

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2451-0
(06/2019)

**Оценка влияния беспроводной передачи
энергии для зарядки электромобилей
на службы радиосвязи**

Серия SM
Управление использованием спектра



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/ИСО/МЭК, упоминаемой в Резолюции МСЭ-R 1. 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/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

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

Серия	Название
VO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская 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 МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2020 г.

© ITU 2020

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.2451-0

Оценка влияния беспроводной передачи энергии для зарядки электромобилей
на службы радиосвязи

(2019)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение.....	5
2	Технические характеристики радиослужб и требования их защиты	5
3	Системные характеристики применений БПЭ-ЭМ.....	7
3.1	Радиохарактеристики БПЭ-ЭМ.....	7
3.2	Сценарий использования БПЭ-ЭМ 19–21 кГц/55–65 кГц.....	8
3.3	Сценарий использования БПЭ-ЭМ 79–90 кГц	10
3.4	Расчетный коэффициент использования зарядной площадки	12
4	Обобщающие результаты исследований по влиянию БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи...	13
4.1	Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 19–21 кГц.....	13
4.2	Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 55–65 ГГц.....	14
4.3	Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 70–90 кГц.....	15
4.4	Пределы излучения при БПЭ-ЭМ для защиты АМ-радиовещания.....	17
4.5	Влияние побочных и гармонических излучений на любительскую службу и соответствующие требования защиты	21
5	Согласование и меры по смягчению воздействия БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи	22
5.1	Глобальное согласование	22
5.2	Меры по смягчению воздействия	22
6	Выводы.....	23
	Приложение 1 – Технические характеристики и требования защиты служб радиосвязи для использования в исследованиях по воздействию БПЭ-ЭМ	26
A1.1	Морские службы.....	26
A1.2	Любительская служба	27
A1.3	Служба стандартных частот и сигналов времени	27
A1.4	Звуковая радиовещательная служба.....	32
A1.5	Метеорологическая служба.....	33
	Приложение 2 – Пример уровней излучения БПЭ-ЭМ	34
A2.1	БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц	34
A2.2	БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц.....	35

Приложение 3 – Пределы излучений БПЭ-ЭМ, предлагаемые организациями по разработке стандартов	38
A3.1 Проект пределов излучения, предлагаемый СИСПР	38
Приложение 4 – Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени.....	40
A4.1 Исследования по воздействию на службу на стандартных частот и сигналов времени, работающую на частоте 60 кГц	40
A4.2 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени, работающую на частоте 77,5 кГц	51
Приложение 5 – Исследование по воздействию БПЭ-ЭМ в Китае	59
A5.1 Исследование по воздействию БПЭ-ЭМ на СЧ-радиовещание.....	59
A5.2 Исследование по влиянию БПЭ-ЭМ на систему Loran в Китае	78
A5.3 Ссылки.....	86
Приложение 6 – Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц в Корее.....	87
A6.1 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц на службы SFTS.....	87
A6.2 Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц на службы звукового АМ-радиовещания.....	88
Приложение 7 – Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц в Японии	91
A7.1 Введение.....	91
A7.2 Пределы излучения при БПЭ для электромобилей.....	91
A7.3 Стандартизация БПЭ-ЭМ	92
A7.4 Исследования по воздействию БПЭ в полосе 79–90 кГц	92
Приложение 8 – Анализ воздействия систем БПЭ на радиовещательные службы	102
A8.1 Справочная информация	102
A8.2 Факторы, влияющие на интенсивность помех	103
A8.3 Комментарий и приложение к системам БПЭ и радиовещательным приемникам.....	103
A8.4 Предельно допустимые значения напряженности поля	104
Прилагаемый документ 1 к Приложению 8 – Информация о НЧ- и СЧ-радиовещательных передатчиках, подверженных воздействию БПЭ-ЭМ	111
A8-A1.1 Введение	111
A8-A1.2 Доступные источники информации.....	111
Добавление 1 к Прилагаемому документу 1 к Приложению 8	112
Добавление 2 к Прилагаемому документу 1 к Приложению 8 – Сведения по техническим параметрам радиовещательных передатчиков (Ofcom UK).....	114

Стр.

Прилагаемый документ 2 к Приложению 8 – Отчет по СЧ-радиовещанию в разных частях Района 2.....	115
A8-A2.1 Краткий обзор	115
A8-A2.2 Введение	116
A8-A2.3 Изучение рынка	116
Прилагаемый документ 3 к Приложению 8 – Факторы, влияющие на вредное воздействие помех	119
Прилагаемый документ 4 к Приложению 8 – Определение максимально допустимого уровня помех на входе АМ-приемника.....	120
Прилагаемый документ 5 к Приложению 8 – Предполагаемое расстояние разноса между зарядным устройством БПЭ-ЭМ и бытовым АМ-радиоприемником – фотографический обзор	124
Прилагаемый документ 6 к Приложению 8 – Характеристики приемника звукового СЧ-радиовещания при наличии помех от БПЭ-ЭМ.....	130
Прилагаемый документ 7 к Приложению 8 – Дальнейшие исследования с использованием серийного радиоприемника.....	134
Приложение 9 – Анализ ЕРС для согласования результатов исследования по воздействию, описываемого в Приложении 5, с указанными в пункте 4.4 необходимыми предельными уровнями излучения БПЭ-ЭМ для защиты АМ-радиовещания.....	142
A9.1 Резюме	143
A9.2 Определения	143
A9.3 Справочная информация	145
A9.4 Ссылки.....	149
Приложение 10 – Исследование по воздействию устройств БПЭ-ЭМ, работающих в полосе 79–90 кГц, на системы радиосвязи в любительской службе.....	149
A10.1 Введение.....	149
A10.2 Справочная информация	150
A10.3 Расположение установок БПЭ-ЭМ.....	152
A10.4 Уровни побочных излучений	152
A10.5 Целевой уровень защиты	154
A10.6 Измерения существующих систем	155
A10.7 Резюме	156
Приложение 11 – Анализ влияния систем БПЭ-ЭМ на системы слуховых аппаратов T-Coil....	156
A11.1 Рабочие параметры.....	157
A11.2 Предельно допустимые уровни помех	157
A11.3 Передачики T-Coil	157
A11.4 Приемники T-Coil.....	158

Сокращения и акронимы

AM	Amplitude modulation		Амплитудная модуляция
ATS	Automatic Train Stop systems		Система автоматической остановки поезда
BBC	British Broadcasting Corporation	Би-Би-Си	Британская радиовещательная корпорация
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations/ Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications	СЕПТ	Европейская конференция администраций почт и электросвязи
CISPR	Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques	СИСПР	Международный специальный комитет по радиопомехам
EBU	European Broadcasting Union	ЕРС	Европейский радиовещательный союз
ERC	European Radiocommunications Committee		Европейский комитет радиосвязи
EV	Electric vehicle	ЭМ	Электромобиль
IEC	International Electrotechnical Commission	МЭК	Международная электротехническая комиссия
ITRS	Inductive Train Radio System		Система индукционной поездной радиосвязи
ITU-R	ITU Radiocommunication Sector	МСЭ-R	Сектор радиосвязи МСЭ
LF	Low frequency	НЧ	Низкая частота
LORAN	Long-range navigation		Навигация дальнего действия
MF	Medium frequency	СЧ	Средняя частота
MF-WPT	Magnetic field wireless power transfer	МП-БПЭ	Беспроводная передача энергии посредством магнитного поля
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicle		Подзаряжаемый гибридный электромобиль
RR	Radio Regulations	РР	Регламент радиосвязи
SAE	Society of Automotive Engineers		Общество автомобильных инженеров
SDO	Standards Development Organization	ОРС	Организация по разработке стандартов
SFTS	Standard frequency and time signal		Стандартные частоты и сигналы времени
SRD	Short range device		Устройство малого радиуса действия
TC	Technical Committee	ТК	Технический комитет
WPT	Wireless power transmission	БПЭ	Беспроводная передача энергии
WPT-EV	Wireless power transmission for electric vehicles	БПЭ-ЭМ	Беспроводная передача энергии для электромобилей
WRC	World Radiocommunication Conference	ВКР	Всемирная конференция по радиосвязи

Соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.1056

Рекомендация МСЭ-R SM.1896

Рекомендация МСЭ-R SM.2129-0

Отчет МСЭ-R SM.2153

Отчет МСЭ-R SM.2303.

1 Введение

Во всем мире проходят экспериментальную проверку или находятся на стадии внедрения различные устройства для беспроводной передачи энергии (БПЭ). Частоты, используемые для БПЭ в целях зарядки электромобилей (БПЭ-ЭМ), также применяются системами или службами радиосвязи. Влияние применений БПЭ-ЭМ на существующие службы радиосвязи недостаточно изучено. ВКР-15 приняла решение, что для изучения возможного воздействия БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи, работающие на тех же или соседних частотах, МСЭ-R должен исследовать такое воздействие, исходя из *Дополнение 1 а) и b)* Резолюции **958 (ВКР-15)** в качестве одного из срочных исследований, необходимых при подготовке к Всемирной конференции радиосвязи 2019 года (ВКР-19). С этой целью в пункт 9.1 повестки дня ВКР-19 включен вопрос 9.1.6.

В Резолюции **958 (ВКР-15)** также предлагается провести исследования подходящих согласованных полос частот, которые сведут к минимуму воздействие БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи. При рассмотрении потенциальных кандидатных полос частот необходимы исследования воздействия на службы, уже имеющие распределения в этих полосах частот и в соседних полосах. Эти исследования должны учитывать текущее и запланированное использование этих частот существующими службами и их необходимую защиту от излучений БПЭ-ЭМ.

Настоящий Отчет охватывает оценку воздействия БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи, работающие на тех же или соседних частотах, для обеспечения необходимой защиты этих служб. Предполагается также предоставить администрациям, желающим разрешить внедрение технологий БПЭ-ЭМ в предлагаемых диапазонах частот, руководящие указания по минимизации потенциального воздействия БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи.

2 Технические характеристики радиослужб и требования их защиты

Потенциально существует большое количество радиослужб, на работу которых может повлиять работа устройств БПЭ-ЭМ. Это воздействие может быть на той же частоте, соседних частотах или частотах с большим разносом. Информация о технических характеристиках радиослужб, используемых в исследованиях воздействия, и требованиях по их защите представлена в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

**Технические характеристики служб/систем радиосвязи,
используемых для исследований воздействия, и требования по их защите**

Полоса частот	Служба/система	Сфера применения	Характеристики и требования по защите (ссылка)
50 Гц – 10 кГц	Системы T-Coil (с индукционной катушкой)	Слуховые аппараты	Приложение 11
5–200 кГц	Метрологические радиосистемы	Система обнаружения молний	

ТАБЛИЦА 1 (окончание)

Полоса частот	Служба/система	Сфера применения	Характеристики и требования по защите (ссылка)
10–250 кГц 425–524 кГц	Системы автоматической остановки поездов (ATS)	Средства безопасности железнодорожного движения	Приложение 7
14–19,5 кГц	ФИКСИРОВАННАЯ ПОДВИЖНАЯ МОРСКАЯ		
19,95–21 кГц (20 кГц)	Служба стандартных частот и сигналов времени		Приложение 1
20,5–70 кГц	ФИКСИРОВАННАЯ ПОДВИЖНАЯ МОРСКАЯ		
39–41 кГц (40 кГц)	Служба стандартных частот и сигналов времени	Сигнал времени 40 кГц, используемый в Японии	Приложение 1
59–61 кГц (60 кГц)	Служба стандартных частот и сигналов времени	Сигнал времени 60 кГц, используемый в Японии, Соединенном Королевстве и США	Приложение 1
68,25–68,75 кГц (77,5 кГц)	Служба стандартных частот и сигналов времени	Сигнал времени 77,5 кГц, используемый в Германии	Приложение 1
90–110 кГц	РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ Морская радиосвязь	Loran-C	
99,75–102,5 кГц (100 кГц)	Служба стандартных частот и сигналов времени		Приложение 1
128,6–129,6 кГц	Фиксированная	Радиопульсационный контроль	
130–535 кГц	Воздушная	Всенаправленные радиомаяки	
135,7–137,8 кГц	Любительская		Приложение 10
157,5–166,5 кГц	Служба стандартных частот и сигналов времени		Приложение 1
148,5–283,5 кГц	Радиовещательная	Низкочастотное (НЧ) звуковое АМ-радиовещание	Приложение 1 и Приложение 8
255–405 кГц	ВОЗДУШНАЯ РАДИОНАВИГАЦИОННАЯ		
424, 490, 518 кГц и 495–505 кГц	Морская		
472–479 кГц	Любительская		Приложение 10
525–1705 кГц	Радиовещательная	Среднечастотное (СЧ) звуковое АМ-радиовещание	Приложение 1 и Приложение 8
1800–2000 кГц	Любительская		Приложение 10
< 30 МГц	Ряд служб выразили озабоченность по поводу уровней нежелательных излучений. В частности, воздушная, морская, радиовещательная и любительская службы		Приложение 1

3 Системные характеристики применений БПЭ-ЭМ

3.1 Радиохарактеристики БПЭ-ЭМ

В исследованиях воздействия использовались радиохарактеристики типичной системы БПЭ-ЭМ на основе имеющейся в МСЭ-R информации, которые сведены в таблицу 2, и общие параметры типичной системы БПЭ-ЭМ, приведенные в таблице 3. Подробная информация об уровнях излучения, включая нежелательные излучения, приведена в Приложении 2. Подробная информация о предварительных предельно допустимых значениях, предлагаемых организациями по разработке стандартов (SDO), приведена в Приложении 3.

Обсуждаемые в Подкомитете CISPR В предельно допустимые значения использовались в некоторых исследованиях воздействия и включены в таблицы А3-1 и А3-2 Приложения 3. Подкомитет CISPR В работает над тем, чтобы ввести предельно допустимые значения излучений и методы их измерения для зарядных устройств БПЭ-ЭМ в следующее издание (Издание 7) стандарта CISPR 11.

В таблице А7-1 Приложения 7 также приведены предельно допустимые значения излучений для применений БПЭ-ЭМ в Японии, полученные по результатам внутренних исследований, проводившихся в Японии.

ТАБЛИЦА 2

Радиохарактеристики для примера уровней излучения устройств БПЭ-ЭМ в исследованиях по мешающему воздействию

Полоса частот (кГц)	Центральная частота (кГц)	Маска излучения	Стабильность частоты (Гц)	Уровень мощности (кВт)	Уровень излучения основной частоты на расстоянии 10 м (дБмкА/м)	Уровень излучения третьей гармоники на расстоянии 10 м (дБмкА/м)	Уровни нежелательных излучений	Использование
19–21/ 55–57 ¹ 63–65	19–21 (Примечание 1)	Приложение 3	Примечание 1	22–120	Приложение 2	Приложение 2	Приложение 2	Тяжелые ЭМ
79–90	79–90 (Примечание 1)	Приложение 3	Примечание 1	1–22	Приложение 2	Приложение 2	Приложение 2	Легковые ЭМ

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Пока не стандартизировано. Зависит от конструкции устройства. Требования к частоте см. у соответствующих ОРС.

¹ Эта полоса частот представляет собой третью гармонику основной частоты в полосе частот 19–21 кГц. В некоторых индукционных системах основная частота используется вместе с третьей гармоникой для достижения более высокой эффективности передачи энергии.

ТАБЛИЦА 3

Общие параметры типовой системы БПЭ-ЭМ

Параметр	БПЭ-ЭМ 19–21 кГц/55–65 кГц	БПЭ-ЭМ 79–90 кГц
Область применения	Тяжелые электромобили (электробусы, грузовики и т. д.)	Легковые электромобили
Уровни мощности	22–120 кВт	1–22 кВт
Типичный уровень мощности	100 кВт для электробусов	11 кВт для легковых электромобилей
Использование частот в рабочей полосе	<ul style="list-style-type: none"> – Переменная настройка поиска и выбора рабочей частоты для лучшей эффективности – Выделенные дискретные рабочие частоты – Фиксированная рабочая частота 	
Источники излучения	<ul style="list-style-type: none"> – Силовая электроника, генерирующая передаваемую энергию – Кабели, соединяющие энергию с зарядной площадкой – Магнитные элементы зарядной площадки (ферритовые антенны) 	
Механизм связи	Индуктивный резонанс	
Ситуация связи (воздушный зазор между транспортным средством и зарядной площадкой)	Ближняя зона 0,2 ... 0,35 м	Ближняя зона 0,08 ... 0,3 м
Эффективность (КПД) системы связи	80% ... 85%	80% ... 95%
Возможность использования	<ul style="list-style-type: none"> – В автобусном парке – На автовокзале 	Частная парковка <ul style="list-style-type: none"> – дома – на работе В общественных местах <ul style="list-style-type: none"> – открытые автостоянки – открытые автостоянки на улице – многоэтажные автостоянки – подземные автостоянки
Направление зарядки	Однонаправленная/двунаправленная	
Ожидаемая плотность расположения зарядных площадок БПЭ-ЭМ	1 единица/100 м ² <ul style="list-style-type: none"> – В автобусном парке – На автовокзале 	5 единиц/100 м ² В многоэтажном гараже: одинаковая плотность на каждом этаже

3.2 Сценарий использования БПЭ-ЭМ 19–21 кГц/55–65 кГц

Основной сценарий использования, предусмотренный в отношении БПЭ для тяжелых транспортных средств при работе в полосах частот 19–21 кГц/55–65 кГц, рассчитан на электробусы. Сценарии использования приведены в таблице 4.

ТАБЛИЦА 4

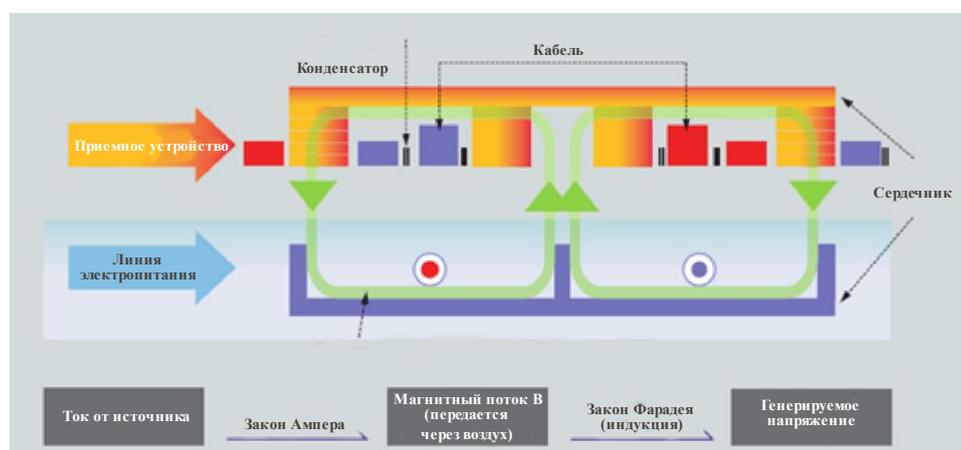
Сценарии использования БПЭ-ЭМ 19–21 кГц / 55–65 кГц для электробусов

Сценарии	Время зарядки одного транспортного средства	Количество электробусов на маршруте	Количество транспортных средств, которые могут заряжаться одновременно	Мощность зарядки	КПД
БПЭ-ЭМ для тяжелых транспортных средств на базе автопарка (например, на автовокзале/ в парке/в гараже)	15–20 минут	6 электробусов на маршруте, 45 минут между устройствами БПЭ-ЭМ на конечных пунктах, 90 минут туда и обратно	4 (обычно 1–2)	100 кВт	85%
БПЭ-ЭМ на улице для тяжелых транспортных средств (например, на автобусных остановках)	В настоящее время не предусмотрено				
Динамическая зарядка (когда транспортное средство находится в движении)	Считается неосуществимой и не имеет прецедентов				

Базовая конфигурация типичного устройства БПЭ-ЭМ показана на рисунке 1. Система зарядки транспортных средств (первичное устройство) может находиться под землей или размещаться на земле, так чтобы передавать с помощью магнитного поля энергию расположенному над ней транспортному средству с аккумуляторным питанием. В гараже электробус может заряжаться непрерывно.

РИСУНОК 1

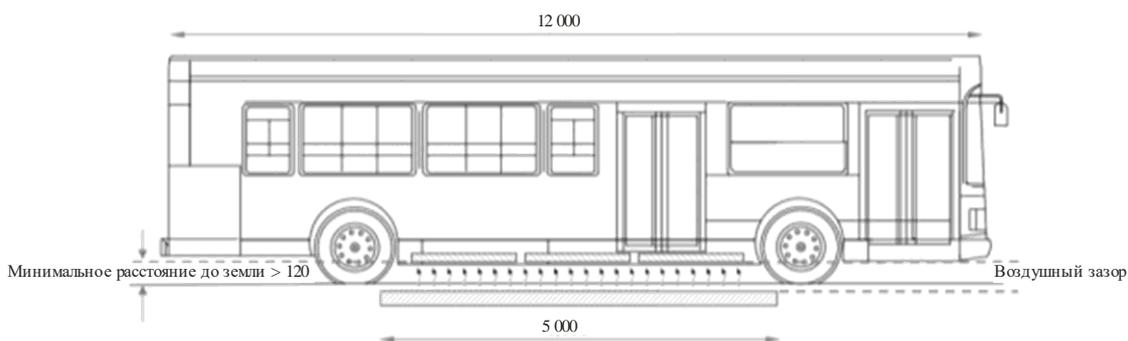
Блок-схема типичного устройства БПЭ-ЭМ



Report SM.2451-01

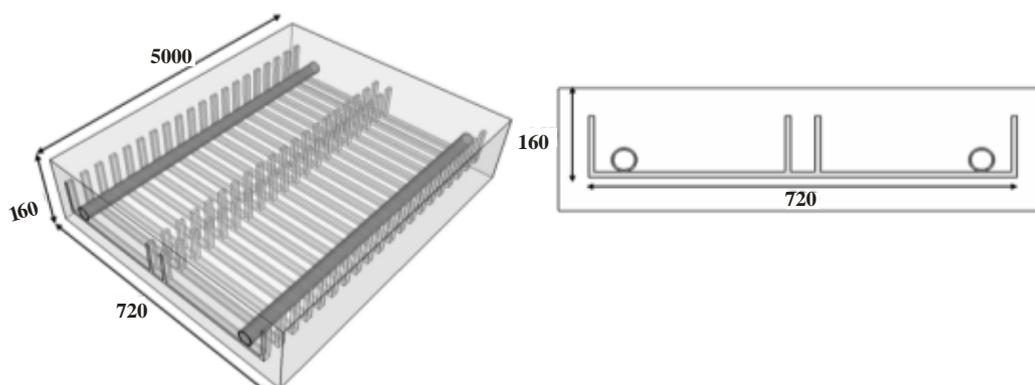
Беспроводная передача энергии между источником переменного тока и ЭМ основана на принципе передачи энергии посредством магнитного поля. Для этого используются система электропитания (например, первичное устройство ИЭС ТС69) и приемное устройство (например, вторичное устройство ИЭС ТС69). Такая система БПЭ-ЭМ может содержать одну или несколько катушек индуктивности. Оба устройства соединены индуктивно-резонансным способом.

РИСУНОК 2
Типичные примеры зарядки БПЭ-ЭМ



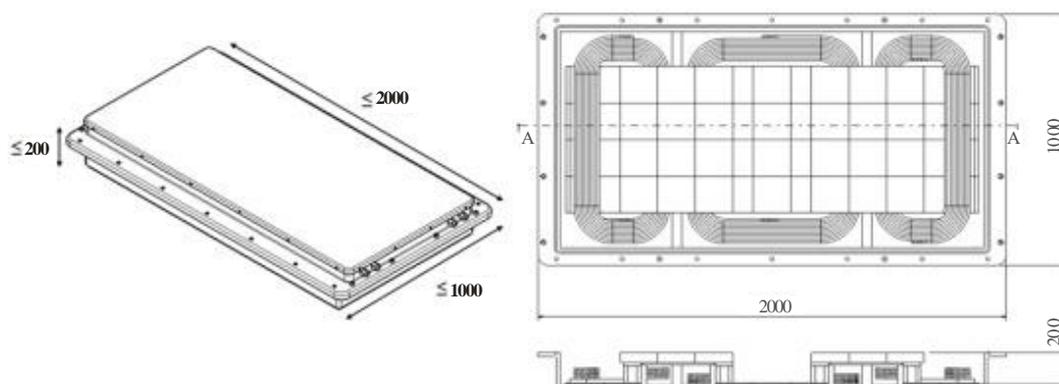
Report SM.2451-02

РИСУНОК 3
Система электроснабжения (первичное устройство)



Report SM.2451-03

РИСУНОК 4
Типичное приемное устройство (вторичное устройство)



Report SM.2451-04

3.3 Сценарий использования БПЭ-ЭМ 79–90 кГц

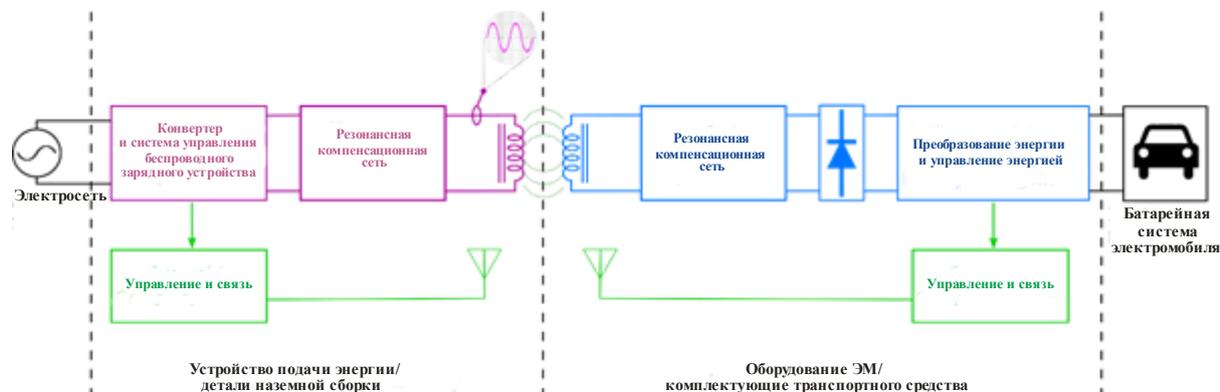
3.3.1 Краткое описание систем БПЭ, стандартизируемых ОРС

Системы БПЭ-ЭМ активно используются во всем мире для поддержки международных инициатив по эксплуатации электромобилей. Системы БПЭ-ЭМ считаются важной частью инфраструктуры для зарядки электромобилей. Три основных ОРС опубликовали документы по системам беспроводной передачи энергии для электромобилей (БПЭ-ЭМ). Это документы IEC/TC69/WG7, ISO/TC22/SC37/JPT19363 и SAE J2954. Координируя свою деятельность, эти три ОРС согласовывают требования, предъявляемые к рассматриваемым системам, что помогает обеспечить функциональную совместимость устройств во всем мире.

Системы БПЭ-ЭМ предназначены для эффективной беспроводной передачи энергии от катушки в сборе, расположенной на земле (первичное устройство), к катушке в сборе, расположенной под электрическим транспортным средством (вторичное устройство). Беспроводная передача энергии происходит посредством магнитного поля с использованием магнитных свойств ближней зоны и резонанса. На рисунке 5 показана блок-схема такой системы.

РИСУНОК 5

Структурная схема типичной системы БПЭ-ЭМ, стандартизованной OPC



Report SM.2451-05

В общем случае система БПЭ-ЭМ состоит из двух основных подсистем: устройства подачи энергии (исходя из IEC и ISO)/деталей наземной сборки (GA) (в SAE) и оборудования ЭМ (IEC и ISO)/комплектующих транспортного средства. Устройство подачи энергии отвечает за создание магнитного поля на желаемой рабочей частоте, в то время как оборудование ЭМ эффективно преобразует магнитное поле в энергию постоянного тока, которую ЭМ может использовать.

Основываясь на обширном исследовании и пересмотре, МЭК, ИСО и SAE определили, что основная рабочая частота системы БПЭ-ЭМ применений в легковых автомобилях должна находиться в пределах 79–90 кГц. Хотя определена полоса частот, обычно ожидается, что данная система будет номинально работать на некоторой фиксированной частоте в пределах этого диапазона и не будет регулировать свою частоту в процессе передачи энергии. Также ожидается, что при любых условиях эти системы будут работать с КПД выше 80%, хотя измерения показали, что типичные значения КПД передачи от входного переменного тока до выходного постоянного тока составляют ~90%. Вся передача энергии происходит только на основной частоте.

Во время работы напряжение, генерируемое преобразователем мощности, возбуждает компенсационную сеть, которая взаимодействует, используя резонанс, с катушкой первичного устройства. Результирующий синусоидальный ток в катушке первичного устройства индуцирует пропорциональное магнитное поле. Посредством этого магнитного поля передается энергия между первичным и вторичным устройствами. Обе катушки можно описать с использованием модели слабо связанной трансформаторной структуры. Поскольку ток, генерируемый в катушке первичного устройства, имеет синусоидальную форму и не модулируется при передаче мощности, создаваемое поле представляет собой непрерывную волну (CW).

По состоянию на июнь 2019 года соответствующие OPC занимаются стандартизацией систем БПЭ-ЭМ классов мощности до 11,1 кВт. Ожидается, что для всех легковых транспортных средств будет использоваться полоса частот 79–90 кГц.

Рабочая группа SAE J2954 провела исследования нескольких функционально-совместимых систем и опубликовала часть данных по ним в Техническом документе "Validation of Wireless Power Transfer up to 11 kW Based on SAE J2954 with Bench and Vehicle Testing", представленном на Всемирном конгрессе SAE в апреле 2019 года (<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-0868/>). Дополнительные испытания продолжаются.

3.3.2 Оценки роста количества систем БПЭ-ЭМ

В проекте STILLE в Германии произведена оценка предполагаемой реальной плотности размещения зарядных устройств БПЭ-ЭМ в городских районах в 17,1 ед./км², а в сельской местности – 0,7 ед./км².

В проекте STILLE даны оценки до 2025 года. Экстраполяция этих значений на период до 2030 года показывает, что реальная плотность устройств в городских районах составит 64,2 ед./км², а в сельских – 2,5 ед./км².

В проекте STILLE дано определение реалистичного времени зарядки в один час в сутки на одну станцию зарядки БПЭ-ЭМ. Интересно отметить, что это значение не изменяется со временем. Причина в том, что ожидаемое количество электромобилей растет с каждым годом, но, с другой стороны, режим езды остается прежним, а количество зарядных станций БПЭ-ЭМ растет в том же соотношении.

Учитывая все данные из проекта STILLE, их можно экстраполировать и рассчитать общее количество электромобилей, на которых по желанию будет установлена система БПЭ-ЭМ, в 2030 году.

ТАБЛИЦА 5

Экстраполяция общего количества электромобилей с установленной по желанию системой БПЭ-ЭМ

Год	Общее количество ЭМ в Европе (млн.)	Темпы развертывания систем БПЭ-ЭМ как доля от всех транспортных средств с учетом темпов роста	Количество электромобилей, оснащенных системой БПЭ-ЭМ, в Европе с учетом темпов роста (млн.)
Количество электромобилей в 2020 году	4	0,71%	0,03
Рост 2021 => 2025	24	1,72%	0,4
Рост 2026 => 2030	43	2,83%	1,2
Общее количество электромобилей в 2030 году	71	2,33%	1,7

Источник: "ЕСС report 289 page 103", который экстраполирован из документа "STILLE – Forecast of EU market development of inductive systems until 2025", октябрь 2018 года.

3.4 Расчетный коэффициент использования зарядной площадки

В таблице 6 коэффициент использования характеризует время работы зарядной площадки в сутки.

ТАБЛИЦА 6

Расчетный коэффициент использования зарядной площадки

Способ зарядки	Местонахождение	Уровни мощности (кВт)	Продолжительность однонаправленной зарядки (час)	Коэффициент использования при однонаправленной зарядке	Коэффициент использования при двунаправленной зарядке
БПЭ-ЭМ 19–21 кГц/55–65 кГц					
Длительная зарядка	В автобусном парке	22–120	0,25–6	10–80%	Н/д
БПЭ-ЭМ 79–90 кГц					
Длительная зарядка	Дома	3,7–11	0,25–6	1–25%	10–80%
Длительная зарядка	На работе	3,7–11	0,25–6	1–25%	5–40%
Эпизодическая зарядка	На общественных парковках	11–22	2–12	10–50%	20–70%

4 Обобщенные результаты исследований по влиянию БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи

В этом разделе приведены результаты исследования относительно воздействия систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосах частот 19–21 кГц, 55–65 кГц и 79–90 кГц. Рассматривались следующие службы и системы радиосвязи: служба стандартных частот и сигналов времени, пульсационный контроль, системы автоматического предупреждения для защиты поездов, морская радиосвязь (Logan-C), звуковое АМ-радиовещание, любительская служба, воздушная служба, системы обнаружения молний, морская подвижная служба, служба дифференциальной GPS и всенаправленные радиомаяки в радионавигационной службе. Кроме того, обсуждались и обобщались требуемые предельно допустимые параметры излучения БПЭ-ЭМ для защиты АМ-радиовещания и воздействие побочных и гармонических излучений на любительскую службу, а также соответствующие требования по защите.

4.1 Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 19–21 кГц

В исследованиях, представленных в соответствующих приложениях, проводились измерения при расстоянии между рамочной антенной и зарядным устройством 10 м; условия измерений подробно описываются в Отчете МСЭ-R SM.2303. Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.1.1 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени

В Приложении 6 описывается исследование по службе SFTS 20 кГц, в ходе которого проводились полевые измерения. Стандартные частоты и сигналы времени, рассматриваемые в исследовании, представляют собой системы, работающие на частоте 20 кГц. Однако в этом исследовании не было выявлено никаких операций SFTS на частоте 20 кГц. Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.1.2 Исследования по воздействию на пульсационный контроль

В представленных в Приложении 7 исследованиях пульсационного контроля на частотах 129,1 кГц и 139 кГц проводились как моделирование, так и полевые измерения. Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.1.3 Исследования по воздействию на системы автоматического предупреждения для защиты поездов

В исследованиях, представленных в Приложении 7, делается вывод о том, что для защиты систем автоматической остановки поездов (ATS) необходимо расстояние разноса 5 м.

4.1.4 Исследования по воздействию на морскую радиосвязь

В исследованиях, представленных в Приложении 5, изучались только системы Logan-C. В этом исследовании таких систем уровни излучения и напряженности поля на частоте 19–21 кГц, включая гармоники, в применениях БПЭ для зарядки ЭМ попадают в пределы, предлагаемые СИСПР. Критерий защиты системы Logan-C основан на Рекомендациях МСЭ-R М.589-3 и МСЭ-R Р.372-13. Согласно исследованию по воздействию, риск создания помех приемникам Logan в море в зоне покрытия морской службы во время зарядки электромобилей посредством БПЭ отсутствует.

4.1.5 Исследования по воздействию на звуковое АМ-радиовещание

Полоса частот от 19 до 21 кГц не перекрывается ни с какими полосами радиовещания, так что какое-либо воздействие могут оказывать только гармонические излучения таких систем. Гармоники также могут использоваться в процессе передачи энергии. Гармоники с 8-й (для частоты 21 кГц) по 14-ю (для частоты 19 кГц) лежат в полосе НЧ-радиовещания (148,5–283,5 кГц), а гармоники с 21-й (для частоты 21 кГц) по 89-ю (для частоты 19 кГц) – в полосе СЧ-радиовещания (525–1705 кГц). Подробные исследования приведены в пункте 4.4 и в Приложении 8, где содержится анализ, основанный на критериях защиты при приеме АМ-радиовещания и на возможных расстояниях разноса между зарядными устройствами БПЭ-ЭМ и радиоприемниками. В случае зарядных устройств БПЭ-ЭМ, специально предназначенных для тяжелых электрических транспортных средств (автобусы, трамваи, грузовики), можно предположить, что устройство БПЭ-ЭМ для них будет разнесено минимум

на расстояние 10 м от приемника АМ-радиовещания. Согласно исследованиям, потребуется применение методов ослабления влияния помех для защиты АМ-радиовещания в тех случаях, когда необходимо будет уменьшить нежелательные излучения, и/или зарядка посредством БПЭ-ЭМ должна будет осуществляться с более высокой стабильностью и спектральной чистотой на конкретных частотах, так чтобы соответствующие гармоники приходились на частоты, которые меньше воздействуют на прием АМ-радиовещания, с учетом раstra АМ-каналов. Дополнительные сведения о требованиях по защите звукового АМ-радиовещания см. в пункте 4.4.

4.1.6 Исследования по воздействию на любительскую радиосвязь

В исследованиях, представленных в Приложении 6, проводились полевые измерения в любительских полосах частот 135,7–137,8 кГц и 472–479 кГц. Излучения на рабочей частоте БПЭ-ЭМ вряд ли будут влиять на эти любительские частоты.

О гармонических излучениях систем БПЭ-ЭМ, работающих на этой частоте, сведений мало. Вопрос о вредных помехах от излучений на частоте гармоник рассматривается в пункте 4.5.

4.1.7 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ на воздушную службу

В представленных в Приложении 6 исследованиях в полосах воздушной службы проводились полевые измерения на частотах 190–535 кГц (Рекомендация МСЭ-R SM.1535) и 2800–22 000 кГц (Рекомендация МСЭ-R M.1458). Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.1.8 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ на системы обнаружения молний

В ходе исследований, описываемых в Приложении 6, проводились полевые измерения для систем обнаружения молний, работающих на частоте 5–200 кГц. Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.1.9 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ на морскую подвижную службу

Воздействие БПЭ-ЭМ на морскую подвижную службу требует изучения.

4.2 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 55–65 ГГц

4.2.1 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени (SFTS)

В ходе исследования, представленного в Приложении 4, было обнаружено, что устройство БПЭ-ЭМ, расположенное в любом месте и работающее в полосе частот 55–65 кГц с параметрами, находящимися в пределах, предложенных СИСПР (см. Приложение 3), создает вредные помехи для систем SFTS, работающих на частоте 60 кГц. Все изученные сценарии показывают значительный отрицательный запас в интервале от –120 дБ до –47 дБ. Базовый анализ результатов измерений системы БПЭ-ЭМ в 34,18 дБмкА/м на расстоянии 10 м (см. Приложение 2) показывает, что сценарий использования БПЭ-ЭМ на улице при расстояниях разноса от 10 до 20 метров во всех изученных случаях приводит к созданию вредных помех. В сценарии использования БПЭ-ЭМ на территории депо сосуществование может быть осуществимо при разносе частот более 4 кГц (например, за пределами полосы 56–64 кГц) при условии, что расстояние разноса превышает 50 м. Следует отметить, что измерения основаны на одной конкретной системе БПЭ-ЭМ, и это может быть характерно не для всех типов оборудования.

Станции SFTS на 60 кГц работают в Японии, США и Соединенном Королевстве, и их услугами пользуются миллионы людей.

Исследование, представленное в Приложении 6, показало, что помехи для SFTS на 60 кГц можно уменьшить, если сместить основную частоту до 21 кГц, что, в свою очередь, приведет к смещению третьей гармоники до 63 кГц. В данном исследовании также считают достаточным, чтобы система БПЭ-ЭМ работала за пределами смещения $\pm 1,5$ кГц от частоты 60 кГц SFTS (то есть вне полосы 58,5–61,5 кГц). Однако это не основано на расчетах по определению совместимости двух систем (анализе сосуществования).

4.2.2 Исследования по воздействию на пульсационный контроль

В ходе представленных в Приложении 6 исследований пульсационного контроля на частотах 129,1 кГц и 139 кГц проводились как моделирование, так и полевые измерения. Измерения проводились, но их результаты не сопоставлялись со значениями, представленными службой, требующей защиты, так что никакие выводы невозможны.

4.2.3 Исследования по воздействию на системы автоматического предупреждения для защиты поездов

В исследовании, представленном в Приложении 6, было определено, что для защиты ATS необходимо расстояние разноса 5 м.

4.2.4 Исследования по воздействию на морскую радиосвязь, включая навигационную систему

В исследовании, представленном в Приложении 5, изучались только системы типа Loran-C. В этом исследовании таких систем уровни излучения и напряженности поля в полосе 55–65 кГц в применениях БПЭ для зарядки ЭМ, включая гармоники, соотносятся с пределами, предлагаемыми СИСПР. Критерий защиты системы Loran-C основан на Рекомендациях МСЭ-R M.589-3 и МСЭ-R P.372-13. Согласно исследованию по воздействию, риск создания помех приемникам Loran в море в зоне покрытия морской радиосвязи во время зарядки электромобилей посредством БПЭ отсутствует.

4.2.5 Исследования по воздействию на звуковое АМ-радиовещание

Полоса частот от 55 до 65 кГц не перекрывается ни с какими полосами радиовещания, так что какое-либо воздействие могут оказывать только гармонические излучения таких систем. Гармоники также могут использоваться в процессе передачи энергии. Гармоники с 3-й (для частоты 55 кГц) по 5-ю (для частоты 55 кГц) лежат в полосе НЧ-радиовещания (148,5–283,5 кГц), а гармоники с 9-й (для частоты 65 кГц) по 31-ю (для частоты 55 кГц) – в полосе СЧ-радиовещания (525–1705 кГц). Подробные исследования приведены в пункте 4.4 и в Приложении 8, где содержится анализ, основанный на критериях защиты при приеме АМ-радиовещания и на возможных расстояниях разноса между зарядными устройствами БПЭ-ЭМ и радиоприемниками. В случае зарядных устройств БПЭ-ЭМ, специально предназначенных для тяжелых электрических транспортных средств (автобусы, трамваи, грузовики), можно предположить, что устройство БПЭ-ЭМ для них будет разнесено минимум на расстояние 10 м от приемника АМ-радиовещания. Согласно исследованиям, потребуется применение методов ослабления влияния помех для защиты АМ-радиовещания в тех случаях, когда необходимо будет уменьшить нежелательные излучения, и/или зарядка посредством БПЭ-ЭМ должна будет осуществляться с более высокой стабильностью и спектральной чистотой на конкретных частотах, так чтобы соответствующие гармоники приходились на частоты, которые меньше воздействуют на прием АМ-радиовещания, с учетом растра АМ-каналов. Дополнительные сведения о требованиях по защите звукового АМ-радиовещания см. в пункте 4.4.

4.2.6 Исследования по воздействию на любительскую радиосвязь

В исследованиях, представленных в Приложении 6, проводились полевые измерения в любительских полосах частот 135,7–137,8 кГц и 472–479 кГц.

О гармонических излучениях систем БПЭ-ЭМ, работающих на этой частоте, сведений мало. Вопрос о вредных помехах от излучений на частоте гармоник рассматривается в пункте 4.5.

4.3 Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 70–90 кГц

4.3.1 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени

4.3.1.1 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени, использующую частоты 40 и 60 кГц

Было выполнено исследование по воздействию систем БПЭ-ЭМ на устройства службы SFTS, работающие на частотах 40 кГц и 60 кГц, которое описывается в Приложении 7.

Для оценки воздействия на эти устройства было согласовано и использовалось расстояние разноса 10 м. Кроме того, принимались во внимание интервал времени работы устройства для приема сигналов службы SFTS, который не перекрывается с работой системы БПЭ-ЭМ, разнообразие направлений распространения волн SFTS и ожидаемое улучшение характеристик приемника этих устройств в будущем. В заключение подтверждается, что воздействие систем БПЭ на радиоуправляемые часы, согласно исследованию, не вызывает вредных помех.

4.3.1.2 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени, использующую частоту 77,5 кГц

В исследованиях, представленных на DCF 77 (Приложение 4), показано, что при напряженности поля БПЭ-ЭМ 68,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м максимум в 50% случаев блокировки рассматриваемых радиоприемников сигналов точного времени с использованием частоты 77,5 кГц (DCF77) происходит только в пределах расстояния 18 м от зарядной установки БПЭ-ЭМ. С учетом возможного увеличения напряженности поля до максимального значения 82 дБмкА/м на расстоянии 10 м это расстояние увеличивается до 31 м. Это воздействие можно уменьшить, ограничив мощность передачи зарядного устройства БПЭ-ЭМ и тщательно выбрав его центральную частоту в пределах полосы 79–90 кГц и, возможно, с помощью других методов ослабления помех (например, периодически прерывая процесс зарядки).

4.3.2 Воздействие на конкретную систему железнодорожной радиосвязи

В исследованиях, представленных в Приложении 7, рассматриваются и обсуждаются вопросы вредных помех для систем железнодорожной связи в реальных случаях практического применения посредством моделирования и измерений. В частности, исследовалась применяемая во всем мире система ATS, работающая на частотах в полосе 10–250 кГц. Результаты исследования показывают, что, для того чтобы избежать создания вредных помех, требуется минимальное расстояние разноса 5 м.

4.3.3 Исследования по воздействию на морскую радиосвязь, включая навигационную систему

4.3.3.1 Системы Loran-C в полосе 79–90 кГц

В исследованиях по воздействию между системами Loran-C и БПЭ-ЭМ, представленных в Приложении 5, уровни излучения и напряженности поля устройств зарядки БПЭ-ЭМ в предлагаемой полосе частот 79–90 кГц, включая 2-е гармоники, лежат в пределах, заданных СИСПР. Критерий защиты системы Loran-C основан на Рекомендациях МСЭ-R М.589-3 и МСЭ-R Р.372-13.

Согласно исследованию по сосуществованию, одиночные и групповые применения БПЭ-ЭМ не будут создавать риска помех от излучений зарядных устройств БПЭ-ЭМ для приемников Loran в зоне покрытия морской радиосвязью. Результаты исследования указывают на то, что сосуществование между системами БПЭ-ЭМ и Loran-C возможно при условии, что полоса частот 79–90 кГц определена для устройств БПЭ-ЭМ средней мощности.

4.3.4 Исследование по воздействию на звуковое АМ-радиовещание

Полоса частот от 79 до 90 кГц не перекрывается ни с одной из полос радиовещания, так что какое-либо воздействие могут оказывать только гармонические излучения систем БПЭ-ЭМ. Гармоники также могут использоваться в процессе передачи энергии. 2-я и 3-я гармоники любой частоты между 79 кГц и 90 кГц лежат в полосе НЧ-радиовещания (148,5–283,5 кГц), а с 6-й (90 кГц) по 21-ю (79 кГц) – в пределах полосы СЧ-радиовещания (525–1705 кГц). Подробные исследования приведены в пункте 4.4 и в Приложении 8, где содержится анализ, основанный на критериях защиты при приеме АМ-радиовещания и на возможных расстояниях разноса между зарядными устройствами БПЭ-ЭМ и радиоприемниками. В случае зарядных устройств БПЭ-ЭМ, используемых для типовых легковых электромобилей, исследования привели к выводу, что минимальные расстояния разноса могут составлять от 1 м до 3 м. Исследования также показали, что потребуются применение методов ослабления влияния помех для защиты АМ-радиовещания в тех случаях, когда необходимо будет уменьшить нежелательные излучения, и/или зарядка посредством БПЭ-ЭМ должна будет осуществляться с более высокой стабильностью и спектральной чистотой на конкретных частотах, так чтобы соответствующие гармоники приходились на частоты, которые меньше воздействуют на прием АМ-радиовещания, с учетом раstra АМ-каналов. Дополнительные сведения о требованиях по защите звукового АМ-радиовещания см. в пункте 4.4.

Другие исследования приведены в Приложениях 5 и 7.

Одно из исследований, приведенных в Приложении 5, – включающее полевые испытания на предмет помех, теоретический анализ и моделирование по методу Монте-Карло, – проводилось в некоторых городских районах с высокими уровнями как полезного радиовещательного сигнала, так и минимального уровня шума окружающей среды. Результаты исследований показали, что в таких условиях АМ-радиоприемники могут допускать повышенные уровни излучений от устройств БПЭ-ЭМ. В других сценариях, таких как пригородные и сельские районы, для уменьшения влияния помех требуется увеличение расстояния разнеса между оборудованием БПЭ-ЭМ и приемником АМ-радиовещания. Дополнительные сведения о требованиях по защите звукового АМ-радиовещания содержатся в пункте 4.4. См. также приведенный в Приложении 9 анализ, согласующий результаты некоторых исследований с требуемыми ограничениями, указанными в пункте 4.4.

В другом исследовании, приведенном в Приложении 7, изучалось воздействие при уровнях шума окружающей среды, указанных в Рекомендации МСЭ-R P.372-13. Было установлено, что при сохранении достаточного расстояния разнеса между оборудованием БПЭ-ЭМ и приемником АМ-радиовещания уровень излучения при БПЭ-ЭМ находится ниже уровня шума окружающей среды; следовательно, излучение при БПЭ-ЭМ не будет создавать вредных помех для приемников АМ-радиовещания.

4.3.5 Исследования по воздействию на любительскую службу

В исследованиях, представленных в Приложении 7, проводились полевые измерения в любительских полосах частот 135,7–137,8 кГц и 472–479 кГц. Излучения на рабочей частоте при БПЭ-ЭМ вряд ли будут влиять на эти частоты любительской радиосвязи.

Объем информации о гармонических излучениях от устройств БПЭ-ЭМ, работающих на этой частоте, ограничен, а вопрос вредных помех от гармонических излучений рассматривается в пункте 4.5.

4.3.6 Исследования по воздействию на дифференциальную GPS

Воздействие БПЭ-ЭМ на устройства дифференциальной GPS в радионавигационной службе требует изучения.

4.3.7 Исследования по воздействию на всенаправленные маяки

Воздействие БПЭ-ЭМ на всенаправленные маяки в радионавигационной службе требует изучения.

4.4 Пределы излучения при БПЭ-ЭМ для защиты АМ-радиовещания

Предлагаются различные ограничения абсолютных максимальных уровней напряженности электрического и магнитного полей для индукционных применений, работающих на коротких расстояниях и с низкими подразумеваемыми, но не указанными уровнями мощности. Существуют предложения по адаптации или расширению этих же ограничений для применений с индукционной передачей энергии средней/высокой мощности, таких как БПЭ-ЭМ, которые будут работать с мощностями порядка десятков и сотен киловатт. Однако из исследований ясно, что соблюдение существующих пределов напряженности поля фактически не обеспечит адекватную защиту радиослужб. Действительно, эти предельные уровни обычно на десятки децибел превышают те, что необходимы для защиты радиовещательного приемника в непосредственной близости от индукционного устройства передачи энергии. Взяв в качестве примера радиовещательный приемник, работающий на частоте 900 кГц в диапазоне СЧ на границе его защищенной зоны покрытия, ЕРС показал (см. пункт А8.4), что максимально допустимая напряженность мешающего магнитного поля в месте расположения приемника составляет –43,0 дБмкА/м. В отличие от этого и в качестве примера Рекомендация СЕПТ/ERC 74-01 устанавливает предел напряженности магнитного поля для побочных излучений от устройства ближнего действия (SRD) на этой частоте в 7,0 дБмкА/м на расстоянии 10 м от устройства, то есть на 50,0 дБ выше, даже если игнорировать тот факт, что устройство БПЭ-ЭМ, вероятно, будет находиться ближе, чем в 10 м от радиоприемника, подверженного воздействию помех. Чтобы индукционное устройство БПЭ-ЭМ с рассеянным излучением такого уровня не создавало помех радиовещательному приемнику, защитное расстояние разнеса должно составлять приблизительно 90 м.

Существующие ограничения на излучения обычно не вызывают проблем для современных применений, не относящихся к БПЭ-ЭМ. Дополнительные соображения, такие как прерывающаяся работа, характеристики антенны и т. д., а также местоположение и плотность применения, приводят к тому, что уровень помех является довольно низким и его можно игнорировать. Кроме того, наличие предела напряженности поля не означает, что устройство, к которому эта норма относится, на самом деле работает на уровне, приближающемся к предельному значению; традиционно SRD-устройства питаются от батарей, так что особенности конструкции должны сводить ненужное излучение к абсолютному минимуму. Однако системы БПЭ-ЭМ, вероятно, будут работать: с высокой мощностью, непрерывно (потенциально по несколько часов за один сеанс) и в условиях жилых кварталов, где они будут расположены близко к радиовещательным приемникам. В Прилагаемом документе 5 к Приложению 8 настоящего Отчета предполагается, что разумное ожидаемое значение минимального разнеса между системой БПЭ-ЭМ и радиовещательным приемником составляет 3 м. По соглашению, напряженность магнитных полей обычно указывается на расстоянии 10 м от источника, поэтому необходимо применять поправочные коэффициенты, чтобы обеспечить возможность применения условия "отсутствия помех" к разным сценариям. В рассматриваемых обстоятельствах (в пределах нескольких десятков метров от источника помех) уровень напряженности магнитного поля изменяется в зависимости от куба расстояния.

В Отчете МСЭ-R SM.2303 описываются два подхода к обеспечению совместимости систем БПЭ-ЭМ и звукового радиовещания, которые получили дальнейшее развитие в настоящем Отчете. Первый подход основан на существующих критериях защиты МСЭ-R для сигнала АМ-радиовещания. Второй подход основан на том критерии, что гармонические излучения при БПЭ-ЭМ, попадающие в полосы НЧ- или СЧ-радиовещания должны оставаться ниже существующих уровней шума окружающей среды.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Исследование, описываемое в Прилагаемом документе 7 к Приложению 8, показало, что для того чтобы однотоновый источник помех был не слышен/замаскирован, его уровень должен быть ниже уровня фонового шума как минимум на 10 дБ.

При первом подходе, основываясь на положениях Рекомендаций МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, можно получить допустимые уровни помех в месте расположения приемника: -37 дБ мкА/м в полосе НЧ-радиовещания (148,5–283,5 кГц) и -43 дБ мкА/м в полосе СЧ-радиовещания (526,5–1606,5 кГц в Районах 1 и 3).

При втором подходе, основываясь на уровнях шума окружающей среды, взятых из Рекомендации МСЭ-R P.372-13, получаем следующие допустимые уровни помех в месте расположения приемника на частоте 500 кГц: $-25,5$ дБ мкА/м в городах, $-30,5$ дБмкА/м в жилых кварталах, $-34,5$ дБ мкА/м в сельской местности и $-48,5$ дБмкА/м в "тихой" сельской местности (см. Приложение 7). Результаты измерений показывают, что в некоторых городах и жилых районах уровни шума окружающей среды значительно превышают отмеченные выше значения.

Второй подход не учитывает, что уровень помех от источника, чтобы быть неслышимым/замаскированным, должен быть как минимум на 10 дБ ниже уровня фонового шума.

В отчете [WHP 332](#) (Прилагаемый документ 6 к Приложению 8) продемонстрировано, что фактическая предрасположенность к созданию помех в значительной мере зависит от точности рабочей частоты системы БПЭ-ЭМ и, что не менее важно, от ее значимых гармоник. Если мешающая гармоника излучения при БПЭ-ЭМ находится в пределах примерно ± 50 Гц от полезной несущей частоты радиовещания, то напряженность защитного поля $-43,0$ дБмкА/м (для СЧ) в месте расположения приемника (или на расстоянии 3 м от зарядного устройства БПЭ-ЭМ) может быть ослаблена до $-13,0$ дБмкА/м; это значительное ослабление на 30 дБ.

На практике почти все НЧ- и СЧ-передачи ведутся в фиксированном частотном растре. В Районах 1 и 3 МСЭ все каналы отцентрированы (имеют несущую частоту) с шагом 9 кГц, а в Районе 2 каждая несущая кратна 10 кГц (см. также Прилагаемые документы 1 и 2 к Приложению 8, в которых содержится информация по радиовещательным НЧ- и СЧ-передатчикам в отдельных частях Районов 1 и 2). Это сделано для минимизации вредных помех между самими радиостанциями и для облегчения процесса планирования сети. Однако это влияет на выбор рабочей частоты БПЭ-ЭМ. Например, выбор в 90 кГц качестве рабочей частоты для БПЭ-ЭМ автоматически обеспечит увязывание всех гармоник с частотами несущих радиовещания в Районах 1, 2 и 3.

Напомним, что во избежание вредных помех от систем БПЭ-ЭМ для радиовещательных НЧ- и СЧ-передач системы БПЭ-ЭМ должны разрабатываться тщательно и с высоким техническим качеством. Ключом к этому являются продуманный выбор рабочих частот, точный контроль частоты и стабильности, а также поддержание излучения гармоник на минимально возможных уровнях.

Предельно допустимые уровни гармонических излучений систем БПЭ-ЭМ приведены ниже в таблицах 7 и 8.

ТАБЛИЦА 7

Предельно допустимые уровни излучений при БПЭ-ЭМ для защиты служб радиосвязи, работающих на частотах ниже 30 МГц, когда система БПЭ НЕ привязана к растрю радиовещания⁽¹⁾

Служба	Диапазон	Мощность БПЭ-ЭМ ⁽²⁾	Требования защиты/пределы гармоник БПЭ-ЭМ (на минимальном расстоянии разноса или на антенне приемника)			Откорректированное значение для расстояния измерения 10 м ⁽³⁾
			1 м	3 м	10 м	
Радиовещательная	НЧ 148,5–283,5 кГц	Низкая/ малая	–37 дБмкА/м			–97 дБмкА/м
		Средняя		–37 дБмкА/м		–68 дБмкА/м
		Высокая			–37 дБмкА/м	–37 дБмкА/м
	СЧ 526,5–1606,5 кГц	Низкая/ малая	–43 дБмкА/м			–103 дБмкА/м
		Средняя		–43 дБмкА/м		–74 дБмкА/м
		Высокая			–43 дБмкА/м	–43 дБмкА/м
	ВЧ 2,30–26,10 МГц ⁽⁴⁾	Низкая/ малая	–63 дБмкА/м			–123 дБмкА/м
		Средняя		–63 дБмкА/м		–94 дБмкА/м
		Высокая			–63 дБмкА/м	–63 дБмкА/м

⁽¹⁾ Когда гармоники БПЭ-ЭМ увязаны с растром частот радиовещания, допускается ослабление этих требований на 30 дБ – таблица 8.

⁽²⁾ Классы мощности БПЭ: высокая мощность БПЭ-ЭМ – более 22 кВт; средняя мощность БПЭ-ЭМ – от 3,3 до 22 кВт; низкая мощность БПЭ-ЭМ – от 50 Вт до 3,3 кВт; малая мощность БПЭ-ЭМ – менее 50 Вт.

⁽³⁾ См. Прилагаемый документ 5 к Приложению 8.

⁽⁴⁾ Полоса ВЧ-радиовещания (диапазон 7) разделена на 14 подполос: 2,30–2,495; 3,20–3,40; 3,90–4,00; 4,75–5,06; 5,80–6,20; 7,20–7,45; 9,40–9,90; 11,60–12,10; 13,57–13,87; 15,10–15,83; 17,48–17,90; 18,90–19,02; 21,45–21,85 и 25,60–26,10 (все в МГц).

ТАБЛИЦА 8

Предельно допустимые уровни излучений при БПЭ-ЭМ для защиты служб радиосвязи, работающих на частотах ниже 30 МГц, когда система БПЭ привязана к растру радиовещания

Служба	Диапазон	Мощность БПЭ-ЭМ ⁽²⁾	Требования защиты/пределы гармоник БПЭ-ЭМ (на минимальном расстоянии разнеса или на антенне приемника)			Откорректированное значение для расстояния измерения 10 м ⁽³⁾
			1 м	3 м	10 м	
Радиовещательная	НЧ 148,5–283,5 кГц	Низкая/малая	-7 дБмкА/м			-67 дБмкА/м
		Средняя		-7 дБмкА/м		-38 дБмкА/м
		Высокая			-7 дБмкА/м	-7 дБмкА/м
	СЧ 526,5–1606,5 кГц	Низкая/малая	-13 дБмкА/м			-73 дБмкА/м
		Средняя		-13 дБмкА/м		-44 дБмкА/м
		Высокая			-13 дБмкА/м	-13 дБмкА/м
	ВЧ 2,30–26,10 МГц ⁽⁴⁾	Низкая/малая	-33 дБмкА/м			-93 дБмкА/м
		Средняя		-33 дБмкА/м		-64 дБмкА/м
		Высокая			-33 дБмкА/м	-33 дБмкА/м

(1) Классы мощности БПЭ-ЭМ: высокая мощность БПЭ-ЭМ – более 22 кВт; средняя мощность БПЭ-ЭМ – от 3,3 до 22 кВт; низкая мощность БПЭ-ЭМ – от 50 Вт до 3,3 кВт; малая мощность БПЭ-ЭМ – менее 50 Вт.

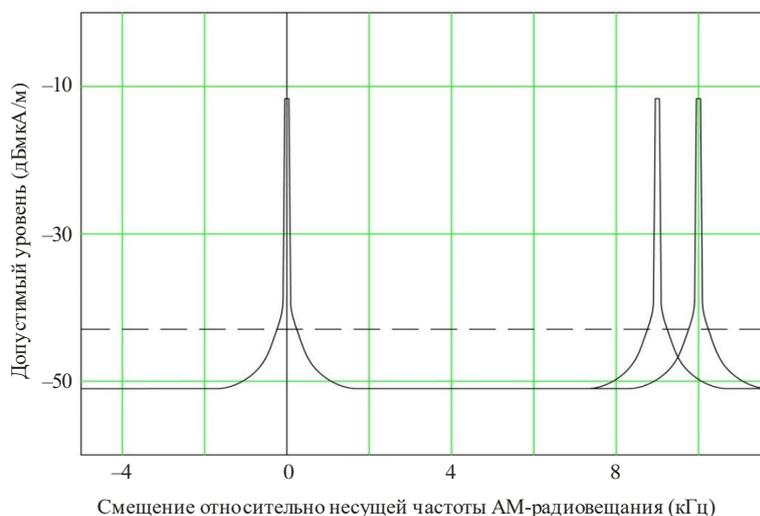
(2) См. Прилагаемый документ 5 к Приложению 8.

(3) Полоса ВЧ-радиовещания (диапазон 7) разделена на 14 подполос: 2,30–2,495; 3,20–3,40; 3,90–4,00; 4,75–5,06; 5,80–6,20; 7,20–7,45; 9,40–9,90; 11,60–12,10; 13,57–13,87; 15,10–15,83; 17,48–17,90; 18,90–19,02; 21,45–21,85 и 25,60–26,10 (все в МГц).

На рисунке 6 показан эффект от работы "в растре".

РИСУНОК 6

Спектральная маска, соответствующая предельно допустимой мощности излучения при БПЭ-ЭМ в функции смещения относительно несущей частоты АМ-радиовещания



На рисунке 6 сплошной линией показан допустимый уровень помех от немодулированного источника синусоидальной волны при отсутствии маскирования шума, а пунктирной – эффект от маскирования шума на границе приема. Эта маска применима только к единичному источнику помех в виде синусоидальной волны (см. также Прилагаемый документ 7 к Приложению 8).

4.5 Влияние побочных и гармонических излучений на любительскую службу и соответствующие требования защиты

Три полосы частот, рассматриваемые для БПЭ-ЭМ, не перекрываются и имеют разумное разделение с любительскими полосами частот 135,7–137,8 кГц и 472 кГц. Поэтому подавление чувствительности приемника (внеполосное) проблемой не считается.

Были предложены различные ограничения абсолютных максимальных уровней напряженности электрического и магнитного полей для индукционных применений, работающих на коротких расстояниях и с низкими подразумеваемыми, но не указанными уровнями мощности. Существуют предложения по адаптации или расширению этих ограничений для применений с индукционной передачей энергии средней/высокой мощности, таких как БПЭ-ЭМ, которые будут работать с мощностью порядка десятков и сотен киловатт. Однако из проведенных исследований ясно, что соблюдение этих пределов напряженности поля не обеспечит адекватную защиту радиослужб.

На любительские полосы частот от 472 кГц и выше потенциально влияет гармоническое излучение от устройств БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 79–90 кГц и, возможно, на частотах 20 кГц и 60 кГц.

В Отчете МСЭ-R SM.2303 говорится, что вопрос о помехах любительским службам не изучался. Последующие документы, представленные в МСЭ-R, подтвердили, что пределы гармонических излучений, установленные МСЭ-R и/или СИСПР для других индукционных устройств, явно не обеспечивают адекватную защиту любительских служб от вредных помех при БПЭ-ЭМ в этой полосе частот.

В качестве руководства при разработке соответствующих пределов излучений гармоник могут использоваться уровни защиты любительской службы, установленные в Рекомендациях МСЭ-R F.240 и МСЭ-R M.1044 и используемые в исследованиях, приведенных в Приложении 10. Проблемы широкополосного шума от систем БПЭ-ЭМ не изучались, но разработанные требования защиты применимы и к такому излучению.

Надлежащее расстояние разнесения от систем, работающих на частотах 20 кГц и 60 кГц, вероятно, обеспечит приемлемую защиту от гармонических излучений систем БПЭ-ЭМ, хотя это еще предстоит проверить.

