

Отчет МСЭ-R SM.2449-1

(06/2024)

Серия SM: Управление использованием спектра

Анализ воздействия беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции и магнитного резонанса без использования луча для мобильных и переносных устройств в службах радиосвязи



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-Т/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 <https://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-Т/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

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

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

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

Электронная публикация
Женева, 2025 г.

© ITU 2025

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.2449-1

Анализ воздействия беспроводной передачи энергии на основе магнитной индукции и магнитного резонанса без использования луча для мобильных и переносных устройств в службах радиосвязи

(Вопрос МСЭ-R 210-4/1)

(2019-2024)

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Введение.....	4
2 Применения для магнитно-индуктивной и резонансной зарядки мобильных и переносных устройств	4
3 Международные стандарты для применений индуктивной беспроводной передачи энергии без использования луча в диапазоне частот 100–148,5 кГц.....	4
4 Технические и эксплуатационные характеристики индуктивной и резонансной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств.....	5
4.1 Эксплуатационные характеристики.....	5
5 Радиошумовая обстановка в диапазоне частот ниже 30 МГц	8
6 Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на службы радиовещания с применением устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц.....	9
6.1 1-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц.....	9
6.2 2-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц.....	18
6.3 3-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц.....	31
7 Исследование воздействия устройств индуктивной БПЭ без использования луча на любительскую службу	37
7.1 Параметры, используемые для моделирования.....	37
7.2 Анализ и результаты моделирования.....	37
7.3 Краткое изложение результатов.....	42
8 Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на радионавигационную службу в диапазоне частот 90–110 кГц.....	42
8.1 Параметры для моделирования.....	43
8.2 Сценарии и результаты моделирования	46
8.3 Краткое изложение результатов.....	51

9	Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на воздушную радионавигационную службу для устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц.....	51
9.1	Параметры для моделирования.....	51
9.2	Сценарий с единичной помехой.....	52
9.3	Сценарий с суммарной помехой.....	55
9.4	Краткое изложение результатов.....	59
10	Общий анализ воздействия БПЭ на службы радиосвязи (например, на фиксированные и подвижные).....	60
10.1	Исследование методом Монте-Карло воздействия БПЭ (315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц) на службы радиосвязи при единичной помехе в совмещенном канале.....	60
10.2	Исследование методом Монте-Карло воздействия суммарных помех от БПЭ (315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц) на службы радиосвязи.....	65
11	Исследование воздействия БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на системы морской радионавигационной службы/ дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС) на частотах ниже 325 кГц.....	76
11.1	Введение.....	76
11.2	Параметры для моделирования.....	76
11.3	Сценарии и результаты.....	77
11.4	Использование ДГНСС на подходе к порту.....	85
11.5	Краткое изложение результатов.....	85
12	Морская подвижная служба в связи с ГМССБ.....	85
13	Службы SFTS, работающие в диапазоне частот 3995–4005 кГц в Районе 3.....	85
14	Исследование воздействия БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазоне частот 1700–1800 кГц на системы радиолокационной службы....	85
15	Сравнение воздействия зарядных устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц.....	86
16	Заключение.....	86
16.1	АМ-радиовещание в диапазоне 525–1700 кГц.....	87
16.2	Любительская служба в диапазоне частот 135,7–137,8 кГц.....	87
16.3	Воздушная радионавигация и устройства БПЭ, работающие в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц.....	87
16.4	Общий анализ воздействия БПЭ на службы радиосвязи (например, фиксированные и подвижные) для устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц.....	87

16.5	Воздействие БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц на системы морской радионавигационной службы/дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС)	88
16.6	Морская подвижная служба в связи с ГМССБ.....	89
16.7	Сравнение воздействия зарядных устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц.....	89
	Приложение 1 – Справочные материалы.....	89
	Другие справочные материалы	91
	Приложение 2 – Сокращения	91
	Приложение 3 – Модель распространения для излучений БПЭ	92

1 Введение¹

Учитывая возросшую потребность в беспроводных устройствах и глобальной мобильности, для питания этих устройств были разработаны технологии беспроводной передачи энергии (БПЭ), которые сегодня доступны потребителям во всем мире. Технология БПЭ на основе магнитной индукции широко известна и уже давно применяется в трансформаторах, в которых первичные и вторичные обмотки индуктивно связаны, например с помощью общего магнитопроницаемого сердечника. Эта технология также известна как БПЭ с сильной связью. В технологии БПЭ на основе магнитного резонанса, которая также называется БПЭ со слабой связью, используется резонатор из катушки и конденсатора, передающий электроэнергию посредством электромагнитного резонанса между передающей и приемной катушками. В отличие от индуктивной БПЭ, в резонансной используется технология резонанса и обеспечивается бóльшая пространственная свобода.

Общие исследования, также применимые к мобильным и переносным зарядным устройствам БПЭ, содержатся в Отчете МСЭ-R SM.2303, в частности в пункте 7.2 и Приложении 3.

Целью настоящего Отчета является изучение мобильных и переносных устройств БПЭ без использования луча, основанных на технологиях магнитной индукции и резонанса, которые работают в диапазонах частот 100–148,5 кГц, 315–405 кГц, 1700–1800 кГц, 2000–2170 кГц, а также 13 553–13 567 кГц, в целях минимизации их воздействия на действующие службы радиосвязи. Технология БПЭ без использования луча для таких мобильных и переносных устройств, как зарядные устройства для электромобилей и бытовых приборов, выходит за рамки настоящего Отчета.

2 Применения для магнитно-индуктивной и резонансной зарядки мобильных и переносных устройств

Согласно Отчету МСЭ-R SM.2303-1 технология индуктивной и резонансной БПЭ применяется для мобильных и переносных устройств, таких как смартфоны, планшеты и переносные компьютеры. После публикации этого Отчета технология индуктивной и резонансной БПЭ стала использоваться для носимых устройств, таких как умные часы, умные/3D-очки и фитнес-трекеры. В настоящее время в нескольких странах доступны и разрешены к использованию технологии индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц, 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 13 553–13 567 кГц. Кроме того, в будущем планируется также использовать диапазон 2000–2170 кГц.

Для индуктивной и резонансной зарядки без использования луча, как правило, требуется прямой контакт между заряжаемым устройством и источником питания. Когда такой контакт установлен и зарядка началась, предполагаемая мощность излучения не должна превышать 30 Вт. При разрыве контакта зарядка прекращается, однако при этом устройство может излучать незначительную энергию, используемую только в целях его обнаружения. В разделе 4 настоящего Отчета содержится более подробное описание технических и эксплуатационных характеристик индуктивной и резонансной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств.

3 Международные стандарты для применений индуктивной беспроводной передачи энергии без использования луча в диапазоне частот 100–148,5 кГц

Действующие международные стандарты по индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств приведены в разделе 4 Отчета МСЭ-R SM.2303-1.

Как правило, технологии БПЭ для мобильных и переносных устройств могут рассматриваться в качестве промышленных, научных и медицинских (ПНМ) применений (см. РР, пункты 1.15 и 15.13), если отсутствует обмен данными между зарядным и заряжаемым устройствами. Однако многие администрации в рамках своих национальных регламентов по использованию спектра допускают

¹ В двух сценариях исследований, представленных в настоящем Отчете, используется понятие потери энергии на входе в здание. От ответственной группы в МСЭ-R получена информация о том, что этот подход имеет ограниченную применимость.

применение БПЭ для мобильных и переносных устройств в соответствии с правилами, касающимися устройств ближнего радиуса действия, или в качестве применений, освобожденных от лицензирования, поскольку они классифицируются как источники полезного сигнала.

4 Технические и эксплуатационные характеристики индуктивной и резонансной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств

4.1 Эксплуатационные характеристики

Системы с индуктивной БПЭ без использования луча, применяемые для зарядки мобильных и переносных устройств, используются в первую очередь внутри помещений, например в рабочих помещениях или жилых домах.

Чаще всего зарядка производится только при наличии прямого контакта между заряжаемым устройством и источником питания. Эти процессы, как правило, занимают короткие промежутки времени – до полной зарядки батареи заряжаемого устройства. При полной зарядке батареи или разрыве прямого контакта уровень излучения значительно снижается.

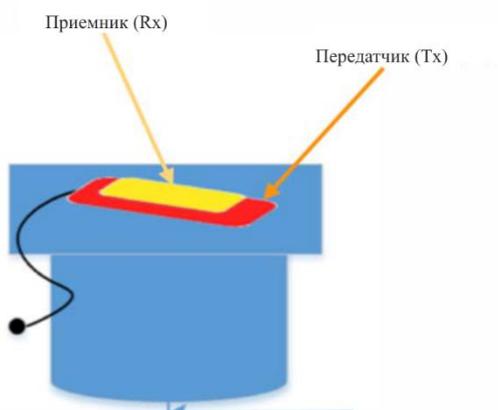
Применения, включенные в настоящий Отчет, доступны на рынке и сертифицируются в соответствии с правилами освобождения от лицензирования ФКС², поскольку они считаются источниками полезного сигнала, разрешенными для использования и продажи на территории Соединенных Штатов Америки.

4.1.1 Сценарии зарядки

Испытания проводились с использованием как одиночного зарядного устройства (далее – вариант или сценарий с единичной помехой) (рисунок 1), так и групп из пяти зарядных устройств (далее – вариант или сценарий с суммарной помехой) (рисунок 2).

РИСУНОК 1

Типовая схема развертывания одиночных устройств в домашних условиях

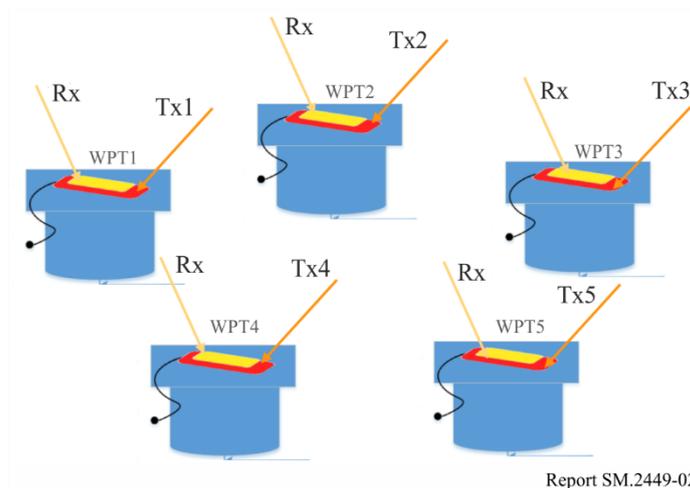


Report SM.2449-01

² Пункт 47, части 15 и 18 CFR (2017 г.).

РИСУНОК 2

Типовая схема развертывания группы устройств в условиях рабочего помещения



Report SM.2449-02

4.1.2 Технические характеристики

Технические характеристики мобильных и переносных устройств см. в разделе 3.1 Отчета МСЭ-R SM.2303.

Ожидаемые значения плотности размещения устройств БПЭ приведены в таблице 1 и основаны на ETSI TR 103 493.

