействие воздушного и подземного скопления PLT можно графически выразить в виде следующих результатов. На рисунках A2-19 и A2-20 показано несколько воздушных плюс подземных устройств, необходимых для создания усиления при минимальном уровне шума на 1–3 дБ для худшего случая в любой географической точке Соединенных Штатов в условиях наилучшего распространения и самого низкого местного минимального уровня шума.

Для этих графиков моделирование ионосферного скопления использовалось для выведения набора условий для высокой и низкой солнечной активности в течение которых создавались самые высокие отношения сигнала к уровню шума из-за совокупных PLT. Для всех других наборов условий и географических точек рассчитанное скопление привело к меньшему воздействию минимального уровня шума. Таким образом, для большинства вычислительных условий для создания того же воздействия на местный минимальный уровень шума, как показано на рисунках A2-19 и A2-20, потребуется больше устройств PLT.

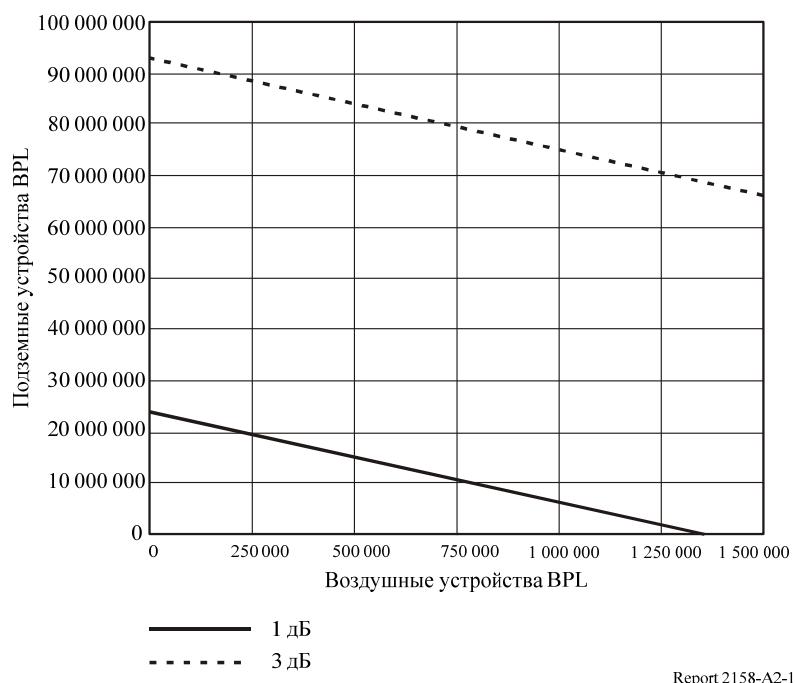
Расчеты для периодов высокой солнечной активности показывают, что максимальные совокупные уровни сигналов PLT в основном наблюдаются на более высоких частотах в полосе ВЧ (18–30 МГц) во время послеполуденных часов осенью и зимой. Расчеты, использующие условия низкой солнечной активности, показывают, что максимальные совокупные уровни сигналов PLT в основном наблюдаются на нижних частотах в полосе ВЧ (4–8 МГц). Как было указано в расчетах, подразумевающих условия высокой солнечной активности, максимальные совокупные уровни сигналов PLT наблюдались в послеобеденные часы осенью и зимой.

На рисунке A2-19 показано сочетание подземных и надземных устройств PLT, создающих увеличение в минимальном уровне шума на 1 дБ (нижняя кривая) и 3 дБ (верхняя кривая). Этот рисунок создан для сочетания ионосферного распространения и условий шума (15:00 UTC в ноябре на 30 МГц, с солнечной активностью высокого уровня), которые создают самый высокий совокупный сигнал PLT, относящийся к местному минимальному уровню шума в любой географической точке. В таких условиях можно развернуть более 1,35 миллиона воздушных устройств, прежде чем будет достигнуто усиление в 1 дБ в минимальном уровне шума в любой географической точке. Эта цифра возрастает до 5,23 миллиона воздушных устройств PLT для усиления на 3 дБ совокупного минимального уровня шума. Снизив количество воздушных устройств и добавив подземные устройства PLT, можно значительно увеличить количество развернутых устройств PLT, соответствующих тем же уровням увеличения минимального уровня шума.

На рисунке A2-20 показано количество воздушных устройств PLT в сравнении с количеством подземных устройств PLT, которые могут привести к увеличению на 1 дБ и 3 дБ минимального уровня шума приемника в условиях цикла низкой солнечной активности. Как и с максимальными результатами солнечного цикла, очень небольшое общее количество устройств PLT, необходимых для соответствия пороговым уровням, наблюдается, когда используются только воздушные устройства PLT. Для этих условий, чтобы поднять минимальный уровень шума на 1 дБ потребуется примерно 916 000 воздушных устройств PLT. Напротив, исключительное применение подземных устройств PLT в диапазоне частот 1,7–30 МГц позволит развернуть примерно 10 миллионов устройств PLT прежде, чем получить увеличение минимального уровня шума на 1 дБ.

РИСУНОК А2-19

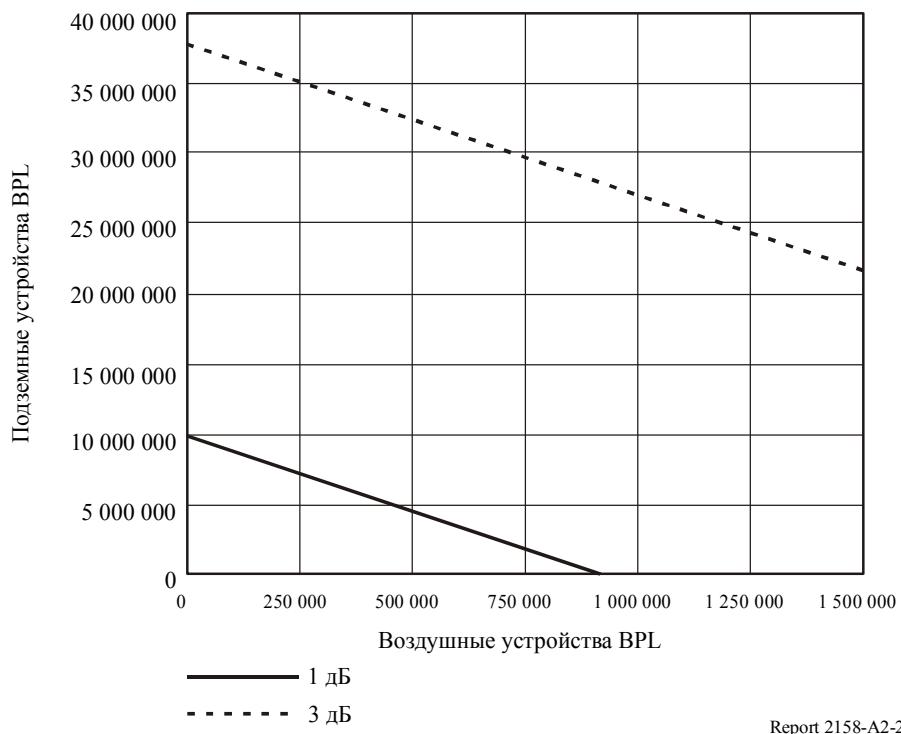
Количество подземных устройств PLT в сравнении с количеством воздушных устройств PLT, которые приведут к тому же увеличению минимального уровня шума в условиях высокого значения SSN



Report 2158-A2-19

РИСУНОК А2-20

Количество подземных устройств PLT в сравнении с количеством воздушных устройств PLT, которые приведут к тому же увеличению минимального уровня шума в условиях низкой SSN



Report 2158-A2-20

A2.4.2.5 Карты ионосферного скопления

На рисунках с A2-21 по A2-33 показаны контурные карты континентальной части Соединенных Штатов Америки (CONUS) совокупного отношения помеха-шум (обозначенного как сигнал-шум) для нескольких случаев размещения PLT. Эти карты объединяют совокупный вклад мощности воздушных и подземных устройств PLT, имеющихся у населения Соединенных Штатов Америки в разных пропорциях, например, максимальное совокупное отношение сигнал-шум PLT, наблюдаемое в любой географической точке, создает усиление минимального уровня шума примерно на 1 дБ или 3 дБ.

Из-за способа, каким VOACAP создает выходные данные, на контурных картах легенда присутствует только для отношения сигнал-шум. На рисунке A2-21 приведен пример контурной карты, чтобы помочь понять рисунки с A2-22 по A2-33. На рисунке A2-21 показан перевод значений в этих легендах в соответствующее усиление минимального уровня шума. Районы, окрашенные в более светлый цвет, соответствуют большим уровням усиления минимального уровня шума из-за скопления излучений PLT. Пиковое местоположение или местоположения указываются на контурных картах символом круга с крестиком внутри.

РИСУНОК A2-21

Пример карты вывода VOAAREA, подробно описывающей увеличение минимального уровня шума для каждого значения сигнал-шум в легенде карты

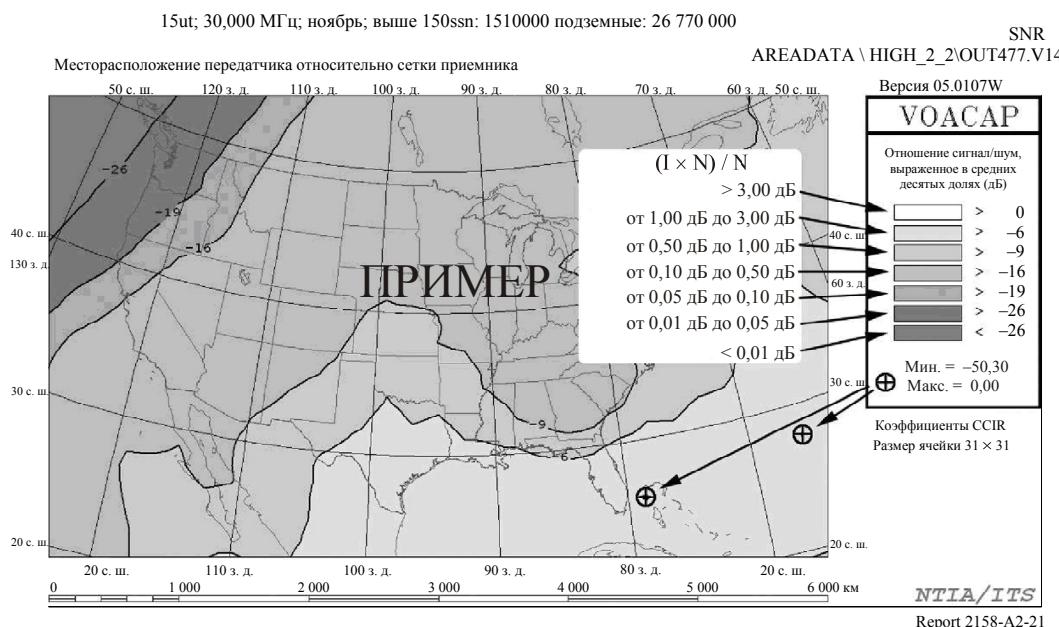


РИСУНОК А2-22

Скопление в условиях высоких SSN из-за 24 095 730 подземных устройств и без воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ

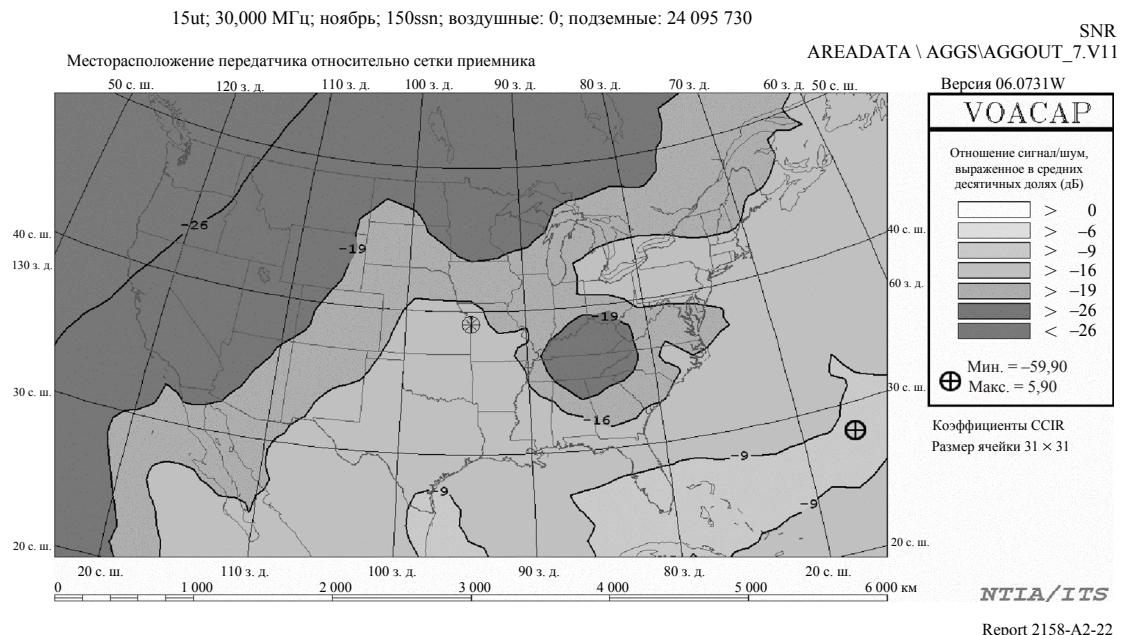


РИСУНОК А2-23

Скопление в условиях высоких SSN из-за 12 047 865 подземных устройств и 760 168 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ

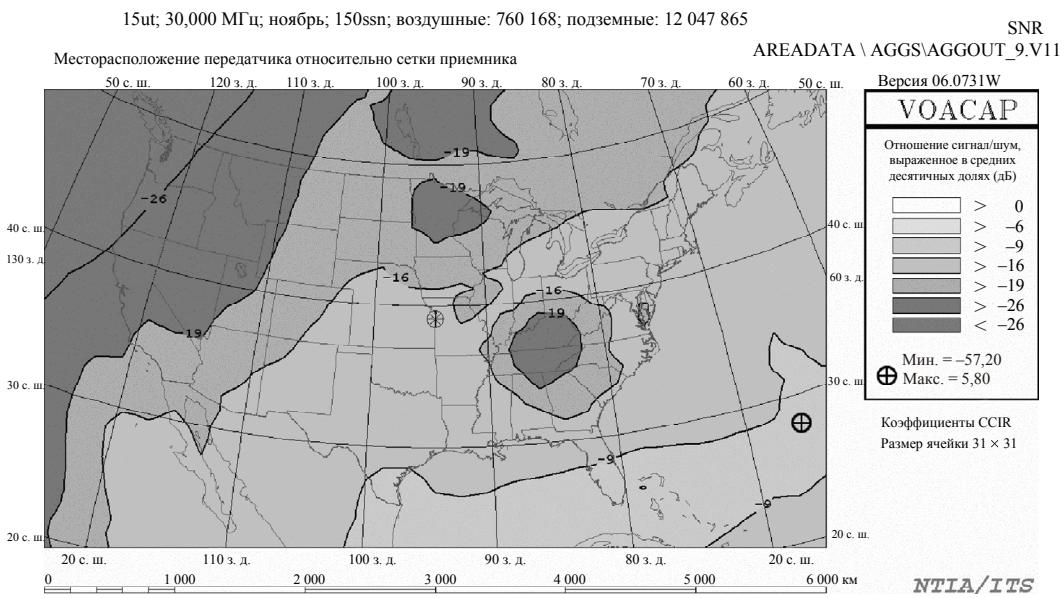
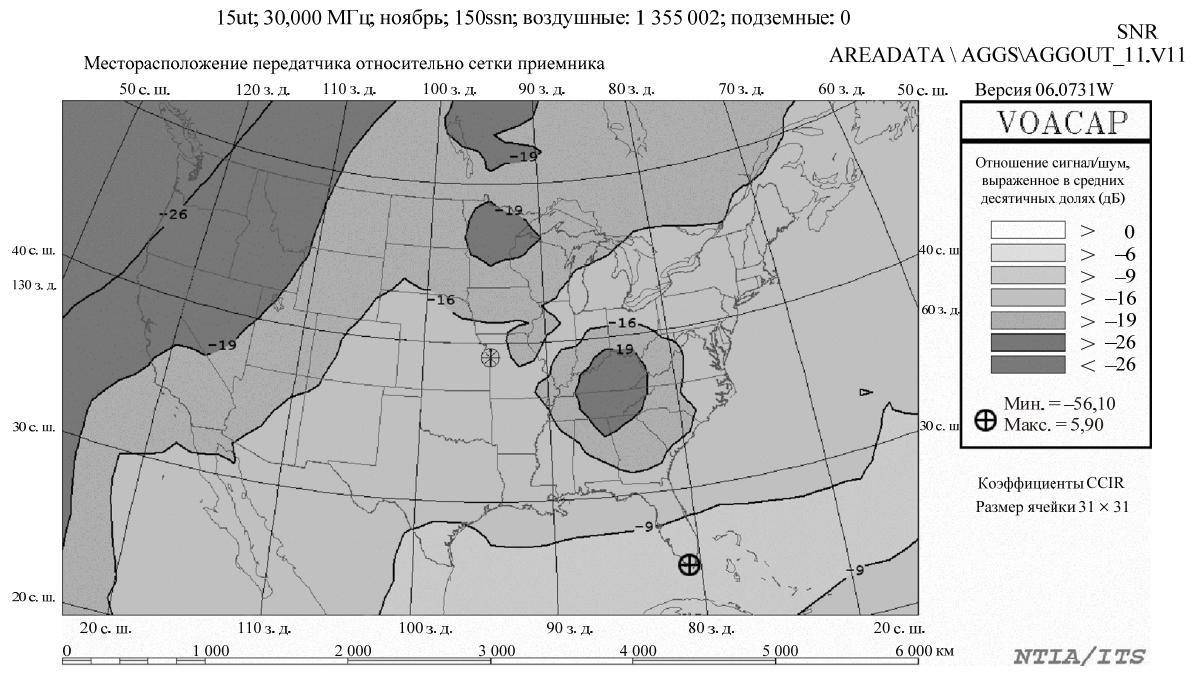


РИСУНОК А2-24

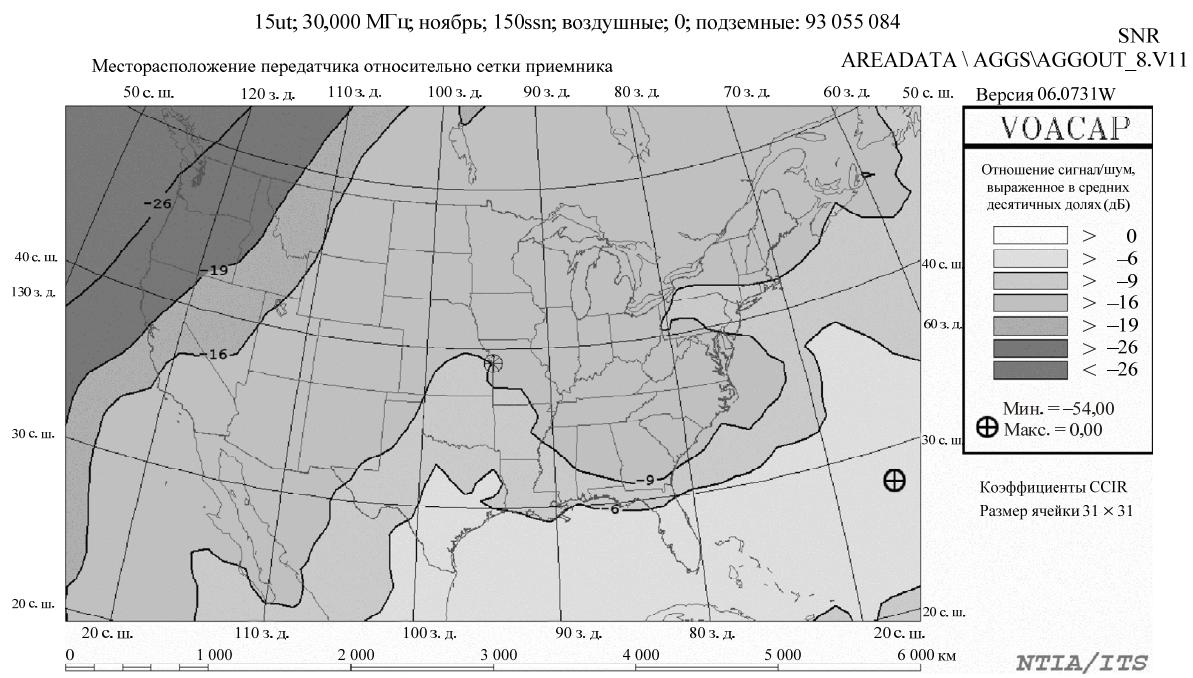
Пример скопления в условиях высоких SSN из-за подземных устройств и 1 355 002 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ



Report 2158-A2-24

РИСУНОК А2-25

Пример скопления в условиях высоких SSN из-за 93 055 084 подземных устройств и без воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ



Report 2158-A2-25

РИСУНОК А2-26

Пример скопления в условиях высоких SSN из-за 46 527 542 подземных устройств и 2 935 689 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ

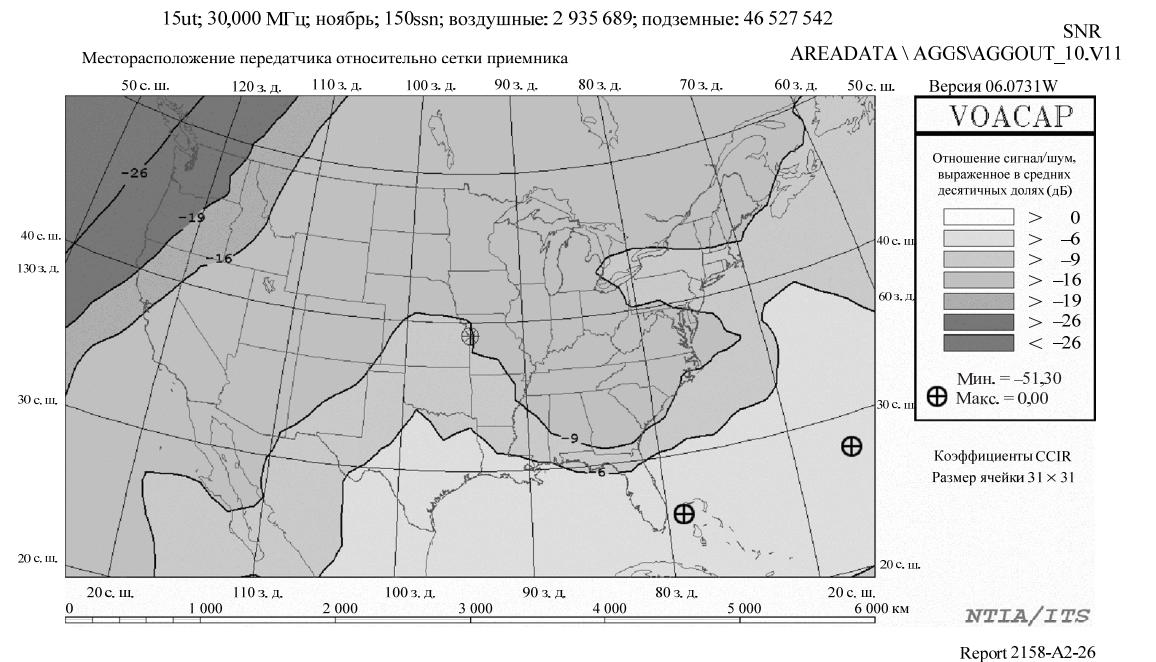


РИСУНОК А2-27

Пример скопления в условиях высоких SSN из-за отсутствия подземных устройств и 5 232 871 воздушного устройства с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ

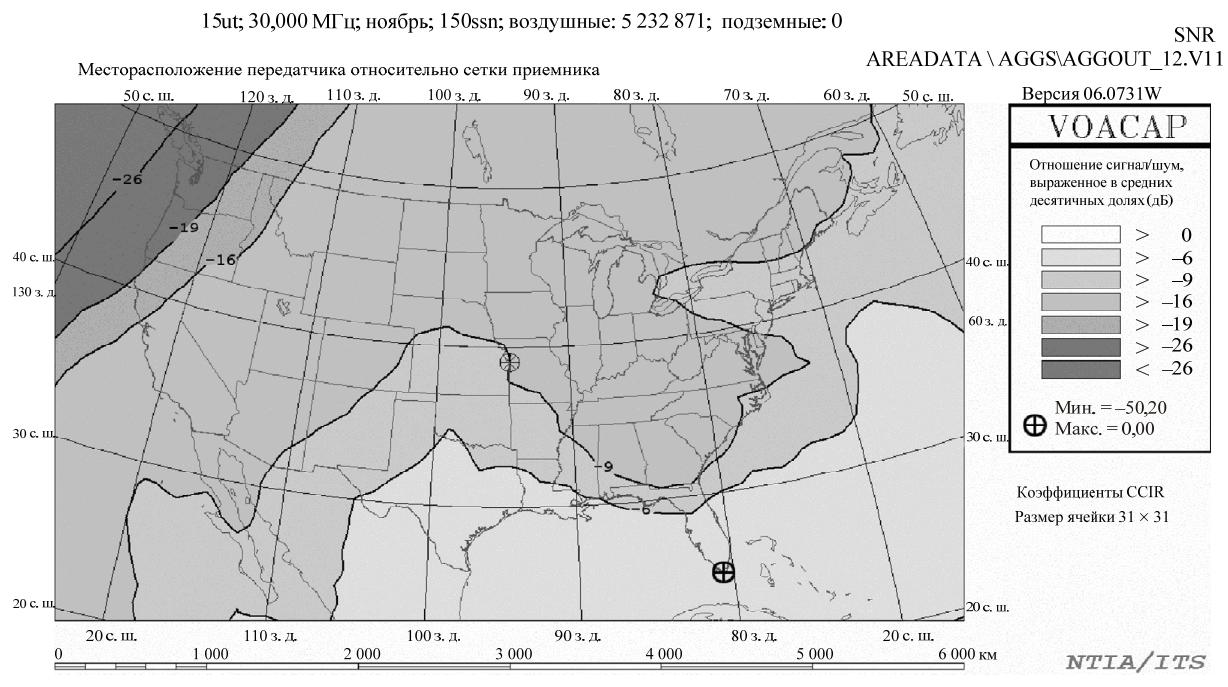


РИСУНОК А2-28

Пример скопления в условиях низких SSN из-за 9 816 125 подземных устройств и без воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ

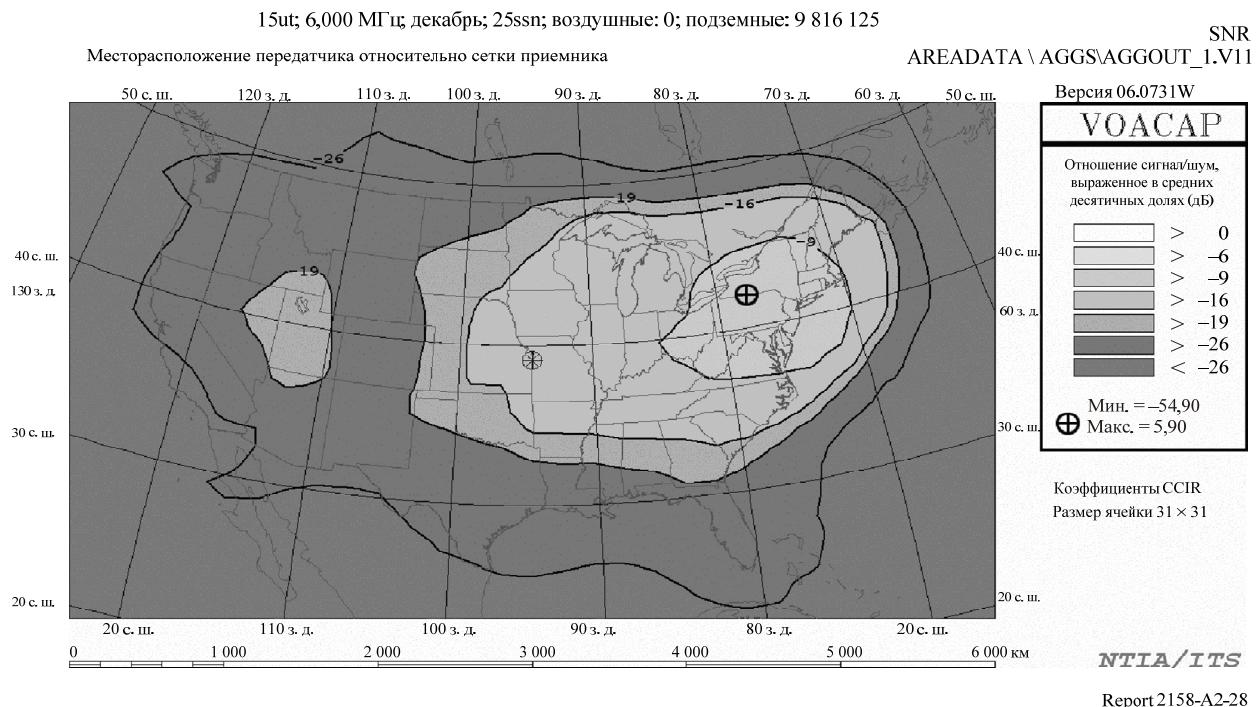


РИСУНОК А2-29

Пример скопления в условиях низких SSN из-за 4 908 062 подземных устройств и 458 047 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ

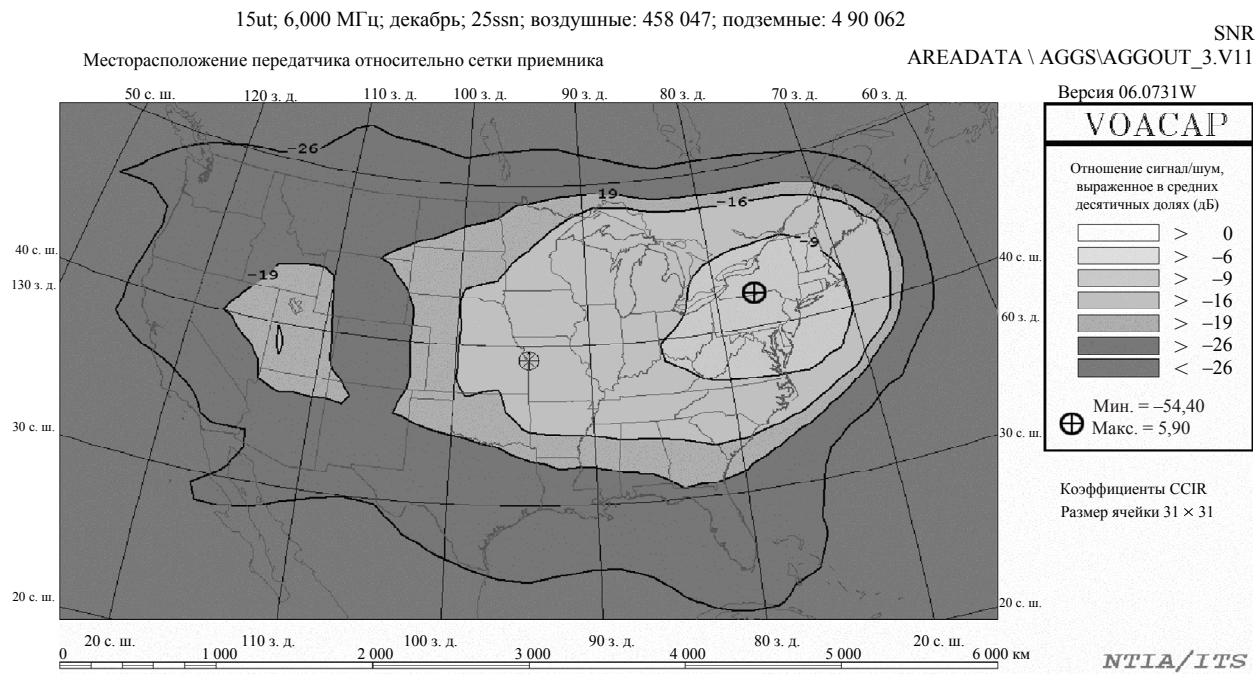


РИСУНОК А2-30

Пример скопления в условиях низких SSN из-за отсутствия подземных устройств и 916 094 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 1 дБ

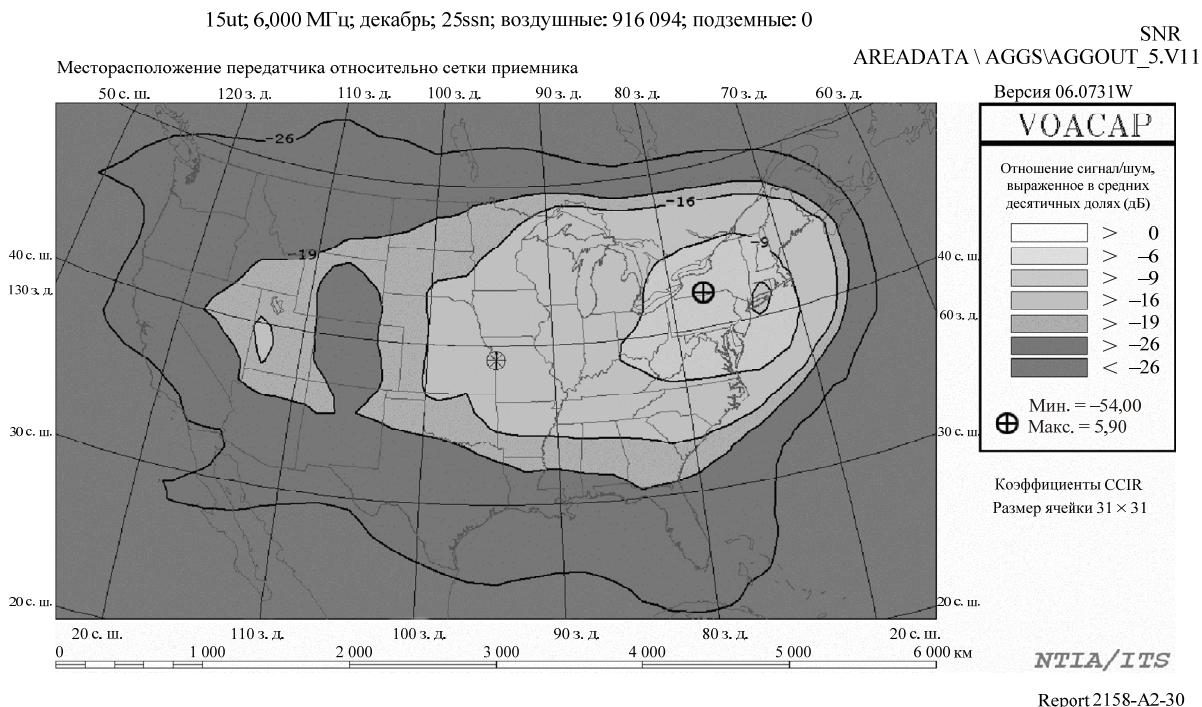


РИСУНОК А2-31

Пример скопления в условиях низких SSN из-за 37 908 805 подземных устройств и без воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ

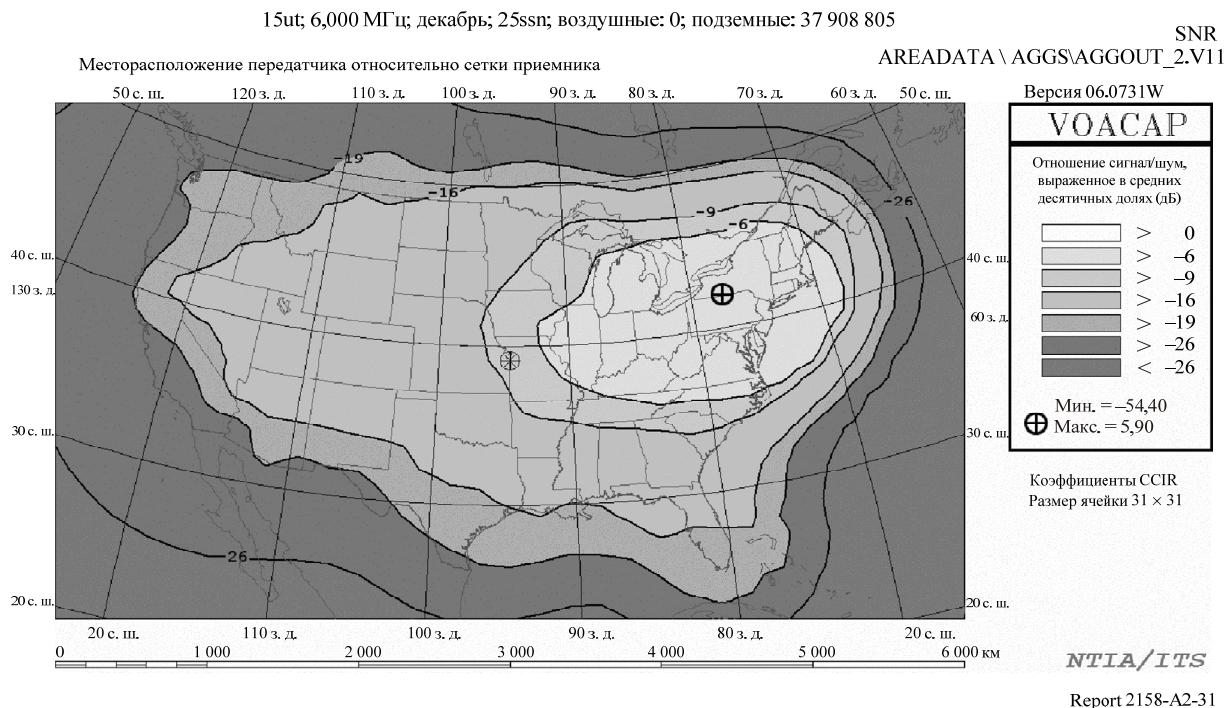


РИСУНОК А2-32

Пример скопления в условиях низких SSN из-за 18 954 402 подземных устройств и 1 768 927 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ

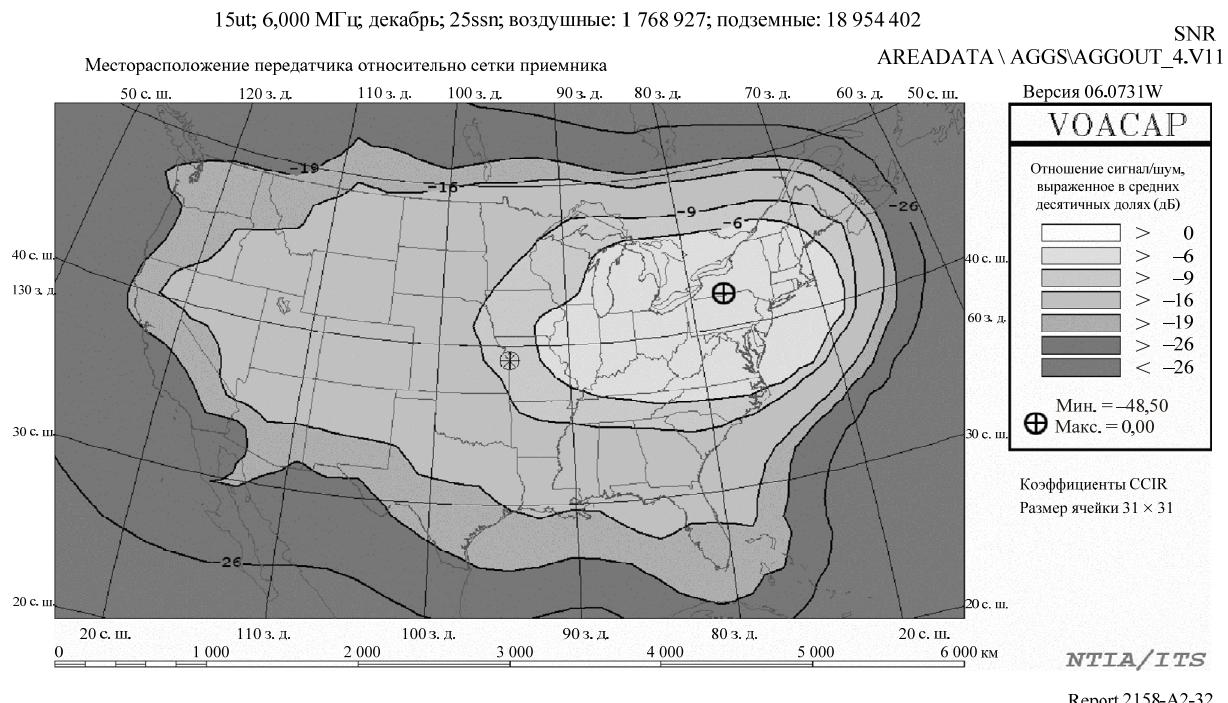
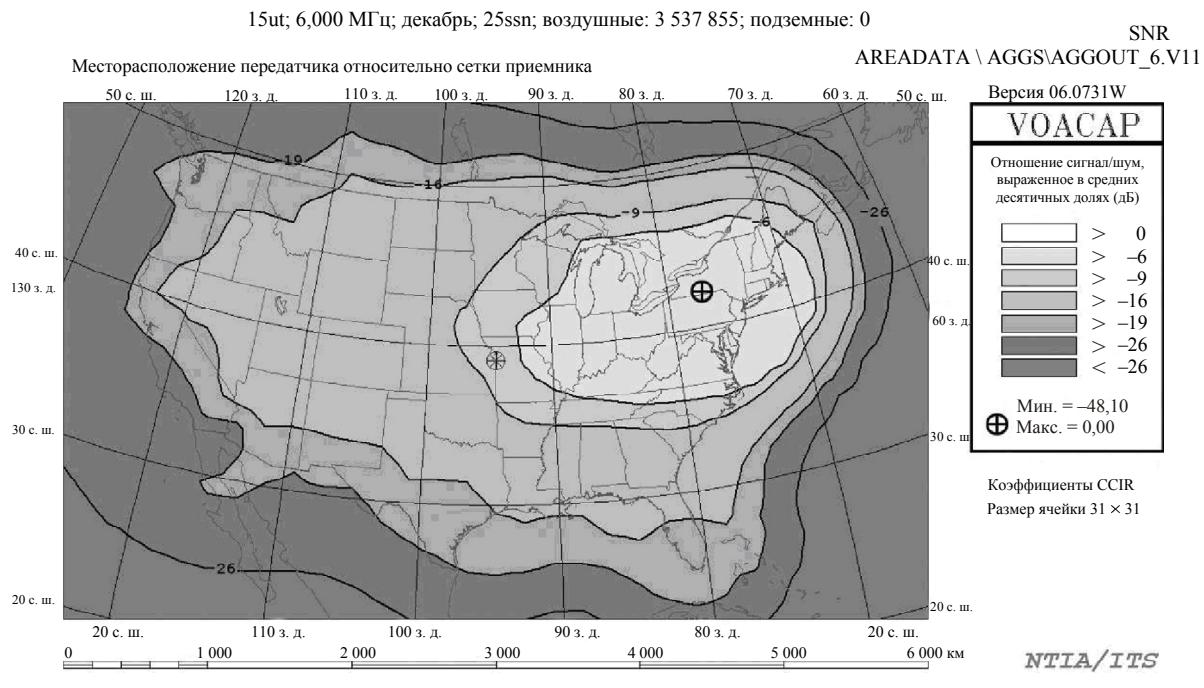


РИСУНОК А2-33

Пример скопления в условиях низких SSN из-за отсутствия подземных устройств и 3 537 855 воздушных устройств с максимальным увеличением минимального уровня шума на 3 дБ



Примеры скоплений на рисунках с A2-21 по A2-32 отражают два обстоятельства (одно для низкой активности солнечного цикла и одно для высокого), в которых для достижения порогов, указанных в любой географической точке и любых моделируемых условиях времени и частот, требуется минимальное число устройств. Как видно на рисунках, в этих условиях лучшего распространения/самого низкого шума и при помощи созданного в этих исследованиях допущения, для создания увеличения в любой географической точке минимального уровня шума на 1 дБ потребуется более 916 000 воздушных устройств PLT по всему миру – намного больше 705 000 устройств PLT, ожидаемых в модели развертывания NTIA для прохождения через 100 процентов городских домашних хозяйств в Соединенных Штатах Америки. Намного больше устройств можно развернуть, не достигнув порога ни в 1 дБ, ни в 3 дБ, если большая часть развернута на подземных линиях электропередач.

В большинстве моделируемых случаев (другое время суток, месяц года и частоты), потребовалось гораздо больше устройств, как подземных, так и надземных, для создания требуемого увеличения минимального уровня шума.

A2.4.2.6 Резюме

NTIA моделировала две структуры линий электропередач и проведенные всесторонние исследования скоплений при помощи программного обеспечения VOAAREA распространения для определения возможности вредных помех системам связи правительства США в частотном диапазоне от 1,7 до 30 МГц из-за сигналов PLT, распространяемых через ионосферу.

Результаты моделирования, проведенного в Соединенных Штатах Америки для развертывания PLT доступа по воздушным линиям электропередач СН, работающим в диапазоне от 1,7 до 30 МГц, показали, что для широкомасштабного распространения воздушных устройств PLT (например, таких, число которых проходит через 100 процентов городских домашних хозяйств в Соединенных Штатах Америки) и с допущениями из данного исследования, ожидается, что увеличение минимального уровня шума будет менее 1 дБ для условий распространения наихудшего случая. В реальности примерно 20% линий электропередач СН являются подземными, а многие системы электросвязи по линиям электропередач работают в ОВЧ диапазоне. Исходя из этих результатов, не ожидается, что широкое распространение доступа к системам электросвязи по линиям электропередач в Соединенных Штатах Америки создаст проблемы системам связи правительства США (системы наземной подвижной и фиксированной служб представлены диполями с четвертью длины волны), работающим в диапазоне от 1,7 до 30 МГц из-за ионосферного распространения и скопления сигналов.

A2.4.3 Результаты расчета кумулятивных ВЧ ионосферных помех, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач

A2.4.3.1 Введение

В этом разделе приведены примеры расчетов кумулятивной напряженности электрического поля, создаваемой системами электросвязи по линиям электропередач из-за ионосферного распространения, то есть, моделируемых в Рекомендации МСЭ-R P.533 – Метод прогнозирования ВЧ распространения.

В этом вычислении были сделаны следующие допущения:

- Территория Японии разделена на девять областей, каждая с воображаемым источником излучения с мощностью, пропорциональной сумме предполагаемого количества систем электросвязи по линиям электропередач.
- Используется всего $1,5 \times 10^7$ систем электросвязи по линиям электропередач, соответствующих покрытию 30% домашних хозяйств.
- Используется 100% рабочий цикл (Все системы электросвязи по линиям электропередач включены и работают, но одновременно только один модем PLT в мощности вывода системы).

A2.4.3.2 Расчет кумулятивного ионосферного поля системы PLT

Процедуры вычисления

1 *Мощность, излучаемая одной системой электросвязи по линиям электропередач*

Мощность излучения вычислялась следующим образом:

- для модема PLT мощность, излучаемая от линий электропередач, вычисляется из мощности сигнала -60 дБм/Гц (среднеквадратическое значение), а потери преобразования по долготе (LCL) линий электропередач должны быть 30 dB ;
- кроме того, учитывая ширину полосы испытывающей помехи принимающей системы, мощность излучения от одной системы электросвязи по линиям электропередач вычисляется для диапазонов радиослужб, как показано в таблице A2-5;
- следовательно, используется следующая формула:

$$\text{Мощность излучения (дБВт)} = \text{Мощность сигнала (дБм/Гц)} - 30 + 10 \log (\text{ширина полосы (Гц)} - LCL \text{ (dB)})$$
; и
- подразумевается, что точки приема находятся достаточно далеко от систем электросвязи по линиям электропередач, а, следовательно, источник излучения можно считать точечным источником.

ТАБЛИЦА А2-5

Мощность излучения одной системы электросвязи по линиям электропередач

	Диапазон частот	Мощность излучения
Радиоастрономия	Диапазон 13 МГц (Центральная частота: 13,385 МГц)	$-73,0 \text{ дБВт}$ (среднеквадратическое значение, ширина полосы 50 кГц)
	Диапазон 25 МГц (Центральная частота: 25,610 МГц)	$-69,2 \text{ дБВт}$ (среднеквадратическое значение, ширина полосы 120 кГц)
Любительская служба	Диапазон 3,5 МГц (Центральная частота: 3,538 МГц)	$-86,2 \text{ дБВт}$ (среднеквадратическое значение, ширина полосы 2,4 кГц)
	Диапазон 7 МГц (Центральная частота: 7,050 МГц)	$-86,2 \text{ дБВт}$ (среднеквадратическое значение, ширина полосы 2,4 кГц)

2 *Кумулятивная обработка распределенных систем электросвязи по линиям электропередач*

При расчете территории Японии была разделена на 9 областей, как показано в таблице А2-6, каждая с воображаемым источником излучения энергии, которая вычислялась по следующей формуле:

Мощность излучения воображаемого источника в области (дБВт)

= Энергия, излучаемая одной системой электросвязи по линиям электропередач (дБВт) + $10 \log (\text{число систем электросвязи по линиям электропередач}) - \text{эффект экранирования (dB)}$,

где:

Число систем электросвязи по линиям электропередач = Числу домашних хозяйств области * скорость проникновения PLT

с:

Числом домашних хозяйств на основе правительственные данных (на март 2004 г.),
в области:

Темпы проникновения PLT: вычисляется из темпов проникновения широкополосных услуг
на уровне префектур и городов (на март 2005 г.) в условиях
среднего национального значения в 30%,

Эффект экранирования: считается равным 0 дБ (без эффекта).

Для каждого модема PLT подразумевался рабочий цикл 100% для анализа наихудшего случая. Это означает, что все модемы включены и работают.

3 Вычисление распределения кумулятивной напряженности поля посредством распространения ионосферной ВЧ волной

Распределение напряженности электрического поля (срединное значение) посредством распространения ионосферной ВЧ волной, создаваемой в целом $1,5 \times 10^7$ системами электросвязи по линиям электропередач, вычислялось следующим образом:

- для каждой области распределение напряженности электрического поля от воображаемого источника излучений рассчитывалось посредством распространения ионосферной ВЧ волной;
- девять результатов указанных выше расчетов складывались в показателях мощности.

Реальное вычисление при помощи модели распространения из Рекомендации МСЭ-R P.533

Вычисление распределения напряженности поля проводилось при помощи бесплатного программного обеспечения общего пользования, RECARA⁵⁴, опубликованного 3-й Исследовательской комиссией радиосвязи, со следующими параметрами:

a) Мощность излучения

Из-за ограничений программного обеспечения расчеты проводились для определенных уровней мощности излучения выше 0 дБВт. Затем результаты корректировались в соответствии с мощностью излучения, указанной в таблицах A2-5 и A2-6.

b) Передающая антенна

Тип антенны был установлен, как изотропная антенна.

c) Условия в ионосфере

Разные характеристики ионосферы изменяются по месяцам и по времени. Напряженность электрического поля и ее распределение также изменяется из-за этого колебания характеристик. Максимальная напряженность электрического поля в области построения, показанной в f), изменяется в соответствии с месяцем и временем, когда проводилось вычисление, как показано на рисунке A2-34. В этом вычислении использовались параметры "Месяц: апрель, время: 0600UT", которые примерно соответствуют максимальной напряженности электрического поля.

d) SSN (число солнечных пятен)

На рисунке A2-35 приведен пример изменения максимальной напряженности электрического поля для разных значений SSN. Для вычисления SSN было установлено = 100. (Солнечная активность относительно активна.)

e) Приемная антенна / ширина полосы приемника

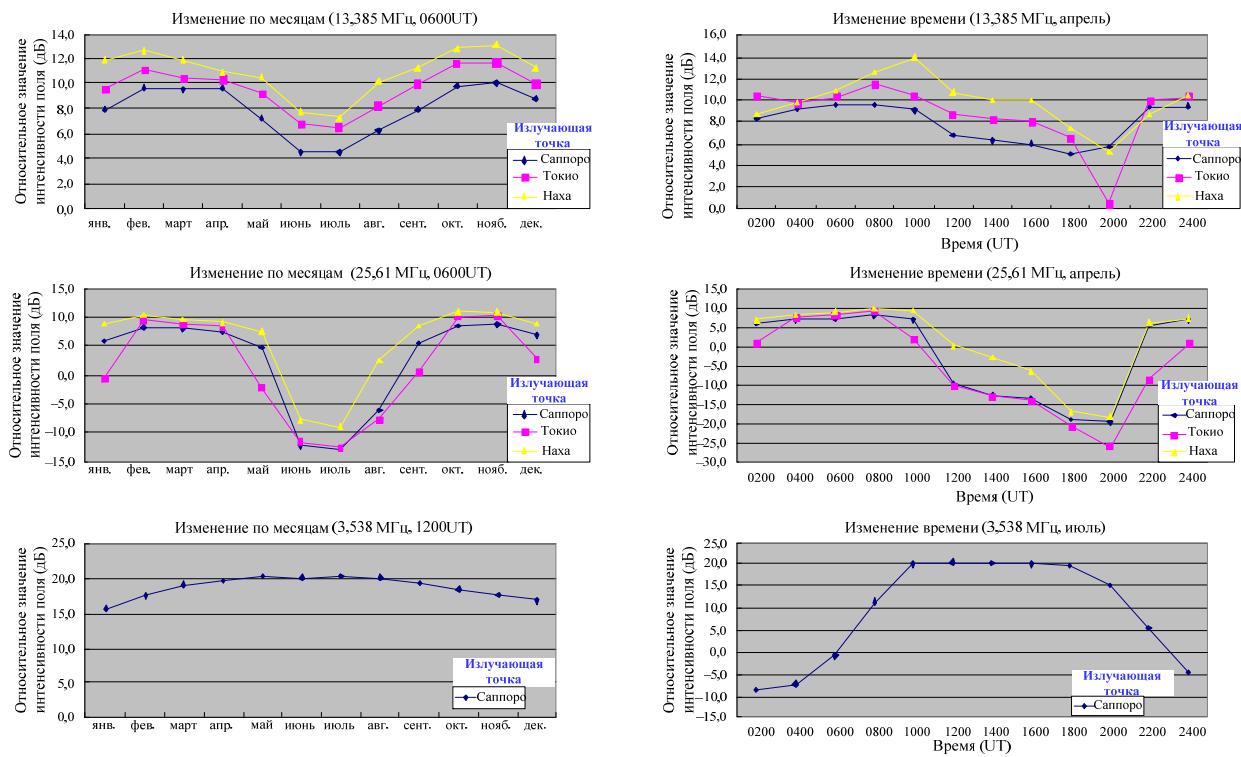
Этот параметр неважен при вычислении напряженности электрического поля.

f) Область построения

Эталонная точка области была установлена в Токио, а область построения охватывала область вокруг Японии: 700 км на восток, 1300 км на запад, 1200 км на север и 1000 км на юг относительно эталонной точки.

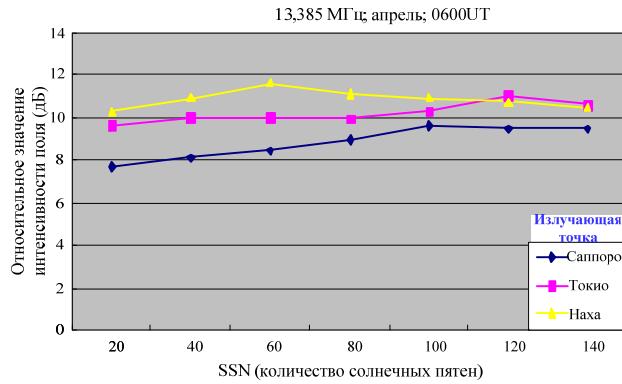
⁵⁴ Это программное обеспечение можно загрузить с: http://elbert.its.bldrdoc.gov/pc_hf/hfwin32.html.

РИСУНОК А2-34
Пример напряженности поля, изменяемой по месяцам/времени



Report 2158-A2-34

РИСУНОК А2-35
Пример напряженности поля изменяемой из-за SSN



Report 2158-A2-35

ТАБЛИЦА А2-6

Мощность излучения воображаемых источников излучения

	Область	Местоположение воображаемого источника	Число домашних хозяйств ($\times 10^4$)	Проникновение PLT	Число систем электросвязи по линиям электропередач ($\times 10^4$)	Мощность излучения воображаемого источника (дБВт)
1	Хоккайдо	Саппоро (43,06 с. ш., 141,33 в. д.)	252	20%	50,4	диапазон 13 МГц: -16,0 диапазон 25 МГц: -12,2 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -29,2
2	Тухоку	Сендай (38,26 с. ш., 140,90 в. д.)	341	25%	85,3	диапазон 13 МГц: -13,7 диапазон 25 МГц: -9,9 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -26,9
3	Канто	Токио (35,67 с. ш., 139,77 в. д.)	1,717	35%	600,9	диапазон 13 МГц: -5,2 диапазон 25 МГц: -1,4 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -8,4
4	Синецу, Хокурику	Каназава (36,59 с. ш., 136,63 в. д.)	263	25%	65,8	диапазон 13 МГц: -14,8 диапазон 25 МГц: -11,0 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -28,0
5	Тукай	Нагоя (35,17 с. ш., 136,97 в. д.)	536	35%	187,5	диапазон 13 МГц: -10,3 диапазон 25 МГц: -6,5 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -23,5
6	Кинки	Осака (34,68 с. ш., 135,52 в. д.)	829	30%	248,7	диапазон 13 МГц: -9,0 диапазон 25 МГц: -5,2 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -22,2
7	Чугоку, Сикоку	Хиросима (34,40 с. ш., 132,46 в. д.)	464	25%	116,0	диапазон 13 МГц: -12,4 диапазон 25 МГц: -8,6 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -25,6
8	Кюсю	Фукуока (33,58 с. ш., 130,38 в. д.)	531	25%	132,9	диапазон 13 МГц: -11,8 диапазон 25 МГц: -8,0 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -25,0
9	Окинава	Наха (26,21 с. ш., 127,69 в. д.)	50	20%	10,0	диапазон 13 МГц: -23,0 диапазон 25 МГц: -19,2 диапазон 3,5 МГц/7 МГц: -36,2

A2.4.3.3 Результаты расчета

На рисунке А2-36 приведены результаты расчета излучения от одной системы электросвязи по линиям электропередач. Точка максимального значения напряженности электрического поля в распространении ионосферной волны может быть далеко от точки излучения, а максимальное значение изменяться из-за месяца, времени суток, частоты и т. п.

Однако абсолютное значение напряженности электрического поля от одной системы электросвязи по линиям электропередач крайне низкое. Дополнительно, так как расстояние от точки излучения увеличивается, то помехи напряженности электрического поля уменьшаются, как показано на рисунке А2-37.

На рисунках А2-38 и А2-39 приведены результаты расчета распределения кумулятивной напряженности электрического поля (медианное значение) от общего числа $1,5 \times 10^7$ систем электросвязи по линиям электропередач в Японии.

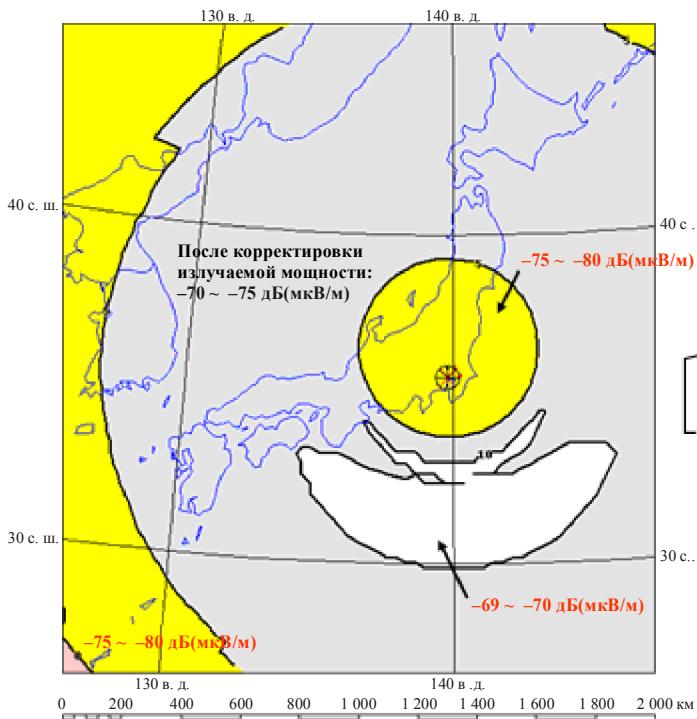
В соответствии с результатами расчета, аналогично случаю с одной системой электросвязи по линиям электропередач, точка максимального значения напряженности электрического поля в ионосферной волне может быть далеко от точки излучения. Однако обнаружено, что кумулятивная напряженность электрического поля, создаваемая всеми системами электросвязи по линиям электропередач, низка, то есть меньше уровня шума в сельской местности.

РИСУНОК А2-36

Пример распределения напряженности поля ВЧ ионосферной волны, создаваемых одной системой электросвязи по линиям электропередач

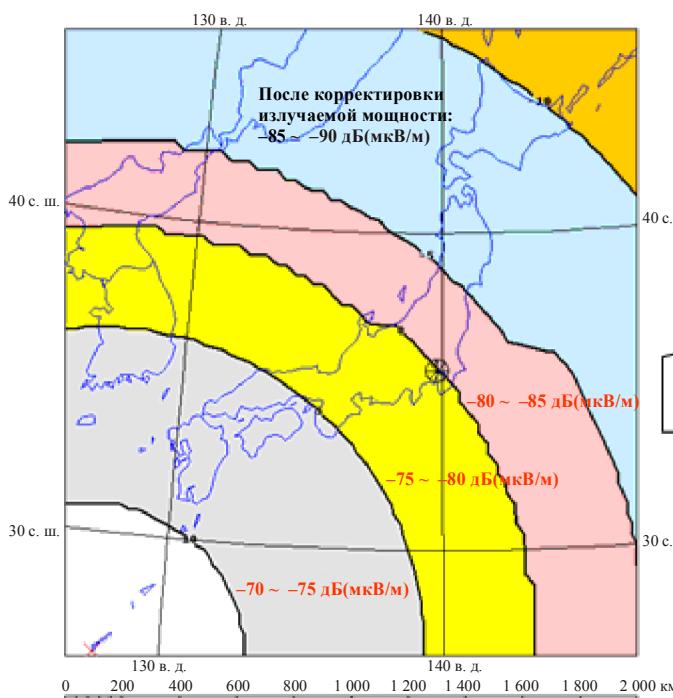
ТОКИО, Япония (ИЗОТРОПНОЕ)) 5W –1° 06ut 06ut; 13,385 МГц; апрель; 100ssn

Месторасположение передатчика относительно сетки приемника



а) Диапазон 13 МГц, точка излучения: Токио

Месторасположение передатчика относительно сетки приемника



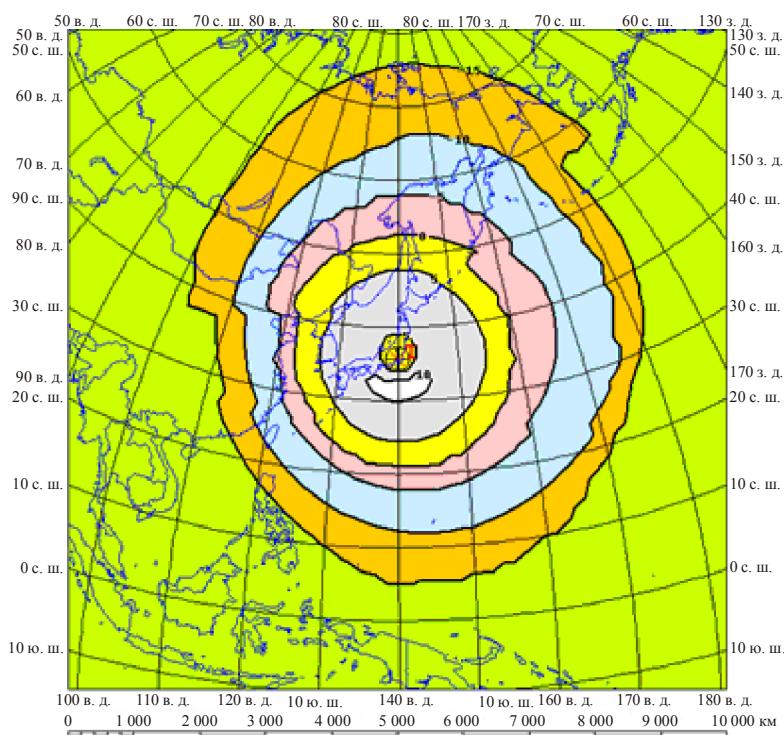
б) Диапазон 13 МГц, точка излучения: Наха

РИСУНОК А2-37

Пример распределения напряженности поля ВЧ ионосферной волны, создаваемых одной системой электросвязи по линиям электропередач (диапазон 13 МГц, точка излучения: Токио)

ТОКИО, Япония (ИЗОТРОПНОЕ) 5W –1° 06ut 06ut; 13,385 МГц; апрель; 100ssn

Месторасположение передатчика относительно сетки приемника



DBU
AREADATA \ default\plc13mtst.R11
Версия 05.0119W

REC533

Медианное значение напряженности поля (дБу)

> 10
> 5
> 0
> -5
> -10
> -15
< -15

Мин. = -47,30
Макс. = 10,70

Коэффициенты CCIR
Размер ячейки 63 × 63

До корректировки излучаемой мощности

После корректировки излучаемой мощности:

* Значение поправки: -80 дБ

* В области построения:

Мин. = -127 дБ(мкВ/м)

Макс. = -69 дБ(мкВ/м)

* Ширина полосы частот:
50 кГц

NTIA/ITS

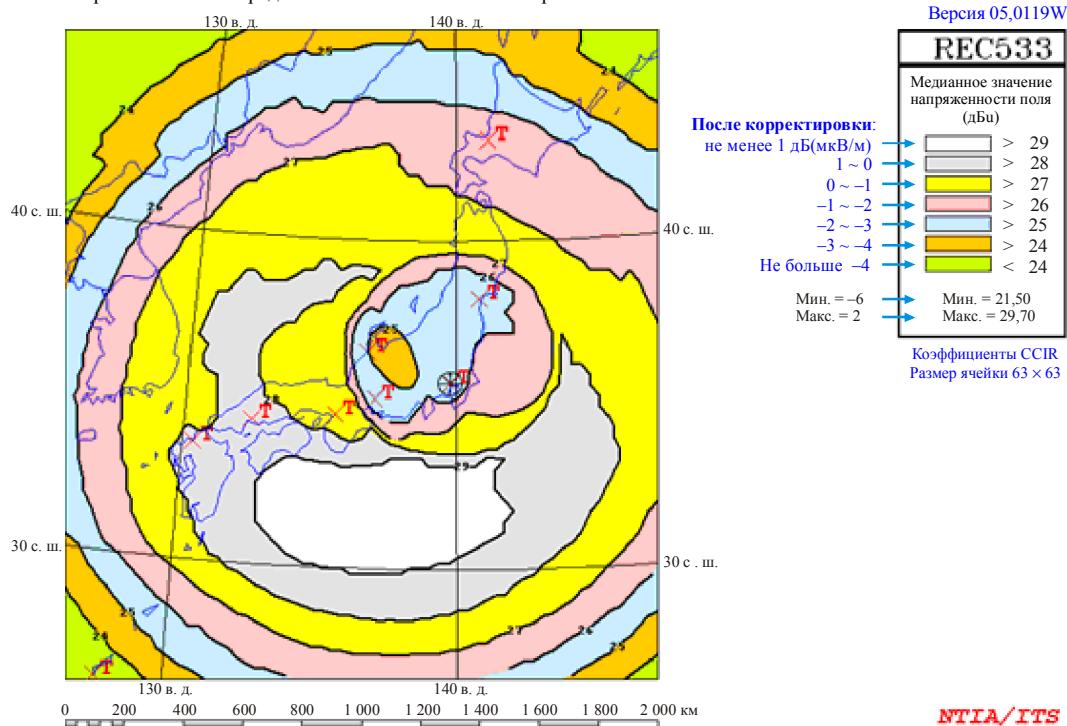
Report 2158-A2-37

РИСУНОК А2-38

Пример распределения кумулятивной напряженности поля ВЧ ионосферной волны, создаваемых всеми системами электросвязи по линиям электропередач (для диапазонов 13 МГц и 25 МГц)

Суммарное влияние 13,385 МГц (21)

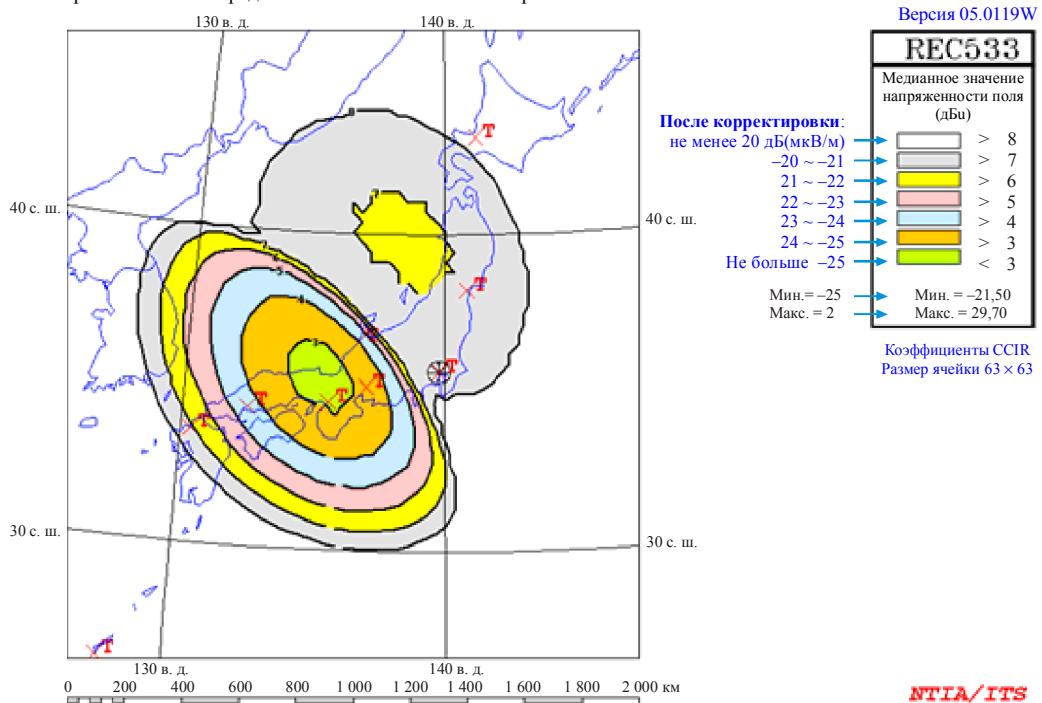
Месторасположение передатчика относительно сетки приемника



а) Ионосферная волна диапазона 13 МГц, ширина полосы частот: 50 кГц

Суммарное влияние 25,610 МГц (21)

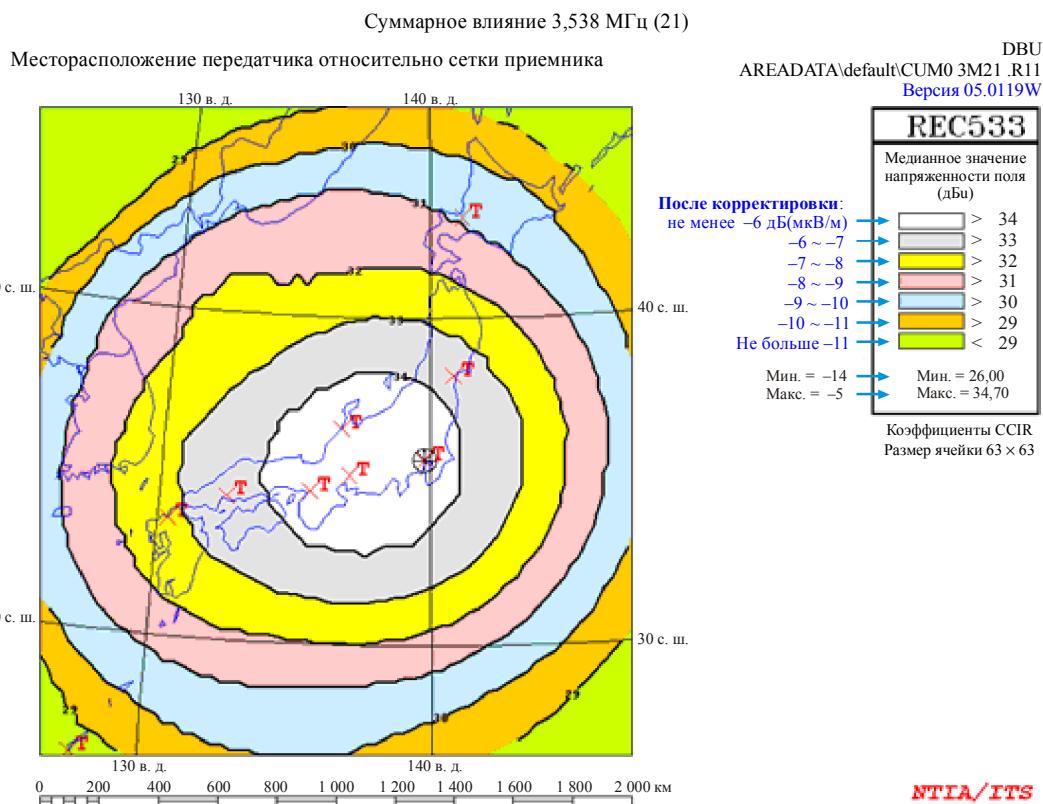
Месторасположение передатчика относительно сетки приемника



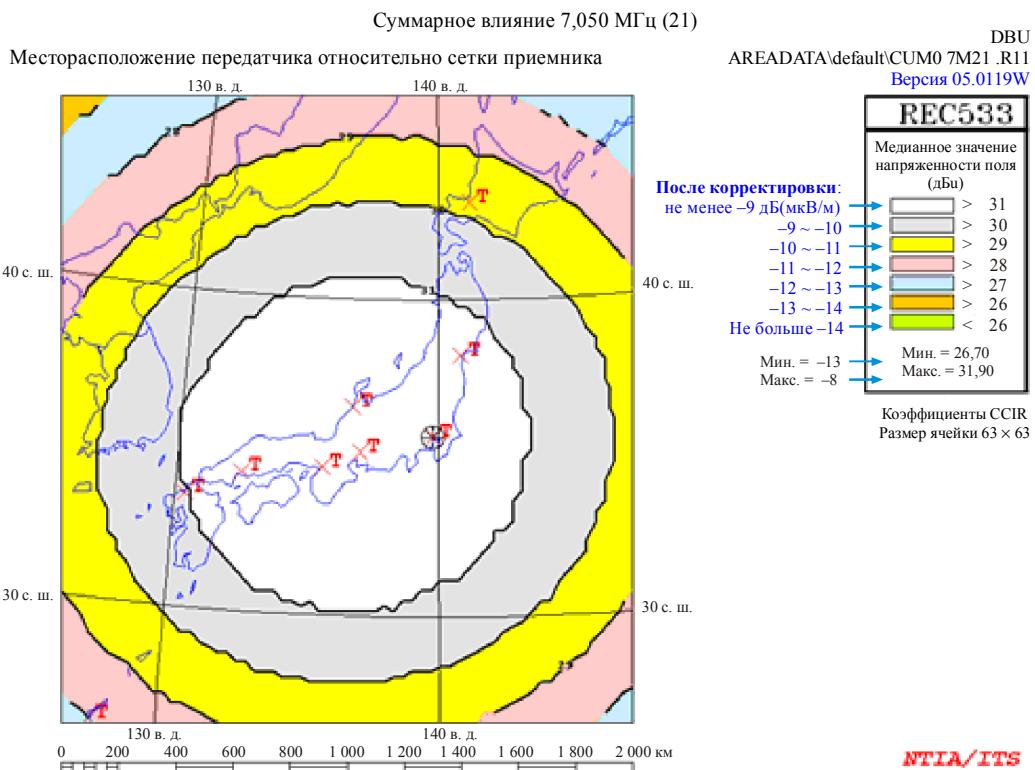
б) Ионосферная волна диапазона 25 МГц, ширина полосы частот: 120 кГц

РИСУНОК А2-39

Пример распределения кумулятивной напряженности поля ВЧ ионосферной волны, создаваемых всеми системами электросвязи по линиям электропередач (для диапазонов 3,5 МГц и 7 МГц)



а) Ионосферная волна диапазона 3 МГц, ширина полосы частот: 2,4 кГц



б) Ионосферная волна диапазона 7 МГц

Report 2158-A2-39

A2.4.4 Результаты сравнительного исследования между радиоастрономическими наблюдениями в полосе ВЧ и кумулятивных ВЧ ионосферных помех, создаваемых внутренними системами электросвязи по линиям электропередач

A2.4.4.1 Введение

Радиоастрономическая служба имеет частотные распределения в полосе ВЧ на первичной основе: 13,36–13,41 МГц и 25,55–25,67 МГц. Пороговые уровни вредных помех для радиоастрономических наблюдений в этих диапазонах, которые выражаются в показателях напряженности электрического поля, приведенных в Отчете МСЭ-R RA.2131, равны $-55,2$ дБ(мкВ/м) для диапазона 13 МГц и $-53,2$ дБ(мкВ/м) для диапазона 25 МГц, соответственно.