Высокий коэффициент нагрузки систем БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц, их плановое расположение вблизи или внутри жилищ (и, следовательно, вблизи антенн любительской службы), а также их ожидаемая плотность развертывания означают, что гармонические излучения от систем БПЭ-ЭМ в этой полосе частот необходимо тщательно контролировать, чтобы избежать вредных помех. В частности, принятие пределов излучения на основе пределов, принятых для индукционных устройств в других применениях и устройствах, не обеспечит требуемого уровня защиты. Если системы БПЭ-ЭМ будут работать на этих пределах или вблизи них, то вредные помехи любительской службе неизбежны.

В исследовании, приведенном в Приложении 10, моделируется требуемая защита любительской службы и показана необходимость значительно более жестких ограничений для БПЭ-ЭМ. Для обеспечения соответствующей защиты требуется следующее ограничение пределов излучения:

<p><i>–45,5 дБмкА/м на частоте 300 кГц со снижением на 8 дБ на декаду до –61,5 дБмкА/м на частоте 30 МГц. Измерения проводились на расстоянии 10 м при ширине полосы 10 кГц.</i></p>
--

Однако необходимые пределы гармонических излучений от систем БПЭ-ЭМ могут быть ослаблены примерно на 20 дБ относительно этого уровня, если:

- a) все системы БПЭ-ЭМ используют согласованную рабочую частоту с жестким допуском; и
- b) фазовый шум и боковые полосы шума от БПЭ-ЭМ не превышают вышеуказанного предела.

Были представлены данные по ограниченным гармоническим излучениям для систем БПЭ-ЭМ, работающих в полосе 79–90 кГц. Однако эти данные свидетельствуют о том, что системы предположительно работают вблизи пределов излучения, указанных в МСЭ-R SM.329. Поэтому проблемы воздействия, рассмотренные в Приложении 10, представляют серьезную угрозу для радиосвязи в любительской службе.

5 Согласование и меры по смягчению воздействия БПЭ-ЭМ на службы радиосвязи

5.1 Глобальное согласование

В настоящем Отчете термин "согласование" охватывает два аспекта:

- 1 полосы частот, используемые оборудованием БПЭ-ЭМ;
- 2 характеристики оборудования БПЭ-ЭМ, связанные с защитой других служб радиосвязи.

Оба приведенных выше аспекта согласования могут способствовать массовому производству и внедрению устройств БПЭ-ЭМ с обеспечением защиты работающих служб радиосвязи от любых возможных помех, создаваемых оборудованием БПЭ-ЭМ.

Что касается согласованных полос частот, то предлагаемые полосы частот для БПЭ-ЭМ указываются в Рекомендации МСЭ-R SM.2110.

Что касается характеристик оборудования БПЭ-ЭМ, то предельные уровни напряженности поля, которые оборудование БПЭ-ЭМ не должно превышать в разных полосах частот для различных затронутых служб радиосвязи, указаны в пункте 3.1 и Приложении 2 к настоящему Отчету.

5.2 Меры по смягчению воздействия

5.2.1 Стратегии смягчения воздействия на радиовещательную службу

Работа радиовещательных АМ-передатчиков регулируется Регламентом радиосвязи. В Районах 1 и 3 соответствующим инструментом является Женевский план частотных присвоений 1975 года (GE75), а в Районе 2 – План частотных присвоений Рио-де-Жанейро 1981 года (RJ81). Эти международные соглашения распределяют рабочие частоты для НЧ- и СЧ-передатчиков таким образом, чтобы они не создавали помех друг другу, на основе таких факторов, как географическое разнесение, мощность передатчика и характеристики антенны. В основе этих планов лежат Рекомендации МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560. Важно отметить, что региональные планы присвоений устанавливают рабочие частоты передатчика в сетке или в растре; в соответствии с планом GE75 каждая (несущая) частота кратна 9 кГц, а в соответствии с планом RJ81 – 10 кГц.

Существенным преимуществом нахождения всех несущих в общем растре является то, что в этом случае воздействие помех в совмещенном канале может быть уменьшено на величину до 16 дБ по сравнению с подходом выбора частот произвольным образом. Это видно на рисунке 1 Рекомендации МСЭ-R BS.560.

Тот же принцип можно применить и к системе БПЭ-ЭМ, если выбрать и зафиксировать ее рабочую частоту кратной 9 кГц или 10 кГц. Если рабочая частота выбрана таким образом, то любые гармоники также (автоматически) попадают в растр частот радиовещания. В ноябре 2017 года BBC провела исследования, направленные на изучение субъективных факторов помех от немодулированной несущей, расположенной в растре или вне его, а результаты этой работы описываются в Белой книге исследований и разработок BBC WHP 332, November 2017 – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception; это описание воспроизводится в Прилагаемом документе 6 к Приложению 8.

Данное исследование показывает, что если рабочая частота БПЭ-ЭМ и ее гармоники² представляют собой чистые синусоиды и близки к частотам раstra радиовещания, то они могут быть на 22 дБ сильнее (в дополнение к 16 дБ из Рекомендации МСЭ-R BS.560, то есть в общей сложности на 38 дБ), не оказывая слышимого вредного воздействия на демодулированный звук из приемника. Понятно, что этот принцип может послужить основой для полезного метода смягчения воздействия. Этот метод и его потенциальное применение подробно описываются в Приложении 8.

Цифры допустимых уровней побочных излучений от систем БПЭ-ЭМ в месте расположения приемника (или на минимальном предполагаемом расстоянии разноса) при работе в растре радиовещательного канала:

- Диапазон 5 (НЧ): –7,0 дБмкА/м;
- Диапазон 6 (СЧ): –13,0 дБмкА/м; (c)
- Диапазон 7 (ВЧ): –34,0 дБмкА/м.

Или на расстоянии измерения 10 м;

- Диапазон 5 (НЧ): –38,0 дБмкА/м;
- Диапазон 6 (СЧ): –44,0 дБмкА/м; (d)
- Диапазон 7 (ВЧ): –64,0 дБмкА/м.

5.2.2 Другие факторы

5.2.2.1 Модуляция заряжающего "поля"

Предполагается, что зарядное устройство БПЭ можно использовать для передачи данных в заряжаемое устройство, модулируя каким-либо образом заряжающее (магнитное) поле. Для связи в другом направлении потребуются отдельная система. Любая попытка модуляции заряжающего поля будет проявляться в виде боковых полос. Должны быть установлены ограничения на эту энергию боковых полос, потому что они могут создавать помехи радиовещательным службам, даже если основная частота точно согласована с растром. Необходимо рассмотреть предполагаемые схемы модуляции. В случае зарядного устройства большой мощности логично предположить, что есть более простые способы связи на очень малых расстояниях, чем модуляция мощного заряжающего поля.

5.2.2.2 Мешающее воздействие на любительскую службу

Следует также отметить, что привязка рабочей частоты БПЭ к растру радиовещания окажет благотворное влияние на помехи любительской службе, поскольку все гармоники находятся на определенных "точечных" частотах, а не распространены по всему спектру.

Это удерживает большую часть спектра от влияния вредных помех и, таким образом, позволяет значительно ослабить требования к уровням гармонического излучения.

6 Выводы

В настоящем Отчете рассматривается воздействие на службы радиосвязи, работающие на частотах ниже 30 МГц, из-за излучения от оборудования и систем, используемых при беспроводной передаче энергии для зарядки электромобилей (БПЭ-ЭМ).

В исследованиях рассматривались те службы, которые работают на предлагаемых рабочих частотах БПЭ-ЭМ или близко к ним, а также те службы, на которые может воздействовать излучение от систем БПЭ-ЭМ, работающих на других частотах, особенно тех, которые гармонически связаны с номинальной рабочей частотой. В МСЭ-R запланирована дальнейшая работа по рассмотрению ограничений на излучение от систем БПЭ-ЭМ, необходимых для защиты служб радиосвязи.

² Если рабочие частоты БПЭ-ЭМ (устройств зарядки транспортных средств) ограничены полосой 79–90 кГц, то на радиовещательную службу будут воздействовать только их гармоники.

Рассматривались следующие службы и приложения радиосвязи: радиовещательная служба, служба стандартных частот и сигналов времени (SFTS), любительская служба, морская радионавигационная служба (Loran-C), системы автоматического предупреждения для защиты поездов, воздушная служба, системы радиопульсационного контроля и системы обнаружения молний.

Разумеется, системы БПЭ-ЭМ не имеют определенного или подразумеваемого статуса, который давал бы им преимущество перед службами радиосвязи в отношении создания вредных помех (см. пункты 15.12 и 15.13 РР). Поэтому рабочие частоты, уровни мощности и излучения, возникающие при работе систем БПЭ-ЭМ, должны быть установлены таким образом, чтобы избежать вредных помех для служб радиосвязи.

С точки зрения воздействия на службы, работающие на частоте БПЭ-ЭМ или близкой к ней, основная проблемная область связана с воздействием на службы SFTS, работающие на частотах 60 кГц и 77,5 кГц.

Одно из исследований, относящееся к SFTS на частоте 60 кГц, показало, что расположенное в любом месте устройство БПЭ-ЭМ, работающее в полосе 55–65 кГц в пределах, предложенных СИСПР (см. Приложение 3), создает вредные помехи для систем SFTS, работающих на частоте 60 кГц. Также было обнаружено, что в сценарии использования БПЭ-ЭМ на улице при расстояниях разноса от 10 м до 20 м во всех изученных случаях БПЭ-ЭМ создает вредные помехи. В сценарии использования БПЭ-ЭМ в автопарке возможно сосуществование при разносе частот более чем на ± 4 кГц при условии, что расстояние разноса превышает 50 м, а напряженность поля составляет 34 дБмкА/м на расстоянии 10 м. Другое исследование показало, что помехи для SFTS на частоте 60 кГц можно уменьшить, если сдвинуть основную частоту до 21 кГц, что, в свою очередь, приведет к сдвигу третьей гармоники до 63 кГц, но этот вывод не опирается на анализ сосуществования.

Однако анализ показывает, что требуется разнос частот на ± 4 кГц. Если гарантируется расстояние разноса в 100 м между БПЭ-ЭМ и SFTS, то разнос частот можно уменьшить до ± 3 кГц, а напряженность поля на расстоянии 10 м может составить 44 дБмкА/м.

Одно из исследований, относящееся к работе SFTS на частоте 77,5 кГц, показывает, что система БПЭ-ЭМ, работающая в полосе 79–90 кГц с предельной напряженностью поля основного излучения 68,5 дБмкА/м, влияет на прием SFTS при требуемой минимальной напряженности поля 50 дБмкВ/м и расстоянии разноса 10 м. Защитное расстояние для работы SFTS на частоте 77,5 кГц зависит от требуемой напряженности поля, мешающего излучения и сдвига частоты.

Данные исследования показывают, что при работе систем БПЭ-ЭМ в полосах частот 19–21 кГц, 55–65 кГц и 79–90 кГц (см. таблицу 9) для достижения их совместимости со службами радиосвязи, которым распределены другие частоты, особенно в гармонически связанных полосах, требуется жесткий контроль излучения от систем БПЭ-ЭМ. В этих исследованиях выражается обеспокоенность по поводу воздействия излучения от систем БПЭ-ЭМ на радиовещательную и любительскую службы. Некоторые исследования показывают, что действующие пределы излучения от систем БПЭ-ЭМ могут привести к вредным помехам для этих радиослужб. Основания для этого вывода описываются в отдельных исследованиях.

Некоторые аспекты настоящего Отчета все еще находятся в процессе критического рассмотрения, в частности, вопрос о том, каким образом пределы "излучаемых помех", используемые в некоторых исследованиях, были перемещены из пределов, установленных для различных применений ПНМ и SRD, которые при их изначальной разработке имели низкую вероятность создания помех радиослужбам. Теперь эти пределы применяются в качестве эталона для пределов БПЭ-ЭМ, когда первоначальные допущения и методика уже не могут приниматься как соответствующие современной электромагнитной среде при широком распространении электронных и электрических устройств, не говоря уже о соответствии прогнозируемому использованию гораздо более мощных зарядных устройств БПЭ-ЭМ (см. раздел 6/9.1.6/2 Отчета ПСК для ВКР-19).

Для случая воздушной службы, систем пульсационного контроля и обнаружения молний – из имеющихся данных нельзя сделать никаких выводов.

Ограничения на уровень излучения и методы ослабления воздействия, а также другие соответствующие вопросы, включая руководящие указания для администраций, лучше всего распространять через Отчеты и Рекомендации МСЭ-R, дополняя их дальнейшими исследованиями и

документацией, если это будет сочтено необходимым. В текущей и планируемой документации, связанной с использованием БПЭ-ЭМ, рассматриваются следующие вопросы:

- частоты, подходящие для БПЭ-ЭМ, указанные в Рекомендации МСЭ R SM.2110;
- ограничения на излучение, исходящее от систем БПЭ-ЭМ на рабочих и других частотах, включая гармонически связанные частоты, которые предполагается определить в новой Рекомендации МСЭ-R; и
- результаты соответствующих исследований и примеры национальных подходов к регулированию, представленные в Приложениях к настоящему Отчету.

МСЭ-R необходимо тесно сотрудничать с ОРС, чтобы обеспечить включение в стандарты подходящих полос частот и технических ограничений, необходимых для защиты служб радиосвязи.

ТАБЛИЦА 9

Полосы частот и уровни мощности для систем БПЭ-ЭМ

Категории	Уровень мощности	Полоса частот	Применения БПЭ
Мощные БПЭ-ЭМ	Более 22 кВт	19–21 кГц	Специальные тяжелые электрические транспортные средства (автобусы, трамваи, грузовики)
	Более 22 кВт	55–57 кГц*	Специальные тяжелые электрические транспортные средства (автобусы, трамваи, грузовики)
	Более 22 кВт	63–65 кГц ⁽¹⁾	Специальные тяжелые электрические транспортные средства (автобусы, трамваи, грузовики)
БПЭ-ЭМ средней мощности	До 22 кВт	79–90 кГц	Типовые легковые автомобили

⁽¹⁾ Не предназначена для использования в качестве основной частоты БПЭ-ЭМ. В предположении, что минимальное расстояние разнеса между БПЭ-ЭМ и приемниками SFTS составляет 50 м, третья гармоника должна находиться в полосах частот 64–65 кГц и 55–56 кГц, а излучение БПЭ должно быть ограничено уровнем 35 дБмкА/м на расстоянии 10 м. В тех случаях, когда расстояние между БПЭ-ЭМ и приемниками SFTS может гарантированно превышать 100 м, третья гармоника может находиться в пределах полос 63–65 кГц и 55–57 кГц, а излучение БПЭ должно быть ограничено уровнем 44 дБмкА/м на расстоянии 10 м.

Приложение 1

Технические характеристики и требования защиты служб радиосвязи для использования в исследованиях по воздействию БПЭ-ЭМ

A1.1 Морские службы

Технические характеристики для полос частот 190–535 кГц и 285–325 кГц приведены в Приложении 12 к Регламенту радиосвязи, а для полос 2,8–22 МГц – в Приложении 27 к Регламенту радиосвязи.

ТАБЛИЦА А1-1

Технические характеристики морских служб

Полосы частот	Рекомендация	Наименование	Соответствующие разделы
90–110 кГц ⁽¹⁾	МСЭ-R M.589	Технические характеристики методов передачи данных и защиты от помех для радионавигационных служб в полосах частот между 70 и 130 кГц	Приложение 1, раздел 2
285–325 кГц ⁽¹⁾	МСЭ-R M.823	Технические характеристики дифференциальных передач для глобальных навигационных спутниковых систем с морских радиомаяков в полосе частот 283,5–315 кГц в Районе 1 и в полосе частот 285–325 кГц в Районах 2 и 3	Приложение 1, раздел 1
490–518 кГц ⁽¹⁾	МСЭ-R M.2010	Характеристики цифровой системы под названием "Навигационные данные", которая предназначена для радиовещания информации, касающейся защиты и обеспечения безопасности на море в направлении берег–судно в диапазоне 500 кГц	Приложение 3, таблица 1
1,6–3,8 МГц ⁽¹⁾	МСЭ-R M.1173	Технические характеристики однополосных передатчиков, используемых в морской подвижной службе для радиотелефонии в полосах частот между 1606,5 кГц (1605 кГц в Районе 2) и 4000 кГц и между 4000 кГц и 27 500 кГц	Приложение 1
	МСЭ-R M.1171	Процедуры использования радиотелефонии в морской подвижной службе	Приложение 1, разделы 2 и 3
4–27,5 МГц ^{(1), (2)}	МСЭ-R M.1173	Технические характеристики однополосных передатчиков, используемых в морской подвижной службе для радиотелефонии в полосах частот между 1606,5 кГц (1605 кГц в Районе 2) и 4000 кГц и между 4000 кГц и 27 500 кГц	Приложение 1
	МСЭ-R M.1171	Процедуры использования радиотелефонии в морской подвижной службе	Приложение 1, разделы 2 и 3

⁽¹⁾ Позиции, рассматриваемые как службы безопасности согласно Рекомендации МСЭ-R SM.1535.

⁽²⁾ Позиции, подлежащие рассмотрению в исследованиях для полосы частот 6765–6795 кГц.

ТАБЛИЦА А1-2

Технические характеристики воздушных служб

Полосы частот	Рекомендация	Наименование	Соответствующие разделы
190–535 кГц ⁽¹⁾	МСЭ-R SM.1535	Словарь данных радиосвязи	Приложение 1, раздел 2.4
2,8–22 МГц ^{(1), (2)}	МСЭ-R M.1458	Использование полос частот 2,8–22 МГц воздушной подвижной (R) службой для передачи данных с использованием класса излучения J2D	Приложение 1

(1) Позиции, рассматриваемые как службы безопасности согласно Рекомендации МСЭ-R SM.1535.

(2) Позиции, подлежащие рассмотрению в исследованиях для полосы частот 6765–6795 кГц.

А1.2 Любительская служба

ТАБЛИЦА А1-3

Технические характеристики любительской службы

Полосы частот	Рекомендации	Наименование	Соответствующие разделы
Все	МСЭ-R M.1732	Характеристики систем, работающих в любительской и любительской спутниковой службах, в целях применения в исследованиях по совместному использованию частот	Основной текст (рекомендует) и таблица 1А
F < 30 МГц	МСЭ-R M.1044	Критерии совместного использования частот в любительской и любительской спутниковой службах	Раздел 5
F < 30 МГц	МСЭ-R F.240	Защитные отношения сигнал–помеха для различных классов излучения в фиксированной службе на частотах ниже примерно 30 МГц	Таблица 1

А1.3 Служба стандартных частот и сигналов времени

ТАБЛИЦА А1-4

Станции службы стандартных частот и сигналов времени (SFTS)

Станция (позывные)	Координаты	Частота (кГц)	Излучаемая мощность (кВт)
DCF77	50° 01' с. ш. 09° 00' в. д.	77,5	30
JY40	37° 22' с. ш. 140° 51' в. д.	40	10
JY60	33° 28' с. ш. 130° 11' в. д.	60	20
MSF	54° 55' с. ш. 03° 15' з. д.	60	16
WWVB	40° 40' с. ш. 105° 03' з. д.	60	70

В таблице распределения частот полоса 19,95–20,05 кГц распределена на первичной основе службе стандартных частот и сигналов времени. В пункте 5.56 РР также говорится, что стандартные частоты и сигналы времени могут передаваться радиостанциями служб, которым распределены полосы 14–19,95 кГц и 20,05–70 кГц, а в Районе 1 также полосы 72–84 кГц и 86–90 кГц. Таким станциям должна быть обеспечена защита от вредных помех.

ТАБЛИЦА А1-5

Минимальная используемая напряженность поля сигналов MSF, WWVB и DCF77 службы стандартных частот и сигналов времени

	Минимальная используемая напряженность поля
Напряженность электрического поля	40 дБмкВ/м (100 мкВ/м)
Напряженность магнитного поля	–11,50 дБмкА/м

ТАБЛИЦА А1-6

Минимальная используемая напряженность поля сигнала JJY службы стандартных частот и сигналов времени

	Минимальная используемая напряженность поля
Напряженность электрического поля	60 дБмкВ/м

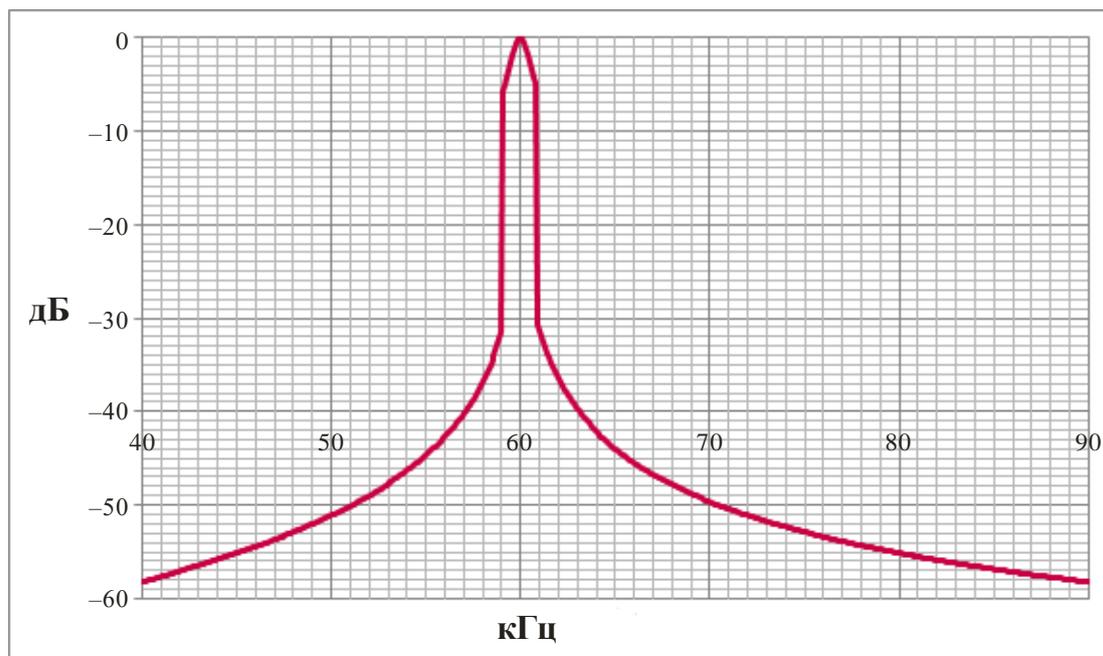
ТАБЛИЦА А1-7

Критерий защиты при совпадении частот для сигналов MSF, WWVB и DCF77 SFTS службы SFTS

	Защитное отношение	Максимально допустимый мешающий сигнал в ближней или дальней зоне (Е-поле)	Максимально допустимый мешающий сигнал в ближней или дальней зоне (H-поле)
Минимальные критерии защиты	25 дБ	15 дБмкВ/м	–36,5 дБмкА/м

РИСУНОК А1-1

Критерии защиты на основе кривой избирательности MSF и WWVB для служб SFTS



Report SM.2451-A1-01

ТАБЛИЦА А1-8

Минимальные защитные отношения для сигнала JJY

Полоса частот основной частоты	Критерии защиты	Комментарии
10–79 кГц	Предел излучения для устройства БПЭ-ЭМ, измеренный на расстоянии 10 м, составляет 23,1 дБмкА/м. ^{*1)} На любое устройство БПЭ-ЭМ необходимо подать отдельное заявление на имя Министра внутренних дел и связи и использовать его только при наличии разрешения	Не допускается на частотах 40 кГц и 60 кГц, где работают службы SFTS (JJY)
79–90 кГц	Предел излучения для устройства БПЭ-ЭМ (максимальная выходная мощность 7,7 кВт), измеренный на расстоянии 10 м, составляет 68,4 дБмкА/м	В руководстве к устройству БПЭ или на устройстве БПЭ должна быть указана следующая инструкция или ее эквивалент: "Возможны вредные электромагнитные помехи для радиуправляемых часов устройств, принимающих сигналы SFTS".
90–150 кГц	Предел излучения для устройства БПЭ-ЭМ, измеренный на расстоянии 10 м, составляет 23,1 дБмкА/м. На любое устройство БПЭ-ЭМ необходимо подать отдельное заявление на имя Министра внутренних дел и связи и использовать его только при наличии разрешения	

*1) Этот уровень излучения является тем же, что и для "промышленного оборудования, излучающего радиоволны" в Японии.

Применение БПЭ-ЭМ соотносится со службой SFTS следующим образом.

Устройства БПЭ-ЭМ не должны создавать вредных помех, определяемых отношением *несущей к помехе*, которое в согласованных сценариях применения рассчитывается на основе минимальной чувствительности приемника радиуправляемых часовых устройств. В качестве критерия сосуществования используется расстояние разноса 10 м. Принимались во внимание дополнительные меры в виде предотвращения одновременной работы БПЭ и радиуправляемых часов, изменения в направленности распространения радиоволн и возможного улучшения рабочих характеристик.

Применение БПЭ-ЭМ

Эти станции службы стандартных частот и сигналов времени предоставляют ценные услуги по распространению точного времени атомных часов по трем континентам. Они часто используются для обеспечения стандарта точного времени в астрономических обсерваториях. Кроме использования этих сигналов в научных целях, приемники таких станций широко используются в быту.

В настоящее время несколько администраций применяют службы стандартных частот и сигналов времени в этих НЧ-полосах и могут быть затронуты передачами БПЭ. Зоны покрытия некоторых из этих НЧ-передач показаны ниже на рисунках А1-2 – А1-6. Уровни сигналов в областях красного цвета превышают 100 мкВ/м. В этих областях такие передачи используются для отсчета времени десятками миллионов устройств, включая радиуправляемые часы, наручные часы и другие устройства, многим из которых требуется возможность отслеживания декретного времени.

РИСУНОК А1-2

Радиостанция DCF77, работающая на частоте 77,5 кГц

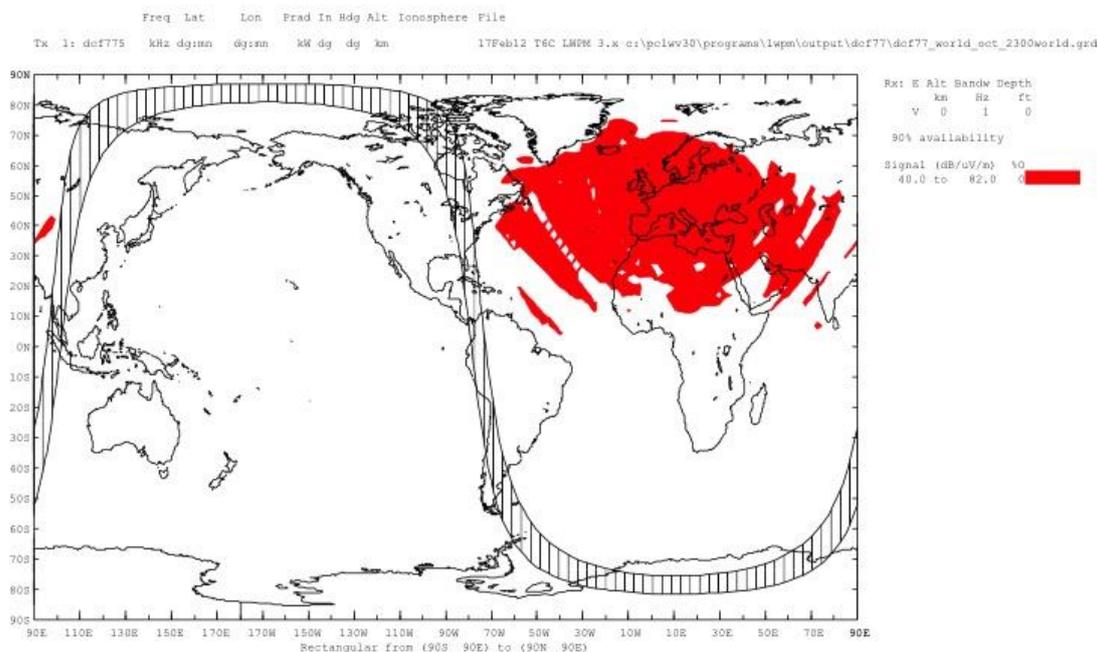
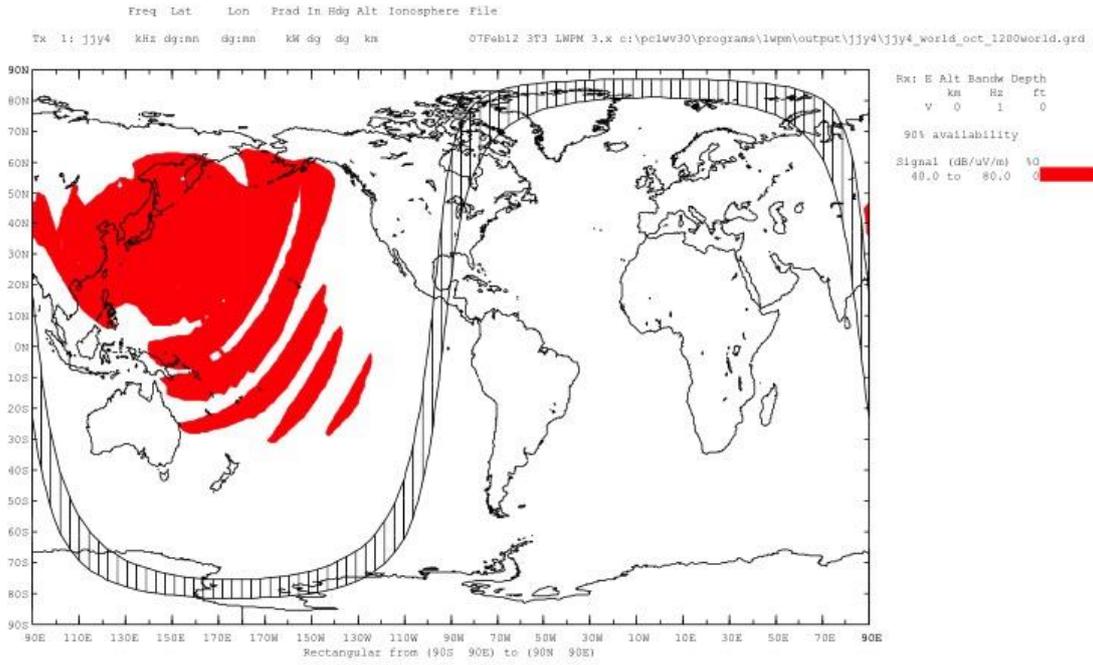


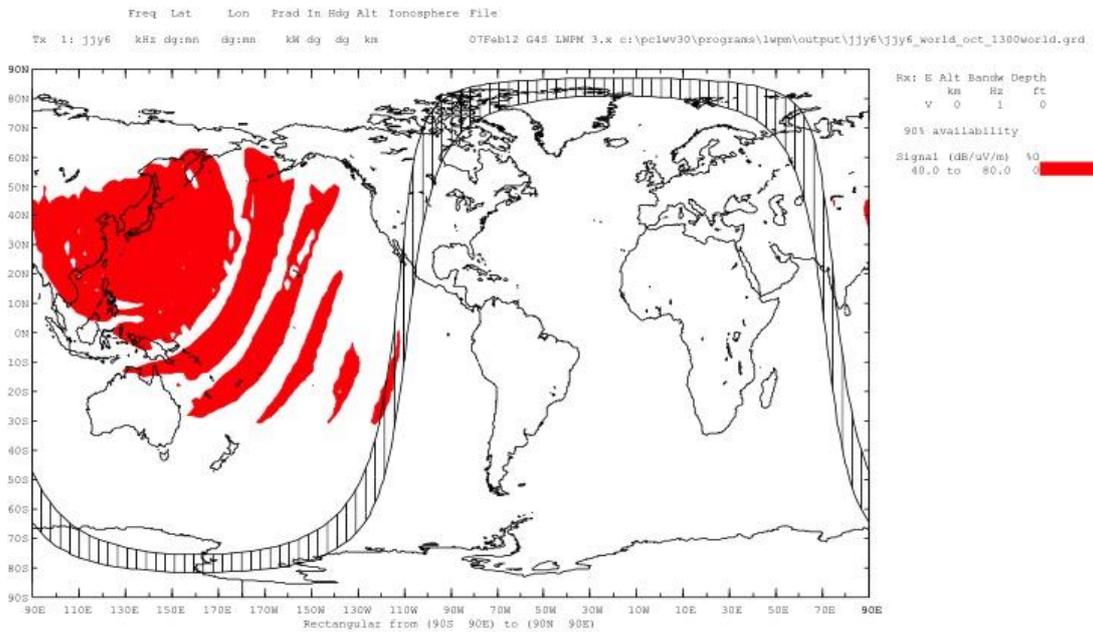
РИСУНОК А1-3
 Радиостанция JJY, работающая на частоте 40 кГц



jjy4_10kW_Oct_1200_40kHz

Report SM.2451-A1-03

РИСУНОК А1-4
 Радиостанция JJY, работающая на частоте 60 кГц

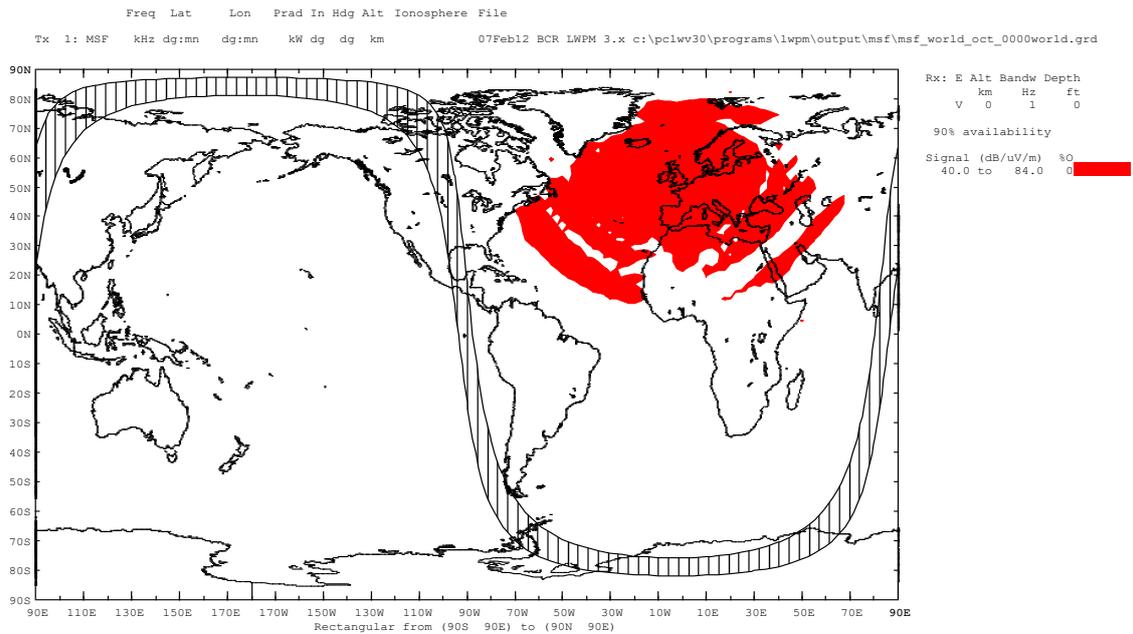


jjy6_10kW_Oct_1300_60kHz

Report SM.2451-A1-04

РИСУНОК А1-5

Радиостанция MSF, работающая на частоте 60 кГц

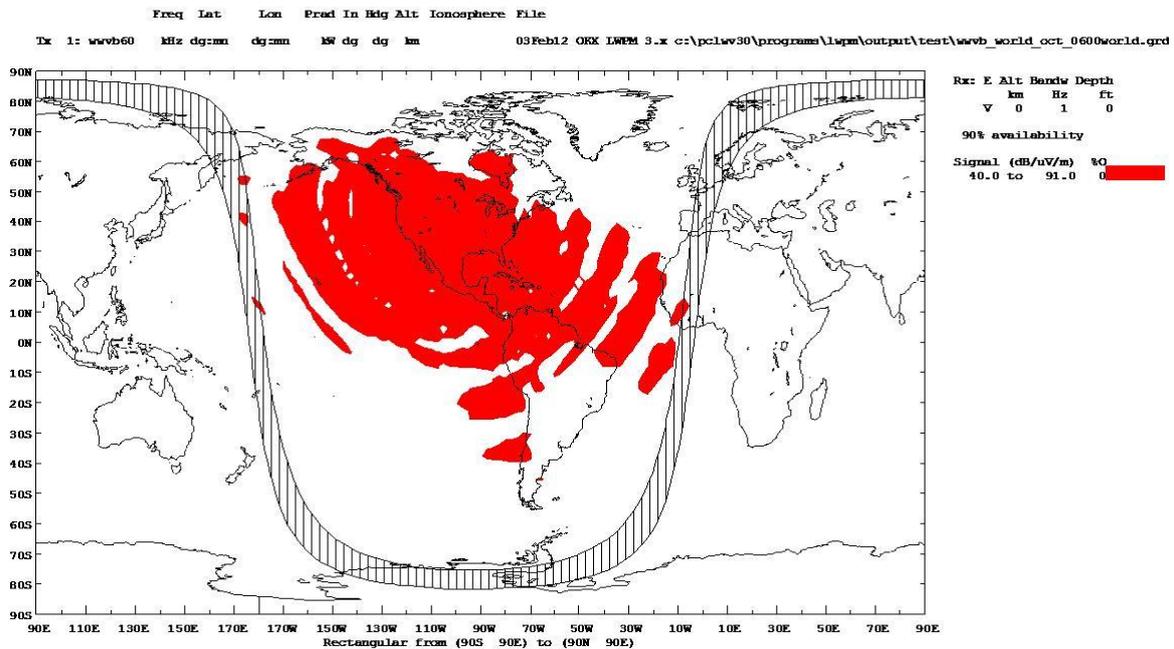


MSF_17kW_OCT_0000_60kHz

Report SM.2451-A1-05

РИСУНОК А1-6

Радиостанция WWVB, работающая на частоте 60 кГц



wwvb 70kW Oct 0600 60kHz

Report SM.2451-A1-06

А1.4 Звуковая радиовещательная служба

Ожидается, что системы БПЭ-ЭМ будут генерировать гармоники в полосах 148,5–283,5 кГц, 525–1705 кГц и 2300–2600 кГц и могут создавать помехи при приеме звукового НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещания. К исследованиям по воздействию имеют отношение следующие документы МСЭ-R (Рекомендации, Отчеты, Соглашения по планированию).

ТАБЛИЦА А1-9

Технические характеристики звуковой радиовещательной службы

Полосы частот	Документ	Наименование	Соответствующие разделы
НЧ СЧ ВЧ	МСЭ-R BS.703	Характеристики АМ звуковых радиовещательных эталонных приемников для целей планирования	Все
НЧ СЧ ВЧ	МСЭ-R BS.560	Защитные отношения по радиочастоте в НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещании	Все
Все	МСЭ-R BS./BT.1895	Критерии защиты систем наземного радиовещания	Все
	МСЭ-R BS.216-2	Защитное отношение для звукового радиовещания в тропической зоне	Все
НЧ СЧ	МСЭ-R BS.415-2	Минимальные требования к характеристикам дешевых звуковых радиовещательных приемников	2 и 3
НЧ СЧ ВЧ	МСЭ-R BS.559-2	Объективные измерения защитных отношений по радиочастоте в НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещании	Все
СЧ	МСЭ-R BS.598-1	Факторы, влияющие на границы зон охвата звуковым радиовещанием с амплитудной модуляцией в диапазоне 6 (СЧ)	Все
Все	МСЭ-R P.372-13	Радишум	
Все	МСЭ-R SM.2303	Беспроводная передача энергии с использованием технологий, не предусматривающих передачу с помощью радиочастотного луча	Раздел 7.2.1 и Приложение 6
НЧ СЧ	Соглашение GE75	План присвоений СЧ-радиовещания в Районах 1 и 3 и НЧ-радиовещания в Районе 1 (Женева, 1975 год)	Все
СЧ	Соглашение RJ81	План присвоений СЧ-радиовещания в Районе 2 (Рио-де-Жанейро, 1981 год)	Все
СЧ	Соглашение RJ88	План присвоений СЧ-радиовещания в Районе 2 (Рио-де-Жанейро, 1988 год)	Все

Информация о текущей ситуации с радиовещательными передатчиками в НЧ- и СЧ-диапазонах представлена в Приложении 8.

Критерии защиты для служб НЧ-, СЧ- и ВЧ-звукового радиовещания приведены в таблице 6 (работа вне растра) и в таблице 7 (работа в растре) в пункте 4.4.

A1.5 Метеорологическая служба

Системы БПЭ-ЭМ могут оказывать влияние на сети обнаружения молний, работающие в полосе 20–350 кГц, которая должна быть защищена.

Приложение 2

Пример уровней излучения БПЭ-ЭМ

В этом Приложении содержится подробная информация об измеренных уровнях излучения, например, систем БПЭ-ЭМ, используемых в некоторых исследованиях по воздействию. Здесь приведена лишь очень ограниченная выборка оборудования. Следует отметить, что часть этого оборудования может относиться к опытным образцам.

A2.1 БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц

Измерения проводились на мощной системе БПЭ-ЭМ для автобусов в городе Гуми (Южная Корея). Система работает на основной частоте в полосе 19–21 кГц при наличии третьей гармоники в полосе 55–65 кГц, которая используется для частичной передачи энергии. Подробная информация об измерениях излучений приведена в таблице А2-1.

ТАБЛИЦА А2-1

Измеренные уровни излучения мощной (100 кВт) системы БПЭ-ЭМ для автобусов, используемой в исследованиях по воздействию

Службы и системы радиосвязи	Полосы частот	Результаты испытаний (дБаА/м) на расстоянии 10 м	
Стандартные частоты и сигналы времени	19,95 кГц – 20,05 кГц (20 кГц, глобальный)	85,30 (20,28 кГц)	
	39 кГц – 41 кГц (40 кГц, Япония)	22,02 (39,31 кГц)	
	49,25 кГц – 50,75 кГц (50 кГц, Россия)	17,29 (49,66 кГц)	
	59 кГц – 61 кГц (60 кГц, Соединенное Королевство, США и Япония)	34,18 (60,23 кГц)	
	65,85 кГц – 67,35 кГц (66,6 кГц, Россия)	21,88 (65,87 кГц)	
	68,25 кГц – 68,75 кГц (68,5 кГц, Китай)	21,55 (68,69 кГц)	
	77,25 кГц – 77,75 кГц (77,5 кГц, Германия)	19,45 (77,62 кГц)	
	99,75 кГц – 102,5 кГц (100 кГц, Китай)	26,73 (100,2 кГц)	
	157,5 кГц – 166,5 кГц (162 кГц, Франция)	–5,8 (166 кГц)	
Пульсационный контроль	128,6 кГц – 129,6 кГц (129,1 кГц, Европа)	9,554 (129,3 кГц)	
	138,5 кГц – 139,5 кГц (139 кГц, Европа)	6,886 (138,7 кГц)	
Система предупреждения для автоматической защиты поездов	Системы автоматической остановки поездов (ATS)	10 кГц – 250 кГц (Япония)	85,30 (20,28 кГц)
		425 кГц – 524 кГц (Япония)	–10,1 (441 кГц)
	Системы индукционной поездной радиосвязи (ITRS)	100 кГц – 250 кГц (Япония)	26,73 (100,2 кГц)
		80 кГц, 92 кГц (Япония, только один маршрут)	15,8 (79,97 кГц) 14,77 (92,19 кГц)
Любительская радиосвязь	135,7 кГц – 137,8 кГц	4,659 (136,6 кГц)	
	472 кГц – 479 кГц	–10,6 (476 кГц)	
Морская радиосвязь	90 кГц – 110 кГц (LORAN)	26,73 (100,2 кГц)	
	424 кГц, 490 кГц, 518 кГц (NAVTEX)	–10,7 (423 кГц)	
		–10,8 (488 кГц) –11,3 (518 кГц)	
АМ-радиовещание	148,5 кГц – 283,5 кГц (Район 1)	–5 (148,5 кГц)	
	525 кГц – 526,5 кГц (Район 2)	–11 (525–526,5 кГц)	
	526,5 кГц – 1606,5 кГц (глобальный)	–10,1 (548 кГц)	
	1605,5 кГц – 1705 кГц (Район 2)	–13,2 (1646 кГц)	

A2.2 БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц

В 2011–2014 годах было измерено излучение системы БПЭ-ЭМ, работающих на частоте 85 кГц. Детали оборудования БПЭ, методы и данные измерений уже описываются в Приложении 3 к Отчету МСЭ-R SM.2303. В таблице A2-2 приведены измеренные уровни излучения системы БПЭ-ЭМ, использующей частоту 85 кГц. В этой же таблице указан уровень излучения в каждой полосе частот соответствующих служб и систем радиосвязи. В части этих полос частот уровни излучения ниже уровня шума измерительного приемника, в котором установлена ширина полосы стандартного разрешения, не соответствующая минимальному уровню шума.

Измеренные излучения системы БПЭ, использующей частоту 85 кГц, описываются на рисунках A2-2 и A2-3. На рисунке A2-1 показана конфигурация передающей и приемной катушек системы БПЭ. Оборудование БПЭ отличается от оборудования, измеряемого в упомянутом выше Приложении 3 к Отчету МСЭ-R SM.2303. В таблице A2-2 и на рисунках A2-2 и A2-3 уровень излучения в области побочных излучений составляет –40 дБ или ниже от уровня излучения на частоте БПЭ.

ТАБЛИЦА A2-2

Измеренные уровни излучения системы БПЭ-ЭМ 3 кВт, использующей полосу 85 кГц

Службы и системы радиосвязи	Полосы частот	Результаты испытаний на расстоянии 10 м (дБмкА/м)
Стандартные частоты и сигналы времени	19,95 кГц – 20,05 кГц (20 кГц, глобальный)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –15)
	39 кГц – 41 кГц (40 кГц, Япония)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –23)
	49,25 кГц – 50,75 кГц (50 кГц, Россия)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –25)
	59 кГц – 61 кГц (60 кГц, Соединенное Королевство, США и Япония)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –27)
	65,85 кГц – 67,35 кГц (66,6 кГц, Россия)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –27)
	68,25 кГц – 68,75 кГц (68,5 кГц, Китай)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –25)
	77,25 кГц – 77,75 кГц (77,5 кГц, Германия)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –30)
	99,75 кГц – 102,5 кГц (100 кГц, Китай)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –33)
Пульсационный контроль	157,5 кГц – 166,5 кГц (162 кГц, Франция)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –18)
	128,6 кГц – 129,6 кГц (129,1 кГц, Европа)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –33)
	138,5 кГц – 139,5 кГц (139 кГц, Европа)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< –34)

ТАБЛИЦА А2-2 (окончание)

Службы и системы радиосвязи		Полосы частот	Результаты испытаний на расстоянии 10 м (дБмкА/м)
Система предупреждения для автоматической защиты поездов	Система автоматической остановки поездов (ATS)	10 кГц – 250 кГц (Япония)	71,3 (85,1 кГц; частота БПЭ) 14,4 (176,2 кГц; 2-я гармоника) Ниже уровня шума измерительного приемника (в другой полосе частот)
	Система индукционной поездной радиосвязи (ITRS)	100 кГц – 250 кГц (Япония)	14,4 (176,2 кГц; 2-я гармоника)
		80 кГц, 92 кГц (Япония, только один маршрут)	71,3 (85,1 кГц; частота БПЭ)
Любительская радиосвязь		135,7 кГц – 137,8 кГц	Ниже уровня шума измерительного приемника (< -33)
		472 кГц – 479 кГц	Ниже уровня шума измерительного приемника (< -28)
Морская радиосвязь		90 кГц – 110 кГц (LORAN)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< -33)
		424 кГц, 490 кГц, 518 кГц (NAVTEX)	-11,8 (425,5 кГц; 5-я гармоника) Ниже уровня шума измерительного приемника (в другой полосе частот)
		495 кГц – 505 кГц (NAVDAT)	Ниже уровня шума измерительного приемника (< -28)
АМ-радиовещание		148,5 кГц – 283,5 кГц (Район 1)	14,4 (176,2 кГц; 2-я гармоника)
		525 кГц – 526,5 кГц (Район 2)	-15,6 (595,7 кГц; 7-я гармоника)
		526,5 кГц – 1606,5 кГц (глобальный)	* Выше 8-й гармоники не обнаруживается
		1605,5 кГц – 1705 кГц (Район 2)	Ниже уровня шума измерительного приемника (в другой полосе частот)

РИСУНОК А2-1

Конфигурация передающей и приемной катушек системы БПЭ

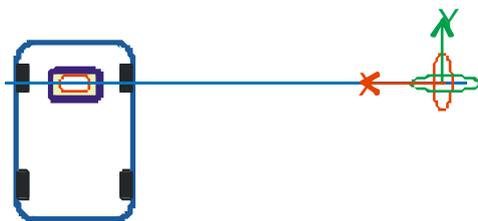
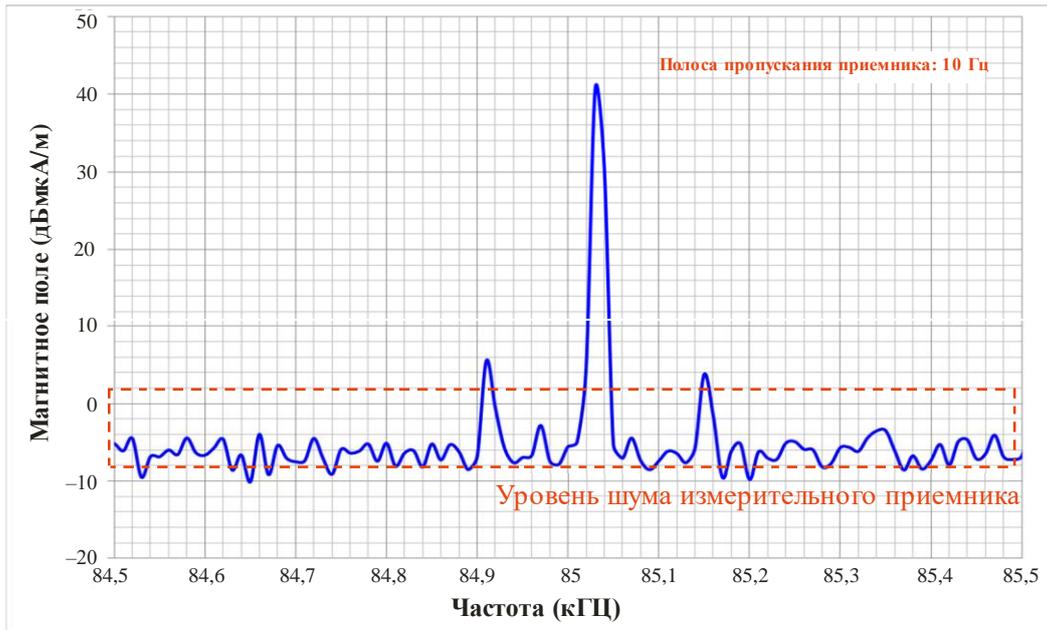


РИСУНОК А2-2

Измеренное излучение системы БПЭ, использующей частоту 85 кГц (направление рамочной антенны: X)



Report SM.2451-A2-02

РИСУНОК А2-3

Измеренное излучение системы БПЭ, использующей частоту 85 кГц (направление рамочной антенны: Y)



Report SM.2451-A2-03

Приложение 3

Пределы излучений БПЭ-ЭМ, предлагаемые организациями по разработке стандартов

А3.1 Проект пределов излучения, предлагаемый СИСПР

В 2017 году СИСПР занимался разработкой пределов излучения БПЭ-ЭМ в подкомитете СИСПР/В. Это привело к рассмотрению поправок к стандарту CISPR 11 Ed. 6, содержащихся в Проекте Комитета для голосования – документе CISPR/B687/CDV: "Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement – Requirements for air-gap wireless power transfer (WPT)". В декабре 2017 года поправка не прошла голосование и была отклонена. В настоящее время на рассмотрении находится новая поправка к CISPR 11 – документ в рамках Проекта Комитета, разработанный на собрании AHG4 в апреле 2019 года, который будет распространен как CDV весной 2019 года. Результат голосования будет объявлен к концу 2019 года. Изменены следующие пункты CISPR/B/710/CD, связанные с предельными уровнями:

- Выбрано измерительное расстояние от проверяемого оборудования только 10 м, чтобы сохранить более широкий динамический диапазон измерения и избежать каких-либо несоответствий, вызванных измерением в переходной области между дальней и ближней зонами.
- Подклассы мощности класса В упрощены до (≤ 1 кВт) и (> 1 кВт), а предельные значения основных частот для БПЭ подкласса > 1 кВт в полосе 79–90 кГц ограничиваются до 67,8 дБмкА/м.
- Предельные значения для полос гармоник пересмотрены путем оценки расчета с использованием CISPR TR16-4-4 следующим образом:
 - 150 кГц – 5,62 МГц: 14,5 дБмкА/м; линейно уменьшается с логарифмом частоты до –10 дБмкА/м;
 - 5,62–30 МГц: –10 дБмкА/м.

К моменту публикации настоящего Отчета МСЭ обсуждаемые в СИСПР/В предельно допустимые значения использовались в некоторых исследованиях по воздействию и приведены в таблицах А3-1 и А3-2.

ТАБЛИЦА А3-1

Предельные значения электромагнитных помех, излучаемых оборудованием БПЭ класса В группы 2 для электромобилей, измеренные на испытательном стенде

Полоса частот (кГц)	Предельные значения для расстояния измерения $D = 10$ м	
	Класс В (≤ 1 кВт) ^a	Класс В (> 1 кВт) ^a
	Квазипиковое значение магнитного поля (дБ(мкА/м))	Квазипиковое значение магнитного поля (дБ(мкА/м))
9–19	27–23,8	27–23,8
19–25	57	72
25–36	22,6–21,1	22,6–21,1
36–40 ^b	56,2	71,2
40–55	20,6–19,3	20,6–19,3
55–65 ^b	54,4	69,4

ТАБЛИЦА А3-1 (окончание)

Полоса частот (кГц)	Предельные значения для расстояния измерения $D = 10$ м	
	Класс В (≤ 1 кВт) ^a	Класс В (> 1 кВт) ^a
	Квазипиковое значение магнитного поля (дБ(мкА/м))	Квазипиковое значение магнитного поля (дБ(мкА/м))
65–79	18,6–17,7	18,6–17,7
79–90	52,8	67,8 ^c
90–150	17,2–15	17,2–15

На переходной частоте применяется более строгое ограничение. Там где предел изменяется с частотой, он линейно уменьшается с логарифмом возрастания частоты.

На испытательной площадке измерение для оборудования класса В должно проводиться на номинальном расстоянии 10 м.

Государственные органы могут запросить дополнительное подавление излучений в конкретных полосах частот, используемых чувствительными радиослужбами на специальных установках, например путем введения ограничений в таблице Е.2.

^a Выбор из соответствующего набора предельных значений должен основываться на номинальной потребляемой мощности от сети переменного тока, указанной изготовителем.

^b В некоторых странах эти полосы недоступны.

^c Системы БПЭ с номинальной потребляемой мощностью от сети переменного тока $> 3,6$ кВт, если они не соответствуют предельному значению такой мощности > 1 кВт, указанной в этой таблице, должны как минимум соответствовать пределу, ослабленному на 15 дБ. В этом случае документация для пользователя и инструкции по эксплуатации, прилагаемые к оборудованию, должны содержать следующее предупреждение:

Внимание! Данное оборудование не предназначено для использования в условиях, когда на расстоянии менее 10 м от оборудования расположены и работают чувствительные устройства и/или устройства радиосвязи, такие как устройства ближнего радиуса действия (SRD), например, используемые в системах железнодорожной сигнализации. В таких условиях это оборудование может не обеспечивать адекватную защиту радиоприема.

ТАБЛИЦА А3-2

**Предельные значения электромагнитных помех,
излучаемых оборудованием БПЭ класса В группы 2,
измеренные на испытательном стенде**

Диапазон частот (кГц)	Предельные значения расстояния измерения $D = 10$ м
	Магнитное поле
	Квазипиковое значение (дБ(мкА/м))
0,15–5,62	14,5 линейно уменьшается с логарифмом частоты до -10
5,62–30	-10

Приложение 4

Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени

A4.1 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени, работающую на частоте 60 кГц

В этом Приложении описывается исследование по воздействию систем БПЭ-ЭМ, использующих полосу частот 55–65 кГц, на службу стандартных частот и сигналов времени (SFTS), которая работает на частоте 60 кГц.

A4.1.1 Базовые критерии защиты службы SFTS

В данном исследовании задается минимальная используемая напряженность поля (MUFS), указанная в Приложении 1, равная 100 мкВ/м (40 дБмкВ/м). В таблице A4-1 приведены минимальные используемые значения напряженности электрического и магнитного полей. Следует отметить, что эти значения соответствуют дальней зоне передач SFTS, но обычно они будут наблюдаться в ближней зоне источников БПЭ, поскольку длина волны на основной частоте 60 кГц составляет 5000 м.

ТАБЛИЦА A4-1

Базовая минимальная используемая напряженность поля службы SFTS в дальней зоне

	Минимальная используемая напряженность поля
Напряженность электрического поля (дБмкВ/м)	40
Напряженность магнитного поля (дБмкА/м)	-11,50

A4.1.1.1 Критерии защиты для службы SFTS

Критерии защиты для SFTS приведены в Приложении 1, где указано защитное отношение +25 дБ и приведена кривая избирательности приемника.

Измерения проводились в Соединенном Королевстве на приемнике SFTS на частоте 60 кГц для проверки сделанных ранее теоретических предположений о требованиях защиты SFTS. На основании этих измерений в данном исследовании использовался критерий защиты +24 дБ (см. таблицу A4-2), который на 1 дБ слабее критерия защиты, указанного в Приложении 1.

ТАБЛИЦА A4-2

Критерий защиты для SFTS при совпадении частот, используемый в этом исследовании³

	Защитное отношение	Максимально допустимый мешающий сигнал в ближней или дальней зоне (E-поле)	Максимально допустимый мешающий сигнал в ближней или дальней зоне (H-поле)
Критерий защиты, используемый в этом исследовании	24 дБ	16 дБмкВ/м	-35,5 дБмкА/м

³ Следует отметить, что частота 60 кГц соответствует длине волны 5000 м РЧ-сигнала.

ТАБЛИЦА А4-3

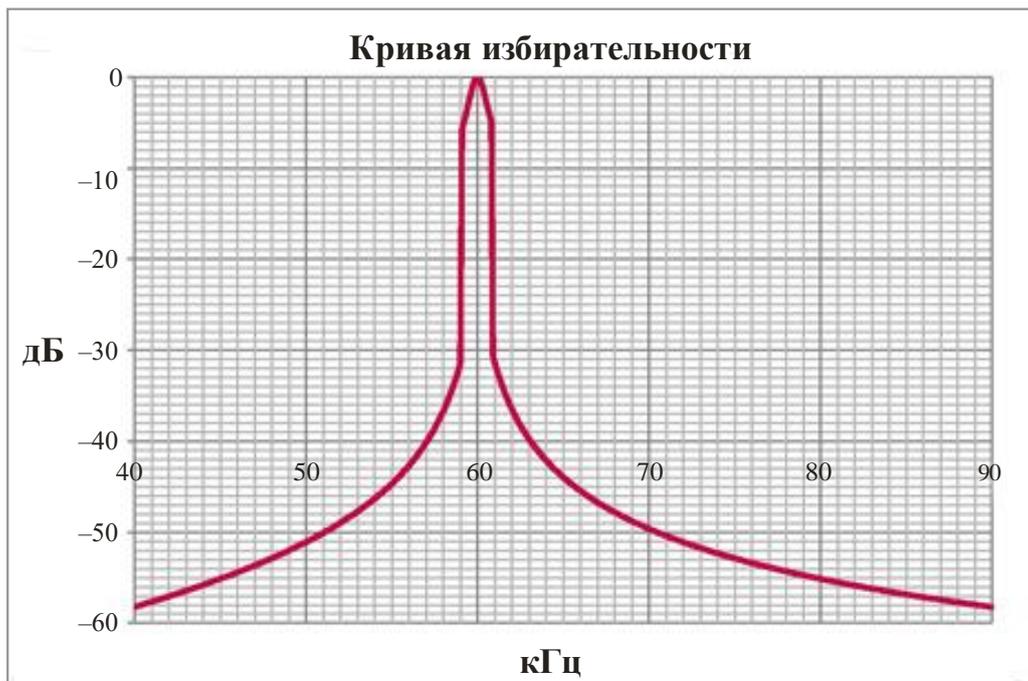
Критерии защиты для SFTS на соседних частотах

Разнос частот/ смещение (кГц)	Относитель- ная избира- тельность (дБ)	Критерии защиты на основе измерений		
		Базовое защитное отношение SFTS (дБ)	Максимально допустимый мешающий сигнал (дБмкВ/м) в приемнике SFTS	Максимально допустимый мешающий сигнал (дБмкА/м) в приемнике SFTS
Критерии защиты при манипуляции включением глубиной 100%				
-10	-51,1	-27,1	67,1	15,6
-9	-50,1	-26,1	66,1	14,6
-8	-48,99	-24,99	64,99	13,49
-7	-47,74	-23,74	63,74	12,24
-6	-46,33	-22,33	62,33	10,83
-5	-44,68	-20,68	60,68	9,18
-4	-42,69	-18,69	58,69	7,19
-3	-40,17	-16,17	56,17	4,67
-2	-36,74	-12,74	52,74	1,24
-1	-31,45	-7,45	47,45	-4,05
1	-31,34	-7,34	47,34	-4,16
2	-36,47	-12,47	52,47	0,97
3	-39,75	-15,75	55,75	4,25
4	-42,12	-18,12	58,12	6,62
5	-43,96	-19,96	59,96	8,46
6	-45,46	-21,46	61,46	9,96
7	-46,73	-22,73	62,73	11,23
8	-47,82	-23,82	63,82	12,32
9	-48,78	-24,78	64,78	13,28
10	-49,64	-25,64	65,64	14,14

Избирательность приемника SFTS определяется ферритовой стержневой антенной (значение Q) и узкополосным кварцевым фильтром. Если кварцевый фильтр установлен после первого предусилителя, то очень сильные сигналы могут перегрузить этот предусилитель. Однако в этом исследовании перегрузка не рассматривается – только общая избирательность.

РИСУНОК А4-1

Кривая избирательности приемника SFTS



Report SM.2451-A4-01

А4.1.2 Фоновый шум

В Рекомендации МСЭ-R P.372-13 приведена справочная информация по радиошуму. В наихудшем случае обычно преобладает атмосферный шум – это тесно связано с грозовой активностью, поэтому в разных географических зонах по всему миру средние уровни в некоторых областях могут быть значительно ниже, чем в других. Соединенное Королевство находится в умеренной зоне с относительно низким уровнем грозовой активности в течение года.

Уровень согласно P.372 для сигнала фонового шума в 99,5% времени составляет около -13 дБмкВ/м (-64 дБмкА/м). Это значительно ниже максимально допустимых уровней мешающих сигналов, указанных в критериях защиты. Таким образом, у пользователей имеется достаточный запас по уровню сигнала для размещения приемников с учетом потери ориентационной связи и потерь при проникновении в здание, а производители могут использовать в своих конструкциях экономически эффективные методы.

А4.1.3 Сценарии использования БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц

Полоса частот 55–65 кГц (в сочетании с полосой 19–21 кГц в качестве третьей гармоники) предназначена для тяжелых транспортных средств, грузовиков и автобусов. Ожидается, что зарядные станции БПЭ-ЭМ могут находиться в автопарке, а в будущем – на светофорах и автобусных остановках. В качестве потенциального сценария рассматривалось использование БПЭ-ЭМ на существующих дорогах, но этот вариант не анализируется. На примере центра и пригородов Лондона вполне вероятно предположить, что устройства БПЭ-ЭМ могут использоваться в непосредственной близости от мест применения службы SFTS. Расстояния разноса между приемниками БПЭ-ЭМ и SFTS оцениваются в пределах 10–20 м для БПЭ-ЭМ на улице и 20–50 м для БПЭ-ЭМ в автопарке. Системы БПЭ-ЭМ также будут иметь высокий, 100%-й коэффициент нагрузки. Это означает, что системы БПЭ-ЭМ не должны создавать помех на указанных расстояниях. Соответствующие сценарии приведены в таблице А4-4.

ТАБЛИЦА А4-4

Сценарии использования и расстояния разноса для БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц

Сценарий использования	Расстояние разноса с приемниками SFTS
БПЭ-ЭМ на улице для тяжелых транспортных средств (например, на автобусных остановках)	10–20 м
БПЭ-ЭМ в автопарке для тяжелых транспортных средств (например, на конечной остановке автобуса/автостанции)	20–50 м

А4.1.4 Анализ по воздействию БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц на прием сигналов службы стандартных частот и сигналов времени

В этом анализе по воздействию рассматриваются как необходимое расстояние, так и разнос по частоте между устройствами БПЭ-ЭМ и SFTS во избежание вредных помех. В данном анализе используются измерения, приведенные в Приложении 2, и предложенные CISPR 11 пределы, указанные в Приложении 3. Следует отметить, что измерения относятся к одному конкретному типу систем БПЭ-ЭМ, работающих на конкретной частоте, который не может считаться репрезентативным или типичным представителем для всех систем БПЭ-ЭМ, работающих в данной полосе. В этом анализе предполагается, что при разных смещениях частоты применяется одно и то же измеренное значение уровня. Также отмечается, что на системах БПЭ-ЭМ проводились другие измерения, которые показывают более высокие уровни напряженности поля, чем те, что используются в данном исследовании. В этом исследовании также предполагается, что БПЭ-ЭМ не создает нежелательных излучений. Однако представленные измерения указывают на наличие нежелательных излучений и боковых полос. В таком случае потребуется больший разнос по частоте и расстоянию, чем рассчитанный в этом анализе.