ТАБЛИЦА 1

Ожидаемая плотность размещения устройств БПЭ в городской среде

Диапазон частот (кГц)	Плотность размещения в городской среде (/км ²)	Комментарии
100–148,5	5 000	Мобильные и переносные устройства
315–405	1 500	Мобильные и переносные устройства
1 600–1 800	500	Носимые устройства
1 950–2 150	500	Носимые устройства

Мобильные и переносные устройства рассматриваются в пункте 7.1.2.2 ETSI TR 103 493. Ожидаемая плотность размещения обычных мобильных устройств составляет 5000 устройств/км², а носимых – 500 устройств/км². Это отражено в таблице 1, выше, исходя из предположения, что 30% переносных и мобильных устройств также смогут использовать диапазон более высоких частот, который, как ожидается, будет иметь меньшие показатели, учитывая более высокую техническую сложность таких устройств. Для носимых устройств использовались цифры, приведенные в ETSI TR 103 493.

4.1.2.1 Переносные и мобильные устройства БПЭ, работающие в диапазоне частот 100–148,5 кГц

Основу для исследований, представленных в настоящем Отчете, составляют устройства БПЭ для зарядки переносных и мобильных устройств, работающие в этом диапазоне частот с использованием спецификации Qi.

4.1.2.2 Переносные и мобильные устройства БПЭ, работающие на частотах выше 315 кГц

В таблице 2 приведены предполагаемые характеристики устройств БПЭ, работающих на частотах выше 315 кГц, которые использовались для исследований, описанных в настоящем Отчете.

ТАБЛИЦА 2

Технические характеристики и сценарии использования устройств БПЭ > 315 кГц

Допустимый диапазон рабочих частот (кГц)	Предельно допустимые уровни излучений на расстоянии 10 м (дБмкА/м)	Примечания	Активность
315–405	–15	Связь FSK (до ± 20 кГц) Смещение частоты во время зарядки для управления передачей мощности (КПД) и/или для компенсации несоосности до 15 кГц	1–2 часа/ сутки
1 700–1 800	–15	Связь 1 кГц или FSK (до ± 20 кГц) Смещение частоты во время зарядки для управления передачей мощности (КПД) и/или для компенсации несоосности до 15 кГц	1–2 часа/ сутки
2 000–2 170	–15	Связь FSK (до ± 20 кГц) Смещение частоты во время зарядки для управления передачей мощности (КПД) и/или для компенсации несоосности до 15 кГц	1–2 часа/ сутки

ПРИМЕЧАНИЕ. – Каждое устройство БПЭ сконструировано таким образом, что максимально допустимый уровень излучения достигается лишь при наихудшем взаимном расположении двух катушек, в то время как при многих других расположениях фактический уровень излучения намного ниже. Это учитывается путем случайного выбора уровня излучения между наилучшим и наихудшим взаимным расположением в исследованиях по методу Монте-Карло. Для целей исследования диапазон эффекта ограничен 15 дБ. Более подробную информацию о влиянии несоосности можно найти в Приложении 1.4 к Отчету ЕСС 333.

4.1.2.3 Переносные и мобильные устройства БПЭ, работающие в диапазоне частот 13 553–13 567 кГц

В последние годы в связи со значительным ростом количества умных носимых устройств возник спрос на беспроводные зарядные устройства для высокочастотных и маломощных устройств. Диапазон 13,56 МГц также считается диапазоном частот для беспроводной зарядки переносных и мобильных устройств. Подробные технические характеристики приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3

Технические характеристики устройств БПЭ, работающих в диапазоне 13,56 МГц

Рабочие полосы частот	Основные параметры	Данные	Предельные уровни излучения магнитного поля (10 м, квазипиковое обнаружение)
13 553–13 567 кГц	Мощность зарядки	< 1 Вт	< 42 дБмкА/м (ширина полосы измерения 9 кГц)
	Расстояние между приемной и передающей катушками	< 1 см	
	Принцип работы	Технология магнитного резонанса	
	Сценарии использования	Умные очки Стилусы Умные часы для фитнеса	

5 Радишумовая обстановка в диапазоне частот ниже 30 МГц

Для некоторых из исследованных диапазонов частот параметры и/или сценарии развертывания служб радиосвязи отсутствовали. Чтобы получить некоторую информацию о потенциальном воздействии беспроводной передачи энергии на службы радиосвязи, уровень излучений БПЭ сравнивается с уровнем шума.

В крупных городах и жилых районах радишумовая обстановка в диапазоне частот ниже 30 МГц в основном формируется за счет искусственного шума (MMN). В этом диапазоне частот присутствует шум трех типов (см. Рекомендацию МСЭ-R SM.1753) – импульсный шум (IN), шум одиночной несущей (SCN) и белый гауссов шум (WGN).

Импульсный шум (IN) может быть весьма значительным, но его воздействие на приемники служб радиосвязи во многом зависит от фактической конструкции приемника, и обычно он не используется в качестве основы для анализа.

Шум одиночной несущей (SCN) часто присутствует или даже доминирует, если он исходит от источника, расположенного вблизи места проведения измерений. В Рекомендации МСЭ-R SM.1753 разъясняется, что SCN создается различными источниками, включая проводные компьютерные сети, компьютеры и импульсные источники питания. Эти источники шума встречаются преимущественно внутри зданий. В Рекомендации МСЭ-R SM.2093 в пункте *b*) раздела *учитывая* говорится, что SCN от одиночных и идентифицируемых источников является доминирующей формой искусственного шума внутри зданий, который не может быть описан параметрами из Рекомендации МСЭ-R P.372.

Белый гауссов шум (WGN), как он определен в Рекомендации МСЭ-R P.372, соответствует той части искусственного шума, которую нельзя отнести к одному источнику, поэтому излучения от одиночных идентифицируемых источников специально исключаются (см. Рекомендацию МСЭ-R SM.2093), хотя шум от совокупности нескольких отдельных источников приближается к белому гауссову шуму и также учитывается в значениях WGN, приведенных в Рекомендации МСЭ-R P.372. Это приводит к ограничению использования Рекомендации МСЭ-R P.372, поскольку ее применимость ограничена расстояниями от помещений, где шум от комбинации отдельных источников может быть приближен к гауссову шуму. Следовательно, значения искусственного шума из Рекомендации МСЭ-R P.372 не должны использоваться при анализе совместимости ни в тех случаях, когда приемная антенна подверженной помехам службы находится в помещении (например, переносные радиоприемники со встроенной антенной), ни тогда, когда приемная антенна такой службы расположена вблизи источников шума внутри соседнего здания. Тем не менее некоторые измерения уровня шума показали, что антенны любительской службы могут располагаться на расстоянии всего 10 м от внешней стены здания, в котором используется БПЭ [1].

К выводам, сделанным относительно воздействия помех БПЭ в тех случаях, когда антенна службы радиосвязи расположена близко к зданию, следует относиться с осторожностью, поскольку они могут оказаться неверными. Значения искусственного шума из Рекомендации МСЭ-R P.372 не следует применять для анализа приемников служб радиосвязи, расположенных в помещении.

Ситуация с антеннами радиослужб, расположенными вблизи соседних зданий, не совсем ясна. Среднее значение шума внутри зданий обычно выше, чем снаружи, но дисперсия гораздо больше [2]. Внешняя стена оказывает лишь ограниченное воздействие, поскольку в ближнем поле затухание в строительных материалах ограничено, поэтому внешнее поле во многом зависит от распределения внутреннего поля.

Что касается ситуации, когда и приемник, и источник помех находятся в помещении, то в Рекомендации МСЭ-R P.372 содержится некоторая ограниченная информация о шуме WGN внутри помещений, хотя она не распространяется на частоты ниже 200 МГц; дополнительная же информация об уровне шума внутри зданий (жилых или офисных) также весьма ограничена. Измерительная кампания, проведенная в Испании [2], показала, что медианные уровни шума в зданиях значительно выше, чем предсказывается в Рекомендации МСЭ-R P.372 (для города), например 30–35 дБ на частоте 1,9 МГц, хотя дисперсия вокруг медианного значения также значительна. В Рекомендации МСЭ-R SM.2093 признается, что уровни шума, полученные исходя из текущей версии Рекомендации МСЭ-R P.372, имеют очень мало смысла в условиях помещений, и ведется дальнейшая работа по пересмотру Рекомендации МСЭ-R P.372 в целях более подробного учета искусственного шума внутри

помещений. Однако на данный момент об этом мало что известно, поскольку задокументированные результаты измерений, проведенных в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.2093, отсутствуют.

При установлении текущих линий регрессии в Рекомендации МСЭ-R P.372 не рассматривались два фактора шума – DSL-соединения и связь по линиям электропередачи. Излучения от DSL-соединений с использованием OFDM воспринимаются приемниками служб радиосвязи как дополнительный белый гауссов шум. Для связи по линиям электропередачи также используется OFDM, но соответствующие излучения активны только при передаче пакетов данных, что делает помехи больше похожими на импульсный шум. Кроме того, при использовании связи по линиям электропередачи некоторые участки спектра обычно вырезаются (например, в диапазонах любительской службы или службы радиовещания), поэтому она не в состоянии существенно повысить существующие уровни шума в этих диапазонах. То же относится к технологиям VDSL и Gfast.

Измерения, недавно проведенные в Нидерландах [1], [3], показали, что в некоторых местах фактический уровень шума примерно на 10 дБ выше, чем указано в Рекомендации МСЭ-R P.372. Кроме того, при их проведении были точно учтены реальные расстояния между зданиями, где расположено большинство источников шума, и точкой измерения. Эти данные подтверждают более раннее исследование, выполненное Ивамой [4].

6 Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на службы радиовещания с применением устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц

Помехи АМ-радиовещанию могут возникать в случае очень близкого расположения их источников, например в помещении, поэтому испытания на помехи АМ-радиовещанию должны быть общими, а не ограничиваться ситуациями, когда помехи оказывают наименьшее влияние.

Из рисунка 1, приведенного в Рекомендации МСЭ-R BS.560, видно, что наибольшее относительное защитное отношение составляет приблизительно 16 дБ, что соответствует смещению частоты около 1,6 кГц. Если смещение частоты между гармониками и сигналом АМ-радиовещания составляет 1,6 кГц, то защитное расстояние может увеличиться.

Если удастся выбрать и зафиксировать основную частоту системы БПЭ без использования луча, работающей в диапазоне 315–405 кГц, кратной 9 или 10 кГц, а все гармоники будут лежать в растре частот радиовещания, то это может стать одной из стратегий ослабления влияния помех.

6.1 1-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц

Радиовещательная служба работает в следующих диапазонах частот:

- Район 1 – 148,5–283,5 кГц и 526,5–1606,5 кГц³;
- Район 2 – 525–1625 кГц (согласно пункту 5.89 РР⁴);
- Район 3 – 526,5–1606,5 кГц³.

Испытания проводились с применением индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазоне частот 100–148,5 кГц. При проведении испытаний использовался канал 810 кГц, соответствующий 7-й гармонике БПЭ для мобильных и переносных устройств. Канал 810 кГц – это ближайший канал, который удовлетворяет требованиям минимальной мощности сигнала для АМ-радиовещания в Соединенных Штатах Америки.

³ Радиовещательная служба подчиняется Плану, установленному Женевским региональным соглашением 1975 года для полос частот 148,5–283,5 кГц (Район 1) и 526,5–1606,5 кГц (Районы 1 и 3) (Женева, 1975 г.).