A2.4.4.2 Результаты расчета

На рисунке А2-38 показаны результаты расчета излучений от одной системы электросвязи по линиям электропередач. Точка максимального значения напряженности электрического поля при распространении ионосферной волной может быть далеко от точки излучения, а максимальное значение изменяться из-за месяца, времени суток, частоты и т. п. На рисунке 2А-39 показаны результаты расчета распределения кумулятивной напряженности электрического поля (срединное значение) от общего числа $1,5 \times 10^7$ систем электросвязи по линиям электропередач. В соответствии с результатами расчета, аналогично случаю одной системы электросвязи по линиям электропередач, точка максимального значения напряженности электрического поля при распространении ионосферной волной может быть далеко от точки излучения.

На рисунке 2А-39 значение максимальной напряженности электрического поля равны 2 дБ(мкВ/м) для диапазона 13 МГц и -2 дБ(мкВ/м) для диапазона 25 МГц, которые намного превышают пороговые уровни вредных помех для радиоастрономических наблюдений в этих диапазонах, $-55,2$ дБ(мкВ/м) для диапазона 13 МГц и $-53,2$ дБ(мкВ/м) для диапазона 25 МГц. Различие составляет примерно 57 дБ для диапазона 13 МГц и примерно 51 дБ для диапазона 25 МГц. Так как рассчитанная напряженность полей примерно пропорциональна общей излученной мощности, эти различия можно было бы разрешить, уменьшив число систем электросвязи по линиям электропередач с $1,5 \times 10^7$ до 30. Однако эта ситуация была бы нереальна.

A2.4.4.3 Возможные меры уменьшения помех для защиты радиоастрономической службы в полосе ВЧ

Выяснилось, что совместное использование частот между радиоастрономическими наблюдениями в полосе ВЧ и большим количеством систем электросвязи по линиям электропередач нереально. Возможные меры уменьшения помех для предотвращения вредных помех радиоастрономическим наблюдениям в полосе ВЧ могут представлять собой:

- реализацию узкополосных режекторных фильтров фиксированной службы в радиоастрономических диапазонах, т. е. система электросвязи по линиям электропередач не использует диапазоны частот, распределенные радиоастрономической службе в полосе ВЧ; или
- снижение мощности излучения от одной системы электросвязи по линиям электропередач больше, чем на 50 дБ.

Так как радиоастрономические наблюдения весьма чувствительны и не могут избежать излучений, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач, в диапазонах частот, распределенных радиоастрономической службе, следует реализовать постоянное уменьшение спектральной плотности мощности устройств PLT (т. е. постоянное снижение уровня сигнала).

A2.5 Экспериментальные результаты субъективных оценочных испытаний приема аналогового ВЧ радиовещания, испытывающего помехи со стороны PLT

Данный раздел Отчета описывает субъективные оценочные испытания помех PLT с ВЧ радиовещанием в Японии. Эти испытания были выполнены в два этапа; сбор образцов принимаемых звуковых сигналов ВЧ радиовещания, испытывающих помехи со стороны PLT, и субъективные оценочные испытания с использованием образцов звуковых сигналов. Для сбора образцов звуковых сигналов, в экранированной комнате (камера GTEM) на частоте 6,055 МГц генерировался ВЧ сигнал, модулированный звуковыми сигналами (модуляция 30%). Сигнал ВЧ радиовещания, шумы PLT и гауссовский шум генерировались в изолированной камере GTEM.

Использовалось два типа модемов PLT с различными технологиями модуляции, то есть с расширением спектра (SS) и OFDM.

Что касается испытательной частоты, была выбрана полоса средних частот, используемая компанией Nikkei Radio Broadcast.

Испытания на основе субъективных оценок выполнялись в соответствии с методом DSIS (двойная шкала стимулов искажений), описанным в Рекомендации МСЭ-R BS.1284.

Эти испытания выполнялись в следующие дни и в следующих местах:

- 29 августа 2005 года (Сбор образцов звуковых сигналов): NICT;
- 15 сентября 2005 года (Субъективные оценочные испытания): NHK STRL.

A2.5.1 Методы испытаний

A2.5.1.1 Сбор образцов звуковых сигналов

На рисунке А2-40 и в таблице А2-7 показана схема испытаний и условия проведения испытания, соответственно.

Следующие три сигнала были скомбинированы и подавались в камеру TEM.

- Сигнал модема PLT через V-LISN (V-линейная схема стабилизации полного сопротивления линии).
- Выходной сигнал генератора шума для моделирования промышленных шумов.
- Выходной сигнал стандартного АМ генератора для моделирования сигнала ВЧ радиовещания (модуляция 30%).

Напряженность поля промышленных шумов (N_{ext}) была выставлена в значение предполагаемой шумовой обстановки, а напряженность поля сигнала ВЧ радиовещания (E_{sig}) была выставлена в минимальное требуемое значение (см. таблицу А2-7). Звуковые образцы собирались, меняя напряженность поля сигнала PLT (E_{plc}).

В качестве образцов звуковых сигналов для испытаний записывались выходные звуковые сигналы наушников.

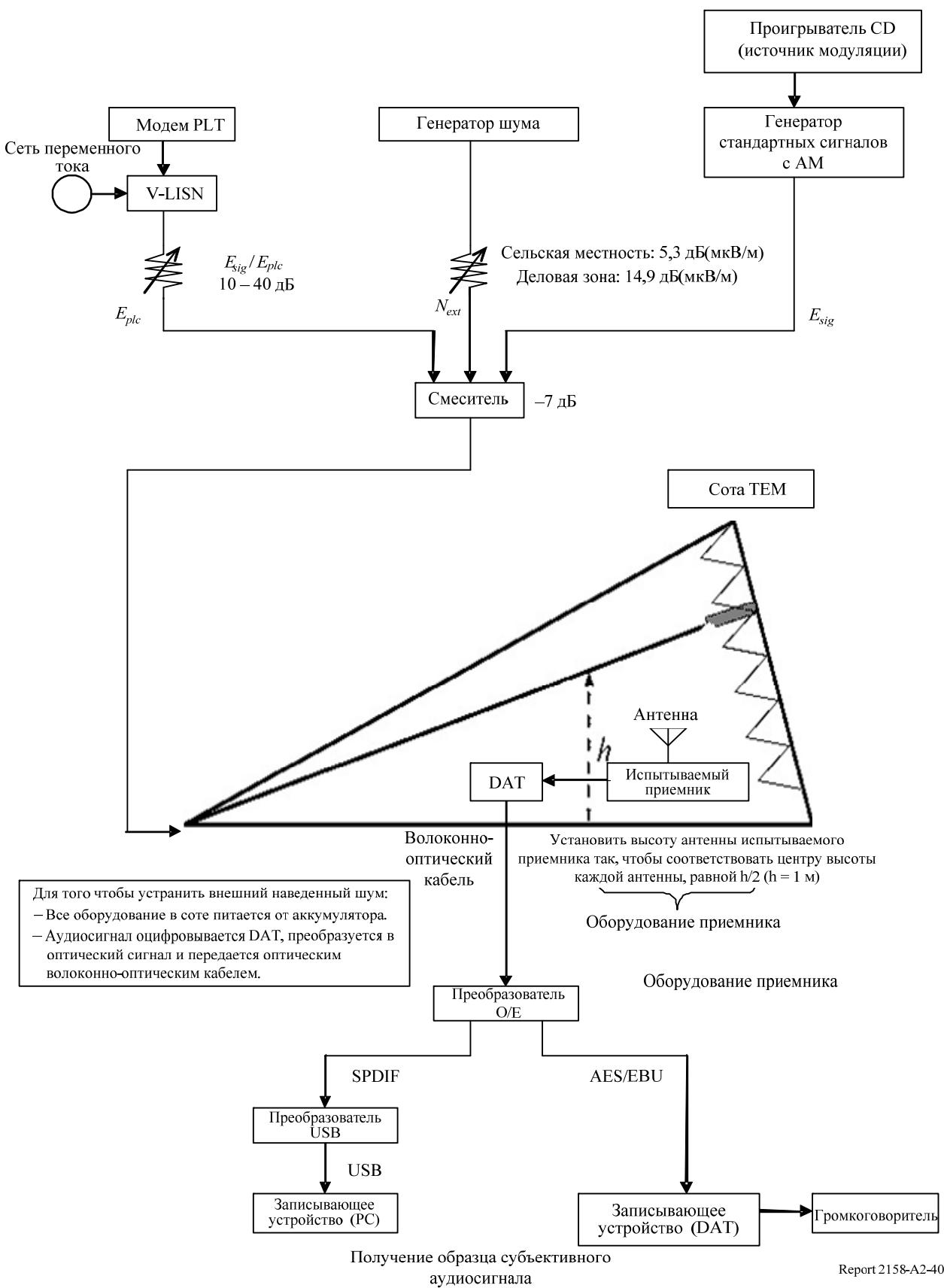
A2.5.1.2 Субъективные оценочные испытания

На рисунке А2-42 и в таблице А2-8 показана схема испытаний и условия проведения испытания, соответственно.

Субъективные оценочные испытания выполнялись в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.1284. Двадцать четыре неквалифицированных слушателя приняли участие в испытаниях после небольшого обучения. Качество образцов звуковых сигналов оценивалось по методу двойной шкалы стимулов искажений (DSIS) с пятибалльной шкалой оценок:

- 5: безупречно;
- 4: заметно, но не раздражает;
- 3: слегка раздражает;
- 2: раздражает;
- 1: очень раздражает. Когда качество звукового сигнала, в котором есть и гауссовский общий шум и шум PLT, сравнивалось с качеством звукового сигнала, в котором есть только общий шум (эталонный).

РИСУНОК А2-40
Условия испытаний с образцами звука



Получение образца субъективного аудиосигнала

Report 2158-A2-40

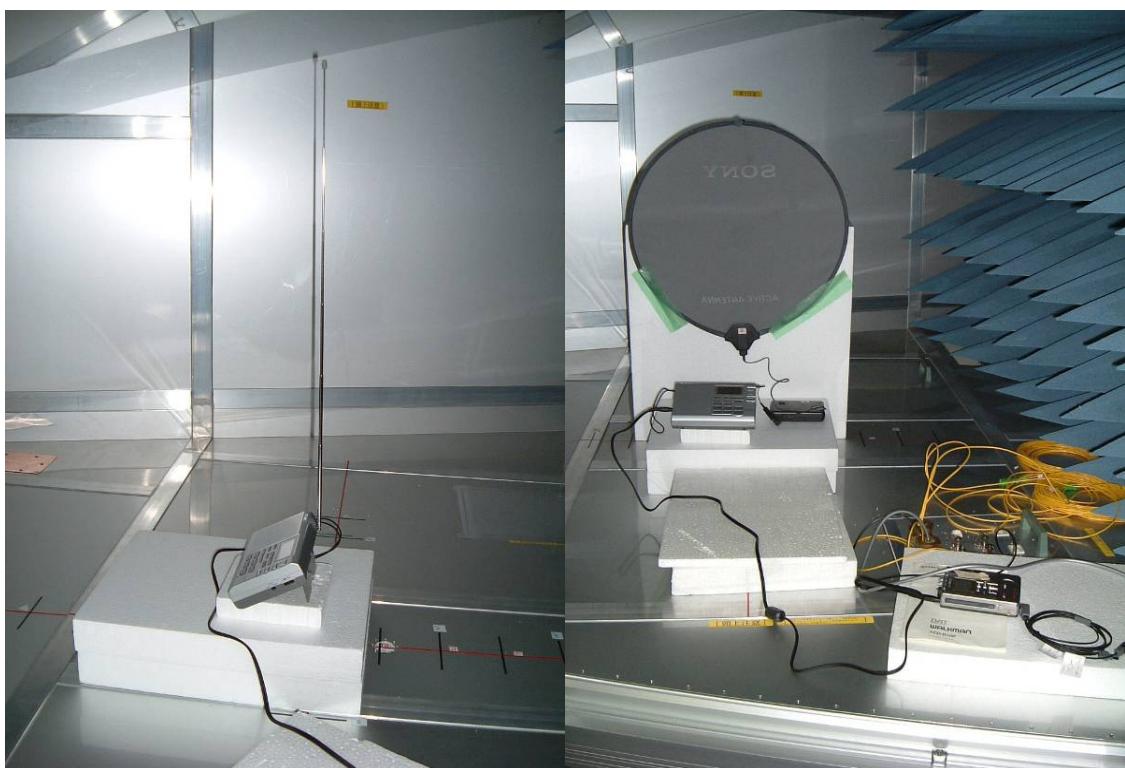
ТАБЛИЦА А2-7

Условия работы приемника ВЧ радиовещания

Приемник	Антенна	Напряженность поля сигнала ВЧ радиовещания (E_{sig}) ^{(1), (4)}	Напряженность поля промышленных шумов (N_{ext}) ^{(2), (4)}	Напряженность поля сигнала модема PLT (E_{plc}) ^{(3), (4)}
Настольный приемник ⁽⁵⁾	Штыревая антенна	40 дБ(мкВ/м)	5,3 дБ(мкВ/м) (Сельская местность)	E_{sig}/E_{plc} отношение от 10 до 40 дБ с шагом в 2 дБ (см. таблицу А2-6)
			14,9 дБ(мкВ/м) (Бизнес)	
Настольный приемник ⁽⁵⁾	Рамочная антенна ⁽⁶⁾	30 дБ(мкВ/м)	5,3 дБ(мкВ/м) (Сельская местность)	E_{sig}/E_{plc} отношение от 10 до 40 дБ с шагом в 2 дБ (см. таблицу А2-6)
			14,9 дБ(мкВ/м) (Бизнес)	

- (1) Напряженность поля сигнала ВЧ радиовещания соответствует минимальной напряженности поля, требуемой для сигнала ВЧ радиовещания. 40 дБ(мкВ/м) – для международного (ВАКР ВЧРВ (2), Женева 1987), 30 дБ(мкВ/м) – для Японии. Напряженность поля измеряется для немодулированного сигнала несущей.
- (2) Напряженность поля промышленных шумов = 5,3 дБ(мкВ/м) (BW = 9 кГц) для сельской местности или 14,9 дБ(мкВ/м) (BW = 9 кГц) для бизнеса, как описано в Рекомендации МСЭ-R P.372-8.
- (3) Напряженность поля сигнала модема PLT измеряется для ширины полосы 9 кГц, которая является минимальной требуемой шириной полосы частот для ВЧ радиовещания. В экспериментах использовались модемы PLT двух различных типов, то есть модемы систем OFDM и SS.
- (4) Гауссов шум (общий) и шум PLT были наложены на ВЧ сигнала в камере GTEM.
- (5) ВЧ приемник Sony, установленный внутри камеры, принимал ВЧ сигналы с помехами в виде шумов и воспроизводил звуковые сигналы, которые требовалось оценивать. Внутренний шум приемника был настолько мал, что он приводил к получению отношения звукового сигнала к шуму (S/N) лучше чем 26 дБ для напряженности поля сигнала = 40 дБ(мкВ/м).
- (6) Для напряженности поля 30 дБ(мкВ/м) использовался AN-LP1 фирмы Sony Co.

РИСУНОК А2-41
Приемник в камере GTEM



Report 2158-A2-41

РИСУНОК А2-42
Схема испытаний на основе субъективной оценки

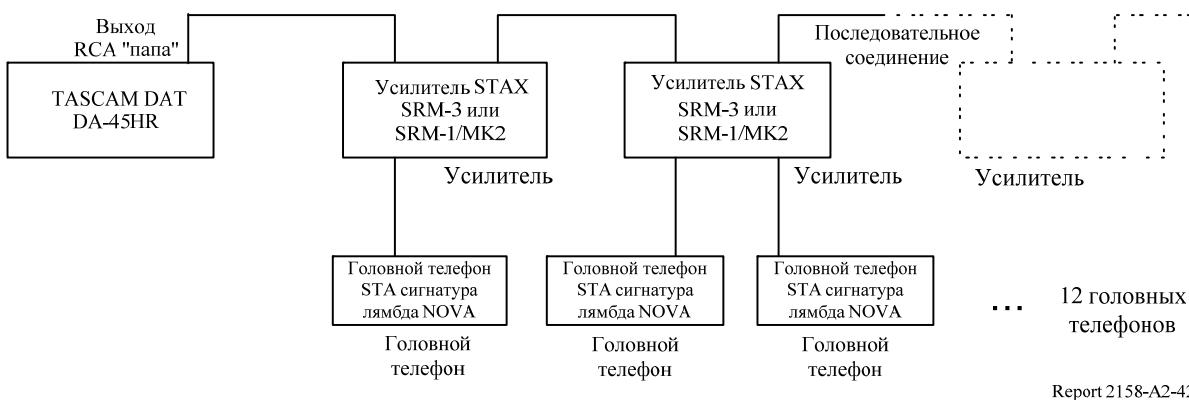


ТАБЛИЦА А2-8

Условия проведения испытаний на основе субъективных оценок

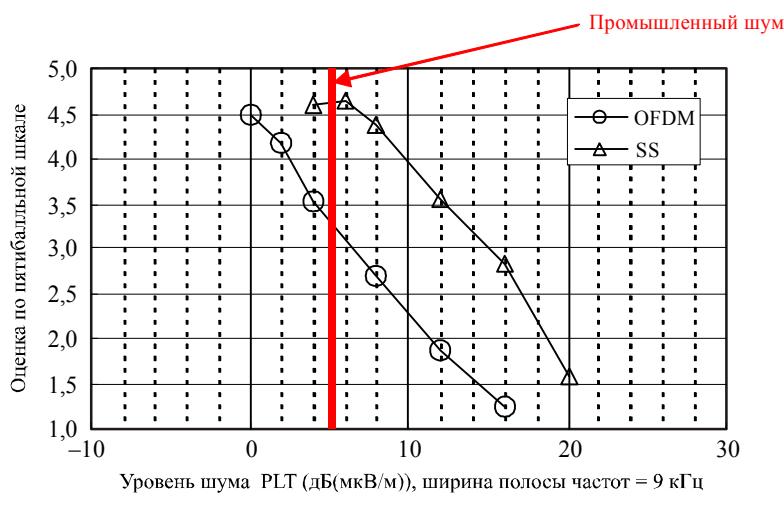
Метод	Двойная шкала стимулов искажений (DSIS) Звук критерия (11 с) – Звук оценки (11 с)
Эталонный звук	Принимаемый сигнал ВЧ радиовещания, на который наложены только промышленные шумы с условиями из таблицы А2-5
Оцениваемый звук	Принимаемый сигнал ВЧ радиовещания, на который наложены промышленные шумы и сигнал модема PLT с условиями из таблицы А2-5
Шкала оценок	Пятибалльная шкала искажений: 5: безупречно; 4: заметно, но не раздражает; 3: слегка раздражает; 2: раздражает; 1: очень раздражает
Аудиосодержание	P1: Речь (Женский голос) P2: Музыка (Мужской вокал и музыкальное сопровождение)
Средняя глубина модуляции	30% (Эквивалентно Рекомендации МСЭ-Р BS.703)
Промышленные шумы	Создаются генератором шума
Модем PLT	SS и OFDM
Напряженность поля сигнала модема PLT	Отношение E_{sig}/E_{plc} меняется от 10 дБ до 40 дБ с шагом 2 дБ для охвата всех оценок от 1 до 5
Испытатель	24 неквалифицированных слушателя
Метод прослушивания	Наушники

A2.5.2 Результаты испытаний

На рисунках А2-43–А2-46 показаны результаты испытаний на основе субъективных оценок для сигнала ВЧ радиовещания с напряженностью поля 30 дБ(мкВ/м) и 40 дБ(мкВ/м) в моделируемых условиях шума для сельской местности и деловых районов. Каждый график показывает результаты оценки для двух типов модемов PLT.

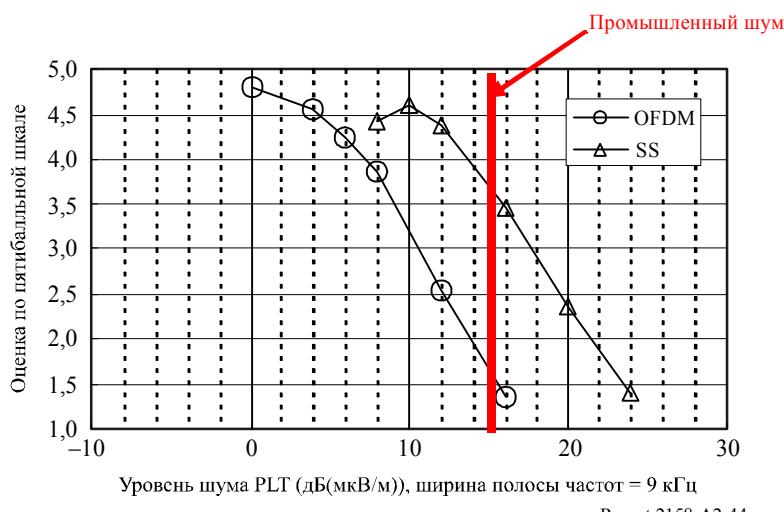
Делается вывод, что шум PLT может ухудшить качество принимаемого звукового сигнала ВЧ радиовещания, и что влияние зависит от шумовой обстановки (напряженность поля промышленных шумов), напряженности поля сигнала радиовещания и типа модема PLT. При определении критериев защиты, может потребоваться использовать окружающие шумы, а не суммарную мощность шума всей приемной системы.

РИСУНОК А2-43
Ухудшение качества звука, создаваемое шумами PLT
(Сигнал 40 дБ(мкВ/м) + шумы в сельской местности)



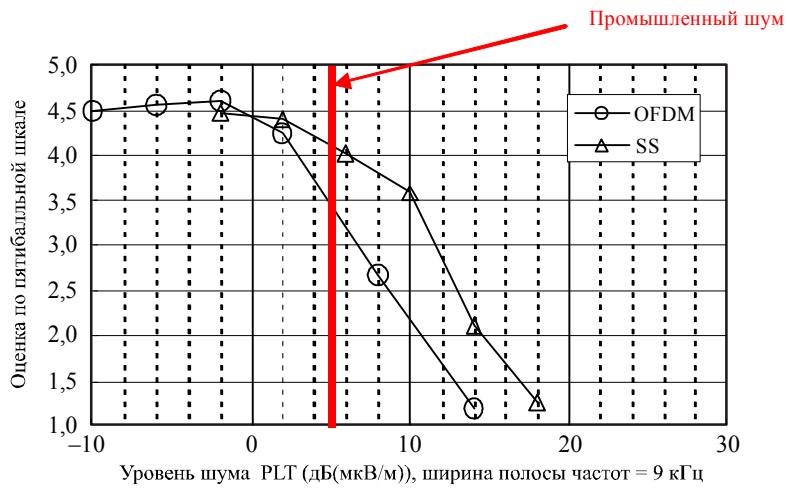
Report 2158-A2-43

РИСУНОК А2-44
Ухудшение качества звука, создаваемое шумами PLT
(Сигнал 40 дБ(мкВ/м) + шумы в деловой зоне)



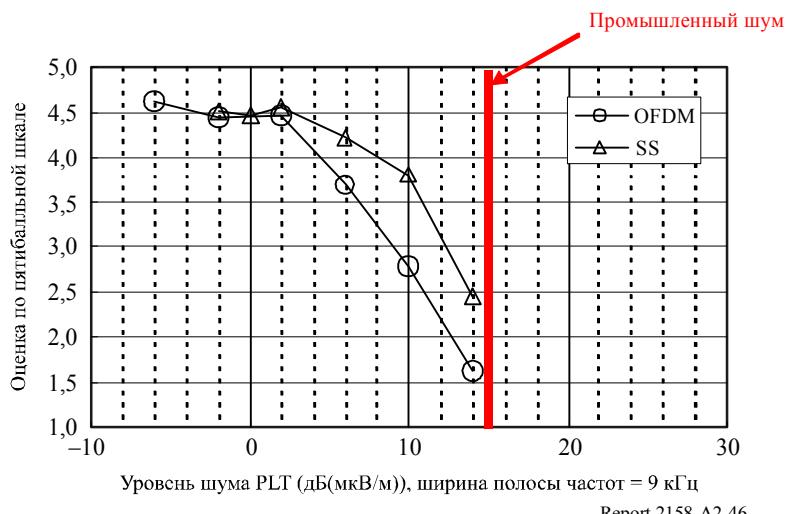
Report 2158-A2-44

РИСУНОК А2-45
Ухудшение качества звука, создаваемое шумами PLT
(Сигнал 30 дБ(мкВ/м) + шумы в деловой зоне)



Report 2158-A2-45

РИСУНОК А2-46
Ухудшение качества звука, создаваемое шумами PLT
(Сигнал 30 дБ(мкВ/м) + шумы в деловой зоне)



Report 2158-A2-46

A2.5.3 Оборудование для испытаний

ТАБЛИЦА А2-9
Перечень оборудования для испытаний

Оборудование	Спецификация или номер	Кол-во
Камера TEM EGT-1100 (ELENA ELECTRONICS CO., LTD)	Диапазон частот 3,9–26,1 МГц Минимальный уровень шума: 0 дБ(мкВ/м) или менее Макс. размер EUT = 600 куб. мм или более	1
модем PLT	(OFDM)	1
модем PLT	(SS)	1
V-LISN	V-LISN	1
Регулируемый аттенюатор	Шаг 2–3 дБ	2
Генератор шума	Agilent E4438C	1
Источник модулирующего сигнала	CD Player	1
Генератор стандартных сигналов	Panasonic VP-8121B	1
Комбайнер передаваемых сигналов		1
Спектроанализатор		1
ВЧ радиоприемник	SONY ICF-SW35	1
Антенна для ВЧ радиоприемника	SONY AN-LP1	1
DAT	SONY TCD-D100	1
Преобразователь О/Е	MOTU 308	1
Преобразователь USB	M.Audio Audiophile USB	1
Устройство записи	DAT (TASCAM DA45HR) PC (IBM THINKPAD R51)	1 1
Громкоговоритель для контроля	FOSTEX 6301B	1
Оборудование для субъективных испытаний с прослушиванием	Player, Headset (TASCAM DAHR) STAX Lambda Nova Signature STAX SRM-3, SRM-1/MK2	24
Испытатель	Неквалифицированный слушатель	24
Кабели и т. д.		По необходимости

A2.6 Анализ совместимости в отношении требований защиты ВЧ радиоустройств воздушной подвижной службы по отношению к устройствам PLT внутри зданий

A2.6.1 Введение

Для широкополосной связи в рамках низковольтных сетей электропитания переменного тока (НН АС) и установок внутри зданий, современные системы электросвязи по линиям электропередач используют диапазон частот 1705 кГц – 30 МГц.

Поскольку такие сети и установки никогда не проектировались для передачи полезных сигналов на частотах много выше частоты электротока (т. е. 50 или 60 Гц), уровень РЧ помех, излучаемых такими

установками, будет заметно расти с использованием PLT в реальных условиях. Без сомнения, такое увеличение радиошума может привести к намного большей вероятности помех радиоприему, как правило, в местах, где очень много работающих систем PLT.

Этот анализ совместимости направлен на защиту приемников, находящихся на воздушном судне воздушной подвижной службы.

Расчеты в этом документе должны показать степень, до которой приложения PLT могут создавать помехи приемнику воздушной подвижной службы, и какие возможности существуют для того, чтобы избежать или, как минимум, уменьшить эти помехи.

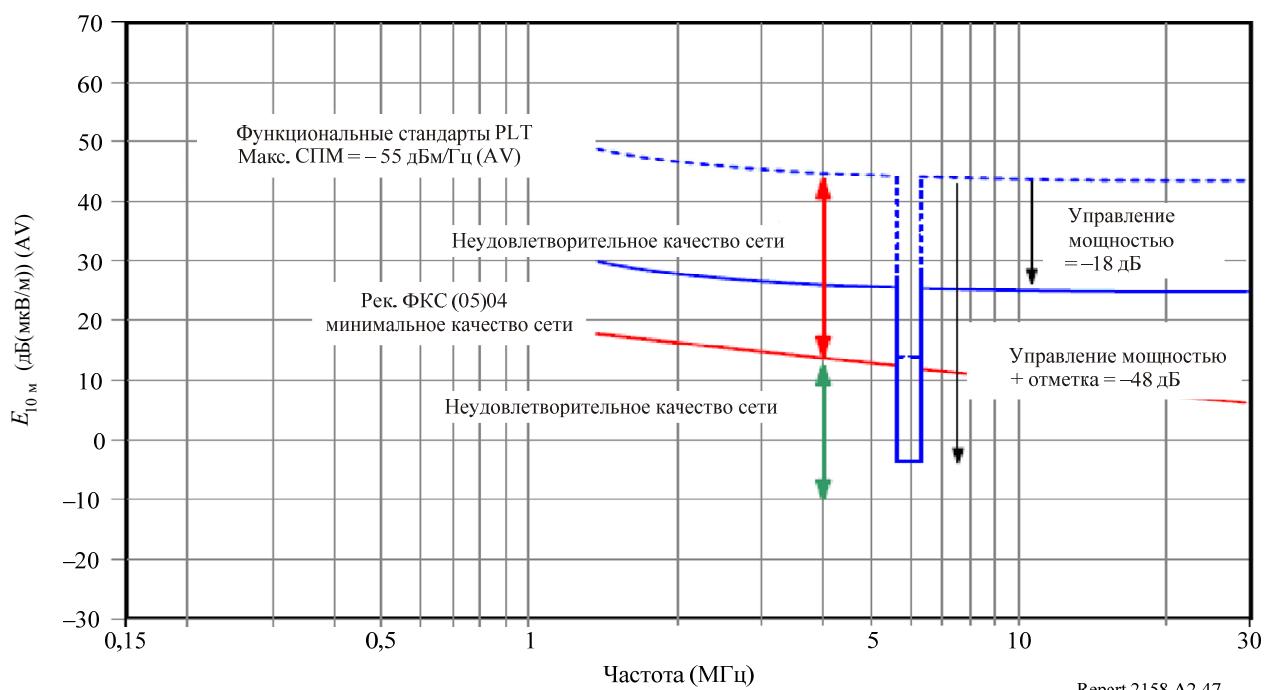
A2.6.2 Предположения для исследования

В соответствии с функциональными стандартами, устройства PLT для связи внутри зданий работают с максимальной спектральной плотностью мощности (PSD) -55 дБм/Гц или -73 дБм/Гц , соответственно. Типовое использование частот в кабеле в настоящее время охватывает диапазон от 1705 кГц до 30 МГц. Все коммерческие системы работают с передачей на нескольких несущих и используют OFDM (Ортогональное частотное уплотнение) вместе со схемами модуляции CSMA/CA (Многостанционный доступ с опросом несущей / предотвращение столкновений).

Учитывая статистически подтвержденные ВЧ свойства типичных устройств электропитания переменного тока в Европе внутри зданий, можно оценить уровень излучаемых РЧ помех, которые выходят из зданий, в которых действуют системы связи PLT. Для учета воздействия этих помех на приемники, находящиеся на воздушном судне, был разработан точечный источник, использующий моделирование с конечным набором элементов. Характеристики результирующего излучения этого источника показаны на рисунке A2-47 (синие кривые).

РИСУНОК А2-47

Приложения PLT, не обеспечивающие доступ, чисто электрическая компонента РЧ помех, излучаемых установками электропитания переменного тока в зданиях, по которым передается PLT (на расстоянии 10 м от внешней стены или крыши здания), влияние регулирования мощности и режекции (на частоте вблизи 6 МГц)
(ситуация в Европе, где применяется рекомендация ECC (05)04, сквозные потери линии связи PLT = 20 дБ)



Эти характеристики излучения представляет сценарий нормального случая работы устройств PLT. Моделируемое здание может содержать два или несколько связанных друг с другом устройств PLT и может содержать несколько отдельных квартир. Для сравнения, на рисунке A2-47 также показаны пределы, указанные в Рекомендации ECC (05)04, которые можно рассматривать как эталонную меру и допустимого качества устройства электропитания переменного тока (AC) и излучения из зданий, создаваемых, как правило, проводными системами широкополосной связи.