Для расчета разноса по частоте и расстоянию в данном анализе применяются критерии защиты, указанные в таблицах А4-2 и А4-3. Вычисление смещений частоты выполнено для границы излучения БПЭ-ЭМ и границы полосы пропускания приемника SFTS. Результаты этого анализа приведены ниже.

ТАБЛИЦА А4-5

Предельные уровни и измеренные значения, используемые в анализе

Предельный уровень, предлагаемый СИСПР на расстоянии 10 м	Измеренный уровень от системы БПЭ-ЭМ на расстоянии 10 м
84,4 дБмкА/м	34,18 дБмкА/м

А4.1.4.1 Анализ по воздействию БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц на службу SFTS при предлагаемых СИСПР предельных уровнях

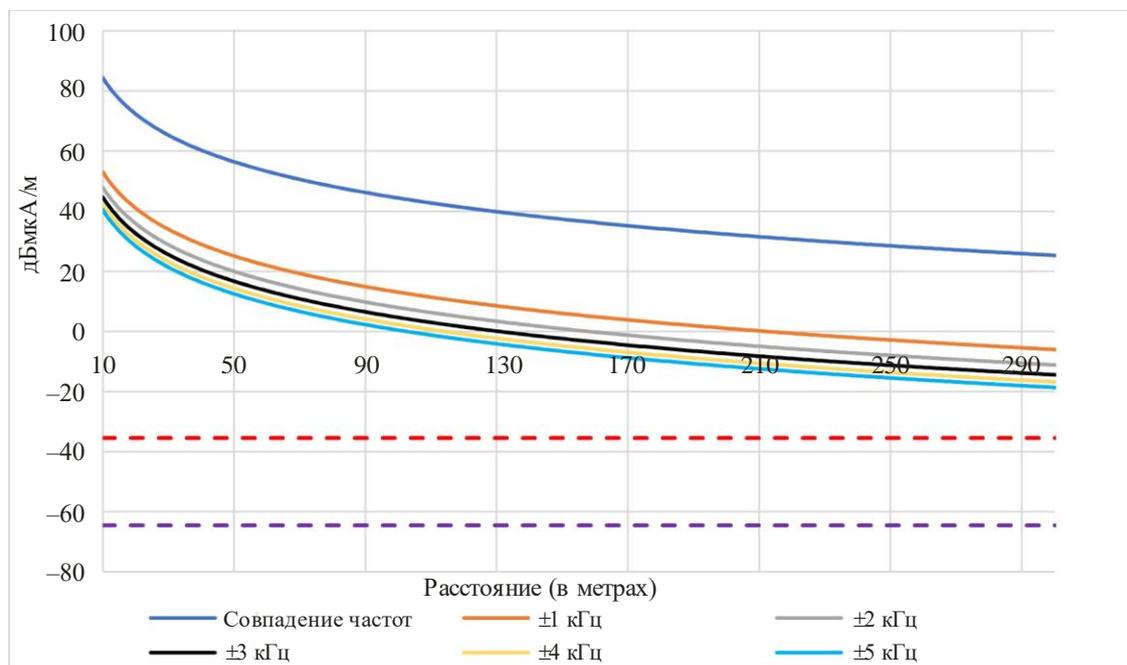
ТАБЛИЦА А4-6

Анализ разноса по частоте и расстоянию для БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц при предлагаемых СИСПР предельных уровнях

Смещение частоты (кГц)	Максимально допустимый мешающий сигнал в приемнике SFTS (дБмкА/м)	Расстояние разноса 10 м		Расстояние разноса 20 м		Расстояние разноса 50 м	
		Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)
-5	9,18	84,40	-75,22	72,36	-63,18	56,44	-47,26
-4	7,19	84,40	-77,21	72,36	-65,17	56,44	-49,25
-3	4,67	84,40	-79,73	72,36	-67,69	56,44	-51,77
-2	1,24	84,40	-83,16	72,36	-71,12	56,44	-55,20
-1	-4,05	84,40	-88,45	72,36	-76,41	56,44	-60,49
Совпадение частот	-35,50	84,40	-119,90	72,36	-107,86	56,44	-91,94
1	-4,16	84,40	-88,56	72,36	-76,52	56,44	-60,60
2	0,97	84,40	-83,43	72,36	-71,39	56,44	-55,47
3	4,25	84,40	-80,15	72,36	-68,11	56,44	-52,19
4	6,62	84,40	-77,78	72,36	-65,74	56,44	-49,82
5	8,46	84,40	-75,94	72,36	-63,90	56,44	-47,98

РИСУНОК А4-2

Анализ разноса по частоте и расстоянию для системы БПЭ-ЭМ при предлагаемых СИСПР предельных уровнях и службы SFTS на частоте 60 кГц



Анализ показывает, что SFTS на частоте 60 кГц будет принимать вредные помехи от системы БПЭ-ЭМ, работающей в предлагаемых СИСПР предельных уровнях в полосе 55–65 кГц, при всех проанализированных значениях разноса по частоте и расстоянию. Для сценариев использования БПЭ-ЭМ как на улице, так и в автопарке (приведенных в таблице А4-4) при всех значениях разноса по частоте и расстоянию получается большой отрицательный запас.

А4.1.4.2 Анализ по воздействию системы БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц на службу SFTS исходя из результатов измерений

В этом анализе используются результаты измерений, приведенные в Приложении 2. В анализе учтены ограничения по этим измерениям, указанные в пункте А4.4.

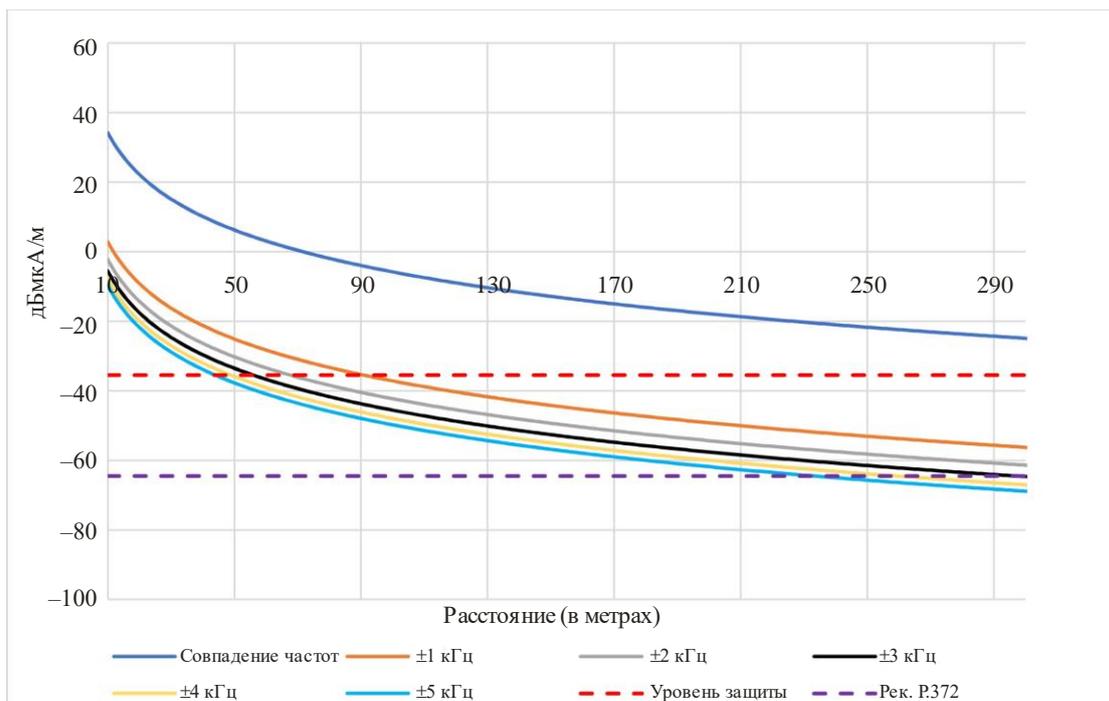
ТАБЛИЦА А4-7

Анализ разноса по частоте и расстоянию по результатам измерений системы БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц

Смещение частоты (кГц)	Максимально допустимый мешающий сигнал в приемнике SFTS (дБмкА/м)	Расстояние разноса 10 м		Расстояние разноса 20 м		Расстояние разноса 50 м	
		Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)
-5	9,18	34,18	-25	22,14	-12,96	6,22	2,96
-4	7,19	34,18	-26,99	22,14	-14,95	6,22	0,97
-3	4,67	34,18	-29,51	22,14	-17,47	6,22	-1,55
-2	1,24	34,18	-32,94	22,14	-20,90	6,22	-4,98
-1	-4,05	34,18	-38,23	22,14	-26,19	6,22	-10,27
Совпадение частот	-35,5	34,18	-69,68	22,14	-57,64	6,22	-41,72
+1	-4,16	34,18	-38,34	22,14	-26,30	6,22	-10,38
+2	0,97	34,18	-33,21	22,14	-21,17	6,22	-5,25
+3	4,25	34,18	-29,93	22,14	-17,89	6,22	-1,97
+4	6,62	34,18	-27,56	22,14	-15,52	6,22	0,40
+5	8,46	34,18	-25,72	22,14	-13,68	6,22	2,24

РИСУНОК А4-3

Анализ разноса по частоте и расстоянию по результатам измерений системы БПЭ-ЭМ и службы SFTS на частоте 60 кГц



Report SM.2451-A4-03

Анализ показывает, что в сценарии использования на улице (приведенном в таблице А4-4) приемник SFTS на частоте 60 кГц будет принимать вредные помехи от системы БПЭ-ЭМ, работающей в полосе частот 55–65 кГц. При всех значениях разноса по частоте и расстоянию имеет место большой отрицательный запас. Для сценария использования БПЭ-ЭМ в автопарке сосуществование может быть осуществимо при разносе по частоте в 4 кГц или более (то есть ниже 56 кГц и выше 64 кГц) с разномом по расстоянию 50 м.

А4.1.4.3 Анализ чувствительности

Был проведен анализ чувствительности для выявления случаев, когда напряженность поля может быть выше минимальной используемой напряженности поля, указанной в таблице А4-1. В данном случае рассматривается центральный Лондон, где используется множество приемников SFTS и в будущем возможно использование БПЭ-ЭМ. Применяется базовый расчет для оценки напряженности поля, принимаемой в Лондоне от передатчика MSF, расположенного в Антхорне (54° 55' с. ш., 3° 15' з. д.), как показано в таблице А4-6. Следует отметить, что эта напряженность поля может быть переоценкой принимаемого сигнала, поскольку в Лондоне много зданий и объектов, ослабляющих сигнал. Многие приемники могут работать при минимальной используемой напряженности поля или вблизи нее, находясь между зданиями со стальным каркасом и/или железобетонными зданиями.

ТАБЛИЦА А4-8

Приблизительная напряженность поля, принимаемая в центре Лондона без учета потерь из-за зданий и т. д.

Местонахождение	Расстояние от передатчика	Напряженность поля (Е-поле) (дБмкВ/м)	Напряженность поля (Н-поле) (дБмкА/м)
Центральный Лондон	450 км	53,87	2,37

В этом анализе используются результаты измерений, приведенные в Приложении 2, а также учитываются ограничения по этим измерениям, указанные в разделе 4.

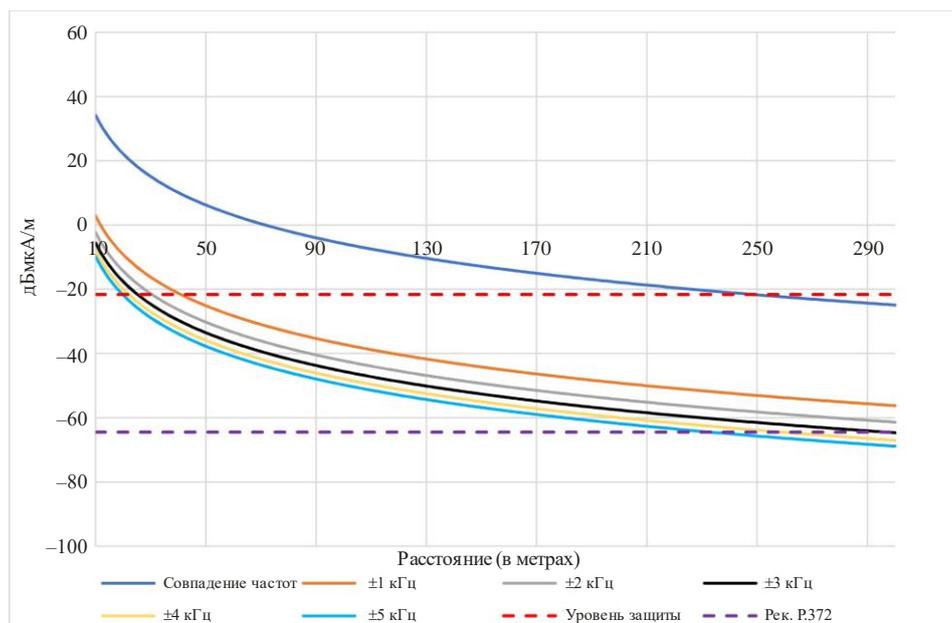
ТАБЛИЦА А4-9

Анализ разнеса по частоте и расстоянию по результатам измерений системы БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц с использованием повышенных расчетных уровней напряженности поля SFTS

Смещение частоты (кГц)	Максимально допустимый мешающий сигнал в приемнике SFTS (дБмкА/м)	Расстояние разнеса 10 м		Расстояние разнеса 20 м		Расстояние разнеса 50 м	
		Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)
-5	23,05	34,18	-11,13	22,14	0,91	6,22	16,83
-4	21,06	34,18	-13,12	22,14	-1,08	6,22	14,84
-3	18,54	34,18	-15,64	22,14	-3,60	6,22	12,32
-2	15,11	34,18	-19,07	22,14	-7,03	6,22	8,89
-1	9,82	34,18	-24,36	22,14	-12,32	6,22	3,60
Совпадение частот	-21,63	34,18	-55,81	22,14	-43,77	6,22	-27,85
+1	9,71	34,18	-24,47	22,14	-12,43	6,22	3,49
+2	14,84	34,18	-19,34	22,14	-7,30	6,22	8,62
+3	18,12	34,18	-16,06	22,14	-4,02	6,22	11,90
+4	20,49	34,18	-13,69	22,14	-1,65	6,22	14,27
+5	22,33	34,18	-11,85	22,14	0,19	6,22	16,11

РИСУНОК А4-4

Анализ разнеса по частоте и расстоянию по результатам измерений системы БПЭ-ЭМ для SFTS на частоте 60 кГц в предположении повышенной полезной напряженности поля SFTS



Для сценария использования БПЭ-ЭМ на улице (приведенного в таблице А4-4) анализ показывает, что сосуществование возможно при разnose по частоте 5 кГц и более (то есть ниже 55 кГц и выше 65 кГц) и разnose по расстоянию 20 м. Для сценария использования БПЭ-ЭМ в автобусном парке сосуществование может быть реализовано при разnose по частоте более 1 кГц (то есть ниже 59 кГц и выше 61 кГц) с разnoseм по расстоянию 50 м. Однако отмечается, что этот анализ чрезмерно оптимистичен, так как учитывает все лучшие сценарии.

А.4.1.4.4 Совокупные помехи

Вполне вероятно, что в близлежащих местах будут работать несколько зарядных станций БПЭ-ЭМ одновременно, что приведет к совокупным помехам. Например, на автобусных остановках или в автобусном парке могут одновременно работать до четырех систем БПЭ-ЭМ; это означает, что уровни помех увеличатся на 6 дБ. Результаты данного анализа приведены в таблице А4-10 и на рисунке А4-5.

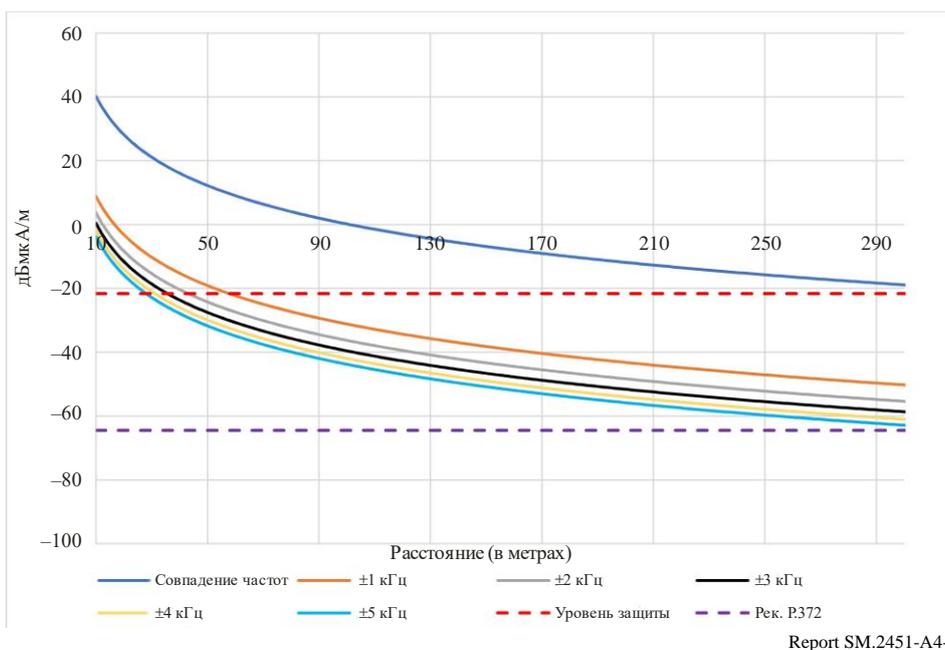
ТАБЛИЦА А4-10

Анализ разноса по частоте и расстоянию для результатов измерения системы БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц с использованием повышенных расчетных уровней напряженности поля SFTS и с учетом совокупных помех

Смещение частоты (кГц)	Максимально допустимый мешающий сигнал в приемнике SFTS (дБмкА/м)	Расстояние разноса 10 м		Расстояние разноса 20 м		Расстояние разноса 50 м	
		Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)	Напряженность поля БПЭ-ЭМ (дБмкА/м)	Запас (дБ)
-5	23,1	40,18	-17,13	28,14	-5,09	12,22	10,83
-4	21,1	40,18	-19,12	28,14	-7,08	12,22	8,84
-3	18,5	40,18	-21,64	28,14	-9,60	12,22	6,32
-2	15,1	40,18	-25,07	28,14	-13,03	12,22	2,89
-1	9,8	40,18	-30,36	28,14	-18,32	12,22	-2,40
Совпадение частот	-21,6	40,18	-61,81	28,14	-49,77	12,22	-33,85
+1	9,7	40,18	-30,47	28,14	-18,43	12,22	-2,51
+2	14,8	40,18	-25,34	28,14	-13,30	12,22	2,62
+3	18,1	40,18	-22,06	28,14	-10,02	12,22	5,90
+4	20,5	40,18	-19,69	28,14	-7,65	12,22	8,27
+5	22,3	40,18	-17,85	28,14	-5,81	12,22	10,11

РИСУНОК А4-5

Анализ разноса по частоте и расстоянию по результатам измерений системы БПЭ-ЭМ для SFTS на частоте 60 кГц в предположении повышенной полезной напряженности поля SFTS с учетом совокупных помех



Анализ показывает, что в сценарии использования на улице (приведенном в таблице А4-4) приемник SFTS на частоте 60 кГц будет принимать вредные помехи от измеряемой системы БПЭ-ЭМ, работающей в полосе частот 55–65 кГц. При всех значениях разноса по частоте и расстоянию отмечается большой отрицательный запас. Для сценария использования БПЭ-ЭМ в автобусном парке сосуществование может быть реализовано при разносе по частоте в 2 кГц или более (то есть ниже 58 кГц и выше 62 кГц) с разномом по расстоянию 50 м.

А.4.1.4.5 Меры по ослаблению помех

При использовании для БПЭ-ЭМ полосы частот 55–65 кГц могут потребоваться меры по ослаблению помех, поскольку многие проанализированные сценарии показывают, что вредные помехи и нежелательные излучения недооценены. Необходимый уровень ослабления помех зависит от разноса по частоте и сценария использования БПЭ-ЭМ (то есть это сценарий для БПЭ-ЭМ на улице или в автобусном парке, как указано в таблице А4-4). Эти меры по ослаблению помех необходимы для обеспечения защиты SFTS. Предлагаемые предельные значения приведены в таблице А4-11 и на рисунке А4-6.

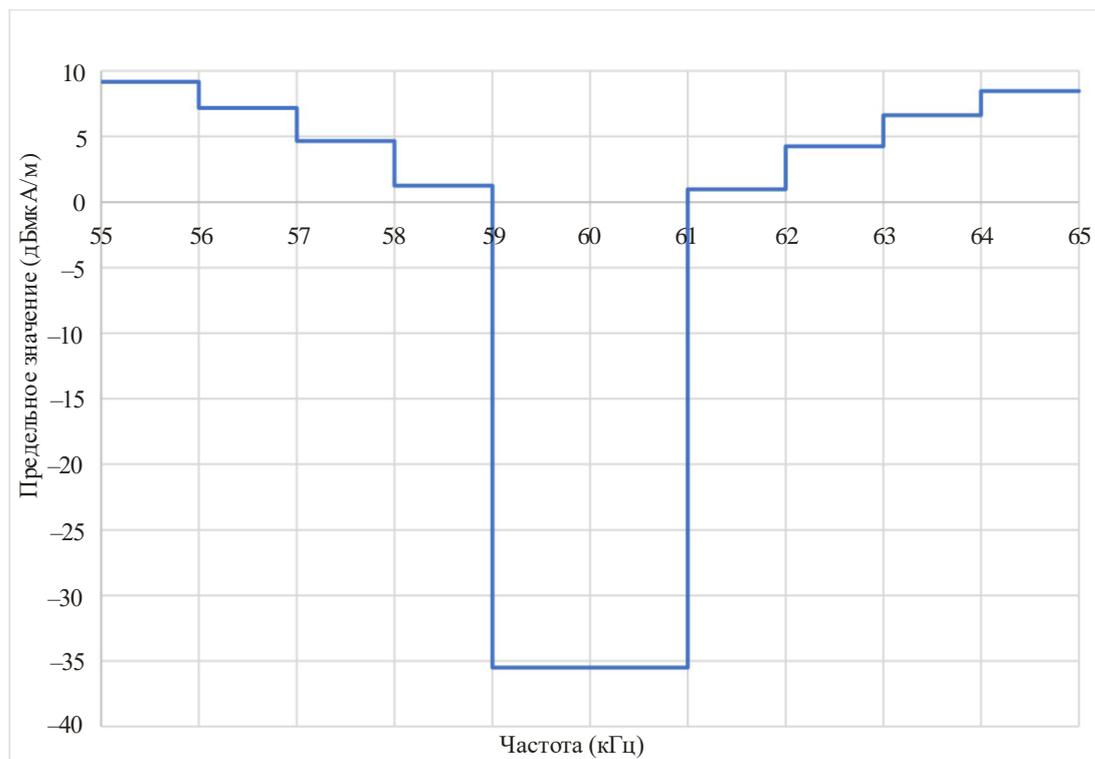
ТАБЛИЦА А4-11

Предельные значения для защиты SFTS от воздействия БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц

Полоса частот	Требуемое для защиты предельное значение в приемнике SFTS
55–56 кГц	9,18 дБмкА/м на расстоянии 10 м
56–57 кГц	7,19 дБмкА/м на расстоянии 10 м
57–58 кГц	4,67 дБмкА/м на расстоянии 10 м
58–59 кГц	1,24 дБмкА/м на расстоянии 10 м
59–61 кГц	–35,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м
61–62 кГц	0,97 дБмкА/м на расстоянии 10 м
62–63 кГц	4,25 дБмкА/м на расстоянии 10 м
63–64 кГц	6,62 дБмкА/м на расстоянии 10 м
64–65 кГц	8,46 дБмкА/м на расстоянии 10 м

РИСУНОК А4-6

Предельные значения для защиты SFTS от воздействия БПЭ-ЭМ в полосе 55–65 кГц



Report SM.2451-A4-06

А4.1.5 Выводы

При использовании полосы частот 55–65 кГц система БПЭ-ЭМ может создавать вредные помехи для службы SFTS, если не обеспечен определенный разнос по частоте и расстоянию.

Во всех проанализированных случаях системы БПЭ-ЭМ, работающие в предлагаемых СИСПР пределах, создают вредные помехи. Для проанализированных сценариев использования БПЭ-ЭМ как на улице, так и в автобусном парке (приведенных в таблице 4) все значения разноса по частоте и расстоянию показывают большой отрицательный запас от -120 дБ до -47 дБ. Расстояния разноса, необходимые для защиты SFTS, непрактично велики, и никакие смещения частоты в полосе частот 55–65 кГц не обеспечивают ослабления помех.

При рассмотрении измерений по воздействию системы БПЭ-ЭМ базовый анализ показывает, что в сценарии использования БПЭ-ЭМ на улице при расстоянии разноса 10–20 м во всех изученных случаях создаются вредные помехи. В сценарии использования БПЭ-ЭМ в автобусном парке сосуществование может быть реализовано при разносе частот более 4 кГц (например, за пределами полосы 56–64 кГц) при условии, что расстояние разноса превышает 50 м. Следует отметить, что измерения основаны на одной конкретной системе БПЭ-ЭМ, и это может быть характерно не для всех типов оборудования. Измерения, представленные в предыдущих работах, показали более высокие уровни. В этом анализе также не учитывались нежелательные излучения от систем БПЭ-ЭМ, для которых измерения указывают на нежелательные излучения и боковые полосы.

Данное исследование показывает, что предлагаемые СИСПР предельные уровни и сценарии использования на улице приводят к созданию вредных помех для SFTS. Исследование также показало, что нежелательные излучения необходимо контролировать. Следовательно, для работы БПЭ-ЭМ в полосе частот 55–65 кГц потребуется значительное ослабление помех. Это можно сделать, указав предельные уровни максимальной напряженности поля на расстояниях 10 м и 50 м в зависимости от сценария использования.

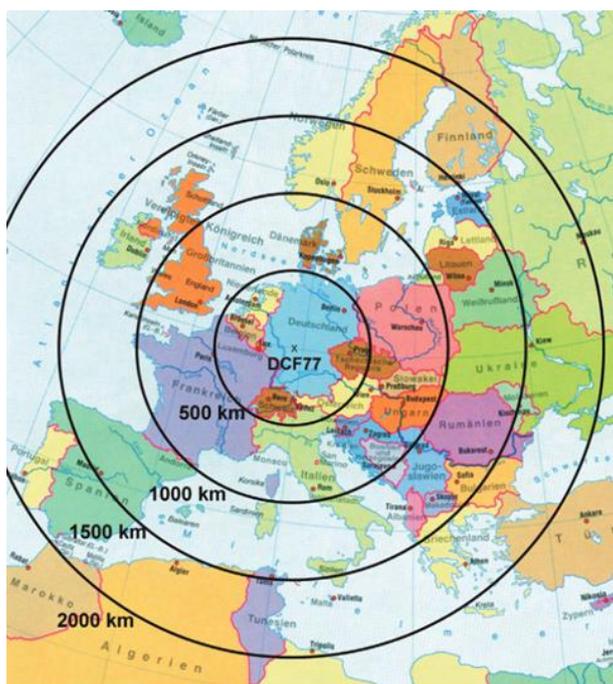
A4.2 Исследования по воздействию на службу стандартных частот и сигналов времени, работающих на частоте 77,5 кГц

A4.2.1 Введение

Одной из назначенных полос частот для беспроводной зарядки электромобилей (ЭМ) является полоса от 79 до 90 кГц. Эта полоса очень близка к частоте сигнала стандартных частот и времени 77,5 кГц (DCF77), который передается из Майнфлингена, расположенного в центре Германии недалеко от Франкфурта-на-Майне. Предметом данного исследования является изучение возможности блокирования приема сигналов радиуправляемых часов, находящихся поблизости, основным сигналом зарядки, например, на частоте 85 кГц, излучаемым станциями беспроводной передачи энергии (БПЭ). Проведены измерения для определения допустимой напряженности поля от станций БПЭ и оценки минимально необходимого расстояния до приемников DCF77.

РИСУНОК A4-7

Схематическое изображение радиусов охвата передачи DCF77



Report SM.2451-A4-07

"Благодаря длинноволновому передатчику DCF77... на частоте 77,5 кГц в течение многих лет были доступны надежные сигналы стандартных частот и времени, которые могут приниматься во многих частях Европы. Радиуправляемые часы DCF77 доступны по цене, и миллионы таких часов находятся в пользовании. Сегодня примерно половина всех "больших электрических часов" (настольные часы, настенные часы и будильники), продаваемых в частном секторе, – это радиуправляемые часы. Кроме того, используется более полумиллиона промышленных радиуправляемых часов... количество приемников DCF77, произведенных в период с 2000 по 2008 год, оценивается примерно в 100 миллионов, и большая их часть на сегодняшний день относится к категории радиуправляемых часов, «ориентированных на потребителя»... Частота несущей DCF77 используется для калибровки или для автоматической коррекции стандартных генераторов частоты. DCF77 играет важную роль на транспорте, например в управлении железнодорожным и воздушным движением. Парковочные счетчики и светофоры также синхронизируются с помощью DCF77. Постоянно растет количество зданий, в которых сигналы DCF77 управляют системами отопления и вентиляции или закрывают и открывают рольставни. В сфере электросвязи и энергоснабжения радиуправляемые часы DCF77 позволяют правильно составлять счета по тарифам, связанным со временем. Многочисленные NTP-серверы передают время, полученное от DCF77, в компьютерные сети, и все радио- и телевизионные станции получают точное время от DCF77. Это всего лишь несколько примеров применения DCF77, но они

демонстрируют значительный прогресс, достигнутый за последние пятьдесят лет – и в «старых» методах, и в распространении сигналов времени на длинных волнах. И популярность радиоуправляемых часов продолжает расти".

В текущей версии стандарта ETSI EN 300 330 указывается максимальная напряженность магнитного поля в 68,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м, но обсуждается новый предельный уровень в 72 дБмкА/м (в проекте стандарта EN 303 417), а измерения системы БПЭ, выполненные в 2015 году, показали, что фактическая напряженность поля излучения может достигать 74 дБмкА/м.

Чтобы установить критерии для систем БПЭ, работающих в полосе 79–90 кГц, в ходе представленных здесь измерений было протестировано в общей сложности 11 часовых устройств DCF77 различной конструкции, включая наручные. Измерения проводились 23 и 24 ноября 2017 года в большой экранированной безэховой камере лаборатории им. Колберга Федерального сетевого агентства Германии (BNetzA).

РИСУНОК А4-8

Тестируемые устройства



Report SM.2451-A4-08

А4.2.2 Сигнал DCF77 (полезный)

Сигнал DCF77 создавался генератором сигналов (R&S SMU200). Запрограммированная 10-минутная последовательность импульсов неоднократно отправлялась через рамочную магнитную антенну (EMCO 6511), расположенную на расстоянии 10 м от тестируемых устройств.

Для большинства измерений напряженность поля сигнала DCF77 в месте расположения тестируемых устройств была настроена на уровень 50 дБмкВ/м. Это соответствует минимальной напряженности внешнего поля от реального передатчика DCF77 на расстоянии 1000 км от него.

Чтобы получить указания по характеру мешающего эффекта, были проведены дополнительные измерения при напряженности поля полезного сигнала 70 дБмкВ/м.

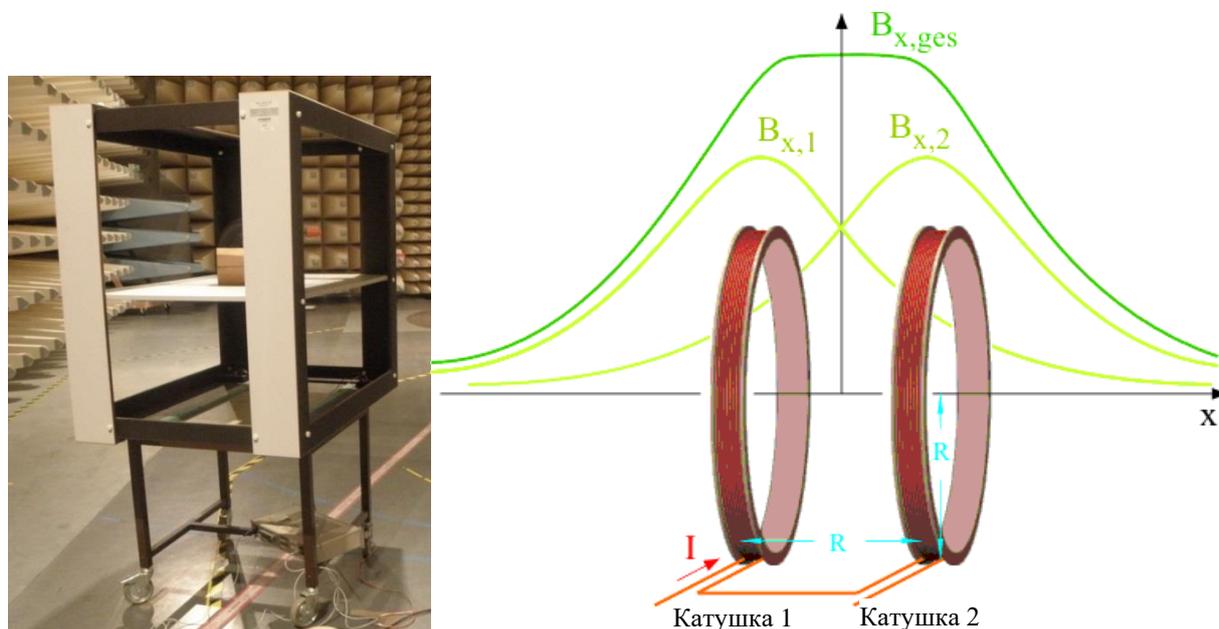
Измерение чувствительности показало, что все часы, за исключением Rx9, смогли синхронизироваться при минимальной напряженности поля полезного сигнала 50 дБмкВ/м, которая была выбрана для следующих измерений уровня помех. Часы Rx9 были исключены из следующих измерений, поскольку не смогли синхронизироваться при указанной напряженности поля полезного сигнала.

А4.2.3 Сигнал БПЭ (мешающий)

Мешающий сигнал БПЭ эмулировался немодулированной несущей от генератора сигналов (НР 8648С) и передавался с помощью "катушки Гельмгольца". Эта катушка состоит из двух магнитных рамок, установленных параллельно деревянной раме. Внутри рамы создается однородное магнитное поле. Тестируемые устройства размещаются в центре рамы (между двумя катушками).

РИСУНОК А4-9

Катушка Гельмгольца и принцип ее действия



Report SM.2451-A4-09

Единственными возможными мешающими эффектами при этих измерениях являются блокировка/десенсбилизация или перегрузка приемника DCF77.

А4.2.3.1 Критерий отказа

В условиях отсутствия помех все часы завершили процесс синхронизации в течение трех минут после его начала.

Критерием отказа, который использовался при этих измерениях, служил любой из следующих эффектов:

- 1 отсутствие индикации полученных импульсов (для часов с индикатором импульсов);
- 2 нарушение синхронизации с датой и временем, переданными полезным сигналом;
- 3 длительность процесса синхронизации с временем, переданным полезным сигналом DCF77, более чем на одну минуту превышала его длительность при отсутствии помех.

А4.2.3.2 Измерительная установка

Для обеспечения того чтобы тестируемые устройства не получали никаких сигналов, кроме тех, что используются для этого измерения, установка была размещена в экранированной безэховой камере. Особенно важно, чтобы тестируемые устройства не могли принимать "реальный" сигнал DCF77 из Майнфлингена. Это обеспечивалось путем измерения с помощью рамочной магнитной антенны (R&S HFH2-Z2), расположенной в центре катушки Гельмгольца, и анализатора спектра (R&S ESU).

Тестируемые устройства размещались в центре деревянной рамы с катушками Гельмгольца. Полезный сигнал DCF77 передавался с расстояния 10 м. Тестируемые устройства были ориентированы таким образом, чтобы получать максимальные уровни как полезного, так и мешающего сигнала.

РИСУНОК А4-10

Измерительная установка: на переднем плане – генератор полезного сигнала DCF77;
на заднем плане – катушки Гельмгольца с тестируемым устройством



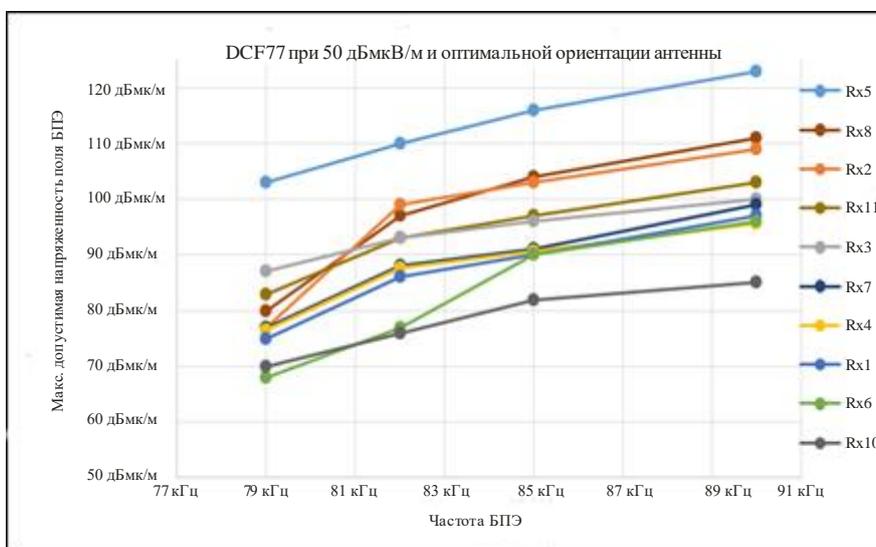
Report SM.2451-A4-10

А4.2.3.3 Измерение помех

В месте расположения тестируемых устройств устанавливался уровень полезного сигнала DCF77, равный 50 дБмкВ/м. Уровень помех БПЭ повышался с шагом 3 дБ. Для каждого измерения на всех тестируемых устройствах запускался процесс синхронизации, и для каждого такого устройства определялась возможность синхронизации до сбоя.

РИСУНОК А4-11

Результаты измерений при напряженности поля полезного сигнала 50 дБмкВ/м
и оптимальной ориентации антенны

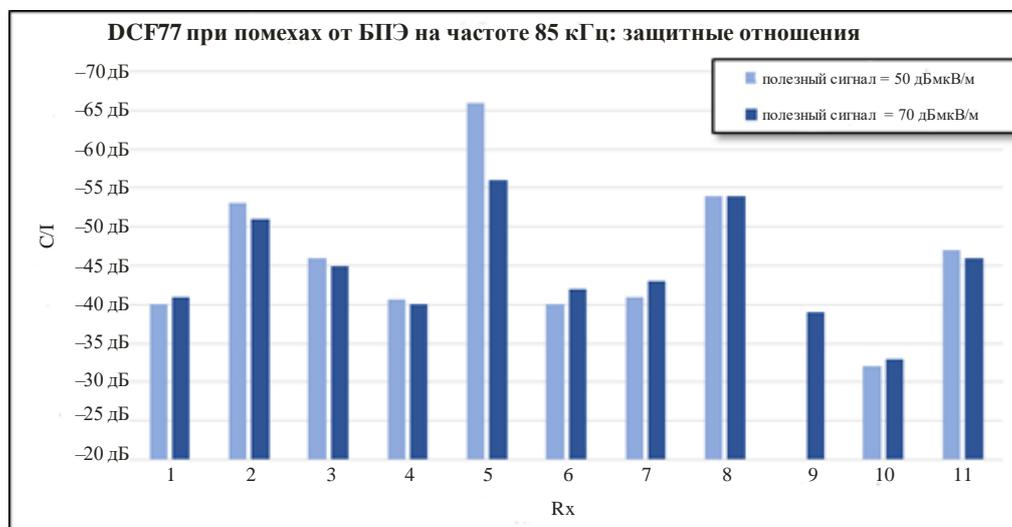


Report SM.2451-A4-11

Результаты показывают значительную разницу в помехозащищенности по отношению к сигналам БПЭ между разными часами. Наиболее защищенные часы Rx5 продолжают работать при уровне БПЭ примерно на 35 дБ выше уровня для наименее защищенных часов Rx10.

Были проведены дополнительные измерения при напряженности поля полезного сигнала DCF77 70 дБмкВ/м. На рисунке А4-12 сравнивается измеренное отношение несущей к помехе (C/I , разность между значениями напряженности поля полезного и мешающего сигналов) для обоих измерений.

РИСУНОК А4-12

Измеренное значение C/I для разных значений напряженности поля полезного сигнала

Report SM.2451-A4-12

Можно видеть, что для всех приемников, кроме Rx5, отношение C/I практически не зависит от уровня полезного сигнала. Таким образом, мешающее воздействие высоких значений напряженности поля БПЭ, как правило, может быть компенсировано повышенной напряженностью поля DCF77. Это означает, что доминирующим эффектом является недостаточная избирательность или десенсibilизация (блокировка) приемника. Перегруженным, по-видимому, будет только приемник Rx5.

А4.2.3.4 Измерения при разной ориентации антенны

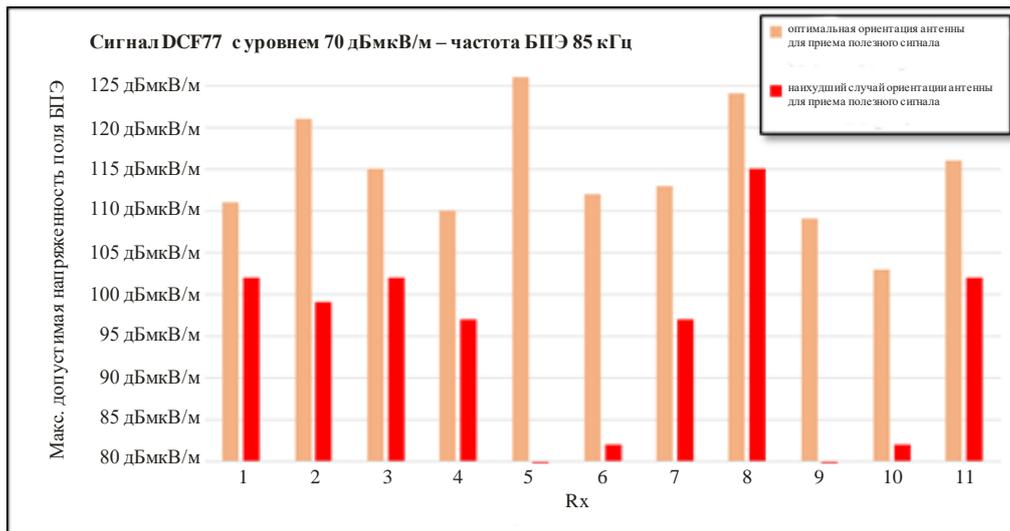
Во всех предыдущих измерениях приемные антенны были настроены как на полезные, так и на мешающие сигналы. Для оценки влияния неоптимальной ориентации антенны были проведены дополнительные измерения, когда мешающий сигнал БПЭ все еще поступает в оптимальном направлении приема, а полезный сигнал DCF77 – в направлении, в котором антенна испытываемого устройства наименее чувствительна (смещение на 90°). Таким образом, эту настройку можно рассматривать как сценарий "наихудшего случая".

При такой измерительной установке и уровне напряженности поля полезного сигнала 50 дБмкВ/м (без источника помех) смогли синхронизироваться только часы Rx1 и Rx2, но при напряженности поля 70 дБмкВ/м синхронизировались все приемники.

На следующем графике сравниваются результаты двух измерений: с оптимальной ориентацией антенны (оптимальный случай) и с перекрестной ориентацией, как в этом разделе (наихудший случай).

РИСУНОК А4-13

Сравнение результатов при разной ориентации антенн и высоком уровне напряженности поля полезного сигнала



Report SM.2451-A4-13

Результат этого измерения показывает, что коэффициент направленного действия (КНД) приемных антенн значительно варьируется: если для Rx1 КНД составляет всего 9 дБ, то для Rx6 он равен 30 дБ. Однако следует отметить, что в абсолютно однородном поле минимум чувствительности направленных приемных антенн Rx может быть очень острым, и требуется точное позиционирование. Возможно, что это положение минимума было найдено не для всех тестируемых устройств.

А4.2.4 Оценка воздействия

Результаты позволяют в определенной степени оценить требуемое расстояние между системами БПЭ и часами DCF77 для исключения вредного воздействия БПЭ на приемник DCF77. Следующие таблицы и рисунки могут помочь при оценке этих расстояний для трех измеряемых значениях смещения частоты. Для базовых расчетов приняты следующие допущения:

Все значения C/I взяты из результатов, полученных при оптимальной ориентации антенны:

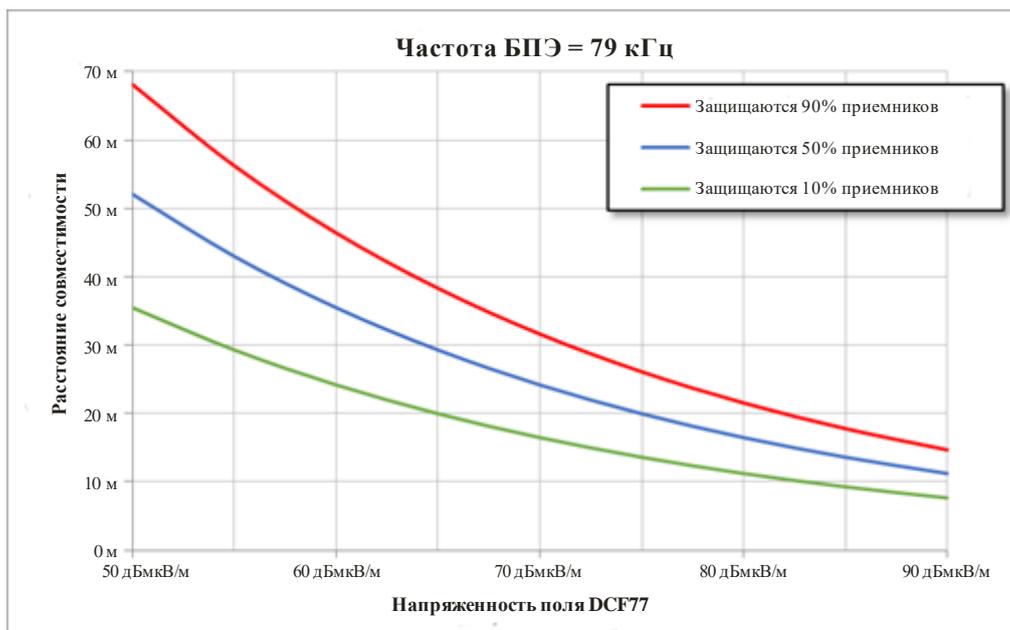
- 1 максимальная напряженность поля БПЭ на основной частоте согласно ETSI EN 300 330 составляет 68,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м, что соответствует напряженности электрического поля 120 дБмкВ/м;
- 2 предполагается, что напряженность поля БПЭ в ближней зоне снижается с расстоянием на 60 дБ/декаду;
- 3 кривые 90% и 10% получены при втором наилучшем и втором наихудшем значениях результатов измерений.

Затем полученное расстояние совместимости оценивалось по следующей формуле:

$$d\left(E_{DCF}, \frac{C}{I}\right) = 10^{\left(\frac{120 \frac{dB\mu V}{m} - E_{DCF} + \frac{C}{I}}{60 \frac{dB}{dec}} + 1\right)}$$

РИСУНОК А4-14

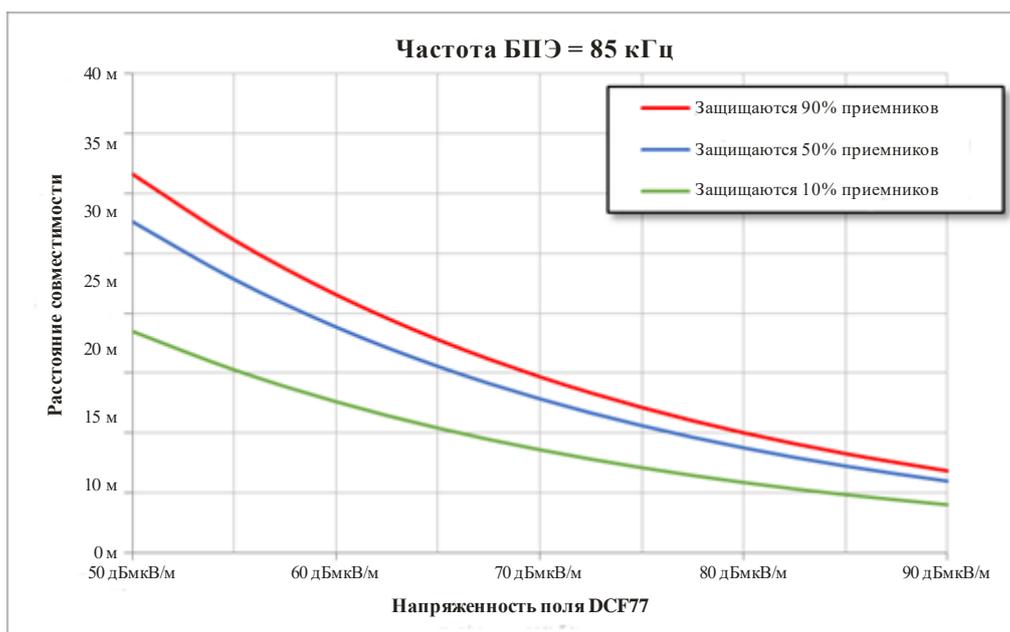
Защитные расстояния при различных уровнях напряженности поля полезного сигнала DCF77 для частоты БПЭ 79 кГц



Report SM.2451-A4-14

РИСУНОК А4-15

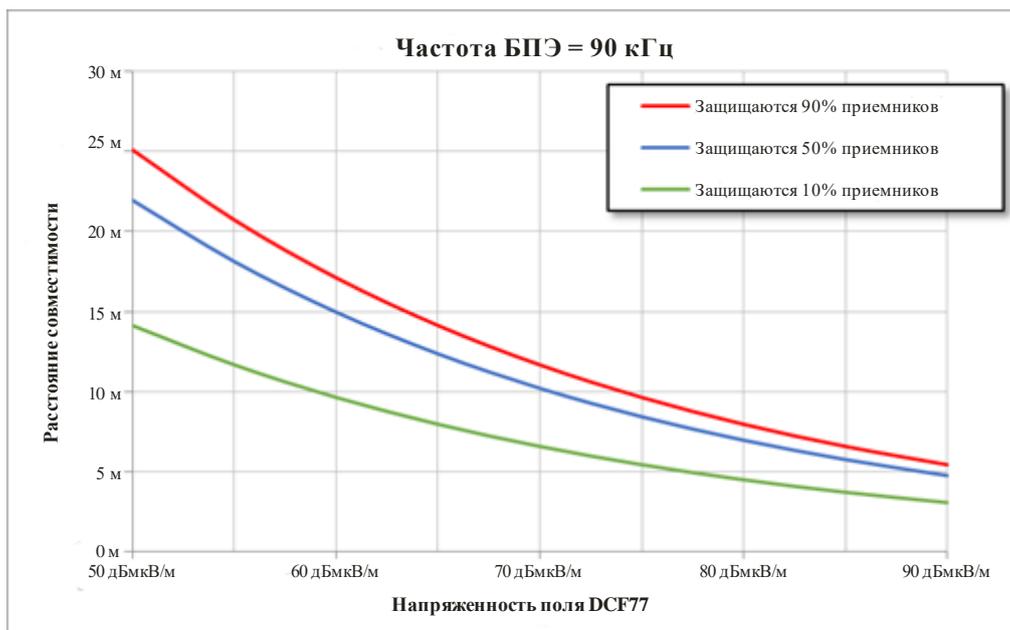
Защитные расстояния при различных уровнях напряженности поля полезного сигнала DCF77 для частоты БПЭ 85 кГц



Report SM.2451-A4-15

РИСУНОК А4-16

Защитные расстояния при различных уровнях напряженности поля полезного сигнала DCF77 для частоты БПЭ 90 кГц



Report SM.2451-A4-16

А4.2.5 Заключение по измерению DCF

При приеме сигнала с минимальной требуемой полезной напряженностью поля 50 дБмкВ/м на расстоянии 10 м ни одно из протестированных устройств DCF не работает, даже если соблюдается текущий предельный уровень для устройств БПЭ (индукционных SRD-устройств) в 68,5 дБмкА/м для основного излучения БПЭ, указанный в Приложении 9 к ERC/REC 70-03.

Фактическое защитное расстояние зависит от напряженности поля полезного сигнала (DCF77), принимаемого радиочасами, мешающего излучения системы БПЭ и смещения частоты. Например, когда уровень DCF77 равен 60 дБмкВ/м (что можно предположить для всей территории Германии), уровень БПЭ составляет 68,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м, а частота БПЭ находится в середине полосы и имеет значение 85 кГц, 50% приемников DCF, чтобы избежать блокировки, должны находиться на расстоянии более 18 м от станции БПЭ. Повышение уровня сигнала БПЭ на 13,5 дБ – до 82 дБмкА/м – увеличивает это расстояние до 31 м.

Следует различать критичные и некритичные приемники DCF.

Некритичные мобильные приемники DCF (например, наручные часы) в общем должны быть способны к синхронизации. Для некритичных фиксированных приемников DCF (персональные часы) можно предположить, что одна зарядная станция БПЭ, расположенная на расстоянии 31 м, не будет причинять вредных помех, поскольку зарядка не будет продолжаться в течение 24 часов. Таким образом, устройство DCF сможет синхронизироваться несколько раз в сутки. Совокупность сигналов нескольких зарядных устройств на расстояниях до 31 м уменьшит возможность синхронизации. Возможным смягчением может быть минимальное расстояние между зарядными станциями.

Для критичных приемников DCF (например, задействованных в управлении дорожным движением, в тарификации, зависящей от времени, в военных применениях) решение зависит от описания систем. Одним из важных событий, на которые следует обратить внимание, является переход на летнее/зимнее время. Возможным способом уменьшения помех может быть прерывание процесса зарядки на определенный период времени. Для критичных приемников DCF полезно, чтобы зарядные станции находились на минимальном расстоянии друг от друга.

Следует отметить, что согласованной технической документации для приемников DCF обнаружено не было. В будущем возможным смягчающим фактором может послужить улучшение характеристик приемников, обеспечиваемое путем стандартизации.

Приложение 5

Исследование по воздействию БПЭ-ЭМ в Китае

A5.1 Исследование по воздействию БПЭ-ЭМ на СЧ-радиовещание

В этом исследовании рассматривалось потенциальное влияние БПЭ-ЭМ на прием радиовещания в СЧ-диапазоне. В Китае используется СЧ-радиовещательная служба в полосе частот от 526,5 до 1606,5 кГц. Цель состоит в том, чтобы во избежание вредных помех выявить и количественно определить риск возникновения помех и расстояние разноса. Анализировалась излучаемая гармоника БПЭ-ЭМ и ее влияние на АМ-радиоприемники в полосе 526,5–1606,5 кГц.

В отношении критериев защиты радиовещания приводится ссылка на китайский государственный стандарт GB 2017-80 и Рекомендации МСЭ-R BS.560-4 и МСЭ-R BS.703. Проводились полевые испытания для изучения и проверки минимальных критериев защиты в городских районах.

В отношении уровня излучения БПЭ-ЭМ предполагается, что гармонические излучения в полосе частот 526,5–1606,5 кГц соответствуют предельным значениям побочных излучений, определенным в стандарте ETSI EN 303 417. Преобразование магнитного поля в электрическое осуществлялось по реальному отношению Е/Н на основе модели малого контура на соответствующем расстоянии.

Помимо численного анализа, были проведены полевые испытания для наблюдения субъективного звучания при разных расстояниях разноса. Измерялась напряженность поля БПЭ-ЭМ и напряженность поля радиовещательного сигнала. Защитное отношение проверялось по субъективному восприятию звучания.

В разделе A5.1.1 представлены технические характеристики и критерии защиты СЧ-радиовещания в соответствии с Рекомендациями МСЭ-R.

В разделе A5.1.2 приведен численный анализ помех, создаваемых гармониками рабочей частоты и побочным излучением БПЭ-ЭМ в радиоприемнике.

В разделе A5.1.4 изучается влияние на субъективное восприятие звучания путем полевых испытаний и экспериментов в городской среде, которая является типичным сценарием развертывания БПЭ-ЭМ. Проводилось моделирование методом Монте-Карло для оценки совокупных помех от нескольких зарядных станций БПЭ-ЭМ, работающих одновременно.

Помехи приему СЧ-радиовещания, создаваемые гармониками станции БПЭ-ЭМ, работающей в полосе частот 79–90 кГц, изучались с помощью теоретического анализа, полевых испытаний и моделирования в типичной городской среде. При необходимости можно провести дополнительные полевые испытания для большего количества сценариев.

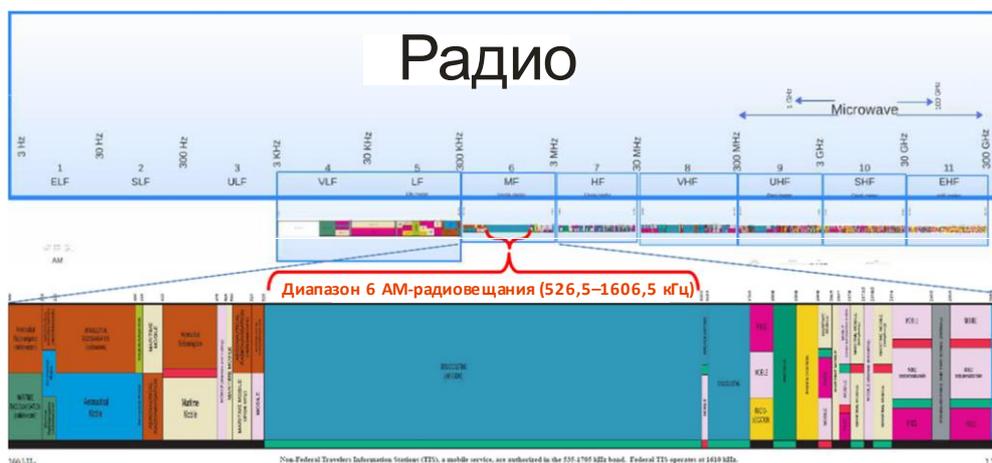
A5.1.1 Технические характеристики и критерии защиты СЧ-радиовещания

A5.1.1.1 Технические характеристики АМ-радиовещания на средних частотах

Как показано на рисунке A5-1, полоса средних частот радиовещательной АМ-системы составляет от 526,5 кГц до 1606,5 кГц. В основном он предназначен для обеспечения широкого покрытия службами звукового АМ-радиовещания.

РИСУНОК А5-1

Частота АМ-радиовещания в диапазоне СЧ



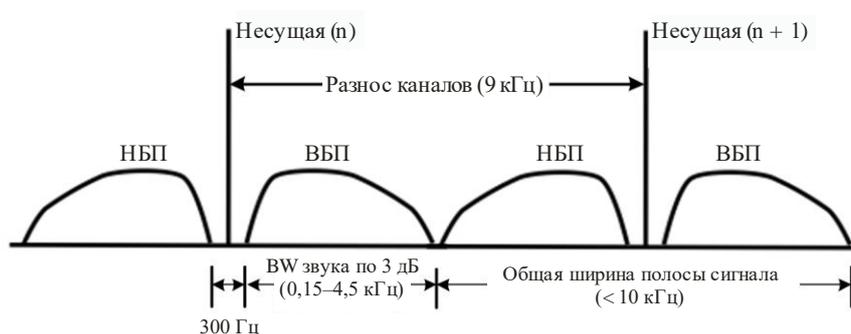
Следующие ключевые технические характеристики двухполосного АМ-радиовещания в СЧ-диапазоне определяются стандартом типовых каналов.

- Разнос каналов: 9 кГц
- Звуковой промежуток между несущей и НБП (нижней боковой полосой), а также ВБП (верхней боковой полосой) отсутствует
- ITU 300 Гц
- Ширина полосы (BW) Тх/Rx: < 10 кГц
- Ширина полосы звукового сигнала: 4,5 кГц

Характеристика сигнала с двухполосной модуляцией в частотной области показана на рисунке А5-2.

РИСУНОК А5-2

Иллюстрация двухполосного сигнала радиовещания в частотной области



Чувствительность представляется в виде единого среднего значения для каждой полосы радиовещания, по которому можно рассчитать минимальную используемую напряженность поля с учетом других воздействий (например, промышленного шума). Для минимальной чувствительности среднего приемника предлагаются следующие значения:

- диапазон 5 (НЧ) – 66 дБ(мкВ/м);
- диапазон 6 (СЧ) – 60 дБ(мкВ/м);
- диапазон 7 (ВЧ) – 40 дБ(мкВ/м).

В этом исследовании величина 60 дБ(мкВ/м) применяется в качестве минимальной чувствительности к сигналу СЧ-радиовещания, как было предложено в Рекомендации МСЭ-R BS.703 в 1990 году. За 28 лет уровень шума окружающей среды значительно возрос, особенно в городских районах.

Напряженность поля сигнала СЧ-радиовещания в городской среде обычно намного превышает уровень чувствительности в 60 дБ(мкВ/м), определенный в Рекомендации МСЭ-R BS.703 для адаптации к существующему шуму окружающей среды, особенно в городских районах. Это проверяется в ходе полевых измерений.

A5.1.1.2 Критерии защиты СЧ-радиовещания

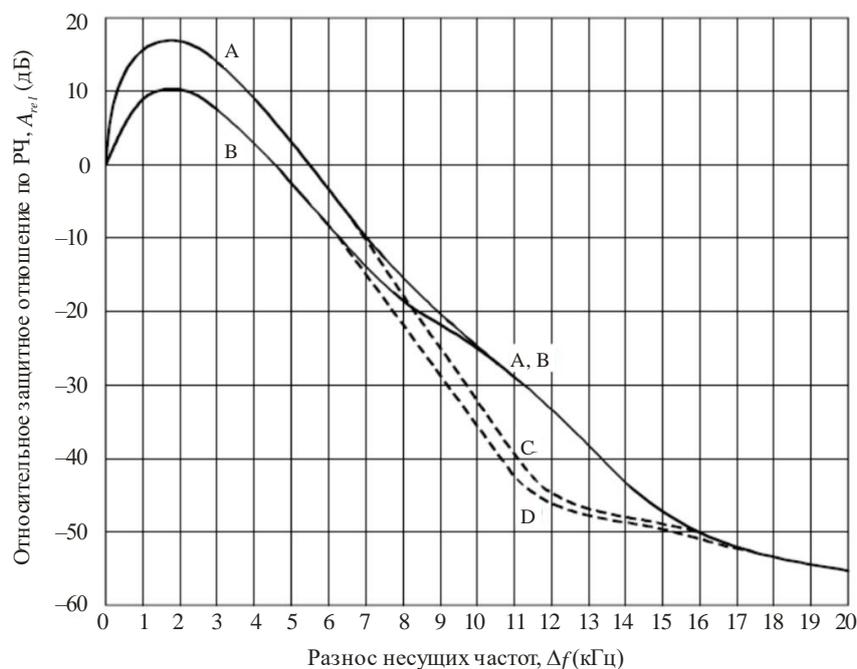
В Рекомендации МСЭ-R M.560-40 предлагаются защитные отношения по радиочастоте (РЧ) для звукового радиовещания в диапазонах 5 (НЧ), 6 (СЧ) и 7 (ВЧ). На Региональной административной конференции по СЧ-радиовещанию (Район 2) (Рио-де-Жанейро, 1981 год) для служб, ориентированных как на земные, так и на пространственные волны, использовалось защитное отношение по совмещенному каналу 26 дБ. На Региональной административной конференции по НЧ/СЧ-радиовещанию (Районы 1 и 3) (Женева, 1975 год) для служб, ориентированных на земные и пространственные волны, использовались защитные отношения по совмещенному каналу соответственно 30 и 27 дБ. В китайском государственном стандарте принято защитное отношение по совмещенному каналу 26 дБ.