⁴ Пункт 5.89 РР. В Районе 2 полоса 1605–1705 кГц должна использоваться станциями радиовещательной службы согласно Плану, установленному Региональной административной радиоконференцией (Рио-де-Жанейро, 1988 г.).

6.1.1 Оборудование для проведения испытаний

В этом исследовании используются данные, полученные в ходе испытаний в защищенной 3-метровой испытательной камере. Восемь серийно выпускаемых индуктивных мобильных зарядных устройств были испытаны на предмет создания помех двум серийно выпускаемым АМ-радиоприемникам. В сценарии с суммарной помехой использовались пять из восьми мобильных зарядных устройств, заряжающих оборудование одновременно.

Измерения напряженности поля проводились с использованием экранированной рамочной антенны. Как в варианте с суммарной, так и в варианте с единичной помехой измерялось воздействие на два АМ-радиоприемника. Установка для испытания с единичной помехой показана на рисунке 3.

РИСУНОК 3

Лабораторное оборудование для варианта с единичной помехой

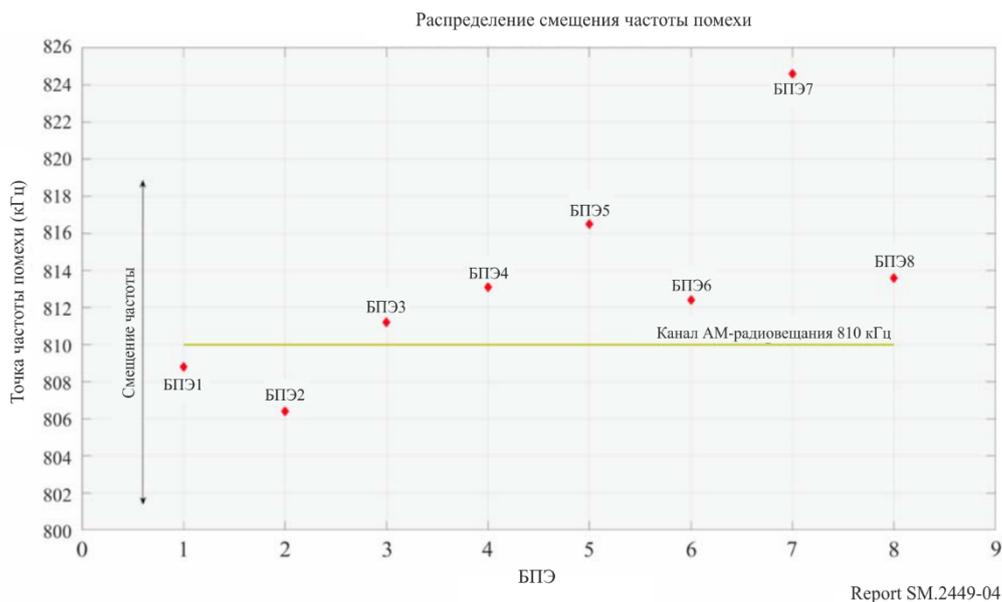


Report SM.2449-03

6.1.2 Субъективное испытание на слышимость помех (сценарии с единичной и суммарной помехами)

В настоящем разделе приведены данные и результаты субъективного испытания на слышимость помех. На рисунке 4 показано, что все 7-е гармоники беспроводных зарядных устройств находятся в диапазоне смещения частоты -4 кГц $\sim +14,6$ кГц. В сценарии с суммарной помехой беспроводные зарядные устройства расположены вокруг АМ-радиоприемника на расстоянии приблизительно 0,6 м друг от друга.

РИСУНОК 4
 Распределение частоты 7-х гармоник от беспроводных зарядных устройств



Результаты испытаний воздействия каждого беспроводного зарядного устройства на оба радиовещательных приемника (АМ1 и АМ2) приведены на рисунках и в таблицах, ниже. На рисунках используются три уровня воздействия (см. таблицу 4) для оценки уровня слышимого шума, наводимого каждым беспроводным зарядным устройством в АМ-радиоприемниках, и для построения графиков наилучших и наихудших вариантов слышимых помех. При этом воздействие уровня 1 является недопустимым, а воздействие уровня 3 – неслышимым. Уровень воздействия уменьшается с увеличением расстояния между беспроводным зарядным устройством и АМ-радиоприемником.

РИСУНОК 5
 Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ1

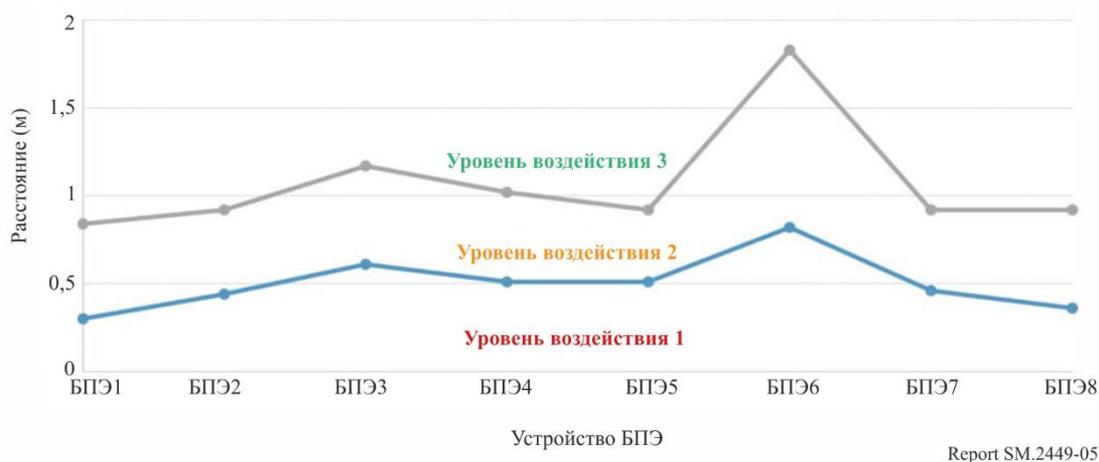
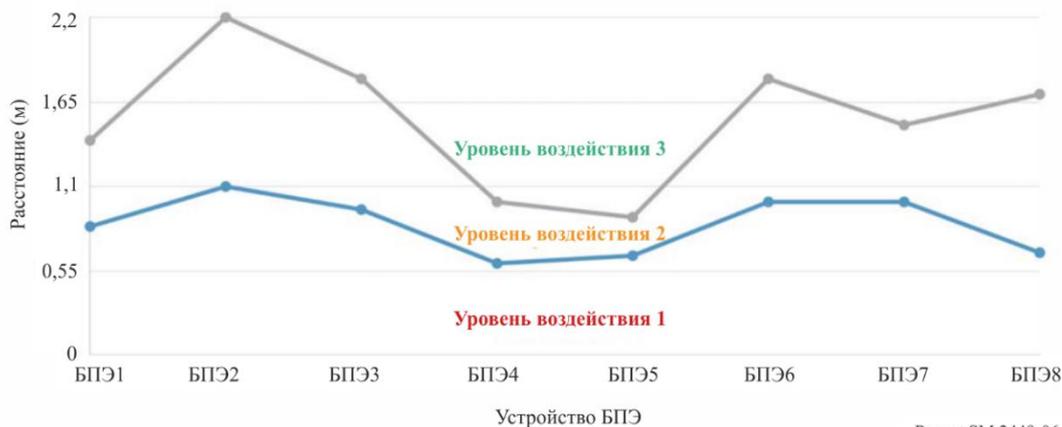


РИСУНОК 6

Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ2



Report SM.2449-06

ТАБЛИЦА 4

Описание уровней воздействия

Уровень воздействия	Определение
1	Недопустимый шум
2	Слышимый, но допустимый шум
3	Неслышимый шум

В таблицах 5 и 6 приведены краткие результаты испытаний для варианта с единичной помехой и радиоприемниками АМ1 и АМ2. В двух крайних правых столбцах указаны расстояния, которые соответствуют рисункам 5 и 6, выше. Радиоприемник АМ1: если беспроводное зарядное устройство находится на расстоянии более 1,83 м, то слышимые помехи отсутствуют. Что касается радиоприемника АМ2, при размещении беспроводного зарядного устройства на расстоянии более 1,8 м слышимые помехи исчезают.

ТАБЛИЦА 5

Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ1 для варианта с единичной помехой

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Тип беспроводного зарядного устройства	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 3 м	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 10 м	Уровень АМ-радиосигнала (дБмкА/м) (канал 810 кГц) (полезный сигнал)	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на границе уровней 2/3 Примечание 1	Отношение полезного сигнала к помехе C/I (дБ) Примечание 2	Граница между уровнем 1 и уровнем 2 (м)	Граница между уровнем 2 и уровнем 3 (м)
БПЭ1	-22,06	-53,36	2,85	11,1	-8,25	0,3	0,84
БПЭ2	-27,11	-58,41	2,85	3,7	-0,85	0,44	0,92
БПЭ3	-12,65	-43,95	2,85	11,9	-9,05	0,61	1,17
БПЭ4	-29,74	-61,04	2,85	1,6	1,25	0,51	1,02
БПЭ5	-16,02	-47,32	2,85	14,78	-11,93	0,51	0,92
БПЭ6	-28,8	-60,1	2,85	15,9	18,75	0,82	1,83
БПЭ7	-7,04	-38,34	2,85	3,7	-0,85	0,46	0,92
БПЭ8	-29,88	-61,18	2,85	3,7	-0,85	0,36	0,92

Примечания к таблице 5

Примечание 1. – Это расчетный уровень излучения в пограничной точке между уровнями 2 и 3 субъективной оценки ухудшения качества приема, основанный на изменении затухания в ближнем поле δ . Формула имеет вид $\delta = 60 \log (d1/d2)$, где $d1 = 3$ м, $d2$ – указанная пограничная точка между уровнями 2 и 3 (столбец (h)), а δ – поправочный коэффициент в дБ для компенсации изменения расстояния измерения. Этот поправочный коэффициент затем добавляется к уровню излучения в столбце (b).

Примечание 2. – Когда мешающий сигнал сильнее полезного радиовещательного сигнала, соответствующие цифры выделены жирным шрифтом.

ТАБЛИЦА 6

**Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ2
для варианта с единичной помехой**

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Тип беспроводного зарядного устройства	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 3 м	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 10 м	Уровень АМ-радиосигнала (дБмкА/м) (канал 810 кГц) (полезный сигнал)	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на границе уровней 2/3 Примечание 1	Отношение полезного сигнала к помехе C/I (дБ) Примечание 2	Граница между уровнем 1 и уровнем 2 (м)	Граница между уровнем 2 и уровнем 3 (м)
БПЭ1	-22,06	-53,36	2,66	-2,2	4,86	0,84	1,4
БПЭ2	-27,11	-58,41	2,66	-19	21,66	1,1	2,2
БПЭ3	-12,65	-43,95	2,66	0,66	2	0,95	1,8
БПЭ4	-29,74	-61,04	2,66	-1,1	3,76	0,6	1
БПЭ5	-16,02	-47,32	2,66	15,35	-12,69	0,65	0,9
БПЭ6	-28,8	-60,1	2,66	-15,5	18,16	1	1,8
БПЭ7	-7,04	-38,34	2,66	11,0	-8,34	1	1,5
БПЭ8	-29,88	-61,18	2,66	15,1	-12,44	0,67	1,7

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Это расчетный уровень излучения в пограничной точке между уровнями 2 и 3 субъективной оценки ухудшения качества приема, основанный на изменении затухания в ближнем поле δ . Формула имеет вид $\delta = 60 \log (d1/d2)$, где $d1 = 3$ м, $d2$ – указанная пограничная точка между уровнями 2 и 3 (столбец (h)), а δ – поправочный коэффициент в дБ для компенсации изменения расстояния измерения. Этот поправочный коэффициент затем добавляется к уровню излучения в столбце (b).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Когда мешающий сигнал сильнее полезного радиовещательного сигнала, соответствующие цифры выделены жирным шрифтом.