Синяя пунктирная линия показывает напряженность поля РЧ помех на расстоянии 10 м по наклонной линии от кабеля, по которому передаются сигналы связи PLT, или же, в данном анализе от здания в направлении z. Без применения мер для уменьшения помех, на всех частотах, используемых в кабелях для PLT, будет наблюдаться значительная напряженность поля РЧ помех. Этот график показывает напряженность поля РЧ помех, создаваемых устройствами PLT, которые используют PSD = -55 дБм/Гц. Для этого типа устройства PLT некоторые функциональные требования могут гарантировать, что устройства PLT оборудованы мерами подавления помех, например регуляторами мощности или режекторными фильтрами. Испытания на ЭМС таким образом, требуют проверки качества этих возможностей на уровне продукта.

Положительные эффекты этих функций ослабления на практике таковы, что, при нормальных условиях работы, регулировка мощности уменьшает уровень PSD на 18 дБ и также приводит к соответствующему снижению напряженности поля РЧ помех на 18 дБ, это показано на рисунке A2-47 (синие кривые).

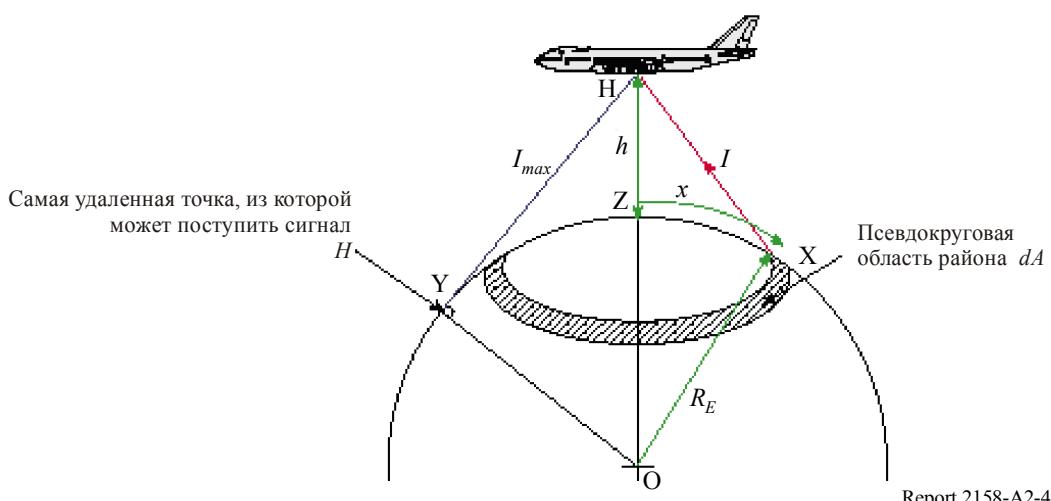
Дальнейшее уменьшение уровня PSD еще на 30 дБ может быть достигнуто несколькими методами режекции, но обычно ограничивается некоторыми уязвимыми частотами или полосами частот, используемыми для наземной связи. Влияние режекции плюс регулировка мощности показана в диапазоне 6 МГц. Для уязвимых частот напряженность поля РЧ помех может быть понижена еще примерно на 48 дБ.

A2.6.3 Модель совместимости/геометрические расчеты

Для того чтобы иметь возможность оценить помехи приемникам, находящимся на воздушном судне из-за суммарного влияния источников PLC используется следующая модель:

Приемник воздушного судна видит увеличение заметного минимального уровня шума. Геометрия задачи получена из рисунка A2-48.

РИСУНОК А2-48
Модель рабочей группы SE 35 ECC



Для помех, достигающих приемника по прямой (распространение в свободном пространстве):

$$f[x] = \frac{1}{4\pi l^2},$$

$$l = \sqrt{R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2},$$

где значения x и l физически ограничены и не должны превышать:

$$x_{max} = R_E \arccos[R_E / (R_E + h)] \text{ и } l_{max} = \sqrt{h(h + 2R_E)}, \text{ соответственно,}$$

$$f[x] = \frac{1}{4\pi \left(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2 \right)},$$

$$PFD = \frac{p_{TX} g_{TX} D R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{\left(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2 \right)} dx$$

и для нормализованной формы:

$$PFD_{\text{for unit EIRP density}} = \frac{R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{\left(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2 \right)} dx.$$

Эта модель учитывает влияние суммирования поверхности определенного источника помех относительно плотности источников помех (источников помех/км²). Соответствующая мешающая напряженность поля получается из плотности потока мощности, которая может затем сравниваться с различными порогами оценки. Расчеты выполнялись с использованием арифметической программы Mathcad.

A2.6.4 Порог оценки для радиоустройств воздушной службы

Поскольку используются пороги оценки для помех:

- максимально допустимая напряженность поля мешающего сигнала для приемника, находящегося на воздушном судне, измеренная в лаборатории; и
- минимальный уровень шума, измеренный во время измерительных полетов;

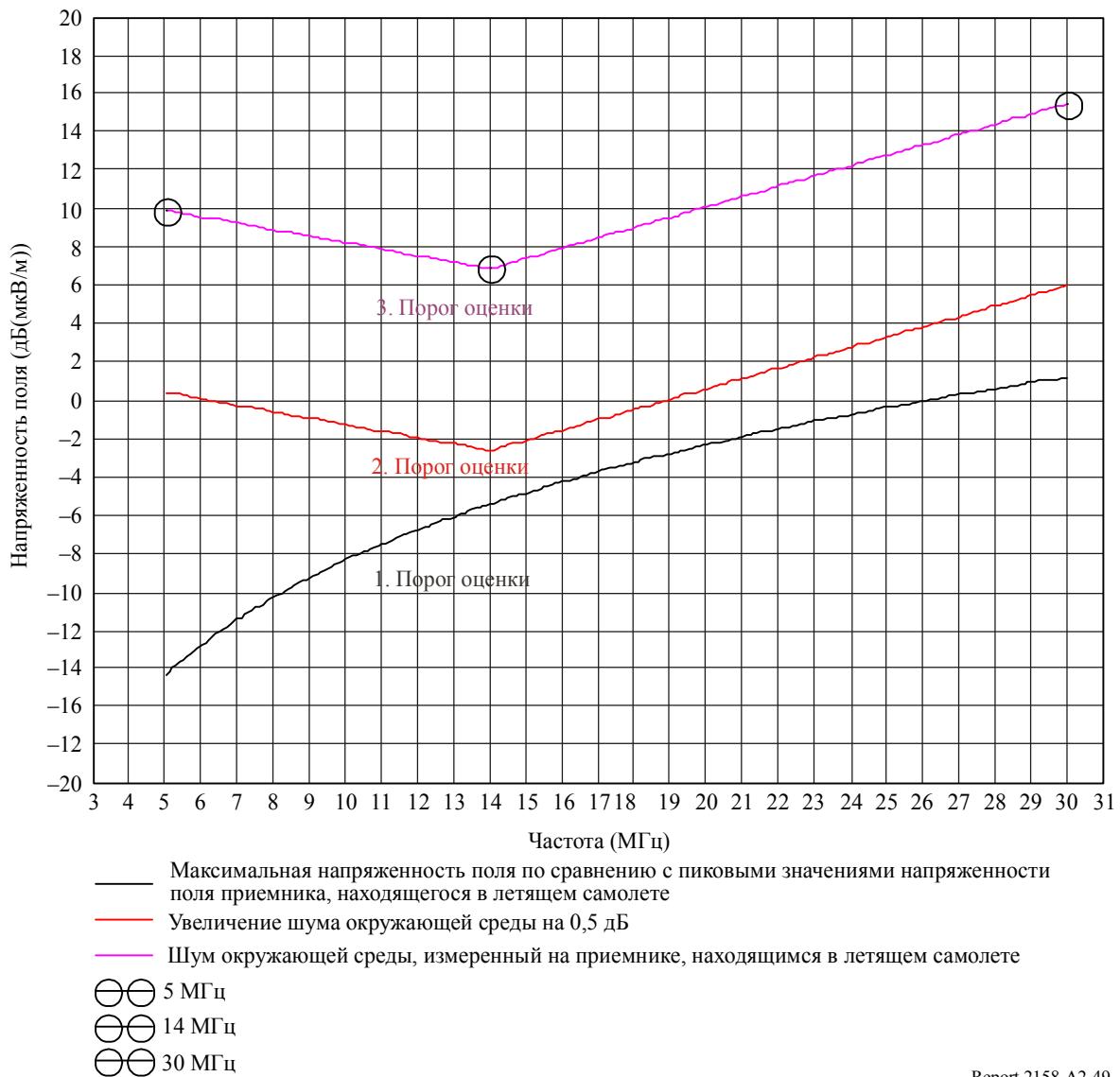
показанные на рисунке A2-49.

Измерительные полеты проводились в рамках рабочей группы BNetzA вместе с NARFA (National Allied Radio Frequency Agency), аэродромом Вооруженных сил Landsberg и ассоциацией Германских операторов кабельных сетей (ANGA). Было проведено три измерительных полета на различных высотах и, соответственно, минимальный уровень шума был измерен на частотах 5 МГц, 14 МГц и 30 МГц. Эти измеренные значения образуют, помимо максимально допустимой напряженности поля

источника помех (черная кривая на рисунке А2-49), второй порог оценки (розовая кривая на рисунке А2-49). Поскольку третий порог на рисунке А2-49 (красная кривая) равен примерно 9,5 дБ, нарисована уменьшающаяся кривая, в которой аналогичный шуму сигнала помехи генерирует общий шум, который увеличивает измеренный минимальный уровень шума не более чем на 0,5 дБ.

Увеличение минимального уровня шума на 0,5 дБ считается предельно допустимым для службы радиосвязи, пригодной для служб спасения, таких как воздушная подвижная радиосвязь.

РИСУНОК А2-49

Порог оценки относительно совместимости между PLT и воздушной радиосвязью

Report 2158-A2-49

A2.6.5 Результаты анализа

Рассмотрены напряженности поля, создаваемые приложением PLT, относительно трех порогов оценки. Следующие таблицы показывают, на сколько дБ должен быть уменьшен сигнал PLT для того, чтобы обеспечить совместимость в отношении соответствующего критерия оценки. Перечислены случаи применения регулировки мощности и режекции, а также случай, использующий комбинацию этих двух мер подавления помех.

Представленные расчеты основаны на плотности источников помех 250 источников помех/км², высоте воздушного судна 1 км и радиусе области помех 10 км. Характеристики излучения этих источников помех показаны на рисунке А2-47. В таблицах А2-10, А2-11 и А2-12 для различных критериев (чувствительность приемника, повышение шума на 0,5 дБ, повышение шума 3 дБ) показано, на сколько дБ необходимо уменьшить поверхность мешающего поля, создаваемого всеми точечными источниками PLT (для вышеуказанных случаев), для того, чтобы обеспечить совместимость на приемнике, находящемся на воздушном судне. Совместимость не обеспечивается даже при условии использования регулировки мощности и режекции. В таблице А2-13 приведены соответствующие корректирующие значения для различных плотностей источников помех.

ТАБЛИЦА А2-10

250 источников помех/км², радиус поля источника помех 10 км, высота полета 1 км

Чувствительность приемника	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц
PLT (-55 дБм/Гц)	-65 дБ	-59 дБ	-55 дБ	-52 дБ	-50 дБ	-49 дБ
PLT (регулировка мощности)	-47 дБ	-41 дБ	-37 дБ	-34 дБ	-32 дБ	-31 дБ
PLT (режекция)	-35 дБ	-29 дБ	-25 дБ	-22 дБ	-20 дБ	-19 дБ
PLT (регулировка мощности + режекция)	-17 дБ	-11 дБ	-7 дБ	-4 дБ	-2 дБ	-1 дБ

При максимальном увеличении на 0,5 дБ шума по сравнению с шумом, создаваемым мешающими сигналами PLT, регулировка мощности и режекция соответствующих частот на всех устройствах PLT гарантирует совместимость только выше 20 МГц (выделенные зеленым поля в нижней строке таблицы А2-11). Ниже 20 МГц рассчитанные значения выше, и имеют максимум равный 3,5 дБ.

ТАБЛИЦА А2-11

250 источников помех/км², радиус поля источника помех 10 км, высота полета 1 км

Увеличение шума на 0,5 дБ	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц
PLT (-55 дБм/Гц)	-50,5 дБ	-51,5 дБ	-51,5 дБ	-49 дБ	-46,5 дБ	-45,5 дБ
PLT (регулировка мощности)	-32,5 дБ	-33,5 дБ	-33,5 дБ	-31 дБ	-28,5 дБ	-27,5 дБ
PLT (режекция)	-20,5 дБ	-21,5 дБ	-21,5 дБ	-19 дБ	-16,5 дБ	-15,5 дБ
PLT (регулировка мощности + режекция)	-2,5 дБ	-3,5 дБ	-3,5 дБ	-1 дБ	1,5 дБ	2,5 дБ

В случае 3-го порога оценки (максимальное увеличение шума на 3 дБ) будет достаточно только регулировки мощности вместе с режекцией в соответствующем диапазоне частот (поля, выделенные зеленым в таблице А2-12). Однако этот порог оценки следует считать нереалистичным из-за удвоения мощности шума, поэтому требование пригодности для служб радиосвязи систем безопасности не выполняется.

ТАБЛИЦА А2-12

250 источников помех/км², радиус поля источника помех 10 км, высота полета 1 км

Увеличение шума на 3 дБ	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	25 МГц	30 МГц
PLT (-55 дБм/Гц)	-41 дБ	-42 дБ	-42 дБ	-39,5 дБ	-37 дБ	-36 дБ
PLT (регулировка мощности)	-23 дБ	-24 дБ	-24 дБ	-21,5 дБ	-19 дБ	-18 дБ
PLT (режекция)	-11 дБ	-12 дБ	-12 дБ	-9,5 дБ	-7 дБ	-6,5 дБ
PLT (регулировка мощности + режекция)	7 дБ	6 дБ	6 дБ	8,5 дБ	11 дБ	12 дБ

Для значений плотности источников помех, отличных от 250 источников помех/км² могут использоваться следующие корректирующие значения.

ТАБЛИЦА А2-13
Коррекция плотности источников помех

Плотность источников помех (источников помех /км ²)	Корректирующее значение (дБ)
50	7 дБ
100	4 дБ
150	2 дБ
200	1 дБ
250	0 дБ
300	-1 дБ

A2.6.6 Другие определители

В вышеприведенном исследовании использовалась плотность источников помех как наиболее приемлемый параметр совместимости. Исследование с другими параметрами, такими как высота полета, радиус поверхности рассматриваемого источника помех или так называемые хот-споты (активные части) показали пренебрежимо малое влияние на расчеты.

A2.6.7 Требования к устройствам PLT для защиты ВЧ воздушной подвижной службы

Необходимая защита приемников, находящихся на воздушном судне воздушной подвижной службы от помех бесспорно необходима. Вопрос в том, до какой степени и какими средствами можно это гарантировать без негативного влияния на развивающуюся технологию PLT.

CISPR рассматривает вопрос, могут ли на уязвимых радиочастотах использоваться такие меры подавления как режекция для снижения PSD полезного сигнала PLT на постоянной основе или, на динамический основе, с адаптацией к местным условиям радиоприема и типу службы радиосвязи.

Приложение 3

Радиочастотные излучения со стороны систем электросвязи по линиям электропередач

A3 Радиочастотные излучения со стороны систем электросвязи по линиям электропередач

A3.1 Измерение РЧ уровней непреднамеренных излучений, создаваемых линиями PLT доступа в полосах ВЧ

A3.1.1 Введение

Системы электросвязи по линиям электропередач (PLT) широко применяются для предоставления таких новых возможностей пользователям, как передача данных, услуги интернета и разрешение проблемы подключения последней мили. Тем не менее ненамеренно излучаемая энергия может вызвать вредные помехи соседним системам, работающим на частотах от 1700 кГц до 80 МГц, которые включают в себя полосы ВЧ.

A3.1.2 Цель

Разработка всестороннего и практического анализа уровней излучения PLT и возможным помех системам ВЧ.

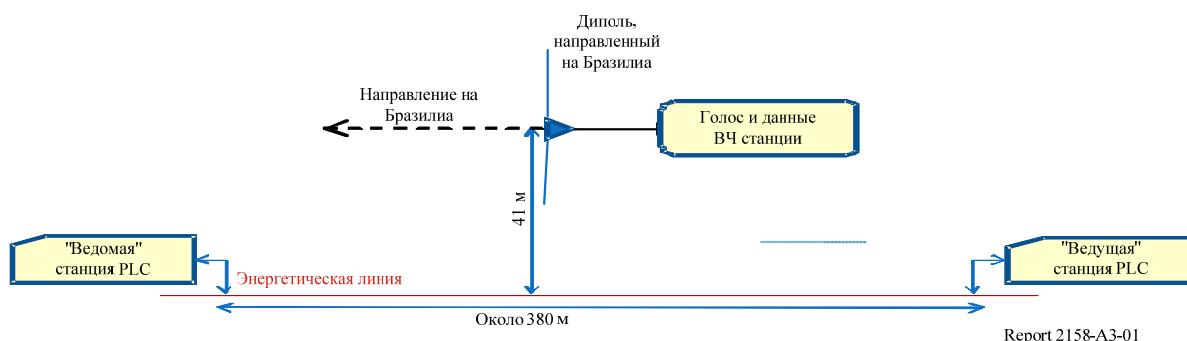
A3.1.3 Основная причина помехи

Основная причина помехи объясняется наличием устройств, которые излучают достаточно энергии, чтобы прервать или нарушить работу других регулируемых систем. Затем в качестве первого подхода важно иметь представление о максимальных уровнях РЧ от источников помех, которые могут поддерживаться системами связи ВЧ без причинения какого-либо вреда.

A3.1.4 Описание испытаний

С целью предварительного исследования уровней излучения в полосах ВЧ, некоторые испытания проводились в Бразилии. Испытания проводились в Кампинасе, Сан-Паулу, с использованием схемы, показанной на рисунке А3-1. Было установлено оборудование PLT второго поколения на низковольтную линию электропередач (380 м) и антенна ВЧ, расположенная на расстоянии 41 м от него. Станция в Кампинасе связывалась со станцией в Бразилии по линии ВЧ для передачи и приема голоса и данных. Из-за размера антенны ВЧ (широкополосный диполь), было невозможно легко изменить ее положение, поэтому антенна оставалась в одном положении.

РИСУНОК А3-1
Диаграмма PLT, антенна и станция ВЧ



В начале были собраны некоторые измерения шума окружающей среды, для того чтобы получить данные по занятости спектра при неработающей PLT. Измерения проводились в блоках по 2 МГц ширина полосы от 3 до 30 МГц, пример представлен на рисунке А3-2.

РИСУНОК А3-2
Занятость окружающего спектра



Report 2158-A3-02

На рисунке А3-3 мы можем видеть спектр в полосе от 3 до 12 МГц при неработающей PLT, а на рисунке А3-4 показана энергия PLT в той же полосе частот.

РИСУНОК А3-3

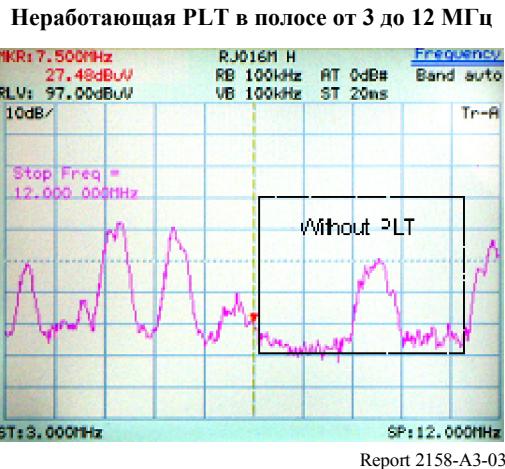
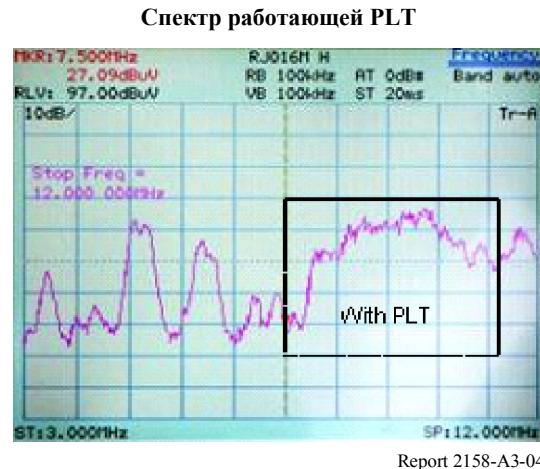


РИСУНОК А3-4



На рисунке А3-5 показан спектр PLT, работающей в полосе от 7,98 до 12,5 МГц, а на рисунке А3-6 показано другое оборудование PLT, работающее в широкой полосе частот от примерно 3 до 30 МГц.

РИСУНОК А3-5



РИСУНОК А3-6



Уровни PLT были зафиксированы антенной ВЧ для предоставления той же информации, которая принималась системой ВЧ. Уровни, показывающие работу PLT, больше 60 дБ(мкВ) в некоторых участках спектра.

Линия ВЧ обеспечила уровни приема в Кампинасе от приблизительно 13 до 49 дБ(мкВ) (испытания основаны на 1 кГц испытательного тонального сигнала). Когда работал PLT, передача данных ВЧ была заблокирована и возникли сильные шумы на звуковом приемнике, полностью заглушающие прием голоса.

Уровень PLT на заданном расстоянии был настолько велик, что стал причиной вредной помехи. Уровень PLT пошагово снижался для проверки порогового значения помехи. Однако на этом расстоянии, на любом уровне PLT передача данных была блокирована, поэтому не удалось достигнуть порогового значения.

A3.1.5 Комментарии

Энергия, излучаемая системами электросвязи по линиям электропередач обладает потенциальной способностью создавать помехи системам связи ВЧ и в других полосах частот, что было ясно показано на испытаниях. Следовательно, необходимо применить некоторые методы уменьшения помех, чтобы сделать возможным совместное использование спектра ВЧ.

Теоретически, если мы рассмотрим параметры чувствительности оборудования ВЧ, то можно оценить максимальный приемлемый уровень PLT, при котором можно было бы избежать помех. Например, для 10 дБ SINAD 0,5 мкВ, что соответствует -6 дБ(мкВ) (минимальные входные уровни ВЧ), максимальный уровень, созданный PLT, должен был быть равен -16 дБ(мкВ), что может быть ниже уровня фонового шума в некоторых местах.

Модель излучения для линий электропередач, которая аналогична антенне, сталкивается с некоторыми сложными вопросами, такими как учет нарушений геометрии, различные соседние условия окружающей среды, сельские и жилые районы, и т. д. Эти аспекты могут сильно изменить характер распространения радиоволн и не обеспечить достоверность результатов. Кроме того, соседние зоны расположены в ближних зонах (реактивная зона или зона Френеля), и тогда задача прогнозирования уровней излучаемых частот при помощи общей модели становится сложной.

Эти рассматриваемые аспекты приводят к эмпирическим испытаниям, с тем чтобы иметь практическое представление о необходимости согласования минимальных расстояний от систем PLT до систем ВЧ. Вследствие этого, больше испытаний было проведено в Порто-Алегре, Риу-Гранди-ду-Сул в Бразилии, где работает система электросвязи по линиям электропередач.

Линия ВЧ была установлена между станциями Порто-Алегре и Рио-де-Жанейро. Испытания проводились в апреле 2008 года с использованием мобильных станций ВЧ с гибкой штыревой антенной. Механизм испытаний в основном был тот же, что и в Кампинасе, различие состояло в способности станции ВЧ двигаться вдали от источника PLT и способности собирать больше данных непрерывно.

Вредная помеха от систем PLT системам ВЧ возникла и была уменьшена на расстояниях более 450 м линий электропередач. Важно отметить, что это считается коротким расстоянием линии связи ВЧ (один скачок в ионосфере), на котором обычно сигнал сильнее, чем на линии связи на большое расстояние, так что минимальное расстояние от PLT вероятно придется увеличить, чтобы избежать помех.

A3.1.6 Возможный метод уменьшения помех

Используя в качестве критериев средние уровни приемников ВЧ на длинных (более 1500 км) и коротких (до 1500 км) линиях связи, целесообразно рассмотреть некоторые фактические расстояния от систем электросвязи по линиям электропередач до станций ВЧ для уменьшения или ослабления помех.

- a) линии связи ВЧ на длинные расстояния: 1000 м; и
- b) линии связи ВЧ на короткие: 500 м.

Пространственное разнесение необходимо для обеспечения минимальной уверенности в предотвращении помех от систем PLT системам ВЧ.

A3.1.7 Выводы

Методы моделирования для оценки уровней излучения системами РЧ линий электропередач будет полезен только вблизи линейных линий.

Уровни PLT, оцениваемые с помощью рамочных антенн, могут дать нам приблизительную оценку возможной помехи, однако из-за резкого изменения уровней ВЧ в дневное и ночное время нет возможности рассмотреть вопрос о точных значениях пороговых уровней.

Системы PLT вблизи служб АМ радиовещания, вероятно, будут создавать помехи, если системы PLT работают на тех же частотах.

Сбор данных об измерениях систем PLT, находящихся на площадках соседних по отношению к системам ВЧ, может обеспечить правильное представление об уровне распространения сигнала в практическом смысле и вероятно должно подходить для определения помеховых расстояний.

Практический подход по уменьшению помех может быть использован в случае максимальной помехи, когда станция ВЧ установлена вблизи от работающей системы электросвязи по линиям электропередач и использует расстояния, указанные в пункте 6, в качестве критерия защиты станций, которые применяются на коротких и длинных линиях ВЧ.

A3.2 Измерения создаваемых излучений от устройств электросвязи по линиям электропередач, находящихся внутри зданий в условиях жилой застройки в Канаде

A3.2.1 Введение

Более поздние измерения сделаны Китагава и Охиши⁵⁵, Североамериканская радиовещательная ассоциация (NABA) подписала договор с Центром исследований в области связи (CRC), Канада, для проведения измерений излучений от устройств электросвязи по линиям электропередач (PLT), работающих в условиях жилой застройки. В настоящем разделе описываются процедуры испытания и результаты измерений напряженности поля излучений PLT, для того чтобы определить возможность создания помех устройствами PLT. Отчет Центра исследований CRC⁵⁶ прилагается в Дополнении 1. Измерения четко указывают на необходимость предоставить защиту от помех радиовещательной службе (BS). Поскольку устройства PLT работают без распределения частот в Регламенте радиосвязи МСЭ, соответствующие критерии защиты для радиовещательной службы можно найти в Рекомендации МСЭ-R BT.1786.

A3.2.2 Измерение проведенной мощности – Процедура и результаты испытаний

В общей сложности для испытаний были рассмотрены восемь коммерчески доступных устройств PLT, представляющих различные стандарты. Эти устройства были легкодоступны в Соединенных Штатах Америки, Канаде и Японии. Устройства PLT, как показано в таблице A3-1, перед натурными испытаниями были исследованы в лаборатории Центра исследований CRC.

Как можно увидеть в таблице A3-1, во многих устройствах PLT использовался один и тот же стандарт или разные версии одного и того же стандарта. После лабораторной оценки было решено ограничивать число устройств PLT, использующих один и тот же стандарт для натурных испытаний. Для натурных испытаний были отобраны устройства PLT 2, 3 и 6.

Лабораторная установка для измерения проведенной мощности представлена на рисунке A3-7. Под источником переменного электрического тока имеется в виду мощность, потребляемая от сети CRC через повышающий трансформатор и блок прерывателя, для того чтобы изолировать и преобразовать переменный ток со 110 до 120 В и получить однофазное напряжение 60 Гц. Две розетки, используемые для подключения пары устройств PLT, были связаны с заземленным электрическим кабелем 14/2 длиной 1,75 м, применяемым в типовых строениях жилой застройки. Для передачи данных каждому устройству PLT выделяется компьютер. Один компьютер отправляет большой файл на принимающий компьютер.

Измерения мощности для сигналов ниже 30 МГц были проведены с использованием анализатора спектра Agilent E4405B, установленного с разрешением по полосе пропускания 9 кГц и использующим пиковое обнаружение и максимальное удержание канала 10 секунд. Для того чтобы с помощью анализатора спектра измерить проведенный от устройств PLT сигнал требуется фильтр переменного тока, необходимой для устранения 60 Гц, составляющей от со 110 до 120 В. Фильтр переменного являлся LC-фильтром 2-го порядка с частотой среза от 1 МГц.

⁵⁵ KITAGAWA, M. and OHISHI, M. [March 2008] Measurements of the radiated electric field and the common mode current from the in-house broadband power line communications in residential environment I. IEICE Tech. Rep., Vol. 107, 533, EMCJ2007-117, p. 1-6.

⁵⁶ <http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf>.

ТАБЛИЦА А3-1

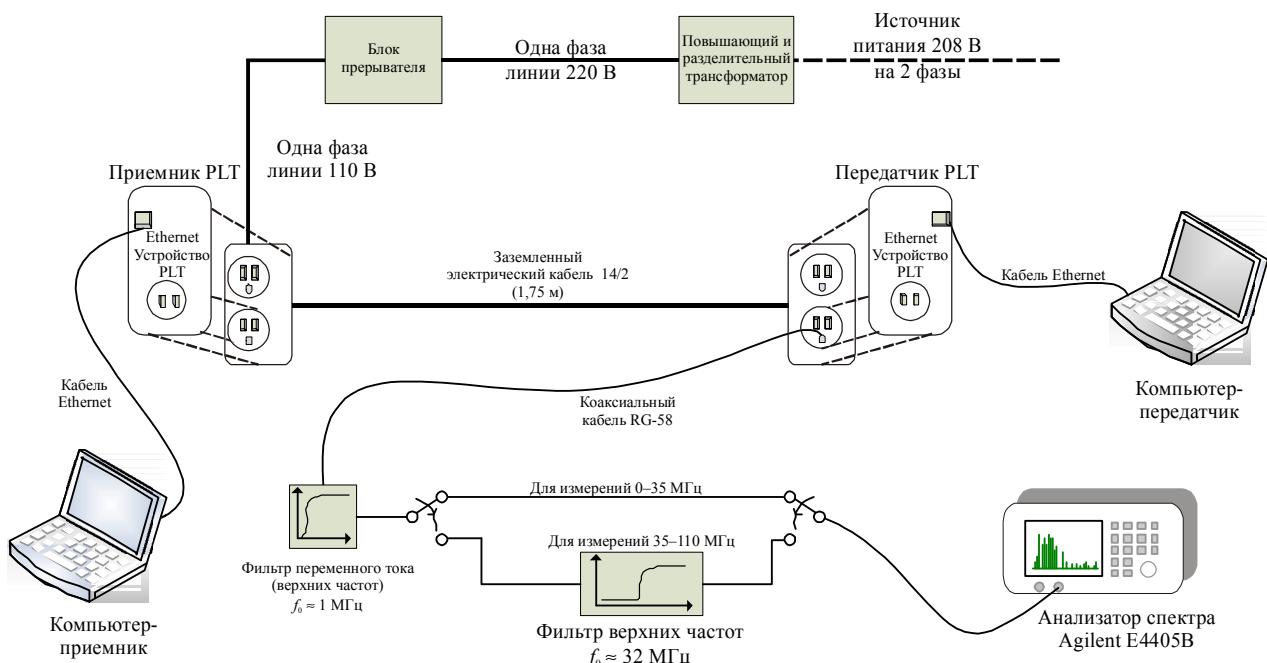
Перечень устройств PLT, которые оценивались для проведения натурных испытаний

№ устройства	Производитель	Модель	Стандарт PLT	Технические характеристики производителя		
				Скорость передачи данных (Мбит/с)	Рабочий диапазон частот (МГц)	Район
1	TrendNet	TPL-202E	HomePlug 1.0 Turbo	85	4,5–21,0	Северная Америка
2	Panasonic	BL-PA100	HD-PLC	190	4,0–28,0	Северная Америка
3	Linksys	PLK200	HomePlug AV	100	Not Specified	Северная Америка
4	NetGear	XE102GNA	HomePlug 1.0	14	4,3–20,9	Северная Америка
5	NetGear	XE103G-100NAS	HomePlug 1.0	85	4,3–20,9	Северная Америка
6	NetGear	HDX101-100NAS	UPA	200	2,0–30,0	Северная Америка
7	Logitec	LPL-TX/S	UPA	200	2,0–30,0	Япония
8	CNC	CNC-1000	HomePlug 1.0	85	4,3–20,9	Япония

Для измерения низких уровней сигнала выше 30 МГц с более высокой точностью, использовался фильтр верхних частот для ослабления несущих основного сигнала PLT, который находится в рабочем диапазоне частот. Это было необходимо для измерения излучений до 110 МГц без перегрузки анализатора спектра. Как показано на рисунке А3-7, были использованы две лабораторные установки, одна с фильтром высоких частот и одна без него. Фильтр верхних частот был предоставлен Tin Lee Electronics Ltd., номер модели HP7 30/33(40) B50, с частотой среза 32 МГц на -3 дБ. Были проведены только измерения выше 35 МГц, записанные с помощью данного фильтра верхних частот. Разрешение по полосе пропускания для данных измерений составило 120 кГц.

РИСУНОК А3-7

Испытательная установка для измерений проведенной мощности устройств PLT



Измерения проведенной мощности проводились для диапазона частот от 0 до 110 МГц с использованием двух режимов работы: режима передачи данных и ждущего режима. Целью испытаний являлось определение уровня выходного сигнала, подаваемого в линию электропередач на частоте выше 110 МГц в двух режимах, а также измерение ширины полосы частот и определение формы спектра устройств PLT.

Для того чтобы получить хорошую точность, измерения производились в диапазоне от 0 до 110 МГц с последовательным шагом по частоте 10 МГц, при помощи анализатора спектра с полосой пропускания 9 кГц, используя пиковое значение. Как правило, эталонный уровень анализатора спектра устанавливается как можно более низким, с тем, чтобы не создать при этом перегрузки спектра. Для получения более точных измерений на частотах выше 35 МГц использовался фильтр верхних частот, из-за этого в результатах, полученных на частоте 35 МГц, можно наблюдать неоднородность минимального уровня шума.

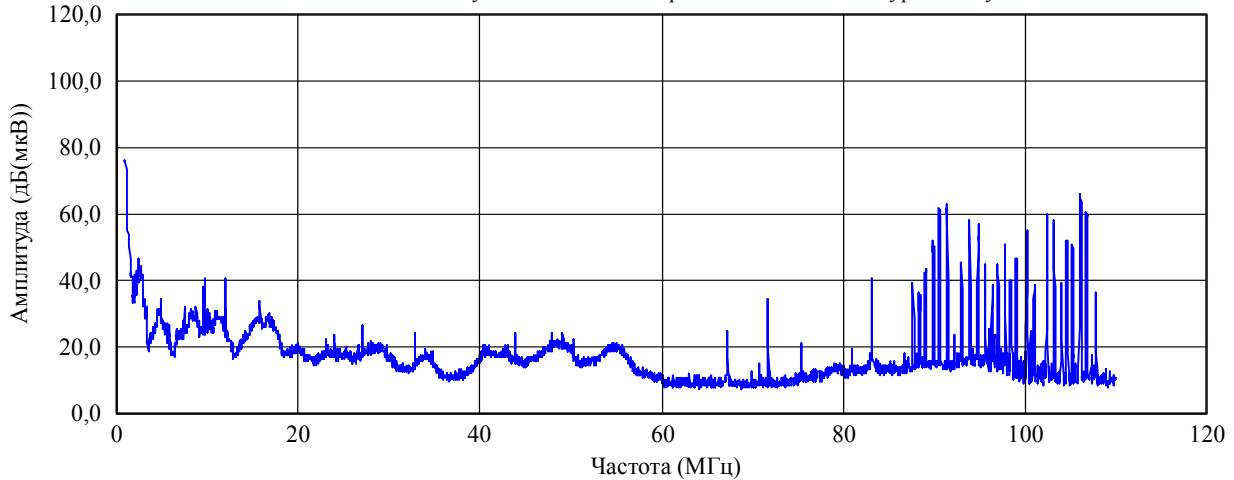
На рисунке А3-8 показано измерение минимального уровня шума на испытательной установке. На рисунке видно, что электрическая линия испытательной площадки действовала в качестве антенны, которая захватывала сигналы от другой системы радиосвязи. Пики между 85 МГц и 108 МГц являются местными радиостанциями FM, в то время как другие пики на других частотах были периодическими и, вероятно, создавались другими системами радиосвязи. Необходимо было принять это во внимание при взгляде на результаты проведенного излучения.