Относительное защитное отношение по РЧ представляет собой разность (в децибелах) между значениями защитных отношений, когда разность частот несущих полезного и мешающего передатчиков составляет Δf (Гц или кГц) и когда несущие частоты этих передатчиков равны.

Когда определена величина защитного отношения по РЧ для совмещенного канала (которая равна защитному отношению по звуковой частоте), можно выразить защитное отношение по РЧ как функцию разноса несущих частот, как показано в виде кривых на рисунке А5-3.

РИСУНОК А5-3

Относительное значение защитного отношения по РЧ как функция разноса несущих частот



Report SM.2451-A5-03

В Рекомендации МСЭ-R M.560-4 относительное защитное отношение по РЧ (относительно несущей) предназначено для защиты от помех, создаваемых другими АМ-станциями. Поэтому предполагалось, что нежелательный сигнал – это сигнал с амплитудной звуковой модуляцией.

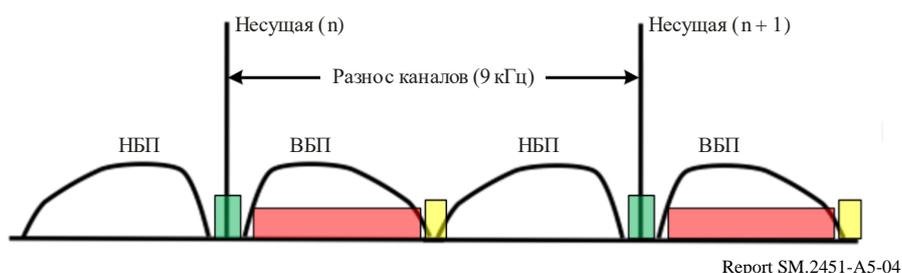
В соответствии с китайским государственным стандартом защитное отношение сигнала с амплитудной звуковой модуляцией составляет 26 дБ. Если мешающий сигнал представляет собой однотоновый сигнал

или сверхзаклополосный шум, то величина защитного отношения 26 дБ также достаточна. Это подтверждается полевыми испытаниями, как показано в таблице А5-4.

Ввиду технических характеристик двухполосной модуляции и наличия центрального промежутка между нижней и верхней боковыми полосами однотоновый или сверхзаклополосный мешающий сигнал, попадающий в центральный промежуток (показан зелеными прямоугольниками на рисунке А5-4), теоретически не будет создавать никаких вредных помех для приема звуковых сигналов. Желтые прямоугольники на рисунке А5-4 располагаются на границе несущей звукового сигнала. Здесь критерии защиты могут быть не такими низкими, как для центральных зеленых прямоугольников, но все же эти критерии можно ослабить по сравнению с центральной частью верхней или нижней боковой полосы.

РИСУНОК А5-4

Однотоновая помеха двухполосному сигналу



А5.1.2 Численный анализ помех

А5.1.2.1 Гармоники рабочей частоты и излучения БПЭ-ЭМ

Уровень риска для сосуществования из-за помех, вызванных гармониками БПЭ-ЭМ, анализируется и классифицируется следующим образом.

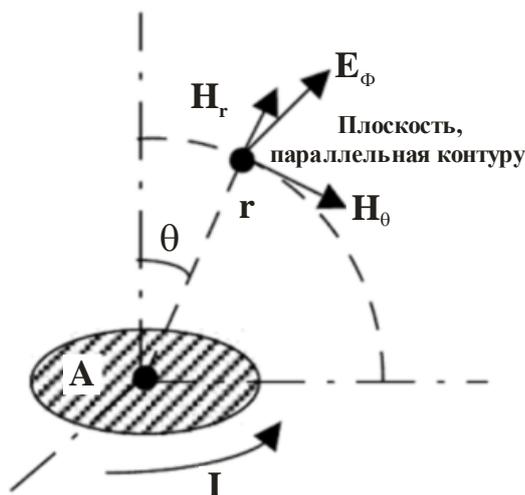
- Низкий риск: гармоники внутри слота несущей (зеленые участки на рисунке А5-4) и за пределами звуковой полосы. Гармоники рабочей частоты БПЭ-ЭМ на 81/90 кГц попадают в центральный промежуток между НБП и ВБП несущих АМ-сигнала.
- Средний риск: гармоники в промежутке между соседними каналами (желтые участки на рисунке А5-4). В центральный промежуток между НБП и ВБП попадает половина гармоник. И половина гармоник приходится на край ВБП или НБП, где защитное отношение может быть ниже, чем у тех гармоник, которые попадают в центральную часть ВБП/НБП.
- Высокий риск: гармоники в звуковых полосах, то есть НБП или ВБП. Рабочая частота БПЭ-ЭМ может находиться в полосе от 79 кГц до 90 кГц, за исключением частот 85,5 кГц и 90 кГц.

А5.1.2.2 Преобразование магнитного поля в электрическое

Поскольку источником излучения БПЭ-ЭМ является индукционная катушка, в ближней зоне в излучении будет доминировать магнитное поле. Магнитное поле по-разному затухает с расстоянием в зависимости от условий земной поверхности, например суша/вода. Для простой оценки наихудшим случаем считаются условия свободного пространства. Можно показать, что магнитное поле затухает постепенно со скоростью от 60 дБ/декада в ближней зоне, определяемой отношением $\lambda/2\pi$, до 20 дБ/декада в дальней зоне.

Отношение Е/Н и излучение оцениваются на основе модели контура в свободном пространстве. Эта модель проверена как измерением, так и моделированием. Малая рамочная антенна представляет собой замкнутый контур, как показано на рисунке А5-5.

РИСУНОК А5-5
Излучение малого контура



Report SM.2451-A5-05

Для излучений, описываемых моделью малого контура, электрическое (E) и магнитное (H) поля можно приближенно описать следующим образом:

$$E_{\phi}(V/m) = \pi Z_0 \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2} \sin \theta; \quad (1)$$

$$H_{\theta}(A/m) = \pi \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^4} \sin \theta, \quad (2)$$

где I – ток в контуре (A , ампер); A – площадь контура (m^2); λ – длина волны (м), $\lambda=300/f$, где f – частота (МГц); r – расстояние до точки наблюдения (м); и Z_0 – волновое сопротивление свободного пространства, 377 Ом.

В каждой области напряженность поля E, создаваемого станцией БПЭ-ЭМ, преобразуется в отношение E/H, как показано на рисунках А5-6 (нижний канал диапазона СЧ), А5-7 (средний канал диапазона СЧ) и А5-8 (верхний канал диапазона СЧ).

РИСУНОК А5-6

Отношение E/N в функции расстояния от источника-контура в свободном пространстве
в нижней части диапазона СЧ (530 кГц)
Нижний канал диапазона СЧ



Report SM.2451-A5-06

РИСУНОК А5-7

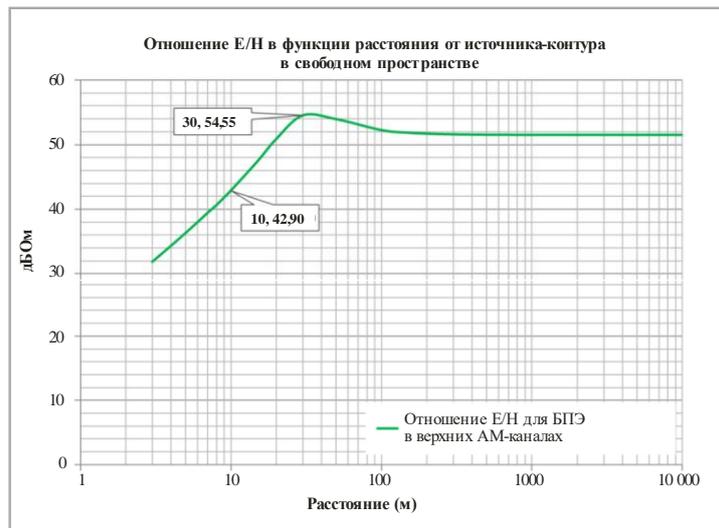
Отношение E/N в функции расстояния от источника-контура в свободном пространстве
в средней части диапазона СЧ (1062 кГц)
Средний канал диапазона СЧ



Report SM.2451-A5-07

РИСУНОК А5-8

Отношение E/H в функции расстояния от источника-контура в свободном пространстве в верхней части диапазона СЧ (1062 кГц)
Верхний канал диапазона СЧ



Report SM.2451-A5-08

А5.1.2.3 Числовой анализ

Предположим, что гармоники БПЭ-ЭМ соответствуют пределам стандарта ETSI EN 303 417; максимальная интенсивность излучения БПЭ-ЭМ предполагается на уровне 0. Для оценки помех АМ-радиовещанию будет использоваться преобразованное электрическое поле. В таблице А5-1 предполагается, что рабочая частота БПЭ-ЭМ находится в полосе частот 79–90 кГц. Промежуток определяется уравнением (3).

$$\text{Промежуток} = \text{защитное отношение } 26 \text{ дБ} - (\text{минимальная чувствительность АМ-приемника} - \text{напряженность электрического поля гармоник БПЭ-ЭМ}) \quad (3)$$

ТАБЛИЦА А5-1

Анализ электрического поля и защитного промежутка на расстоянии 10 м в свободном пространстве

Частота (МГц)	Предельный уровень побочных излучений согласно EN 303 417 (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	E/H (дБ/Ом)	Предельный уровень напряженности преобразованного поля E (дБмкВ/м на расстоянии 10 м)	Минимальная чувствительность АМ-приемника (дБмкВ/м)	Промежуток (дБ)
0,531	9,29	32,51	41,80	60,00	7,80
1,062	6,28	38,84	45,12	60,00	11,12
1,602	4,50	42,90	47,40	60,00	13,40

Согласно анализу, приведенному в таблице А5-1, еще остается промежуток (от 7,80 дБ до 13,4 дБ) для удовлетворения строгих требований защиты в 26 дБ при минимальном уровне чувствительности. Во-первых, при реализации серийного производства останется некоторый запас для выполнения минимального требования стандарта. Следовательно, уровень напряженности поля гармоник у серийных продуктов будет ниже требования стандарта. Во-вторых, уровень радиовещательного сигнала намного выше минимального уровня чувствительности в городских условиях, поскольку там обычно имеет место высокий уровень шума окружающей среды. И в зоне хорошего покрытия радиоприемник может противостоять гораздо более сильным помехам. В-третьих, между подземными гаражами и жилыми домами обычно имеются стены. Потери при проникновении сквозь стену приведут

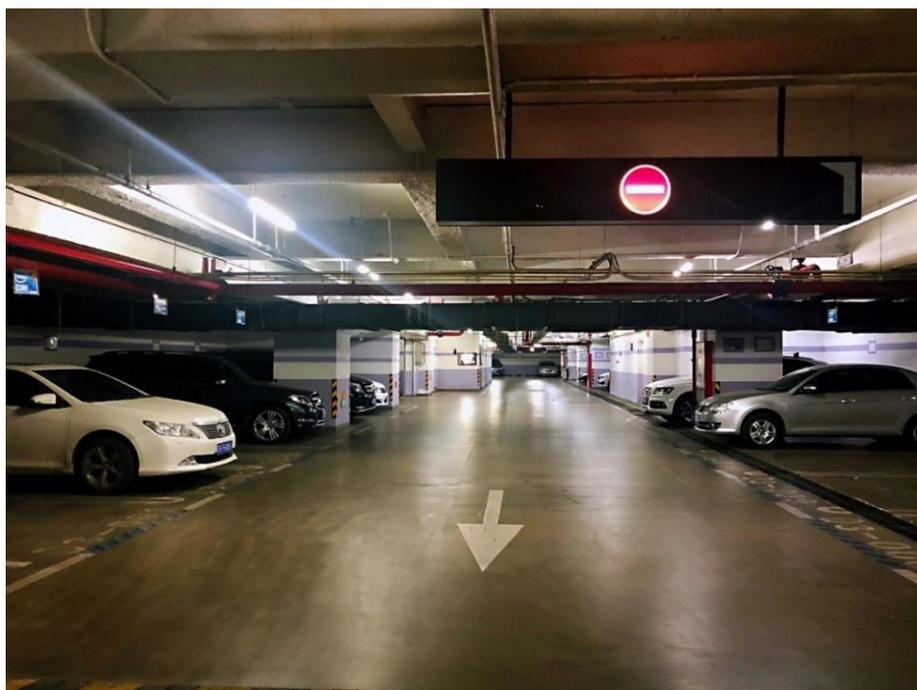
к дополнительному ослаблению уровня сигнала БПЭ-ЭМ на 17 дБ. Это было измерено и проверено в ходе полевых испытаний. Поскольку наибольший промежуток для соответствия критериям защиты меньше 17 дБ, сосуществование радиовещательной службы с зарядными устройствами БПЭ-ЭМ возможно.

A5.1.3 Оценка в ходе полевых измерений

A5.1.3.1 Типичные сценарии внедрения БПЭ-ЭМ в Китае

В китайских городах очень популярны подземные гаражи, показанные на рисунке А5-9. Общая высота одного уровня подземного гаража обычно составляет 4~4,5 м. АМ-радиоприемники, как правило, используются на первом этаже здания, который находится на высоте не менее 1 м над землей.

РИСУНОК А5-9
Подземный гараж в Китае



Report SM.2451-A5-09

A5.1.3.2 Субъективная оценка

Для субъективной оценки качества звука использовались критерии из Рекомендации МСЭ-R BS.1284-1. Качество звука (SQ) при этом оценивалось по пятибалльной шкале, приведенной в таблице А5.2.

ТАБЛИЦА А5-2

Шкала субъективной оценки согласно Рекомендации МСЭ-R BS.1284-1

Качество звука	Ухудшение
5 Отлично	5 Незаметное
4 Хорошо	4 Заметное, но не раздражающее
3 Удовлетворительно	3 Слегка раздражающее
2 Плохо	2 Раздражающее
1 Очень плохо	1 Сильно раздражающее

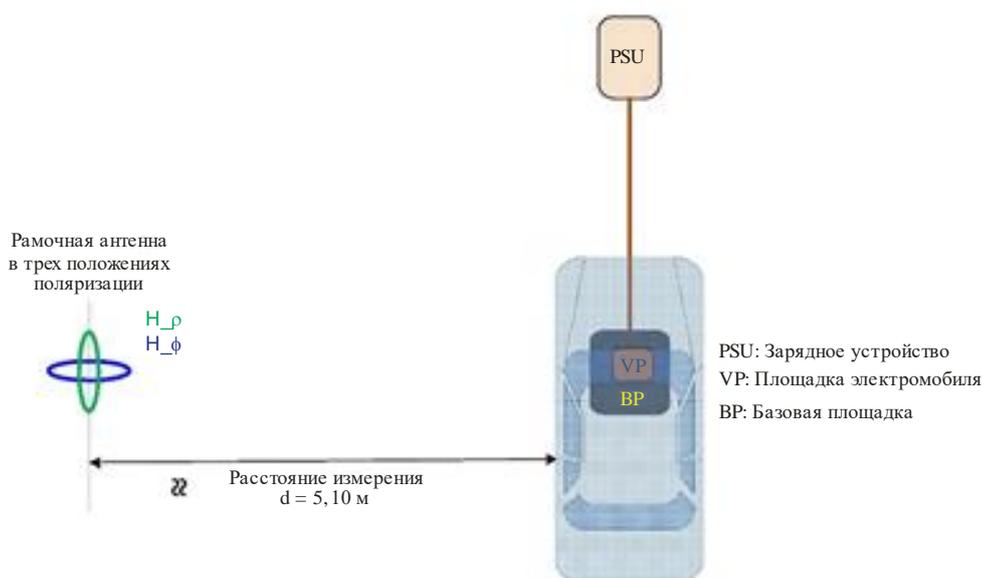
А5.1.3.3 Измерительная радиоустановка

Полевые испытания проводились в Китае, в городской зоне Шанхая. Измерительная установка показана на рисунке А5-10. Ниже приведены следующие условия измерения:

- для измерения магнитного поля использовались рамочная и стержневая антенны;
- были установлены расстояния измерения 5 м и 10 м. В качестве экстремального случая проверялось расстояние 3,4 м;
- использовались частоты зарядки 85,5 кГц, 85,68 кГц и 85,2 кГц;
- мощность зарядки аккумулятора составляла 6,6 кВт;
- в испытаниях применялся радиоприемник Tecsun PL-380;
- сравнивались субъективные оценки качества радиоприема на выбранном расстоянии во время зарядки БПЭ-ЭМ и без нее.

РИСУНОК А5-10

Демонстрация радиоустановки для полевых испытаний



Report SM.2451-A5-10

А5.1.3.4 Результаты измерений и анализ

В Шанхае в общей сложности работают девять АМ-каналов. Ширина полосы сигнала каждого канала составляет 9 кГц. Для испытаний на гармонические помехи каналов, куда могут попасть гармоники частоты опытной установки БПЭ-ЭМ, в результате тщательного отбора были выбраны два канала СЧ. Уровни радиовещательного сигнала и оценки качества звука для СЧ-каналов, измеренные без каких-либо помех со стороны БПЭ-ЭМ, приведены в таблице А5-3.

ТАБЛИЦА А5-3

Уровни напряженности поля сигнала СЧ-каналов в Шанхае

СЧ-канал (кГц)	Уровень сигнала	Оценка качества звука
855	Высокий (94 дБмкВ/м)	5
1197	Высокий (86,4 дБмкВ/м)	4

Результат измерения магнитного поля Н шума окружающей среды в городском районе Шанхая составил около $-17 \sim -13$ дБмкА/м/15 Гц на частоте около 850 кГц. Напряженность магнитного поля Н шума окружающей среды на частоте 9 кГц составила около 10,8~14,8 дБмкА/м. Преобразуем напряженность магнитного поля Н в напряженность электрического поля Е при отношении Е/Н, равном 51,5 дБом. Напряженность электрического поля Е шума окружающей среды Е на частоте 9 кГц составляет около 62,3~66,3 дБмкВ/м.

Напряженность поля сигналов АМ-радиовещания в городских районах измерялась в Шанхае. Согласно полевым испытаниям, для того чтобы поддерживать качество звука радиопередач в типичной городской среде на уровне выше 3 баллов, напряженность поля сигналов АМ-радиовещания должна быть не ниже 80 дБмкВ/м. Поскольку измеренный уровень сигнала частотой 855 кГц составляла около 94 дБмкВ/м, отношение уровня сигнала к уровню помех (SIR) радиоприемника в канале 855 кГц в условиях шума окружающей среды оценивается примерно в 27,7~31,7 дБ.

Сигнал БПЭ-ЭМ измерялся на расстоянии 1 м от базовой площадки. По форме сигнал представлял собой незатухающую волну с напряженностью поля около 74,4 дБмкА/м. Центральная частота устанавливалась равной 85,5 кГц, 85,68 кГц и 85,2 кГц. Ширина полосы сигнала по уровню 6 дБ составляла примерно 1 Гц, что ограничивалось разрешением испытательного оборудования. И все гармоники были незатухающими волнами сверхузкополосного шума.

На рисунках А5-11 и А5-12 показаны измеренные сигналы АМ-канала при выключенной станции БПЭ-ЭМ. Измеренные сигналы АМ-канала при включенной станции БПЭ-ЭМ показаны на рисунках А5-13 (увеличенное изображение результатов измерения АМ-каналов (850 кГц) без гармоник БПЭ-ЭМ) и А5-14 (увеличенное изображение результатов измерения АМ-каналов (1197 кГц) с гармоникой БПЭ-ЭМ (рабочая частота БПЭ-ЭМ 85,68 кГц)) на расстоянии 10 м. Оранжевая линия соответствует выходному сигналу пикового детектора анализатора спектра. Синяя линия соответствует выходному сигналу усредняющего детектора анализатора спектра. По создаваемой напряженности поля радиовещательный сигнал значительно превышает гармоники БПЭ-ЭМ. И уровень шума окружающей среды в городских районах высокий. При этом никакого существенного влияния зарядной станции БПЭ-ЭМ на уровень шума окружающей среды не наблюдалось.

РИСУНОК А5-11

Результат измерения АМ-каналов без влияния гармоник БПЭ-ЭМ

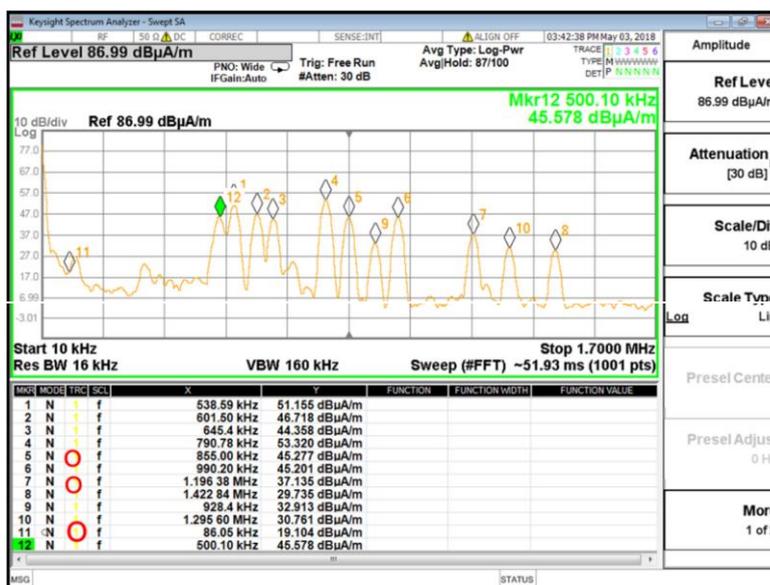
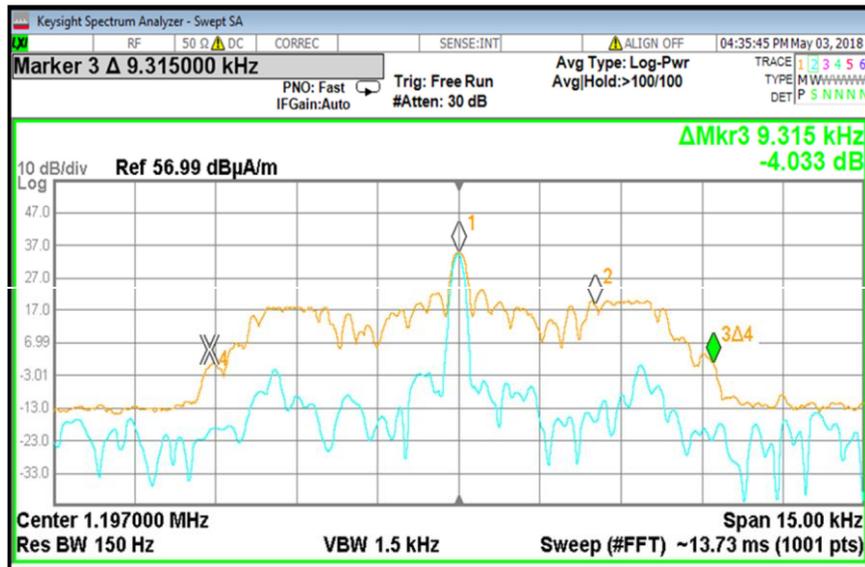


РИСУНОК А5-12

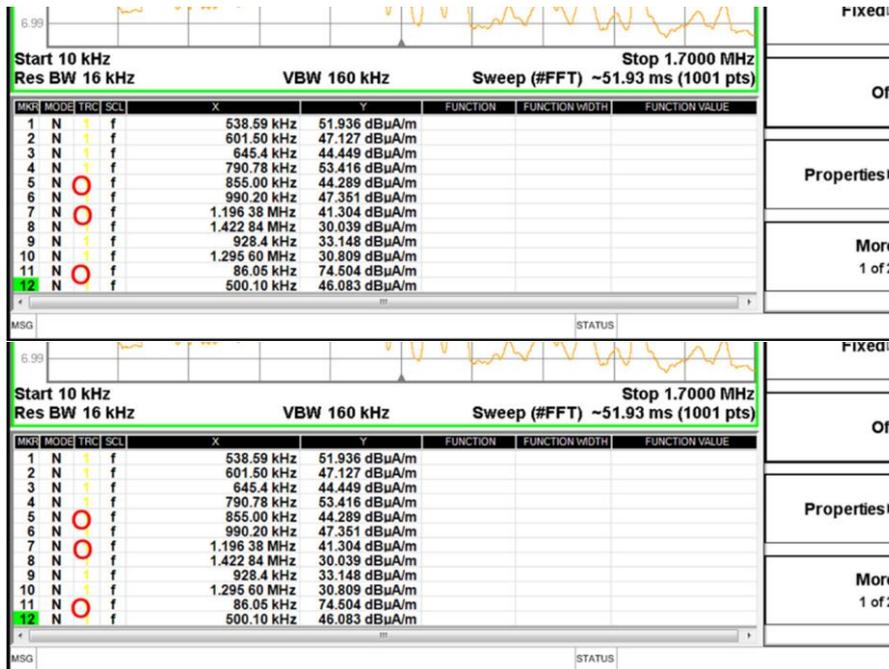
Увеличенное изображение результата измерения АМ-канала (855 кГц) без влияния гармоник БПЭ-ЭМ



Report SM.2451-A5-12

РИСУНОК А5-13

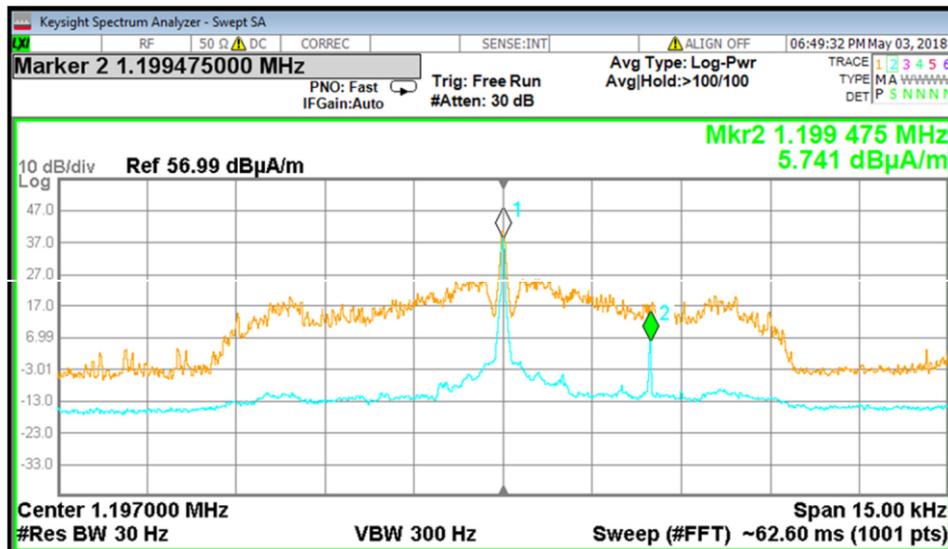
Результат измерения АМ-канала (855 кГц) при воздействии гармоники БПЭ-ЭМ (рабочая частота БПЭ-ЭМ 85,68 кГц) на расстоянии 10 м



Report SM.2451-A5-13

РИСУНОК А5-14

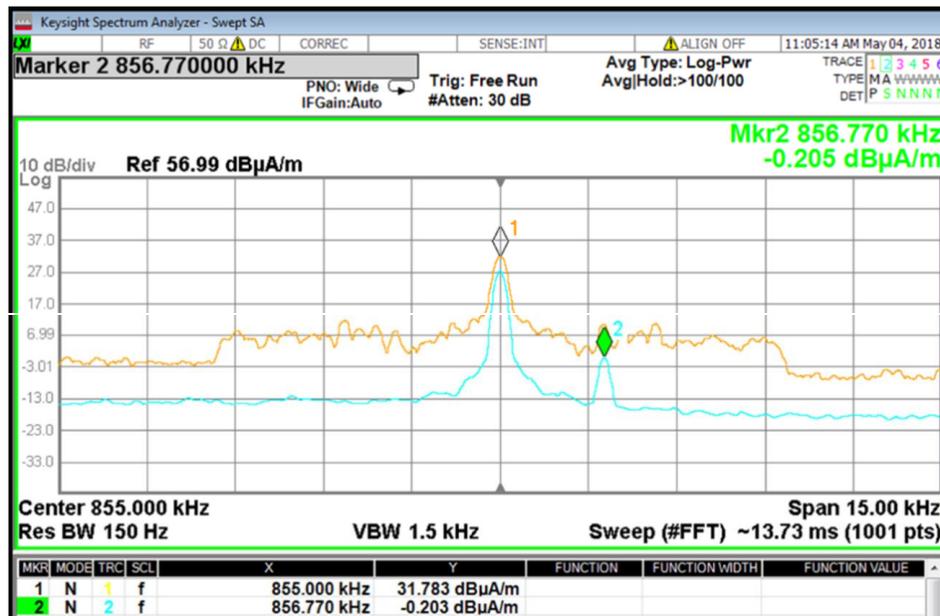
Увеличенное изображение результата измерения АМ-канала (1197 кГц) при воздействии гармоника БПЭ-ЭМ (рабочая частота БПЭ-ЭМ 85,68 кГц) на расстоянии 10 м



Report SM.2451-A5-14

РИСУНОК А5-15

Результат измерения АМ-канала (855 кГц) при воздействии гармоника БПЭ-ЭМ (рабочая частота БПЭ-ЭМ 85,68 кГц) на расстоянии 4,3 м



Report SM.2451-A5-15

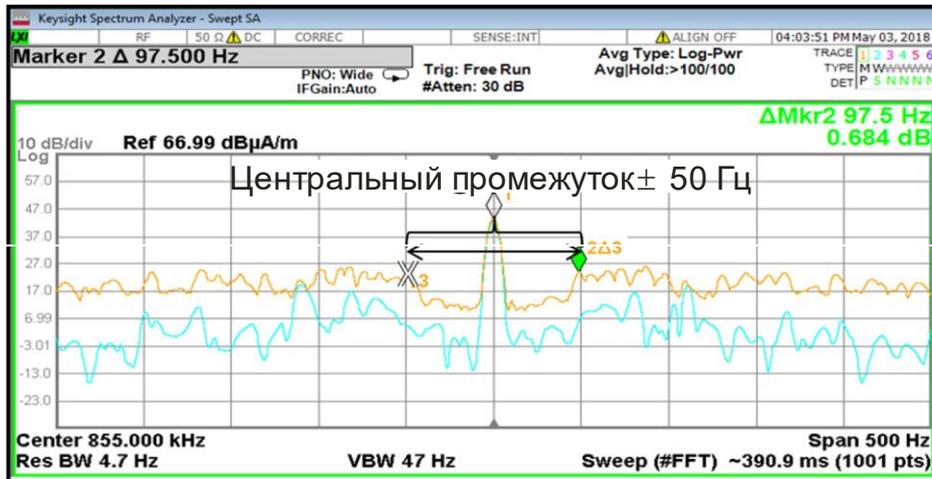
Когда рабочая частота зарядного устройства БПЭ-ЭМ установлена равной 85,5 кГц, гармоника 10-го порядка составляет 855 кГц и попадает в центральный промежуток между НБП и ВБП радиовещательного АМ-канала 855 кГц. Как видно на рисунке А5-16, ширина центрального промежутка канала 9 кГц составляет приблизительно 100 Гц (± 50 Гц от центральной частоты). Оранжевая линия соответствует выходному сигналу пикового детектора анализатора спектра. Синяя линия соответствует выходному сигналу усредняющего детектора анализатора спектра.

Сигнал радиовещательного канала 855 кГц, показанный на рисунке А5-17, измерялся при включенной зарядной станции БПЭ-ЭМ, и на этом рисунке дано увеличенное изображение показаний анализатора спектра. Аналогично, оранжевая линия соответствует выходному сигналу пикового детектора анализатора спектра. Синяя линия соответствует выходному сигналу усредняющего детектора

анализатора спектра. На рисунках видно, что гармоники, попадающие в центральный промежуток, не влияют на демодуляцию звукового сигнала НБП или ВБП. Согласно субъективным испытаниям, на качество звука это не влияло.

РИСУНОК А5-16

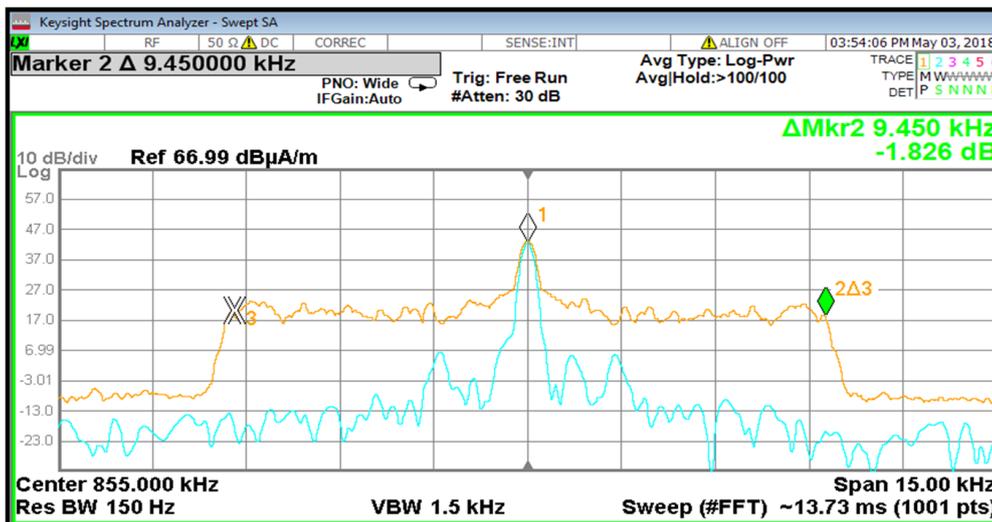
Результат измерения АМ-канала (855 кГц) без влияния гармоник БПЭ-ЭМ



Report SM.2451-A5-16

РИСУНОК А5-17

Результат измерения АМ-канала (855 кГц) при воздействии гармоник БПЭ-ЭМ (рабочая частота БПЭ-ЭМ 85,5 кГц)



Report SM.2451-A5-17

В таблице А5-4 приведены результаты субъективных испытаний для различных конфигураций на разных расстояниях и с разными каналами. Гармоника БПЭ-ЭМ представляет собой узкополосный шум, и помехи от нее могут быть заметны, когда уровень гармоник достаточно высок в радиовещательном канале, например когда радиоприемник находится очень близко к включенной зарядной станции электромобиля (в условиях испытаний – менее 3,4 м). Так как радиовещательный сигнал в городских районах довольно сильный, гармоники не вызывали ухудшения качества звука, пока расстояние превышало 3,4 м. Для рабочей частоты 85,68 кГц гармоника 10-го порядка попадает в ВБП канала 855 кГц со смещением 1,8 кГц от центральной частоты канала 855 кГц, а гармоника 14-го порядка – в ВБП канала 1197 кГц со смещением 2,52 кГц от центральной частоты канала 1197 кГц.

Наихудшим случаем при испытаниях оказалась рабочая частота 85,68 кГц с наблюдаемым АМ-каналом 1197 кГц (напряженность электрического поля E равна 86,6 дБмкВ/м). Радиоприемник находился на расстоянии 3,4 м от зарядной станции, а отношение сигнал/шум АМ-сигнала к гармонике составило около 23,9 дБ. Никакого ухудшения качества звука не наблюдалось. При рабочей частоте БПЭ-ЭМ 85,5 кГц ухудшение качества звука не наблюдалось даже на расстоянии 3 м, поскольку гармоники попадают в центральный промежуток АМ-канала.

ТАБЛИЦА А5-4

Сводная таблица результатов полевых испытаний

Информация о частоте					Характеристики радиоприема до включения зарядки			Характеристики радиоприема во время зарядки		
Расстояние (м)	Частота БПЭ (кГц)	№ канала	Частота канала (кГц)	Смещение от центра АМ-канала (кГц)	Уровень Е-поля АМ-сигнала (дБмкВ/м)	Уровень Н-поля АМ-сигнала (дБмкА/м)	Качество радиоприема	Уровень Н-поля гармоник (дБмкА/м) Качество радиоприема Отношение S/N для Н-поля (дБ)		
10	85,2	37	855	-3	94,2	42,7	5	< 2	5	40,0
10	85,5	37	855	0	94,2	42,7	5	Внутри АМ-несущей	5	Неопределимо
3	85,5	37	855	0	94,2	42,7	5	Внутри АМ-несущей	5	Неопределимо
10	85,5	75	1197	0	86,6	35,1	4	Внутри АМ-несущей	4	Неопределимо
3	85,5	75	1197	0	86,6	35,1	4	Внутри АМ-несущей	4	Неопределимо
10	85,68	37	855	1,8	94,2	42,7	5	6,3	5	36,4
5	85,68	37	855	1,8	94,2	42,7	5	14,0	5	28,7
4,3	85,68	37	855	1,8	83,3	31,8	5	5,3	5	26,5
10	85,68	75	1197	2,52	86,6	35,1	4	3,0	4	32,1
5	85,68	75	1197	2,52	86,6	35,1	4	6,2	4	28,9
4,6	85,68	75	1197	2,52	86,6	35,1	4	6,8	4	28,3
3,4	85,68	75	1197	2,52	86,6	35,1	4	11,2	4	23,9

Во время полевых испытаний измерялась напряженность поля АМ-сигнала, которая должна быть не ниже 80 дБмкВ/м, чтобы поддерживать качество звука радиопередач в типичной городской среде на уровне выше 3 баллов. В городских районах необходимы более высокие уровни АМ-сигналов, чем в сельской местности, из-за более высокого уровня шума окружающей среды и потерь при распространении.

- Уровни АМ-сигналов в городских районах обычно превышают 80 дБмкВ/м.
- Уровни АМ-сигналов в пригородной зоне обычно составляют от 70 дБмкВ/м до 80 дБмкВ/м.
- Уровни АМ-сигналов в сельской местности обычно составляют от 60 дБмкВ/м до 70 дБмкВ/м.

Был проведен теоретический анализ при настроенном уровне АМ-сигнала, который более реалистичен с учетом уровня шума окружающей среды в городских, пригородных и сельских районах. Результаты приведены в таблице А5-5. Запас определяется уравнением (4) и равен величине промежутка, определенного в уравнении (3), с противоположным знаком.

$$\begin{aligned} \text{Запас} = & \text{мин. напряженность поля АМ-сигнала} \\ & \text{в приемнике при приемлемом качестве сигнала} - \\ & \text{напряженность поля } E \text{ гармоник БПЭ-ЭМ} - 26 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (4)$$

ТАБЛИЦА А5-5

Анализ электрического поля и запаса защиты на расстоянии 10 м в свободном пространстве в типичных условиях городского, пригородного и сельского покрытия

Частота (МГц)	Предельный уровень побочных излучений согласно EN 303 417 (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	Отношение Е/Н (дБОм)	Предельный уровень преобразованного поля Е (дБмкВ/м на расстоянии 10 м)	Мин. напряженность поля АМ-сигнала в приемнике при приемлемом SQ (дБмкВ/м)	Запас (дБ)
0,531	9,29	32,51	41,80	80,00 (город)	12,20
1,062	6,28	38,84	45,12		8,88
1,602	4,50	42,9	47,40		6,6
0,531	9,29	32,51	41,80	70,00 (пригороды)	2,2
1,062	6,28	38,84	45,12		-1,12
1,602	4,50	42,9	47,40		-3,4
0,531	9,29	32,51	41,80	60,00 (сельская местность)	-7,8
1,062	6,28	38,84	45,12		-11,12
1,602	4,50	42,9	47,40		-13,40

Поскольку в городских условиях все значения запаса больше нуля, это означает, что гармоники БПЭ-ЭМ, соответствующие предельному уровню согласно ETSI EN 303 417, не будут мешать АМ-радиовещанию в городских районах. Для сценариев пригородной и сельской местности полевые испытания не проводились, а анализ выполнялся в соответствии с прогнозируемым уровнем АМ-сигнала. К тому же в пригородных районах и сельской местности, поскольку запас в некоторых каналах отрицательный, может потребоваться большее ослабление, максимум на 13,4 дБ. Возможно, это связано с потерями при проникновении сквозь стены гаража. Согласно результатам полевых испытаний в Шанхае, стены могут вызывать ослабление сигнала примерно на 17 дБ.

А5.1.4 Несколько станций БПЭ-ЭМ

Для оценки совокупных помех от гармоник БПЭ-ЭМ, создаваемых несколькими станциями БПЭ-ЭМ, работающими одновременно, проводилось моделирование методом Монте-Карло.

А5.1.4.1 Топология и допущения

В качестве типичного сценария для совокупных помех оценивался городской сценарий. Необходимость изучения пригородной зоны и сельской местности отсутствует ввиду низкой плотности развертывания станций БПЭ-ЭМ.

Типичный сценарий для городского района Китая – подземный гараж под зданием. Радиоприемник размещается на первом этаже здания. Несколько зарядных станций БПЭ-ЭМ работают в данной модели одновременно. На рисунке А5-18 показаны два уровня вокруг центрального электромобиля (обведен красным кружком), который находится прямо под радиоприемником; в общей сложности 25 электромобилей. Моделируются максимум четыре уровня, окружающих центральный электромобиль; в общей сложности 81 электромобиль.

Ширина парковочного места предполагается равной 2,5 м. Ширина полосы движения принята равной 5 м. Длина электромобиля составляет 5 м. Минимальное расстояние между площадками БПЭ-ЭМ через полосу движения составляет 10 м. Расстояние по высоте между радиоприемником и полом первого уровня гаража составляет 5 м. Расстояние по высоте между радиоприемником и полом второго уровня гаража составляет 10 м. Расстояние по высоте между радиоприемником и полом третьего уровня гаража составляет 15 м.

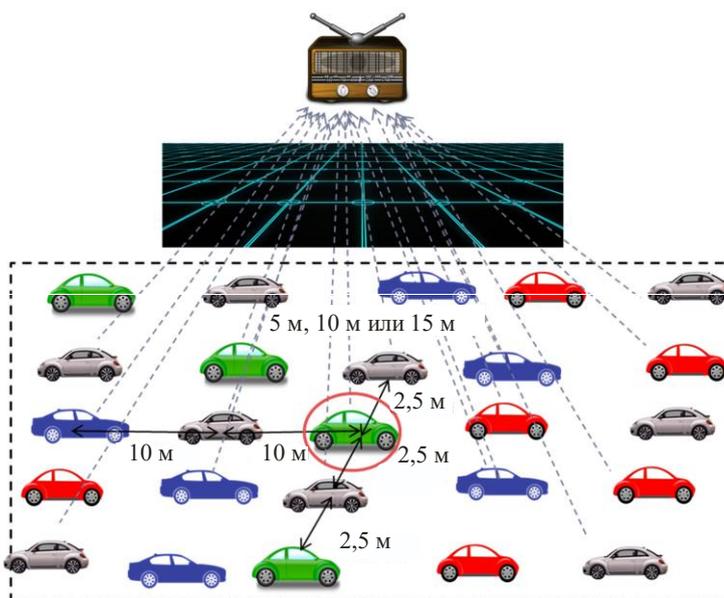
Поскольку в подземном гараже цементные полы, учитываются потери при проникновении сквозь цементные полы. Потери при проникновении – это логарифмически нормально распределенная

случайная величина $N(\mu, \sigma^2)$, где μ – среднее значение, предположительно равное 17 дБ в соответствии с результатами полевых измерений. σ – стандартное отклонение, предположительно составляющее 4 дБ, согласно научному исследованию в других частотных полосах. Потери при проникновении на каждый следующий уровень добавляются отдельно.

При моделировании предполагается чрезвычайно высокая плотность развертывания, поскольку считается, что каждый парковочный слот поддерживает систему БПЭ-ЭМ и возможность одновременной зарядки. С учетом коэффициента проникновения и неодновременности зарядки фактическая плотность расположения одновременно работающих зарядных станций БПЭ-ЭМ должна быть ниже допущения для этого моделирования. В реальной ситуации помехи должны быть меньше.

РИСУНОК А5-18

Топология совокупных гармонических помех от множества БПЭ-ЭМ при моделировании методом Монте-Карло



Report SM.2451-A5-18

А5.1.4.2 Метод моделирования Монте-Карло

Данная модель состоит из множества состояний. Ниже подробно описаны шаги для получения каждого текущего состояния.

Шаг 1. Зададим предельный уровень напряженности Е-поля для центрального электромобиля в соответствии с таблицей А5-1. Например, для частоты 531 кГц она составляет 41,8 дБмкВ/м на расстоянии 10 м; обозначим ее E_1 и выразим в линейной форме. Следовательно,

$$E_1 = 10^{\frac{41,8}{20}}. \quad (5)$$

Для частоты 1,062 МГц $E_1 = 10^{45,12/20}$. Для частоты 1,602 МГц $E_1 = 10^{47,4/20}$. E_1 – это эталонная напряженность Е-поля.

Шаг 2. Для каждой станции БПЭ-ЭМ рассчитаем ее расстояние d_n до радиоприемника в соответствии с указанной топологией, где n – порядковый номер станции БПЭ-ЭМ. Пусть $d_1 = 10$ м и это является эталонным расстоянием.

Шаг 3. Рассчитаем напряженность Е-поля E_e для каждой станции БПЭ-ЭМ в соответствии с расстоянием и напряженностью Е-поля центрального электромобиля (при минимальном расстоянии). Поскольку Е-поле – это вектор, добавим к нему случайную фазу φ , равномерно распределенную в интервале от 0° до 360° .

$$E_n = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d_n}\right)^2}}{d_n} \times E_1 \times (\cos(\varphi) + j\sin(\varphi)), \quad (6)$$

$$\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi d_1}\right)^2}}{d_1}$$

где $\lambda = 300/f$, а f – частота (МГц).

Шаг 4. Для каждой линии учтем потери проникновения сквозь полы.

$$E_n = E_n * 10^{(-penetrationLoss_dB)/20}. \quad (7)$$

Шаг 5. Рассчитаем совокупные помехи для m -го состояния.

$$E_{aggregate, m_{th_snapshot}} = \sum_n E_n; \quad (8)$$

$$E_{aggregate_dB\mu V, m_{th_snapshot}} = 20 \times \log_{10}(|\sum_n E_n|). \quad (9)$$

Шаг 6. Рассчитаем среднее значение $E_{average_aggreate_dB\mu V}$. Следует отметить, что оно должно быть добавлено в линейной форме для расчета среднего арифметического, а затем преобразовано в логарифмическую форму.

$$E_{average_aggreate_dB\mu V} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\sum_m |E_{aggregate, m_{th_snapshot}}|}{total_snapshot_num} \right), \quad (10)$$

где $total_snapshot_num$ – это общее количество состояний моделирования.

A5.1.4.3 Результаты моделирования

Совокупные помехи от нескольких станций БПЭ-ЭМ, находящихся в гаражах В1, В2 и В3, моделируются отдельно. Результаты моделирования приведены в таблицах А5-6, А5-7 и А5-8.

ТАБЛИЦА А5-6

Совокупные результаты моделирования Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ в городской среде для уровня В1

Частота гармоник (МГц)	Количество зарядных станций БПЭ-ЭМ	Совокупная напряженность Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ в радиоприемнике (дБмкВ/м)	Мин. напряженность поля АМ-сигнала в радиоприемнике при приемлемом SQ (дБмкВ/м)	SIR (отношение сигнал/помеха) (Отношение мин. напряженности поля АМ-сигнала в радиоприемнике к совокупной напряженности Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ) (дБ)
0,531	25	30,6	80,00 (город)	49,4
	49	31,3		48,7
	81	31,6		48,4
1,062	25	33,9	80,00 (город)	46,1
	49	34,7		45,3
	81	35,0		45,0
1,602	25	36,3	80,00 (город)	43,7
	49	37,0		43,0
	81	37,4		42,6

ТАБЛИЦА А5-7

**Совокупные результаты моделирования Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ
в городской среде для уровня В2**

Частота гармоник (МГц)	Количество зарядных станций БПЭ-ЭМ	Совокупная напряженность Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ в радиоприемнике (дБмкВ/м)	Мин. напряженность поля АМ-сигнала в радиоприемнике при приемлемом SQ (дБмкВ/м)	SIR (отношение сигнал/помеха) (Отношение мин. напряженности поля АМ-сигнала в радиоприемнике к совокупной напряженности Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ) (дБ)
0,531	25	18,6	80,00 (город)	61,4
	49	20,3		59,7
	81	21,2		58,8
1,062	25	22,0	80,00 (город)	58,0
	49	23,8		56,2
	81	24,7		55,3
1,602	25	24,4	80,00 (город)	55,6
	49	26,3		53,7
	81	27,2		52,8

ТАБЛИЦА А5-8

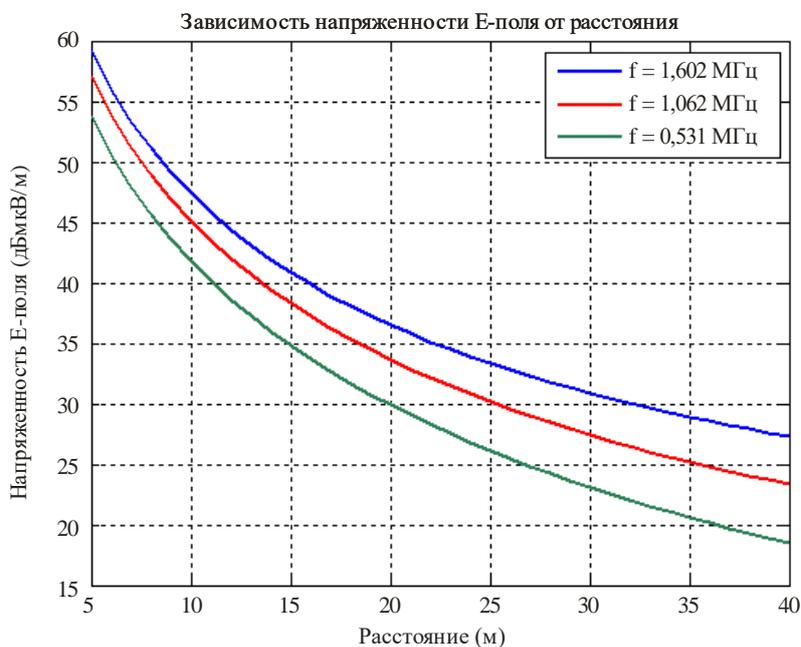
**Совокупные результаты моделирования Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ
в городской среде для уровня В3**

Частота гармоник (МГц)	Количество зарядных станций БПЭ-ЭМ	Совокупная напряженность Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ в радиоприемнике (дБмкВ/м)	Мин. напряженность поля АМ-сигнала в радиоприемнике при приемлемом SQ (дБмкВ/м)	SIR (отношение сигнал/помеха) (Отношение мин. напряженности поля АМ-сигнала в радиоприемнике к совокупной напряженности Е-поля гармоник БПЭ-ЭМ) (дБ)
0,531	25	5,2	80,00 (город)	74,8
	49	7,4		72,6
	81	8,7		71,3
1,062	25	8,7	80,00 (город)	71,3
	49	10,9		69,1
	81	12,2		67,8
1,602	25	11,1	80,00 (город)	68,9
	49	13,5		66,5
	81	14,8		65,2

Во-первых, когда станция БПЭ-ЭМ находится дальше от радиоприемника, напряженность электрического поля ее гармоник естественным образом уменьшается из-за потери в тракте на более длинном расстоянии в соответствии с рисунком А5-19.

РИСУНОК А5-19

Ослабление напряженности электрического поля с расстоянием в ближней зоне



Report SM.2451-A5-19

Во-вторых, потери при проникновении сквозь полы привели к большему ослаблению. Из-за потерь проникновения сквозь цементные полы совокупные помехи на верхних уровнях преобладают над общими совокупными помехами. Например, если в здании есть гаражи на уровнях В1/В2/В3, то совокупные помехи от БПЭ-ЭМ гаража В1 примерно на 12 дБ выше, чем от гаража В2 и примерно на 22 дБ выше, чем от гаража В3. В этом случае будут доминировать помехи от гаража В1.

В качестве примера возьмем частоту 1,602 МГц:

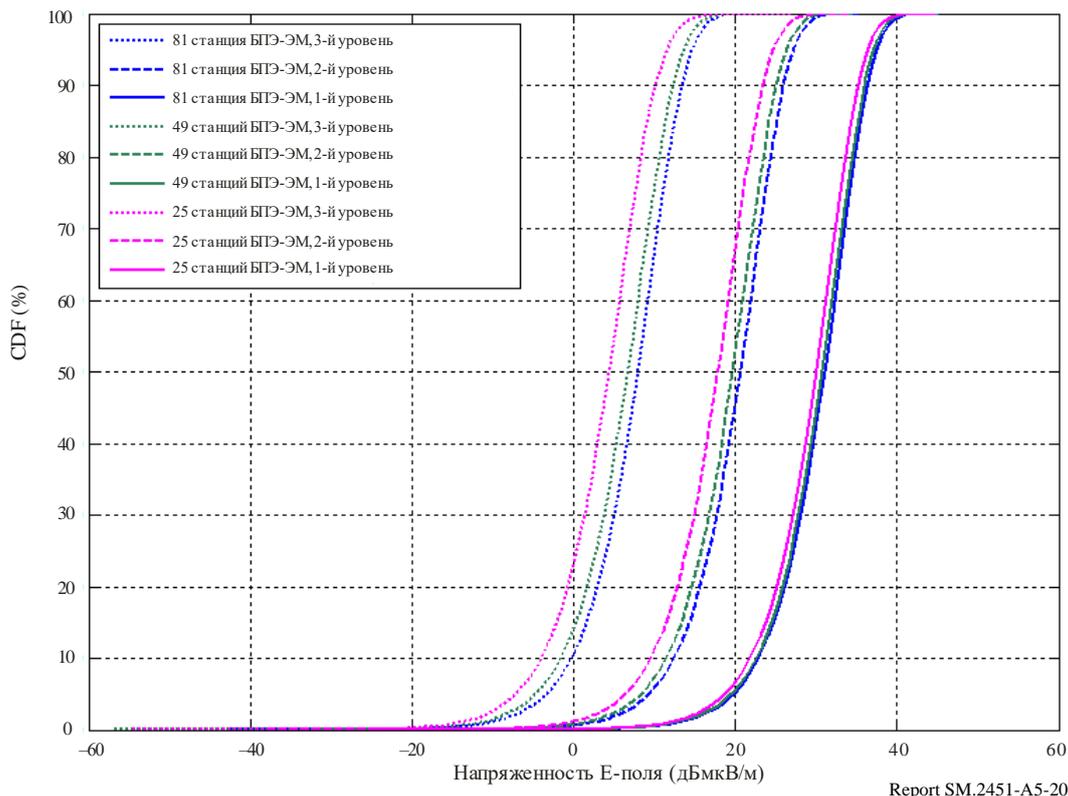
- Совокупный уровень помех от гаража В1 с 81 станциями БПЭ-ЭМ составит 37,4 дБмкВ/м.
- Совокупный уровень помех от гаражей В1 и В2 со 182 станциями БПЭ-ЭМ составит 39,7 дБмкВ/м.
- Совокупный уровень помех от гаражей В1, В2 и В3 с 243 станциями БПЭ-ЭМ составит 40,2 дБмкВ/м.

Значение SIR от гаражей В1/В2/В3 в месте расположения радиоприемника составит около 39,8 дБ и намного превысит 26 дБ. Если подвальные гаражи расположены начиная с уровня В2 и ниже, то для частоты 1,602 МГц при 81 станции БПЭ-ЭМ на каждом уровне общий уровень совокупных помех от гаражей В2 и В3 со 182 станциями БПЭ-ЭМ составит 29,1 дБмкВ/м. Значение SIR от гаражей В2/В3 в месте расположения радиоприемника составит около 50,9 дБ, что намного больше 26 дБ.

На рисунке А5-20 показана кривая CDF совокупных гармонических помех от станций БПЭ-ЭМ и дополнительная статистика по совокупным помехам. Даже в худшем случае (81 станция БПЭ-ЭМ на уровне В1) уровень 99% совокупных помех составляет менее 40 дБмкВ/м, а значение SIR в городских районах все еще превышает 40 дБ.

РИСУНОК А5-20

Кривая CDF совокупных гармонических помех от нескольких станций БПЭ-ЭМ

Кривая CDF совокупной напряженности Е-поля, $f = 0,53$ МГц

Таким образом, можно сделать вывод, что совокупные гармонические помехи от множества БПЭ-ЭМ не будут создавать вредных помех для радиоприемника в городских районах.

А5.2 Исследование по влиянию БПЭ-ЭМ на систему Logan в Китае

Это исследование посвящено анализу излучений и сосуществования станций БПЭ-ЭМ для легковых автомобилей с системой Logan-C, работающей в полосе 90–110 кГц. Его цель – выявить и количественно оценить риск помех для действующей службы на базе системы Logan-C, используемой в Китае.

Рабочая группа P8 TC5 CCSA предложила, чтобы технические характеристики и критерии защиты Logan C/Chaуka основывались на Рекомендации МСЭ-R M.589-3 [8] [9] [10]. В то же время в [9] отмечено, что в Китае планируются исследования системы eLogan. Предполагается, что этот вклад в основном нацелен на изучение сосуществования станций БПЭ-ЭМ с системой Logan-C (или другими системами с аналогичными критериями защиты).

Применялся консервативный подход к оценке экстраполяции из данных Н-поля в Е-поле на большом расстоянии с использованием отношения Е/Н + спад Н-поля на 60 дБ/декада. Такой подход к оценке широко используется и является общепринятым.

В исследовании рассматриваются несколько ключевых факторов. Исследуется полоса частот зарядки 79–90 кГц, включая вторую гармонику частот. Использовались технические спецификации, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ-R M.589-3 [8] и МСЭ-R P.372-13 [10], вклад CCSA по системам Logan-C и eLogan [9] и т. д. Использовался минимальный уровень сигнала (45 дБмкВ/м) на границе зоны покрытия, в которой может потребоваться приемник Logan.

Вывод из этого исследования заключается в том, что риск помех для приемников Logan в пределах морской зоны покрытия со стороны станций БПЭ-ЭМ, как одиночных, так и групповых, работающих в полосе частот 79–90 кГц, отсутствует. Мощность станций БПЭ-ЭМ должна находиться в диапазоне, определяемом CIS/B/687/CDV, и соответствовать установленным для них пределам излучения Н-поля.

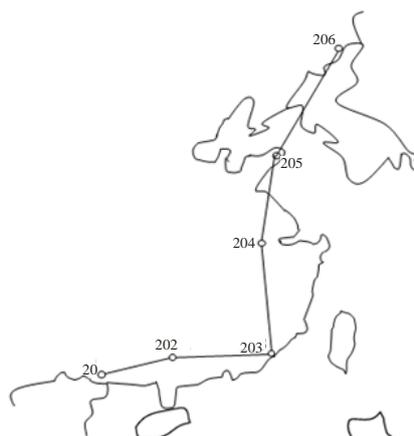
A5.2.1 Китайская система Logan и критерии защиты приемника

A5.2.1.1 Обзор системы Logan

Расположение передатчиков систем Logan-C показано на рисунке A5-21 [9]. Вдоль восточной и южной береговых линий расположены шесть передатчиков Logan. Северные, восточные и южные моря покрываются тремя цепями. Средняя мощность передатчиков составляет 40 кВт (на расстоянии 5 км по шуре). Дальность покрытия составляет 900–1300 морских миль.

РИСУНОК A5-21

Расположение станций системы Logan-C в Китае



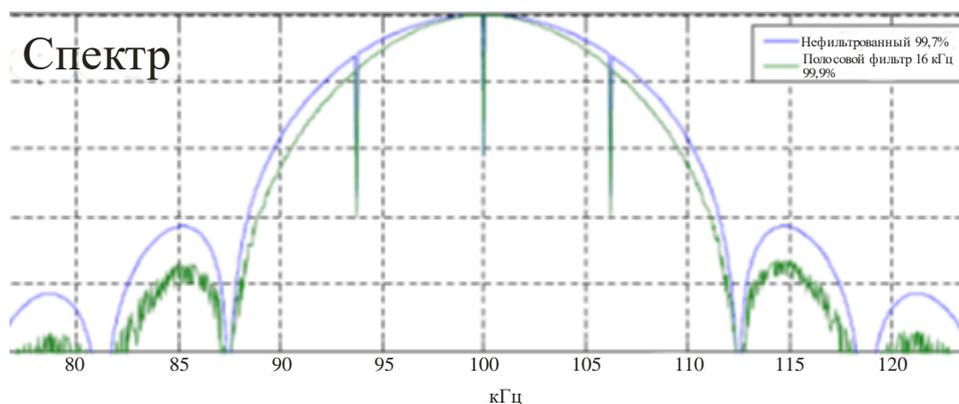
Report SM.2451-A5-21

Технические характеристики сигнала Logan-C приведены на рисунке A5-22. Сигнал центрируется на частоте 100 кГц (> 99%) при ширине полосы 20 кГц. Он продолжает работать при уровне шума окружающей среды на 10 дБ выше уровня сигнала.

Для поддержания качества демодуляции требуется внутриполосное отношение S/N 20 дБ.

РИСУНОК A5-22

Изображение сигнала Logan-C



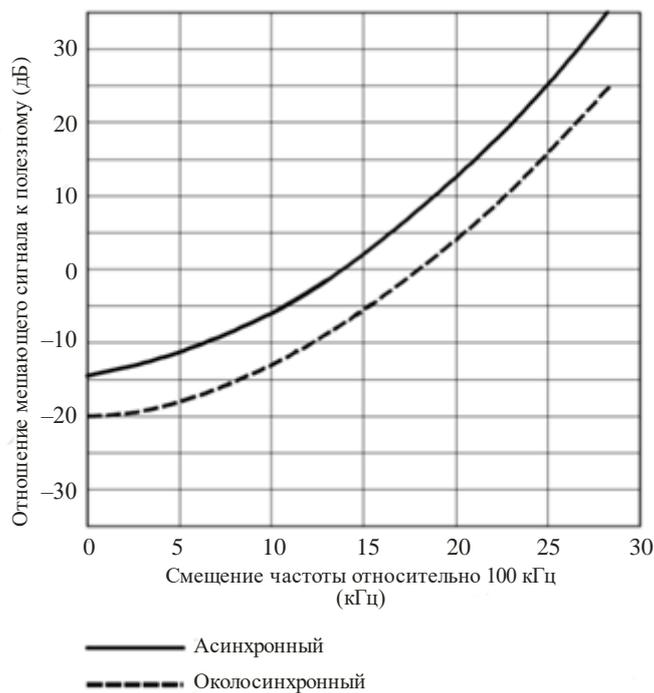
Report SM.2451-A5-22

A5.2.1.2 Критерии защиты

На рисунках A5-23 и A5-24 показаны критерии защиты от внутрисполосных и внеполосных помех [8]. Для оценки риска помех используется кривая для наихудшего случая (околосинхронный режим).

РИСУНОК A5-23

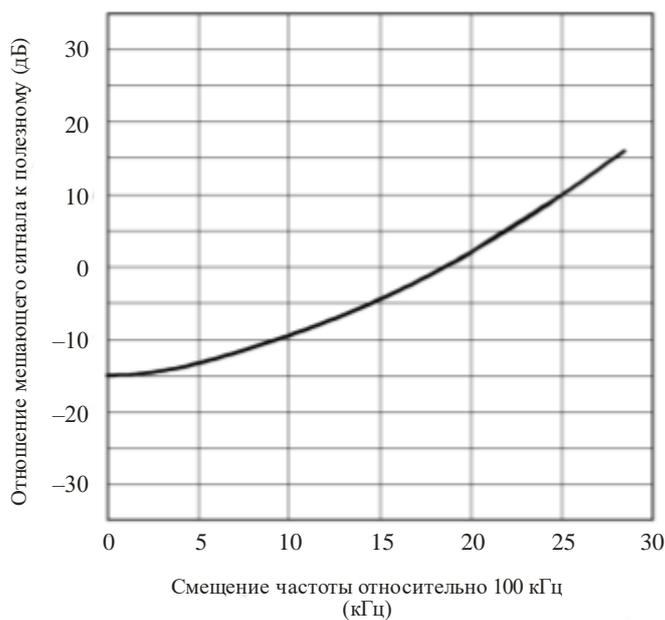
Критерии защиты Loran-C/CWI



Report SM.2451-A5-23

РИСУНОК A5-24

Критерии защиты Loran-C/FSK



Report SM.2451-A5-24

A5.2.2 Изучение возможности сосуществования

A5.2.2.1 Технические характеристики БПЭ-ЭМ

Ассоциация CEC (China Electricity Council) провела исследование по использованию частот в системе БПЭ для легковых автомобилей и транспортных средств малой грузоподъемности. В результате отрасль пришла к выводу, что оптимальным выбором для этих применений в Китае будет полоса 79 кГц – 90 кГц.

Система БПЭ-ЭМ – это не радиослужба, и ее электрическая энергия главным образом передается от зарядной станции к транспортному средству через локальную магнитную связь на очень коротком расстоянии. К БПЭ не должны применяться правила для SRD и другие положения, регламентирующие работу служб радиосвязи, поскольку в процессе БПЭ отсутствует передача звуковых сигналов и данных.