В таблицах 7 и 8 приведены результаты испытаний для варианта с суммарной помехой. В этих испытаниях использовались пять беспроводных зарядных устройств, которые были расположены вокруг АМ-радиоприемника на расстоянии приблизительно 0,6 м друг от друга. Результаты испытаний с суммарной помехой для радиоприемника АМ1 показывают, что размещение пяти беспроводных зарядных устройств на расстоянии более 2,2 м предотвращает появление слышимых помех. Для радиоприемника АМ2 размещение пяти зарядных устройств на расстоянии более 2,3 м предотвращает появление слышимых помех радиоприемнику.

ТАБЛИЦА 7

**Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ1
для варианта с суммарной помехой**

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Тип беспроводного зарядного устройства	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 3 м	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 10 м	Уровень АМ-радиосигнала (дБмкА/м) (канал 810 кГц) (полезный сигнал)	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на границе уровней 2/3 Примечание 1	Граница между уровнем 1 и уровнем 2 (м)	Граница между уровнем 2 и уровнем 3 (м)
БПЭ1	-12,65	-43,95	2,66	-4,5	1,2	2,2
БПЭ2	-29,74	-61,04	2,66	-21,6		
БПЭ3	-28,8	-60,1	2,66	-20		
БПЭ4	-7,04	-38,34	2,66	+1,8		
БПЭ5	-29,88	-61,18	2,66	-21,9		

ТАБЛИЦА 8

**Результаты субъективных испытаний на слышимость помех в радиоприемнике АМ2
для варианта с суммарной помехой**

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
Тип беспроводного зарядного устройства	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 3 м	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на расстоянии 10 м	Уровень АМ-радиосигнала (дБмкА/м) (канал 810 кГц) (полезный сигнал)	Напряженность поля 7-й гармоники (дБмкА/м) на границе уровней 2/3 Примечание 1	Граница между уровнем 1 и уровнем 2 (м)	Граница между уровнем 2 и уровнем 3 (м)
БПЭ1	-12,65	-43,95	2,66	-5,7	1,1	2,3
БПЭ2	-29,74	-61,04	2,66	-22,84		
БПЭ3	-28,8	-60,1	2,66	-21,9		
БПЭ4	-7,04	-38,34	2,66	-0,15		
БПЭ5	-29,88	-61,18	2,66	-23,0		

Наблюдаемые граничные расстояния свидетельствуют о наличии смягчающего фактора, поскольку измеренный мешающий сигнал при пересчете в точку, в которой проводились испытания на слышимость, в некоторых случаях превышает полезный сигнал. К результатам этого исследования следует относиться с осторожностью. Для объяснения полученных результатов необходимы дальнейшие исследования.

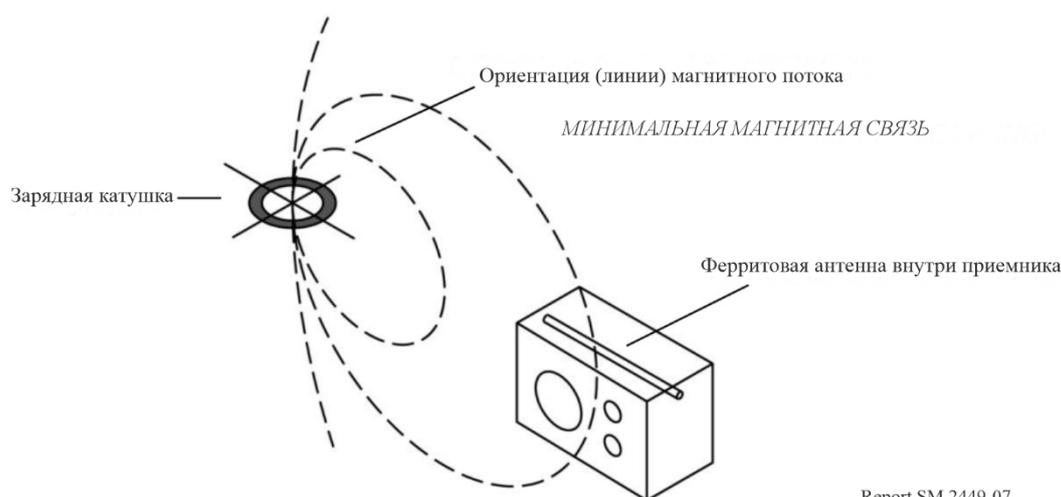
Возможное объяснение

Результаты, приведенные в таблицах 7 и 8, показывают, что приемник гораздо менее чувствителен к входящим помехам, чем можно было бы ожидать. Существует ряд причин, по которым это может происходить, но главной из них является степень связи между местом измерения и антенной приемника.

Почти во всех переносных радиоприемниках для приема сигналов АМ-радиовещания в диапазонах НЧ и СЧ используются магниточувствительные ферритовые стержневые антенны. Такие приемники часто также бывают оснащены электрически чувствительной телескопической "штыревой" антенной, но она предназначена для приема более высоких частот в диапазонах ВЧ и ОВЧ (ЧМ). Ферритовая антенна обычно устанавливается горизонтально внутри приемника, как показано на рисунке 1. Как известно,

ферритовые антенны чувствительны к магнитным полям, причем максимальная чувствительность достигается, когда линии магнитного потока параллельны оси ферритового стержня. Такие антенны являются направленными из-за своей геометрии с резким нулевым значением чувствительности, когда они ориентированы торцом к направлению входящего сигнала. Слушатели обычно располагают приемник таким образом, чтобы направление входящего сигнала было перпендикулярно оси ферритового стержня, что повышает чувствительность и, следовательно, качество сигнала. На рисунке 7 показана топология, при которой потенциал помех зарядной катушки БПЭ минимизирован. Можно заметить, что это весьма похоже на топологию, изображенную на рисунке 3. Зарядная катушка расположена горизонтально. Приемник ориентирован таким образом, чтобы зарядное устройство БПЭ находилось в направлении минимальной чувствительности, а линии магнитного потока были ортогональны ферритовой антенне. В этой конфигурации влияние помех значительно снижается.

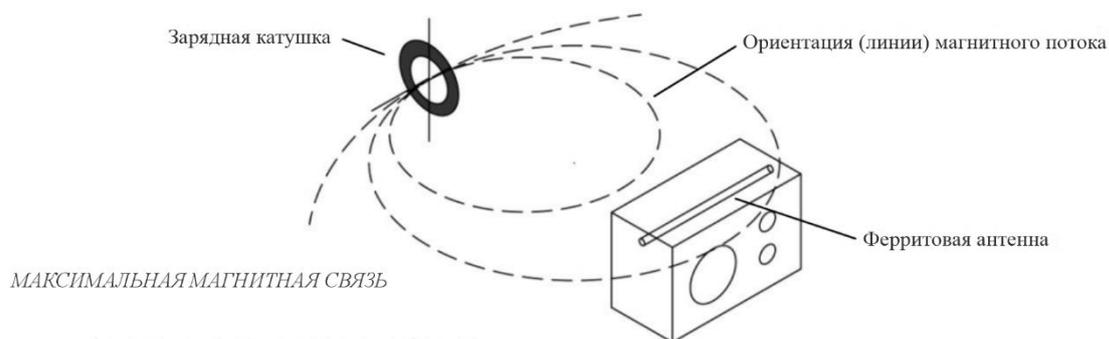
РИСУНОК 7



Report SM.2449-07

Если повернуть приемник на 90° по горизонтали, а зарядную катушку на 90° по вертикали, как показано на рисунке 8, то магнитная связь, а следовательно, и уровень помех значительно возрастут; фактически они будут максимальными. Ориентация магнитного потока внутри приемника будет параллельна оси ферритовой антенны.

РИСУНОК 8



Report SM.2449-08

Благодаря возможности перемещать и вращать как зарядную катушку, так и приемник в трехмерном пространстве, магнитная связь между катушкой и приемником может быть любой – от максимальной до, потенциально, нулевой.

6.1.3 Определение уровня напряженности открытого поля для БПЭ для мобильных и переносных устройств АМ-радиоприемников

На рисунке 9 показана настройка полосы пропускания для измерений гармоник БПЭ и визуального обоснования использования полосы 10 Гц. Как показано на рисунке, разница уровней сигнала между полосами пропускания 10 Гц и 10 кГц составляет всего 1 дБ, однако значительно снижает порог шума. Кроме того, использование полосы 10 Гц в большей степени согласуется с характеристиками сигнала БПЭ. Сигнал БПЭ похож на синусоидальную волну и поэтому почти не связан с полосой пропускания. Переход к полосе 10 Гц также позволил лучше понять, что необходимо для измерений.

РИСУНОК 9

Обоснование выбора полосы пропускания

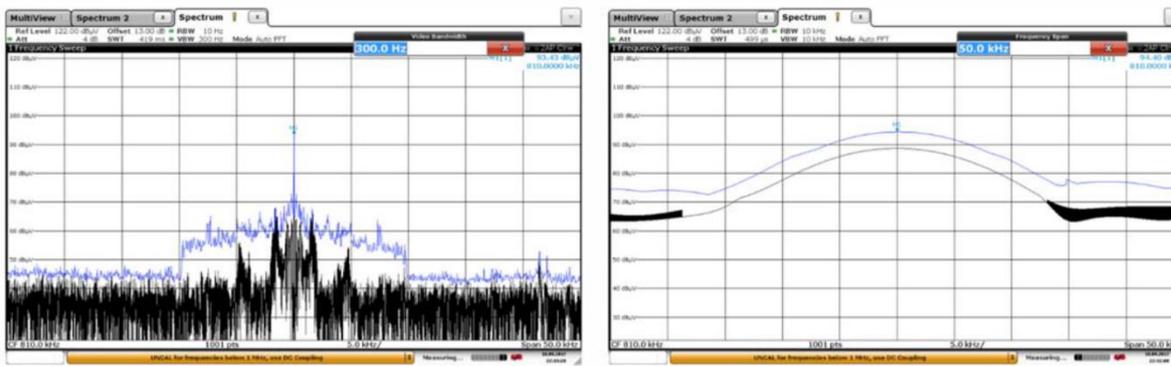


Report SM.2449-09

Настройка полосы пропускания АМ-радиоприемника показана на рисунке 10. Исходя из разницы в 1 дБ полоса 10 Гц также использовалась для АМ-радиоприемников.