Результаты для устройств PLT 2, 3 и 6 показаны на рисунках А3-9, А3-10 и А3-11, соответственно. Синяя кривая показывает проведенный сигнал при передаче данных и зеленая кривая (обычно, нижний канал) показывает проведенный сигнал в ждущем режиме. Как видно из рисунков, уровень сигнала в ждущем режиме не превышает уровень сигнала в режиме передачи данных. Кроме того, устройства, проходящие испытание, не работают одинаково в ждущем режиме. Устройства PLT 2 и 3 передавали периодические несущие, для того чтобы сохранить канал открытым и синхронизированным, тогда как устройство 6 постоянно передавало сигнал с полной шириной полосы. Результаты измерений, проведенных для других устройств PLT, приведены в Дополнении А Отчета Центра исследований CRC, содержащегося в Дополнении 1 к настоящему Приложению.

РИСУНОК А3-8

Испытательная установка для проведенных измерений минимального уровня шума

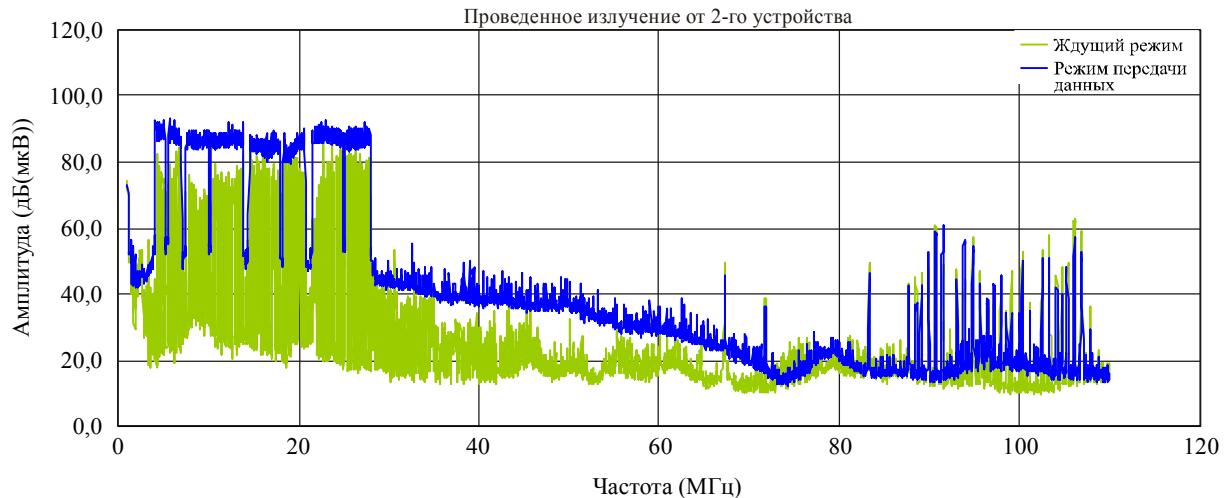
Испытательная установка для измерения минимального уровня шума



Report 2158-A3-08

РИСУНОК А3-9

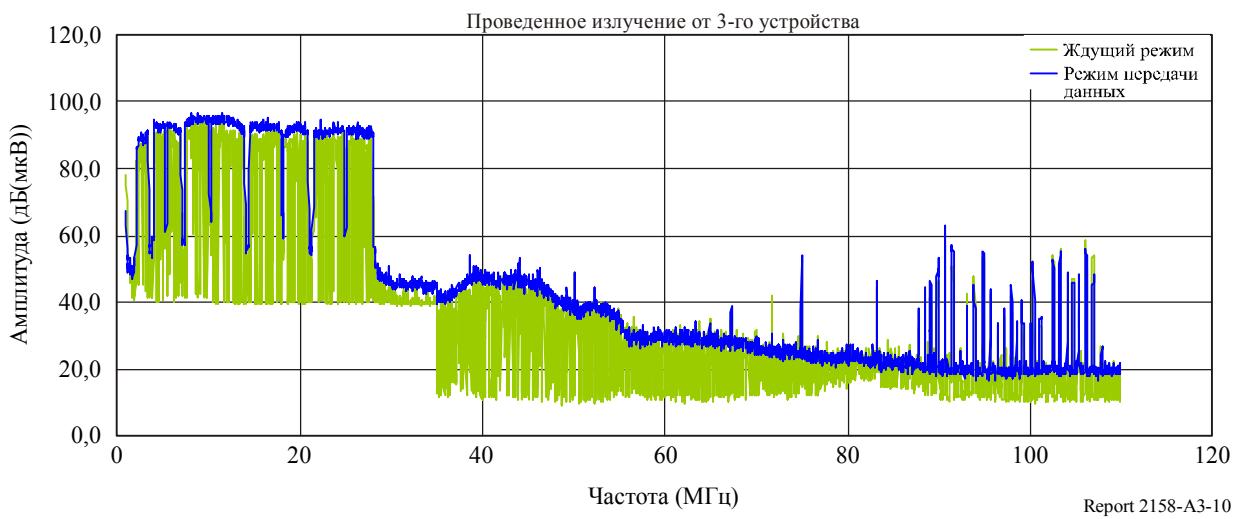
Проведенная мощность от 2-го устройства (стандарт HD-PLC)



Report 2158-A3-09

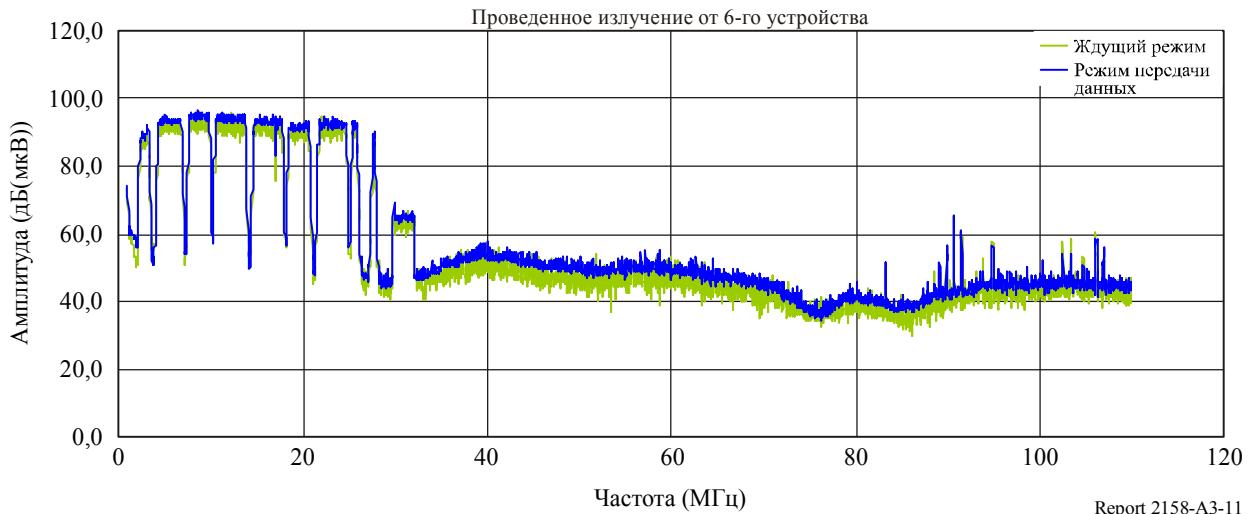
РИСУНОК А3-10

Проведенная мощность от 3-го устройства (стандарт Homeplug AV)



Report 2158-A3-10

РИСУНОК А3-11

Проведенная мощность от 6-го устройства (стандарт UPA)

Данные результаты показывают, что даже если устройство PLT не передает данные, устройство активно создает излучения. Также было обнаружено, что даже если устройство PLT работает ниже 30 МГц, устройство имеет излучения, по крайней мере, до 80 МГц.

A3.2.3 Измерения напряженности поля – Процедура и результаты

Измерения напряженности РЧ поля проводились с использованием одно- и двухэтажного жилых зданий недалеко от Оттавы, Канада. Большая часть здания была подключена к распределительной электрической сети (одна фаза 220 В) через подземные линии, но другая часть была подключена с использованием воздушных линий. Фронтальная и задняя части здания находились на достаточном расстоянии, чтобы провести измерения напряженности поля на расстоянии три и десять метров от наружных стен, таким образом эти направления были выбраны для проведения измерений.

В общей сложности 17 зданий разных проектов и построенных из различных материалов были отобраны для натурных испытаний, как показано в таблице А3-2. В таблице обобщаются данные каждой испытательной площадки, включая тип здания, материал наружных стен и тип электрической линии, используемой для подключения здания к сети электроснабжения в окрестности (подземные или воздушные линии). В Дополнении В к Отчету Центра исследований CRC, содержащемуся в документе, приложенном к настоящему Приложению, представлено полное описание всех 17 испытательных площадок, включая фотографии и схему каждого здания.

ТАБЛИЦА А3-2
Описание площадок натурных испытаний

№ площадки	Тип здания	Материал наружной стены				Электри- ческая линия	
		Фронтальная стена		Задняя стена			
		1-й этаж	2-й этаж	1-й этаж	2-й этаж		
1	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	винил	винил		подземная	
2	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	кирпич/Canaxel	кирпич	Canaxel		
3 ⁽¹⁾	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	кирпич/винил	винил			
4	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	кирпич	кирпич	алюминий		

ТАБЛИЦА А3-2 (окончание)

№ площадки	Тип здания	Материал наружной стены				Электри- ческая линия	
		Фронтальная стена		Задняя стена			
		1-й этаж	2-й этаж	1-й этаж	2-й этаж		
5	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич		кирпич	алюминий	подземная	
6	Двухэтажный таунхаус	кирпич	кирпич/винил	винил			
7	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич		винил			
8	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич		винил			
9	Отдельно стоящее бунгало	кирпич	н/о	винил	н/о		
10	Двухэтажный таунхауз	кирпич	алюминий	алюминий	алюминий		
11	Отдельно стоящее бунгало	штука-турка	н/о	штука-турка	н/о		
12	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	винил	винил		воздушная	
13	Стороны разделены, отдельно стоящее	кирпич		кирпич	винил	подземная	
14	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	тонкая доска	кирпич	тонкая доска	воздушная	
15	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	алюминий	кирпич	алюминий		
16	Двухэтажное, отдельно стоящее	кирпич	кирпич/тонкая доска	винил		подземная	
17	Двухэтажное, отдельно стоящее, с мансардой	кирпич	кирпич/винил	винил			

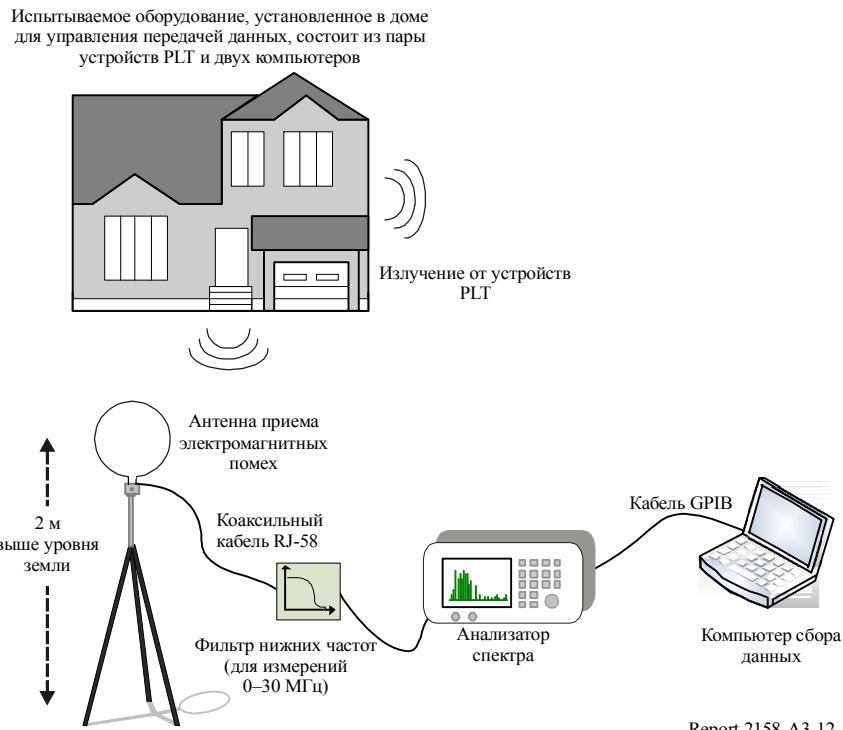
(1) Данные от 3-й испытательной площадки не были использованы при анализе. Было установлено, что в ходе испытаний в соседнем здании использовались устройства PLT, что оказало влияние на результаты.

Устройства PLT (2, 3 и 6) проходили испытания в парах одной и той же модели, подключенных к розеткам переменного тока внутри здания. Устройства были расположены внутри здания на достаточно большом расстоянии друг от друга, что представляет собой реальную домашнюю сеть. Устройства были расположены так, чтобы одно устройство из пары PLT находилось в комнате рядом с фронтальной частью здания и другое устройство недалеко от задней части здания. В случае двухэтажных зданий одно устройство PLT располагалось на первом этаже, а другое на втором этаже. Каждое устройство PLT подключалось к персональному компьютеру. Устройства PLT проходили испытания в двух режимах работы: режиме передачи данных для всех зданий и ждущем режиме для нескольких выбранных зданий. Измерения в режиме передачи данных проводились, когда между двумя компьютерами передавались файлы большого объема. Эталонные измерения шума окружающей среды также проводились на месте каждого измерения.

Напряженность РЧ поля измерялась при помощи калиброванной пассивной антенны для диапазона частот от 0 до 30 МГц (EMC Test Systems, модель 6512) и калиброванного пассивного диполя для частот от 30 до 108 МГц (A.H. Systems Inc. волновой адаптер модели SAS-530 и элементы свертки модели SAS-542). Для того чтобы провести измерения напряженности поля (дБ(мкВ/м)) коэффициент антенны этих антенн строго калибруется. Антенны располагались на 2 м выше уровня земли. Измерения проводятся на расстояниях 3 м и 10 м от фронтальной и задней наружной стены здания.

На рисунке А3-12 показана испытательная установка для измерений напряженности РЧ поля. При измерениях ниже 30 МГц, для того чтобы не перегружать анализатора спектра и для устранения сигналов ОВЧ высокой мощности (FM и телевизионных станций), использовался фильтр низких частот (Tin Lee Electronics Ltd., модель LP7E-30-37 B50, частота среза 31 МГц на уровне -1 дБ, частота среза 35 МГц на уровне -40 дБ), подключенный между антенной и анализатором спектра.

РИСУНОК А3-12
Испытательная установка для измерения напряженности РЧ поля



Report 2158-A3-12

На рисунке А3-13 показано измерение минимального, максимального и среднего значения окружающего шума (среднее линейное напряжение преобразуется обратно в дБ) для 16 испытательных площадок. Вкладом окружающего шума на некоторых частотах при измерении напряженности поля нельзя было пренебречь. Большинство пиков сигналов большой мощности, как полагают, происходят от любительских или коротковолновых станций. Другие источники шума, такие как электродвигатели (печь, холодильник и другие приборы), возможно, способствовали повышению окружающего шума.

Для целей анализа измеренной напряженности РЧ поля, все измерения произведенные на 16 зданиях, были сгруппированы по соответствующим устройствам и расстояниям от здания. Обратите внимание, что 3-я испытательная площадка не включена в этот статистический анализ из-за помех от соседних устройств PLT. С рисунка А3-14 по рисунок А3-19 показан статистический анализ для трех устройств. На каждом рисунке показаны максимальные, минимальные и средние значения напряженности РЧ поля, измеренные для каждого устройства. Более того, в исследовании использовались измерения от 16 зданий для расчета доверительного интервала, который должен представлять ожидаемое максимальное значение напряженности поля от устройств PLT, создающих излучения от типового здания. 95% доверительного интервала напряженности РЧ поля рассчитывается от стандартного отклонения выборок от 16 зданий, с учетом нормального распределения. Показана верхняя и нижняя граница этого 95% доверительного интервала. Расчеты в этом статистическом анализе производились с линейными значениями. Как отмечалось выше, вкладом помехи от других источников, помимо устройств PLT, нельзя было пренебречь и удалить из статистического анализа.

РИСУНОК А3-13

Усредненное распределение окружающего шума для 16 испытательных площадок на расстоянии 3 м и 10 м

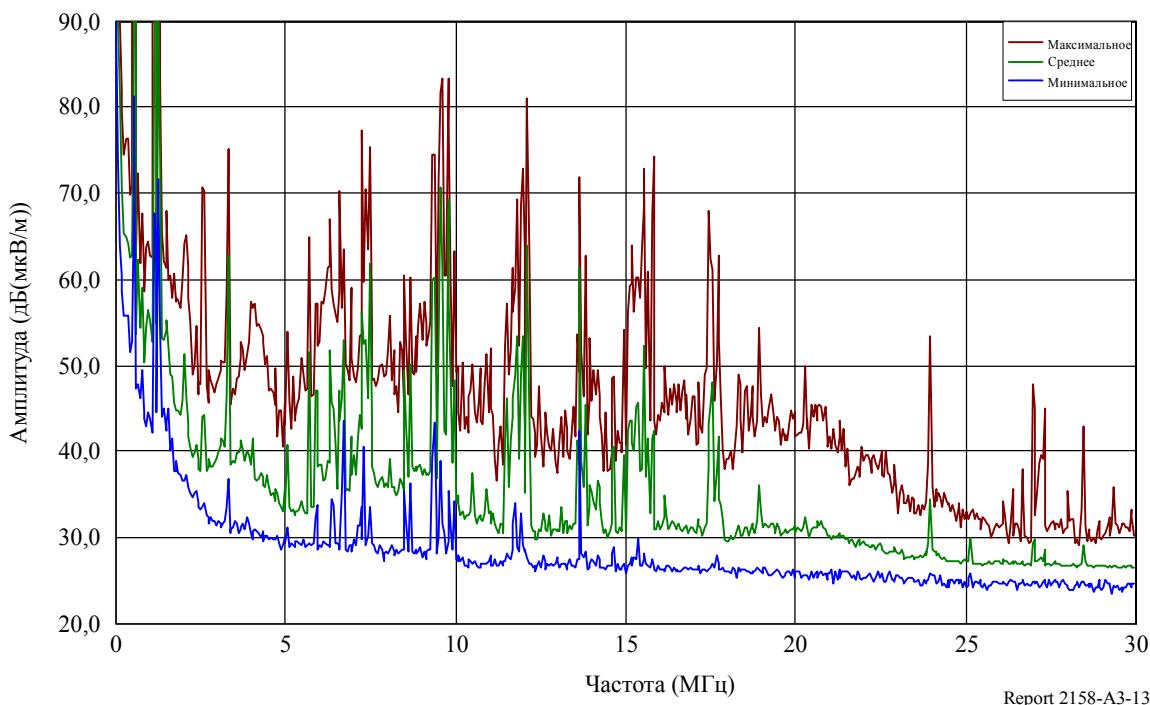


РИСУНОК А3-14

Распределение напряженности РЧ поля на расстоянии 3 м, 2-е устройство PLT (HD-PLC)

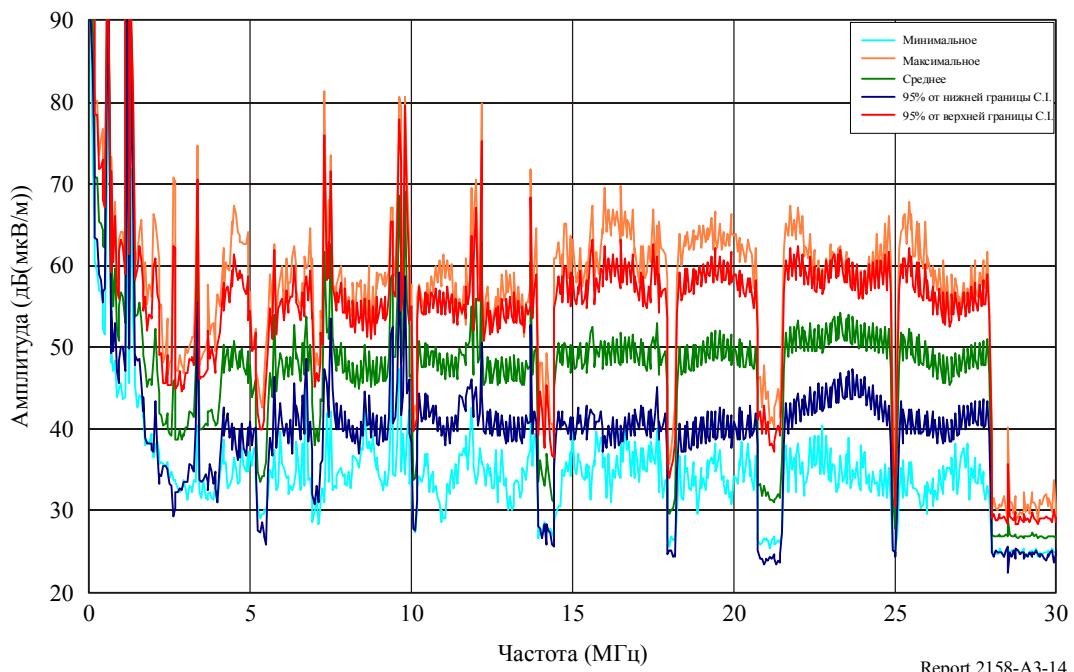
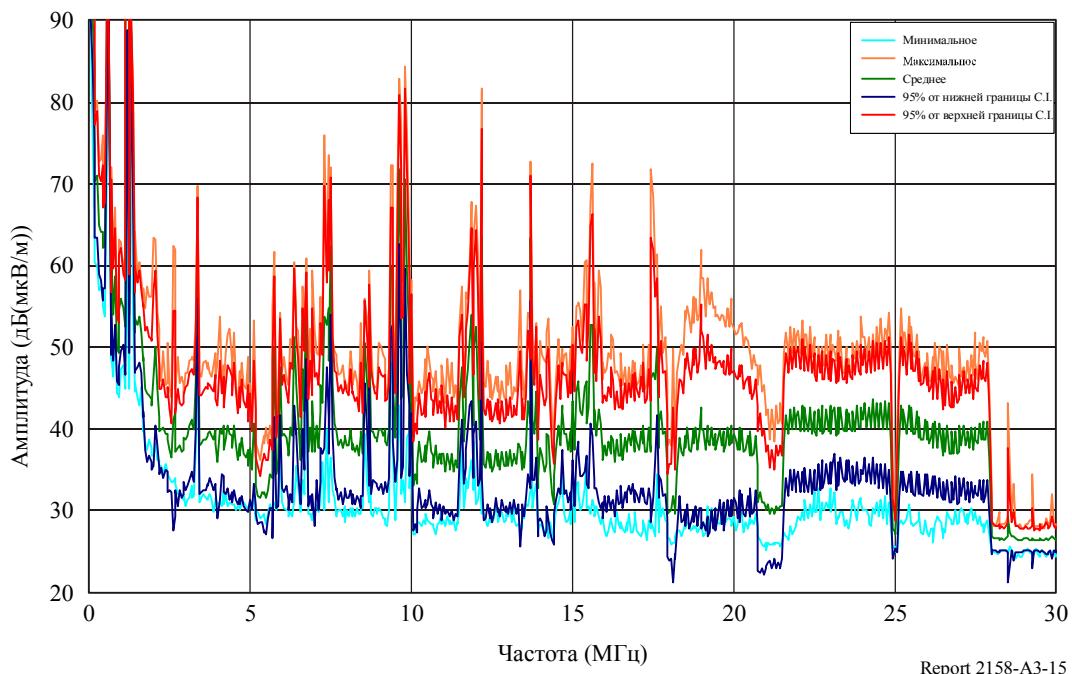


РИСУНОК А3-15

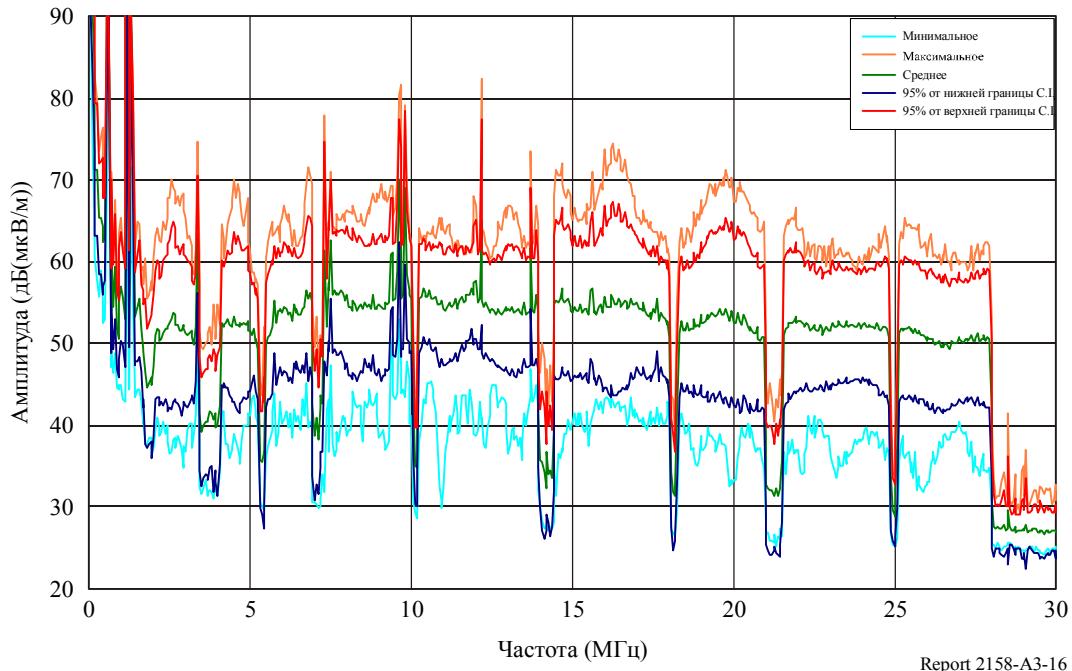
Распределение напряженности РЧ поля на расстоянии 10 м, 2-е устройство PLT (HD-PLC)



Report 2158-A3-15

РИСУНОК А3-16

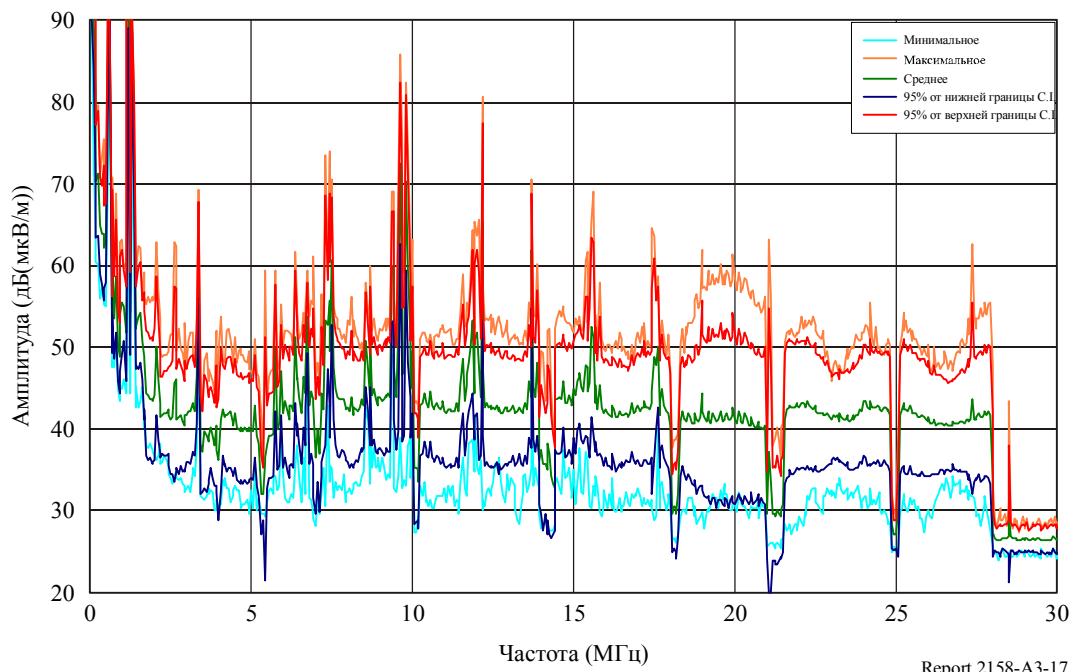
Распределение напряженности РЧ поля на расстоянии 3 м, 3-е устройство PLT (Homeplug AV)



Report 2158-A3-16

РИСУНОК А3-17

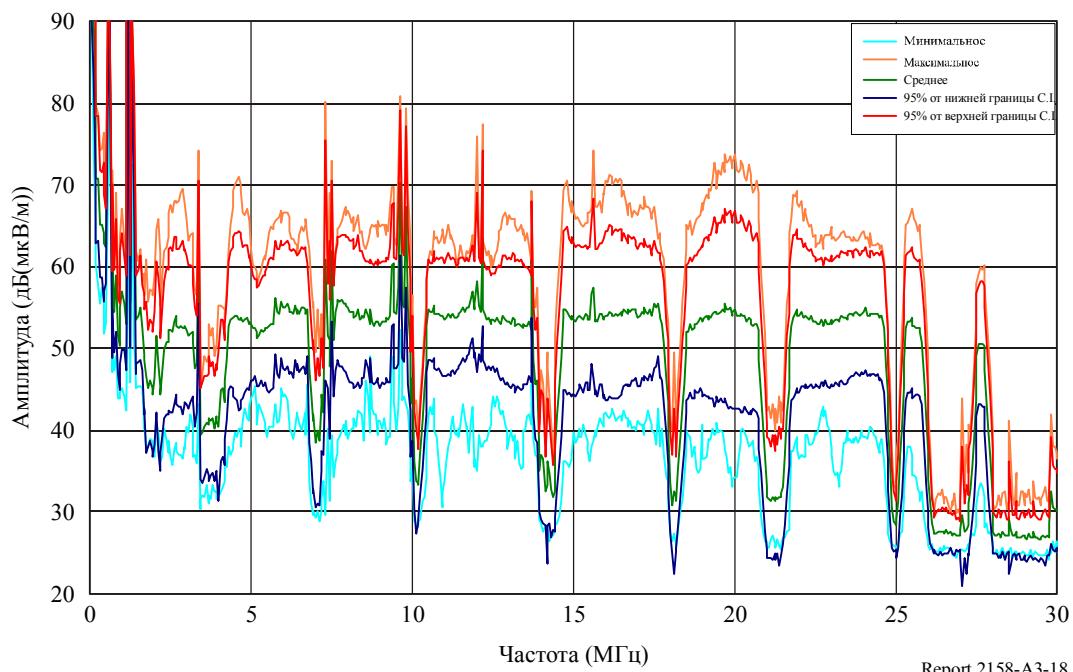
Распределение напряженности РЧ поля на расстоянии 10 м, 3-е устройство PLT (Homeplug AV)



Report 2158-A3-17

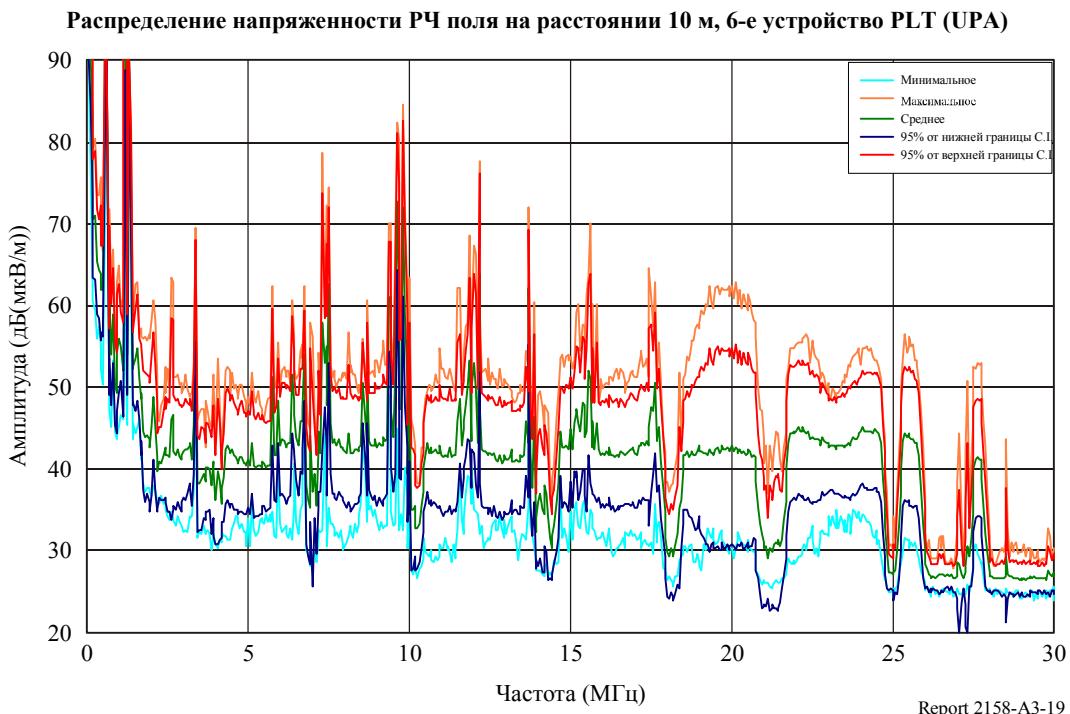
РИСУНОК А3-18

Распределение напряженности РЧ поля на расстоянии 3 м, 6-е устройство PLT (UPA)



Report 2158-A3-18

РИСУНОК А3-19



A3.2.4 Выводы

Результаты лабораторных и натурных испытаний Центра исследований CRC показывают, что максимальные излучения, создаваемые устройствами PLT в типовом жилом здании, превысили средний уровень окружающих шумов, более чем от 30 до 40 дБ на расстояние от 10 до 3 м, соответственно, от наружной стены здания. На 10 м средний уровень излучений PLT превысил средний окружающий шум от 5 до 10 дБ. На некоторых частотах и расстояниях, уровни излучений PLT преднамеренно отмечены и поэтому были ниже окружающего шума. Таким образом, как было отмечено Центром исследований CRC, устройства PLT способны создавать помехи службам радиосвязи, особенно таким, которые работают на основе ограниченного шума. Радиовещательная служба является особенно уязвимой к помехам со стороны устройств PLT. Факторы планирования для поддержки приема БС при более низкой напряженности поля, чем возможно при наличии излучений от устройств PLT. Например, в Рекомендации МСЭ-R BS.703 минимально полезная напряженность поля для среднего ВЧ радиовещательного приемника установлена 40 дБ(мкВ/м). Результаты испытаний Центра исследований CRC представленные здесь, показывают, что устройства PLT создают помехи на уровне от 20 до 30 дБ выше, чем уровни сигнала, на которых ВЧ радиовещательный приемник, как ожидается, будет принимать, в зависимости от частоты, расстояния разнесения, конфигурации антенны приемника и других факторов.

A3.3 Результаты измерения излучений, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач, находящимися внутри зданий, в условиях жилой застройки в испытаниях, проведенных в Японии

A3.3.1 Введение

В данном разделе приведен отчет о результатах измерений излучений, создаваемых системами электросвязи по линиям электропередач, находящимися внутри зданий, в условиях жилой застройки в испытаниях, проведенных в Японии.

A3.3.2 Метод измерения

Излучение, создаваемое устройствами PLT, находящимися внутри зданий измерялось на прилегающей к зданию территории со следующими условиями. В эксперименте использовались два различных типа устройств PLT, то есть устройства с OFDM и с расширением спектра.