В нашем исследовании по сосуществованию в качестве пикового значения напряженности поля на рабочей частоте применяется предложенный СИСПР предельный уровень в 82,8 дБмкА/м. По результатам измерений выводится пиковое значение для других смещений частот. Уровень излучения при реальной реализации должен быть ниже предельного уровня, установленного СИСПР. Поэтому в нашем исследовании рассматривается наихудший случай с точки зрения излучения.

A5.2.2.2 Затухание сигнала Logan с расстоянием

В нашем исследовании применялась модель изотропного излучения. Мощность передачи сигнала Logan очень высока, и эта система способна охватить зону в тысячи километров. Согласно Рекомендации МСЭ-R M.589-3 [8], на границе зоны покрытия в полосе 90–110 кГц должен достигаться минимальный уровень в 45 дБмкВ/м.

В полосе 79–90 кГц уровень излучения при БПЭ должен быть ниже уровня сигнала Logan и соответствовать критериям защиты от помех, указанным в [12].

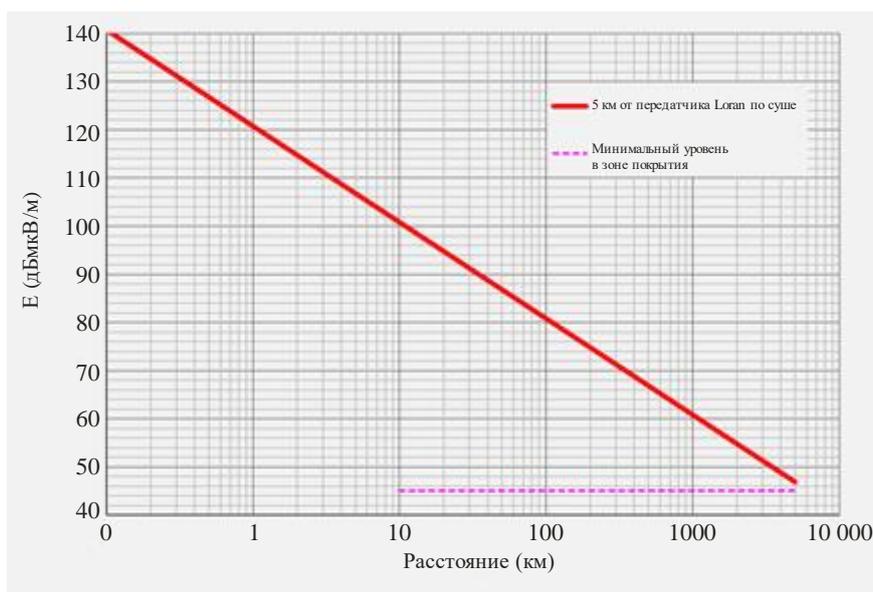
ТАБЛИЦА A5-9

Критерии защиты для сигнала Logan на различных частотах

Частота (кГц)	Минимальная напряженность E-поля в зоне покрытия (дБмкВ/м)	Критерий защиты сигнала Logan-C/CWI (N/S в околосинхронном режиме)	Приемлемый шум в приемнике Logan-C/CWI (дБмкВ/м)
81,38	45	4	49
81	45	2	47
85	45	-5	40
88	45	-10	35
90	45	-13	32

РИСУНОК А5-25

Напряженность поля, характерная для системы Logan в Китае (40 кВт)



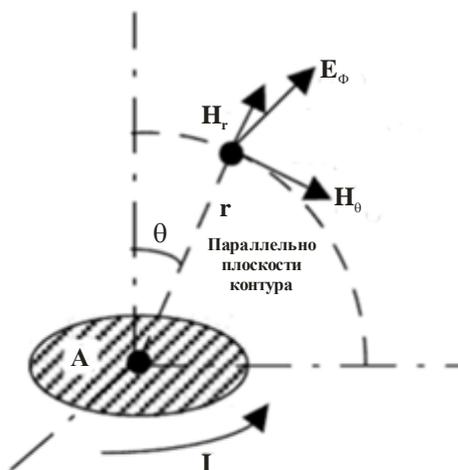
Report SM.2451-A5-25

А5.2.2.3 Анализ данных

Поскольку источником излучения при БПЭ-ЭМ является индукционная катушка, в ближней зоне излучения будет доминировать поле H . Поле H затухает с расстоянием по-разному в зависимости от условий земной поверхности, например суша/вода. Для простой оценки наихудшим случаем считаются условия свободного пространства. Можно показать, что поле H затухает постепенно со скоростью от 60 дБ/декада в ближней зоне, определяемой отношением $\lambda/2\pi$, до 20 дБ/декада в дальней зоне. В каждой области напряженность поля E , создаваемого станцией БПЭ-ЭМ, преобразуется в отношении E/H , как показано на рисунке А5-7. Отношение E/H и излучение оцениваются на основе модели контура в свободном пространстве. Эта модель проверена как измерениями, так и моделированием. Малая рамочная антенна представляет собой замкнутый контур, как показано на рисунке А5-26.

РИСУНОК А5-26

Излучение малого контура



Report SM.2451-A5-26

Для излучений, описываемых моделью малого контура, электрическое (E) и магнитное (H) поля можно приблизительно описать следующим образом [14]:

$$E_{\phi}(V/m) = \pi Z_0 \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2} \sin \theta; \quad (11)$$

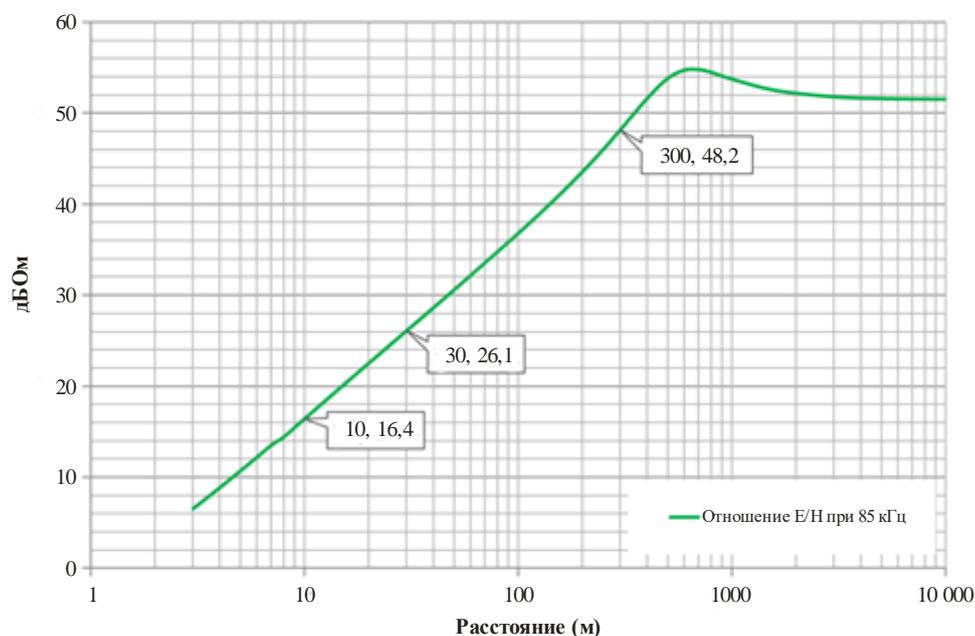
$$H_{\theta}(A/m) = \pi \frac{IA}{\lambda^2 r} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^4} \sin \theta, \quad (12)$$

где:

- I : ток в контуре (A, ампер);
- A : площадь контура (м²);
- λ : длина волны (м), $\lambda = 300/f$, f : частота (МГц);
- r : расстояние до точки наблюдения (м);
- Z_0 : волновое сопротивление свободного пространства, 377 Ом.

РИСУНОК А5-27

Отношение E/H в функции расстояния от источника-контура в свободном пространстве

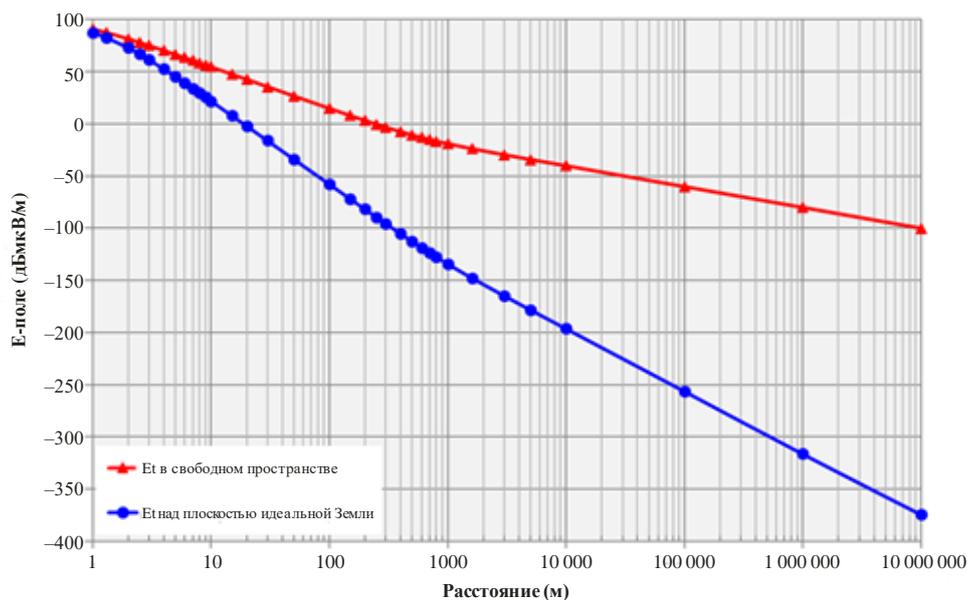


Report SM.2451-A5-27

Из этой модели можно сделать вывод, что поле H, которое доминирует при БПЭ, затухает на 60 дБ/декада до края ближней зоны – около $\lambda/2\pi$, а затем, в переходной зоне, спад постепенно замедляется до 20 дБ/декада в дальней зоне. Так как морскую воду можно считать почти проводником, то по степени воздействия она находится где-то между идеальным электропроводником (Perfect Electric Conductor, PEC) и свободным пространством, поэтому общее затухание поля H и поля E происходит быстрее, чем в чистой модели свободного пространства, что приводит к спаду в интервале между спадом в свободном пространстве и в PEC, как показано на рисунке А5-28.

РИСУНОК А5-28

Е-поле на единицу АТ (ампер-виток) от контура-источника



Report SM.2451-A5-28

ТАБЛИЦА А5-10

Уровень сигнала при БПЭ-ЭМ на различных частотах и на разном расстоянии

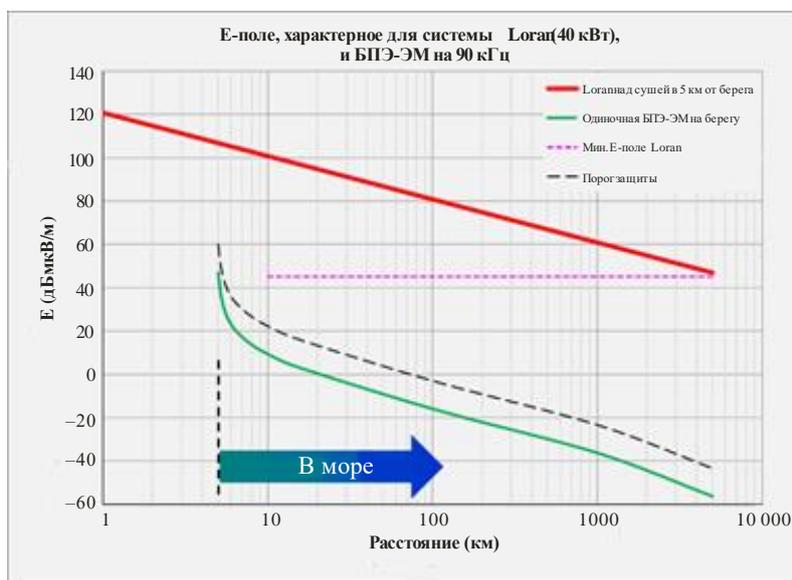
Параметры системы Logan				Сосуществование на 10 м			
Частота (кГц)	Мин. Е поле в зоне покрытия	Критерий защиты Logan-C/CWI (N/S в околосинхр. режиме)	Приемлемое Е-поле в приемнике Logan-C/CWI	Отношение Е/Н для контура на 10 м	Н на 10 м (дБмкА/м) (для ЕМ 7 кВт)	Преобразовано в Е на 10 м (дБмкВ/м)	Запас на 10 м (дБ)
81,38	45	2	47	16,00	22	38,0	9,00
85	45	-5	40	16,42	22	38,4	1,58
88	45	-10	35	16,72	22	38,7	-3,72
90	45	-13	32	16,92	82	98,9	-66,92
95	45	-18	27	17,39	22	39,4	-12,39
100	45	-20	25	17,83	22	39,8	-14,83
170	45	50	105	22,45	52	74,5	30,55
Параметры системы Logan				Сосуществование на 100 м			
Частота (кГц)	Мин. Е поле в зоне покрытия	Критерий защиты Logan-C/CWI (N/S в околосинхр. режиме)	Приемлемое Е-поле в приемнике Logan-C/CWI	Отношение Е/Н для контура на 100 м	Н на 100 м (дБмкА/м) (для ЕМ 7 кВт)	Преобразовано в Е на 100 м (дБмкВ/м)	Запас на 100 м (дБ)
81,38	45	2	47	36,4	-38	-1,60	48,60
85	45	-5	40	36,8	-38	-1,20	41,20
88	45	-10	35	37,1	-38	-0,90	35,90
90	45	-13	32	37,3	22	59,30	-27,30
95	45	-18	27	37,8	-38	-0,20	27,20
100	45	-20	25	38,3	-38	0,30	24,70
170	45	-60	105	43,6	-8	35,60	
Параметры системы Logan				Сосуществование на 1 км			
Частота (кГц)	Мин. Е поле в зоне покрытия	Критерий защиты Logan-C/CWI (N/S в околосинхр. режиме)	Приемлемое Е-поле в приемнике Logan-C/CWI	Отношение Е/Н для контура на 1 км	Н на 1 км (дБмкА/м) (для ЕМ 7 кВт)	Преобразовано в Е на 100 м (дБмкВ/м)	Запас на 1 км (дБ)
81,38	45	2	47	53,4	-98	-44,60	91,60
85	45	-5	40	53,7	-98	-44,30	84,30
88	45	-10	35	53,7	-98	-44,30	79,30
90	45	-13	32	53,6	-38	15,60	16,40
95	45	-18	27	53,4	-98	-44,60	71,60
100	45	-20	25	53,3	-98	-44,70	69,70
170	45	60	105	53,2	-68	-14,80	119,80

A5.2.2.3.1 Одиночная станция БПЭ-ЭМ

Во всей прибрежной морской зоне уровень сигнала Logan (красная линия) намного выше уровня сигнала БПЭ в полосе 79–90 кГц (зеленая кривая). Уровень побочных и гармонических составляющих сигнала БПЭ по меньшей мере на 40 дБ ниже уровня сигнала БПЭ, что соответствует критерию защиты при наихудших условиях на частоте 90 кГц, так что риск помех для морских приемников Logan отсутствует. Даже минимальный сигнал Logan на границе зоны покрытия намного выше критерия защиты при ослабленном излучении от устройства БПЭ-ЭМ, как показано на рисунке A5-29.

РИСУНОК A5-29

Напряженность поля, характерная для системы Logan в Китае, и излучение одиночной станции БПЭ-ЭМ



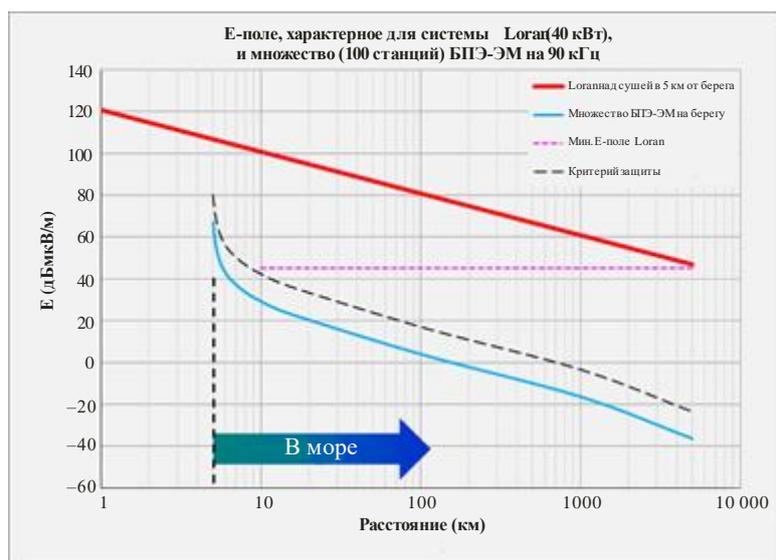
Report SM.2451-A5-29

A5.2.2.3.2 Множество станций БПЭ-ЭМ

Для анализа наихудшего случая предположим, что в одном и том же месте работают 100 станций БПЭ-ЭМ. Излучения всех станций БПЭ суммируются (фактическая совокупность должна быть намного ниже из-за разницы в расстоянии, фазе и времени работы каждой станции БПЭ). Как показано на рисунке A5-29, уровень сигнала Logan (красная линия) намного выше (~70 дБ) совокупного излучения множества станций БПЭ в полосе 79–90 кГц (голубая кривая) на любом расстоянии, кроме окрестностей станции БПЭ. Кроме того, уровень совокупных побочных и гармонических составляющих сигнала от множества станций БПЭ в полосе 79–90 кГц по меньшей мере на 40 дБ ниже уровня совокупного сигнала от устройств БПЭ, так что риска помех для морских приемников Logan быть не должно.

РИСУНОК А5-30

Напряженность поля, характерная для системы Logan в Китае, и излучение от множества станций БПЭ-ЭМ



Report SM.2451-A5-30

А5.2.3 Заключение

В нашем исследовании изучались вопросы излучений и уровней напряженности поля зарядных станций БПЭ-ЭМ, работающих в полосе частот 79–90 кГц, включая вторую гармонику. Критерий защиты системы Logan-C основан на Рекомендациях МСЭ-R М.589-3 и МСЭ-R Р.372-13. Использовался минимальный уровень сигнала (45 дБмкВ/м) на границе зоны покрытия, в которой может потребоваться приемник Logan. По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

Сигналы от одиночной зарядной станции БПЭ-ЭМ не будут создавать риска помех для приемников Logan в море.

Множество станций БПЭ-ЭМ: риск помех для приемников Logan в море от множества станций БПЭ-МЭ, находящихся в одном месте или в нескольких местах на суше, отсутствует.

Для одиночной станции БПЭ-ЭМ уровень побочных и гармонических составляющих сигнала БПЭ как минимум на 40 дБ ниже самого сигнала БПЭ, поэтому риск помех для морских приемников Logan от побочных и гармонических излучений БПЭ-ЭМ отсутствует.

Для множества станций БПЭ-ЭМ совокупный уровень побочных и гармонических составляющих сигнала БПЭ как минимум на 40 дБ ниже совокупного сигнала БПЭ, так что риск помех для морских приемников Logan от совокупных побочных и гармонических излучений БПЭ-ЭМ отсутствует. Приведенные выше выводы применимы к множеству станций БПЭ-ЭМ с рабочей частотой 79–90 кГц в диапазоне мощности, определяемом CIS/B/687/CDV, и в соответствии с установленными для них предельными уровнями излучения поля Н.

А5.3 Ссылки

- [1] Рекомендация МСЭ-R BS.560-4, "Защитные отношения по радиочастоте в НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещании"
- [2] Рекомендация МСЭ-R BS.703-0, "Характеристики АМ звуковых радиовещательных эталонных приемников для целей планирования"
- [3] China national standard, GB 2017-80, "MF broadcast network coverage technology"
- [4] ESTI EN 303 417 V1.1.1 (2017), "Wireless power transmission systems, using technologies other than radio frequency beam, in the 19-21 kHz, 59-61 kHz, 79-90 kHz, 100-300 kHz, 6 765-6 795 kHz ranges; Harmonized Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU"

- [5] Xingcun Colin Tong, "Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding"
- [6] Рекомендация МСЭ-R BS.1284-1, "Общие методы субъективной оценки качества звука"
- [7] SCHWENGLER, T.; GILBERT, M., "Propagation Models at 5.8 GHz – Path Loss & Building Penetration", [Radio and Wireless Conference, 2000. RAWCON 2000. 2000 IEEE](#)
- [8] Рекомендация МСЭ-R M.589-3, "Технические характеристики методов передачи данных и защиты от помех для радионавигационных служб в полосах частот между 70 и 130 кГц"
- [9] TC5_WG8_2017_080, "Loran-C and e-Loran"
- [10] Рекомендация МСЭ-R P.372-13, "Радиошум"
- [11] Отчет МСЭ-R SM.2303, "Беспроводная передача энергии с использованием технологий, не предусматривающих передачу с помощью радиочастотного луча"
- [12] CISPR 11, "Industrial, scientific and medical equipment – Radio-frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurement"
- [13] CIS/B/687/CDV, "Supplement of CISPR 11 with requirements for air-gap wireless power transfer (WPT) – Comments on the limit values for Class B equipment in frequency ranges of 9 kHz to 150 kHz"
- [14] COLIN TONG, X., "Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding"

Приложение 6

Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц в Корее

А6.1 Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц на службы SFTS

А6.1.1 Введение

В Республике Корея мощность излучения оборудования БПЭ, работающего в полосе частот 20/60 кГц, измерялась в полосе частот от 9 кГц до 30 МГц, и результаты этих измерений были представлены на прошлом собрании РГ 1В МСЭ-R (РГ 1В-1).

Полоса частот каждого применения БПЭ указана в таблице 6/9.1.6-2 (см. раздел 6). Кроме того, в примечании редактора в разделе 6 "Выводы" говорится о необходимости дальнейших исследований по воздействию в полосах частот 55–5X кГц, 6Y–65 кГц для определения значений X и Y.

А6.1.2 Смягчение воздействия для защиты SFTS на частоте 60 кГц

Согласно таблице 9 Рекомендации ERC 70-03, для диапазона частот 60 кГц службы SFTS Соединенного Королевства используется ширина полосы 250 Гц (59,75 кГц ~ 60,25 кГц), а максимальная напряженность поля на расстоянии 10 м составляет 42 дБмкА/м.

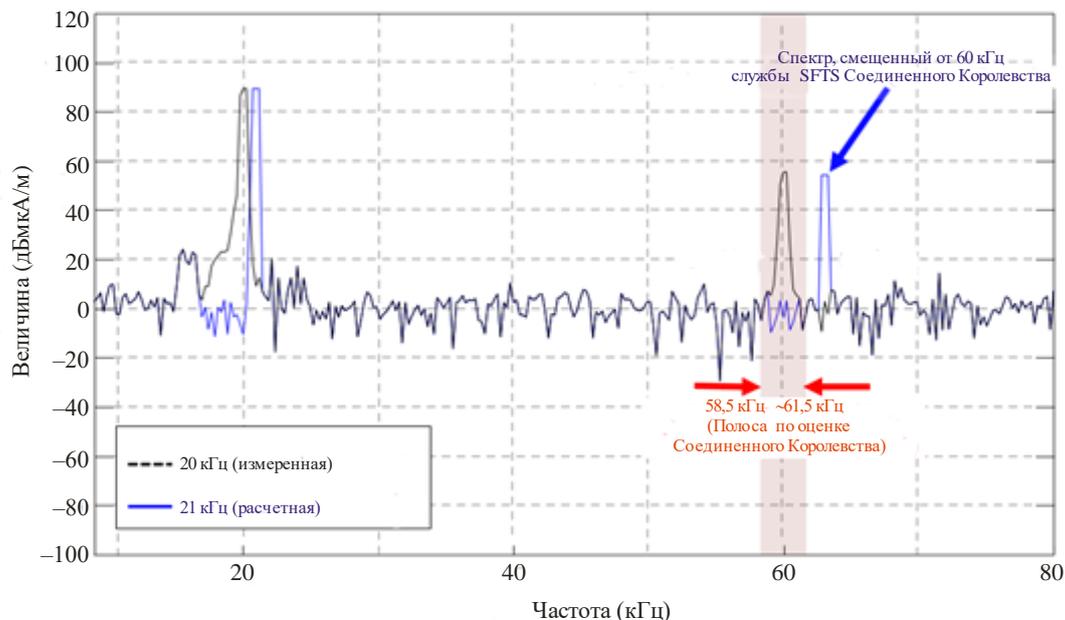
Чем шире защитная полоса SFTS, тем лучше условия защиты, так что при рассмотрении сосуществования с мощной системой БПЭ в качестве фактора безопасности минимальная защитная полоса должна быть по меньшей мере в пять-шесть раз шире полосы 250 Гц.

Ее ширина может составлять примерно 1500 Гц, что в шесть раз повышает величину фактора безопасности.

Поэтому Республика Корея предлагает установить величину X равной 58,5 кГц, а Y – 61,5 кГц.

РИСУНОК А6-1

Подход к смягчению воздействия



Report SM.2451-A6-01

Помимо вышеупомянутого предложения, во избежание безопасного воздействия помех между системой БПЭ и службой SFTS на частоте 60 кГц в Соединенном Королевстве, в стране, где применяется SFTS на 60 кГц, лучше использовать более отдаленную частоту, например, 63 кГц.

На рисунке А6-1 показан результат подхода к смягчению воздействия путем смещения частоты до 63 кГц.

А6.2 Исследования по воздействию систем БПЭ-ЭМ в полосах 19–21 кГц/55–65 кГц на службы звукового АМ-радиовещания

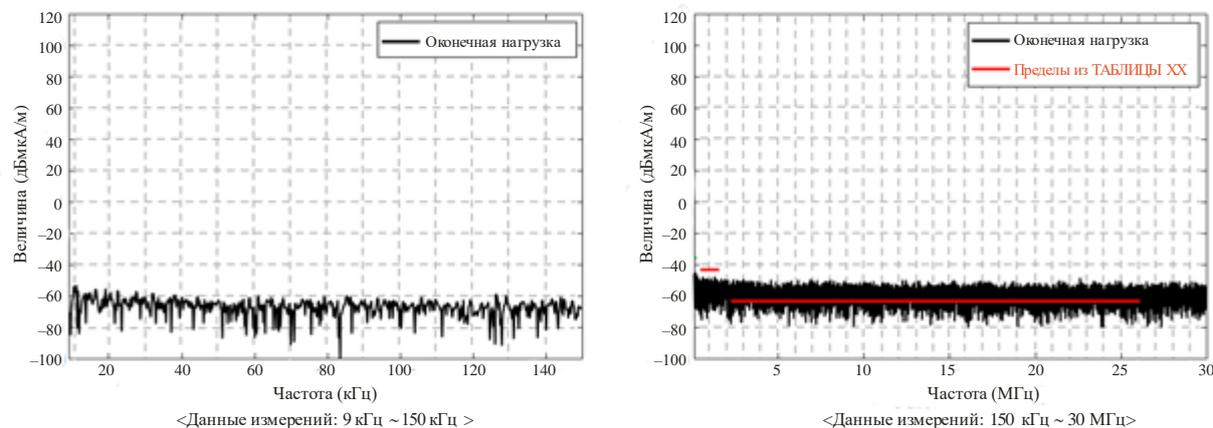
А6.2.1 Введение

Поскольку ЕРС предложил ограничить уровень сигнала звукового радиовещания величиной $-47,5$ дБмкА/м, Республика Корея изучила анализ помех, причиняемых АМ-радиовещанию со стороны мощных систем БПЭ-ЭМ.

А6.2.2 Анализ помех для АМ-радиовещания со стороны систем БПЭ-ЭМ

РИСУНОК А6-2

Анализ помех, причиняемых АМ-радиовещанию со стороны мощных систем БПЭ-ЭМ (с оконечной нагрузкой приемного оборудования)



Report SM.2451-A6-02

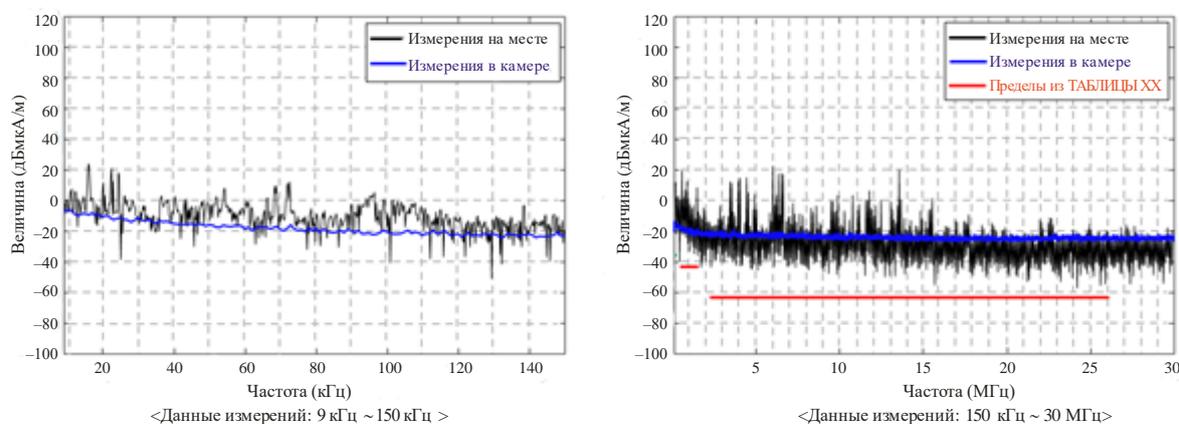
Чтобы отследить помехи между АМ-радиовещанием и мощной системой БПЭ-ЭМ, приемник электромагнитных помех (ЭМП) (Keysight E4440A) был нагружен на сопротивление 50 Ом и не учитывал КПД антенны, поскольку рамочная антенна не была подключена.

Согласно таблице 6, предельный уровень для гармоник БПЭ при высокой мощности системы БПЭ составляет -37 дБмкА/м на расстоянии 10 м.

Хотя на выходе приемника ЭМП была нагрузка, получены значения порядка -56 дБмкА/м или -60 дБмкА. Это означает, что предельный уровень почти совпадает с собственным шумом приемника ЭМП.

РИСУНОК А6-3

Анализ причиняемых помех АМ-радиовещанию со стороны мощной системы БПЭ-ЭМ (на фоне воздействия окружающей среды)



Report SM.2451-A6-03

Поскольку приемник ЭМП (Keysight E4440A) подключен к рамочной антенне, он учитывает КПД антенны величиной около 20 дБ. Согласно таблице 7, предельный уровень гармоник БПЭ при высокой мощности системы БПЭ составляет -7 дБмкА/м на расстоянии 10 м.

При измерении в условиях реального шума окружающей среды были получены значения порядка 0 дБмкА или -20 дБмкА. Таким образом, результаты измерений значительно превышают предельный уровень, независимо от работы мощной зарядной системы БПЭ. Это означает, что предельный уровень, указанный в таблице 7, не соответствует даже реальному шуму окружающей среды.

А6.2.3 Анализ смягчения воздействия на звуковое АМ-радиовещание

Звуковое АМ-радиовещание должно быть надежно защищено. Предлагаются следующие методы смягчения воздействия.

А6.2.3.1 Влияние помех от системы БПЭ на звуковое АМ-радиовещание

В недавно опубликованной работе по магнитной связи Fourier Analysis for Harmonic Signals in Electrical Power Systems⁴ указывается, что на долю третьей гармоники приходится 20%, а на долю пятой гармоники – 10% излучаемой мощности. Далее, на долю седьмой гармоники приходится 6%, а на долю девятой гармоники – 3%.

В качестве основной частоты мощной системы БПЭ используется частота 20 кГц. Седьмая гармоника частоты 20 кГц составляет 140 кГц. А нижней полосой НЧ-радиовещания является 148,5–283,5 кГц. Так что влияние помех будет очень незначительным.

А6.2.3.2 Минимальное расстояние разноса между системой БПЭ и АМ-радиоприемником

Согласно таблице 7, минимальное расстояние разноса составляет 10 м, а предельным уровнем является -7 дБмкА/м.

Для надежного предотвращения помех звуковому АМ-радиовещанию со стороны мощной системы БПЭ предлагается минимальное расстояние разноса 30 м и более.

В настоящее время АМ-радиовещание не пользуется популярностью, поскольку звуковые сигналы зашумлены. К тому же диапазон НЧ используется редко, за исключением чрезвычайных ситуаций. Следовательно, если сохраняется достаточное расстояние разноса, влияние помех можно минимизировать.

А6.2.4 Заключение

Звуковое АМ-радиовещание должно быть надежно защищено. Для надежного предотвращения помех звуковому АМ-радиовещанию со стороны системы БПЭ необходимо минимальное расстояние разноса 30 м и более.

Как представляется, имеется еще одна разумная альтернатива подходу в виде политики государственного регулирования наряду с вышеуказанными методами смягчения воздействия.

⁴ Авторы: Emmanuel Hernández Mayoral, Miguel Angel Hernández López, Edwin Román Hernández, Hugo Jorge Cortina Marrero, José Rafael Dorrego Portela и Victor Ivan Moreno Oliva. Опубликовано: 8 февраля 2017 года в [IntechOpen](#).

Приложение 7

Исследования по воздействию БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц в Японии

А7.1 Введение

В этом Приложении представлены исследования по воздействию, проведенные в процессе разработки новых правил Японии для систем БПЭ-ЭМ, использующих полосу 79–90 кГц. Исследование проводилось рабочей группой (РГ) по выработке норм и правил для БПЭ в Министерстве внутренних дел и связи (МИС) Японии. РГ состояла из технических экспертов в данной сфере и представителей связанных отраслей, включая БПЭ, предполагаемые действующие радиосистемы, электромагнитную совместимость, воздействие радиоволн и научное сообщество. Результаты исследования были включены в японский регламент радиосвязи и руководящие принципы эксплуатации БПЭ, а затем, в марте 2016 года, вступили в силу новые правила.

А7.2 Пределы излучения при БПЭ для электромобилей

Пределы излучения БПЭ для электромобилей, установленные в японском регламенте радиосвязи, указаны в таблице А7-1 в соответствии с назначенными полосами частот.

При указании предельных уровней кондуктивных и эфирных излучений в РГ использовались стандарты СИСПР с учетом международного согласования регуляторных положений. Для некоторых конкретных случаев применения в работе существующих систем радиосвязи в соответствующем спектре были определены дополнительные условия сосуществования в стране и требования, вытекающие из исследований по воздействию, которые после согласования со всеми заинтересованными сторонами были включены в пределы излучения.

Пределы излучения обуславливают допустимую мощность радиосигнала от оборудования БПЭ в новых правилах, называемых "спецификацией типа", которые освобождают от необходимости получения разрешения на установку индивидуального оборудования для БПЭ.

ТАБЛИЦА А7-1

Пределы излучения при БПЭ для электромобилей в Японии

Целевое применение БПЭ	Пределы кондуктивных излучений		Пределы эфирных излучений от основной гармоника	Пределы эфирных излучений в других полосах			
	9–150 кГц	150 кГц–30 МГц		79–90 кГц	9–150 кГц	150 кГц–30 МГц	30 МГц–1 ГГц
БПЭ для зарядки ЭМ	Не указано	0,15–0,50 МГц: Квазипиковое значение 66–56 дБмкВ (линейное снижение при $\log(f)$) Среднее значение 56–46 дБмкВ (линейное снижение при $\log(f)$), 0,50–5 МГц: Квазипиковое значение 56 дБмкВ, Среднее значение 46 дБмкВ 5–30 МГц: Квазипиковое значение 60 дБмкВ, Среднее значение 50 дБмкВ, за исключением полос ПНМ	68,4 дБмкА/м на расстоянии 10 м (квазипиковое значение)	23,1 дБмкА/м на расстоянии 10 м (квазипиковое значение), за исключением 79–90 кГц	На основе CISPR 11 Ed. 5.1, при преобразовании в значения для расстояния 10 м, линейное снижение при $\log(f)$ от 39 дБмкА/м на 0,15 МГц до 3 дБмкА/м на 30 МГц (1). Исключение 1: для 158–180 кГц, 237–270 кГц, 316–360 кГц и 3965–450 кГц, пределы излучений выше, чем указано ранее (1), на 10 дБ. Исключение 2: для 526,5–1606,5 кГц, –2,0 дБмкА/м (квазипиковое значение)	На основе CISPR 11 Ed. 5.1, применяются следующие значения: 30–80,872 МГц: 30 дБмкВ/м; 80,872–81,88 МГц: 50 дБмкВ/м; 81,88–134,786 МГц: 30 дБмкВ/м; 134,786–136,414 МГц: 50 дБмкВ/м; 136,414–230 МГц: 30 дБмкВ/м; 230–1000 МГц: 37 дБмкВ/м	Не указано

А7.3 Стандартизация БПЭ-ЭМ

Рабочая группа по БПЭ Форума по широкополосной беспроводной связи Японии (WBF) занимается составлением проектов технических стандартов БПЭ с использованием проектов протоколов ARIB (Ассоциации промышленных и коммерческих предприятий в области радиосвязи). Стандарт ARIB STD-T113 "Wireless power transmission systems" предполагает включение технологий БПЭ-ЭМ в процесс разработки проектов стандартов WBF после того, как спецификация БПЭ для применений в ЭМ будет стандартизирована на глобальном уровне в стандартах IEC 61980 и ISO 19363.

А7.4 Исследования по воздействию БПЭ в полосе 79–90 кГц

А7.4.1 Процесс оценки воздействия и предполагаемые для участия в исследовании действующие службы/системы радиосвязи

В ходе исследований были выполнены следующие этапы:

- 1 Первый этап. Обследование использования спектра и определение кандидатных полос частот. Обследование использования спектра действующими службами радиосвязи в предлагаемых полосах рабочих частот БПЭ, смежных полосах и других полосах частот, на которые могут попадать гармоники БПЭ. Эти службы могут всячески пострадать от ухудшения качества обслуживания, вызванного системами БПЭ. Определение кандидатных полос для БПЭ путем использования относительно свободного спектра.

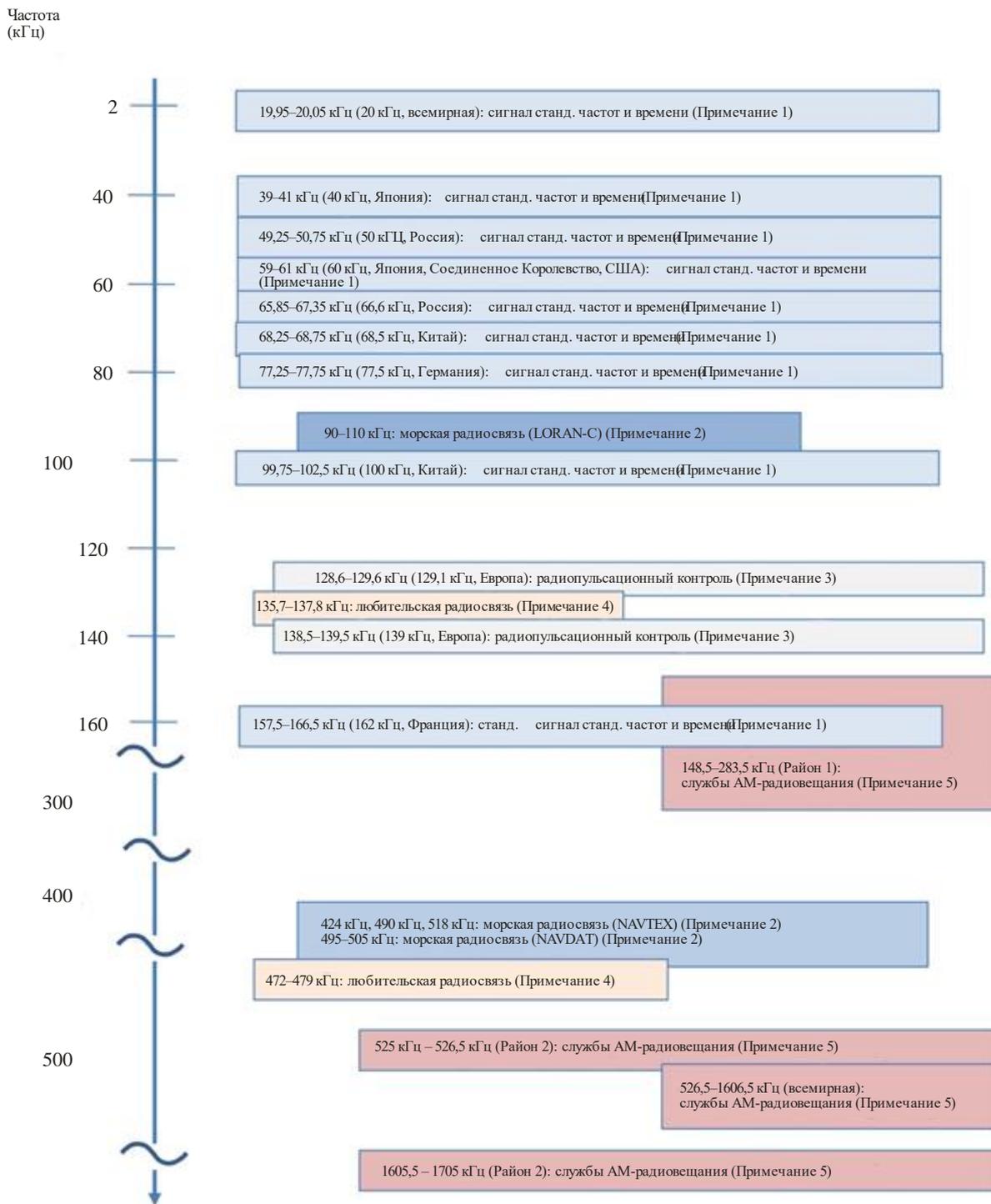
- 2 Второй этап. Выбор приоритетных действующих систем радиосвязи, подлежащих защите.
- Отбор действующих систем радиосвязи, которые могли бы пострадать от воздействия БПЭ в кандидатной полосе (полосах). Определение приоритетных систем, подлежащих защите, путем уточнения характеристик услуг в соответствии со следующими условиями и/или ситуациями использования:
- категория полосы частот в Регламенте радиосвязи (РР);
 - обоснование для защиты от воздействия системы БПЭ;
 - механизм для избежания вредных помех со стороны систем БПЭ.
- Вышеизложенные соображения приводят к выбору приоритетных действующих систем радиосвязи.
- 3 Третий этап. Оценка воздействия излучения БПЭ на существующие службы радиосвязи.
- Воздействие систем БПЭ на каждую выбранную действующую службу радиосвязи оценивается путем моделирования и/или измерения. На этом этапе уточняются следующие аспекты.
- Полосы частот при передаче энергии, уровень мощности и любые другие параметры или характеристики, которые могут влиять на действующие службы радиосвязи.
 - Примеры использования действующих систем с определением параметров, включая период работы/синхронизацию (в частности, период, перекрывающийся с использованием БПЭ), физическое расстояние разнеса или местоположение.
 - Мощность излучения систем БПЭ: максимальная мощность излучения должна надлежащим образом определяться для оценки, исходя из имеющихся регуляторных положений или проекта документа, разработанного в СИСПР/В.
 - Испытание и проверка: мощность нежелательного излучения, рассчитанная или измеренная в соответствующем приемнике, не должна превышать чувствительности приемника или вызывать отказ в процессе эксплуатации. Кроме того, следует учитывать условия эксплуатации, такие как распределение времени эксплуатации, перекрывающееся время работы и фактическое расположение устройств.

По результатам вышеупомянутых этапов следует обсудить и оценить целесообразность смягчения воздействия. Полосы частот с адекватным смягчением воздействия, проверенные и подтвержденные на указанных этапах, можно порекомендовать в качестве кандидатных полос частот для безлучевой БПЭ при зарядке электромобилей.

Предполагается, что полосы частот БПЭ для электромобилей будут ниже 150 кГц, учитывая дискуссии о разработке всемирных стандартов технологии БПЭ в ИЕС TC69/PT61980, ISO TC22/PAS 19363 и SAE J2954TF. При выборе полосы частот также принимались в расчет полосы частот гармоник. Это обследование охватывало полосы частот ниже 1 МГц. Результат обследования по использованию спектра показан на рисунке А7-1 и приведен в таблице А7-2.

РИСУНОК А7-1

Спектр служб радиосвязи в полосе от 9 кГц до 3 МГц



Report SM.2451-A7-01

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Амплитудная модуляция (BCD). Часы, которые периодически получают цифровые сигналы стандартного времени от станций передачи стандартных частот и сигналов времени для синхронизации и настройки собственного времени.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Импульсная, ЧМн и т. д. радиосистема, обеспечивающая безопасность эксплуатации судов, используемая в порту и в гавани или в море.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – Радиосистема для контроля нагрузки/спроса на электроэнергию, которая передает сообщения по электрораспределительной системе.

ПРИМЕЧАНИЕ 4. – Радиослужба с передающими и приемными устройствами, используемая для технических исследований и обучения операторов-радиолобителей.

ПРИМЕЧАНИЕ 5. – Амплитудная модуляция; служба звукового радиовещания с приемными устройствами, использующая диапазон длинных или средних волн.

ТАБЛИЦА А7-2

Спектр служб радиосвязи в полосе от 9 кГц до 3 МГц

Службы и системы радиосвязи		Полосы частот	Модуляция	Примечания
Служба стандартных частот и сигналов времени		19,95 кГц – 20,05 кГц (20 кГц, всемирная) 39 кГц – 41 кГц (40 кГц, Япония) 49,25 кГц – 50,75 кГц (50 кГц, Россия) 59 кГц – 61 кГц (60 кГц, Соединенное Королевство, США и Япония) 65,85 кГц – 67,35 кГц (66,6 кГц, Россия) 68,25 кГц – 68,75 кГц (68,5 кГц, Китай) 77,25 кГц – 77,75 кГц (77,5 кГц, Германия) 99,75 кГц – 102,5 кГц (100 кГц, Китай) 157,5 кГц – 166,5 кГц (162 кГц, Франция)	Амплитудная модуляция (BCD)	Часы, которые периодически получают цифровые сигналы стандартного времени от станций передачи стандартных частот и сигналов времени для синхронизации и настройки собственного времени
Пульсационный контроль		128,6 кГц – 129,6 кГц (129,1 кГц, Европа) 138,5 кГц – 139,5 кГц (139 кГц, Европа)	–	Радиосистемы для контроля нагрузки/спроса на электроэнергию, которые передают сообщения по электрораспределительной системе
Системы автоматического предупреждения для защиты поездов	Системы автоматической остановки поездов (ATS)	10 кГц – 250 кГц (Япония)	–	Системы электросвязи, которые подают электрический ток в катушки, установленные вдоль железнодорожных путей, и обнаруживают электрический ток, индуцируемый в катушках, установленных на поездах, для управления поездами
		425 кГц – 524 кГц (Япония)	–	
	Системы индукционной поезда радиосвязи (ITRS)	100 кГц – 250 кГц (Япония) 80 кГц, 92 кГц (Япония, только один маршрут)	–	Системы передачи сигналов, использующие индукционную связь между линией передачи, установленной вдоль железнодорожных путей и т. д., и антеннами, установленными на поездах
Любительская радиосвязь		135,7 кГц – 137,8 кГц 472 кГц – 479 кГц	Амплитудная модуляция, частотная модуляция, ОБП и т. д.	Системы любительской службы, определяемые в пункте 1.56 Регламента радиосвязи для целей самообучения в области связи и для технических исследований, проводимых радиолюбителями
Морская радиосвязь		90 кГц – 110 кГц (LORAN) 424 кГц, 490 кГц, 518 кГц (NAVTEX) 495 кГц – 505 кГц (NAVDAT)	Импульсная модуляция, частотная модуляция и т. д.	Радиосистемы, обеспечивающие безопасность эксплуатации судов и т. п., используемые в порту и в гавани или в море
АМ-радиовещание		148,5 кГц – 283,5 кГц (Район 1) 525 кГц – 526,5 кГц (Район 2) 526,5 кГц – 1606,5 кГц (всемирная) 1605,5 кГц – 1705 кГц (Район 2)	Амплитудная модуляция	Системы для службы звукового радиовещания с приемниками, которые используют НЧ- и СЧ-диапазоны

В результате обследования действующих систем радиосвязи был сделан вывод, что для оценки воздействия БПЭ для зарядки пассажирских электромобилей с использованием полосы частот 79–90 кГц должны быть выбраны следующие четыре действующие системы/службы:

- служба стандартных частот и сигналов времени (SFTS);
- железнодорожные радиосистемы (10 кГц – 250 кГц);
- любительские радиослужбы (135,7 кГц – 137,8 кГц);
- службы СЧ-радиовещания (526,5 кГц – 1606,5 кГц).

В Японии железнодорожные радиосистемы работают в уникальной среде. Их четкая классификация в Регламенте радиосвязи Японии отсутствует. Однако РГ (см. пункт А7.1) решила провести оценку железнодорожных систем радиосвязи, потому что это вопрос безопасности, связанный с предотвращением несчастных случаев для пользователей услуг железных дорог.

A7.4.2 Воздействие на службы радиовещания

A7.4.2.1 Исследования по воздействию, зафиксированные в Отчете МСЭ-R SM.2303

В разделе 7.2 Отчета МСЭ-R SM.2303 описываются следующие два подхода к исследованию по воздействию на службы звукового радиовещания в СЧ-диапазоне.

- 1 Подход, предложенный экспертами по радиовещанию ЕРС и МСЭ-R. Этот подход основан на критериях защиты радиовещательных служб, приведенных в Рекомендациях МСЭ-R BS.560 и BS.703. Исследование по воздействию было сосредоточено на состоянии радиосреды при применении минимальной чувствительности приемника звукового АМ-радиовещания для целей планирования. Можно предположить, что в соответствующих зонах будет иметь место низкая напряженность поля сигналов радиовещания. Максимально допустимые магнитные поля в радиовещательных приемниках диапазонов НЧ и СЧ были получены с использованием критериев РЧ-защиты радиовещательных служб, приведенных в соответствующих Рекомендациях и Отчетах МСЭ-R. Подробности содержатся в пункте 7.2.1 Отчета МСЭ-R SM.2303.
- 2 Подход, предложенный Японией. В исследовании по воздействию, проведенном Японией, основное внимание уделяется состоянию радиосреды в городских районах, сравнимых с экологической категорией "город" из Рекомендации МСЭ-R P.372-13, где можно предположить наличие высоких и средних уровней шума окружающей среды и высоких и средних уровней напряженности поля звуковых радиовещательных сигналов. Основным условием сосуществования в этом исследовании по воздействию является гарантия того, что напряженность поля мешающего излучения от систем БПЭ будет ниже уровня шума окружающей среды, указанного в Рекомендации МСЭ-R P.372-13. Наконец, был определен предельный уровень излучения в $-2,0$ дБмкА/м на расстоянии 10 м от систем БПЭ в соответствии с регламентом Японии, с учетом фактического расстояния разноса, потерь при распространении, вызванных стенами домов и зданиями, и запаса со стороны производителей на неопределенность на этапах проектирования и испытания. Этот подход был проверен с помощью аналитического исследования излучений, измерения уровней излучения и проверки слышимости с использованием испытательного оборудования БПЭ и радиовещательных СЧ-приемников. Подробности содержатся в пункте 7.2.2 Отчета МСЭ-R SM.2303.

A7.4.2.2 Условия сосуществования между системами БПЭ для электромобилей и службами звукового СЧ-радиовещания

При определении условий сосуществования необходимо принять во внимание следующие аспекты.

- Напряженность поля мешающих излучений от систем БПЭ должна быть меньше уровня шума окружающей среды, указанного в Рекомендации МСЭ-R P.372-13 для различных категорий среды радиосвязи, на входе антенны радиоприемника.
- Каждая администрация должна определить предельные уровни излучения, предписывая минимально необходимое расстояние разноса между системами БПЭ и радиовещательными приемниками с учетом потерь при распространении, вызванных стенами домов и зданиями, и других факторов, включая запас со стороны производителей на неопределенность на этапах проектирования и испытания.

Причины вышеизложенного описываются ниже.

В таблице А7-3 приведен пример различных категорий среды радиосвязи и условий сосуществования систем БПЭ со службами звукового СЧ-радиовещания, которые характеризуются расстоянием разноса, потерями при распространении, вызванными стенами домов и зданиями, запасом на неопределенность при проектировании и испытаниях, напряженностью Н-поля, создаваемого системами БПЭ, и уровнями шума окружающей среды. Уровни шума окружающей среды в нижней строке таблицы А7-3 рассчитаны в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372-13, в которой классифицируются типы радиосреды: "город", "жилой район", "сельская местность" и "тихая сельская местность".

В исследовании по воздействию РГ использовала среду "город", предполагая сосуществование в ближайшем будущем БПЭ для электромобилей со средой СЧ-радиовещательной службы; для этой среды был получен расчетный уровень шума $-25,5$ дБмкА/м. С другой стороны, для среды "тихая

сельская местность" был получен уровень шума $-48,5$ дБмкА/м, что практически совпадает с предельным уровнем излучения $-47,5$ дБмкА/м, предложенным специалистами по радиовещанию EРС/МСЭ-R, как указано в пункте 7.2.1 Отчета МСЭ-R SM.2303. Несмотря на то что два подхода EРС и Японии различаются, результирующие предельные уровни излучения, полученные с помощью этих подходов для тихой сельской местности, считаются согласованными между собой.

Можно установить требуемое минимальное расстояние разноса для каждой среды радиосвязи, чтобы напряженность Н-поля излучения от систем БПЭ в радиоприемнике была ниже уровня шума окружающей среды. В проведенном Японией исследовании по разработке национального регуляторного положения для систем БПЭ-ЭМ предполагались следующие условия, как описывается в пункте 7.2.2 Отчета МСЭ-R SM.2303.

- Собственные помехи выходят за рамки данного исследования по воздействию. Понятие "собственные помехи" означает, что БПЭ-система владельца создает помехи его собственному звуковому СЧ-радиовещательному приемнику.
- Приемники звукового СЧ-радиовещания расположены внутри домов или зданий. С другой стороны, система БПЭ для ЭМ находится за пределами домов или зданий. Следует учитывать потери при распространении, вызванные стенами домов, которые по результатам исследований в Японии оцениваются в 10 дБ.
- Расстояние разноса между системой БПЭ и звуковым СЧ-радиовещательным приемником составляет 10 м в предположении, что ближайший соседний дом находится на расстоянии более 10 м от дома владельца системы БПЭ в зоне "город".
- Рассмотрен запас производителей на неопределенность на стадии проектирования и испытаний. Полученное значение было поддержано, потому что производители обычно учитывают запас на неопределенность в 10 дБ или более, чтобы гарантировать их характеристики излучения на стадии проектирования и испытаний в целях соблюдения нормативных предельных уровней для 100% своей продукции. Оценка запаса на неопределенность по результатам измерений разработанных систем БПЭ составила 14 дБ.

Поэтому в новом регуляторном положении для систем БПЭ-ЭМ в Японии в диапазоне частот служб звукового СЧ-радиовещания был определен предельный уровень излучения $-2,0$ дБмкА/м на расстоянии 10 м.

С учетом соответствующего расстояния разноса это регуляторное положение может применяться и к радиосреде, отличной от среды "город". Производителям БПЭ следует постоянно принимать соответствующие меры по снижению помех, чтобы уменьшить помехи до уровня ниже допустимого во избежание вредного воздействия на радиовещательные службы в пригородных и сельских районах. В случае если система БПЭ создает неприемлемые помехи приемникам, радиоадминистрации должны принять необходимые регуляторные меры/распоряжения для прекращения работы систем БПЭ, причиняющих вредные помехи другим действующим радиосистемам.

Принимая во внимание японскую регуляторную норму в $-2,0$ дБмкА/м на расстоянии 10 м и другие факторы, включая потери при распространении и запас на неопределенность, сосуществование систем БПЭ для электромобилей с радиовещательными службами может быть достигнуто путем установления подходящих расстояний разноса 13 м, 16 м и 35 м соответственно для категорий радиосреды "жилой район", "сельская местность" и "тихая сельская местность".

Результаты исследований показывают, что сосуществование может быть достигнуто для любой радиосреды путем установления подходящих расстояний разноса между системами БПЭ для электромобилей и приемниками звукового СЧ-радиовещания.

ТАБЛИЦА А7-3

Пример условий сосуществования систем БПЭ с радиовещательными службами

Категории радиосреды в Рек. МСЭ-R P.372-13	А (город)	В (жилой район)	С (сельская местность)	Д (тихая сельская местность)	Примечания
(1) Пределы излучения на расстоянии 10 м (дБмкА/м)	-2,0	-2,0	-2,0	-2,0	Пределы излучения в СЧ-диапазоне для систем БПЭ-ЭМ в регламенте Японии
Расстояние разноса (м)	10	13	16	35	Расстояние разноса 10 м определяется как результат исследования по воздействию в городских районах. Расстояния разноса в жилых районах, сельской и тихой сельской местности указаны только для справок
(2) Ухудшение из-за расстояния разноса (дБ)	0	4,8	8,6	22,9	В японском радиорегламенте коэффициент преобразования при изменении расстояния от 10 м до 30 м в СЧ-диапазоне радиовещательной службы составляет 1/10 (= 20 дБ). Из этого соотношения (правило 2,1-й степени) следует, что коэффициент при изменении расстояния от 10 м до 15 м составляет 1/2,3 (= 7,2 дБ), а коэффициент при изменении расстояния от 10 м до 20 м составляет 1/4,3 (= 12,7 дБ)
(3) Потери распространения, вызванные стенами домов и зданиями (дБ)	10	10	10	10	На основании отчета Японии по итогам конференции круглого стола МСЭ, посвященной предсказаниям в СЧ-радиовещании (декабрь 1983 года)
(4) Запас от производителей на неопределенность на стадии проектирования испытаний (дБ)	14	14	14	14	Оценка по результатам измерений разработанных систем БПЭ-ЭМ в Японии
(5) Фактическая напряженность излучения Н-поля в АМ-радиоприемнике (дБмкА/м)	-26,0	-30,8	-34,6	-48,9	Рассчитывается по формуле: (5) = (1) - (2) - (3) - (4)
Уровень шума окружающей среды	-25,5	-30,5	-34,8	-48,5	Рассчитывается на 500 кГц по формуле (7) и согласно рисунку 10 из Рек. МСЭ-R P.372-13

А7.4.3 Воздействие на службы стандартных частот и сигналов времени (SFTS)

Устройства БПЭ, излучение которых ниже предельных уровней излучения, указанных в таблице А7-4, не будут вызывать вредных помех, которые определяются отношением C/I , полученным при минимальной чувствительности радиоуправляемых часовых устройств, использующих службы SFTS, в согласованных случаях применения. Для оценки воздействия на эти устройства было согласовано и использовано расстояние разноса в 10 м. Кроме того, принимались во внимание период времени работы устройства для приема сигналов службы SFTS, который не перекрывается с работой БПЭ, отличие направлений распространения волн SFTS и ожидаемое улучшение приемных характеристик этих устройств в будущем. Тем самым подтверждено, что воздействие систем БПЭ на радиоуправляемые часы достаточно слабое и не будет создавать вредных помех. Подробное описание приведено в нижеследующих пунктах а)–д).

ТАБЛИЦА А7-4

Исследование предельных уровней излучений систем БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц в Японии

	Пределы излучения
Полоса частот БПЭ (полоса частот, используемая для передачи энергии), 79–90 кГц	68,4 дБмкА/м на расстоянии 10 м при мощности передачи 3 кВт 72,5 дБмкА/м на расстоянии 10 м при мощности передачи 7,7 кВт
Полоса частот 526,5–1606,5 кГц (полоса частот служб СЧ-радиовещания)	-2,0 дБмкА/м на расстоянии 10 м
Другие полосы частот до 3 МГц, кроме полосы 526,5–1606,5 кГц	23,1 дБмкА/м на расстоянии 10 м

а) Передача сигналов SFTS в Японии

На рисунке А7-2 показано покрытие службы SFTS с уровнем сигнала, передаваемого с двух передающих вышек, расположенных в восточной (Восточная вышка в префектуре Фукусима) и западной (Западная вышка в префектуре Сага) частях Японии. Восточная вышка передает сигналы SFTS на частоте 40 кГц, а Западная – на частоте 60 кГц. Радиоуправляемые часы могут принимать сигналы SFTS в любой точке страны, даже на дальних островах, при уровне сигнала, превышающем минимальную напряженность электрического поля в 50 дБмкВ/м.

РИСУНОК А7-2

Передачи SFTS, охватывающие всю Японию



Источник: NICT

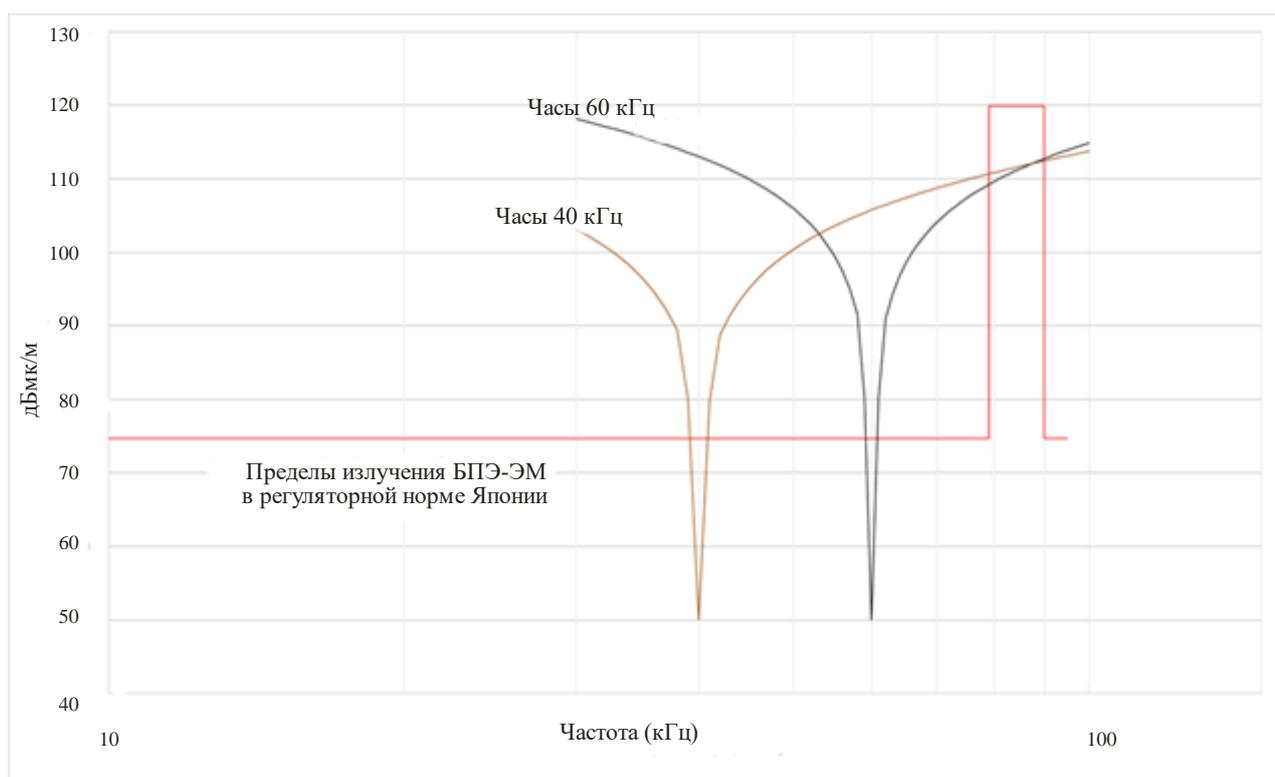
<<http://jjy.nict.go.jp/mission/page4.html#hyojun>>

б) Создаваемые системами БПЭ помехи радиуправляемым часовым устройствам, принимающим сигналы SFTS

На рисунке А7-3 показаны предельные уровни излучения БПЭ-ЭМ и допустимая напряженность поля помех для приемников SFTS в рассматриваемой полосе частот. Предполагается, что приемник принимает сигнал SFTS с напряженностью поля 50 дБмкВ/м (то есть на минимальном уровне чувствительности приемника), когда характеристики приемника определяются по результатам измерений коммерческих радиуправляемых часов, принимающих сигналы SFTS с частотой 40/60 кГц. Этот рисунок предполагает, что сигналы SFTS 40/60 кГц, принимаемые с уровнем ниже 50 дБмкВ/м, могут быть заблокированы излучением системы БПЭ-ЭМ, работающей в полосе 79–90 кГц и создающей поле напряженностью выше 110 дБмкВ/м. У серийных радиуправляемых часов некоторых широко распространенных моделей могут возникнуть проблемы, вызванные низкой помехоустойчивостью и недостаточной избирательностью приемников по частоте.

РИСУНОК А7-3

Предельные уровни излучения БПЭ-ЭМ и допустимая напряженность поля помех для приемников SFTS



Report SM.2451-A7-03

с) Распределение сигналов времени по данным, получаемым от SFTS, для корректировки часов

Радиуправляемые часы автоматически получают данные от SFTS, чтобы поддерживать настройку собственного времени по эталонному времени. В таблице А7-5 показано плановое распределение сигналов времени для автоматической корректировки времени нескольких серийных устройств. Чтобы с уверенностью получать данные каждые сутки, часы всех компаний принимают данные в промежуток времени с 2:00 до 5:00.