РИСУНОК 10

Настройка полосы пропускания АМ-радиоприемника



Report SM.2449-10

РИСУНОК 11

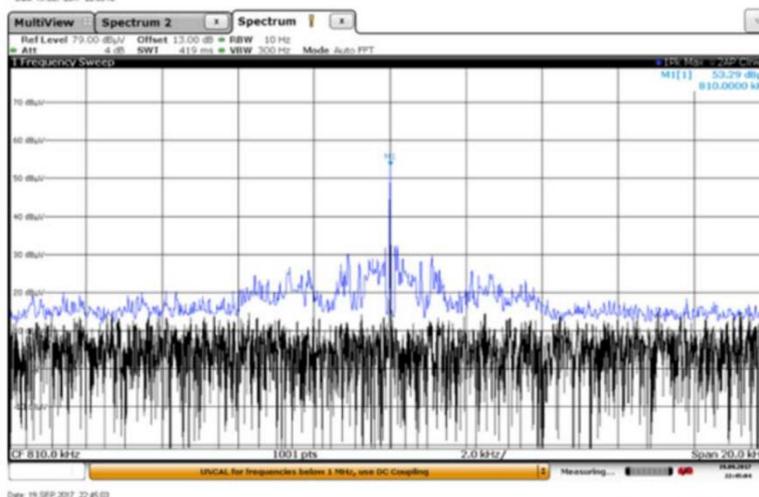
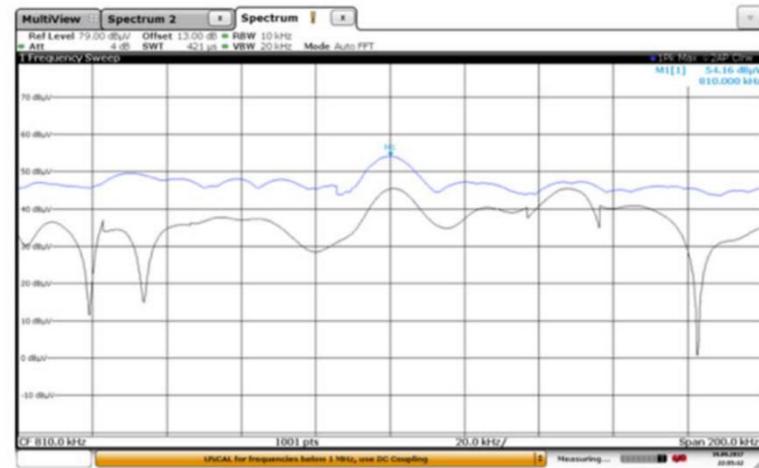
Измерение напряженности поля 7-й гармоники на расстоянии 3 м



Report SM.2449-11

РИСУНОК 12

Уровень АМ-радиосигнала 54,16 дБмкВ/м (0,5 мВ/м = 54 дБмкВ/м)



Report SM.2449-12

6.1.4 Краткое изложение результатов испытаний

Согласно результатам лабораторных испытаний, приведенным в таблице 9, 2,3 м – это минимальное расстояние разноса, необходимое для предотвращения создания слышимых помех радиовещательным АМ-приемникам от 7-й гармоники сигнала испытуемых устройств с индуктивной зарядкой. Такое расстояние можно обеспечить в рабочих помещениях и жилых домах, где обычно используются эти мобильные устройства. Таким образом проведенное исследование показало, что в данном случае воздействием на радиовещательную службу можно пренебречь.

ТАБЛИЦА 9

Итоговые данные эксперимента

АМ-радио-приемники	Уровень АМ-радиосигнала (дБмкВ/м) (целевое значение 500 мкВ/м, 54 дБмкВ/м)	Воздействие единичной помехи, наихудший случай, отдельные испытания для 8 беспроводных зарядных устройств	Воздействие суммарной помехи, наихудший случай, одновременные испытания 5 устройств БПЭ, расположенных на расстоянии 0,6 м друг от друга
АМ1	54,35	< 0,82 м, недопустимый шум > 1,83 м, неслышимый шум	< 1,2 м, недопустимый шум > 2,2 м, неслышимый шум
АМ2	54,16	< 1,1 м, недопустимый шум > 2,2 м, неслышимый шум	< 1,1 м, недопустимый шум > 2,3 м, неслышимый шум

Эти результаты свидетельствуют о наличии смягчающего фактора, поскольку измеренный мешающий сигнал при пересчете в точку, в которой проводились испытания на слышимость, в некоторых случаях превышает полезный сигнал. К результатам этого исследования следует относиться с осторожностью. Для объяснения полученных результатов необходимы дальнейшие исследования.

6.2 2-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц

6.2.1 Общие соображения

Было проведено несколько испытаний, в основном субъективных, с использованием анонимного зарядного устройства для телефона, симулятора мобильного телефона в качестве эквивалентной нагрузки и смартфона.

С самого начала было очевидно, что повторяемость станет основной проблемой. Кроме того, было довольно сложно объяснить результаты наблюдений. Излучение зарядного устройства очень сильно зависело от точного расположения нагрузки (или телефона) на зарядном устройстве, его точного позиционирования относительно радиоприемника и его ориентации. При изменении этих параметров изменялись не только рабочая частота, но и характер помех. В общем случае выходной сигнал оказывался импульсной и, по-видимому, отфильтрованной прямоугольной волной с частотой, которая изменялась даже в тех случаях, когда нагрузка была зафиксирована неподвижно относительно зарядного устройства. Даже в тех случаях, когда в канале, на который был настроен радиоприемник, отсутствовали гармонические составляющие⁵, в диапазоне СЧ временами можно было слышать довольно выраженные переходные процессы при переключении⁶ (на частоте повторения импульсов). Помимо определенной зависимости от точного положения зарядного устройства относительно радиоприемника наблюдалась существенная зависимость воздействия от предполагаемой относительной поляризации зарядного устройства; воздействие помех удавалось в определенной мере устранять путем тщательной настройки. Притом что влияние местоположения и поляризации вероятно было ожидаемым, оно происходило не всегда, и в таких случаях его было трудно объяснить. В связи с

⁵ Незначительные изменения в положении нагрузки относительно зарядного устройства могут приводить к переходу гармоники в соседний канал или еще далее.

⁶ Также зависит от положения нагрузки и ориентации.

общей изменчивостью и нестабильностью всей схемы предполагается, что проведение достоверных измерений может вызывать трудности.

Эксплуатационные характеристики зарядного устройства при зарядке телефона существенно отличались от показателей при эквивалентной нагрузке. Неясно было, в какой степени изменения параметров могут зависеть от уровня зарядки батареи телефона. Телефон оказался почти полностью заряженным.

В отсутствие телефона на зарядном устройстве, фактически находящемся в состоянии "без нагрузки", зарядное устройство периодически (довольно часто) излучает импульс – своего рода запрос готовности в адрес любого мобильного телефона, который может находиться на зарядном устройстве или рядом с ним, чтобы инициировать процесс зарядки. Даже при отсутствии заряжаемого телефона эти импульсы были четко слышны в расположенном поблизости радиоприемнике.

Субъективная оценка показала, что при комбинации нагрузки с катушкой индуктивности и искусственно генерируемого⁷ полезного входящего сигнала +18,5 дБмкА/м (эквивалентно 70 дБмкВ/м – на 10 дБ выше минимальной чувствительности приемника, указанной в Рекомендации МСЭ-R BS.703) воздействие источника помех на расстоянии разнеса 2 м может соответствовать диапазону создаваемых помех от относительно неслышимых до очень сильных при изменении ориентации или точного положения зарядного устройства. Эти данные заметно расходятся с результатами, представленными в таблицах 5 и 6 настоящего Отчета, которые показывают, что для всех тестируемых зарядных устройств помехи были не слышны, когда разнесение достигало 2 м (а иногда и намного меньше), а уровень входящего (полезного) сигнала был на 16 дБ ниже.

6.2.2 Схема проведения испытаний

Испытания проводились в экранированном помещении длиной почти 4 м. Это накладывало определенные ограничения на условия испытаний; максимально возможный разнос между радиоприемником и зарядным устройством составлял 2 м, и это играло важную роль. Физическая схема испытаний изображена на рисунках 13 и 14.

РИСУНОК 13

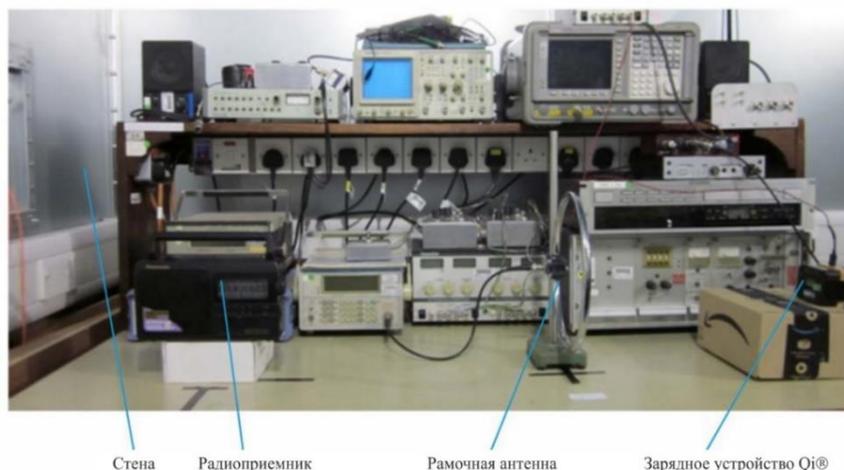
Схема испытательной установки



⁷ Испытания проводились в экранированном помещении.

РИСУНОК 14

Фотография испытательной установки



Стена Радиоприемник Рамочная антенна Зарядное устройство Qi®

Report SM.2449-14

Ферритовая антенна радиоприемника и зарядное устройство были размещены на перпендикулярной оси рамочной антенны. При проведении испытаний расстояние от стены составляло для радиоприемника 0,5 м, для рамочной антенны 1,0 м, для зарядного устройства 1,2 м.

Рамочная антенна использовалась для генерирования моделируемого вещательного сигнала. Такого рода модель вещательного сигнала обладала рядом преимуществ по сравнению с эфирным сигналом.

Можно было с требуемой точностью управлять уровнем сигнала в радиоприемнике.

Кроме того, можно было управлять рабочей частотой; это позволило не только согласовывать частоту настройки приемника с частотой зарядного устройства, но также исследовать различные гармоники зарядного устройства, которые влияли на разные несущие частоты (разные каналы вещания).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Радиоприемник мог быть настроен и настраивался на частоту зарядного устройства, а не наоборот.

Для всех испытаний могли использоваться одни и те же образцы звука (речь и музыка), что позволяло устранить потенциальный источник погрешности.