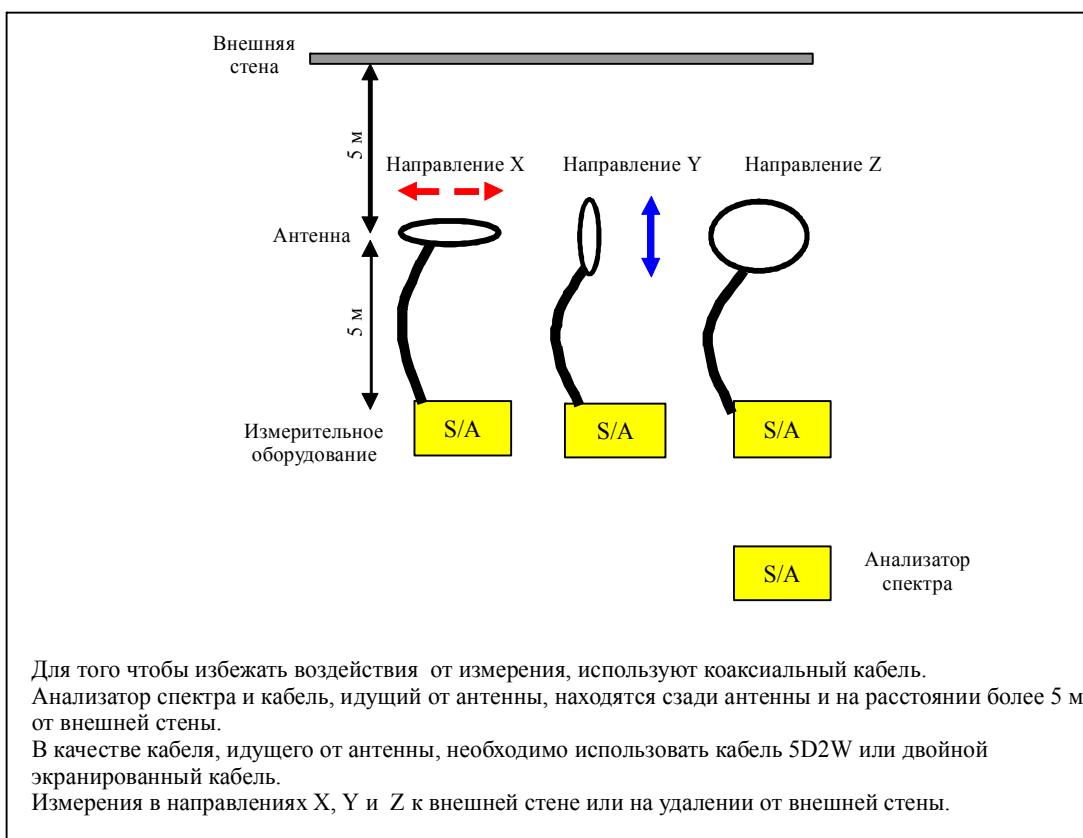
- a) Измерительное оборудование
- *Антенна*: рамочная антенна, калиброванная.
 - *Анализатор спектра*: на анализаторе спектра должна иметься возможность следующих установок и работы аккумулятора (см. Примечание 1).
- ПРИМЕЧАНИЕ 1. – При натурном измерении шум от силового кабеля измерительного оборудования или кабеля, который используется для измерения, потеряет воспроизводимость. Желательно использовать аккумулятор. Если нельзя использовать аккумулятор, питание должно подводиться от независимого источника, а также необходимо позаботиться о размещении кабеля линии электропередач.
- b) Размещение измерительного оборудования
- Точки измерения находятся на расстоянии 5 м от наружной стены здания и 8 направлениях от здания. (Если точки измерения не могут быть установлены из-за особенностей грунта или расстояния менее чем 5 м, то минимум исследуются 4 точки).
 - Расстояние 5 м от ближней наружной стены по направлению к зданию.
 - Высота антенны (нижний край рамочной антенны) равна 1 м от земной поверхности.
- c) Диапазон частот для измерения
- от 1 до 30 МГц.
- d) Установки измерительного оборудования (анализатора спектра)
- RBW = 10 кГц, VBW = 100 кГц Span = 29 МГц, Центральная частота = 15,5 МГц.
 - Точка = около 1000 точек, Частота развертки = авто.
 - Режим распознавания: режим RMS.
 - Усреднение: при вышеуказанном режиме распознавания более чем 20 раз.

A3.3.3 Условия связи по линиям электропередач

- a) Здание
- Использование типового здания.
- Описание конструкции: деревянная/не деревянная; односемейный дом (номер этажа)/квартира.
 - Оценка системы электросвязи по линиям электропередач, которая не используется в здании, оценка реальных условий окружающей среды.
- b) Измерение более 2 путей распространения в одном здании (см. рисунок А3-21)
- Если в доме более 2-х этажей, рекомендуется использовать тот путь распространения, который находится по направлению к другому этажу.
- c) Условия измерений
- 1 условие: в здании нет системы электросвязи по линиям электропередач.
 - 2 условие: установлена система электросвязи по линиям электропередач, которая соединяется на максимальной скорости с UDP с помощью применения программного обеспечения, такого как FTP (однонаправленная).
- d) Другие условия

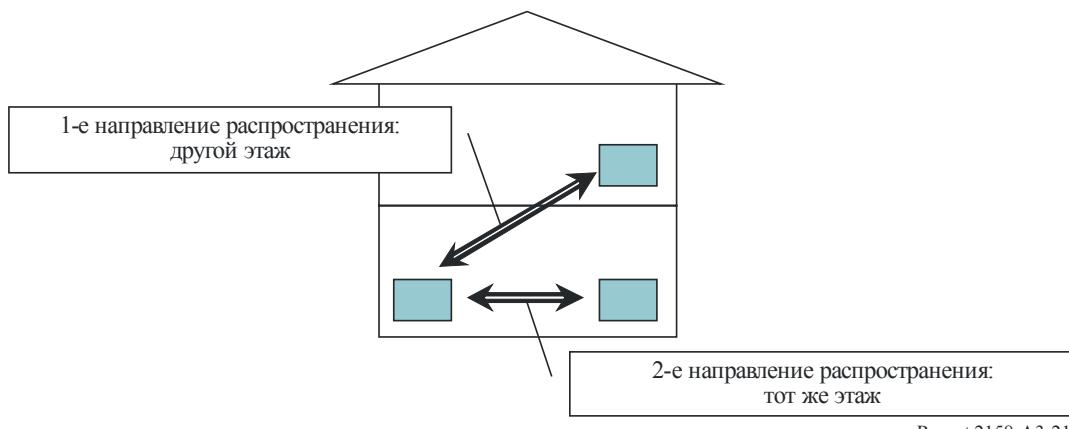
Для измерения оценки шума на фактически используемую окружающую среду, другая бытовая техника потребителя или осветительное оборудование не удаляется из здания. Также они не включаются и не выключаются во время проведения измерения.

РИСУНОК А3-20
Размещение измерительного оборудования



Report 2158-A3-20

РИСУНОК А3-21
Пример пути распространения



Report 2158-A3-21

A3.3.4 Результаты измерения

ТАБЛИЦА А3-3
Условия измерений

	Тип устройства PLT	OFDM	SS
Условия измерений	Классификация здания	Деревянная конструкция	Не деревянная конструкция
	Односемейный дом / квартира	Односемейный дом / 2 этажа	Строение (школа, 4 этажа)
	Розетка переменного тока системы PLT	См. рисунок А3-22	См. рисунок А3-23
	Диапазон частот системы PLT	4 МГц – 28 МГц	4 МГц – 20 МГц
	Применение системы PLT	Для потребителя	Для промышленности
Измерительное оборудование	Анализатор спектра	Agilent E7401A	Agilent E4402B
	Рамочная антенна	EMCO 6502	EMCO 6502

На рисунках А3-24 и А3-25 показаны результаты измерения системы с OFDM, а на рисунке А3-26 и А3-27 системы с SS.

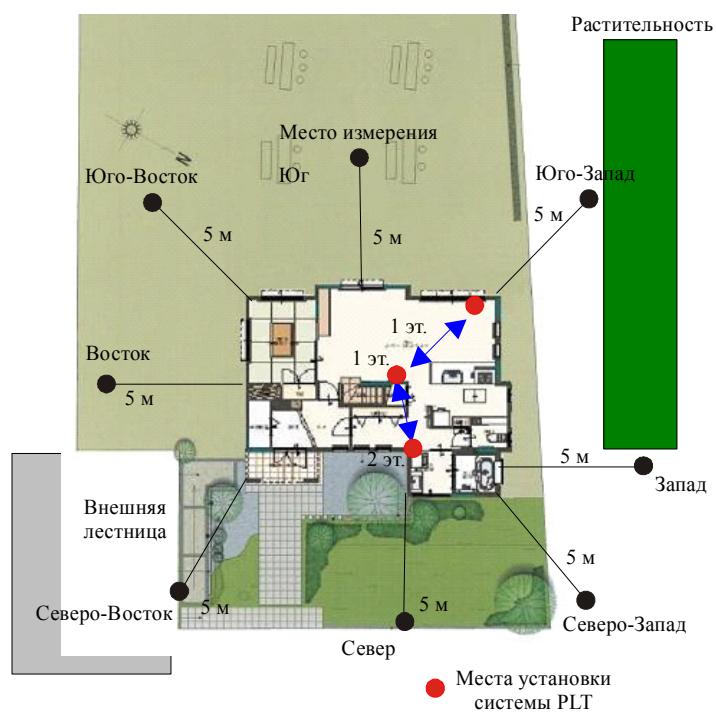
На рисунках с А3-24 до А3-27 показаны результаты в точках при направлении X и направлении Y, где обнаружено излучение, создаваемое системой с OFDM и системой с SS. А также показаны результаты в близлежащих точках.

Спектры импульса волны радиовещания или шума от бытовой электронной техники наблюдались в любое время, даже если система электросвязи по линиям электропередач не работала. Те системы электросвязи по линиям электропередач, которые передавали все время, использовали диапазон частот от 2 до 30 МГц, (а исключением диапазонов частот, которые используются радиообмоткой). Таким образом, форма передаваемого спектра системы электросвязи по линиям электропередач не импульсная и наблюдается как широкополосный шум.

Из данного результата измерения видно, что создаваемое излучение в направлении X и направлении Y в одной точке было разным. И создаваемое излучение, измеренное в соседних точках измерения, тоже различно.

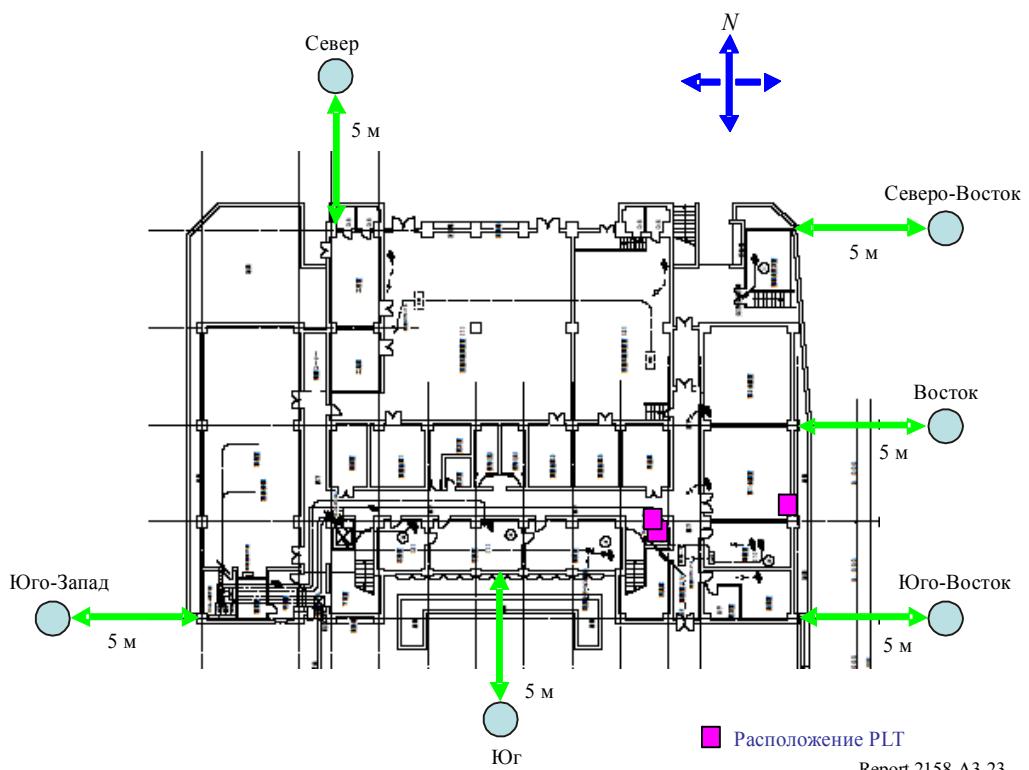
Как показывает результат измерения, создаваемое излучение от системы электросвязи по линиям электропередач и линий сети не передается в любом направлении и имеет характеристики направленности. Излучение можно увидеть только в определенных направлениях.

РИСУНОК А3-22
Условия измерений (1)



Report 2158-A3-22

РИСУНОК А3-23
Условия измерений (2)



Report 2158-A3-23

РИСУНОК А3-24
OFDM, 2-й путь распространения, восток, 5 м

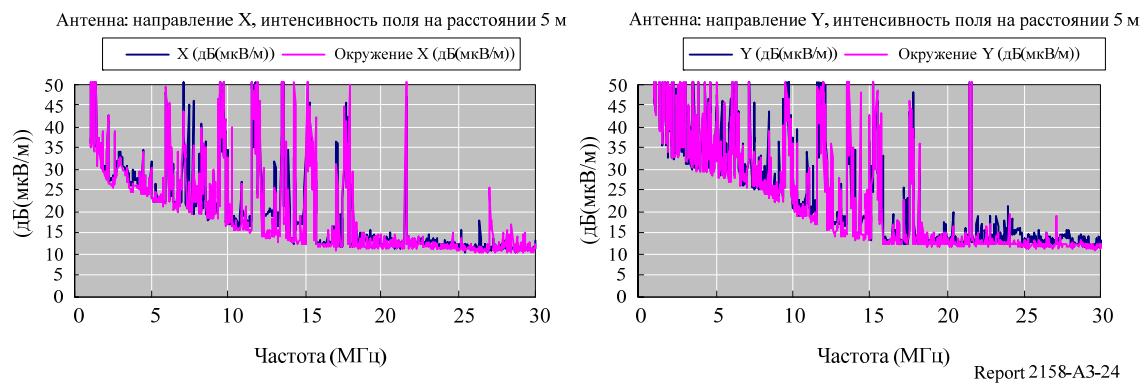


РИСУНОК А3-25
OFDM, 2-й путь распространения, юго-восток, 5 м

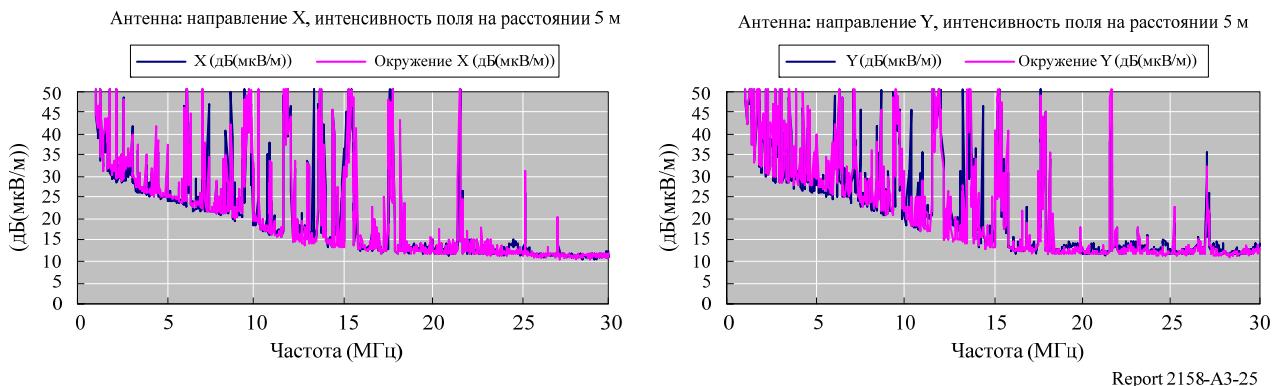


РИСУНОК А3-26
SS, 4-й путь распространения, северо-восток, 5 м

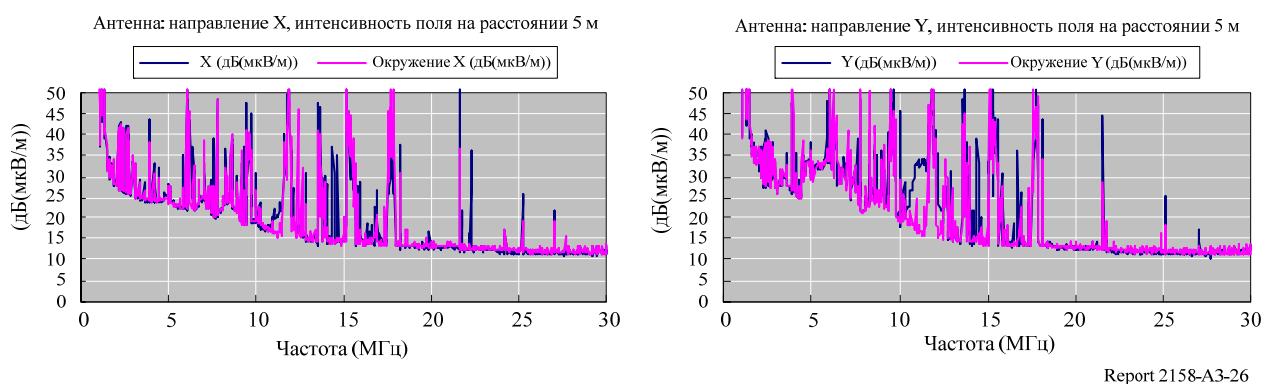
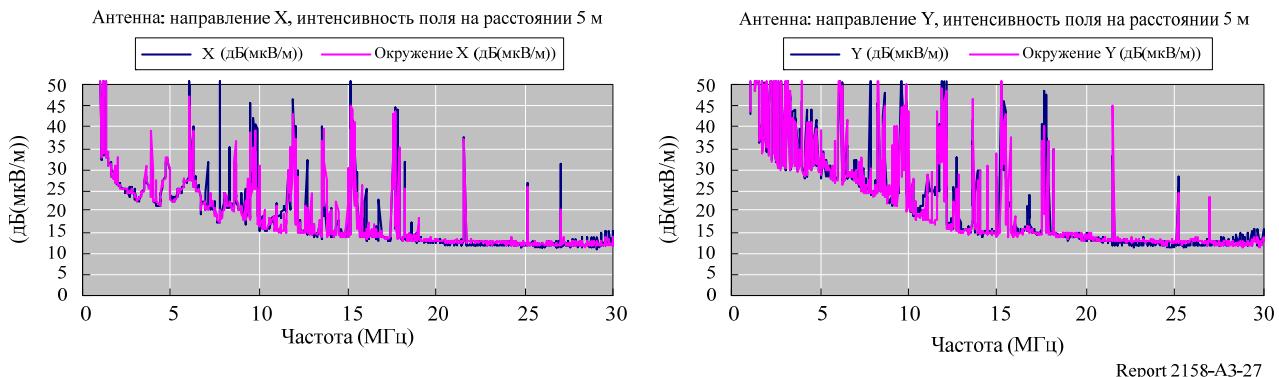


РИСУНОК А3-27
4-4 SS, 4-й путь распространения, север, 5 м



Report 2158-A3-27

A3.4 Результаты измерения излучений утечки, создаваемых системой электросвязи по линиям электропередач (PLT) в полосах ВЧ и УВЧ

A3.4.1 Введение

Недавно было разработано оборудование электросвязи высокоскоростной линии электропередач для архивирования скорости передачи данных в пределах ~200 Мбит/с, и стали доступны широкополосные системы электросвязи по линиям электропередач с расширением доступной ширины полосы частот до 80 МГц. Однако так как линии электропередач предназначены не для целей электросвязи, а для распределения питания 50/60 Гц, линии электропередач могут излучать электромагнитные помехи существенного уровня. В диапазонах ВЧ и ОВЧ ниже 80 МГц работает множество радиостанций радиовещательной службы, любительской службы, воздушной службы, радиоастрономической службы и так далее. Если модемы PLT широко используют диапазон частот ниже 80 МГц, то большая часть спектра ВЧ/ОВЧ может стать непригодна для использования. Диапазон ВЧ также используется для научных наблюдений исследования Земли и астрономических объектов. Поскольку уровни принимаемого сигнала от астрономических источников обычно очень слабые, это может привести к серьезным повреждениям при проведении чувствительных радиоастрономических наблюдений не только в диапазоне частот ниже 80 МГц, но и в более высоких диапазонах частот, включая диапазон ОВЧ, возможно, из-за воздействия гармоник и/или интермодуляции полезных сигналов PLT.

По проблемам, описанным выше, с апреля по июль 2002 года исследовательской комиссией по PLT, организованной Министерством внутренних дел и связи (MIC) Японии, проводились исследования. Исследовательская комиссия создала рабочую группу по натурным экспериментам и выполнила совместные натурные эксперименты на объекте PLT. 8–9 и 22–23 июля 2002 года на горе Акаги в префектуре Гумма, Япония, проводились натурные эксперименты. В экспериментах мы измерили излучения утечки, создаваемой модемами PLT в диапазонах ВЧ и ОВЧ с целью оценить влияние расширения ширины полосы PLT на радиоастрономические наблюдения и исследовать наличие побочных излучений на более высоких частотах. В настоящем тексте мы предоставим отчет об экспериментальных результатах натурных экспериментов и сравним уровень шумов PLT с пороговыми значениями вредных помех, действующих на радиоастрономические наблюдения, которые приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769.

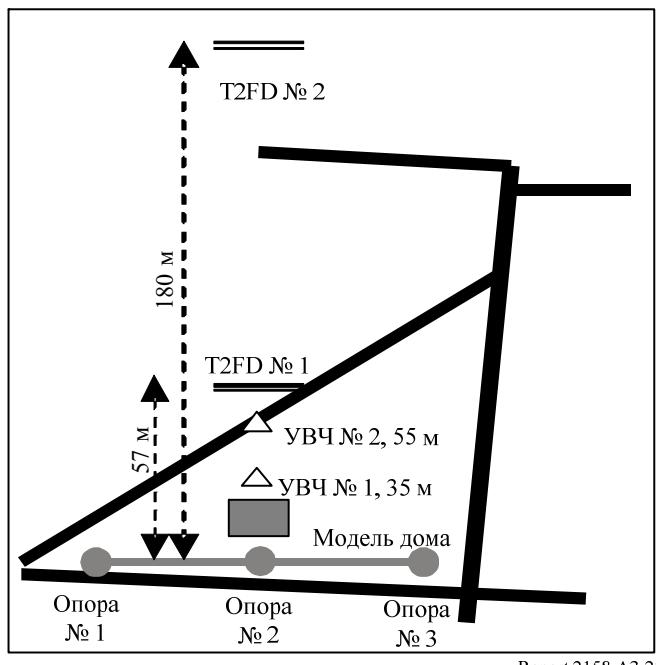
A3.4.2 Натурные эксперименты на горе Акаги, Япония, 23 июля 2002 года

На рисунке А3-28 показана схема натурных экспериментов. Линии электропередач, использованных для эксперимента, были протянуты между электрическими опорами (опоры № 1, № 2 и № 3 на рисунке А3-28) и моделью здания. В диапазонах ВЧ и ОВЧ использовались две пары модемов PLT, показанных в таблице А3-4, и проводились измерения излучения утечки. Модемы PLT и переносные компьютеры подключались к внешним линиям электропередач на опоре № 2. Выходная мощность

модемов PLT с коэффициентом кодирования 1/2 и 3/4 изображена на рисунках А3-29 и А3-30, соответственно⁵⁷.

Следует отметить, что три пары PLT модемов, находящихся внутри зданий, также были подготовлены для эксперимента, однако в данном тексте не были использованы для отчетных измерений.

РИСУНОК А3-28
Схема площадки эксперимента



Report 2158-A3-28

ТАБЛИЦА А3-4
Модемы PLT доступа, используемые для натурных экспериментов

№	Метод модуляции	Диапазон частот (МГц)	Номинальная выходная мощность (дБм/Гц)	Номинальное выходное сопротивление (Ом)	Частота режекции (МГц)
1/2	OFDM	4,3–20,9	-50	100 <=	7,000–7,300 10,100–10,150 14,000–14,350 18,068–18,168 21,000–21,450
3/4	SS	4,0–20,0	-50	50 <=	7,000–7,300 9,800–10,300 13,900–14,400 17,850–18,350

⁵⁷ Прилагаемый документ 3 к Техническому отчету Исследовательской комиссии по связи по высокоскоростным линиям электропередач Министерства внутренних дел и связи (MIC) Японии, август 2002 года.

РИСУНОК А3-29

Выходная мощность модема PLT с коэффициентом кодирования 1/2

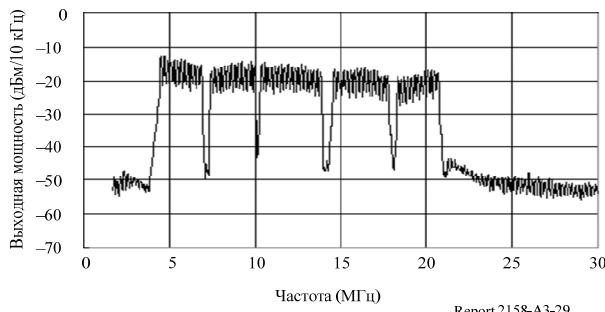
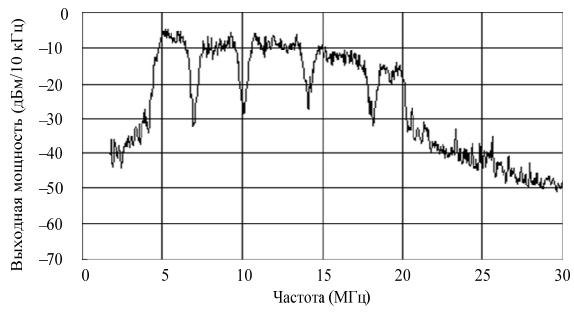


РИСУНОК А3-30

Выходная мощность модема PLT с коэффициентом кодирования 3/4



Для целей эксперимента в полосе ВЧ два комплекта эквивалентных антенн T2FD длиной 25 метров были настроены на расстоянии 57 м и 180 от опоры № 2 (T2FD № 1 и № 2 на рисунке А3-28, соответственно). Высота каждой антенны от земли была порядка 5 м. Следует отметить, что эти T2FD были не чувствительны к вертикально поляризованной составляющей электрического поля, поскольку они были установлены горизонтально. Следовательно, антenna T2FD, возможно, не принимала общую мощность шума PLT. Выход антennы T2FD был подключен напрямую к анализатору спектра, который измерял электроэнергию до 30 МГц. Для количественных измерений, мы получили 10 спектральных трасс для одного измерения спектра, и мы оценили отклонения измерений.

Для того чтобы исследовать побочные излучения от объекта PLT, логопериодические антенны (Create Design, CLP-5130-1) и приемник были установлены на расстояние 55 м от опоры № 2 (УВЧ № 2 на рисунке А3-28), которые для некоторых случаев были перенесены на расстояние 35 м (УВЧ № 1). Приемник состоит из фильтра верхних частот, малошумящего предусилителя и широкополосного усилителя. Предусилитель имел коэффициент усиления 40 дБ на центральной частоте 327 МГц, ширину полосы около 20 МГц и минимальный коэффициент шума 0,8 дБ. Фильтр верхних частот, у которого частота среза на 260 МГц предотвращала насыщение предусилителя с помощью мощных сигналов радиовещания в диапазоне ОВЧ. Спектры около 327 МГц были измерены анализаторами спектра и автоматически записывались на персональный компьютер через интерфейс GPIB. Для того чтобы проверить, что побочные излучения от объекта PLT фактически возникали, мы одновременно измерили ВЧ спектры и исследовали зависимости побочных излучений от расстояния и направления от объекта PLT.

A3.4.3 Излучения утечки в полосе ВЧ

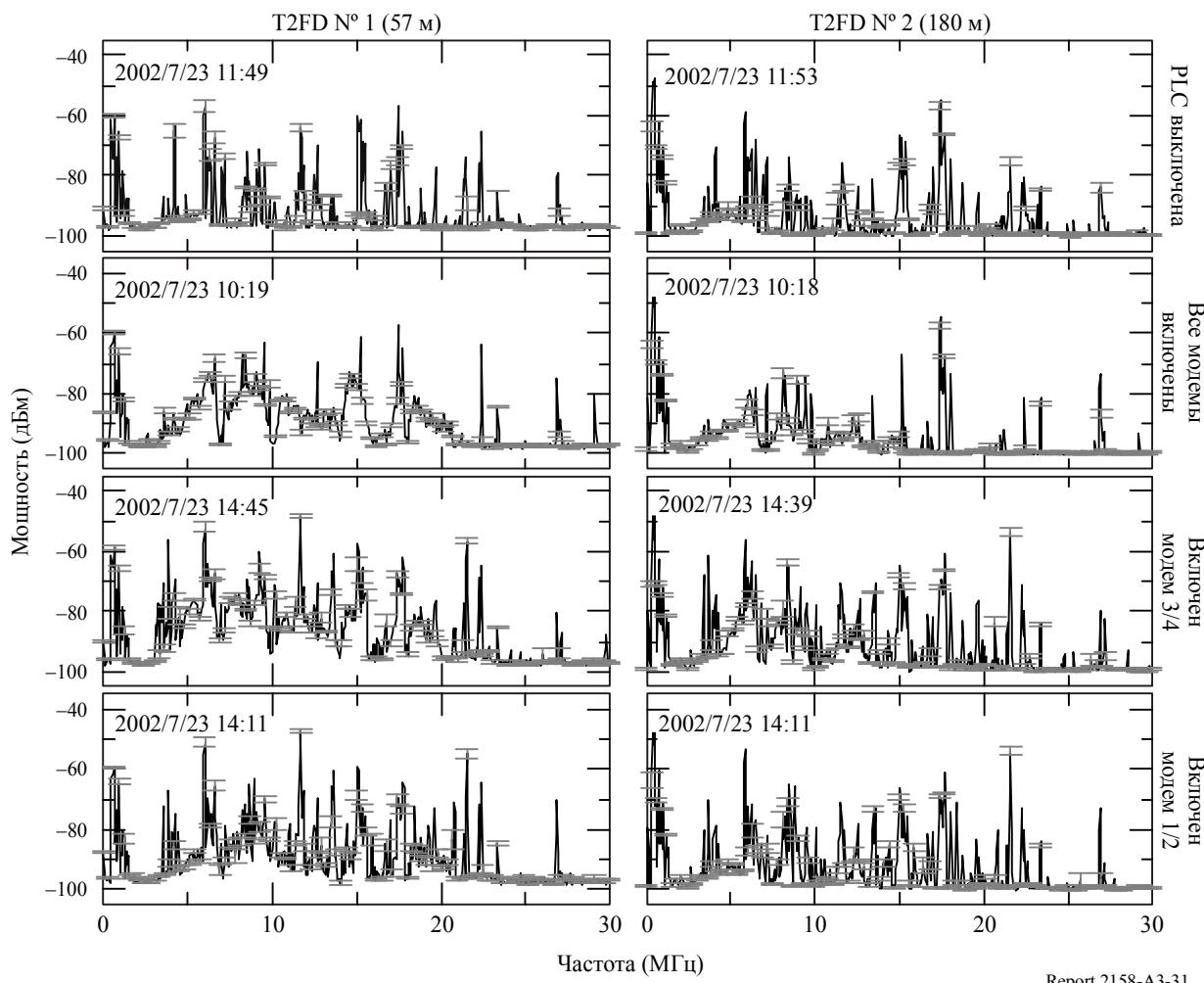
На рисунке А3-31 показаны результаты спектральных измерений в полосе ВЧ. Когда модемы PLT не работали, многие сигналы радиовещания показали значения выше минимального уровня белого шума, который представлял собой уровень шума анализатора спектра. После того, как модемы были включены, минимальный уровень шума значительно увеличился в диапазоне частот от 4 до 20 МГц. Наблюдались некоторые минимальные спады в увеличенном минимальном уровне шума на частотах около 7, 10, 14 и 18 МГц, которые были идентичны частоте режекции модемов (см. таблицу А3-4). Эти характеристики показали, что увеличенный уровень шума был создан модемами PLT. И модем с OFDM (№ 1/2) и с SS (№ 3/4) оказывают сильное увеличение минимального уровня шума, а уровень шума, создаваемый модемами с SS, был больше примерно на 5 дБ, чем создаваемый модемами с OFDM. Как показано на рисунке А3-31, многие сигналы радиовещания испытывали помехи, а некоторые из них были полностью маскированы шумом, создаваемым PLT.

РИСУНОК А3-31

ВЧ спектры, измеренные с помощью T2FD № 1 (слева) и № 2 (справа)

Когда система электросвязи не работала (верхние графики), все модемы были включены (вторые графики), включен только модем 3/4 (третий графики) и включен только модем 1/2 (нижние графики).

Величина ошибок представляет стандартное отклонение



Report 2158-A3-31

Была исследована зависимость расстояния от уровня шума PLT, и предполагалось, что утечка электрического поля E пропорциональна расстоянию r , изменяющемуся по степенному закону, то есть:

$$E \propto r^{-\alpha}, \quad (\text{A3-1})$$

где α – коэффициент затухания. Коэффициенты рассчитывались на основе измерений с двумя антennами T2FD. Рассчитанные коэффициенты имеют разбросанные значения в зависимости от частоты, но распределены около 1,0.

Для того чтобы оценить количественный уровень излучения, антенны T2FD были калиброваны. Стандартная рамочная антenna (Anritsu MP414B) была установлена точно ниже антennы T2FD и мы измерили напряженности электрического поля некоторых частот радиовещания одновременно. Коэффициент K антennы T2FD рассчитывался следующим образом:

$$K = E/V, \quad (\text{A3-2})$$

где V (мкВ) и E (мкВ/м) – выход от антennы T2FD и стандартной рамочной антennы, соответственно. Например, был получен коэффициент антennы T2FD на частоте 9,6 МГц равный $-8,0 \pm 2,5$ дБ.

Антенна T2FD также анализировалась по методу моментов, и был рассчитан коэффициент усиления антенны на частоте 9,6 МГц равный 2,3 дБи. Также был получен коэффициент антенны в зависимости от коэффициента усиления антенны по формуле:

$$K = \sqrt{\frac{4\pi\eta_0}{Z_0 G_0 \lambda^2}}, \quad (\text{A3-3})$$

где η_0 – волновое сопротивление, равное 120π , Z_0 – равное 50 Ом и λ – длина волны. Используя уравнение 3 и считая потери при передаче через коаксиальный кабель, равными 0,8 дБ, был рассчитан коэффициент антенны, равный 5,8 дБ, что соответствует значению, оцененному с помощью калибровки.

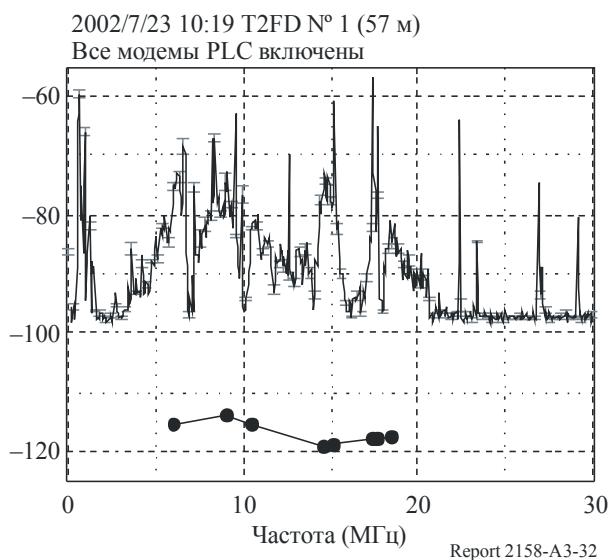
На рисунке A3-32 показано сравнение между уровнем шума PLT и уровнем галактического шума с помощью известного эталонного значения галактического спектра⁵⁸ и калиброванного коэффициента антенны. Уровень шума PLT превысил уровень галактического шума более чем на 30 дБ.

A3.4.4 Побочное излучение в полосе УВЧ

Диапазон УВЧ является атмосферным окном для радиоастрономических наблюдений и высокочувствительных измерений возможных слабых источников радиоизлучения. Хотя широкополосные модемы PLT не используют такой высокий диапазон частот, все же необходимо исследовать уровни побочных излучений от работы модемов PLT.