ТАБЛИЦА А7-5

Плановое распределение сигналов времени для автоматической настройки часов

		Время начала приема сигналов времени																							
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Часы 1	Компания А															○	△	△							
Часы 2																○		△							
Часы 3																○		△							
Часы 4	Компания В															○		△							
Часы 5																○		△							
Часы 6	Компания С														○	△	△	△	△						
Часы 7															○	△	△	△	△						
Часы 8															○	△	△	△	△						
Часы 9	Компания Д	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Часы 10		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Часы 11				○				○				○				○		○			○			○	
Часы 12	Компания Е			○				○				○				○		△			○			○	
Часы 13				○				○				○				○		△			○			○	
Часы 14				○				○				○				○		△			○			○	
Часы 15	Каждые 3 часа																								
Часы 16	Компания F	△	△	△												○	△	△							
Часы 17				○				○				○				○		○			○			○	
Часы 18				○				○				○				○		○			○			○	

ПРИМЕЧАНИЕ. – Кружками обозначены "первичные, плановые корректировки времени", а треугольниками – "вторичные, резервные корректировки времени".

d) Соображения о воздействии БПЭ-ЭМ на услуги SFTS

Потенциальное воздействие на характеристики приемника сигналов SFTS и меры по его смягчению

Характеристики приемников радиуправляемых часов, принимающих сигналы SFTS, могут ухудшиться ввиду блокировки приемника излучением системы БПЭ в ее рабочей полосе частот из-за недостаточной чувствительности устройств, принимающих сигналы SFTS. Следует отметить, что это может происходить лишь тогда, когда плановое время приема сигналов SFTS совпадает с периодом беспроводной зарядки электромобилей. Таким образом, воздействие вредных помех не будет продолжаться за пределами периода наложения. Для решения проблем блокировки приемников SFTS могут с успехом использоваться программы регулирования времени зарядки с помощью БПЭ.

Согласованная структура совместимости БПЭ-ЭМ с радиуправляемыми часами

В Рабочей группе (см. пункт А7.1) активные сторонники БПЭ-ЭМ и представители индустрии радиуправляемых часов достигли консенсуса в отношении структуры совместимости этих двух технологий. В основе лежит тот факт, что БПЭ-ЭМ с предлагаемыми предельными уровнями мощности излучения 68,4 дБмкА/м в диапазоне 85 кГц (79–90 кГц) можно использовать при том, что практически по всей Японии применяются радиуправляемые часы, рассчитанные на частоту 40/60 кГц. Были тщательно рассмотрены и согласованы следующие пункты.

- Требование минимальной принимаемой напряженности поля в 50 дБмкВ/м может быть ослаблено примерно на 10 дБ.
- Период времени беспроводной зарядки электромобилей не всегда перекрывается с временем приема сигналов SFTS радиуправляемыми часами.
- Направление поступления сигналов SFTS с максимальной напряженностью поля на входе приемника не всегда совпадает с основным направлением излучения устройств БПЭ.
- В руководстве по устройству БПЭ или на самом устройстве БПЭ должна быть размещена следующая инструкция или ее эквивалент: "Возможно причинение вредных электромагнитных помех для радиуправляемых часовых устройств, принимающих сигналы SFTS".

А7.4.4 Влияние на любительские радиослужбы

Полоса частот БПЭ-ЭМ 79–90 кГц не перекрывается и имеет достаточный разнос по частоте с заданной полосой частот любительской радиослужбы. Поэтому подавление (внеполосное) чувствительности приемника помехами не принимается во внимание. Возможно, потребуется учитывать мощность излучения гармоник (побочного излучения) от БПЭ в том случае, если они попадают в полосы частот

для любительских радиослужб. Допущения, сделанные для систем БПЭ-ЭМ в кандидатной полосе частот, показывают приемлемые параметры систем и рабочие характеристики для демонстрации возможных безвредных помех для любительской радиосвязи. Подробное описание исследования по воздействию приведено в пункте 7.1.1 Отчета МСЭ-R SM.2303.

A7.4.5 Воздействие на железнодорожные системы радиуправления

В исследованиях по воздействию на железнодорожные радиосистемы рассматривались и обсуждались уровни вредных помех в реальных случаях использования с помощью моделирования и измерений. В ходе обсуждений учитывались следующие условия:

- Полоса частот БПЭ не перекрывается с полосами, используемыми железнодорожными системами радиосвязи, включая системы автоматической остановки поездов (ATS) и системы индукционной поездной радиосвязи (ITRS).
- Расстояние разнеса с устройствами ATS/ITRS, при котором система БПЭ не создает вредных помех, должно быть меньше наиболее критического порога, указанного в стандартах на строительство железнодорожных систем (приблизительно 1,5 м).

Как показывают результаты этого исследования по воздействию, расстояние разнеса, необходимое для выполнения условия, превышает 5 м для ATS и 45 м для ITRS. Однако ITRS, для которой используется та же полоса частот, что и для БПЭ-ЭМ, работает в очень специфических и локально ограниченных областях. Воздействие на ITRS может быть ослаблено путем взаимодействия между отраслями БПЭ и эксплуатационной службой железных дорог. Поэтому Рабочая группа по разработке правил БПЭ в МСЭ приняла решение, что вышеупомянутое расстояние разнеса не должно применяться к новым регуляторным положениям Японии, касающимся БПЭ. В результате обсуждений в японских регуляторных положениях, касающихся БПЭ, было четко прописано условие, согласно которому системы БПЭ-ЭМ должны быть расположены на расстоянии более 5 м от железнодорожных путей. Подробное описание исследования по воздействию приведено в пункте 7.1.1 Отчета МСЭ-R SM.2303.

Приложение 8

Анализ воздействия систем БПЭ на радиовещательные службы

A8.1 Справочная информация

Предполагается, что пункты зарядки с индукционной передачей энергии до десятков или сотен киловатт получают широкое распространение. Многие из них будут работать или излучать гармоники в полосе НЧ-радиовещания от 148,5 до 283,5 кГц, в полосе СЧ-радиовещания от 526,5 до 1606,5 кГц и в полосе ВЧ-радиовещания от 2,3 до 26,1 МГц. Зарядка при этих мощностях в непосредственной близости от домашних и мобильных пользователей услуг радиосвязи в указанных полосах создает значительную потенциальную угрозу для приема радиопередач НЧ- и СЧ-диапазонов. Сведения о передатчиках НЧ- и СЧ-радиовещания в Европе, Африке и странах Ближнего Востока можно найти в Прилагаемом документе 1 к Приложению 8. Сведения о передачах СЧ-радиовещания в частях Района 2 приведены в Прилагаемом документе 2 к Приложению 8.

Важно отметить, что системы БПЭ не должны создавать вредных помех радиослужбам, работающим в выделенных им полосах. Этот принцип закреплен в Статьях **15.12** и **15.13** Регламента радиосвязи.

Совершенно ясно и не без оснований, что радиослужбы, работающие в соответствии с Регламентом радиосвязи в выделенных им полосах, подлежат лицензированию, и их работа обычно тщательно регулируется; как таковые, они не должны подвергаться воздействию вредных помех со стороны устройств БПЭ, работающих без какого-либо особого нормативного статуса. Конструкция и эксплуатация систем БПЭ должны соответствовать этому принципу.

A8.2 Факторы, влияющие на интенсивность помех

Прежде чем рассматривать то, каким образом устройства БПЭ могут создавать помехи и как их в конечном счете контролировать, стоит кратко пояснить, что именно представляют собой "вредные помехи". Например, аналоговая АМ-радиосвязь плохо защищена, и довольно небольшие уровни помех способны ухудшить слышимость до недопустимых уровней. Степень, в какой такие помехи являются "вредными", зависит от ряда психоакустических факторов, а также от уровня принимаемого сигнала и варьируется от слушателя к слушателю. Однако в результате работы, проведенной в МСЭ, были установлены допустимые предельные уровни помех. Некоторые другие радиослужбы могут работать в неблагоприятных условиях распространения и во многих случаях рассчитаны на это. Такие системы обычно хорошо защищены – по крайней мере, от воздействия определенных типов помех.

Некоторая часть радиочастотной энергии, генерируемой любым устройством БПЭ, вероятно, выходит наружу и приводит к излучению рассеянных электромагнитных (ЭМ) полей, которые могут создавать помехи радиослужбам. Мешающие излучаемые электромагнитные поля могут иметь частоту, равную или близкую к частоте магнитного резонанса работы устройства БПЭ, или некоторую другую частоту, вполне возможно, гармонически связанную с первой. Если не принимать в расчет способности системы или приемника защищаться от помех, существует ряд факторов, определяющих, насколько эти помехи серьезны, чтобы их можно было считать вредными. Вот основные факторы, часть из которых включена для полноты картины и ввиду актуальности для БПЭ:

- выходная мощность устройства БПЭ;
- расстояние разноса;
- прерывистость работы;
- направленность антенны;
- потери на входе в здание; и
- выравнивание поляризации.

Краткое объяснение каждого из них приведено в Прилагаемом документе 3 к Приложению 8.

A8.3 Комментарий и приложение к системам БПЭ и радиовещательным приемникам

Если рассмотреть конкретный случай, когда приемник АМ-радиовещания (в диапазонах НЧ, СЧ или ВЧ) испытывает помехи от устройства БПЭ, то значимыми факторами будут уровни напряженности электромагнитных полей рассеяния в рабочей полосе частот радиоприемника (обычно содержащих сочетание излучения на номинальной рабочей частоте БПЭ плюс ее гармоники и, возможно, также шумоподобное излучение) и физический разнос между приемником и системой БПЭ-ЭМ.

В случае оборудования БПЭ, предназначенного для зарядки электромобилей (БПЭ-ЭМ), его работа обычно продолжается в течение длительного периода времени, поэтому помехи следует рассматривать как постоянные и, таким образом, не может быть никакого ослабления требований защиты, обусловленного прерывистостью работы⁵. Маловероятно, что направленность излучения от систем БПЭ-ЭМ (особенно на частотах, отличных от основной) можно контролировать, а в еще меньшей степени – направлять в сторону от местоположения любого находящегося поблизости радиовещательного приемника, так что здесь никакое ослабление требований невозможно. Точно так же маловероятно, что поляризацию излучения систем БПЭ-ЭМ (и опять-таки особенно гармоник) можно контролировать, поэтому данную ситуацию также следует рассматривать как "наихудший случай".

Большинство рабочих полос систем БПЭ не совпадает ни с одной из полос радиовещания⁶, и, следовательно, излучение на этих рабочих частотах само по себе вряд ли вызовет вредные помехи

⁵ Новостные бюллетени Би-Би-Си часто имеют продолжительность не более двух минут, а программы, вызывающие общественный интерес, обычно длятся полчаса. Допустимость непрерывного фонового свиста для слушателя составит, вероятно, не более нескольких секунд, после чего он перенастроится на другую (конкурирующую) радиостанцию.

⁶ Если только гармоники рабочей частоты не участвуют в процессе передачи энергии.

радиовещательным службам. Однако возможно, что излучение на гармонически связанных частотах может попадать в полосы радиовещания НЧ (от 148,5 до 283,5 кГц), СЧ (от 526,5 до 1606,5 кГц) или ВЧ (несколько поддиапазонов от 3,2 до 26,1 МГц).

А8.4 Предельно допустимые значения напряженности поля

Предлагаемые предельные уровни магнитных полей, создаваемых индукционными устройствами малой мощности, работающими на коротких расстояниях, приведены в разных публикациях (например, в ERC REC 70-03 для предельных уровней внутриполосного излучения, в ERC REC 74-01 для предельных уровней побочных излучений, CISPR11 и т. д.). Очевидно, что ни один из этих предлагаемых предельных уровней не защищает радиослужбы при любых обстоятельствах. На самом деле указанные уровни явно неадекватны, поскольку известно, что случаи вредных помех имеют место. Тот факт, что эти случаи редки, является результатом различных смягчающих факторов, таких как прерывистость использования, плотность развертывания и расстояние разнесения между источниками и объектами помех, которые до сих пор эффективно работали, ограничивая степень и критичность помех до "допустимых" уровней. Нет никаких свидетельств в поддержку утверждения, что принятие предельных уровней, разработанных для маломощных индукционных применений с прерывистым режимом использования, окажется достаточным для мощных индукционных систем передачи энергии, таких как БПЭ-ЭМ.

Определение максимально допустимого уровня помех на входе АМ-радиоприемника

Таким образом, необходимо установить соответствующие предельные уровни, исходя из основных принципов электромагнитной совместимости. Первым этапом получения допустимых предельных уровней напряженности поля является оценка напряженности полезного и мешающего полей на входе радиоприемника независимо от расстояния до источника помех.

Максимально допустимый уровень любого мешающего магнитного поля для того, чтобы приемник АМ-радиовещания продолжал работать надлежащим образом при уровнях сигнала, позволяющих сохранять удовлетворительное качество звука и слышимость в планируемой зоне обслуживания, можно определить из Рекомендаций МСЭ-R BS.703. и МСЭ-R BS.560:

- диапазон 5 (НЧ) (148,5 – 283,5 кГц): –45,0 дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ) (526,5 – 1606,5 кГц): –51,0 дБмкА/м; (А)
- диапазон 7 (ВЧ) (3,2 – 26,1 МГц)⁷: –71,0 дБмкА/м.

Подробный расчет приведен в Прилагаемом документе 4 к Приложению 8.

Маскирование шумом

Дальнейшие исследования, проведенные компанией Би-Би-Си и подробно описанные в Прилагаемом документе 7 к Приложению 8, показывают, что системный шум – сочетание шума окружающей среды (естественного и промышленного) и шума приемника – может маскировать воздействие стабильного синусоидального источника помех. Для приемника с теми же характеристиками, какие указаны в Рекомендации МСЭ-R BS.703 [15], маскирующий эффект системного шума повысит допустимый уровень любого мешающего магнитного поля на 8 дБ. Тогда цифры (А) можно заменить следующими:

- диапазон 5 (НЧ): –37,0 дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): –43,0 дБмкА/м;
- диапазон 7 (ВЧ)⁷: –63,0 дБмкА/м.

⁷ Диапазон ВЧ-радиовещания (диапазон 7) разделен на 14 поддиапазонов: 2,30–2,495; 3,20–3,40; 3,90–4,00; 4,75–5,06; 5,80–6,20; 7,20–7,45; 9,40–9,90; 11,60–12,10; 13,57–13,87; 15,10–15,83; 17,48–17,90; 18,90–19,02; 21,45–21,85 и 25,60–26,10 (все в МГц).

Разнос между приемником и источником помех

Следующий этап в процессе определения возможности сосуществования состоит в том, чтобы установить, какие необходимы допущения относительно расстояния разноса, используемого для оценки предельных уровней излучения и диапазона расстояний разноса, которые могут встретиться на практике, наряду с факторами, влияющими на распространение волн между источником помех и радиовещательным приемником. Это зависит от сценариев использования БПЭ-ЭМ.

Таким образом, допустимые предельные значения напряженности поля в месте расположения приемника можно оценить по предлагаемым предельным уровням излучения на контрольном расстоянии от источника помех. Согласно теории электромагнитного поля, напряженность поля помех изменяется пропорционально кубу расстояния от источника. Увеличение расстояния в десять раз приведет к снижению напряженности поля на 60 дБ. По соглашению, напряженность магнитного поля индукционных устройств определяется на 10-метровом эталонном или измерительном расстоянии, но нельзя ожидать, что расстояние разноса между радиовещательным приемником и устройством БПЭ действительно будет составлять 10 м. Например, в случае домашнего зарядного устройства для электромобилей более реалистичное расстояние разноса для оценки совместимости составляет 3 м, а может быть, даже меньше. Обоснование этой цифры приведено в Прилагаемом документе 5 к Приложению 8.

Поэтому важно, чтобы предельные уровни, установленные ранее для максимально допустимой напряженности магнитного поля помех на входе приемника, действовали на расстоянии 3 м от системы БПЭ-ЭМ. Приведение этого значения к эталонному расстоянию измерения в 10 м от зарядного устройства (то есть на 7 м дальше от приемника с противоположной стороны от зарядного устройства) даст уменьшение уровня помех примерно на 31 дБ, поскольку на этих расстояниях напряженность магнитного поля уменьшается пропорционально кубу расстояния (60 дБ на декаду).

Вычитание 31 дБ из цифр (А) дает предельный уровень излучения от установки БПЭ-ЭМ, измеренный на расстоянии 10 м:

– диапазон 5 (НЧ): (–45,0 – 31,0)	= –76,0 дБмкА/м;	
– диапазон 6 (СЧ): (–51,0 – 31,0)	= –82,0 дБмкА/м;	(В)
– диапазон 7 (ВЧ): (–71,0 – 31,0)	= –102,0 дБмкА/м.	

Или, с учетом ослабления на 8 дБ благодаря маскированию шума:

– диапазон 5 (НЧ):	–68,0 дБмкА/м;	
– диапазон 6 (СЧ):	–74,0 дБмкА/м;	(В bis)
– диапазон 7 (ВЧ):	–94,0 дБмкА/м.	

Ясно, что было бы "проблематично" измерять уровни напряженности поля такой величины напрямую, поэтому их нужно измерять на более близком расстоянии и снова "корректировать" с использованием правила расстояния 60 дБ на декаду.

Географическое местоположение

Работа радиовещательных АМ-передатчиков регулируется МСЭ. В Районах 1 и 3 соответствующим инструментом является Женевский план частотных присвоений 1975 года (GE75), а в Районе 2 – План частотных присвоений Рио-де-Жанейро 1981 года (RJ81). Следует подчеркнуть, что все приведенные выше цифры рассчитаны для приемника, работающего в любой точке планируемой зоны обслуживания, которая защищается этими соглашениями. Везде, где это возможно, радиовещательные компании планируют свои услуги таким образом, чтобы крупные населенные пункты получали сигнал, уровень которого превышает минимальные плановые цифры. И наоборот, можно сочетать эти целевые показатели с наименьшей напряженностью поля на границе планируемой зоны обслуживания в гораздо менее населенных сельских районах, где уровень излучаемого шума обычно меньше. Кроме того, в любом месте может присутствовать сочетание сильных сигналов от передатчиков, находящихся относительно близко, и более слабых сигналов от дальних передатчиков. Предполагается, что система БПЭ, особенно для целей зарядки ЭМ, пригодна для использования в любом месте и, следовательно, должна соответствовать критериям защиты самых слабых используемых сигналов.

Дальнейшие исследования и методы смягчения

Согласованные Планы GE75 и RJ81 распределяют рабочие частоты для НЧ- и СЧ-передатчиков таким образом, чтобы они не создавали помех друг другу, на основе таких факторов, как географический разнос, мощность передатчика и характеристики антенны. В основе этих планов лежат вышеупомянутые Рекомендации МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560. Важно отметить, что региональные планы присвоений частот устанавливают рабочие частоты передатчиков в сетке или в растре; в соответствии с Планом GE75 каждая (несущая) частота кратна 9 кГц, а в соответствии с Планом RJ81 – кратна 10 кГц; полосы разделены на каналы⁸. Это означает, что любые помехи, испытываемые одним передатчиком от другого, всегда будут иметь ту же несущую частоту или отделены от нее по меньшей мере на величину, кратную 9 кГц или 10 кГц. Повторное использование частот также организовано с учетом географического разноса, так что сигнал от источника помех в совмещенном или соседнем канале будет ослаблен расстоянием от зоны обслуживания полезного сигнала.

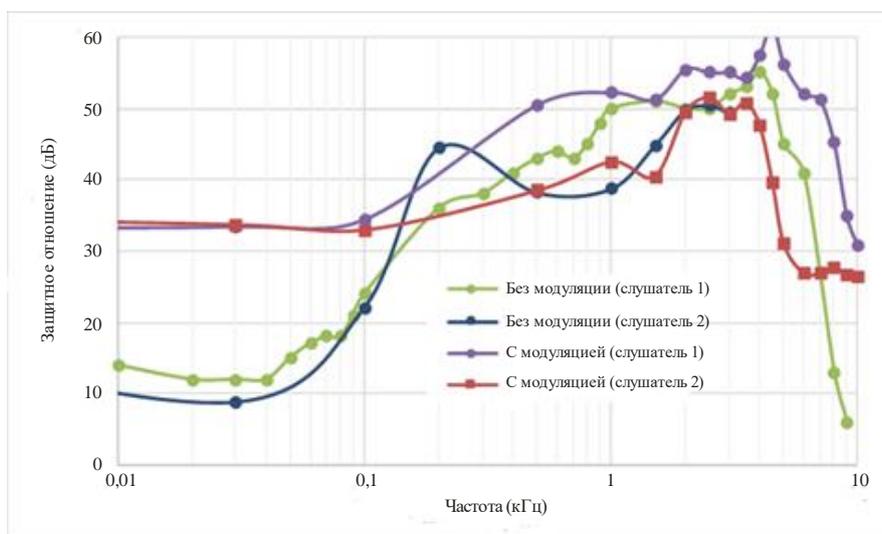
Существенным преимуществом нахождения всех несущих в общем растре является то, что в этом случае воздействие помех в совмещенном канале уменьшается на величину до 16 дБ по сравнению с произвольным подходом к выбору частот. На рисунке 1 Рекомендации МСЭ-R BS.560⁹ видно, что относительное защитное отношение между различными станциями всегда равно нулю или более; при этом вредное воздействие помех будет в значительной степени ослаблено.

Тот же принцип можно применить и к системе БПЭ, если выбрать и зафиксировать ее рабочую частоту кратной 9 кГц или 10 кГц. Когда рабочая частота выбрана таким образом, любые гармоники также (автоматически) попадают в растр частот радиовещания. В ноябре 2017 года компания Би-Би-Си провела испытания для исследования субъективных воздействий, вызванных помехами от немодулированной несущей, находящейся в растре или вне его. Эти испытания описываются в документе BBC Research and Development White Paper WHP 332, November 2017 – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception, приведенном в Прилагаемом документе 6 к Приложению 8.

На рисунке А8-1 воспроизведен соответствующий график из отчета Би-Би-Си.

РИСУНОК А8-1

Требуемые защитные отношения при модулированных и немодулированных помехах



Report SM.2451-A8-01

⁸ Несущая частота "нижнего" канала в диапазоне НЧ составляет 153 кГц и занимает промежуток от 148,5 кГц до 157,5 кГц. Следующий канал имеет частоту 162 кГц и занимает промежуток от 157,5 кГц до 166,5 кГц и т. д.

⁹ Воспроизведен в Прилагаемом документе 4 к Приложению 8.

Помимо подтверждения более ранних расчетов допустимой напряженности поля, данное исследование показывает, что если рабочая частота БПЭ и ее гармоники¹⁰ представляют собой простые синусоиды (немодулированные) и близки к растровым частотам вещания, то они могут быть на 22 дБ сильнее (в дополнение к 16 дБ из Рекомендации МСЭ-R BS.560, то есть в общей сложности сильнее на 38 дБ), не оказывая ощутимого на слух вредного воздействия на демодулированный звук приемника. Однако если источник помех недостаточно близок к частоте раstra, то по-прежнему применимы положения Рекомендаций МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560.

Смещение между каждой значимой гармоникой и соответствующей частотой раstra должно быть менее примерно ± 50 Гц. Если наивысшая значимая гармоника, например, 12-я, то основную частоту необходимо установить и контролировать в пределах около 4 Гц. В случае устройства БПЭ средней мощности, работающего в полосе от 79 кГц до 90 кГц, если все гармоники будут кратны 9 кГц (Районы 1 и 3), это ограничивает выбор основной частоты значениями 81 кГц или 90 кГц. Аналогично, для раstra 10 кГц (Район 2) выбор ограничен значениями 80 кГц или 90 кГц.

В частности, в полосах радиовещания в Районах 1 и 3 МСЭ¹¹ имеется 15 НЧ-каналов и 120 СЧ-каналов. В предположении, что рабочая частота БПЭ выбрана с учетом 9 кГц раstra планирования радиовещания, будут затронуты только те радиостанции, в которых какая-либо гармоника системы БПЭ-ЭМ совпадает с несущей принимаемой радиовещательной станции. Рассматривая гармоники системы БПЭ-ЭМ вплоть до 19-й (18-я гармоника частоты 90 кГц и 20-я гармоника частоты 81 кГц выходят за верхний предел диапазона СЧ-радиовещания), будут затронуты четыре НЧ-канала (из 15), а также 25 СЧ-каналов (из 120). Если можно контролировать рассеянное излучение на гармониках более высокого порядка, то возможно, что будет затронуто значительно меньше СЧ-каналов. В некоторых ситуациях, когда известно, что существует очень слабый, но принимаемый входящий сигнал от конкретной радиостанции, можно выбрать такую рабочую частоту БПЭ-ЭМ, чтобы избежать коллизий. Отметим, однако, что 10-я гармоника частоты 81 кГц и 9-я гармоника частоты 90 кГц совпадают с широковещательным каналом 810 кГц. Аналогичные соображения используются при планировании радиовещательных сетей таким образом, чтобы передатчики не мешали друг другу.

Исходя из приведенных выше уравнений (А), получим следующие пересмотренные цифры допустимых уровней излучения от систем БПЭ-ЭМ на входе приемника (или на минимальном ожидаемом расстоянии разноса) при работе в растре радиовещательных каналов:

- диапазон 5 (НЧ): $(-45,0 + 38,0)$ $-7,0$ дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): $(-51,0 + 38,0)$ $-13,0$ дБмкА/м; (С)
- диапазон 7 (ВЧ): $(-71,0 + 38,0)$ $-33,0$ дБмкА/м.

Или, учитывая уравнения (В), на расстоянии измерения 10 м:

- диапазон 5 (НЧ): $(-76,0 + 38,0)$ $-38,0$ дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): $(-82,0 + 38,0)$ $-44,0$ дБмкА/м; (D)
- диапазон 7 (СЧ): $(-102,0 + 38,0)$ $-64,0$ дБмкА/м.

Исследования с использованием серийных радиоприемников

Следующее исследование компания Би-Би-Си провела в июне 2018 года с использованием "серийного радиоприемника". Это исследование описывается в Прилагаемом документе 7 к Приложению 8.

Важным выводом из этого отчета является то, что системный шум – сочетание шума окружающей среды и собственного шума приемника – может оказывать эффект маскирования однотонового источника помех. Психоакустический эффект этого маскирования ослабляет приведенные выше цифры в (А) и (В) на 8 дБ.

¹⁰ Если рабочие частоты БПЭ-ЭМ (например, зарядных устройств для электромобиля) ограничены полосой 79–90 кГц, то на радиовещательные службы будут влиять только гармоники.

¹¹ Аналогичную оценку можно провести для Района 2, но здесь она опущена для краткости.

На входе приемника:

–	диапазон 5 (НЧ):	–37,0 дБмкА/м;	
–	диапазон 6 (СЧ):	–43,0 дБмкА/м;	(A bis)
–	диапазон 7 (ВЧ):	–63,0 дБмкА/м.	

На расстоянии измерения 10 м:

–	диапазон 5 (НЧ):	–68,0 дБмкА/м;	
–	диапазон 6 (СЧ):	–74,0 дБмкА/м;	(B bis)
–	диапазон 7 (ВЧ):	–94,0 дБмкА/м.	

Эти цифры представлены в таблице А8-1.

ТАБЛИЦА А8-1

Предельные уровни излучений БПЭ-ЭМ для защиты служб радиосвязи, работающих на частотах ниже 30 МГц, когда система БПЭ-ЭМ не привязана к растрю радиовещания⁽¹⁾

Служба	Полоса	Мощность БПЭ-ЭМ ⁽²⁾	Требования защиты/предельные уровни гармоник БПЭ-ЭМ (на минимальном расстоянии разнеса или на антенне приемника)			Откорректированное значение для расстояния измерения 10 м ⁽³⁾
			1 м	3 м	10 м	
Радиовещательная	НЧ 148,5–283,5 кГц	Низкая/ малая	–37 дБмкА/м			–97 дБмкА/м
		Средняя		–37 дБмкА/м		–68 дБмкА/м
		Высокая			–37 дБмкА/м	–37 дБмкА/м
	СЧ 526,5–1606,5 кГц	Низкая/ малая	–43 дБмкА/м			–103 дБмкА/м
		Средняя		–43 дБмкА/м		–74 дБмкА/м
		Высокая			–43 дБмкА/м	–43 дБмкА/м
	ВЧ 2,30–26,10 МГц ⁽⁴⁾	Низкая/ малая	–63 дБмкА/м			–123 дБмкА/м
		Средняя		–63 дБмкА/м		–94 дБмкА/м
		Высокая			–63 дБмкА/м	–63 дБмкА/м

⁽¹⁾ Когда гармоники БПЭ-ЭМ согласованы с растром частот радиовещания, допускается ослабление этих требований на 30 дБ – Таблица А8-2.

⁽²⁾ Классы мощности БПЭ-ЭМ: высокая мощность БПЭ-ЭМ – более 22 кВт; средняя мощность БПЭ-ЭМ – от 3,3 до 22 кВт; низкая мощность БПЭ-ЭМ – от 50 Вт до 3,3 кВт; малая мощность БПЭ-ЭМ – менее 50 Вт.

⁽³⁾ См. Прилагаемый документ 5 к Приложению 8.

⁽⁴⁾ Диапазон ВЧ-радиовещания (диапазон 7) разделен на 14 поддиапазонов: 2,30–2,495; 3,20–3,40; 3,90–4,00; 4,75–5,06; 5,80–6,20; 7,20–7,45; 9,40–9,90; 11,60–12,10; 13,57–13,87; 15,10–15,83; 17,48–17,90; 18,90–19,02; 21,45–21,85 и 25,60–26,10 (все в МГц).

ТАБЛИЦА А8-2

Предельные уровни излучений БПЭ-ЭМ для защиты служб радиовещания, работающих на частотах ниже 30 МГц, когда система БПЭ привязана к растрю радиовещания

Служба	Полоса	Мощность БПЭ-ЭМ ⁽¹⁾	Требования защиты/предельные уровни гармоник БПЭ-ЭМ (на минимальном расстоянии разноса или на антенне приемника)			Откорректированное значение для расстояния измерения 10 м ⁽²⁾
			1 м	3 м	10 м	
Радиовещательная	НЧ 148,5–283,5 кГц	Низкая/малая	-7 дБмкА/м			-67 дБмкА/м
		Средняя		-7 дБмкА/м		-38 дБмкА/м
		Высокая			-7 дБмкА/м	-7 дБмкА/м
	СЧ 526,5–1606,5 кГц	Низкая/малая	-13 дБмкА/м			-73 дБмкА/м
		Средняя		-13 дБмкА/м		-44 дБмкА/м
		Высокая			-13 дБмкА/м	-13 дБмкА/м
	ВЧ 2,30–26,10 МГц ⁽³⁾	Низкая/малая	-33 дБмкА/м			-93 дБмкА/м
		Средняя		-33 дБмкА/м		-64 дБмкА/м
		Высокая			-33 дБмкА/м	-33 дБмкА/м

⁽¹⁾ Классы мощности БПЭ-ЭМ: высокая мощность БПЭ – более 22 кВт; средняя мощность БПЭ-ЭМ – от 3,3 до 22 кВт; низкая мощность БПЭ-ЭМ – от 50 Вт до 3,3 кВт; малая мощность БПЭ-ЭМ – менее 50 Вт.

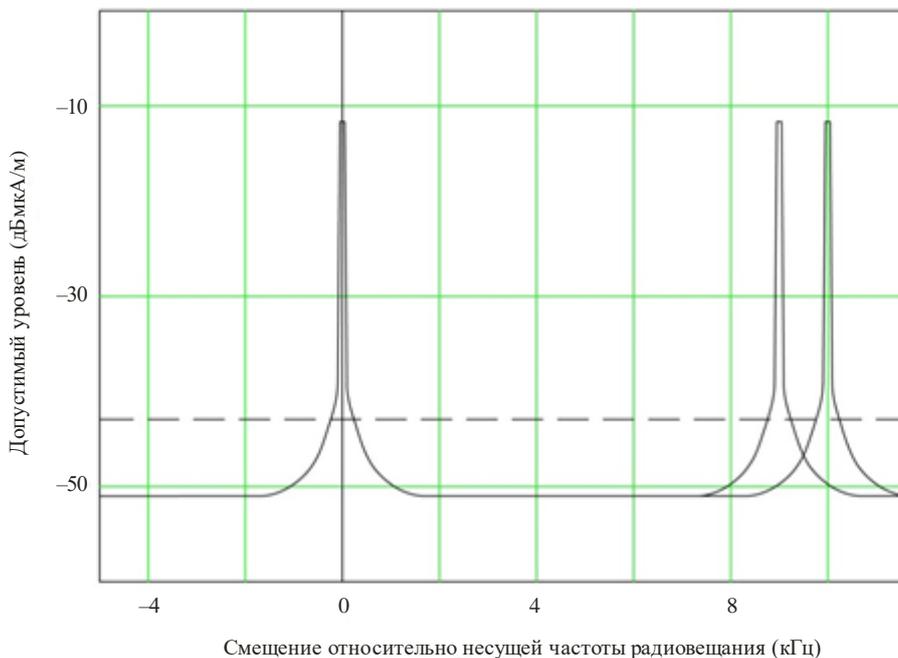
⁽²⁾ См. Прилагаемый документ 5 к Приложению 8.

⁽³⁾ Диапазон ВЧ-радиовещания (диапазон 7) разделен на 14 поддиапазонов: 2,30–2,495; 3,20–3,4; 3,90–4,0; 4,75–5,06; 5,80–6,20; 7,20–7,45; 9,40–9,90; 11,60–12,10; 13,57–13,87; 15,10–15,83; 17,48–17,90; 18,90–19,02; 21,45–21,85 и 25,60–26,10 (все в МГц).

На рисунке А8-2 показан результат работы "в растре".

РИСУНОК А8-2

Спектральная маска, представляющая предельные уровни излучений БПЭ-ЭМ в зависимости от смещения относительно частоты несущей АМ-радиовещания



Report SM.2451-A8-02

На рисунке А8-2 сплошной линией показан допустимый уровень помех от немодулированной волны при отсутствии маскировки шумом, а пунктирной линией – эффект от маскировки шумом на границе зоны приема. Маска применима только к единичному источнику помех в виде синусоидальной волны.

Прилагаемый документ 1 к Приложению 8

Информация о НЧ- и СЧ-радиовещательных передатчиках, подверженных воздействию БПЭ-ЭМ

A8-A1.1 Введение

В настоящем Прилагаемом документе приведен список источников информации, а также обзор существующих НЧ- и СЧ-передатчиков, расположенных в Европе, Африке и странах Ближнего Востока. Эти передатчики используются национальными и международными радиовещательными службами, главным образом аналоговыми, хотя в настоящее время внедряются и цифровые службы.

A8-A1.2 Доступные источники информации

Информация, содержащаяся в перечисленных ниже источниках, соответствует датам, указанным в нижеследующих таблицах и на графиках, и с тех пор могли измениться.

A8-A1.2.1 Онлайн-запрос к МСРЧ (наземные службы) (БЕТА-версия)

Ссылка: <https://www.itu.int/ITU-R/terrestrial/eTerraQuery/eQry.aspx>

При необходимости может выполняться извлечение и статистический анализ информации, относящейся к НЧ- и ВЧ-передатчикам, зарегистрированным в МСРЧ.

A8-A1.2.2 MWLIST – база данных длинноволновых, средневолновых и коротковолновых радиостанций, а также радиостанций, работающих в тропических полосах

Ссылка: http://www.mwlist.org/mwlist_quick_and_easy.php?area=1&kHz=530

Пример информации, которую можно получить из этого источника, см. в Дополнении 1.

A8-A1.2.3 Средневолновые (СЧ) передатчики в Соединенном Королевстве (дополнение к информации в пункте 2.2)

Технические параметры радиовещательных передатчиков:

Ссылка: https://www.ofcom.org.uk/_data/assets/excel_doc/0017/91304/TechParams.xlsx

Пример информации, которую можно получить из этого источника, см. в Дополнении 2.

A8-A1.2.4 Реализация DRM в средневолновом (СЧ) диапазоне

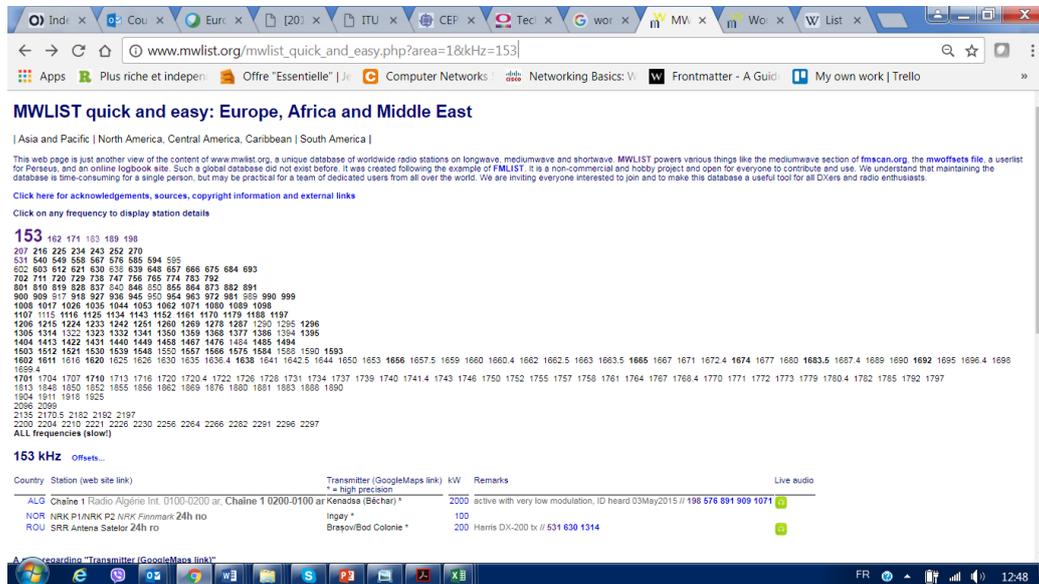
Всемирное цифровое радио: <http://www.drm.org/>

Всеиндийское радио DRM на средних волнах:

<http://allindiaradio.gov.in/Oppurtunities/Tenders/Documents/DRM%20Medium%20Wave%20update%2004042016.pdf>

Добавление 1 к Прилагаемому документу 1 к Приложению 8

Скриншот экрана веб-сайта "MWLIST – база данных длинноволновых, средневолновых и коротковолновых радиостанций, а также радиостанций, работающих в тропических полосах":
http://www.mwlist.org/mwlist_quick_and_easy.php?area=1&kHz=530



В нижеследующей таблице А8-3 перечислены НЧ-передатчики, расположенные в странах Европы, Африки и Ближнего Востока, как указано в источнике: www.mwlist.org; данные извлечены в сентябре 2017 года.

ТАБЛИЦА А8-3

НЧ-передатчики, расположенные в странах Европы, Африки и Ближнего Востока,
как указано в источнике: www.mwlist.org; данные извлечены в сентябре 2017 года

Частота (кГц)	Страна	Станция	Передатчик	кВт
153	ALG	Chaîne 1 Radio Algérie Int.	Kenadsa (Béchar)*	2000
153	NOR	NRK P1/NRK P2 NRK Finnmark	Ingøy*	100
153	ROU	SRR Antena Satelor	Braşov/Bod Colonie*	200
162	F	TDF time signal	Allouis*	1100
171	MRC	Médi 1	Nador (LW)*	1600
183	D	Europe 1	Felsberg/Zum Sender (Sauberg)*	1500
189	ISL	RÚV Rás 1/RÚV Rás 2	Gufuskálar (Hellissandur)*	300
198	ALG	Chaîne 1	Berkaoui (Ouargla)*	2000
198	G	BBC Radio 4	Droitwich/Mast A-B*	500
198	G	BBC Radio 4	Westerglen*	50
198	G	BBC Radio 4	Burghead*	50
198	G	BBC Radio 4	Dartford Tunnel*	0,004

ТАБЛИЦА А8-3 (окончание)

Частота (кГц)	Страна	Станция	Передатчик	кВт
207	ISL	RÚV Rás 1/RÚV Rás 2	Eiðar*	100
207	MRC	SNRT Al Idaâ Al-Watania	Azilal Demnate*	400
216	F	RMC Info	Roumoules*	1400/700
225	POL	Polskie Radio Jedyńka	Solec Kujawski/Kabat*	1000
234	LUX	RTL	Beidweiler*	1500
243	DNK	DR Langbølge	Kalundborg/Radiovej*	50
252	ALG	Chaîne 3	Tipaza*	1500/750
252	IRL	RTÉ Radio 1	Clarkestown/Summerhill*	150/60
270	CZE	ČRo Radiožurnál	Topolná*	50

На рисунках А8-3 и А8-4 показано распределение по частоте и по странам СЧ-передатчиков, расположенных в странах Европы, Африки и Ближнего Востока, как указано в источнике: www.mwlist.org; данные извлечены в сентябре 2017 года.

РИСУНОК А8-3

Количество СЧ-передатчиков на каждой частоте в странах Европы, Африки и Ближнего Востока (источник: www.mwlist.org, сентябрь 2017 года)



РИСУНОК А8-4

Распределение СЧ-передатчиков по странам Европы, Африки и Ближнего Востока
(кроме Соединенного Королевства, данные по которому приведены в Добавлении 2)
(Источник: www.mwlist.org, сентябрь 2017 года)



Report SM.2451-A8-04

Добавление 2 к Прилагаемому документу 1 к Приложению 8

Информация по техническим параметрам радиовещательных передатчиков (Ofcom UK)

РИСУНОК А8-5

Количество СЧ-передатчиков в Соединенном Королевстве
(Источник: Ofcom, август 2017 года)



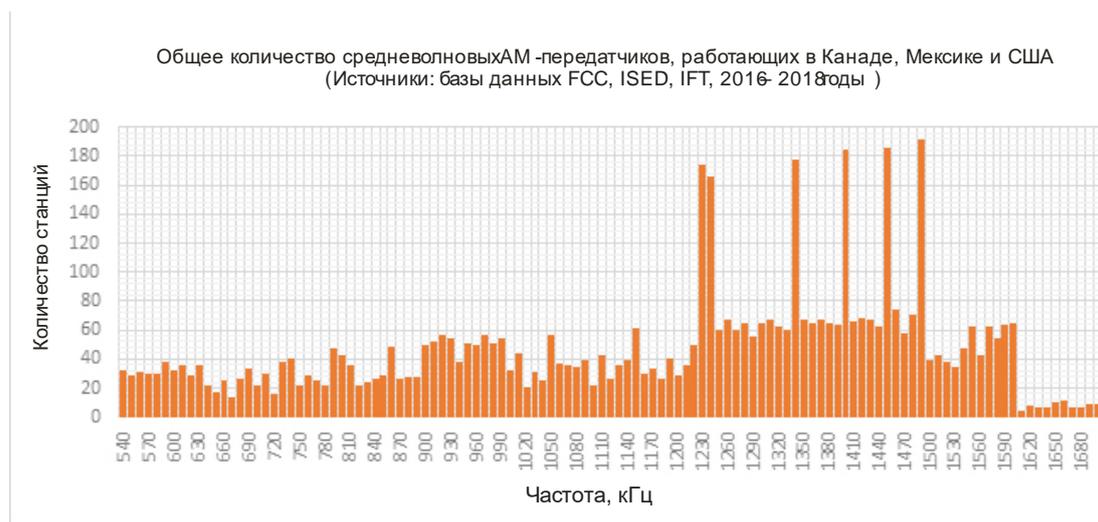
Report SM.2451-A8-05

А8-А2.2 Введение

СЧ-радиовещание все чаще сталкивается с вредным воздействием промышленного шума и помех. Тем не менее задача АМ-радиостанций – передавать важные местные новости, информацию о погоде, дорожном движении, спорте и экстренную информацию.

В Канаде, Мексике и США прослушивание диапазона СЧ остается популярным. Недавний анализ баз данных по радиостанциям, которые ведутся организациями FCC (США), IFT (Мексика) и ISED (Канада), выявил более 5000 СЧ-радиопередатчиков, работающих в этих странах Северной Америки и обслуживающих население свыше 570 млн человек. Охватывая обширные географические регионы, передачи на средних частотах остаются наиболее экономически эффективным способом обслуживания областей, не охваченных ОВЧ-радиостанциями с малым радиусом действия.

РИСУНОК А8-7



Report SM.2451-A8-07

А8-А2.3 Изучение рынка

США

Только в США действуют более 4685 СЧ-передатчиков во всех 50 штатах. В США число слушателей АМ-радио в возрасте 18 лет и старше достигает 64 698 500 человек в неделю¹².

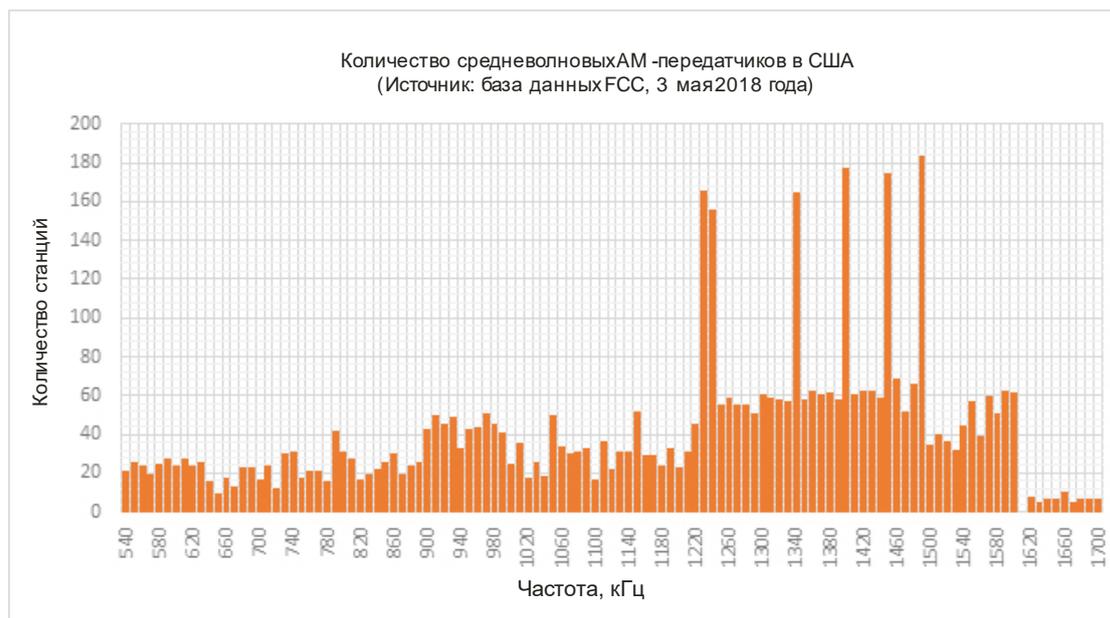
Эти станции в США долгое время были крупнейшими источниками новостей, бесед и спортивных программ благодаря их широким возможностям охвата сигналом, особенно для мощных станций. Пять из десяти самых популярных радиостанций в Америке работают в СЧ-диапазоне.

Гистограмма на рисунке А8-8 показывает распределение по частотам 4685 действующих АМ-радиостанций в США.

Общее количество станций:	4685
Максимальный уровень мощности:	50 кВт
Минимальный уровень мощности:	0,135 кВт

¹² Nielsen, период опроса – осень 2017 года, общее число лиц в возрасте 12+, пн–вс, 6:00–24:00.

РИСУНОК А8-8



Report SM.2451-A8-08

Канада

В июне 2017 года компания Edison Research выпустила первое в истории исследование числа радиослушателей в Канаде. Его заказала относящаяся к радиоиндустрии маркетингово-агитационная группа Radio Connects. Результаты исследования показали, что на долю радиовещательных станций приходится 61% всех слушателей в Канаде. Соответствующий показатель США за тот же период составил 50%.

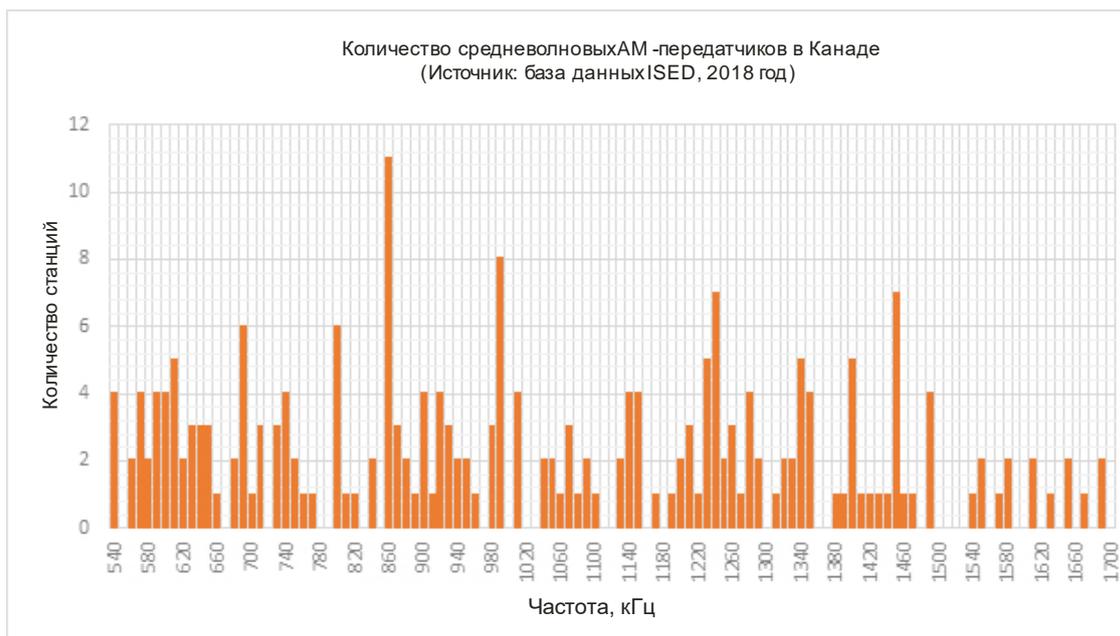
Хотя наблюдается устойчивый отток радиослушателей из диапазона СЧ (АМ) в диапазон ОВЧ (ЧМ), там где спектр это позволяет, сохраняется основная группа из 227 АМ-радиостанций, рассредоточенных по всей Канаде. Это 8% от общего количества действующих в Канаде радиостанций. Кроме того, Канада защитила распределения для 482 дополнительных АМ-частот.

Канадские прерии, регион в Западной Канаде, в который входят провинции Альберта, Саскачеван и Манитоба, составляют канадскую часть Великих равнин Северной Америки. Коренные народы, проживающие в этом регионе, оказывают большое влияние на культуру прерий. Радиовещание очень эффективно для охвата и обслуживания этого обширного географического пространства и ориентировано на отдельные языки коренных народов. В частности, вещание на средних частотах особенно хорошо подходит для эффективной доставки полезных сигналов на обширные географические территории.

Гистограмма на рисунке А8-9 демонстрирует распределение частот для 227 АМ-радиостанций, действующих на канадском рынке.

Общее количество станций:	227
Максимальный уровень мощности:	50 кВт
Минимальный уровень мощности:	0,1 кВт (в ночное время)

РИСУНОК А8-9



Report SM.2451-A8-09

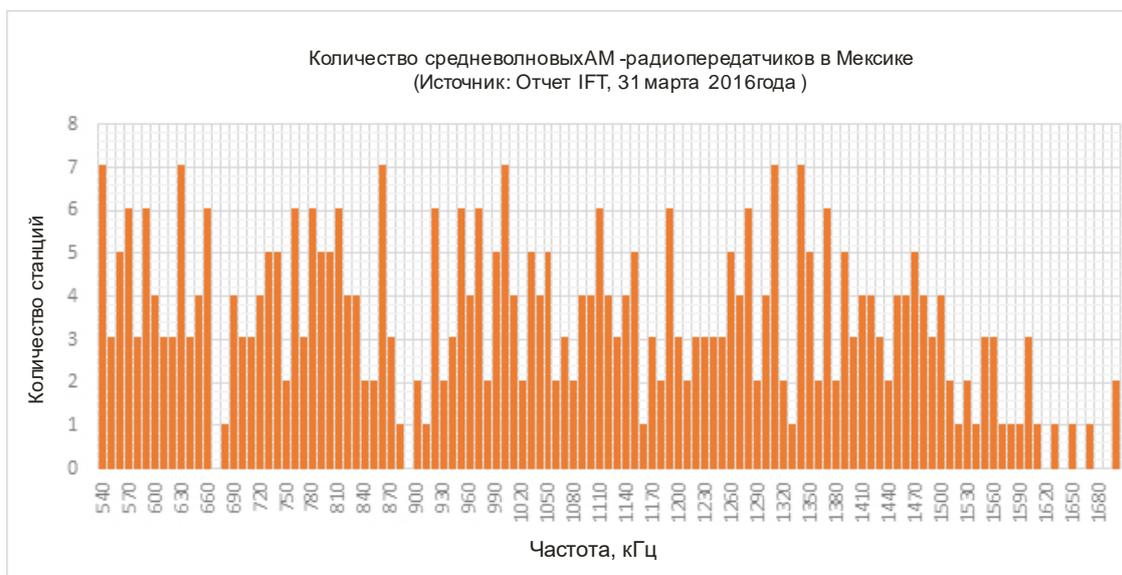
Мексика

Результаты опроса населения Мексики, опубликованные IFT в 2016 году, показывают, что 15% населения активно слушает СЧ-радиостанции¹³.

Гистограмма на рисунке А8-10 демонстрирует распределение частот для 393 АМ-радиостанций в Мексике.

Общее количество станций:	393
Максимальный уровень мощности:	250 кВт
Минимальный уровень мощности:	0,025 кВт (в ночное время)

РИСУНОК А8-10



Report SM.2451-A8-10

¹³ IFT: Reporte trimestral de audiencias de radio y televisión con perspectiva de género, abril – junio 2017.

Прилагаемый документ 3 к Приложению 8

Факторы, влияющие на вредное воздействие помех

Выходная мощность устройства БПЭ-ЭМ. Очевидно, что этот фактор оказывает значительное влияние на предрасположенность устройства БПЭ-ЭМ создавать вредные помехи. Чем выше выходная мощность, тем больше вероятность помех. Также следует учитывать излучение от устройств БПЭ-ЭМ на гармонически связанных частотах. Механизмы излучения электромагнитных полей за пределами устройств БПЭ могут быть многочисленными и могут меняться, при этом нельзя делать никаких предположений о том, что уровни помех напрямую связаны с уровнем радиочастотной энергии, генерируемой в устройствах БПЭ-ЭМ.

Расстояние разноса. На коротких расстояниях¹⁴ напряженность магнитного поля снижается пропорционально кубу расстояния между источником излучения и точкой измерения. Поэтому вероятность помех заметно возрастает по мере приближения источника помех к затронутому радиоприемнику. Обычно нормы ЭМС, установленные для излучений от любого устройства, определяются на удобном расстоянии измерения 10 м от данного устройства. Конечно, это никоим образом не означает, что 10 м является репрезентативным или ожидаемым расстоянием разноса между устройством БПЭ-ЭМ и затронутым приемником; эталонное расстояние измерения для установления норм в отношении рассеянных полей должно быть задано на некотором подходящем расстоянии, отвечающем этой цели.

Прерывистость. Короткий пакет излучения, пусть даже на довольно высоком уровне, с малым коэффициентом заполнения с гораздо меньшей вероятностью будет создавать вредные помехи для радиослужбы, чем устройство, которое работает непрерывно. Например, короткий всплеск в радиовещательном канале будет восприниматься как случайный короткий щелчок и будет иметь незначительный психоакустический эффект.

Направленность антенны. Возможно, этот фактор имеет значение лишь в конкретных случаях; если все рассеянное излучение, например, направлено вертикально вверх, а все потенциально затрагиваемые приемники распределены в горизонтальной плоскости вокруг устройства БПЭ-ЭМ, то помехи, вероятно, будут минимизированы. Антенные системы в большинстве радиоприемников являются в определенной степени направленными, но трудно гарантировать, что неуправляемое устройство БПЭ-ЭМ будет всегда или хотя бы часто излучать в направлении минимальной чувствительности антенн.

Потери при проникновении в здание. На высоких частотах (намного выше тех, что используются для БПЭ-ЭМ) стена или другое препятствие между устройством БПЭ-ЭМ и затрагиваемым приемником может ослаблять влияние любых помех. Однако в случае низкочастотных систем БПЭ-ЭМ это произойдет только в том случае, если стена или препятствие изготовлены из материала с высокой магнитной проницаемостью и сами являются проводником или имеют проводящие внутренние элементы. Наиболее распространенные строительные материалы – кирпич, дерево и т. д. – не являются ни проводящими, ни магнитными. Неформальные испытания, проведенные компанией Би-Би-Си и описываемые в отчете Ofcom, подтверждают это. В некоторых зданиях имеется металлическая (проводящая) арматура, закрепленная в бетоне или пластике, и вихревые токи в этих проводящих элементах могут влиять на магнитные поля. Однако не все и, вероятно, даже не большинство зданий построены из таких материалов. Более того, нет оснований полагать, что приемник всегда будет работать внутри здания, на некотором удалении от устройства БПЭ-ЭМ.

Выравнивание поляризации. В большинстве систем радиосвязи делается попытка выровнять поляризацию приемной антенны в соответствии с поляризацией передатчика. Например, портативный радиовещательный НЧ- или СЧ-приемник обычно содержит горизонтально закрепленную стержневую ферритовую антенну, которая наиболее чувствительна к горизонтально поляризованной магнитной составляющей полезного сигнала. Передатчики НЧ- и СЧ-радиовещания почти всегда генерируют

¹⁴ Меньше $\lambda/2\pi$, где λ – длина волны, соответствующая рассматриваемой частоте.

вертикально поляризованную составляющую электрического поля и горизонтально поляризованную составляющую магнитного поля, тем самым оптимальным образом используя чувствительность приемника. Если бы устройство БПЭ-ЭМ можно было спроектировать и эксплуатировать таким образом, чтобы поляризация его собственного рассеянного поля находилась под прямым углом к поляризации приемной антенны, то можно было бы допустить немного больший уровень помех. На практике же достичь этого, вероятно, будет очень трудно. Если устройство БПЭ-ЭМ и приемник находятся в непосредственной близости друг от друга (менее чем примерно в четверть длины волны рабочей частоты или частоты мешающей гармоники – в зоне реактивного поля), то фактическую поляризацию магнитного (или электрического) поля трудно контролировать или даже определить. Если добавить к этому тот факт, что никакое гармоническое излучение от устройства БПЭ-ЭМ само по себе невозможно связать с предполагаемой поляризацией "антенны", то следует предположить, что применимы условия наихудшего случая и что нет никаких оснований полагать, что уровни помех будут ниже максимально возможных.

Прилагаемый документ 4 к Приложению 8

Определение максимально допустимого уровня помех на входе АМ-приемника

Рекомендация МСЭ-R BS.703 "Характеристики АМ звуковых радиовещательных эталонных приемников для целей планирования" устанавливает минимальную чувствительность АМ-приемника звукового радиовещания для целей планирования следующим образом:

- диапазон 5 (НЧ): 66 дБмкВ/м;
- диапазон 6 (СЧ): 60 дБмкВ/м;
- диапазон 7 (ВЧ): 40 дБмкВ/м.

Рекомендация МСЭ-R BS.560 "Защитные отношения по радиочастоте в НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещании" определяет применимые защитные отношения для защиты в случае помех между АМ-сигналами радиовещания. Хотя излучение при БПЭ-ЭМ не является вещательным сигналом, оно может принимать форму (главным образом) немодулированной несущей и таким образом, с точки зрения приемника, фактически очень похоже на АМ-сигнал радиовещания во время паузы или тихого фрагмента программы. Следовательно, защитные отношения из Рекомендации МСЭ-R BS.560 можно считать хорошей отправной точкой для получения предельных уровней излучения при БПЭ-ЭМ для целей ЭМС.

Начав с рекомендуемых соображений по планированию и критериев защиты, которые приведены в Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, и отмечая, что в вещательных радиоприемниках как в домашних условиях, так и вне дома обычно используются стержневые ферритовые антенны, которые реагируют на компонент H магнитного поля волны, при рассмотрении предельных уровней излучения оборудования БПЭ-ЭМ удобно использовать соответствующие значения напряженности H -поля. В предположении условий распространения в свободном пространстве для дальней зоны (которые применяются к принимаемому радиовещательному сигналу на приемной антенне) соотношение между электрическим и магнитным полями (из уравнений Максвелла) равно:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 377 \text{ Ом},$$

где μ_0 – магнитная проницаемость свободного пространства, а ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства.

Это означает, что применимы следующие коэффициенты пересчета:

$$H_{\left(\frac{\text{мкА}}{\text{м}}\right)} = E_{\left(\frac{\text{мкВ}}{\text{м}}\right)} \cdot \frac{1}{377},$$

которые можно выразить как:

$$H_{\text{дБ}\left(\frac{\text{мкА}}{\text{м}}\right)} = E_{\text{дБ}\left(\frac{\text{мкВ}}{\text{м}}\right)} - 51,5 \text{ дБ}.$$

Таким образом, чувствительность приемника на НЧ, СЧ и ВЧ (см. выше) будет равна:

- диапазон 5 (НЧ): 14,5 дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): 8,5 дБмкВ/м;
- диапазон 7 (НЧ): -11,5 дБмкВ/м.

Рекомендация МСЭ-R BS.560 разработана для защиты одной АМ-радиослужбы от другой аналогичной АМ-радиослужбы¹⁵. Важно отметить, что это означает ситуацию, когда как полезные, так и мешающие сигналы состоят из мощной несущей и намного менее мощных боковых полос модуляции. Для типичной речевой программы с глубиной модуляции 20% (среднеквадратическое значение) мощность боковой полосы модуляции составляет 4% от мощности несущей.

Защитные отношения для АМ-радиовещания, определенные в Рекомендации МСЭ-R BS.560, включают в себя два компонента:

- а) Защитное отношение (PR) по совмещенному каналу, необходимое, когда помеха и несущая полезного сигнала передаются практически на одной и той же частоте, так что частота любого биения между ними будет ниже слышимого диапазона. В этом случае главной причиной слышимых искажений является модуляция помехи.

Если мешающий сигнал – это другая радиостанция, работающая на той же (или близкой к ней) несущей частоте, что и у полезного сигнала, то компонент несущей, несмотря на то что он довольно значительный, можно игнорировать. Он оказывает влияние на линейность АМ-детектора, которое незаметно, пока несущая помехи слабее несущей полезного сигнала на 13 дБ или более. Полезный сигнал должен быть защищен только от боковых полос нежелательного сигнала. Предполагается, что отношение мощности боковой полосы к мощности несущих сравнимо как для полезного, так и для нежелательного сигнала, поэтому отношение мощностей боковой полосы такое же, как отношение мощностей несущих.

В Рекомендации МСЭ-R BS.560 предусматривается защитное отношение в совмещенном канале между полезным и мешающим сигналами (уровнями несущих), равное 40 дБ. В некоторых случаях Женевский план частотных присвоений 1975 года для НЧ- и ВЧ-радиостанций допускает меньшее защитное отношение в совмещенном канале, чтобы можно было разместить больше каналов в доступном спектре. Это послабление не распространяется на ситуации, когда имеется смещение между несущими частотами полезного и нежелательного сигналов; план GE75 не предусматривает таких смещений по частоте.

- б) Дополнительное относительное защитное отношение (PR), которое добавляется, когда имеется смещение между частотами полезного и мешающего сигналов, что вызывает непрерывный слышимый тон биений; величина этой PR-коррекции зависит от смещения частоты, прежде всего потому, что частотная характеристика человеческого уха далека от "плоской". Если существует смещение между несущей частотой полезного сигнала и несущей частотой источника помех, то сама нежелательная несущая (или мешающая синусоидальная волна от системы БПЭ-ЭМ) становится психоакустической доминантой и, поскольку эта несущая довольно велика, требуется увеличить защиту. При смещениях от нуля и примерно до ±5 кГц кривая защиты имеет форму, подобную форме кривой остроты человеческого слуха.