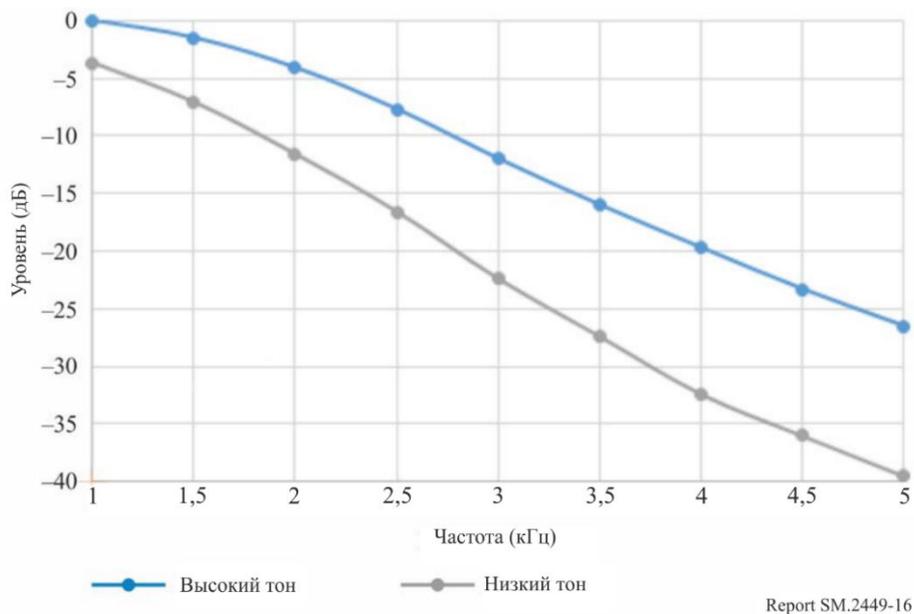
Возможность управления уровнем сигнала в радиоприемнике означала также, что перемещение зарядного устройства на более близкое или более дальнее расстояние от приемника могло быть смоделировано без физического перемещения. Как уже отмечалось ранее, размеры экранированного помещения накладывали жесткие ограничения на возможное расстояние разноса. Там, где это было необходимо, учитывалось также влияние отражений от стен (см. пункт 6.2.6.1). С учетом обратной кубической зависимости между напряженностью поля и расстоянием повышение уровня полезного (вещательного) сигнала на 18 дБ приведет к удвоению расстояния разноса между радиоприемником и зарядным устройством. Очевидно, что радиоприемник будет работать с сигналом, уровень которого выше на 18 дБ. Поэтому для поддержания правильного отношения сигнал/шум в радиоприемник должен был быть добавлен дополнительный РЧ-шум с уровнем 18 дБ. Это легко реализуется путем добавления шума к полезному сигналу в рамочной антенне⁸. Таким образом может быть задано любое желаемое эффективное расстояние⁹ между радиоприемником и зарядным устройством, и может быть измерено снижение воздействия помех в зависимости от расстояния разноса.

Угол наклона зарядного устройства был отрегулирован для получения максимального воздействия на радиоприемник (наихудший случай) и обеспечения максимального взаимодействия с испытательными катушками. Минимальное взаимодействие зарядного устройства с радиоприемником – при этом во многих случаях помехи были фактически не слышны – происходило тогда, когда зарядное устройство

⁸ На практике генерировался псевдослучайный шум, который затем добавлялся к аудиосигналу на компьютере.

⁹ Вплоть до момента перегрузки входного РЧ-каскада радиоприемника сигналом завышенного уровня.

РИСУНОК 16
Характеристика модуляции приемника 2

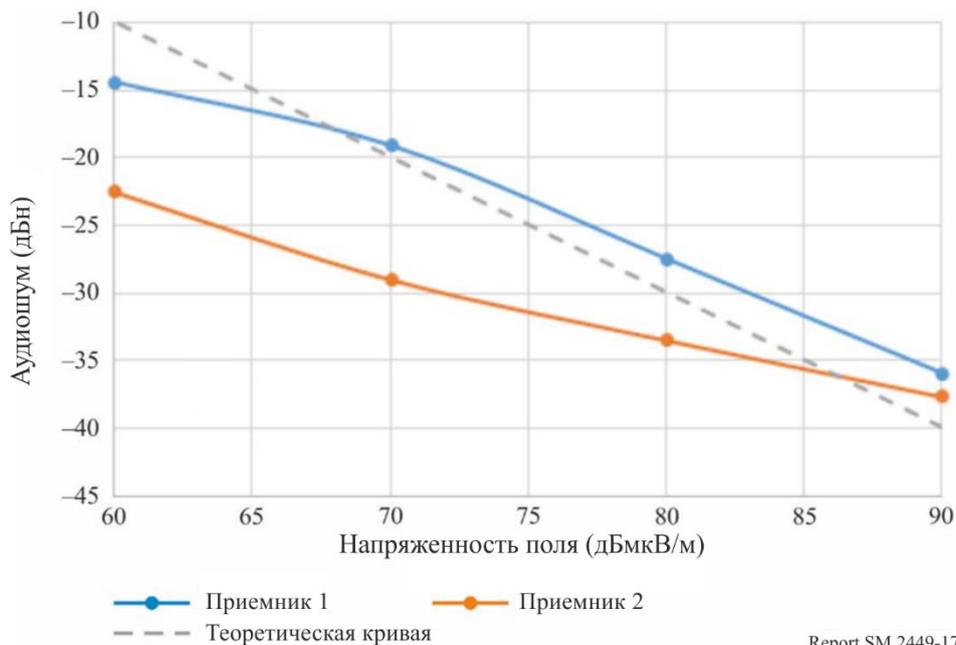


Report SM.2449-16

Регулятор (переключатель) тембра действительно оказывает существенное влияние. Очевидно, что при любом испытании переключатель должен находиться в положении "High" – между "High" и "Low" нет промежуточного положения – при этом характеристика модуляции довольно точно совпадает с характеристикой эталонного приемника, приведенной в Рекомендации МСЭ-R BS.703.

Уровни аудиощума, измеренные в зависимости от напряженности поля, представлены на рисунке 17.

РИСУНОК 17
Уровни аудиощума для обоих приемников



Report SM.2449-17

Уровни шума указаны относительно глубины АМ-модуляции 30% согласно требованиям Рекомендации МСЭ-R BS.703 (аудиошум -30 дБ соответствует отношению сигнал/шум 30 дБ). Теоретически ожидается, что отношение сигнал/шум будет увеличиваться пропорционально полезному сигналу (дБ на дБ) в соответствии с пунктирной линией. На практике "опорный" шум (в последних каскадах приемника) задает верхний предел, в то время как при низких уровнях сигнала АРУ выходит за пределы диапазона. При уровне сигнала 60 дБмкВ/м характеристики приемника 1 выглядят лучше, чем ожидалось. Однако на самом деле это не так, поскольку уровень полезного сигнала снижался вместе с уровнем шума.

Таким образом представляется, что в испытаниях предпочтительнее использовать приемник 2, поскольку он более точно соответствует эталонным параметрам, указанным в Рекомендации МСЭ-R BS.703. Для аудиосигнала отношение сигнал/шум ниже примерно на 5 дБ, но это не является существенной проблемой, поскольку при оценке влияния помех практически невозможно использовать большие расстояния. В испытаниях использовались меньшие расстояния разнеса и более высокие эталонные значения напряженности поля, как указано в пункте 6.2.6.1.

Следует отметить, что несущая частота, выбранная для испытаний, равнялась стандартному значению 999 кГц. При использовании другой частоты чувствительность приемника скорее всего изменится.

6.2.4 Уровни излучения зарядного устройства

Проведены измерения уровней излучения зарядного устройства. Результаты измерений в целом соответствуют данным, приведенным в таблицах 5–8 настоящего Отчета.

В эксперименте использовался самодельный детектор, состоящий из десяти витков проволоки, намотанной на небольшой отрезок дренажной трубки; диаметр катушки составлял 68 мм. После катушки детектора был подключен малощумящий усилитель с номинальным усилением 30 дБ.

РИСУНОК 18

Самодельный детектор (слева) и зарядное устройство Qi® (с нагрузкой)



Report SM.2449-18

На расстоянии 1 м уровень сигнала, измеренный анализатором спектра, составлял -34 дБм. Поскольку коэффициент усиления предварительного усилителя был равен 29 дБ (измеренное значение), мощность сигнала на выходе катушки составляла -63 дБм. Значение 0 дБм эквивалентно 224 мВ, следовательно, значение -63 дБм эквивалентно $0,159$ мВ¹⁰.

Магнитное поле H , проходящее через катушку площадью A и с количеством витков N , создает ЭДС E , равную $\mu_0 H A N \omega$, где μ_0 – проницаемость свободного пространства (определяемая как $4\pi \times 10^{-7}$), а ω – угловая частота. Преобразование формулы дает:

$$H = E / \mu_0 A N \omega. \quad (1)$$

¹⁰ Строго говоря, дБм – это единица мощности в системе с постоянным полным сопротивлением. В этом случае катушка фактически передает напряжение в высокий импеданс.

Подставляем числа: $H = 0,159 \times 10^{-3} / \{ (4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0,034^2) \times 10 \times (2\pi \times 115 \times 10^3) \}$.

Следовательно, $H = 0,0048$ А/м на расстоянии 1 м.

Это эквивалентно 73,6 дБмкА/м (или 125,1 дБмкВ/м для эквивалентного электрического поля в свободном пространстве). На расстоянии 300 м эта величина снижается на $60 \log 300$ дБ или на 148,6 дБ, в результате чего получаем $-23,5$ дБмкВ/м. В разделе 5.1 приведена величина -15 дБмкВ/м. С учетом различных погрешностей измерения данную величину можно считать приемлемой.

6.2.5 Уровни излучения гармоник зарядного устройства

Описанная до сих пор работа в рамках второго исследования охватывала только два устройства. Модели, представленные на рынке, могут различаться, поэтому оценивался целый ряд устройств.

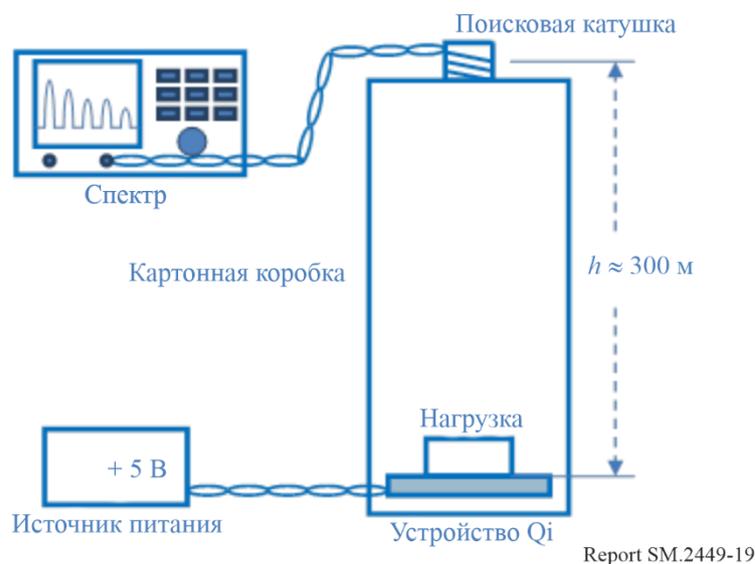
Метод испытания был очень прост. Рассматриваемое устройство Qi было помещено на испытательный стенд и запитано напряжением +5 В от стендового источника питания. К нему была подключена эквивалентная нагрузка Qi, как показано на рисунке 18, и он был настроен на потребляемую мощность 2 Вт (его номинальная максимальная мощность). Трехвитковая поисковая катушка была установлена на расстоянии 300 мм непосредственно над устройством Qi, а ее выход подключен к анализатору спектра.

Анализатор спектра был настроен на сканирование в диапазоне от 0 до 2 МГц, а затем с помощью установки маркеров считывались уровни первых 13 гармоник – только нечетных, поскольку четные гармоники обычно имеют гораздо более низкий уровень.

Устройство Qi было заменено плоской катушкой, управляемой тоном 1 МГц. Катушка аналогична той, что используется в устройствах Qi, и ее магнитное поле можно было легко рассчитать. Выходной сигнал поисковой катушки сравнивался с расчетным уровнем, чтобы убедиться в соответствии измеренных и ожидаемых результатов.