РИСУНОК А3-32

ВЧ спектр, измеренный с помощью T2FD № 1, когда все модемы PLT были включены (верхняя кривая) и рассчитанный уровень галактического излучения (нижняя кривая)



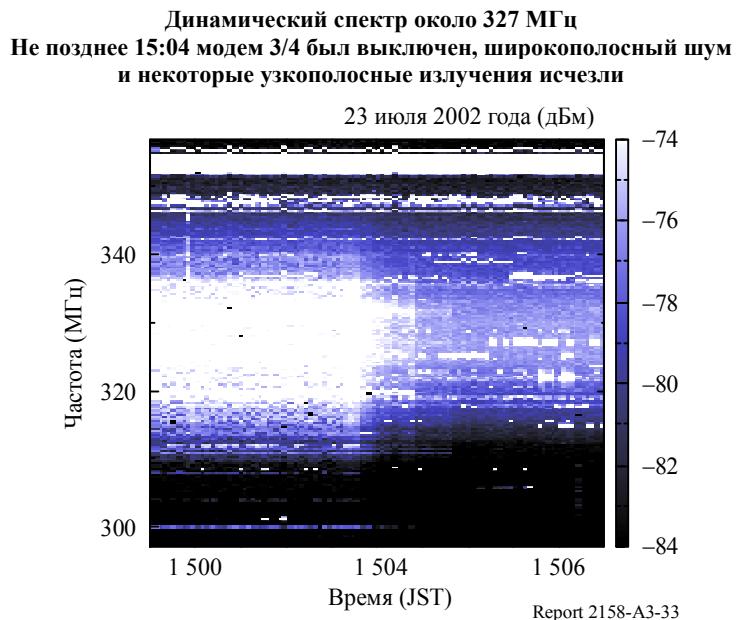
На рисунке А3-33 показан динамический спектр в диапазоне частот от 297 до 357 МГц, когда модем PLT 3/4 был в работе. Когда модемы в 15:04 были выключены, четко прослеживается, что широкополосный шум и некоторые узкополосные излучения исчезли. Другими словами, четко прослеживались побочные излучения из-за работы модемов PLT.

Не было очевидных причин для побочных излучений, создаваемых модемами, находящимися в режиме испытания. Потребуются дальнейшие исследования для установления причины возникновения гармоник и/или продуктов интермодуляции в модемах PLT. Более того, когда PLT

⁵⁸ ALEXANDER J.K., BROWN L.W., CLARK T.A., STONE R.G., and WEBER R.R. [1969] The Spectrum of the Cosmic Radio Background between 0.4 and 6.5 MHz. *Astrophys. J.*, 157, L163.

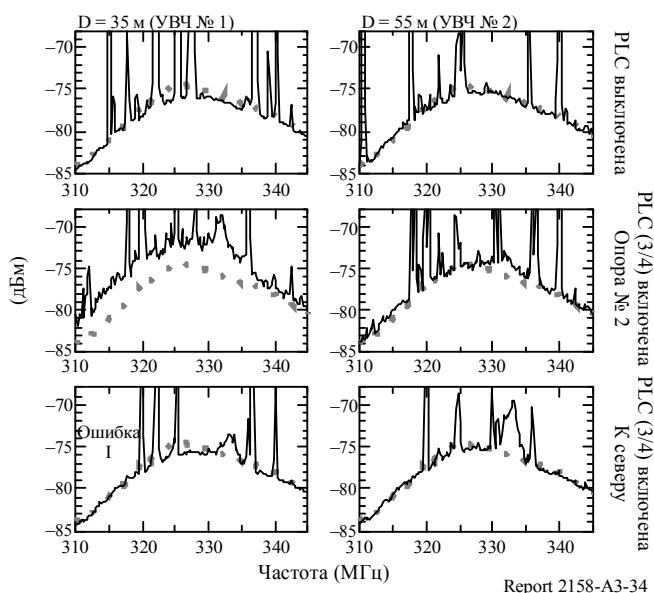
модемы используют режекцию, в проводке сети присутствуют нелинейные элементы, что в результате может привести к поколению продуктов интегральной модуляции и заполнению метками.

РИСУНОК А3-33



На рисунке А3-34 показана зависимость уровня побочного излучения от расстояния и направления логопериодической антенны по отношению к объекту PLT. Когда все модемы PLT были выключены или антenna была не направлена на объект PLT, побочных излучений не было обнаружено. С другой стороны, были получены сильные побочные излучения, когда антenna была близко расположена к объекту PLT и направлена на него. В месте расположения УВЧ № 1, увеличение минимального уровня шума составило около 4 дБ. Эти результаты указывают на наличие побочных излучений от модемов PLT в полосе УВЧ.

РИСУНОК А3-34



Зависимость расстояния от уровня шума PLT в полосе УВЧ также была вычислена. Используя уравнение 1, был рассчитан коэффициент затухания, равный 1,3, который имеет практически такое же значение, но немного больше, чем значение дальней зоны.

Зависимость расстояния от побочного излучения и направления логопериодической антенны по отношению к объекту PLT измерена в точке на расстоянии 35 м (слева) и в точке на расстоянии 55 м (справа). Верхние графики: модемы PLT не работают. Средние графики: модемы PLT 3/4 работают, и антenna направлена на опору № 2. Нижние графики: то же, что и для средних графиков, но антenna направлена в противоположном направлении. На каждом графике, сплошные линии усредняются по спектрам около частоты 327 МГц, а серые пунктирные линии показывают спектр, когда вход приемника был закрыт. Некоторые шумы окружающей среды, которые не были связаны с PLT, также были определены в качестве узкополосных излучений, которые были получены, когда модемы PLT были выключены, и антenna была направлена на север. Типичная величина ошибки измерений указана на левом нижнем графике.

A3.4.5 Сравнение уровня шума PLT с Рекомендацией МСЭ-R RA.769 на частоте 327 МГц

Пороговые уровни вредных помех для радиоастрономической службы приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769. На частоте 327 МГц мы получили уровни побочного излучения от объекта PLT на обеих частотах и сравнили их с пороговыми уровнями. Диапазон около 327 МГц распределен радиоастрономической службе на первичной основе и пороговый уровень вредных помех для радиоастрономических наблюдений из Рекомендации МСЭ-R RA.769 равен -258 ($\text{дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц}))$). Из рисунка A3-34 видно, что уровень шума на УВЧ № 1 около 327 МГц был $-72,1$ дБм, когда модем PLT 3/4 был включен и $-75,9$ дБм, когда он был выключен. Рассматривая коэффициент усиления системы $51,2$ дБ, измеренную ширину полосы 100 кГц и коэффициент усиления антенны 12 дБи, была рассчитана спектральная плотность потока мощности побочного излучения, которая равна -206 ($\text{дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц}))$). Применяя коэффициент затухания в дальней зоне $1,0$, было рассчитано расстояние разноса, необходимое для защиты радиоастрономических наблюдений, которое составляет около 12 км (см. таблицу A3-5).

ТАБЛИЦА А3-5

Расстояние разноса для защиты РАС от PLT на частоте 327 МГц

Частота (МГц)	327
Пороговый уровень ($\text{дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц}))$)	-258
Побочные излучения PLT ($\text{дБ}(\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц}))$)	-206
Расстояние от опоры № 2 (м)	35
Расстояние разноса (км)	12

Также мы хотели сделать аналогичные расчеты на частоте $13,5$ МГц, однако измеренные уровни излучения на расстоянии 180 м (T2FD № 2) были слишком близки к минимальному уровню шума, для того чтобы провести верные расчеты.

A3.4.6 Выводы

Из спектральных измерений в полосе ВЧ было показано, что минимальные уровни шума значительно увеличивались за счет модемов PLT доступа. Было найдено, что уровни излучений утечки были намного выше, чем у радиоастрономических сигналов. Из экспериментов в полосе УВЧ было найдено, что побочные излучения были получены от модемов PLT. В обоих диапазонах частот, излучения утечки из-за модемов PLT были намного больше, чем пороговые уровни вредных помех, действующих на РАС, указанных в Рекомендации МСЭ-R RA.769. Было найдено, что расстояние разноса на частоте 327 МГц, обеспечивающее защиту радиоастрономическим наблюдениям от побочных излучений, создаваемых одной парой модемов доступа PLT, равно порядка 12 км. Если модемы PLT доступа были широко развернуты, уровни совокупного излучения утечки будут намного больше увеличиваться и расстояние разноса станет намного больше.

С целью установления предельных значений на выходную мощность модемов PLT, эти исследования четко показывают, что излучения утечки от модемов PLT со спектральной плотностью мощности -50 дБм/Гц повышают минимальный уровень окружающего шума на большее значение и способны вызвать серьезные помехи. Для вычисления эффективного практического предела необходимо принять во внимание коэффициенты, такие как совокупное влияние нескольких блоков PLT, расстояние и пути распространения к потенциальному приемнику, испытывающему помехи, а также характеристики систем с электропроводкой, которые встречаются в реальной жизни.

A3.5 Измерение расстояния разноса

A3.5.1 Измерения расстояния разноса в Бразилии

Связь между напряженностью поля и расстоянием была исследована с целью определения как размера запретной зоны, необходимой для защиты ВЧ станций от помех PLT, так и коэффициента экстраполяции для их использования в измерениях. На рисунке A3-35 показана напряженность поля, измеренная на расстоянии от 3 до 10 м по горизонтали.

С увеличением расстояния уменьшается измеренное среднее значение напряженности поля на 11,7 дБ на частотах от 4 МГц до 30 МГц.

Результаты показали, что коэффициент экстраполяции 40 дБ/декада является хорошим первым приближением, так как рассчитанное среднее значение напряженности поля уменьшится до 9,47 дБ (разница 2,3 дБ) при затухании в условиях прямой видимости.

РИСУНОК А3-35

Измерения на расстоянии 10 м и 3 м



Report 2158-A3-35

A3.5.2 Измерения расстояния разноса в Канаде

Отношение РЧ напряженности поля между 3 м и 10 м было изучено Научно-исследовательским центром Канады, чтобы понять потери при распространении на рабочих частотах устройств PLT. Теоретически отношение напряженности поля между измерениями от 3 м до 10 м может быть получено из уравнения потерь при распространении в свободном пространстве. Благодаря этому отношению, уравнение можно упростить до:

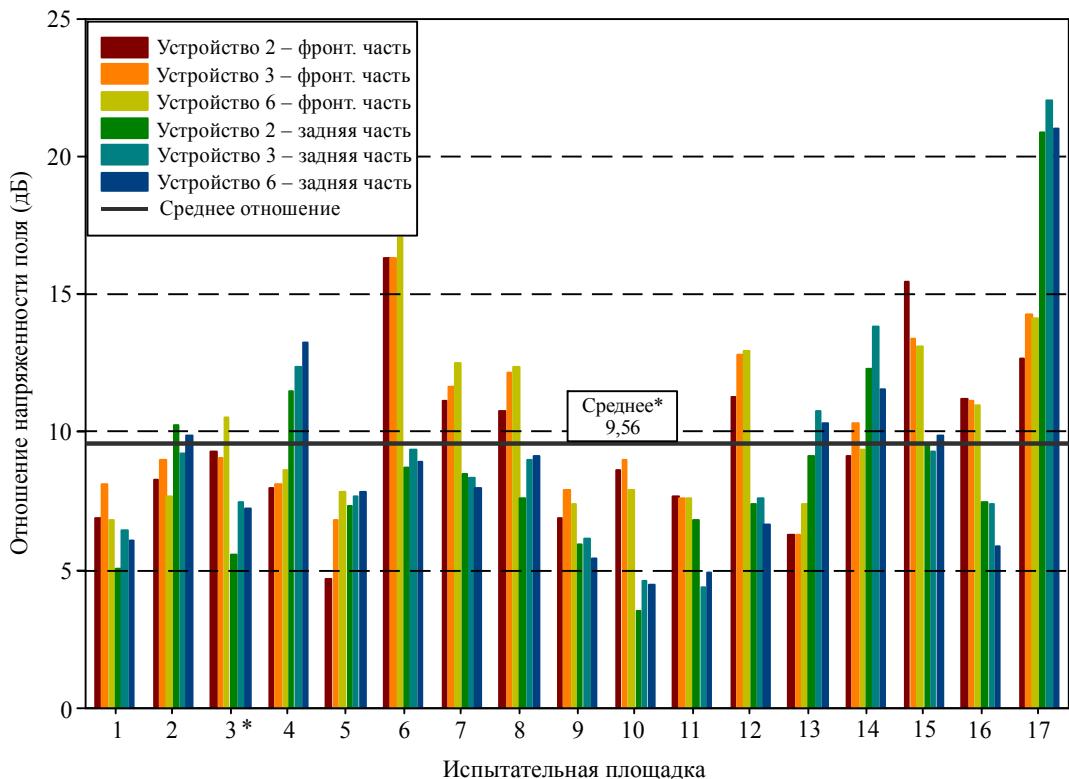
$$\text{Отношение напряженности поля}_{(\text{дБ})} = 20 \log\left(\frac{10\text{ м}}{3\text{ м}}\right) \approx 10,5 \text{ дБ}.$$

Вышеприведенное уравнение показывает значение коэффициента экстраполяции 20 дБ на декаду от расстояния при распространении в свободном пространстве. Таким образом, теоретически мощность, рассчитанная на расстоянии 3 м от дома, должна быть на 10,5 дБ больше мощности, рассчитанной на расстоянии 10 м от дома.

На рисунке А3-36 показано отношение напряженности поля на расстоянии от 3 м до 10 м от каждого устройства на каждой испытательной площадке. Для уменьшения влияния окружающего шума расчеты проводились только на частотах от 16 МГц до 28 МГц. Среднее отношение напряженности поля от всех устройств и испытательных площадок составило 9,56 дБ, на 1 дБ ниже теоретического значения. На основании данных результатов испытаний коэффициент экстраполяции в действительности составил 18,2 дБ на декаду на расстояние.

РИСУНОК А3-36

Отношение напряженности поля на расстоянии от 3 м до 10 м от каждой испытательной площадки



* Испытательная площадка 3 показывается на графике, но не учитывается при расчете среднего значения из-за помех PLT от ближайшего дома.

Report 2158-A3-36

A3.5.3 Измерение зависимости от расстояния электрического поля утечки, создаваемого системами электросвязи по линиям электропередач внутри зданий, в Японии

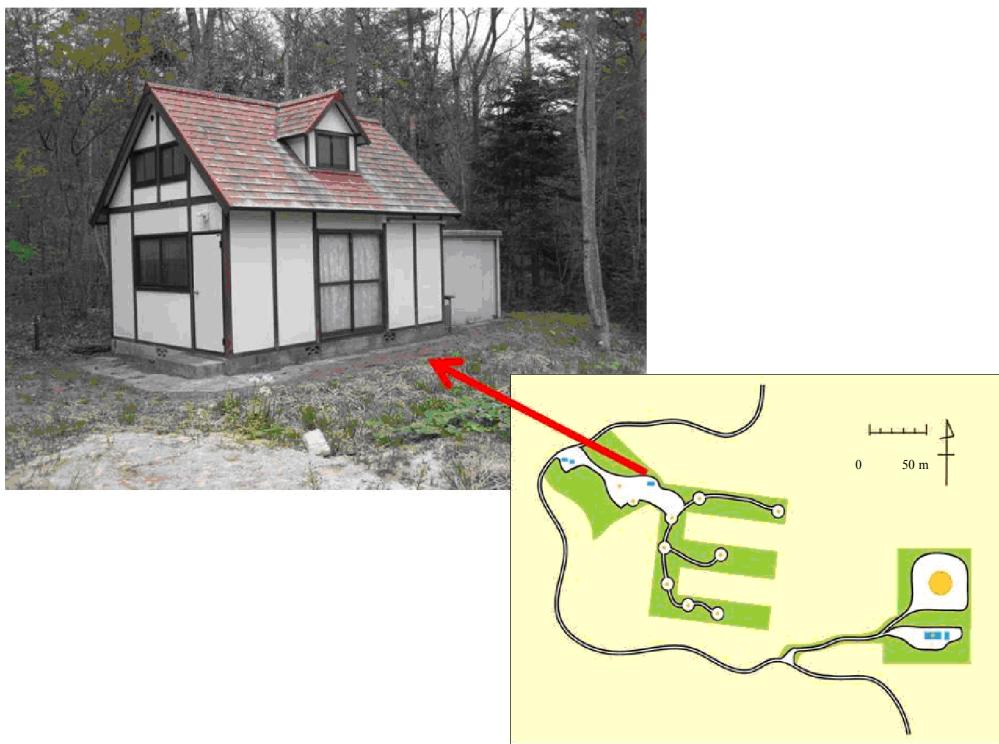
A3.5.3.1 Введение

Информация о зависимости расстояния (уменьшение напряженности поля в зависимости от расстояния от зданий, где работают модемы PLT) будет иметь большое значение при изучении и определении условий совместимости в условиях совместной работы систем радиосвязи, действующих в соответствии с Регламентом радиосвязи, и систем электросвязи по линиям электропередач. В этой связи было проведено исследование электрического поля утечки на расстоянии 5, 10 и 30 м от наружной стены здания, в котором работают системы электросвязи по линиям электропередач, и получена зависимость напряженности поля от расстояния как функция расстояния и длины волны.

A3.5.3.2 Измерение⁵⁹

Измерения проводились в условиях реальной сельской местности с использованием одноэтажного деревянного здания, изображенного на рисунке А3-37. Координаты здания $37^{\circ} 42'$ с.ш. и $140^{\circ} 40'$ в. д. Здание расположено в отдаленной горной местности. Хотя здание окружено лесом, имеется достаточный просвет в западном, южном и юго-восточном направлении от здания.

РИСУНОК А3-37
Здание, использованное для измерений, и карта местности вокруг здания



Report 2158-A3-37

Для измерения электрического поля утечки, точки измерений были расположены на расстоянии 5, 10 и 30 м от наружной стены здания в западном, южном и юго-восточном направлении от здания. Мы использовали пассивную рамочную антенну (ETS-Lindgren 6512; диаметр 60 см) на высоте 1 м (нижний край). На выходе антенны проводились измерения анализатором спектра (NEC SpeCAT2) в частотном диапазоне от 2 до 26 МГц с шагом 8 кГц с настройкой ширины полосы на 8 кГц. Измерения проводились в режиме rms и регистрировались в MAXHOLD. Поскольку электрическое поле утечки имеет три независимых компонента (направления x, y, z), мы измерили три компонента в каждой точке измерений, которые затем были соединены в общую напряженность электрического поля.

⁵⁹ OHISHI, M., KITAGAWA, M., MISAWA, H. и TSUCHIYA, F. [сентябрь 2009 г.] Излучение утечки, вызванное системами широкополосной связи внутри зданий (1) – Измерение напряженности электрического поля на расстоянии и непосредственные измерения синфазного тока. IEIEC Tex. Отчет, EMCJ2009-40.

Мы также измерили синфазный ток внутри здания. Поскольку внутренняя электропроводка в здании, где проводились измерения, проходила по поверхности внутренней стены, стало возможным провести непосредственные измерения синфазного тока в нескольких точках вдоль линии электропередач при помощи датчика тока. Выходная мощность от датчика тока была измерена тем же анализатором спектра, который использовался для измерений электрического поля, в том же диапазоне частот, точках измерения, частотными настройками и режимом измерения. На выходе датчика тока был получен синфазный ток. Токи дифференциального режима и токи синфазного режима, протекающие от модемов PLT, были измерены тем же способом.

В таблице А3-6 приведены сведения о модемах PLT, используемых внутри зданий, которые продаются в Японии. Пара модемов PLT были подключены к розеткам внутри здания. Каждый модем был подсоединен к персональному компьютеру. Данные передавались путем отправки большого файла с одного компьютера на другой через модемы PLT. Измерения напряженности электрического поля утечки и токов были произведены в процессе передачи файла. Для измерений фонового шума модемы PLT были отключены от розеток.

ТАБЛИЦА А3-6

Модемы PLT, использованные для измерений

Стандарт PLT	Диапазон частот (МГц)	Скорость передачи данных (физический уровень) (Мбит/с)
HD-PLC	2–28	210
UPA	2–30	200

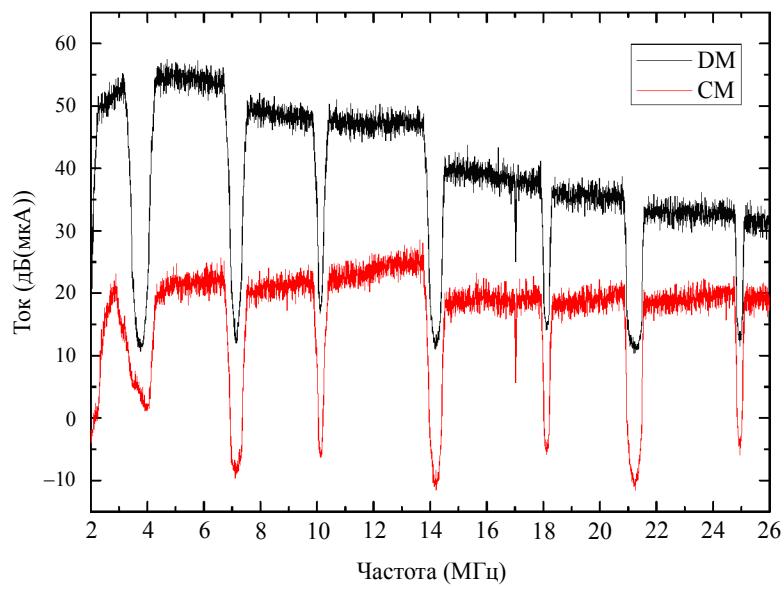
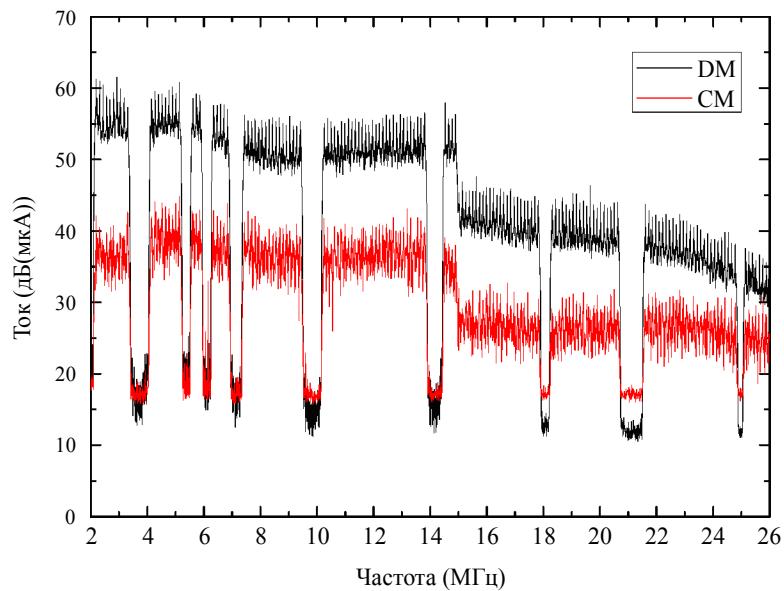
A3.5.3.3 Измеренные данные

Рисунок А3-38 показывает токи дифференциального режима и токи синфазного режима сразу после выходного порта PLT. Модем PLT вносит ток дифференциального режима в линию электропередач для передачи данных, и часть тока дифференциального режима будет преобразована в ток синфазного режима на несбалансированных элементах, которые размещены на линии электропередач. Степень преобразования зависит от несбалансированных элементов. Токи синфазного режима, показанные на рисунке А3-38, не являются преобразованным синфазным током, а генерируются в модеме PLT (вводимый или возбудимый ток синфазного режима).

Рисунки с А3-39 по А3-41 показывают напряженность электрического поля утечки от модема HD-PLC в западном, южном и юго-восточном направлении, соответственно.

РИСУНОК А3-38

**Токи дифференциального режима (DM) и токи синфазного режима (CM)
для модема HD-PLC (верхний график) и модема UPA (нижний график)**

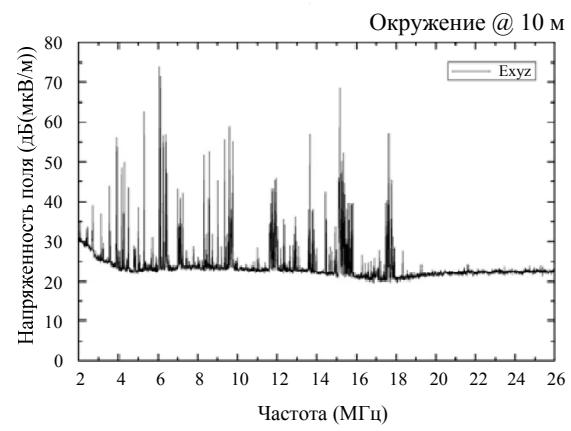
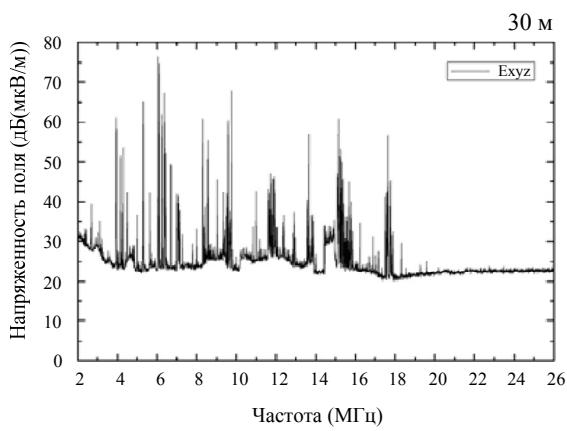
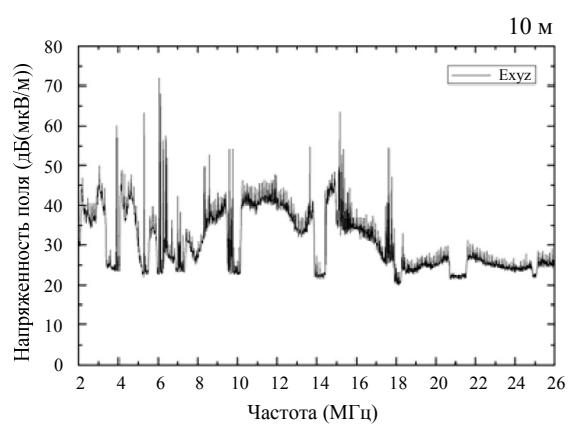
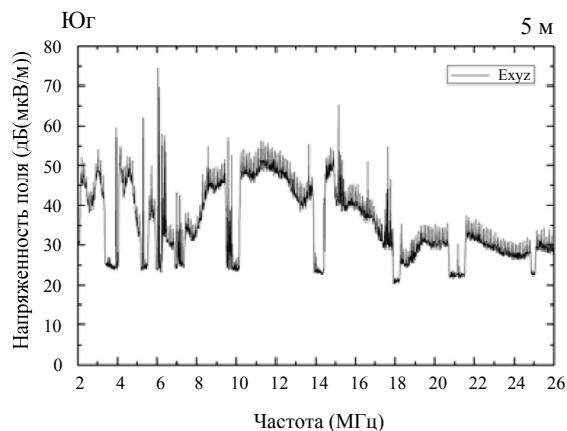


DM – Дифференциальный режим

CM – Синфазный режим

РИСУНОК А3-39

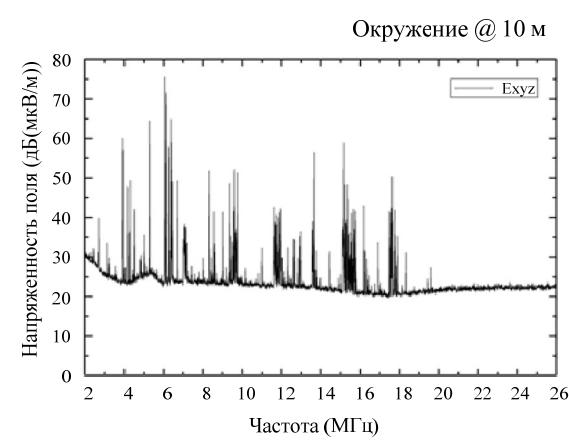
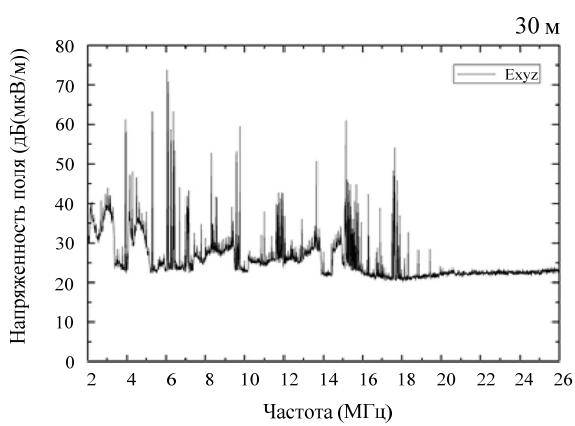
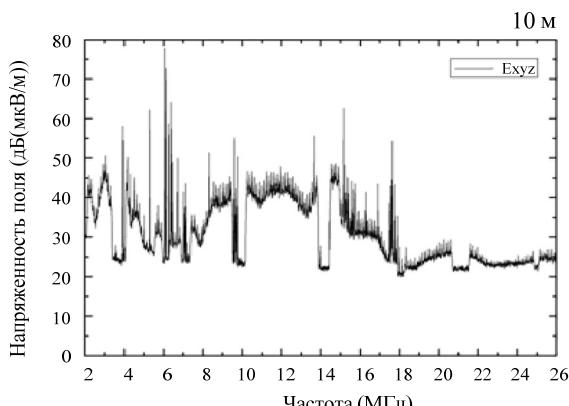
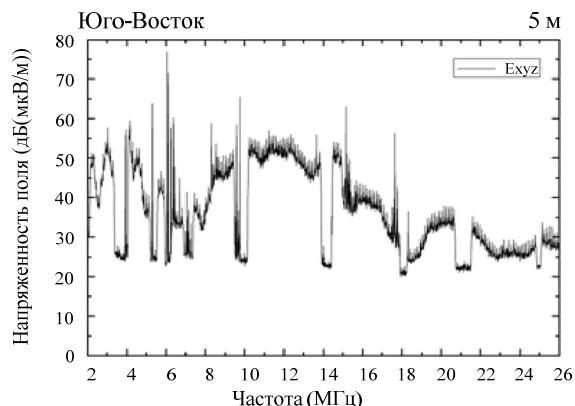
Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема HD-PLC в южном направлении



Report 2158-A3-39

РИСУНОК А3-40

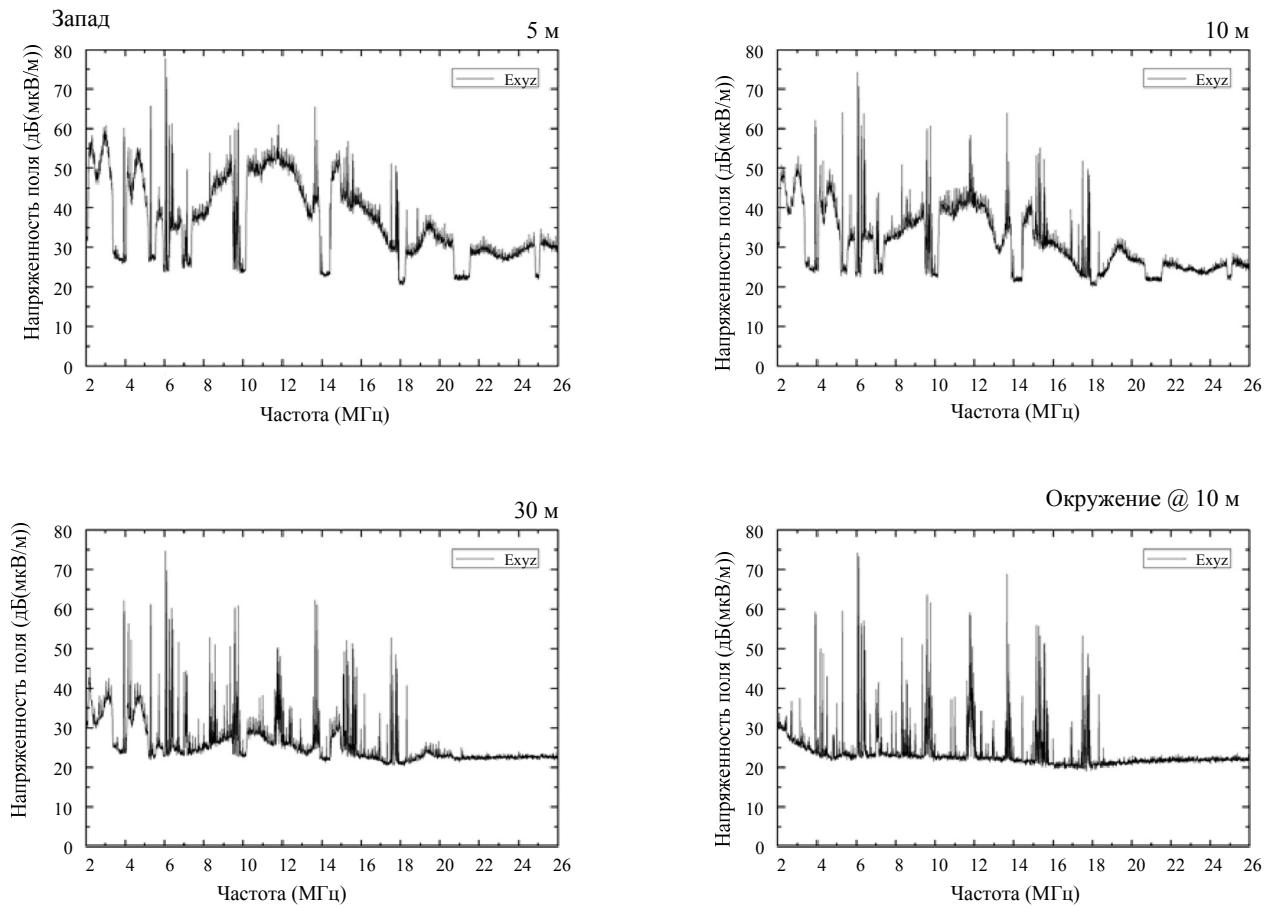
Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема HD-PLC в юго-восточном направлении



Report 2158-A3-40

РИСУНОК А3-41

Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема HD-PLC в западном направлении



Report 2158-A3-41

Рисунки с А3-42 по А3-44 показывают напряженность электрического поля утечки для модема UPA в западном, южном и юго-восточном направлении соответственно. Обратите внимание, что мы не можем включить данные об электрическом поле на расстоянии 5 м к югу из-за погрешности измерений.