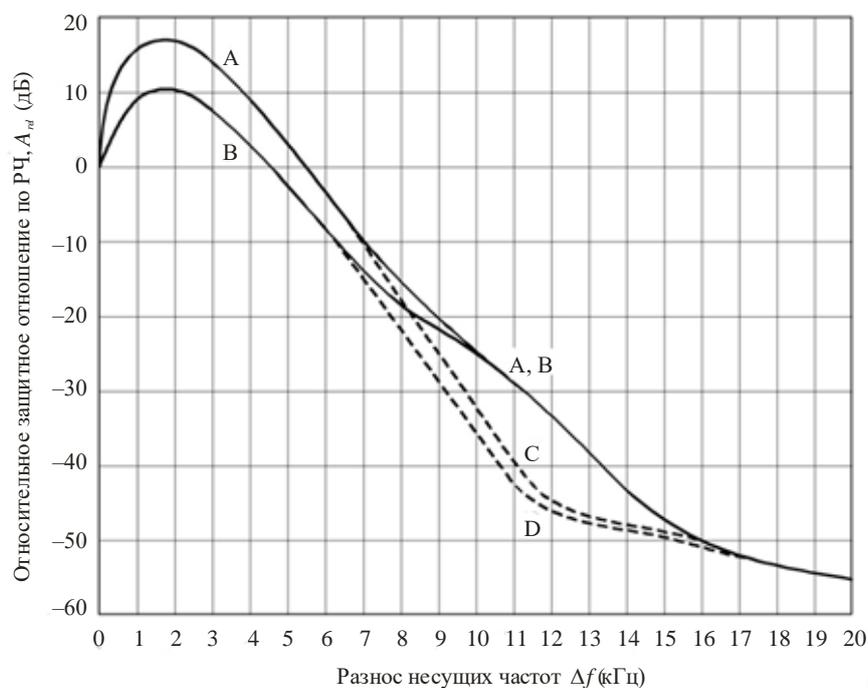
¹⁵ Предполагалось, что в полосе частот, где распределение на первичной основе имеют только станции АМ-радиовещания, основными источниками помех будут другие станции АМ-радиовещания.

Следует отметить, что Рекомендация МСЭ-R BS.560 не охватывает ситуацию, когда смещение между полезной и мешающей (БПЭ-ЭМ) несущими отсутствует при том, что последняя не модулирована. Когда смещение частоты доходит до уровня, при котором биений не слышно (или они отсекаются фильтром низких частот приемника), механизм искажений в приемнике становится другим (по крайней мере, в психоакустическом плане). Компания Би-Би-Си путем субъективных испытаний, о которых сообщается в WHP 332, установила, что, если мешающая несущая (БПЭ-ЭМ) не модулирована и находится в пределах нескольких десятков герц (начало восприятия на слух), можно допустить более высокий уровень помех. О методах смягчения см. в пункте 5.2.

Ниже приведен рисунок 1 из Рекомендации МСЭ-R BS.560, показывающий изменение относительного защитного отношения (PR) в зависимости от смещения частот.

РИСУНОК А8-11

Зависимость относительного значения защитного отношения по РЧ от разнеса несущих частот



Report SM.2451-A8-11

Соответствующая кривая представляет собой кривую A, соединенную с кривой C. Слияние кривой B с D соответствует высокой степени компрессии аудиоматериала с большой глубиной модуляции, в то время как кривые A и B для величины разнеса выше примерно 7 кГц соответствуют передачам с шириной полосы звукового шума 10 кГц. Большая часть АМ-передач основывается на речи, которая даже при сильной компрессии не дает большой глубины модуляции. Несмотря на то что в некоторых случаях это разрешено в частотном плане, очень немногие АМ-передачи имеют ширину полосы звукового сигнала более 5 кГц. Смещение частоты может быть положительным или отрицательным.

Если частоты устройств БПЭ-ЭМ и все их значимые гармоники не будут тщательно выровнены с радиовещательным частотным растром (каналами), необходимо добавлять некоторую величину относительно PR для работы в несовмещенном канале. Допуская, что частота БПЭ-ЭМ неуправляемая, в результате можно получить ситуацию наихудшего случая. Рисунок А8-11 показывает, что наибольшее относительное значение PR составляет приблизительно 16 дБ, что соответствует смещению частот около 2 кГц.

В наихудшем случае это относительное значение PR нужно добавить к PR по совмещенному каналу в 40 дБ, что дает общее значение PR для помех, создаваемых при БПЭ-ЭМ АМ-радиовещанию, $(40 + 16) = 56$ дБ.

Отсюда следует, что максимально допустимая напряженность поля БПЭ-ЭМ на входе радиоприемника определяется путем вычитания этого значения PR из чувствительности приемника. Тогда максимально допустимая напряженность Н-поля БПЭ-ЭМ в месте расположения радиовещательного радиоприемника:

- диапазон 5 (НЧ): $(14,5 - 56) = -41,5$ дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): $(8,5 - 56) = -47,5$ дБмкА/м;
- диапазон 7 (ВЧ): $(-11,5 - 56) = -67,5$ дБмкА/м.

Первоначально минимальные значения напряженности поля, указанные в Рекомендации МСЭ-R BS.703, основывались на предполагаемой глубине модуляции для АМ-сигнала, равной 30%. Результаты работы, проведенной компанией Би-Би-Си в 2007 году, которые находятся в процессе утверждения МСЭ-R, позволяют предположить, что более подходящей, вероятно, является меньшая ожидаемая глубина модуляции, равная 20%. В период после последнего пересмотра Рекомендации МСЭ-R BS.703 для АМ-радиовещания заметна тенденция передавать намного больше речи и намного меньше (популярной) музыки. Речь обычно характеризуется меньшей плотностью модуляции и перемежается с короткими периодами молчания. Для отражения "реальной" ситуации, когда наиболее уязвимые АМ-сигналы в среднем будут на 3,5 дБ слабее, чем предполагалось в Рекомендации МСЭ-R BS.703 (глубина модуляции 20% вместо 30%), из значений полученных из Рекомендаций МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, следует вычесть еще 3,5 дБ.

- диапазон 5 (НЧ): $(-41,5 - 3,5) = -45,5$ дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): $(-47,5 - 3,5) = -51,0$ дБмкА/м;
- диапазон 7 (ВЧ): $(-67,5 - 3,5) = -71,0$ дБмкА/м.

Альтернативный метод расчета допустимого уровня помех основан на Рекомендации МСЭ-R BS.1895.

Граница зоны обслуживания радиовещательного передатчика определяется шумом; обслуживание ограничивается уровнем шума. Когда все источники шума и помех превышают определенную долю уровня полезного сигнала, данная служба перестает соответствовать критериям качества, установленным МСЭ. Основными источниками шума и помех являются: естественный шум, индустриальный шум, шум приемника и другие радиовещательные станции, работающие в выделенной полосе.

На основе этого Рекомендация МСЭ-R BS.1895 определяет критерии защиты систем наземного звукового радиовещания. В частности, требуется, чтобы:

"общие помехи в приемнике от всех излучений и передач, осуществляемых в отсутствие соответствующего распределения частот в Регламенте радиосвязи, не превышали 1% общей мощности шума приемной системы".

В Рекомендации МСЭ-R BS.703 указана минимальная используемая напряженность поля 66 дБмкВ/м для НЧ, 60 дБмкВ/м для СЧ и 40 дБмкВ/м для ВЧ. Во всех трех случаях данные цифры учитывают глубину модуляции полезного сигнала 30% (предполагается среднее квадратическое значение) и отношение полезного аудиосигнала к (случайному) шуму в 26,0 дБ¹⁶. Это означает, что мощность боковой полосы (модуляции) полезного сигнала будет на 10,5 дБ меньше мощности несущей, а мощность шума еще на 26,0 дБ меньше; в общей сложности на 36,5 дБ в каждом случае. То есть (предполагаемый) уровень шума приемной системы:

¹⁶ Можно видеть, что это менее жесткие требования, чем 40 дБ, указанные в Рекомендации МСЭ-R BS.560. Это связано с тем, что в Рекомендации МСЭ-R BS.560 рассматривается потенциально разборчивый программный материал другого радиовещателя, который "психоакустически" более раздражающий, чем случайный шум.

- диапазон 5 (НЧ): (14,5 – 10,5 – 26,0) = –22,0 дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): (8,5 – 10,5 – 26,0) = –28,0 дБмкА/м;
- диапазон 7 (ВЧ): (–11,5 – 10,5 – 26,0) = –48,0 дБмкА/м.

Для соответствия Рекомендации МСЭ-R BS.1895 вклад источника помех, не имеющего статуса в Регламенте радиосвязи, должен быть на 20 дБ ниже уровня шума приемной системы; это приводит к следующим предельным уровням:

- диапазон 5 (НЧ): (22,0 – 20,0) = –42,0 дБмкА/м;
- диапазон 6 (СЧ): (28,0 – 20,0) = –48,0 дБмкА/м;
- диапазон 7 (ВЧ): (–48,0 – 20,0) = –68,0 дБмкА/м,

что, как видно, очень близко к уровням, рассчитанным с использованием Рекомендации МСЭ-R BS.560 (см. выше). При использовании обновленного значения глубины модуляции в 20% (среднеквадратическое значение) эти цифры уменьшаются еще на 3,5 дБ.

Прилагаемый документ 5 к Приложению 8

Предполагаемое расстояние разноса между зарядным устройством БПЭ-ЭМ и бытовым АМ-радиоприемником – фотографический обзор

В случае применения зарядного устройства БПЭ-ЭМ в бытовых условиях можно предположить, что такое устройство будет размещаться либо в гараже, либо на специальном парковочном месте, прилегающем к жилью владельца. На следующих четырех снимках показаны жилые дома, которые можно считать типичными для Соединенного Королевства. Они выбраны на основании того, что один из авторов либо сам жил в таком доме, либо знает кого-то, кто там живет; в любом случае такие дома не являются исключительными.

РИСУНОК А8-12

Типичное городское жилье, город Дерби (Соединенное Королевство)



Предполагается, что использование зарядного устройства БПЭ-ЭМ в этой ситуации будет затруднено, и более подходящими могут оказаться придорожные пункты зарядки с физическим подключением к автомобилю.

РИСУНОК А8-13

Загородное жилье в Южном Лондоне

Зарядное устройство БПЭ-ЭМ может быть установлено в гараже (к нескольким домам в этом месте прилегают гаражи) или на парковочном месте рядом с домом или непосредственно перед ним.

РИСУНОК А8-14

Сельские коттеджи (около 70 км к юго-востоку от Лондона)

Это изолированная группа коттеджей (в основном они окружены сельскохозяйственными угодьями), но во многих отношениях они похожи на загородное жилье (см. выше). Зарядные устройства БПЭ-ЭМ опять же могут размещаться в гаражах или на парковочных местах рядом с домом или перед ним.

РИСУНОК А8-15

Многоквартирное жилое здание в восточном Лондоне

Многоэтажное жилое здание с гаражами на первом этаже. Скорее всего, все зарядные устройства БПЭ-ЭМ будут находиться внутри гаражей. Некоторые жильцы не имеют гаражей и полагаются на нераспределенную парковку на улице.

Рассмотрев примеры на фотографиях, можно предположить, что в каждом случае реалистичное расстояние от ближайшего радиоприемника до зарядного устройства БПЭ-ЭМ будет составлять около 3 м. Маловероятно, что оно будет меньше, но возможно, например, что в многоквартирном доме на расстоянии около 3 м от радиоприемника в квартире на нижнем этаже будут находиться два зарядных устройства БПЭ-ЭМ, а в пределах 10 м даже больше. Очевидно, что второе зарядное устройство на расстоянии 3 м увеличит потенциальные помехи на 3 дБ.

Прилагаемый документ 6 к Приложению 8

Характеристики приемника звукового СЧ-радиовещания при наличии помех от БПЭ-ЭМ

Воздействие помех от немодулированной несущей

Введение и справочная информация

В этом отчете описывается исследование, выполненное компанией Би-Би-Си в интересах ЕРС в целях определения приемлемых предельных уровней напряженности поля помех от устройств беспроводной передачи энергии (БПЭ-ЭМ). Хотя большинство частот, предлагаемых для использования БПЭ-ЭМ, не находятся в полосах радиовещания, уровни гармоник, вероятно, будут существенными, и АМ-радиослужбы будут подвергаться помехам. Традиционно технология БПЭ-ЭМ используется для маломощных устройств, таких как зарядные устройства для зубных щеток. Однако в настоящее время рассматривается возможность перезарядки электромобилей, при этом мощность составит многие киловатты, и проблема, соответственно, становится более серьезной.

До сих пор работа по определению приемлемых предельных уровней гармоник основывалась на Рекомендациях МСЭ-R BS.560 и МСЭ-R BS.703. В Рекомендации МСЭ-R BS.560 сначала говорится, что "защитное отношение по РЧ... для передачи в совмещенном канале должно составлять 40 дБ...". Затем, на рисунке 1 Рекомендации BS.560, приведены относительные значения защитного отношения (PR) в функции относительной (или смещенной) частоты источника помех. (Значение PR определяется как отношение мощности полезного сигнала к мощности несущей помехи, необходимое для достижения заданного критерия качества, обычно отношения уровня аудиосигнала к уровню шума.) Рекомендация BS.703 добавляет к этому, что минимальные значения напряженности поля для удовлетворительного приема НЧ- и СЧ-сигналов составляют соответственно 66 дБмкВ/м и 60 дБмкВ/м.

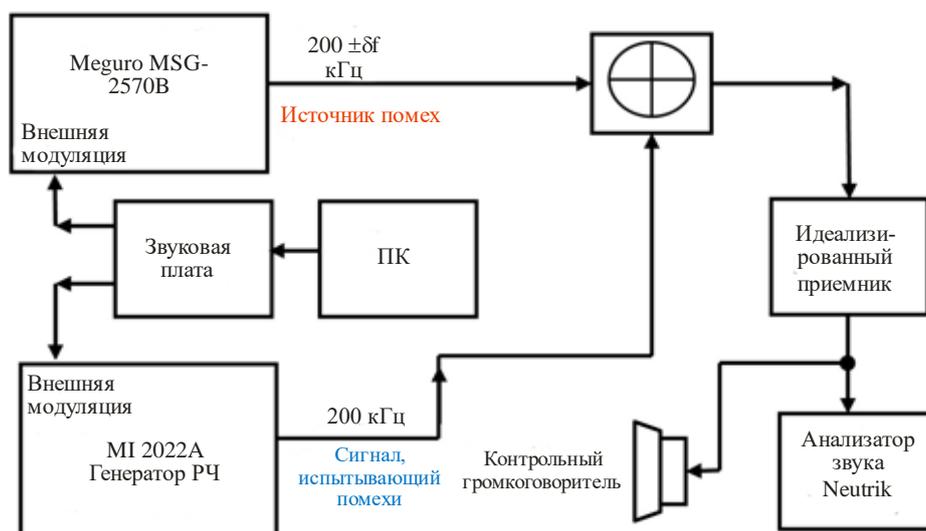
В Рекомендации МСЭ-R BS.560 предполагается, что источником помех будет другой радиовещательный сигнал с характеристиками, аналогичными характеристикам полезного сигнала. Поскольку источник помех в виде БПЭ-ЭМ эквивалентен простой несущей без модуляции, в настоящем отчете рассматривается вопрос о применимости положений Рекомендации BS.560. В частности, определяется, возможно ли ослабление ограничений, если частота источника помех будет строго контролироваться.

Экспериментальные схемы

Экспериментальная схема показана на рисунке А8-16. По сути, имеются два генератора сигналов, которые создают полезную или "испытывающую помехи" передачу и мешающий сигнал. К одному или обоим этим сигналам может быть применена звуковая модуляция с помощью ПК со звуковой платой. Звуковой сигнал берется из "реального" программного материала, записанного на выходе студии Radio Five Live и пропущенного через процессор Orban Optimod (который обычно располагается на передающей станции).

Комбинированные полезная передача и помеха демодулируются "идеальным" приемником, специально предназначенным для этой цели. Он включает в себя схему АРУ, прецизионный детектор огибающей и фильтр нижних частот 4,5 кГц. Избирательность по РЧ отсутствует, так как она в основном не имеет значения для данного исследования. Для оценки выходного сигнала приемника при воспроизведении через высококачественный громкоговоритель была собрана группа слушателей-неспециалистов. Среда для прослушивания представляла собой тихое место в лаборатории, специально не предназначенное для испытаний на прослушивание: поскольку АМ-радиовещание не дает высококачественного звука, аренда сертифицированной комнаты для прослушивания была сочтена неоправданной.

РИСУНОК А8-16
Экспериментальная установка



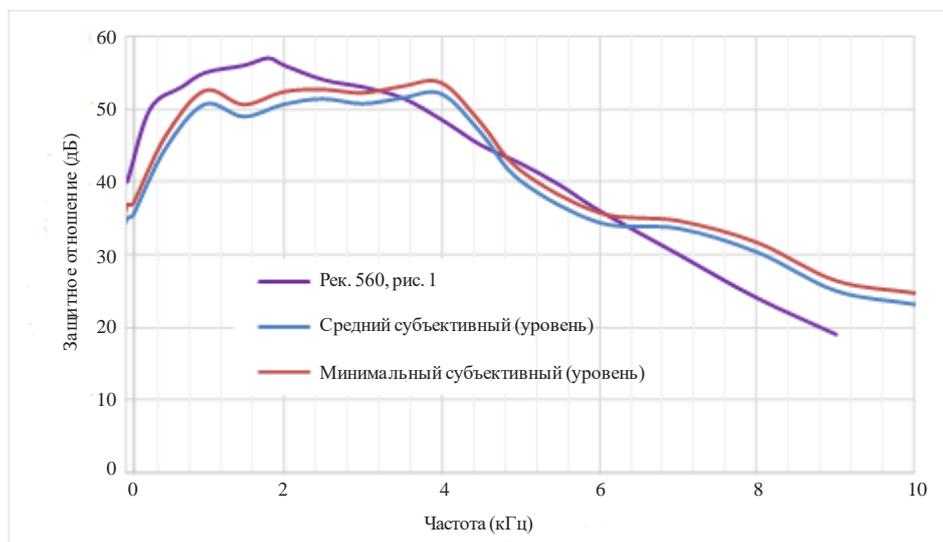
Report SM.2451-A8-16

Проверка на соответствие Рекомендациям МСЭ-R BS.560 и МСЭ-R BS.703

Экспериментальная установка была такой, как описано выше, а местом проведения эксперимента – экранированная комната ДСТ в Научно-исследовательском центре Би-Би-Си. Программный материал для полезной или испытывающей помехи передачи представлял собой 27-секундный фрагмент под названием "Jerusalem orchestra". Он состоял из нескольких секунд мужской речи, за которой следовала женская речь. В конце фрагмента имелся промежуток около секунды, позволяющий вернуться к началу цикла. Для модуляции мешающей несущей использовался фрагмент мужской речи под названием "new fighting talk".

Добровольцев просили прослушать полезный программный материал на выходе приемника с удобной для них громкостью. Затем добавлялся источник помех на требуемой смещенной частоте и уровень увеличивался до тех пор, пока слушатель не говорил, что помехи слышны. После этого уровень снижался, пока слушатель не сообщал, что помехи прекратились. Эта процедура проводилась три раза. Регистрировались только вторая и третья пары результатов; первые результаты использовались только для "приблизительной" настройки уровней. Ниже представлены результаты для смещения частот в диапазоне от 0 Гц до 10 кГц.

РИСУНОК А8-17

Защитные отношения, необходимые при наличии модулированных источников помех

Report SM.2451-A8-17

Комментарий к рисунку А8-17.

- Кривая "Средний субъективный" – это средний уровень по всем 40 значениям (10 слушателей, по 4 значения от каждого) для конкретной частоты.
- Кривая "Минимальный субъективный" – это средний уровень по всем 20 значениям для точки, в которой помеха становится неслышимой по мере уменьшения ее уровня.
- Приемлемое соответствие Рекомендации МСЭ-R BS.560 наблюдается при смещении меньше 3 кГц с учетом того, что слушатели были "неопытными". При наличии опыта источник помех, безусловно, можно услышать и при более низких уровнях несущей, чем предлагается на графике "Минимальный субъективный" (уровень).
- Частотная характеристика громкоговорителя была неизвестна и поэтому не учитывалась. В идеале испытания следовало бы повторить с несколькими разными громкоговорителями.
- Немного пессимистические цифры PR при смещении частоты выше 3 кГц могут отражать недостаточную избирательность радиоприемника по РЧ.
- При смещении частоты выше 500 Гц единственным слышимым компонентом было биение между двумя несущими, которое полностью подавляло модуляцию помехи.

Требуемая защита при немодулированной несущей помехи

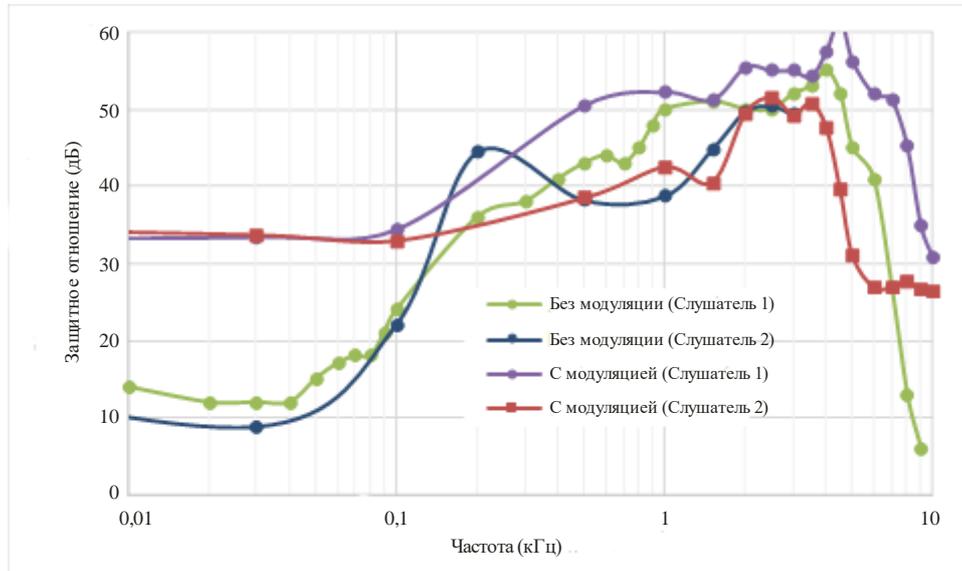
В результате описанного выше исследования было установлено, что требования, изложенные в Рекомендации BS.560, вполне соответствуют действительности и авторским экспериментальным схемам. Интерес представляет различие в требованиях, когда модуляция мешающей несущей частоты отсутствует.

Были проведены дальнейшие измерения PR – точно так же, только без модуляции мешающей несущей. В идеале следовало бы использовать ту же группу слушателей, но это оказалось невозможным из-за болезни персонала и т. д. К шести слушателям из состава первоначальной группы добавились шесть новых. Хотя слушатели значительно различались по остроте слуха и стабильности восприятия, использовались все результаты. Измерения ограничивались диапазоном 0–1 кГц, так как при больших смещениях компонент модуляции не был слышен.

На рисунке А8-18 приведено сравнение результатов PR с модуляцией источника помех и без нее. Результаты с модуляцией те же, что и приведенные в предыдущем разделе. Для облегчения интерпретации результатов горизонтальная ось имеет логарифмическую шкалу, охватывающую две декады от 10 Гц до 1 кГц. Как и прежде, показаны требования защиты из Рекомендации МСЭ-R BS.560, хотя из рисунка 1 Рекомендации BS.560 невозможно получить сколько-нибудь точные данные.

РИСУНОК А8-18

Требуемые защитные отношения при наличии модулированных и немодулированных источников помех



Report SM.2451-A8-18

Комментарий к рисунку А8-18.

- Частотная характеристика громкоговорителя была неизвестна и поэтому не учитывалась. В идеале испытания следовало бы повторить с несколькими разными громкоговорителями.
- Кривые "Средний субъективный" (уровень) и "Минимальный субъективный" (уровень) построены так же, как и выше.
- При смещениях частоты выше примерно 300 Гц, когда преобладающим компонентом помех является биение несущих, результаты с модуляцией источника помех и без нее хорошо согласуются – в пределах пары децибел. Это обнадеживает, учитывая разные группы слушателей.
- Ниже 300 Гц, где преобладает модуляция источника помех (когда он имеется), график PR выравнивается. Хотя требования Рекомендации МСЭ-R BS.560 кажутся завышенными на 5 дБ, они соответствуют пределу слышимости наиболее опытных слушателей в соответствии с "оценками ошибок", описываемыми в последнем пункте списка.
- Ниже 300 Гц, когда модуляция отсутствует, PR продолжает падать с понижением частоты. Угол наклона графика близок к 6 дБ на октаву, или 20 дБ на декаду, – в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.468 (weighting 3).
- Ниже 50 Гц биение несущих становится почти неслышимым из-за падающей частотной характеристики громкоговорителя и человеческого уха. Наиболее важным фактором является искажение, вызванное циклическим изменением глубины модуляции.
- К графику "Минимальный с модуляцией" добавлены "оценки ошибок" $\pm 4,3$ дБ. Они отражают разброс среднеквадратических значений остроты слуха у разных слушателей. Они не учитывают возможные систематические ошибки, такие как частотная характеристика громкоговорителя.
- Очевидно, что отсутствие модуляции дает преимущество примерно в 25 дБ по сравнению с требованием PR из Рекомендации МСЭ-R BS.560 при условии, что может поддерживаться смещение частоты в пределах ниже 50 Гц.

Помеха по совмещенному каналу и качество звука

В предыдущем разделе содержится четкое указание на то, что имеет смысл по возможности поддерживать частоту немодулированного источника помех близкой к частоте полезной несущей. Чтобы дополнительно изучить эту возможность, была собрана группа из десяти слушателей, которых попросили оценить качество звука трех звуковых фрагментов, описываемых ниже.

- Женщина-ведущая (27 секунд). (Тот же фрагмент, который использовался для проверки на соответствие Рекомендации BS.560.)
- Немного музыки (сопрано и струнный квартет) (31 секунда).
- Мужчина-ведущий и джингл (45 секунд).

Слушателям было предложено оценить каждый фрагмент по пятибалльной шкале ухудшения качества МСЭ-R, где 5 – "незаметное", а 1 – "очень раздражающее" ухудшение качества (см. Рекомендацию МСЭ-R BS.1284). Разрешалась нулевая оценка для звука, который казался неприемлемым, хотя в BS.1284 это не предусмотрено. Также были разрешены дробные оценки, к примеру 3,7, чтобы слушатели могли отобразить небольшие изменения в качестве звука.

Применялись пять уровней помех: -5 , -10 , -15 , -20 и $-\infty$ дБ. Сам сигнал помех имел смещение 0 или 30 Гц. В случае 0 Гц эти две несущие не были синхронными и медленно дрейфовали по фазе. Считалось, что это более реалистичная ситуация, чем синхронизация мешающего сигнала с полезной несущей. Когда несущие находились в противофазе, результирующая несущая становилась перемодулированной, что вызывало сильное искажение звука. Уровень звука также был максимальным, поскольку АРУ приемника работает по среднему уровню сигнала. И наоборот, когда несущие находились в фазе, глубина модуляции и уровень звука оказывались минимальными и искажения исчезали.

РИСУНОК А8-19

Оценки ухудшения качества звука при разных уровнях немодулированного источника помех

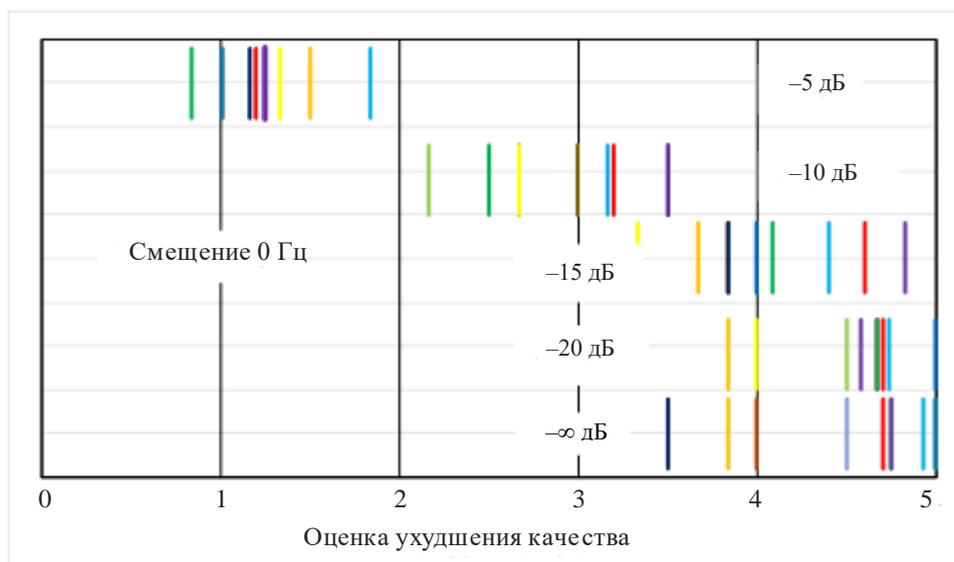
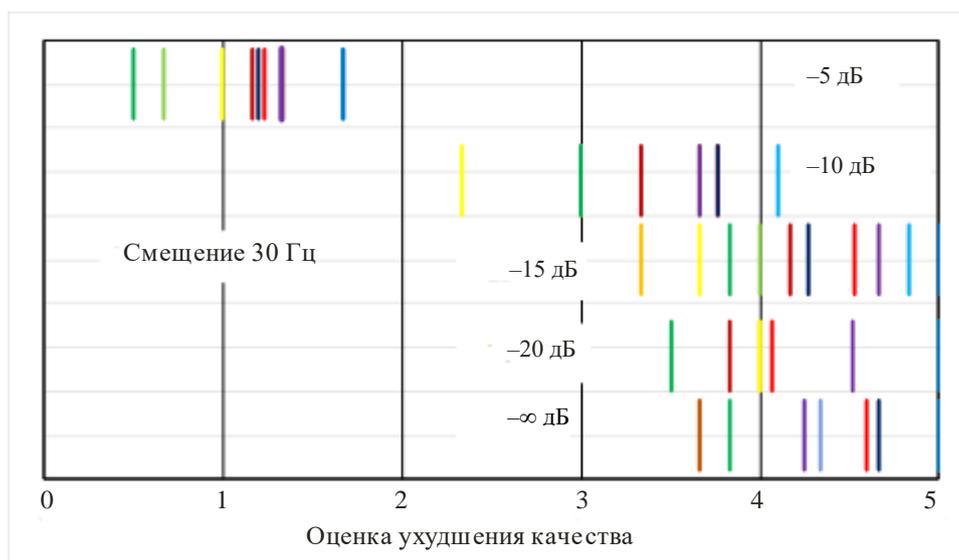


РИСУНОК А8-20

Оценки ухудшения качества звука при разных уровнях немодулированного источника помех



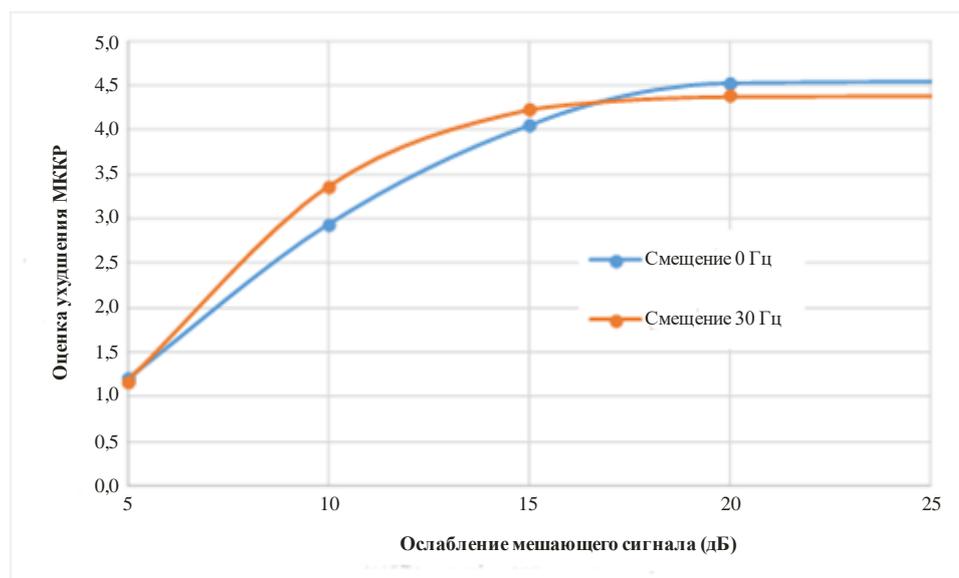
Report SM.2451-A8-20

На рисунках А8-19 и А8-20 оценки отдельных слушателей показаны в виде коротких вертикальных линий, причем каждому слушателю присвоен свой цвет. Эти оценки являются усреднениями по трем фрагментам. Как будет рассмотрено ниже, оценки для трех фрагментов показали существенные различия.

Ниже приведены результаты, усредненные по всем десяти слушателям.

РИСУНОК А8-21

Оценка ухудшения качества звука в зависимости от уровня мешающего сигнала



Report SM.2451-A8-21

Комментарий к рисунку А8-21.

- Смещение 30 Гц выглядит несколько более благоприятным, чем 0 Гц, пока помехи не очень сильные. Возможно, это связано с тем, что АРУ приемника не полностью реагирует на колебания уровня несущей в 30 Гц и, следовательно, не вызывает каких-то заметных эффектов пульсации.
- Для обоих значений смещения на уровне -20 дБ помехи не слышны и становятся слышны только на уровне -15 дБ.

- Когда уровень помехи превышает -15 дБ, она быстро становится раздражающей. При уровне помехи выше -10 дБ качество звука очень низкое.

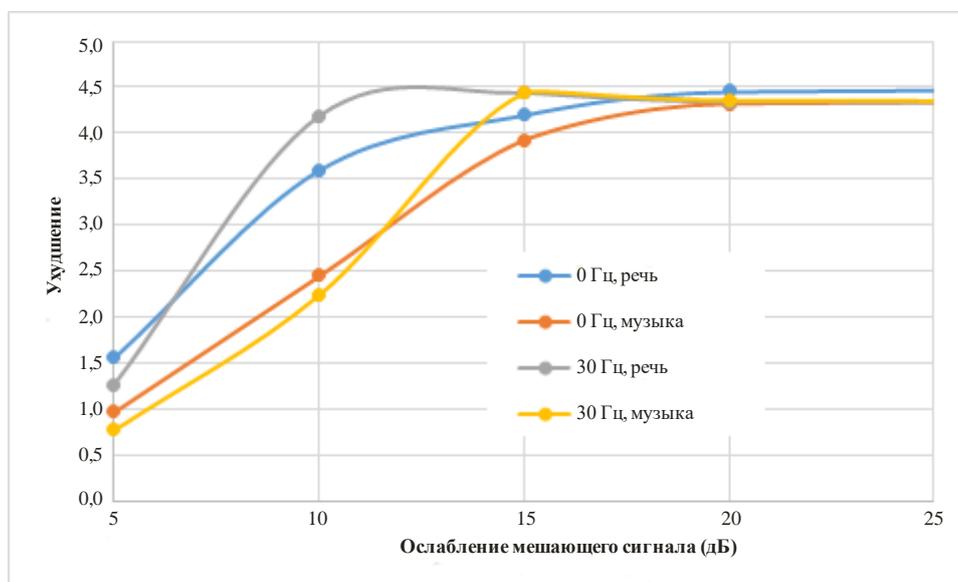
Эффект от введения небольшого смещения частоты стоит рассмотреть подробнее – по-видимому, оно как минимум довольно полезно. Следующий график показывает, что ситуация все же сложнее. Фрагмент 1 обозначен как "Речь", а фрагмент 2 – "Музыка".

Для речи смещение действительно полезно и позволяет мешающему сигналу достигать уровня -10 дБ, не вызывая заметного раздражения у слушателя. Однако это не относится к музыке, для которой любое смещение приводит к ухудшению качества звука. Во время испытаний различие во влиянии мешающего сигнала на речь и музыку было разительным: при -10 дБ и 30 Гц помехи на речи были едва слышны, но для музыки казались очень неприятными.

Похоже, что проблема с музыкой вызвана тем, что АРУ в какой-то мере реагирует на биения несущих при смещении 30 Гц и, следовательно, происходит перекрестная модуляция частотой 30 Гц полезной несущей. Таким образом, музыкальный тон приобретает боковые полосы в 30 Гц, и неприятный эффект связан с тем, что они гармонически не согласованы. Речевые же сигналы сложнее и уже содержат в себе большое количество спектральных компонентов. Результат больше похож на шум, и добавление боковых полос в 30 Гц не оказывает большого влияния.

РИСУНОК А8-22

Сравнение оценок ухудшения качества речи и музыки



Report SM.2451-A8-22

Допустимые значения напряженности поля мешающего сигнала при БПЭ-ЭМ

Последняя задача – связать значения PR, показанные на рисунках А8-21 и А8-22, с фактической напряженностью поля. Это можно легко сделать следующим образом:

- минимальная напряженность поля для удовлетворительного приема на СЧ, указанная в Рекомендации BS.703, составляет 60 дБмкВ/м;
- это значение преобразуется в единицы дБмкА/м путем вычитания 51,5 дБ. (Полное сопротивление свободного пространства Z_0 составляет 377 Ом, а $20\log_{10}377$ равно 51,5.) Следовательно, 60 дБмкВ/м соответствует напряженности магнитного поля $60 - 51,5 = 8,5$ дБмкА/м;
- требуемое значение PR, указанное в Рекомендации BS.560, равно 40 дБ при нулевом смещении частоты. Следовательно, соответствующее значение напряженности поля составит $8,5 - 40 = -31,5$ дБмкА/м.

Следует отметить, что в только что описанной работе предполагается, что значение PR в 18 дБ достаточно при условии, что частота мешающего сигнала поддерживается в пределах примерно 50 Гц от частоты затрагиваемой несущей, – ослабление составляет 22 дБ. Другими словами, будет достаточно предельного уровня –10 дБмкА/м.

Для приема на НЧ Рекомендация BS.703 указывает минимальное значение напряженности поля 66 дБмкВ/м, то есть на 6 дБ больше, чем для СЧ. В этом случае соответствующий предельный уровень будет равен –4 дБмкА/м.

Допустимое значение напряженности электрического поля в этом отчете, как и в [2], не рассматривается. Это кажется разумным, поскольку система БПЭ-ЭМ работает с магнитными полями, и в большинстве НЧ/СЧ-приемников используются ферритовые стержневые и рамочные антенны. Для безопасности в таких стандартах, как [2], возможно, следует указывать напряженность как электрического, так и магнитного поля. Значение PR в 18 дБ соответствует 48 дБмкВ/м и 42 дБмкВ/м соответственно для НЧ и СЧ.

Заключение

В настоящем Прилагаемом документе рассматриваются помехи для служб АМ-радиовещания, создаваемые устройствами БПЭ-ЭМ, в целях установления максимально допустимой напряженности магнитного поля. Выводы следующие:

- В Рекомендации МСЭ-R BS.703 указаны требования по защитному отношению в 40 дБ для помех службам АМ-радиовещания в совмещенном канале, тогда как в Рекомендации МСЭ-R BS.560 приведены *относительные* требования, когда мешающий сигнал смещен по частоте. Экспериментальное исследование, описываемое в настоящем отчете, подтверждает эти цифры.
- Экспериментальное исследование также показывает, что когда источником помех является немодулированная несущая, то ослабление требований возможно для смещений частот менее примерно 500 Гц. Для смещения частот в 50 Гц и менее достаточно защитного отношения в 18 дБ. Следует отметить, что смещение в 0 Гц не дает никакого преимущества, если источник помех нельзя синхронизировать по фазе с полезной несущей.
- В предположении, что значения минимальной напряженности поля для служб НЧ- и СЧ-радиовещания составляют 66 дБмкВ/м и 60 дБмкВ/м, максимально допустимые уровни помех от близкой немодулированной несущей в совмещенном канале составляют соответственно –4 дБмкА/м и –10 дБмкА/м.

Подчеркивается, что экспериментальные схемы, используемые для этих испытаний на прослушивание, имели свои ограничения, и результаты следует рассматривать как предварительные. В идеальном случае, если позволяют время и денежные средства, испытания следует повторять "двойным слепым" методом в сертифицированной комнате для прослушивания при полном контроле всех параметров. Тем не менее эти предварительные результаты, вероятно, служат хорошим ориентиром в ожидании окончательного результата.

Ссылки для данного Прилагаемого документа

- [1] Wikipedia, 2017. Wireless Power Transfer https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_power_transfer
- [2] ETSI, 2017. 'Wireless Power Transmission Systems, Using Technologies Other than Radio Frequency Beam, in the 19–21 kHz, 59–61 kHz, 79–90 kHz, 100–300 kHz, 6 765–6 795 kHz ranges: Harmonised Standard Covering the Essential Requirements of Article 3.2 of Directive 2014/53/EU.' ETSI EN 303 417 V1.1.1 (2017-06) (Final Draft)
- [3] Рекомендация МСЭ-R BS.560-4 – "Защитные отношения по радиочастоте в НЧ-, СЧ- и ВЧ-радиовещании"
- [4] Рекомендация МСЭ-R BS.703-0 – "Характеристики АМ звуковых радиовещательных эталонных приемников для целей планирования"
- [5] Рекомендация МСЭ-R BS.1284-1 – "Общие методы субъективной оценки качества звука"

Прилагаемый документ 7 к Приложению 8

Дальнейшие исследования с использованием серийного радиоприемника

Базовая информация и введение

Эта работа дополняет более раннее исследование, которое описывается в Белой книге ВВС WHP 332 (опубликованной в ноябре 2017 года) и воспроизводится в Прилагаемом документе 6 к Приложению 8. В этом дальнейшем исследовании используется реальный, серийный портативный радиоприемник, причем полезные и нежелательные сигналы вводятся с помощью рамочных магнитных антенн, чтобы возбуждать встроенную ферритовую стержневую антенну в самом радиоприемнике. Этот подход преследует три цели:

- продемонстрировать, что эталонный приемник, определяемый в Рекомендации МСЭ-R BS.703, сопоставим с реальным радиоприемником;
- предложить "проверку в реальных условиях" предполагаемой взаимосвязи между Рекомендациями МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560 при планировании диапазонов НЧ- и СЧ-радиовещания и для установления приемлемых предельно допустимых уровней помех от систем БПЭ-ЭМ¹⁷;
- повторить некоторые из предыдущих измерений с другой схемой испытаний.

Исследования для WHP 332 проводились с использованием "идеального" радиоприемника – слово "идеальный" означает, что приемник не вносил никакого собственного шума и имел "плоскую" частотную характеристику и ширину полосы модуляции 4,5 кГц на уровне –6 дБ. Кроме того, перед подачей в "идеальный" радиоприемник полезный сигнал объединялся с однотоновым сигналом, имитирующим устройство БПЭ-ЭМ, в качестве источника помех. Это было "жесткое" соединение, не задействовавшее антенну. Такой "чистый" подход был принят для устранения как можно большего количества переменных. При этом утверждается, что полезной будет перекрестная проверка, которая продемонстрирует, что данный подход соответствует тому, что происходит в "реальной жизни".

Основной вывод предыдущего исследования состоял в том, что для однотоновых сигналов, выступающих в качестве источника помех и отстоящих от полезного сигнала по частоте более чем на 500 Гц, подходящей основой для определения требуемой защиты от помех служат Рекомендации МСЭ-R BS.560 и МСЭ-R BS.703. ("Защита" определяется как отношение уровней полезного и нежелательного сигналов, поступающих в приемник.) Ограничение "более чем на 500 Гц" важно, так как при меньшем разnose частот могут допускаться значительно более высокие уровни помех.

Описываемое здесь исследование дублирует некоторые из предыдущих исследований, но на этот раз используется реальный недорогой радиоприемник, принимающий эфирные сигналы.

Выбор приемника

На момент проведения исследований в продаже имелись три марки типичных серийных портативных радиоприемников разных лет выпуска:

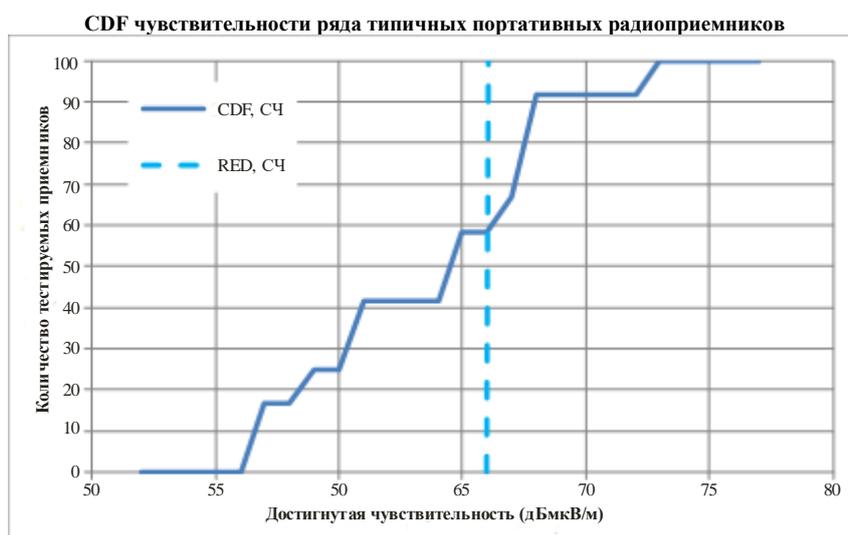
- Panasonic GX500;
- Roberts RP26-B и
- Sony ICF-700W.

¹⁷ Чтобы получить максимально допустимый уровень помех в абсолютном выражении, необходимо связать защитное отношение (PR), указанное в Рекомендации МСЭ-R BS.560, с напряженностью поля полезного сигнала на антенне приемника. В Рекомендации МСЭ-R BS.703 приведено требование к минимальной чувствительности "эталонного приемника", составляющее 60 дБмкВ/м; при таком уровне сигнала приемник должен быть способен обеспечить отношение звукового сигнала к шуму (S/N) в 26 дБ. Эталонный сигнал является АМ-сигналом глубиной 30%, а для измерения уровня шума используется невзвешивающий детектор среднеквадратических значений.

Субъективная оценка показала, что у приемника Panasonic самый низкий уровень собственного шума, поэтому он был выбран для остальных испытаний. Выбранный приемник был типичным представителем недорогих моделей на рынке. Поскольку большое значение для результатов имеют чувствительность и ширина полосы модуляции, здесь приведены некоторые более подробные сведения.

Ранее был протестирован ряд портативных радиоприемников в соответствии со спецификацией ETSI EN 303 345 "Broadcast Sound Receivers: Harmonized Standard", охватывающей основные требования статьи 3.2 Radio Equipment Directive (RED) 2014/53/EU. Здесь показана интегральная функция распределения (CDF) их чувствительности. Около двух третей радиоприемников оказались более чувствительными, чем предъявляемое ETSI требование в 66 дБмкВ/м.

РИСУНОК А8-23



Report SM.2451-A8-23

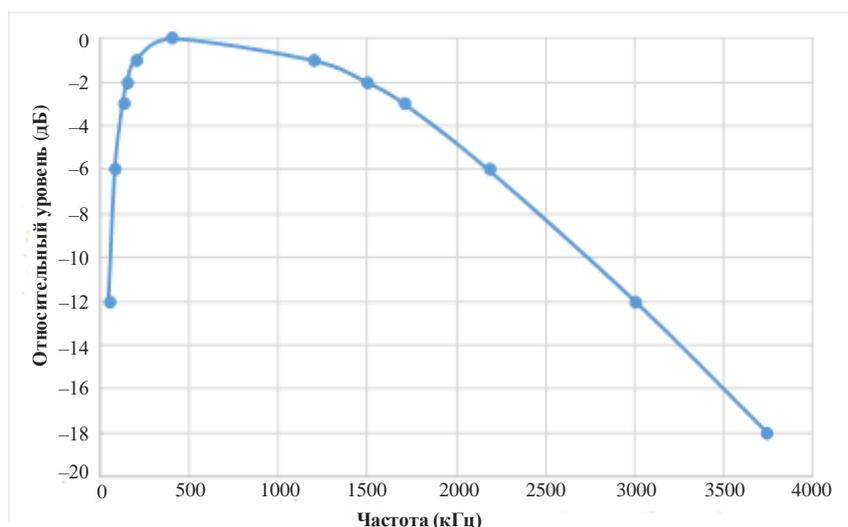
Panasonic GX500 по той же шкале достиг чувствительности 65 дБмкВ/м, так что он как раз соответствует требованиям ETSI. Следует отметить, что чувствительность здесь определяется не так, как в Рекомендации МСЭ-R BS.703. Это обсуждается ниже, но в настоящее время требования Рекомендации МСЭ-R BS.703 и EN 303 345 можно считать приблизительно эквивалентными. Важный момент: радиоприемник Panasonic является типичным, и его шумовые характеристики сопоставимы с эталонным приемником МСЭ.

Важна еще и частотная характеристика модуляции приемника, поскольку она определяет как уровень шума на выходе, так и влияние мешающего сигнала от БПЭ-ЭМ. График показан на рисунке А8-24.

Следует отметить, что за отметкой 1,5 кГц характеристика резко снижается, тогда как у прежнего "идеального" приемника она оставалась практически горизонтальной до 4 кГц. Узкая полоса пропускания подразумевает бóльшую устойчивость к сигналу от БПЭ-ЭМ и улучшает измеренную чувствительность (но не точность звуковоспроизведения).

РИСУНОК А8-24

Характеристика модуляции выбранного портативного радиоприемника



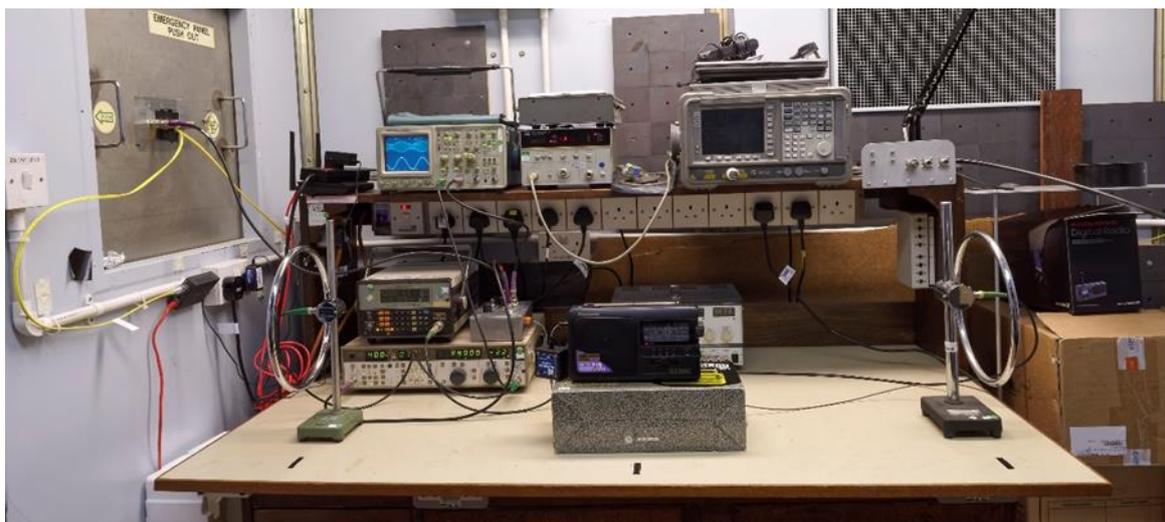
Report SM.2451-A8-24

Испытательная установка

Испытательная установка, по сути, аналогична той, что описывается в WHP 332. Она состояла из двух генераторов РЧ-сигналов: один, настроенный на 999 кГц, использовался для подачи полезного сигнала, а второй, настроенный на 1001 кГц, имитировал (немодулированный) сигнал помехи со смещением 2 кГц.

РИСУНОК А8-25

Испытательная установка в экранированной комнате BBC R&D



Report SM.2451-A8-25

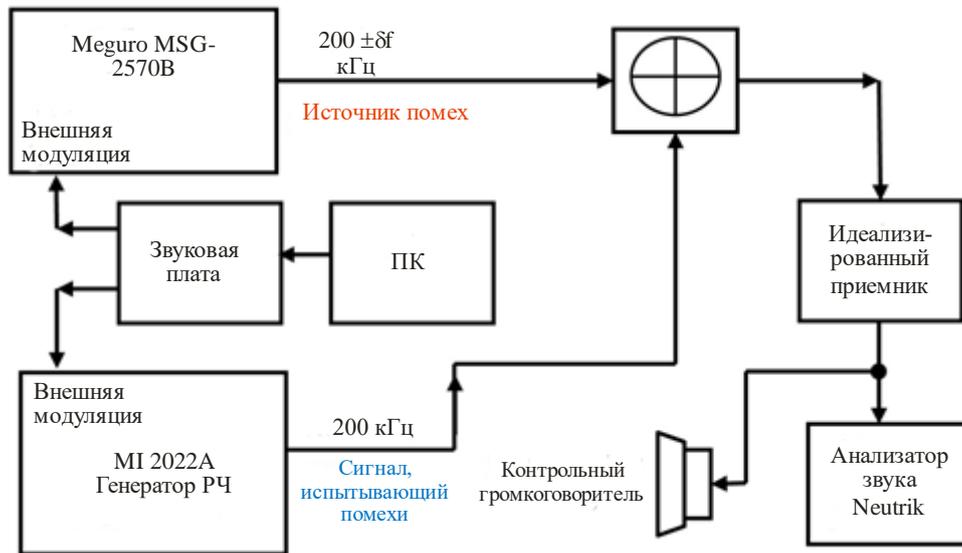
Оба сигнала "передавались" отдельными калиброванными рамочными антеннами. Чтобы устранить другие источники помех, генераторы, рамочные антенны и приемник размещались в комнате, экранированной от воздействия РЧ, при этом ПК с программным материалом для испытаний на прослушивание (который сам является заметным источником радиопомех) располагался за пределами экранированного помещения для тестирования. Анализатор звука подключался к приемнику оптоволоконным кабелем. Все входящие линии электропитания фильтровались и все ненужное оборудование было выключено.

На рисунке А8-25 портативный радиоприемник на переднем плане стоит на картонной коробке, чтобы его ферритовая антенна была выровнена с осью рамочных антенн. Две рамочные антенны располагаются с обеих сторон и находятся на расстоянии 600 мм от радиоприемника – напряженность

магнитного поля имела простую зависимость от измеренной выходной мощности генераторов сигнала, что делало настройку проще и точнее. Рядом с радиоприемником находится передатчик волоконно-оптической линии (его не очень хорошо видно). За кадром имеется измерительный прибор для двойной проверки напряженности поля, создаваемого рамочными антеннами. За левой рамочной антенной находятся два РЧ-генератора сигналов.

РИСУНОК А8-26

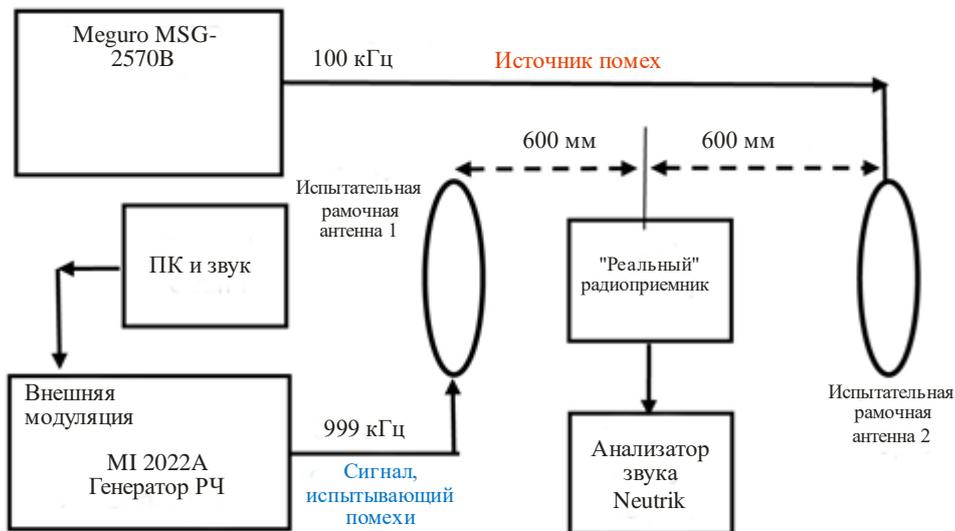
Испытательная установка, которая первоначально использовалась для WHP 332



Report SM.2451-A8-26

РИСУНОК А8-27

Модифицированная установка, которая использовалась для данного исследования



Report SM.2451-A8-27

Здесь приведены блок-схемы первоначальной (рисунок А8-26) и новой (рисунок А8-27) испытательных установок.

По сути, две установки одинаковы, за исключением того, что сигнал помех и полезный сигнал объединяются в эфире, а не в электронном виде. Использование рамочных антенн и внутреннего громкоговорителя означает отсутствие каких-либо электрических соединений с "реальным" радиоприемником.

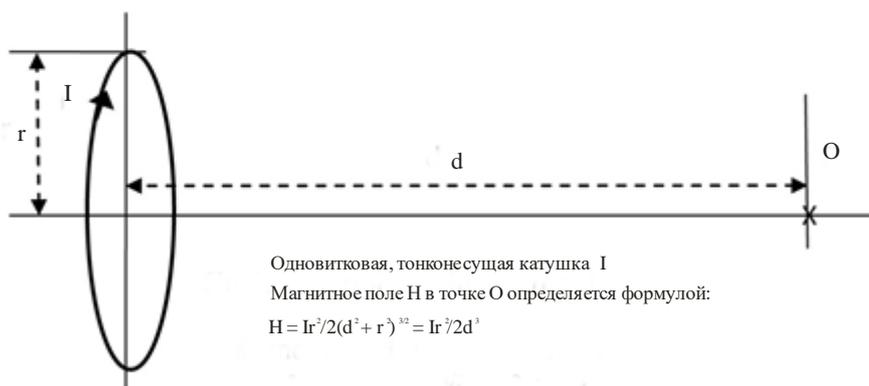
Для всех испытаний использовался один и тот же звуковой фрагмент. Он состоял из 16 секунд речи, за которыми следовали 2 секунды тишины и 12 секунд музыки. Этот фрагмент был взят из сети BBC Radio Five Live MF и записан в нисходящем направлении от процессора передачи. Сегодня многие АМ-радиопередачи содержат главным образом речь. Речь характеризуется более низкой глубиной модуляции и частыми короткими паузами, когда говорящий подходит к концу предложения, останавливается на вдохе и т. д. Низкие уровни помех могут маскироваться звуковым сигналом, но в то же время они могут раздражать во время частых периодов молчания; слушатели часто указывали именно на это.

Калибровка

Была проведена тщательная калибровка. Для проверки выходной мощности генераторов на указанном уровне 0 дБм (1 мВт на нагрузке 50 Ом) использовался тепловой измеритель мощности. При установке на -33 дБм генератор должен создавать в приемнике уровень сигнала 8,5 дБмкА/м; этот показатель проверялся с помощью измерителя напряженности поля. Расчет напряженности поля осуществляется следующим образом.

РИСУНОК А8-28

Магнитное поле, создаваемое токонесящим контуром



Report SM.2451-A8-28

На рисунке А8-28 показано магнитное поле H , создаваемое протекающим в катушке током I . Ток определяется ЭДС V генератора и сопротивлением R источника, так что $I = V/R$. Радиус катушки r составляет 125 мм, а расстояние d равно 600 мм.

Это уравнение можно переписать так, чтобы определить ток, необходимый для генерации заданной напряженности поля в точке O .

$$I = H \cdot (2d^3 / r^2).$$

Для напряженности поля 8,5 дБмкА/м

$$H = 10^{(8,5/20)} \frac{\text{мкА}}{\text{м}} \\ = 2,66 \text{ мкА/м} .$$

Следовательно, необходимый ток:

$$I = 2,66 \text{ мкА/м} \cdot (2 \cdot 0,6^3 / 0,125^2) \\ = 73,54 \text{ мкА} .$$

Таким образом, необходимая ЭДС генератора

$$V = 73,54 \text{ мкА} \cdot 136 \text{ Ом} \\ = 10 \text{ мВ} .$$

Сопротивление источника 136 Ом складывается из 50 Ом в самом РЧ-генераторе и 86 Ом в составе контура. Чтобы получить $H = 2,66$ мкА/м (или 8,5 дБмкА/м), значение V должно составлять 10 мВ. Выходной сигнал генератора (ЭДС) калибруется в дБм; 0 дБм соответствует ЭДС генератора 448 мВ и, следовательно, 10 мВ эквивалентны $20\log(10/448)$, или -33 дБм.

Характеристика приемника уже упоминалась. Дальнейшие измерения подтвердили, что характеристика составляет -4 дБ при смещении 2 кГц (смещение частоты источника помех) относительно 1 кГц (тон настройки для системы). Следовательно, чтобы получить верное представление о том, чего можно ожидать от "качественного" приемника с плоской характеристикой, уровень помех нужно увеличить на 4 дБ.

Характеристика приемника, используемого для данных испытаний

Чтобы гарантировать, что испытания, проведенные с портативным радиоприемником, "справедливы", необходимо сравнить его чувствительность с чувствительностью эталонного приемника из Рекомендации МСЭ-R BS.703. Результаты измерений удобнее всего свести в таблицу (см. таблицу А8-4).

ТАБЛИЦА А8-4

Отношение сигнал/шум портативного радиоприемника

Напряженность поля	S/N, эталонное при АМ 40%		S/N, эталонное при АМ 30%
	Невзвешенное (дБ)	Взвешенное (дБв)	Невзвешенное (дБ)
дБмкВ/м			
60	26	18	23,5 (26)
65 (66)	30	22	28

В таблице 1 показано, что шумовая характеристика приемника Panasonic на 2,5 дБ хуже, чем у эталонного приемника из Рекомендации МСЭ-R BS.703 (розовая кривая), но превышает на 1 дБ требование ETSI в 66 дБмкВ/м (синяя кривая). У этого конкретного радиоприемника взвешенный уровень шума на 8 дБ выше невзвешенного. "Общепринятой" разницы между показателями взвешенного и невзвешенного уровня шума не существует, поскольку важным фактором является ширина полосы пропускания приемника. В исследовании, выполненном для EN 303 345, этот показатель был принят равным 10 дБ: 4 дБ на преобразование между среднеквадратическим и квазипиковым значениями и 6 дБ на восходящую характеристику взвешивающего фильтра. У приемника Panasonic эта цифра немного меньше из-за неудовлетворительной модуляционной характеристики.

Важный момент: можно сделать так, что характеристики данного радиоприемника будут казаться соответствующими характеристикам эталонного приемника, если повысить напряженность поля входного сигнала на 2,5 дБ – когда внешний шум становится незначительным и отношение сигнал/шум растет пропорционально уровню сигнала. Другими словами, радиоприемник достигнет отношения S/N эталонного приемника в 26 дБ для АМ 30% при напряженности поля 11 дБмкА/м/62,5 дБмкВ/м. Конечно, при проведении тестов на прослушивание и т. д. необходимо повысить уровень мешающего сигнала на ту же величину, чтобы поддерживать нужные относительные уровни.

Всестороннее исследование шума окружающей среды не проводилось, но перемещение с радиоприемником показывает, что по крайней мере в некоторых местах качество приема ограничивается внутренним шумом радиоприемника. Поэтому требования, изложенные в МСЭ-R BS.703 и EN 303 345, представляются разумными.

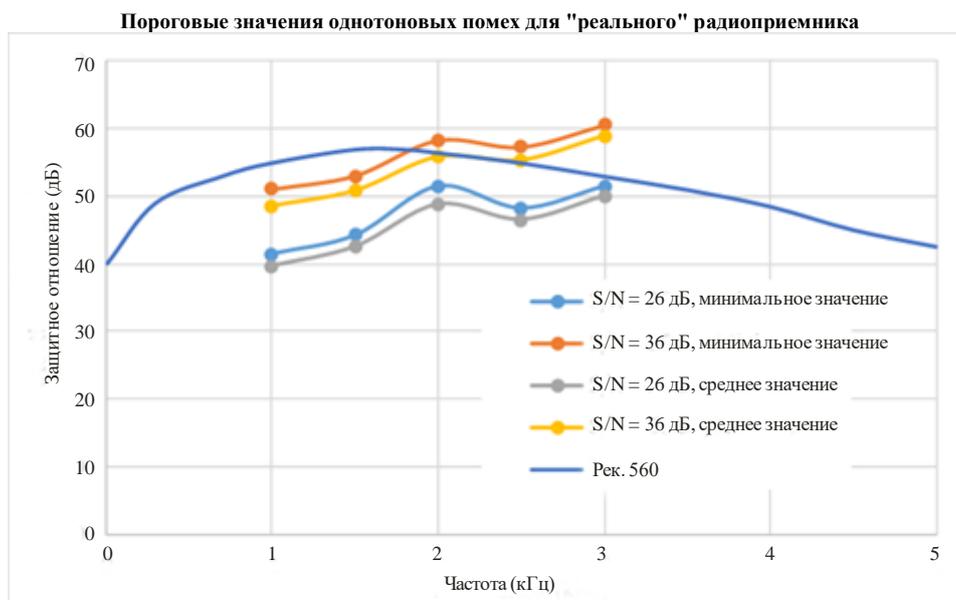
Пороговые уровни помех

Прежнее исследование пороговых уровней помех проводилось с бесшумным радиоприемником. Можно ожидать, что шум, присутствующий на выходе "реального" приемника, будет создавать маскирующий эффект. В этом случае возможно ослабление предложенных в WHP 332 ограничений на

помехи от БПЭ-ЭМ. Строгое исследование означало бы повторение тестов на прослушивание, описываемых в WHP 332. Данные тесты включали воспроизведение фрагментов радиопрограмм полезным "передатчиком" и опрос группы слушателей, определявших, на каком уровне помехи становятся слышимыми. Испытания должны повторяться с изменением смещения частоты в широких пределах. Несмотря на простоту принципа, эти тесты на прослушивание требуют организации, и при имевшихся ресурсах такой подход был невозможен.