РИСУНОК 19

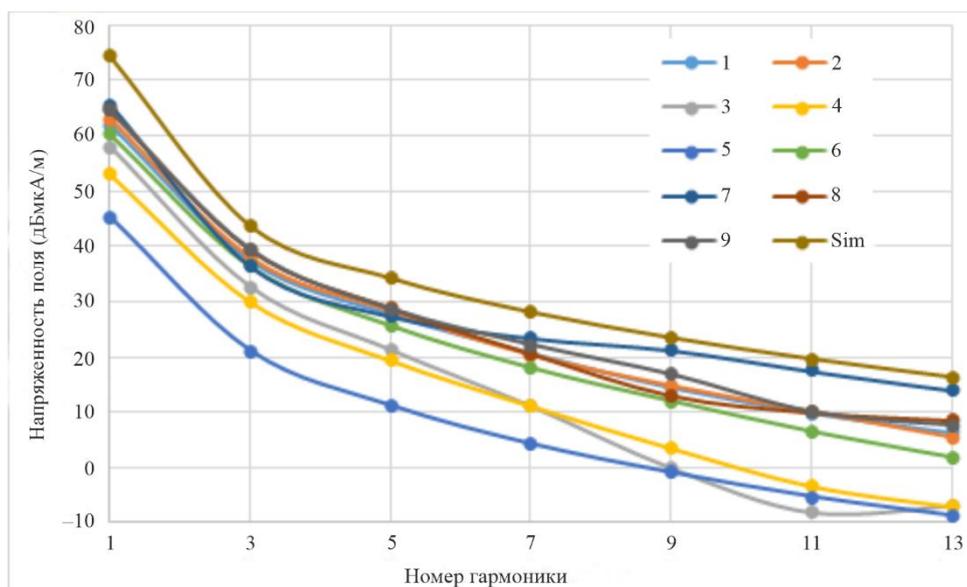
Испытательная установка



Результаты представлены ниже. Они приведены к расстоянию 1 м.

РИСУНОК 20

Гармонические уровни испытываемых устройств



Report SM.2449-20

В общем случае уровень гармоники n для каждого устройства подчиняется ожидаемому закону ($1/n$). (Кривые параллельны идеальному графику Sim.) Это подтверждает, что настроенный контур действительно управляется прямоугольным сигналом. Как указано в разделе 4, соотношение $1/n$ неприменимо к основной составляющей, поскольку настроенный контур, включающий в себя катушку связи, в этом случае близок к резонансу.

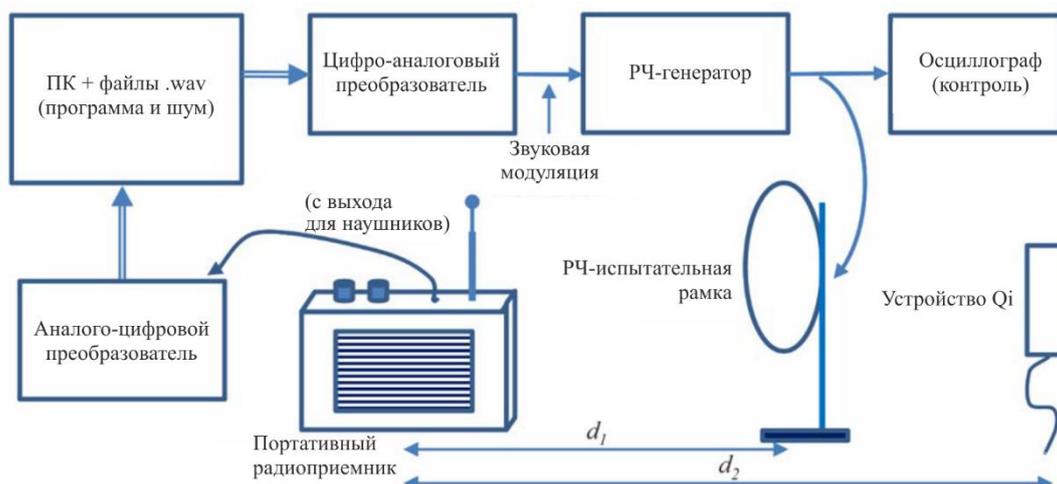
Поскольку модель не учитывает никаких смягчающих факторов, таких как возможное магнитное экранирование, неудивительно, что уровень излучения реальных устройств несколько ниже. Характеристика устройства 5 примерно на 25 дБ лучше модели.

6.2.6 Оценка уровней помех

Воздействие помех, создаваемых комбинацией зарядное устройство – нагрузка, было измерено как объективно, так и субъективно на аудиовыходе радиоприемника при помощи схемы, изображенной на рисунке 21.

РИСУНОК 21

Испытательная установка для оценки помех, создаваемых устройством Qi®



Report SM.2449-21

Данная схема в основном не требует пояснений. Программный материал хранится на ПК как файлы .wav и аналогичен тому, что использовался в предыдущих испытаниях БПЭ¹¹. (Файлы были предоставлены студиями Radio 5 Би-би-си и были подвергнуты сжатию, как это было бы сделано для передачи.) Материал воспроизводился через высококачественный "эталонный" ЦАП и использовался для модуляции РЧ-генератора. Затем РЧ-генератор запускал испытательную рамочную антенну. По условиям испытаний рамочная антенна размещается на расстоянии 600 мм от испытуемого объекта (радиоприемника). В этом случае эквивалентное электрическое поле в В/м численно равно 1/10 ЭДС генератора в вольтах¹². И наконец, выходной сигнал радиоприемника вместе с помехами преобразуется в цифровую форму и сохраняется на ПК как файлы .wav.

Кроме того, в программный материал при помощи компьютерной программы *Audacity* был добавлен псевдослучайный шум. Это позволило задать отношение сигнал/шум для звукового сигнала на выходе приемника равным эталонному значению 26 дБ при глубине АМ-модуляции 30% независимо от фактической напряженности поля¹³. При проведении субъективных испытаний воздействия помех важным фактором, очевидно, является маскирующий эффект любого фонового шума.

В заключение выполнялась проверка работоспособности посредством калибровки системы. Уровень сигнала генератора был задан равным -3 дБм при ЭДС источника 317 мВ и номинальной напряженности поля 31,7 мВ/м (90 дБмкВ/м). В этом случае напряженность магнитного поля должна составлять 31,7/377 мА/м, или 38,5 дБмкА/м. Для измерения фактической напряженности поля вновь использовалась 4-витковая поисковая катушка. При помощи анализатора спектра было получено значение -92 дБм.

Вновь вернемся к уравнению (1), полученному выше:

$$H = E/\mu_0 A N \omega.$$

Подставляем числа: $H = (5,63 \times 2 \times 10^{-6}) / \{(4\pi \times 10^{-7}) \times (\pi \times 0,034^2) \times 4 \times (2\pi \times 999 \times 10^3)\}$,

где выраженная в вольтах величина $5,63 \times 10^{-6}$ соответствует -92 дБм, а выделенная цифра компенсирует потери в нагрузке:

$$H = 9,818 \times 10^{-5} \text{ А/м, или } 39,8 \text{ дБмкА/м.}$$

Таким образом это вполне согласуется с номинальной напряженностью поля.

6.2.6.1 Увеличение расстояния и влияние экранированного помещения

Как упоминалось ранее, повышение уровня полезного сигнала на приемнике – объекте воздействия помех может быть полезно для оценки помех, создаваемых устройством на расстояниях, превышающих имеющиеся значения в экранированном помещении. Предположим, что эталонный приемник работает при 60 дБмкВ/м, а создающее помехи зарядное устройство находится на расстоянии 2 м. Исходя из обратной кубической зависимости, при сокращении расстояния вдвое (до 1 м) уровень помех возрастает на 18 дБ. Из этого следует, что воздействие на выходной сигнал приемника будет точно таким же, как если бы уровень полезного сигнала также увеличился на 18 дБ. Существует два условия: во-первых, любой шум, создаваемый другими компонентами системы, должен поддерживаться на одном уровне (-26 дБн, эталонная глубина АМ-модуляции 30%); во-вторых, автоматическая регулировка усиления в приемнике должна поддерживать требуемый уровень выходного сигнала достаточно постоянным.

В таблице 10 приведены уровни сигнала генератора, соответствующие множителям 1–4. Предполагается, что используется рамочная антенна, а приемник – объект воздействия помех находится на расстоянии 600 мм от нее.

¹¹ Например, как описано в Белой книге [WHP 322](#) компании Би-би-си.

¹² Рамочная антенна на самом деле не должна генерировать электрическое поле, поэтому она экранируется, чтобы этого не происходило. Эквивалентное электрическое поле рассчитывается при помощи стандартного отношения дальней зоны: $E/H = 377$ Ом.

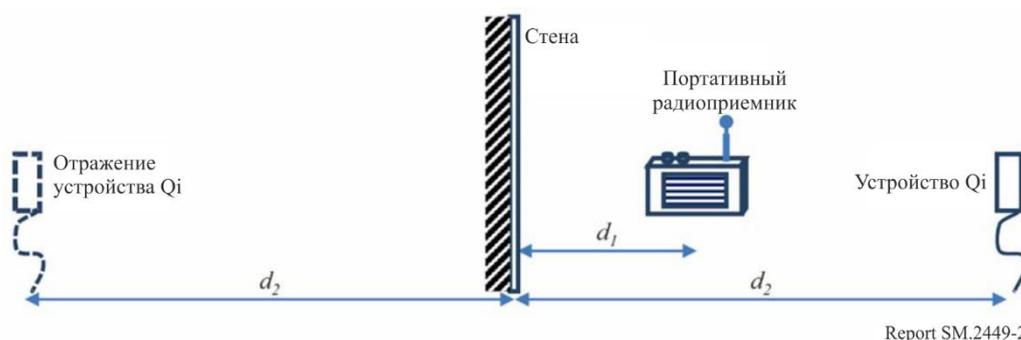
¹³ Предполагается, что напряженность поля достаточна для превышения эталонного значения сигнал/шум звукового сигнала.

ТАБЛИЦА 10

Уровни генератора для конкретных множителей

Уровень генератора (дБм)	-33	-15	-4,4	+3	Множитель 4 означает, что источник помех, находящийся на расстоянии 600 мм, оказывает такое же воздействие, как и источник на расстоянии 2,4 м
Множитель	1	2	3	4	

Расстояния, практически доступные в экранированном помещении, более ограничены, чем можно было ожидать. Причина в том, что помещение выполнено из металла, а металл является почти идеальным отражателем. Несмотря на то что длина помещения составляет почти 4 м, источник помех должен находиться в пределах 1,2 м от приемника. Схема изображена на рисунке 22.

РИСУНОК 22
Влияние отражения

Измеренные в радиоприемнике нормированные уровни напряженности поля для устройства Qi® и его отражения составляют $1/(d_2 - d_1)^3$ и $1/(d_2 + d_1)^3$ соответственно. Для получения результирующей напряженности поля отраженный сигнал необходимо вычесть из прямого сигнала¹⁴:

результирующая напряженность поля $1/(d_2 - d_1)^3 - 1/(d_2 + d_1)^3$;

соотношение результирующей и прямой напряженности поля $\{1/(d_2 - d_1)^3 - 1/(d_2 + d_1)^3\} / 1/(d_2 - d_1)^3 = 1 - \{(d_2 - d_1)/(d_2 + d_1)\}^3$.