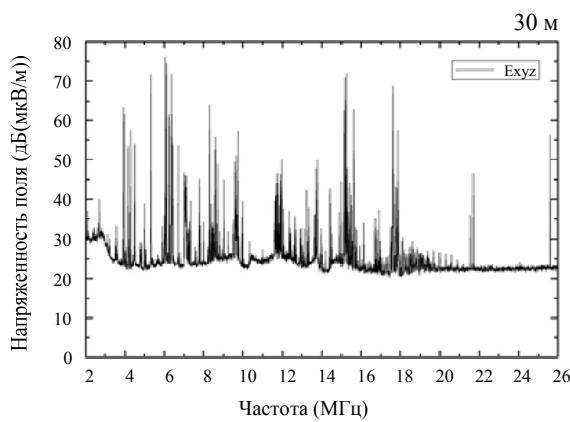
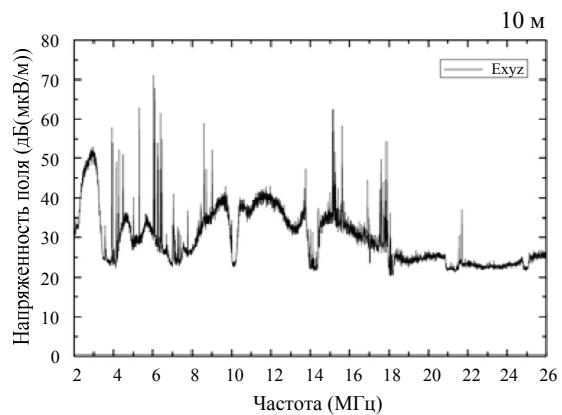
РИСУНОК А3-42

Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема UPA в южном направлении

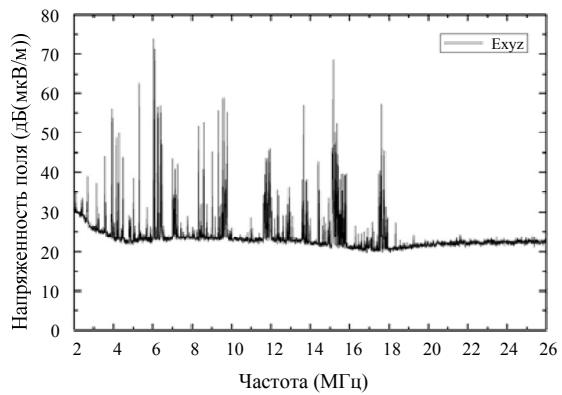
Юг

5 м

Нет данных измерения



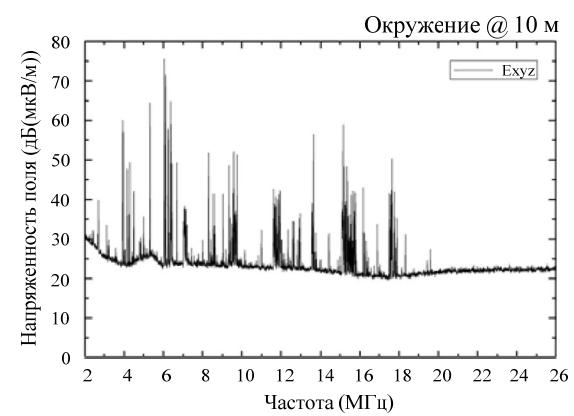
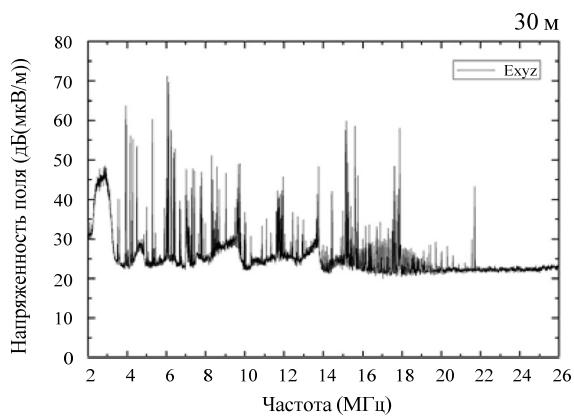
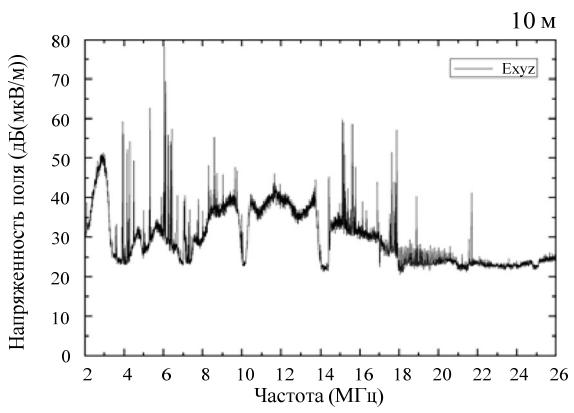
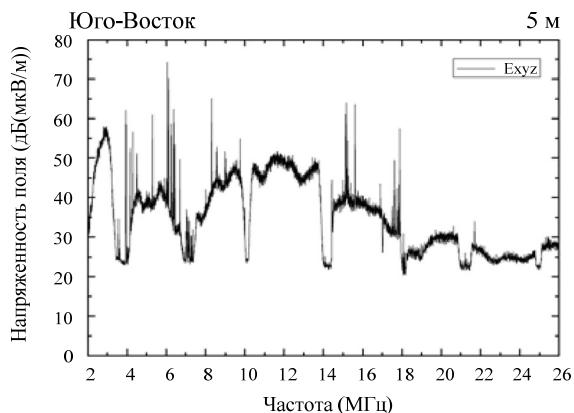
Окружение @ 10 м



Report 2158-A3-42

РИСУНОК А3-43

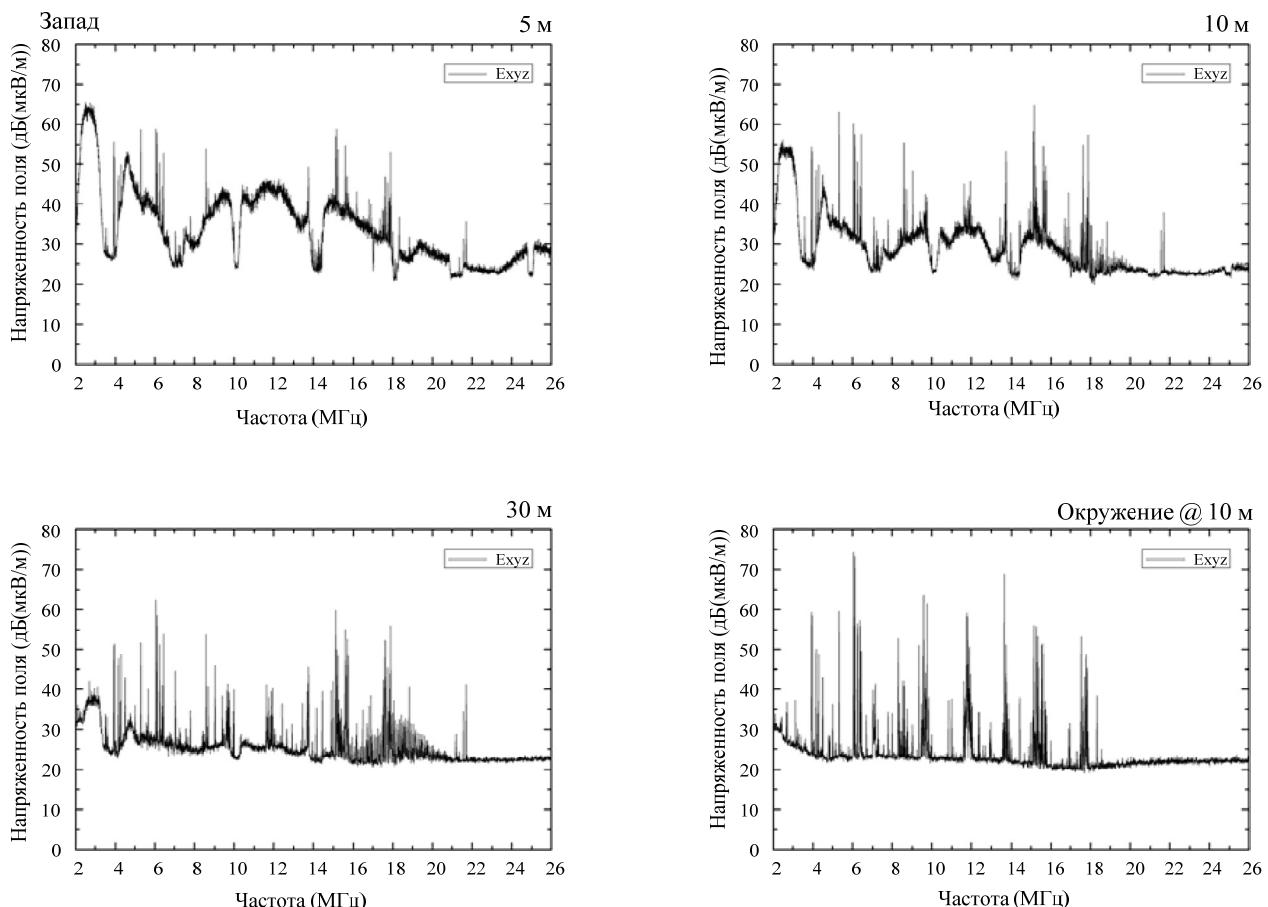
Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема УРА в юго-восточном направлении



Report 2158-A3-43

РИСУНОК А3-44

Напряженность электрического поля утечки (дБ(мкВ/м)) для модема UPA в западном направлении



Report 2158-A3-44

На рисунке А3-45 показано размещение линии электропередач внутри здания и точки, в которых проводились непосредственные измерения тока синфазного режима. Размер здания $5,4 \times 3,6$ м. Линия электропередач распределительной сети была простой; основная часть линий электропередач была протянута горизонтально от распределительного щита. Мы выбрали три точки:

- линия 1 расположена там, где линия электропередач разветвляется на два направления;
- линия 2 является еще одним направлением, к которому подключен светильник; и
- линия 3 вблизи конечной точки линии электропередач.

На рисунке А3-46 показаны измеренные токи синфазного режима в трех точках. Очевидно, что ток синфазного режима изменяется от точки к точке вдоль линии электропередач. В этом примере максимальное значение тока синфазного режима составило примерно 40 дБ(мкА), измеренное на частоте около 2,8 МГц на линии 2 и линии 3. Следует отметить, что отчетливо наблюдались несколько сигналов радиовещания (например, на частоте около 6 МГц). Это в свою очередь означает, что линия электропередач будет хорошей приемной антенной.

РИСУНОК А3-45

Расположение сети линии электропередач внутри здания, где проводились измерения

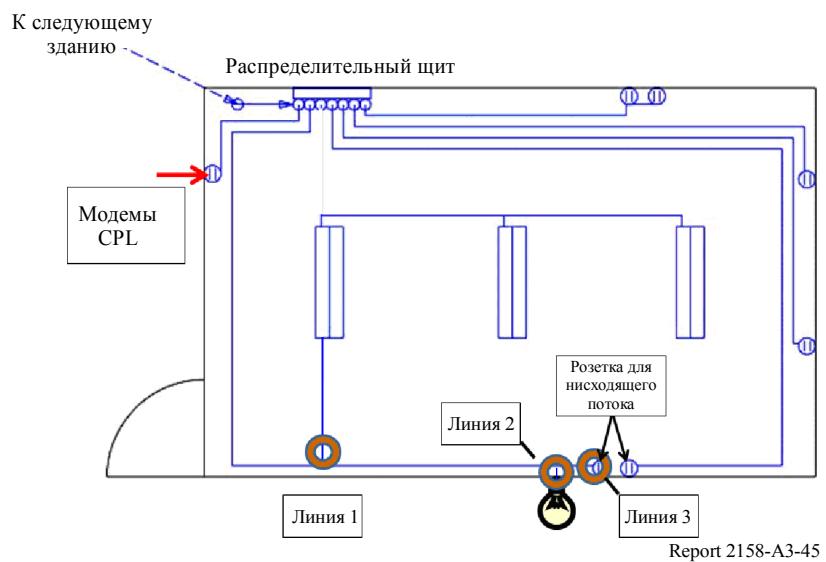
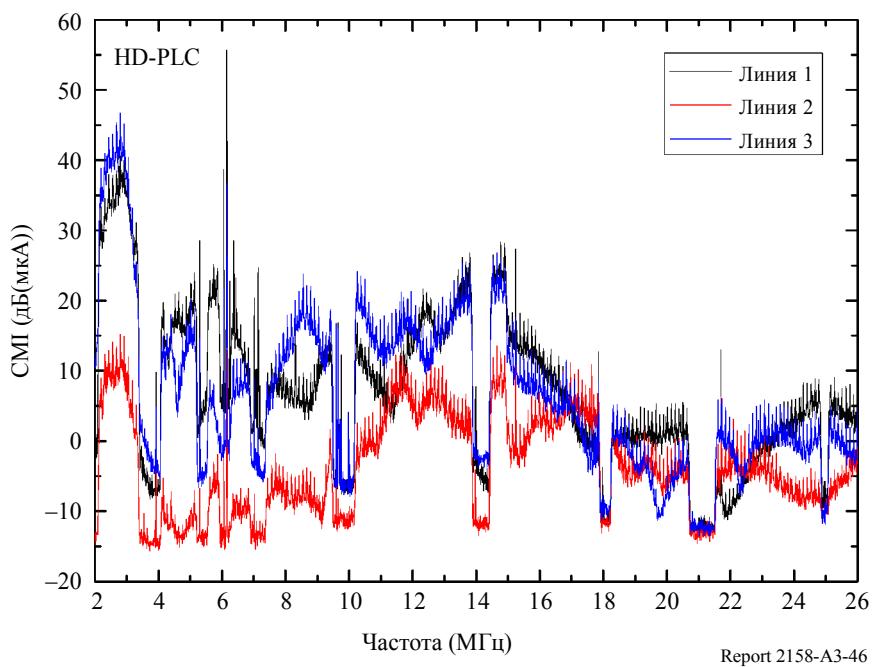


РИСУНОК А3-46

Пример непосредственного измерения тока синфазного режима линии электропередач внутри здания



A3.5.3.4 Определение зависимости от расстояния

Для того чтобы определить зависимость от расстояния, мы выбрали три диапазона частот: 2896–3200 кГц, 10 304–10 592 кГц и 14 502–14 792 кГц. Они были выбраны, поскольку не существует различимых сигналов для служб радиосвязи, полученных из фактически измеренных данных окружающей среды (рисунки с A3-39 по A3-44). Для каждого диапазона частот были рассчитаны средняя напряженность поля и стандартное отклонение, которое приведено на рисунке A3-47.

В ВЧ диапазоне граница между ближней зоной и дальней зоной ($\lambda/2\pi$) составляет примерно от 25 м (на частоте 2 МГц) до 1,5 м (на частоте 30 МГц). Следовательно, необходимо принимать во внимание этот факт, чтобы найти нужную модель для объяснения распределений измеренной напряженности поля. Мы обнаружили, что модель дипольного излучения дает хорошее приближение:

$$E = \frac{Z_0 I L}{2\pi D} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^4}, \quad (\text{A3-4})$$

где:

- E : напряженность поля;
- Z_0 : сопротивление пространства;
- I : ток;
- L : длина провода;
- λ : длина волны;
- D : расстояние.

Полагая $L = 5$ м, становится возможным выразить ток I , сравнивая модель кривой и измеренную напряженность поля. Полученные значения тока (синфазный режим) составили 42 дБ(мкА) в диапазоне 3 МГц, 24 дБ(мкА) в диапазоне 10 МГц и 20 дБ(мкА) в диапазоне 14 МГц, соответственно. Кривая модели также приведена на рисунке A3-47.

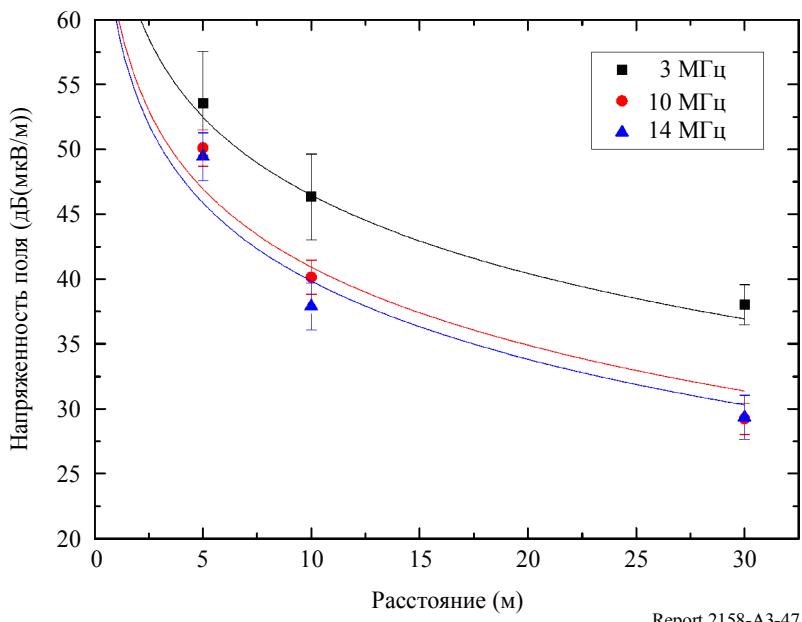
Полученное значение тока синфазного режима на рисунке A3-47 чуть меньше измеренных значений на рисунке A3-46. Когда мы примем во внимание ослабления на стене, станет возможным согласовать различия между непосредственно измеренными значениями и предполагаемыми значениями тока синфазного режима. Простая структура линии электропередач (рисунок A3-45) будет соответствовать приближению излучения диполя⁶⁰.

A3.5.3.5 Резюме

Утечка напряженности электрического поля и токи синфазного режима вдоль линии электропередач были измерены модемами PLT, находящимися внутри зданий. На основании данных этих измерений было установлено, что модель излучения диполя дает хорошее приближение для выражения зависимости между напряженностью поля и расстоянием от источника излучения.

⁶⁰ VICK, R. Оценка создаваемого излучения домашней электропроводки, вызванного системами электросвязи по линиям электропередач. EMC Zurich Conf., (февраль 2003 г.), стр. 87–92.

РИСУНОК А3-47
Пример распределения напряженности электрического поля и кривые модели



Report 2158-A3-47

Уравнение (А3-4) может быть представлено в случае ближней зоны в виде:

$$E \approx Z_0 \frac{IL}{8\pi^2 D^3} \quad \text{при} \quad \frac{\lambda}{2\pi D} \gg 1$$

и в случае дальней зоны в виде

$$E \approx Z_0 \frac{IL}{2\lambda D} \quad \text{при} \quad \frac{\lambda}{2\pi D} \ll 1.$$

Следовательно, зависимость расстояния не является простым значением (например, 20 дБ/декада или 40 дБ/декада) и должно быть тщательно выбрано в соответствии с соотношением длины волны и расстояния.

Дополнение 1 к Приложению 3

Измерений электромагнитного (ЭМ) излучения от устройств PLT внутри зданий, работающих в условиях жилой застройки – Отчет о натурных испытаниях

"Измерения электромагнитного (ЭМ) излучения внутри зданий от устройств электросвязи по линиям электропередач (PLT), работающих в условиях жилой застройки – Отчет о натурных испытаниях", Научно-исследовательский центр (Канада), 24 марта 2009 года доступен по адресу:

<http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf>

или см. Приложение 1 к Документу 1A/176.

Приложение 4

Примеры проектов технологии PLT

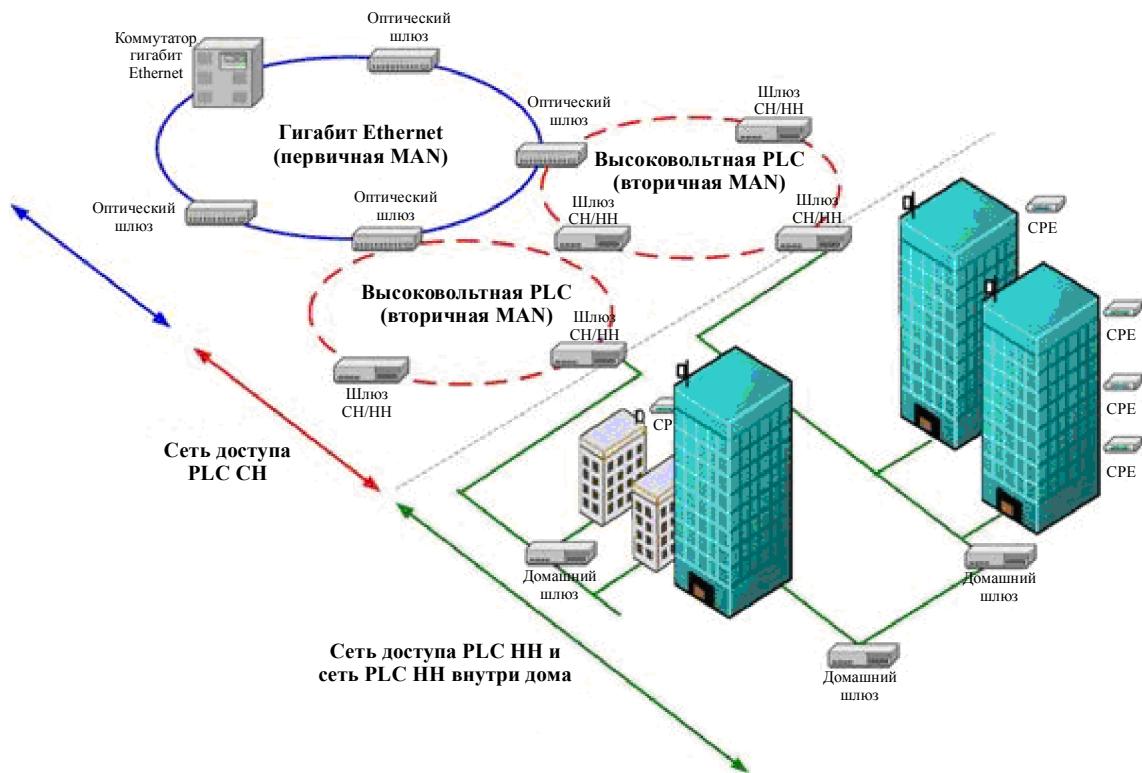
A4 Примеры проектов технологии PLT

A4.1 Примеры топологии сетей PLT

На рисунке А4-1 показан пример топологии сети PLT. В данном примере, оптическая эстафетная передача подключена к линиям распределения электроэнергии, или кольцам, через оптические шлюзы PLT. Кольца СН связаны с НН электрической распределительной сетью, к которой подключено оборудование в помещении пользователя (СРЕ), через шлюзы СН/НН PLT. Данные передаются между терминалами, расположенными в помещении пользователя, через домашние шлюзы к и от головных концов (не показаны), которые могут быть подключены к сети через шлюзы СН/НН (трансформаторные станции).

РИСУНОК А4-1

Пример топологии сети PLT



Report 2158-A4-01

Архитектуру сетей PLT можно разделить на три основные части, каждая из которых имеет собственную архитектуру:

- эстафетная передача, лучше по оптическому кольцу;
- кольцо СН PLT, в схеме либо с частотным, либо с временным разделением;
- кольцо НН PLT, как правило, древовидной или звездообразной топологии.

A4.2 Общие аспекты проектирования

A4.2.1 Управление доступом к среде

Целью управления доступом к среде (МАС) является распределение доступа между различными пользователями. МАС должен быть в состоянии справиться с различными типами архитектуры и позволяет использовать:

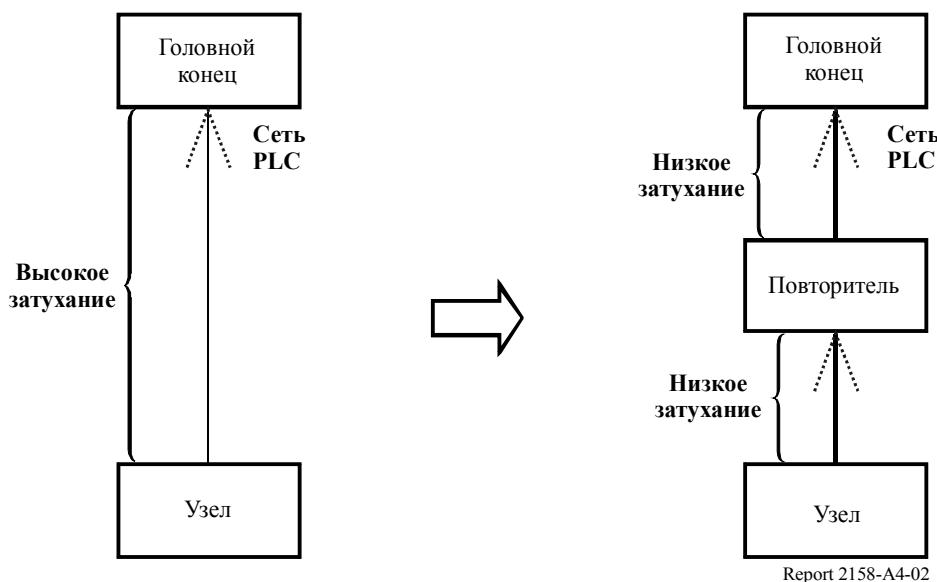
- Подход "ведущий-ведомый", при котором осуществляется передача данных между головным конечным оборудованием (НЕ) и оборудованием в помещении пользователя (СРЕ). Это обычный подход для сетей НН.
- Подход центрального контроллера, позволяющий напрямую связать два устройства сети, обычно используется в кольцах СН.

A4.2.2 Повторители

Из-за высокого ослабления в каналах линии электропередач иногда необходимо использование повторителей (и в сетях СН, и в сетях НН) для достижения полного охвата электрической сети. Эти повторители неявно показаны на рисунке А4-2 и могут быть установлены в стандартную основу, чтобы гарантировать, что сигнал, поступающий на каждый узел, является адекватным.

РИСУНОК А4-2

Типовое использование повторителя



Report 2158-A4-02

A4.2.3 Мультиплексирование и подходы многостанционного доступа

Системы электросвязи по линиям электропередач могут быть разработаны с различным мультиплексированием и подходами многостанционного доступа:

- с частотным разделением;
- с временным разделением.

Во избежание помех между СН и НН, каждая сеть PLT может использовать иной диапазон частот. Это также верно в НН/на границе здания. Как правило, частотное разделение используется между СН и НН. Частотное разделение может также быть использовано в НН повторителях, находящихся в нижней части здания, которые позволяют повторно использовать частоты в различных зданиях. Если устройства PLT развернуты только на НН или только на СН, может быть использован многостанционный доступ с временным разделением (TDMA).

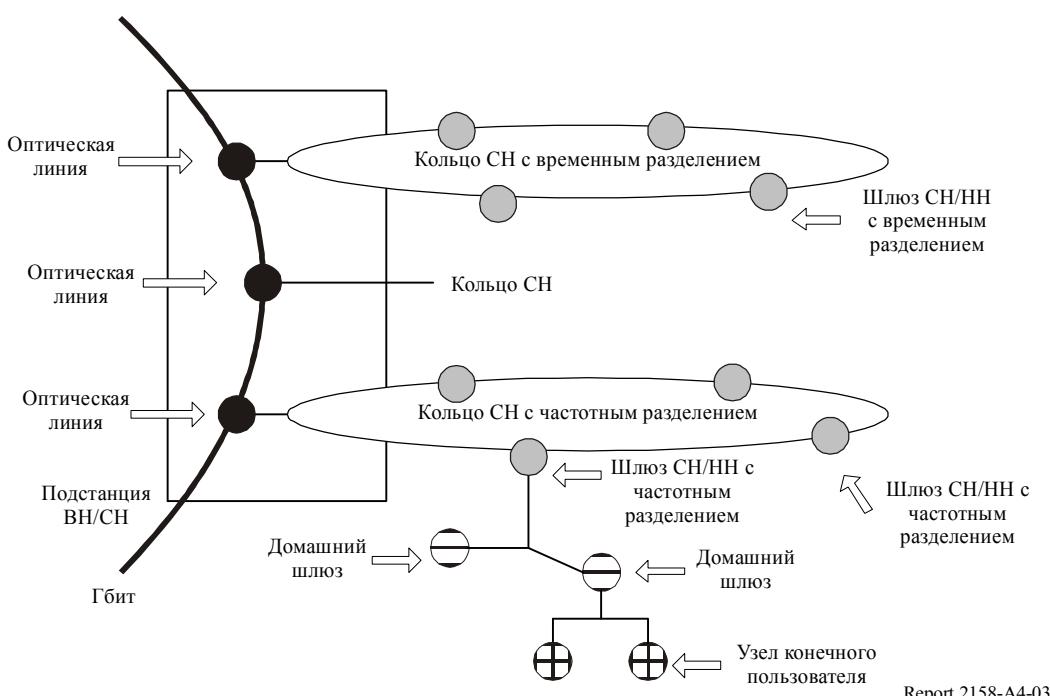
A4.2.4 Расстояние

Расстояние между двумя узлами сети PLT (в кольцевой топологии) или между головным концом ("ведущий") и домашним шлюзом ("ведомый") иногда слишком велико, и приемное оборудование может быть не в состоянии правильно получить данные. В этом случае необходимо использование повторителей.

A4.3 Архитектуры сети PLT на распределительных линиях среднего напряжения

На рисунке А4-3 показан пример архитектуры сети CH-PLT, где кольца СН подключены к оптической эстафетной передаче. Эти кольца могут использовать либо временное разделение, либо частотное разделение, в зависимости от скрытых требований и характеристик установки. Каждый узел кольца может быть подключен к сети HH-PLT.

РИСУНОК А4-3
Пример архитектуры сети PLT на высоковольтных распределительных линиях



Report 2158-A4-03

A4.4 Архитектуры сети PLT на распределительных линиях низкого напряжения

Сеть PLT на распределительных линиях низкого напряжения является последним шагом сети, соединяющей эстафетную передачу и пользователя. Он напрямую зависит от характеристик сети электроснабжения в помещениях пользователей. Основные факторы, влияющие на архитектуру сети НН PLT таковы:

Местоположение сети – Сеть PLT может быть расположена в жилом, промышленном или деловом районе. Более того, существуют различия между сельскими, пригородными или городскими жилыми районами. Промышленные и деловые районы характеризуются большим числом пользователей, являющихся потенциальными потребителями услуг PLT. Также можно ожидать, что абоненты из деловых районов имеют требования, отличные от требований абонентов промышленных районов, и особенно от требований абонентов жилых районов. А также можно найти подобные различия между городскими и сельскими районами применения.

Плотность абонентов – Количество пользователей/абонентов в сети НН, а также концентрация пользователей может изменяться от сети к сети. Абоненты могут размещаться в доме на одну семью (низкая плотность абонентов), что является типичным для сельских и пригородных районов применения; внутри небольших блоков, включающих несколько отдельных потребителей (например, городской жилой район); в зданиях с большим числом квартир или офисов; или внутри многоквартирных или офисных высоток (очень высокая плотность абонентов), таких как в больших торговых кварталах.

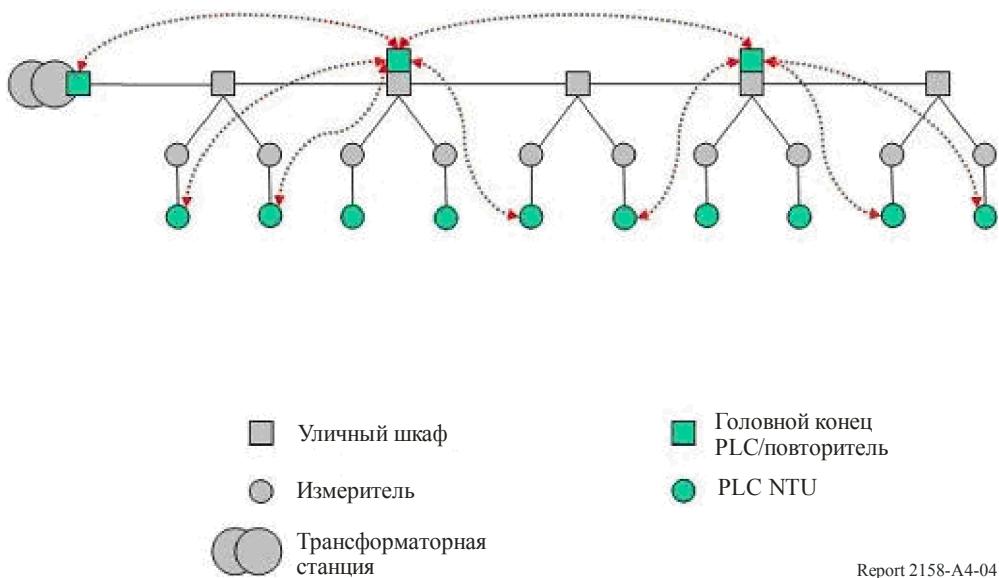
Длина сети – Протяженность расстояния между трансформаторным блоком и пользователем внутри сети также различается от места к месту. Как правило, существует значительная разница в длине сети между городскими и сельскими районами применений.

Конструкция сети – Как правило, низковольтные сети состоят из нескольких сетевых секций (ветвей), число которых непостоянно и, кроме того, меняется от сети к сети.

A4.4.1 Топология сети PLT малой плотности

Эта топология применяется в жилых районах с низкой плотностью абонентов, главным образом в домах на одну семью. Головной конец должен быть установлен на трансформаторной станции. В этом случае для получения хорошей производительности расстояние между повторителями (или между головным концом и одним повторителем) должно быть не более 100 м. Обычно это означает, что между двумя повторителями имеется не более двух уличных шкафов. Другим необходимым условием является расстояние между повторителями и окончательными устройствами сети (NTU). В некоторых местах необходимо устанавливать дополнительные повторители в промежуточных уличных шкафах с целью увеличения производительности для некоторых пользователей. Пример развертывания сети данной топологии приведен на рисунке A4-4. Как правило, на фидере длиной 300 м ставится три-четыре повторителя. На рисунке A4-4 пунктирующая линия показывает, что данные от некоторых NTU должны пройти через второй уличный шкаф до того, как достигнут повторителя.

РИСУНОК А4-4
Топология сети PLT малой плотности



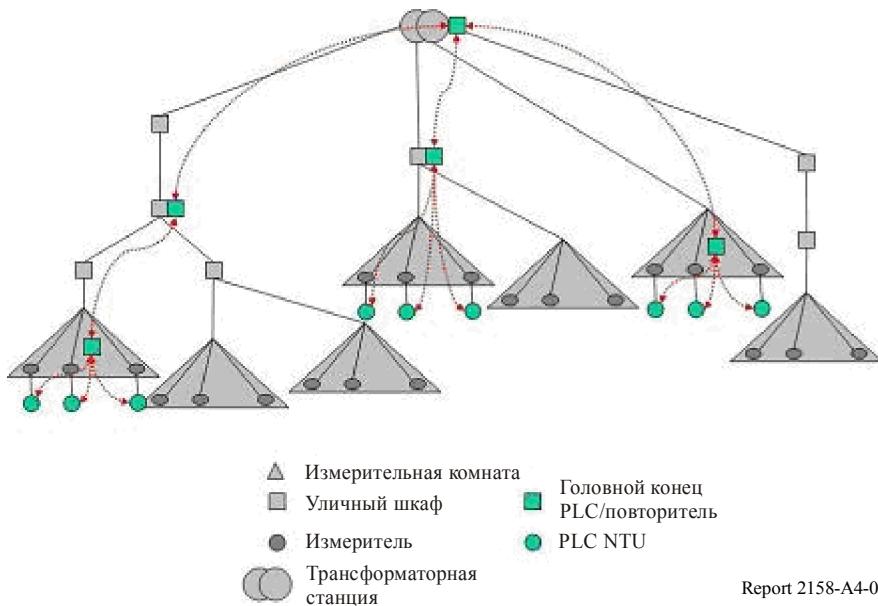
A4.4.2 Топологии сети PLT высокой плотности

Эта топология применяется в районах с высокой плотностью абонентов в зданиях. Измерители могут быть сгруппированы в измерительной комнате. Трансформатор напрямую связан с измерительной комнатой. Существуют два случая: фидер подходит непосредственно к измерительной комнате (древовидная топология) или к каждому фидеру подключено более одной измерительной комнаты (звездообразная топология). Эти две различные топологии представлены в следующих разделах. Также может существовать одиничный измеритель между трансформатором и электропроводкой здания.

A4.4.3 Звездообразная топология сети PLT

Головной конец должен быть установлен в трансформаторной станции. Повторители, как правило, устанавливаются в измерительной комнате, но в случае если расстояние между трансформатором и измерительной комнатой слишком велико, должны быть установлены дополнительные повторители в промежуточных уличных шкафах.

РИСУНОК А4-5
Пример звездообразной топологии сети PLT



A4.4.4 Древовидная топология сети PLT

В случае применения древовидной топологии головной конец должен быть установлен в трансформаторной станции, а повторитель – в каждой измерительной комнате.

A4.4.5 Топология многоэтажной сети PLT

Данная топология применяется в районах с высокой плотностью абонентов в зданиях, где измерители могут быть размещены на разных этажах.

Головной конец должен быть установлен в трансформаторной станции. Как правило, один повторитель устанавливается внутри каждого здания. Повторитель должен располагаться в центре здания, чтобы иметь возможность охватить все здание, но всегда должен находиться в зоне видимости специалиста или другого повторителя. Например, в шестиэтажном здании повторитель должен быть расположен на третьем этаже, но он размещен на втором этаже для увеличения пропускной способности к головному концу. Как показано на рисунке А4-7, в трехэтажном здании повторитель должен быть размещен между первым и вторым этажами.

РИСУНОК А4-6
Пример древовидной топологии сети PLT

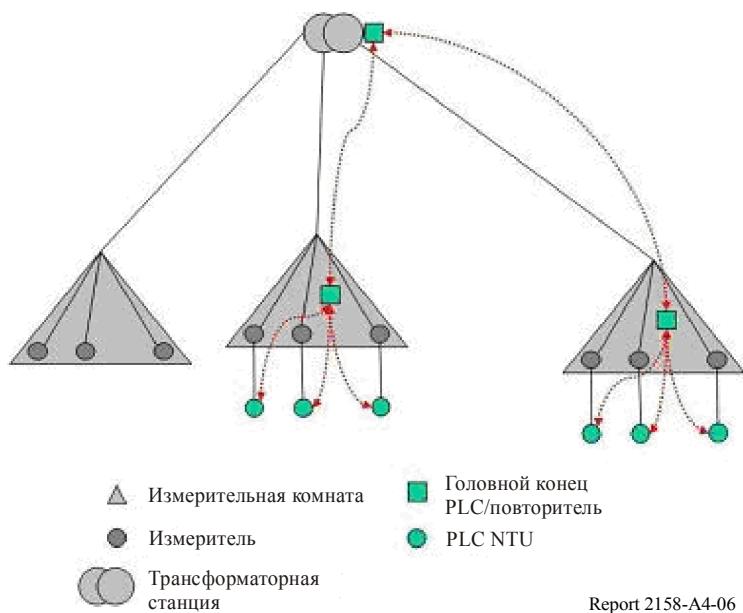


РИСУНОК А4-7
Пример топологии многоэтажной сети PLT