Вместо того чтобы повторять все предшествующее исследование, был принят более прагматичный подход. Момент, когда помехи становились слышимыми, оценивал один слушатель при двух разных уровнях полезного сигнала. Уровень 1 был выбран так, чтобы получить значение S/N 26 дБ (эталонное при АМ 30%), имитируя характеристики эталонного приемника, работающего с сигналом 60 дБмкВ/м, а уровень 2 был на 20 дБ выше, когда шум становится на 10 дБ ниже и гораздо меньше раздражал. Таким способом можно выявить небольшую разницу и затем использовать ее для "исправления" исходных "бесшумных" цифр. Если разница действительно была мала, то любые экспериментальные неопределенности будут оказывать незначительное влияние.

РИСУНОК А8-29



Report SM.2451-A8-29

"Частота" – это смещение частоты относительно АМ-несущей.

При каждом значении смещения частоты в диапазоне от 1 до 3 кГц и уровня полезного сигнала плавно повышается уровень мешающего сигнала и регистрируется тот уровень, при котором помехи становятся слышимыми. Был записан и второй уровень, при котором помехи становились незаметными по мере их уменьшения. Процесс повторялся четыре раза и брались средние значения. На рисунке А8-29 "минимальные" цифры соответствуют второму уровню, а "средние" цифры – среднему значению для первого и второго уровней. Это позволяет провести сравнение с рисунком А8-21. При отображении результатов учитывалась характеристика боковой полосы приемника; в противном случае кривые спадали бы на высокочастотном конце.

Получается, что наличие шума маскирует помехи и позволяет допускать уровень мешающего сигнала примерно на 8 дБ выше уровня при отсутствии шума.

Дальнейшее испытание проводилось в целях количественной оценки психоакустической разницы между случайным (белым) шумом и однотоновым мешающим сигналом. В пределе общий шум системы представляет собой смесь шума приемника с шумом окружающей среды. При уходе от предела чувствительности в области, где шум окружающей среды может быть выше, шум приемника становится менее существенным, и общий шум системы определяется шумом окружающей среды.

Однотоновый мешающий сигнал вводился с тем же уровнем, что и общий шум системы¹⁸, измеренный на аудиовыходе приемника с помощью среднеквадратического детектора, и постепенно уменьшался с шагом 2 дБ до тех пор, пока не становился неслышным из-за маскирования шумом системы. Воздействие мешающего сигнала переставало быть раздражающим (хотя все еще было слышимым), когда уровень снижался на 8 дБ, и исчезало при его снижении на 10 дБ. В условиях более высокого уровня шума абсолютные уровни шума будут выше, но отношение мешающего сигнала к общему шуму системы всегда остается одинаковым – от –8 дБ до 610 дБ, если нужно исключить слышимые помехи. В условиях, когда собственный шум приемника незначителен, уровень мешающего сигнала, чтобы быть неслышимым, должен быть на 8–10 дБ ниже уровня шума окружающей среды.

Выводы

Измерения, выполненные с помощью приемника Panasonic GX500, в целом согласуются с более ранними измерениями, проведенными с идеализированной системой для количественной оценки уровня допустимых помех, когда однотоновый мешающий сигнал совпадал с растром радиовещательных каналов. Допущения, сделанные при расчете допустимой напряженности поля по Рекомендациям МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, корректны. Тем не менее испытания выявили ряд особенностей.

Обоснованность использования эталонного приемника из Рекомендации МСЭ-R BS.703 для получения исходных данных

Радиоприемник Panasonic GX500 работает не так хорошо, как должен работать эталонный приемник. Его звуковая частотная характеристика не плоская, а уровень собственного шума немного выше. Это относительно недорогой портативный радиоприемник, а исследования, проведенные ранее Би-Би-Си, свидетельствуют о наличии более качественных радиоприемников. Это, в свою очередь, означает, что спецификация эталонного приемника, как и должно быть, характерна для серийных радиоприемников приемлемого качества, так что прежние исследования, основанные на эталонном радиоприемнике, вполне достоверны. Рекомендация МСЭ-R BS.703 эффективно определяет общий уровень шума системы на границе зоны приема в предположении глубины модуляции 30% и отношения уровня модуляции к случайному шуму (системы) 26 дБ. Таким образом, общий шум системы составляет 60 дБмкВ/м (минимальный уровень несущей из Рекомендации МСЭ-R BS.703) минус 10,5 дБ (уровень модуляции ниже несущей) минус 26 дБ (отношение полезного сигнала к шуму) плюс 3 дБ (коэффициент корреляции по боковой полосе), что дает 26,5 дБмкВ/м, или –25 дБмкА/м (для магнитного поля). На практике это будет сочетание внутреннего шума приемника и шума окружающей среды. В предположении, что оба источника шума вносят одинаковый вклад в шум системы, каждый из них составит –28 дБмкА/м; при сложении этот показатель увеличится на 3 дБ. Согласно расчетам, выполненным в Японии на основе Рекомендации МСЭ-R P.372, это близко к уровню шума окружающей среды, ожидаемому в сельской местности, что не удивительно.

Маскирующий эффект шума системы

При низком уровне помех они могут маскироваться в присутствии звуковой модуляции. Тенденция к использованию радиовещательными компаниями АМ-радиопрограмм для речевого вещания приводит к тому, что в программах часто возникают паузы и периоды молчания, и именно в этих промежутках помехи становятся заметными или раздражающими, поскольку они не маскируются. Однотоновый мешающий сигнал раздражает больше, чем случайный шум. Прежние субъективные тесты, описываемые в Белой книге BBC WHP 332, проводились с использованием идеализированного нешумящего радиоприемника. Было обнаружено, что наличие фонового случайного шума в паузах речевого сигнала маскирует помехи. Субъективный тест с одним слушателем, но повторяемый несколько раз, показал, что маскирующий эффект шума системы может обусловить ослабление на 8 дБ требования к допустимому уровню шума на частотах, удаленных от несущей радиовещательного сигнала. Это не влияет на уровни, предлагаемые в WHP 332.

¹⁸ Для этого теста использовался идеализированный приемник со специально вводимым случайным шумом, эквивалентным минус 31 дБмкА/м, для имитации характеристик эталонного приемника из Рек. 703.

Уровень помех относительно шума системы

Ввиду более раздражающего психоакустического эффекта уровень однотонного мешающего сигнала, чтобы быть неслышимым, должен в любом месте быть как минимум на 8 дБ ниже общего шума системы. Сам же общий шум системы зависит от местоположения. В наиболее спокойных с точки зрения электрических полей условиях внутренний шум приемника будет играть бóльшую роль, но в более шумных условиях (в пригородах и возможно в городе) будет доминировать шум окружающей среды. Статистические данные по ожидаемым уровням шума окружающей среды в различных условиях содержатся в Рекомендации МСЭ-R P.372, однако следует подчеркнуть, что это рекомендуемые уровни, и их не следует использовать в качестве целевых. Это не соответствует общему принципу, согласно которому электрические помехи всегда должны сводиться к минимуму.

Ссылки для данного Прилагаемого документа

- [1] BBC Research and Development White Paper WHP 332, November 2017 – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception
- [2] Report ITU-R BS.2433-0 – Loudness in Internet delivery of broadcast originated soundtracks (10/2018)

Приложение 9

Анализ ЕРС для согласования результатов исследования по воздействию, описываемого в Приложении 5, с указанными в пункте 4.4 необходимыми предельными уровнями излучения БПЭ-ЭМ для защиты АМ-радиовещания

Введение

В Приложении 5 "Исследование по воздействию БПЭ-ЭМ в Китае" описываются исследования приема радиовещательных СЧ-передач в районе Шанхая. На первый взгляд из исследования, приведенного в Приложении 5, следует, что уровни помех, значительно превышающие уровни, основанные на Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, не оказывают вредного влияния на прием радиовещательных передач (ср. пункт 4.4). Однако условия испытаний, используемые для исследования, весьма отличаются от условий радиоприема, принятых в Рекомендациях МСЭ-R, так что это, пожалуй, не удивительно.

Планирование радиовещательной сети в Районах 1 и 3 МСЭ и, следовательно, в Европе основано на Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560. В настоящем Приложении описывается исследование, в котором результаты по Шанхаю сравниваются с ситуацией в некоторых частях Европы и предпринимаются попытки согласовать их. Применяя соответствующие поправочные коэффициенты, можно убедиться в действительно хорошей согласованности.

Уровни помех, измеренные в ходе шанхайских испытаний, кажутся значительно превышающими допустимые уровни напряженности поля, полученные в результате исследований, описываемых в пункте 4.2.2. Однако гораздо более высокий уровень радиовещательного сигнала и потенциальные эффекты маскирования как за счет высокого фонового шума, так и за счет большой глубины модуляции (радиовещательного сигнала) указывают на то, что результаты по Шанхаю в целом соответствуют критериям защиты на основе МСЭ-R. По сути, представляется вероятным, что сочетание эффектов более высокого уровня радиовещательного сигнала, высокого уровня шума окружающей среды и большой глубины модуляции маскирует воздействие любых помех от БПЭ-ЭМ. Так что неудивительно, что в этой ситуации отмечается незначительное влияние системы БПЭ-ЭМ или его полное отсутствие.

Соглашаясь с глобальным подходом, все же необходимо защищать радиовещательные сигналы пониженного уровня в условиях с низким уровнем шума, и допустимые уровни, предложенные в пункте 4.4, позволяют это сделать.

A9.1 Резюме

В разделе A5.1.2 представлено исследование сосуществования системы БПЭ-ЭМ и СЧ-радиовещания, представленное Китайской Народной Республикой для МСЭ. В нем описываются исследования приема передач СЧ-радиовещания в районе Шанхая. На первый взгляд кажется, что уровни помех, значительно превышающие уровни, основанные на Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, не оказывают вредного влияния на прием радиовещания. Однако условия испытаний, используемые для китайского исследования, весьма отличаются от условий радиоприема, принятых в Рекомендациях МСЭ-R, так что это, пожалуй, не удивительно.

Планирование радиовещательной сети в Районах 1 и 3 МСЭ и, следовательно, в Европе основано на Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560. Было проведено исследование, в котором результаты по Шанхаю сравниваются с ситуацией в некоторых частях Европы и предпринимаются попытки согласовать их. Применяя соответствующие поправочные коэффициенты, можно убедиться в действительно хорошей согласованности.

Уровни помех, измеренные в ходе шанхайских испытаний, кажутся значительно превышающими допустимые уровни напряженности поля, полученные в результате исследований, описываемых в разделе A5.1.3. Однако гораздо более высокий уровень радиовещательного сигнала и потенциальные эффекты маскирования как за счет высокого фонового шума, так и за счет большой глубины модуляции (радиовещательного сигнала) указывают на то, что результаты по Шанхаю в целом соответствуют критериям защиты на основе МСЭ-R. По сути, представляется вероятным, что сочетание эффектов более высокого уровня радиовещательного сигнала, высокого уровня шума окружающей среды и большой глубины модуляции маскирует воздействие любых помех от БПЭ-ЭМ. Так что неудивительно, что в этой ситуации отмечается незначительное влияние системы БПЭ-ЭМ или его полное отсутствие.

Соглашаясь в глобальным подходом, все же необходимо защищать радиовещательные сигналы пониженного уровня в условиях с низким уровнем шума, и допустимые уровни, предлагаемые в пункте 4.4, позволяют это сделать.

В отчете по исследованию в Шанхае некоторые факторы, которые могли бы оказать существенное влияние на результаты, не были определены количественно. Среди них звуковая частотная характеристика приемника для жанра принимаемых программ (входящего радиовещательного сигнала) и ориентация приемника. Здесь описываются все эти и другие возможные эффекты. В анализ включены консервативные оценки количественного влияния этих факторов. Кроме того, в столбце 9 таблицы A5-4 (Приложение 1 к настоящему Отчету) отсутствует объяснение потенциально аномального характера значений напряженности мешающего поля. Напряженность поля должна изменяться пропорционально кубу расстояния, так что при удвоении расстояния происходит ослабление на 18 дБ. В таблице указана, например, напряженность поля 6,3 дБмкА/м на расстоянии 10 м и (всего лишь) 14 дБмкА/м на расстоянии 5 м. Ожидаемое значение составило бы 24,3 дБ. При дальнейшем приближении напряженность поля даже уменьшается. Значения были взяты такими как есть, без какой-либо попытки интерпретации.

A9.2 Определения

A9.2.1 Вводная информация – шум, помехи и маскирование

АМ-радио – это не высококачественная среда передачи. Среди причин этого – влияние шума и помех. Критерии планирования, приведенные выше и основанные на Рекомендациях МСЭ-R BS.703 и МСЭ-R BS.560, определяют базовый приемлемый уровень качества.

Возмущения, влияющие на АМ-радио (НЧ, СЧ и ВЧ), делятся на три основные категории. На самом деле на прием АМ-радио обычно влияет сочетание всех трех категорий.

А9.2.2 Случайный шум

Шум окружающей среды (естественный и промышленный) и шум приемника. Минимальное приемлемое отношение уровня звукового сигнала к случайному шуму, предложенное МСЭ, составляет 26 дБ на основе предполагаемой глубины звуковой модуляции 30%¹⁹.

А9.2.3 Перекрывающиеся источники звука

Другие АМ-станции. Психоакустически присутствие другого, мешающего разборчивого источника звука действует более раздражающе, чем случайный шум. По этой причине МСЭ выбирает критерий защиты от других источников звука в 40 дБ. Традиционно другими источниками звука в АМ-диапазонах были другие радиостанции, и это защитное отношение определяет географический разнос между АМ-радиостанциями, работающими на той же частоте, в процессе планирования. Традиционно спрос на АМ-каналы значительно превышает количество доступных каналов, поэтому в определенных сценариях планирования эту величину снижают с 40 дБ до 26 дБ с сопутствующим снижением качества. Такие случаи снижения качества обычно согласовываются затрагиваемыми сторонами на региональных конференциях по планированию; см., например, Женевский план частотных присвоений 1975 года.

А9.2.4 Одиночные синусоидальные сигналы

Учитывая, что радиовещательная служба имеет первичное распределение в диапазонах НЧ и СЧ, ожидается, что основным источником помех будет другая станция АМ-радиовещания. АМ-сигнал состоит из большой компоненты синусоидальной несущей с относительно малыми боковыми полосами, несущими информацию, поэтому мешающий сигнал можно рассматривать как одиночную синусоиду. Одиночная синусоида (или синусоидальная несущая другой радиовещательной станции) – более вредный мешающий сигнал, чем даже звуковой сигнал. Рекомендация МСЭ-R BS.560 призывает к увеличению отношения полезного сигнала к мешающему в зависимости от частоты еще на 16 дБ – с 40 дБ до 56 дБ. Если нежелательный сигнал смещен относительно полезной несущей на 2 кГц, требуется дополнительная защита до 16 дБ; если же смещения нет, то эти 16 дБ уменьшаются до 0 дБ, потому что воздействие становится неслышимым. По этой причине региональные соглашения по планированию (такие, как упомянутый выше Женевский план частотных присвоений 1975 года) направлены на то, чтобы увязать все радиовещательные АМ-станции в едином частотном растре. Для работы "вне раstra" критерий 16 дБ не может быть ослаблен и нигде не ослабляется (отчасти потому, что такие ситуации не возникают, а отчасти потому, что однотоновый сигнал является столь агрессивным источником помех). Исследования, проведенные Би-Би-Си и представленные в [1], позволяют предположить, что можно допустить значительно более высокий уровень помех от немодулированного синусоидального сигнала (например, от гармоник при работе системы БПЭ-ЭМ), если она точно совпадает с растровой частотой радиовещания.

На практике психоакустический эффект от любой помехи будет разным в зависимости от жанра АМ-радиопрограммы. На фоне громкой непрерывной и акустически плотной программы, такой как сжатая поп-музыка, мешающий сигнал будет замаскирован, и становится допустимым более высокий уровень помех. Однако большая часть передач АМ-радиовещания основана на речевых программах. Речь характеризуется более низкой глубиной модуляции и частыми паузами в конце предложений, для дыхания, при переходе от одного говорящего к другому и т. д. Воздействие любых помех, в частности от одиночного синусоидального сигнала, наиболее выражено в промежутках и паузах. Критерии МСЭ направлены на защиту таких источников звука, как речь.

Повышенные уровни случайного фоновый или системного шума (шума окружающей среды и шума приемника) также оказывают маскирующее влияние на синусоидальные помехи. Исследование, проведенное Би-Би-Си [2], предполагает, что если фоновый шум находится на верхнем пределе согласно Рекомендации МСЭ-R BS.703 – то есть на 26 дБ ниже полезного звукового сигнала с

¹⁹ Если предполагается, что "коэффициент модуляции" равен 30%, то мощность звукового сигнала будет на 13,5 дБ ниже мощности несущей. Поскольку звуковой сигнал коррелируется между верхней и нижней боковыми полосами сложного АМ-сигнала, коэффициент корреляции будет на 3 дБ больше, чем при случайном шуме.

глубиной модуляции 30%, – то эффект маскирования повысит допустимый уровень синусоидальной помехи на 8 дБ; тогда приведенные выше 56 дБ превращаются в 48 дБ. В том же исследовании предполагается, что фоновый шум любого уровня будет маскировать синусоидальные помехи, уровень которых на 10 дБ ниже уровня шума. Это не означает, что сам шум находится на допустимом уровне относительно звукового сигнала.

А9.3 Справочная информация

Ниже приводится соответствующая выдержка из пункта А5.1.3.4, касающаяся измерений, проведенных в Шанхае.

А5.1.3.4 Результаты измерений и анализ

Всего в Шанхае работают девять АМ-радиоканалов. Ширина полосы сигнала каждого канала составляет 9 кГц. Для испытаний на гармонические помехи, в число которых могут попасть гармоники частоты опытной установки БПЭ-ЭМ, были тщательно отобраны два СЧ-канала. Уровни радиовещательного сигнала и качество звука для СЧ-каналов, измеренные без каких-либо помех со стороны БПЭ-ЭМ, приведены в таблице А5-3.

ТАБЛИЦА А5-3

Уровни сигнала СЧ-каналов в Шанхае

СЧ-канал (кГц)	Уровень сигнала	Оценка качества звука
855	Высокий (94 дБмкВ/м)	5
1197	Высокий (86,4 дБмкВ/м)	4

Результат измерения поля Н шума окружающей среды в городском районе Шанхая составил около $-17 \sim -13$ дБмкА/м/15 Гц на частоте примерно 850 кГц. Уровень напряженности поля Н уровня шума окружающей среды на частоте 9 кГц составил около $10,8 \sim 14,8$ дБмкА/м. Преобразуем напряженность поля Н в напряженность поля Е при отношении Е/Н 51,5 дБОм. Напряженность поля Е уровня шума окружающей среды на частоте 9 кГц составила около $62,3 \sim 66,3$ дБмкВ/м.

Напряженность поля сигналов АМ-радиовещания в городских районах измерялась в Шанхае. Согласно полевым испытаниям, для того чтобы поддерживать качество звука радиопередач в типичной городской среде на уровне выше 3 баллов, напряженность поля сигналов АМ-радиовещания должна быть не ниже 80 дБмкВ/м. Поскольку измеренный уровень сигнала частотой 855 кГц составляет около 94 дБмкВ/м, отношение уровня сигнала к уровню помех (SIR) радиоприемника в канале 855 кГц в условиях шума окружающей среды оценивается примерно в $27,7 \sim 31,7$ дБ.

Сигнал БПЭ-ЭМ измерялся на расстоянии 10 м от базовой площадки. По форме сигнал представлял собой непрерывную волну (CW) с напряженностью поля около 74,4 дБмкА/м. Центральная частота устанавливалась равной 85,5 кГц, 85,68 кГц или 85,2 кГц. Ширина полосы сигнала по уровню 6 дБ составляла примерно 1 Гц, причем ограничение вызвано разрешением испытательного оборудования. И все гармоники были непрерывными волнами сверхузкополосного шума.

Анализ

Там, где в шанхайском исследовании указан диапазон, берется центральное значение этого диапазона. Иногда дается ссылка на таблицу А5-4 из Добавления 1 к Приложению А.9 шанхайского исследования. Это показано в таблице А5-4 "Сводная таблица результатов полевых испытаний" в Приложении 5. Некоторые релевантные значения в таблице выделены. Резюмируя результаты измерений шанхайского исследования, можно заключить, что:

Напряженность Е-поля принимаемого сигнала (несущей радиовещательного сигнала)	+94,0 дБмкВ/м	(a)
Коэффициент преобразования от дБмкВ/м к дБмкА/м	-51,5 дБОм	(b)

Напряженность Н-поля принимаемого сигнала (несущей радиовещательного сигнала)	+42,5 дБмкА/м	(с)
Шум окружающей среды (ширина полосы 15 Гц)	-15,0 дБмкА/м	(d)
Шум окружающей среды (ширина полосы 9 Гц)	+13,0 дБмкА/м	(e)
Отношение радиовещательной несущей к шуму (с-е)	+29,5 дБ	(f)

Комментарий

Согласно Рекомендации МСЭ-R BS.703, минимальная используемая напряженность поля радиовещательного СЧ-сигнала составляет +60 дБмкВ/м при отношении уровня несущей к шуму системы 36,5 дБ. Так что полезный радиовещательный сигнал, измеренный в ходе шанхайских испытаний, на 34,0 дБ сильнее, а отношение сигнал/шум на 6,5 дБ хуже. Оба эти фактора уменьшают слышимое воздействие помех от БПЭ-ЭМ. Однако оценка качества 5, достигнутая при таком низком отношении несущей к шуму, говорит о том, что материал радиовещательной программы во время испытаний был сильно модулирован, сильно обработан и довольно "плотный", например сжатая поп-музыка. Жанр материала программы в исследовании не указан. Измерения глубины модуляции АМ-передатчиков, проведенные Би-Би-Си и представленные в [3], показали, что глубина модуляции сильно обработанной поп-музыки может быть на 6 дБ больше, чем при речи; 40% вместо 20% в среднеквадратических значениях. В этом случае можно допустить более высокий уровень помех – как минимум на 6 дБ, а возможно, еще больше, так как непрерывный характер музыки без каких-либо пауз или промежутков маскирует воздействие помех.

Судя по таблице А5-4 "Сводная таблица результатов полевых испытаний" (см. Дополнение 1 к Приложению А.9) в отчете о шанхайских испытаниях и особенно в столбце 9 "Вредное Н-поле" (выделено желтым цветом в Дополнении 1 к Приложению А.9), можно видеть, что фактические измеренные значения мешающего Н-поля в месте расположения приемника варьировались от 6,3 дБмкА/м до 14,0 дБмкА/м на частоте 856,8 кГц (10-я гармоника частоты 85,68 кГц: 1,8 кГц от раstra) и от 3 дБмкА/м до 11,2 дБмкА/м на частоте 1199,52 кГц (14-я гармоника частоты 85,68 кГц: 2,52 кГц от раstra). Любопытно, что на частоте 856,8 кГц вопреки ожиданию измеренная напряженность поля уменьшается по мере приближения приемника/точки измерения к источнику помех. Ни одна из цифр не отражает ожидаемое (теоретическое) снижение напряженности магнитного поля в 60 дБ на декаду²⁰ при увеличении расстояния от источника. Любой из этих факторов может свидетельствовать о наличии аномалии магнитного поля или, возможно, измерения.

Взяв цифры такими как есть и глядя на строку 8 (данных) таблицы А5-4 (в Дополнении 1 к Приложению А.9 выделена синим цветом), которая обозначена как "наихудший случай", получаем, что напряженность поля, измеренная на входе приемника, составляет 5,3 дБмкА/м на расстоянии 4,3 м от источника:

Разнос	4,3 м	Частота гармоники	856,8 кГц	
Полезный сигнал			+42 дБмкА/м	(j)
Уровень помех от БПЭ-ЭМ на расстоянии 4,3 м от источника			+5,3 дБмкА/м	

В разделе А5.1.3 Приложения 5 предлагается взять равным 3 м минимальное расстояние разноса между зарядным устройством БПЭ-ЭМ и приемником, испытывающим помехи. Наименьшее расстояние разноса, для которого делалась какая-либо оценка, составляло 4,3 м. В идеале следует внести поправку на это, однако экстраполяция результатов из столбца 9 таблицы А5-4 (Дополнение 1 к Приложению А.9) будет затруднена, и во всяком случае результаты испытаний отсутствуют.

Согласование

Как уже говорилось, в Рекомендации МСЭ-R BS.703 (которая цитируется в исследовании) предполагается, что минимальная чувствительность среднего СЧ-приемника составляет 60 дБмкВ/м, что эквивалентно 8,5 дБмкА/м. Уровень полезного радиовещательного сигнала в шанхайском исследовании был на 34,0 дБ выше уровня 42,5 дБмкА/м (с). Для сравнения с показателем,

²⁰ В ближней зоне.

предложенным в разделе А5.1.3, который основан на минимальной используемой напряженности поля, а не на высокой напряженности поля входящего сигнала, как в шанхайском исследовании, цифру из исследования следует уменьшить на 34 дБ.

$$+5,3 \text{ дБмкА/м} - 34,0 \text{ дБ} \qquad -28,3 \text{ дБмкА/м} \qquad (к)$$

Чтобы компенсировать предполагаемую большую глубину модуляции (см. разделы "Вводная информация..." и "Комментарий" выше), ее следует уменьшить еще *как минимум* на 6 дБ.

$$-28,3 \text{ дБмкА/м} - 6 \text{ дБ} \qquad -34,3 \text{ дБмкА/м} \qquad (л)$$

Анализ в разделе А5.1.3 предполагает, что максимальный допустимый уровень помех в месте расположения приемника не должен превышать -43 дБмкА/м. Таким образом, еще остается разрыв в 8,7 дБ между результатами шанхайского исследования и исследований ЕРС. Однако существует ряд других факторов, которые следует принимать во внимание. Эти факторы невозможно точно определить без измерений во время испытаний, но ниже описывается попытка реалистичной оценки.

Звуковая частотная характеристика приемника

Частотная характеристика приемника Tecsun PL-380, использовавшегося для испытаний, неизвестна и не сообщается. Анализ ЕРС предполагает, что звуковая частотная характеристика приемника равномерна во всем звуковом диапазоне – примерно до 4 кГц. Однако звуковая частотная характеристика серийного приемника Panasonic GX-500, который использовался для исследования Би-Би-Си в мае 2018 года [2], снижалась на 4 дБ для частоты 1,8 кГц. Если предположить аналогичную характеристику у приемника Tecsun, то рассчитанное выше значение (л) следует дополнительно уменьшить (примерно) на 4 дБ.

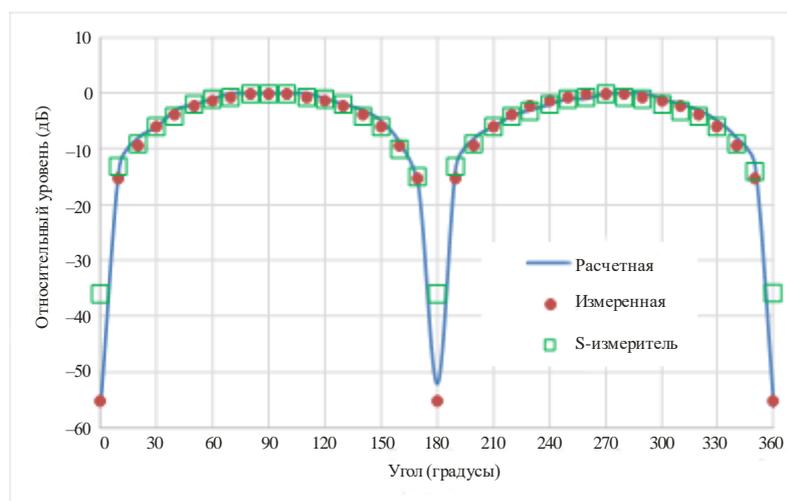
$$-34,3 \text{ дБмкА/м} - 4,0 \text{ дБ} \qquad -38,3 \text{ дБмкА/м} \qquad (м)$$

Ориентация приемника

Почти во всех серийных аналоговых СЧ-радиоприемниках используется стержневая ферритовая антенна, поэтому ее характеристика по отношению к направлению входящих сигналов не равномерна. Такие антенны имеют характеристику в виде восьмерки, что позволяет нейтрализовать мешающий сигнал путем точной ориентации приемника. Однако при изменении ориентации ослабление мешающего сигнала быстро уменьшается, как показано на следующем графике. Испытания, проведенные Би-Би-Си, подтверждают, что реальные антенны ведут себя ожидаемым образом, как показано на графике.

РИСУНОК А9-1

Расчетная и измеренная направленность приемника



ПРИМЕЧАНИЕ.

- i) Приемник был оснащен измерителем, дающим показания непосредственно в дБмкА/м. Первоначальная идея состояла в том, чтобы поворачивать приемник и снимать показания измерителя с шагом 10° . Однако показанные "измеренные" результаты фактически получены путем изменения уровня генератора, так чтобы показания измерителя оставались постоянными (на уровне 70 дБмкА/м). Считалось, что это дает более точные результаты.
- ii) В качестве перекрестной проверки был также реализован первоначальный подход. Соответствующие результаты показаны значками "S-измеритель". Следует отметить, что минимум определяется нерезко, потому что минимальный уровень шума измерителя составляет около 32 дБмкА/м.

Учитывая характер результатов шанхайских испытаний, маловероятно, что приемник был специально ориентирован на максимум чувствительности к мешающему сигналу за счет полезного сигнала. На самом деле результаты свидетельствуют об обратном, и ориентация, скорее всего, фактически не учитывалась. Если предположить медианное значение около 3 дБ, то рассчитанное выше значение (m) следует уменьшить еще на 3 дБ.

$$-38,3 \text{ дБмкА/м} - 3 \text{ дБ} \qquad -41,3 \text{ дБмкА/м} \qquad (n)$$

Маскирование звуком

Если исследования Би-Би-Си, описываемые в [2], в некоторой мере дают количественную оценку эффектов маскирования фоновым случайным шумом, то количественная оценка эффекта маскирования самим звуковым сигналом не проводилась. Известно (из субъективных испытаний, описываемых в [1]), что раздражающее воздействие мешающего сигнала кажется наибольшим в короткие периоды молчания в речевой программе. Однако очевидно, что более громкий непрерывный и более плотный аудиоматериал будет дополнительно маскировать помехи. Жанр программного материала, использованного в китайском исследовании, не сообщается, но тот факт, что столь высокие оценки качества были достигнуты при наличии высокого уровня фонового шума, говорит о том, что это была не речь. Несмотря на сложность количественного определения, оценка, основанная на результатах исследований [2], связанных со случайным шумом, предполагает, что дополнительный маскирующий эффект непрерывной "громкой" программы может составлять не менее 4 дБ, а возможно и больше. Корректировка рассчитанного значения (n) на 4 дБ приведет к тому, что оно окажется ниже показателя EPC. Тот факт, что цифры очень близки, вероятно, является совпадением.

$$-41,3 \text{ дБмкА/м} - 4,0 \text{ дБ} \qquad -45,3 \text{ дБмкА/м} \qquad (o)$$

Исследование, проведенное Би-Би-Си в мае 2018 года [2], указывает на то, что если синусоидальный мешающий сигнал, такой как гармоника БПЭ-ЭМ, более чем на 10 дБ ниже преобладающего шума системы, то он маскируется. В этом случае уровень шума окружающей среды²¹ составляет 13 дБмкА/м, а уровень мешающей гармоники БПЭ-ЭМ равен 5 дБмкА/м, то есть уже на 8 дБ ниже. Учитывая все прочие факторы (частотную характеристику приемника и т. д.), которые следует принимать во внимание, неудивительно, что мешающий сигнал не слышен.

Подобный анализ результатов, относящихся к вещательной радиопередаче на частоте 1197 кГц, приводит к аналогичному выводу.

Дополнительная информация – потери при проникновении в здание

В разделе А5.1.2 упоминаются "потери при проникновении в здание" в качестве смягчающего фактора, который поможет уменьшить воздействие систем БПЭ-ЭМ на радиоприемники. В нем говорится: "Между подземными гаражами и жилыми домами обычно имеются стены. Потери на проникновение сквозь стену приведут к дополнительному ослаблению уровня сигнала БПЭ-ЭМ на 17 дБ. Это было измерено и проверено в ходе полевых испытаний".

²¹ Учитывая высокий уровень шума окружающей среды, маловероятно, что шум приемника внесет какой-либо значительный вклад. Если и внесет, то только добавится к нему.

Данный вывод здесь неприменим и не может рассматриваться как фактор смягчения по ряду причин, а именно:

- 1) Неверно, что между зарядным устройством БПЭ-ЭМ и вещательным радиоприемником всегда имеется стена. Портативные радиоприемники часто эксплуатируются на открытом воздухе, и прослушивание АМ-радиопередач чаще всего происходит в автомобилях²². К тому же у подавляющего большинства автовладельцев (конечно, в Европе) нет доступа к подземной парковке.
- 2) Значение 17 дБ получено по результатам исследования, проведенного со сформированными радиоволнами на частоте 5,8 ГГц. Без дальнейшего изучения нельзя предполагать, что поведение радиоволн на частоте 6 ГГц каким-либо образом сопоставимо с поведением магнитных полей на частотах ниже 30 МГц.
- 3) Как следует из пункта 2), на предусмотренных расстояниях разноса (и скорее всего повсюду) побочные излучения от систем БПЭ-ЭМ не будут радиоволнами, и, следовательно, вся концепция потерь при проникновении в здание, вероятно, неприменима. Важна только способность проникновения магнитных полей в здания. Неформальное исследование, проведенное Би-Би-Си и представленное в Прилагаемом документе 3 к Приложению 8 (потери при проникновении в здание), показывает, что наиболее распространенные строительные материалы (кирпич, дерево, пластик, стекло) полностью прозрачны для магнитных полей и, следовательно, не будут оказывать ослабляющего действия. Исключения составляют магнитные материалы, такие как сталь, и проводящие материалы, в которых вихревые токи могут возмущать магнитное поле. Бетон в магнитном отношении прозрачен, однако он часто используется с металлической (проводящей) арматурой, и вихревые токи в этой арматуре могут нарушать магнитное поле. В глобальном масштабе жилые дома из проводящих материалов и из стали встречаются редко. Жилые здания из железобетона встречаются гораздо чаще, но не настолько, чтобы учитывать этот фактор.

A9.4 Ссылки

- [1] BBC Research and Development White Paper WHP322 (2017) – Wireless Power Transfer: Plain Carrier Interference to AM Reception
<https://www.bbc.co.uk/rd/publications/wireless-power-transfer-plain-carrier-interference-to-am-reception>
- [2] BBC Research and Development White Paper WHP322 (2017) – Wireless Power Transfer (WPT) – Further Studies on the Performance of MF Sound Broadcasting Receivers in the Presence of Interference from WPT.
- [3] Report [ITU-R BS.2433-0](#), “Assessment of modulation depth for AM sound broadcasting transmissions” (10/2018).

Приложение 10

Исследование по воздействию устройств БПЭ-ЭМ, работающих в полосе 79–90 кГц, на системы радиосвязи в любительской службе

A10.1 Введение

В этом Приложении представлен анализ воздействия систем БПЭ-ЭМ на радиосвязь в любительской службе. Данные для анализа взяты из опубликованной информации о любительской службе, системах БПЭ-ЭМ, а также из существующих отчетов и исследований СЕРТ, МСЭ и CISPR/CENELEC.

²² Цифры по Соединенному Королевству от RAJAR (Radio Joint Audience Research) показывают, что 22,8% радиоаудитории составляют автомобилисты.

A10.2 Справочная информация

Любительская служба – это радиослужба, определение которой приведено в Регламенте радиосвязи МСЭ (пункт 1.56 РР). В мире насчитывается около трех миллионов радиолюбителей, имеющих лицензии. Регламент радиосвязи МСЭ устанавливает частоты, распределенные любительской службе. В таблице A10-1 представлен общий обзор действующих распределений до 1 ГГц, хотя для разных Районов МСЭ и отдельных стран эти распределения несколько различаются. Имеются также многочисленные распределения выше 1 ГГц.

ТАБЛИЦА A10-1

Глобальные распределения любительской службе на частоте до 1 ГГц в РР МСЭ и согласно пункту 4.4 РР

(Следует отметить, что в некоторых полосах частот из этой таблицы имеются национальные и региональные различия.)

Полоса частот	Статус распределения
135,7–137,8 кГц	Вторичное распределение
472,0–479,0 кГц	Вторичное распределение
1800–2000 кГц	Отчасти первичное, отчасти вторичное
3500–4000 кГц	Первичное распределение
5351,5–5366,5 кГц	Вторичное распределение
7000–7300 кГц	Первичное распределение
10 100–10 150 кГц	Вторичное распределение
14 000–14 350 кГц	Первичное распределение
18 068–18 168 кГц	Первичное распределение
21 000–21 450 кГц	Первичное распределение
24 890–24 990 кГц	Первичное распределение
28,0–29,7 МГц	Первичное распределение
50,0–54,0 МГц	Отчасти первичное, отчасти вторичное
70,0–70,5 МГц	Вторичное распределение
144–148 МГц	Первичное распределение
430–450 МГц	Вторичное распределение

Характеристики радиостанций любительской службы указаны в Рекомендации МСЭ-R M.1732 [1]. Вопросы защиты любительской службы взяты из Рекомендации МСЭ-R F.240.

Любительская служба, по сути, представляет собой маломощную службу, рассчитанную в своей работе на низкий уровень фонового шума.

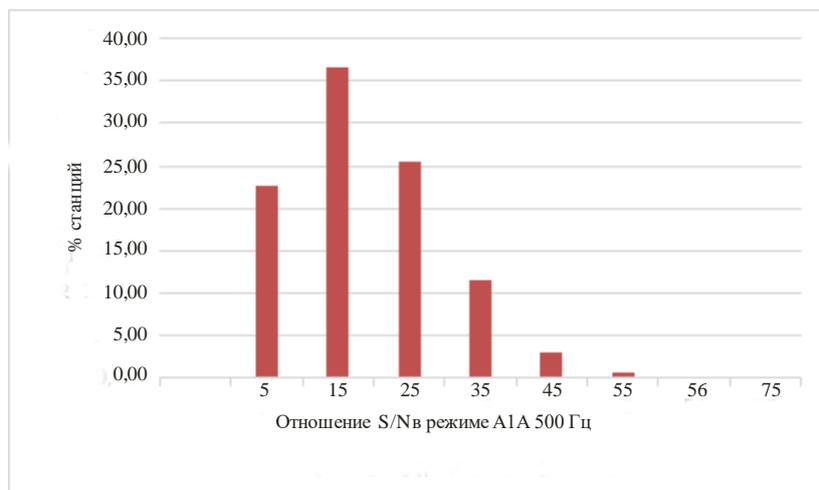
Поскольку минимальные уровни сигналов для связи в любительской службе не определены, для правильной оценки ее восприимчивости к вредным помехам необходимо изучить фактическую модель радиосвязи в рамках этой службы. Любительская служба Reverse Beacon Network²³ предоставляет обновляемую в режиме реального времени базу данных любительских сигналов, передаваемых в режиме A1A, которые автоматически отслеживаются несколькими сотнями приемных станций и собираются по всему миру. Чтобы получить какое-либо указание о типичном отношении сигнал/шум при связи в любительской службе, были проанализированы данные этих контрольных станций за длительный период.

²³ <http://www.reversebeacon.net/>

На рисунке А10-1 показано распределение уровней сигнала А1А в любительской службе, полученное исходя из 528 280 отдельных значений.

РИСУНОК А10-1

Распределение типичного отношения сигнал/шум при связи в любительской службе



Report SM.2451-A10-01

Если представить указанные выше данные в той же ширине полосы, что и измерения, приведенные в Рекомендации МСЭ-R P.372-13 [2], это приведет к ухудшению отношения сигнал/шум на 13 дБ.

Эта диаграмма убедительно показывает, что любое значительное повышение уровня фонового шума окажет существенное влияние связь в любительской службе, поскольку в настоящее время радиосвязь в большинстве случаев осуществляется относительно близко к уровню шума.

Приведенные выше отношения сигнал/шум касаются уровней фонового шума, и в качестве опорной точки для этой цели подходят уровни промышленного фонового шума, определяемые в Рекомендации МСЭ-R P.372-13. Хотя в городских "шумных" районах эти уровни несколько превышают приведенные выше уровни, в недавних отчетах высказывалось предположение, что в жилых районах и в сельской местности уровни фонового шума также несколько повысились – примерно на 10–16 дБ. Что касается тихой сельской местности, то имеются некоторые свидетельства того, что и там уровни немного повысились, предположительно из-за совокупного воздействия миллионов маломощных цифровых устройств (например, режимов переключения источников питания, блоков питания систем светодиодного освещения, солнечных фотоэлектрических (PV) систем, установок PLT/BPL), создающих широкополосное излучение, распространяемое благодаря ионосферному отражению.

Одна из причин потребности в малозумной среде для любительской службы заключается в том, что ее пользователи предоставляют связь для оказания помощи при бедствиях – зачастую при низких уровнях сигнала. Во многих странах любительское радио рассматривается как крайне важная резервная служба в случае сбоя или перегрузки обычных систем связи. Правительства полагаются на эту возможность во время чрезвычайных ситуаций. Для этой цели используются распределения любительской службе в диапазонах ВЧ и ОВЧ. Слово "любительская" может вводить в заблуждение, поскольку станции любительской службы также участвуют в фундаментальных исследованиях ионосферы и распространения радиоволн. Очевидно, что любое значительное повышение уровня фонового шума отрицательно скажется на возможностях этой службы во всех указанных областях.

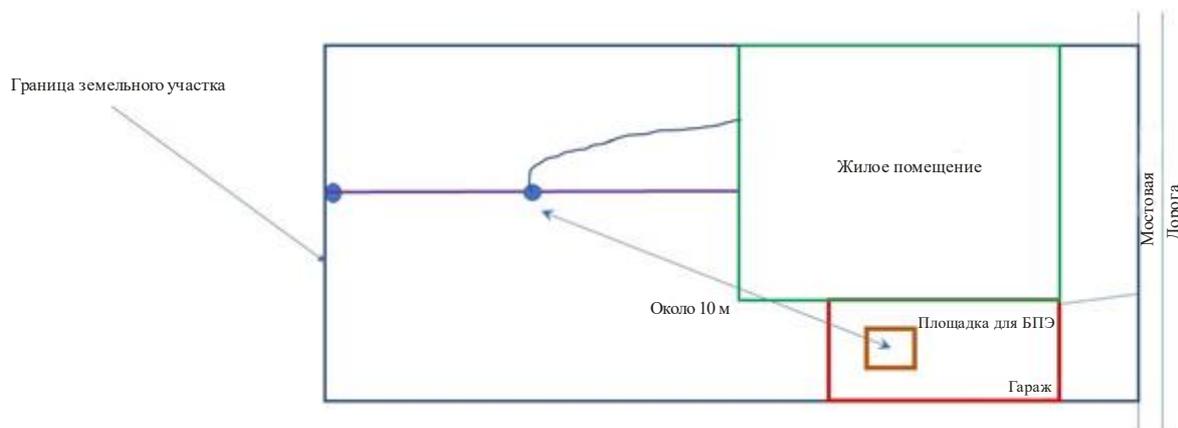
Существуют прецеденты, касающиеся признания необходимости защиты частот любительской службы в стандартах и ограничениях, относящихся к электросвязи по линиям электропередач [3], услуг DSL [4] и Gfast [4]. Следует отметить, что установленный уровень дополнительной защиты, например, пределы PLT в СИСПР, имеет тот же порядок, что и предлагаемый ниже в настоящем Приложении.

А10.3 Расположение установок БПЭ-ЭМ

Системы БПЭ-ЭМ планируется применять в жилых домах и гаражах, а также на парковках и на площадках обслуживания общего пользования. Поэтому можно ожидать, что бытовые установки БПЭ-ЭМ будут находиться рядом с жилыми помещениями. На рисунке А10-2 представлена схема типичной бытовой установки БПЭ-ЭМ, совмещенной с установкой любительской службы. Следует отметить, что вполне вероятны случаи, когда антенна радиостанции любительской службы будет (и даже часто) располагаться в пределах 10 м от установки БПЭ-ЭМ.

РИСУНОК А10-2

Типичная планировка жилого дома в Соединенном Королевстве



Report SM.2451-A10-02

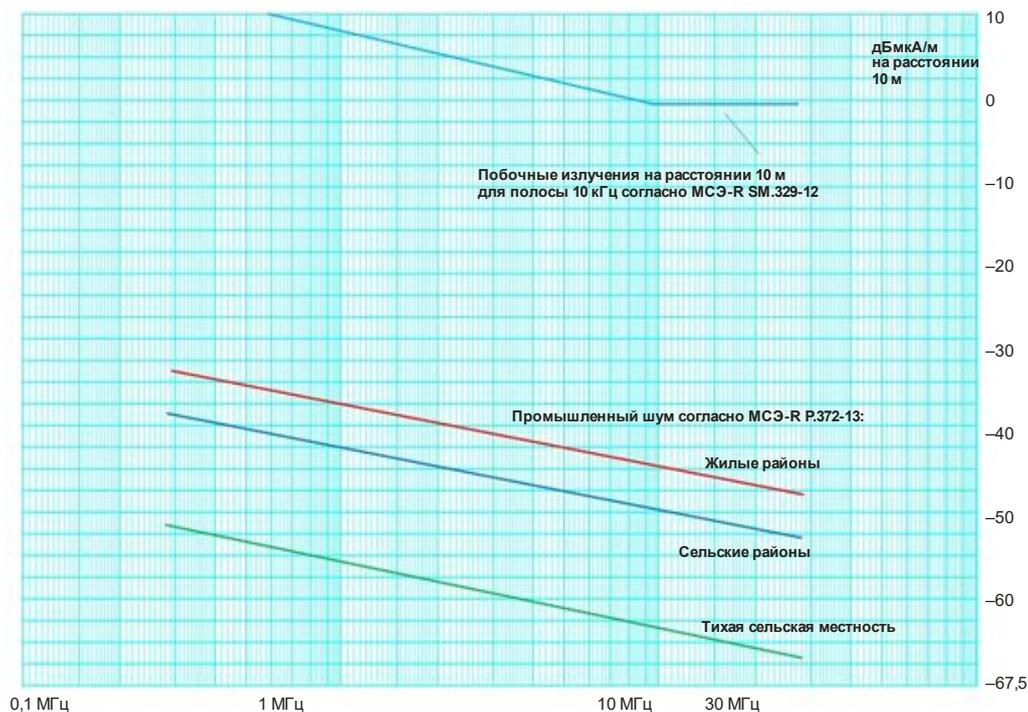
А10.4 Уровни побочных излучений

В настоящее время согласованные предельные уровни гармонических и других излучений от систем БПЭ-ЭМ отсутствуют. Имеется ограниченная информация о фактических излучениях на частотах гармоник таких систем, работающих в полосе 79–90 кГц. В некоторых исследованиях делаются предположения, что для БПЭ-ЭМ могут подойти предельные уровни, разработанные для других целей (например, для маломощных индуктивных устройств). Сами по себе эти предельные уровни не претендуют на обеспечение адекватной защиты от вредных помех, но имеются свидетельства того, что некоторые разработчики систем БПЭ-ЭМ берут их за основу при планировании. Тем не менее использование этих предельных уровней в качестве основы для анализа характеристик систем позволяет оценить разрыв между надлежащей защитой станций любительской службы и излучениями от систем БПЭ-ЭМ.

На рисунке А10-3 показаны уровни излучения, указанные в Рекомендации МСЭ-R SM.329-13 (они близки к предельным уровням CISPR11 класса В), и уровни фонового шума из Рекомендации МСЭ-R P.372-12. Очевидно, что между этими уровнями существует довольно значительный разрыв. Побочные излучения при указанных предельных уровнях превысят уровень фонового шума на 40–50 дБ, что, несомненно, окажет крайне вредное воздействие на радиослужбы, работающие при низком отношении сигнал/шум.

РИСУНОК А10-3

Графическое сравнение предельных уровней излучения из Рек. МСЭ-R SM.329-12 с уровнями фонового шума из Рек. МСЭ-R P.372-13



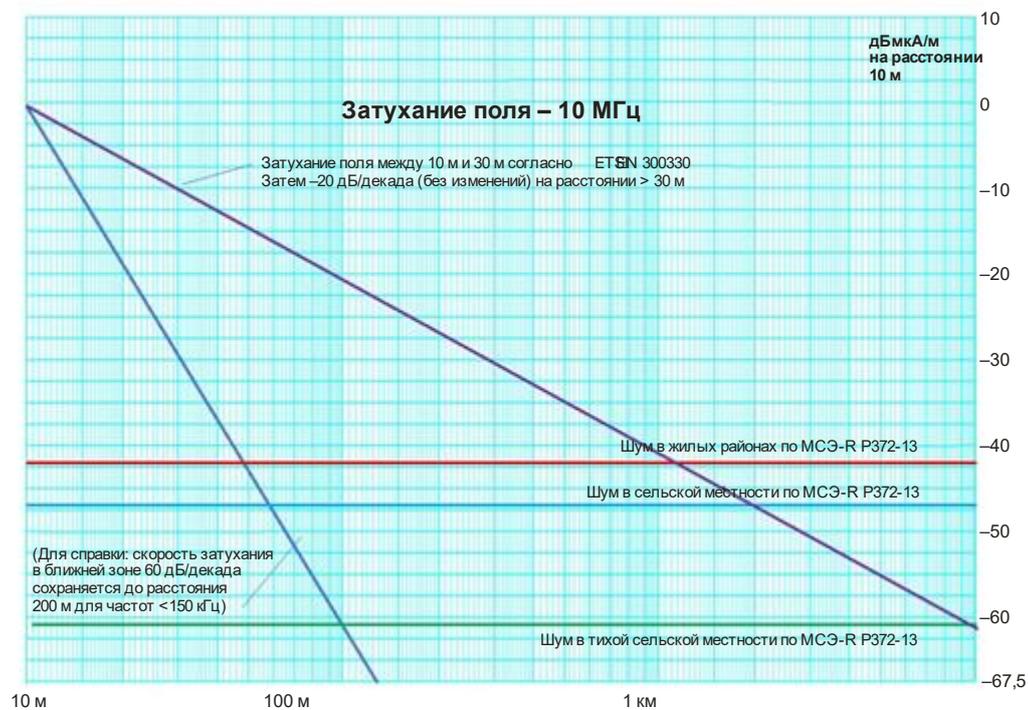
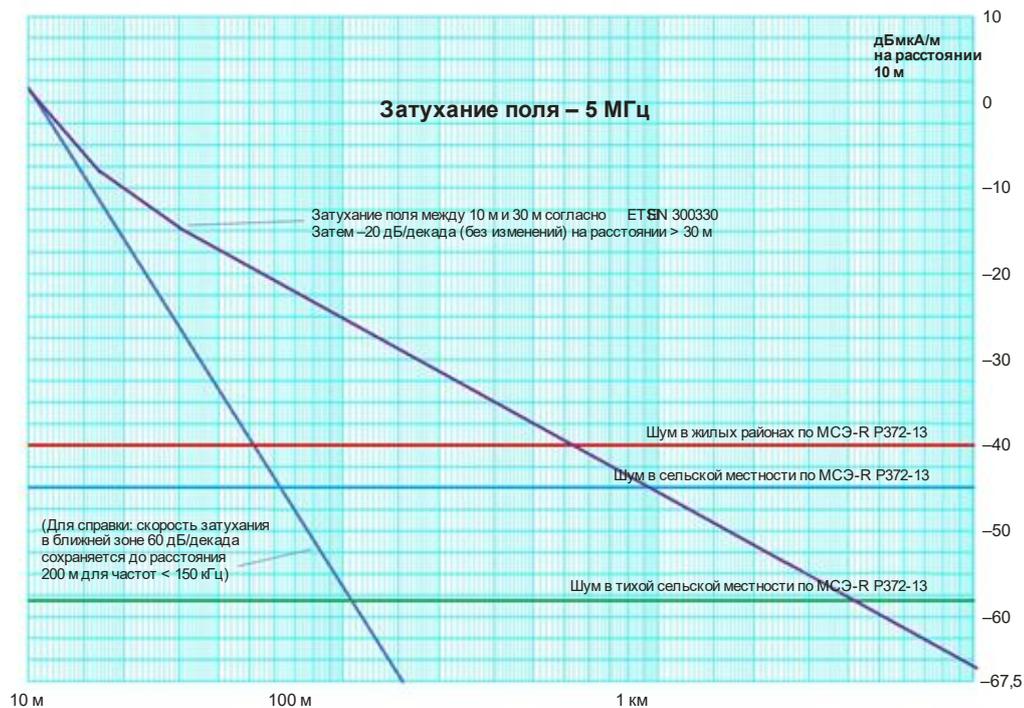
Report SM.2451-A10-03

Кроме того, характеристики излучения от индуктивных устройств определены, в частности, в Европейском согласованном стандарте ETSI EN 300330 [5]. Хотя при предыдущем моделировании часто использовалась скорость затухания с расстоянием в ближней зоне 60 дБ/декада, в документе ETSI подтверждается, что скорость затухания излучений зависит от частоты. В Дополнении I к EN 300330 приведены соответствующие значения скорости затухания для корректировки расстояний измерения от 10 м до 30 м, и сочетание этих данных с другими данными о расстояниях перехода от ближней зоны к дальней позволяет оценить уровни излучения от системы БПЭ-ЭМ по уровням излучения (измеренным на расстоянии 10 м) в пределах, установленных для устройств ближнего радиуса действия в Рекомендации МСЭ-R SM.329.

Графики на рисунке А10-4 показывают полученные с использованием этих данных прогнозируемые гармонические излучения на частотах 5 МГц и 10 МГц, вызванные гармониками системы БПЭ-ЭМ, работающей на предполагаемых уровнях. Очевидно, что на частоте 5 МГц уровень излучений превышает фоновый шум в сельской местности на 10 дБ и более на расстояниях около 250 м от установки БПЭ-ЭМ, а на частоте 10 МГц это расстояние увеличивается еще больше. Это придает дополнительный вес аргументу о том, что для того чтобы предотвратить вредные помехи радиослужбам, побочные излучения, измеренные на расстоянии 10 м, должны быть намного ниже предельных значений, предполагаемых разработчиками систем БПЭ-ЭМ.

РИСУНОК А10-4

Затухание излучений на частотах 5 МГц и 10 МГц в соответствии с EN 300330



Report SM.2451-A10-04

A10.5 Целевой уровень защиты

В отсутствие предоставленных МСЭ значимых результатов измерений гармонических излучений системами БПЭ-ЭМ в полосе 79–90 кГц, любая оценка истинного размера разрыва в характеристиках будет спекулятивной. По этой причине в приведенном выше анализе в качестве рассматриваемых предельных уровней для БПЭ-ЭМ использовались пределы, предлагаемые в разных местах.

Более значимым было бы определение того, что именно требуется для обеспечения соответствующего уровня защиты именно любительской службы.

Согласно МСЭ-R F.240, необходимо определить требуемый уровень обслуживания и используемый режим связи. Чтобы получить общие требования по защите любительской службы, был принят наименее требовательный уровень обслуживания в сочетании с наиболее жестким уровнем защиты для наиболее распространенных в любительской службе режимов передачи. Существуют прецеденты по ограничению увеличения фонового шума до 0,5 дБ для услуг с малыми уровнями сигналов [3]. Это хорошо согласуется с наименее жесткими уровнями защиты, предлагаемыми в МСЭ-R F.240 с использованием описанной выше методики.

Использование уровней согласно МСЭ-R P.372-12 для сельской местности предполагает, что если излучения БПЭ-ЭМ нестабильны по частоте, не совсем точно совпадают по частоте и/или содержат широкополосный шум, связанный с фазой или боковой полосой, то потребуется следующий уровень защиты:

–45,5 дБмкА/м на частоте 300 кГц со снижением на 8 дБ на декаду частоты до –61,5 дБмкА/м на частоте 30 МГц.

Для сравнения, если в качестве базового будет выбран уровень шума в жилых районах, то требуемый уровень защиты составит:

–41,5 дБмкА/м на частоте 300 кГц со снижением на 8 дБ на декаду частоты до –57,5 дБмкА/м на частоте 30 МГц.

Следует отметить, что это не обеспечит необходимую защиту в сельской местности.

Все измерения проводились на расстоянии 10 м.

Если БПЭ-ЭМ представляет собой высокостабильный чистый синусоидальный сигнал с общепринятой единой рабочей частотой и широкополосным шумом, не превышающим указанные выше пределы, то сигналы радилюбительской службы более терпимы к некоторому уровню помех от синусоидального излучения, так как гармоническое излучение будет ограничено рядом "точечных" частот по всему спектру. В таком случае разумно будет допустить, чтобы гармоники чистой синусоиды превышали указанный выше уровень примерно на 20 дБ.

A10.6 Измерения существующих систем

Изучение некоторых представленных данных об измерениях существующих систем БПЭ-ЭМ показывает, что измерения уровня фонового шума, описываемые в некоторых отчетах по излучениям систем БПЭ-ЭМ, по-видимому, имеют серьезные технические недостатки, являющиеся результатом использования измерительного оборудования, чувствительности которого просто не хватает для определения истинного уровня фонового шума.

При измерениях фонового шума в полосе 3–30 МГц для проведения значимых измерений, согласно приближенному расчету, требуется минимальная чувствительность системы –158 дБм/Гц. Шум в измерительной системе (особенно с активной антенной) создает ложное впечатление об истинных уровнях фонового шума. В частности, исследования, включенные в текущий предварительный проект нового отчета (PDNR) МСЭ-R по пункту 9.1.6 повестки дня ВКР-19, создают неточную картину истинных уровней шума из-за использования неподходящего измерительного оборудования.

Поэтому при измерении уровней фонового шума на испытательной площадке необходимо проявлять особое внимание, чтобы обеспечить использование подходящих антенн и измерительных приемников для ожидаемых уровней излучения. Проводившиеся до сих пор испытания часто оказывались не в состоянии должным образом отразить весь динамический диапазон рассматриваемого спектра.

Весьма вероятно, что с учетом требований защиты, необходимых для предотвращения вредных помех, создаваемых радиослужбам от систем БПЭ-ЭМ, понадобятся новые методы и процедуры испытаний.

А10.7 Резюме

Основной целью при внедрении новых технологий должно быть сохранение полезности радиочастотного спектра; это закреплено в статьях **15.12** и **15.13** Регламента радиосвязи [6] и в соответствующих стандартах ЭМС. Система БПЭ-ЭМ для электромобилей будет причинять значительный и повсеместный ущерб радиочастотному спектру, если не будут установлены соответствующие стандарты и ограничения, значительно более строгие, чем те, которые приняты в настоящее время для других индукционных устройств. Это исследование показывает, что установление предельных уровней излучения, обеспечивающих надлежащую защиту вне рабочей частоты системы БПЭ-ЭМ, является важным элементом внедрения технологии БПЭ-ЭМ. Без этого сосуществование служб радиосвязи и систем БПЭ-ЭМ в одной и той же среде нецелесообразно.

Ссылки

- [1] Рекомендация МСЭ-R М.1732 – Характеристики систем, работающих в любительской и любительской спутниковой службах, в целях применения в исследованиях по совместному использованию частот
- [2] Рекомендация МСЭ-R Р.372-13 – Радиошум
- [3] Отчет МСЭ-R SM.2158 – Влияние систем электросвязи по линиям электропередач на системы радиосвязи, работающие на частотах ниже 80 МГц
- [4] Рекомендация МСЭ-T G.993.2, Поправка 2 (03/2016) – Приемопередатчики сверхскоростной цифровой абонентской линии 2 (VDSL2) (Раздел 7.2.1.2 Выходной контроль)
- [5] EN300330 Short Range Devices (SRD) –Radio equipment in the frequency range 9 kHz to 25 MHz and inductive loop systems in the frequency range 9 kHz to 30 MHz; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU
- [6] Регламент радиосвязи:

15.12 § 8 Администрации должны предпринимать все практически 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.

15.13 § 9 Администрации должны предпринимать все практически осуществимые и необходимые меры для того, чтобы радиация от промышленного, научного и медицинского оборудования была минимальной и чтобы радиация от такого оборудования вне полос, предназначенных для такого оборудования, была на уровне, не создающем вредных помех какой-либо службе радиосвязи и, в особенности, радионавигационной службе или любой другой службе безопасности, работающей в соответствии с положениями настоящего Регламента.

Приложение 11

Анализ влияния систем БПЭ-ЭМ на системы слуховых аппаратов T-Coil

Система T-Coil используется с 1927 года и является единственной всемирной универсальной системой связи для лиц с ограничениями по слуху. Она применяется во многих ситуациях – от бытовых до деловых – и является общепринятой и в некоторых странах обязательна для применения в мобильных телефонах и телефонах наземных линий связи.

Данная система задействована везде, где указан синий значок со стилизованным изображением уха:



В системе используется аудиосигнал основной полосы частот до 10 кГц.

Проводились практические испытания с двумя типами систем БПЭ-ЭМ для электробусов и устройствами мощностью < 15 Вт с проводной передачей энергии, демонстрирующими минимальные помехи, однако мощные системы для ЭМ еще только предстоит рассмотреть. Дополнительная информация содержится в Рекомендации МСЭ-R M.1076-1.

A11.1 Рабочие параметры

Достижимый уровень напряженности магнитного поля индукционной петлевой системы в "зоне покрытия" составляет 400 мА на метр (среднеквадратическое значение).

Полоса частот: 50 Гц – 10 кГц.

Чувствительность: от –98 дБВ до –95 дБВ (среднеквадратическое значение).

A11.2 Предельно допустимые уровни помех

Считается, что при превышении указанных ниже значений напряженности поля создаются помехи для приемников T-Coil.

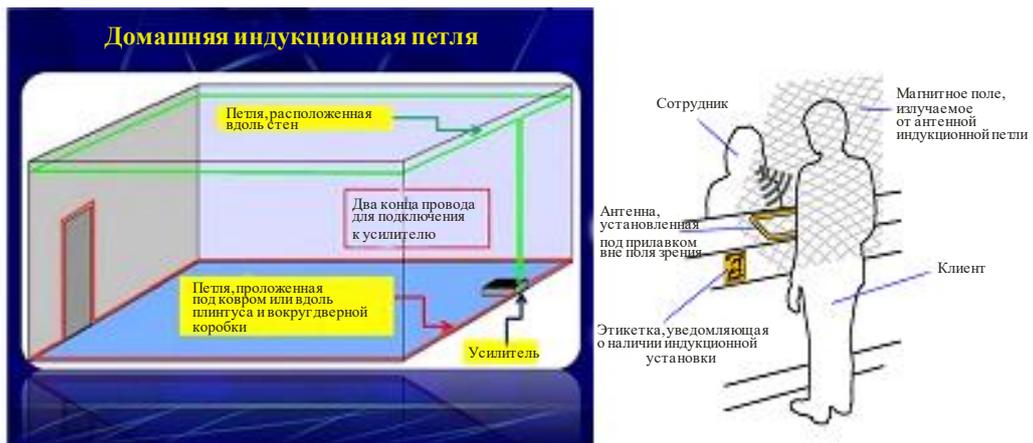
Полоса частот	Минимальная напряженность поля на расстоянии 1 м, создающая помехи
50 Гц – 12 кГц	0,3 мА/м
> 12 кГц – 100 кГц	300 мА/м

A11.3 Передатчики T-Coil

Индукционная петля (иногда ее называют звуковой индукционной петлей) – это звуковая система специального типа, предназначенная для людей, пользующихся слуховыми аппаратами. Индукционная петля обеспечивает беспроводный магнитный сигнал, который воспринимается слуховым аппаратом, установленным в режим "Т" (Telecoil).

Индукционная петля состоит из микрофона, который улавливает речь; усилителя, который обрабатывает сигнал и затем передает его через выходной каскад; и кабельной петли, проложенной по периметру определенной зоны, то есть жилой комнаты или зала для заседаний, церкви, стойки обслуживания и т. д., чтобы действовать в качестве антенны, излучая магнитный сигнал для слухового аппарата.

Ниже приведены схемы индукционной петли у прилавка магазина или в банке и домашней установки.



A11.4 Приемники T-Coil

Здесь показаны разные типы таких приемников, хотя большинство модулей производится одной и той же компанией.



Шейная приемная петля

Сменный модуль
слухового аппарата



Система T-Coil,
встроенная в слуховой
аппарат

Наушник с усилителем
для телефонов