Подставляя фактические расстояния ($d_1 = 0,5$ м и $d_2 = 1,2$ м), получаем коэффициент 0,93 – погрешность 0,6 дБ. В этом случае мешающее воздействие слишком мало, чтобы оказывать серьезное влияние; оно может быть скорректировано, если немного уменьшить d_2 . Однако при увеличении d_2 погрешность быстро возрастает.

6.2.6.2 Образцы звука

Для испытаний заранее было сделано несколько записей – 30 секунд речи и 30 секунд музыки для передачи на переносной радиоприемник. Тот же материал использовался ранее для предыдущих испытаний БПЭ. Это был фрагмент клипа "Jerusalem", предоставленного студией Radio 5. Фрагмент был обработан для передачи на СЧ-радиовещательные станции Radio 5.

Сделанные к настоящему времени записи (с некоторыми комментариями) рассматриваются ниже. Во всех случаях была выбрана 7-я гармоника источника помех. Частота изменялась, но, как правило, составляла около 1 МГц.

¹⁴ Ситуацию еще проще рассмотреть в части электрических зарядов. На стене, которая заземлена, напряжение должно быть равно нулю. Этого можно добиться только в том случае, если реальный и мнимый заряды равны, противоположны и находятся на одинаковом расстоянии от стены.

ТАБЛИЦА 11

Записи

Идентификатор	Краткое описание	Комментарии
as_clean	Речь без искажений, за исключением системного шума с уровнем –26 дБн	Слышно фоновое шипение, которое считается допустимым
bs_wp0_l2_2-4_onc	Как указано выше, плюс помехи в совмещенном канале от зарядной площадки, не имеющей товарного знака	Помехи на эффективном расстоянии 2,4 м очень сильные
cs_wp0_l2_2-4_offc	Как указано выше, но с помехами вне канала	Вероятно, в большинстве случаев помехи не будут заметны
ds_wp0_l2_2-4_idle	Как указано выше, но при нагрузке, снятой с зарядной площадки	Аналогично, в большинстве случаев помехи не будут заметны
em_clean	Музыка без искажений, за исключением системного шума с уровнем –26 дБн	Слышно фоновое шипение, которое считается допустимым
fm_wp0_l2_2-4_onc	Как указано выше, плюс помехи в совмещенном канале от зарядной площадки, не имеющей товарного знака	Помехи на эффективном расстоянии 2,4 м очень сильные
gm_wp0_l2_2-4_offc	Как указано выше, но с помехами вне канала	Вероятно, в большинстве случаев помехи не будут заметны
hm_wp0_l2_2-4_idle	Как указано выше, но при нагрузке, снятой с зарядной площадки	Аналогично, в большинстве случаев помехи не будут заметны
is_wp7_s7_2-4_onc	Смартфон, генерирующий помехи в совмещенном канале при передаче речи	Результаты практически совпадают с результатами для зарядной площадки, не имеющей товарного знака
jm_wp7_s7_2-4_onc	Как указано выше, с программой "музыка"	Как указано выше

Получить достоверные результаты оказалось непросто, так как источник помех мог без предупреждения перейти на другой канал. Даже будучи стабильным, источник помех переключался между двумя фиксированными частотами, только на одну из которых был настроен радиоприемник. Переключение происходило примерно один раз в секунду, подавая легко опознаваемый слышимый характерный сигнал. Внеканальные помехи, как правило, были почти не слышны, однако это зависело от того, насколько они были внеканальными.

Отсутствие тонких различий в этих явлениях означает, что практически отсутствует необходимость в обычной 5-балльной шкале искажений МСЭ – помехи либо очень сильные, либо совсем не слышны.

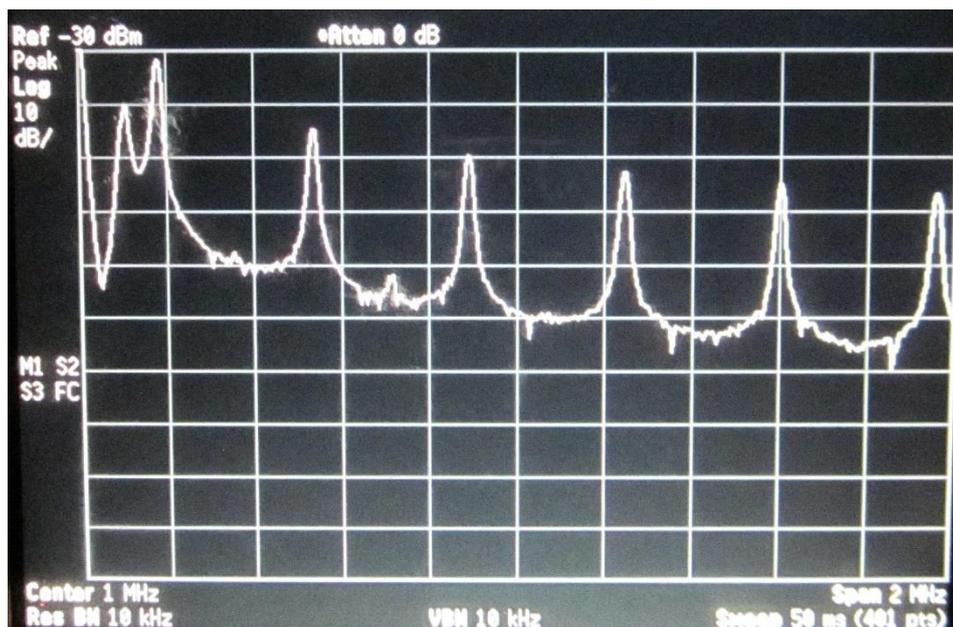
6.2.7 Зарядное устройство БПЭ в режиме ожидания

Во всех предыдущих исследованиях предполагалось, что устройство находится в режиме активной эксплуатации. Это может показаться разумным, но на практике данное устройство может оставаться включенным и тогда, когда оно не используется. В этих условиях оно подает периодический сигнал, или "пинг". Чтобы это выяснить, предыдущие испытания были повторены, но на этот раз без эквивалентной нагрузки. Еще одно отличие состояло в том, что расстояние, на котором была установлена поисковая катушка, было сокращено до 175 мм для повышения уровня сигнала, подаваемого на анализатор спектра. Помехи также прослушивались по переносному радиоприемнику.

В ненагруженном состоянии все устройства подавали регулярные импульсы с основной частотой 175 кГц. Частота повторения импульсов колебалась от 0,5 до 4 раз в секунду. Этот сигнал, по-видимому, вызывал серьезные радиопомехи только из-за гармоник; в промежутках между гармониками полоса была довольно тихой. Типичный график спектра показан на рисунке 23. Он выполнен с использованием функции "удержание пика" на анализаторе спектра, так чтобы содержимое боковой полосы могло нарастать с течением времени – на снимке гармоника выглядели чистыми. Размах составляет 0,2 МГц, а масштаб вертикальной шкалы – 10 дБ/деление. Следует отметить, что поисковая катушка имеет характеристику, пропорциональную частоте.

РИСУНОК 23

Типичный спектр (устройства 2)



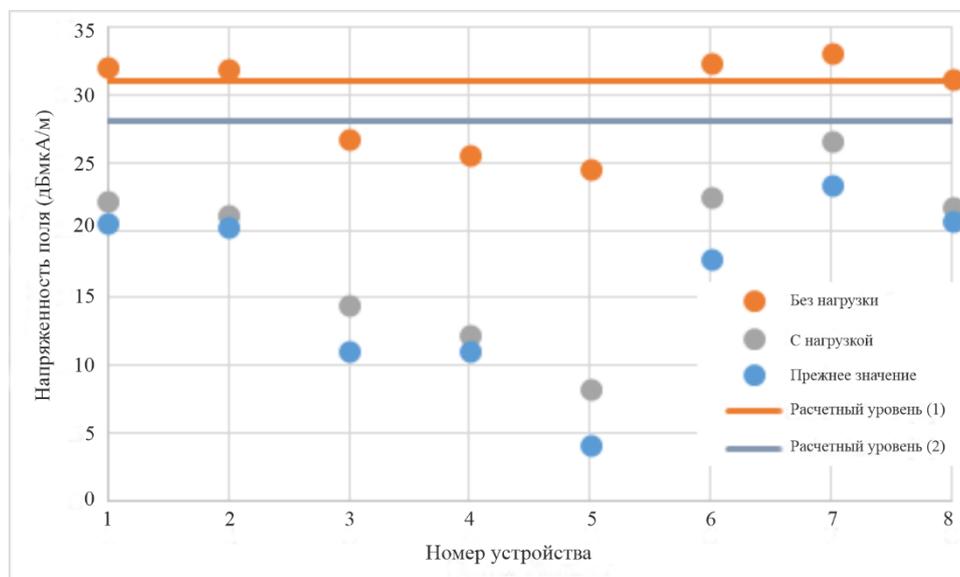
Report SM.2449-23

Интерпретация спектра заключается в том, что устройство большую часть времени работает на частоте 175 кГц, но иногда пытается перейти на частоту 100 кГц (его нормальная рабочая частота). Слышимым эффектом в АМ-приемнике является "двойной удар", соответствующий началу и концу импульса. Это ожидаемо – резкие изменения уровня несущей приводят к возникновению низкочастотных переходных процессов.

Ниже оранжевым цветом показаны значения напряженности поля 5-й гармоники, которые сравниваются с напряженностями поля 7-й гармоники при установленной испытательной нагрузке (2 Вт). Следует отметить, что оба набора гармоник находятся примерно на одной и той же частоте.

РИСУНОК 24

Уровни гармоник испытываемых устройств



Report SM.2449-24

Комментарии:

- уровни приведены к расстоянию 1 м;
- прежние значения (с нагрузкой) – это уровни для 7-й гармоники, показанные на рисунке 24;
- устройство 9 не включено, поскольку оно давало очень нестабильные результаты;
- расчетный уровень 2 – это уровень гармоники, предсказанный в результате моделирования в разделе 4, а расчетный уровень 1 на 2,9 дБ выше, чтобы учесть, что 5-я гармоника разложения Фурье в 7/5 раз превышает уровень 7-й гармоники.

В целом наблюдается хорошее соответствие между расчетными и фактическими уровнями гармоник в ситуации без нагрузки – среднее фактических значений отличается от расчетного всего на 1,2 дБ. В случае с нагрузкой ситуация менее радужная: измеренные результаты в среднем на 11 дБ ниже расчетного значения. Выявленное разумное соответствие между текущими и прежними результатами в случае с нагрузкой для 7-й гармоники позволяет предположить, что это несовпадение реально.

Была предпринята попытка выяснить причину. Была проведена еще одна проверка работоспособности с использованием плоской катушки, на этот раз с размещением испытательной нагрузки непосредственно поверх катушки. При контакте испытательной нагрузки с катушкой уровень понизился на 13 дБ. Подъем нагрузки всего на 10 мм привел к снижению потерь примерно до 4 дБ. Некоторые несистематические эксперименты показали, что потери сильно зависят от положения и в меньшей степени от частоты. Очевидно, что существенное влияние оказывают ферритовый экран и катушка внутри эквивалентной нагрузки. При использовании зарядного устройства Qi в качестве экрана вместо испытательной нагрузки имели место некоторые потери, но не такие существенные, как прежде.

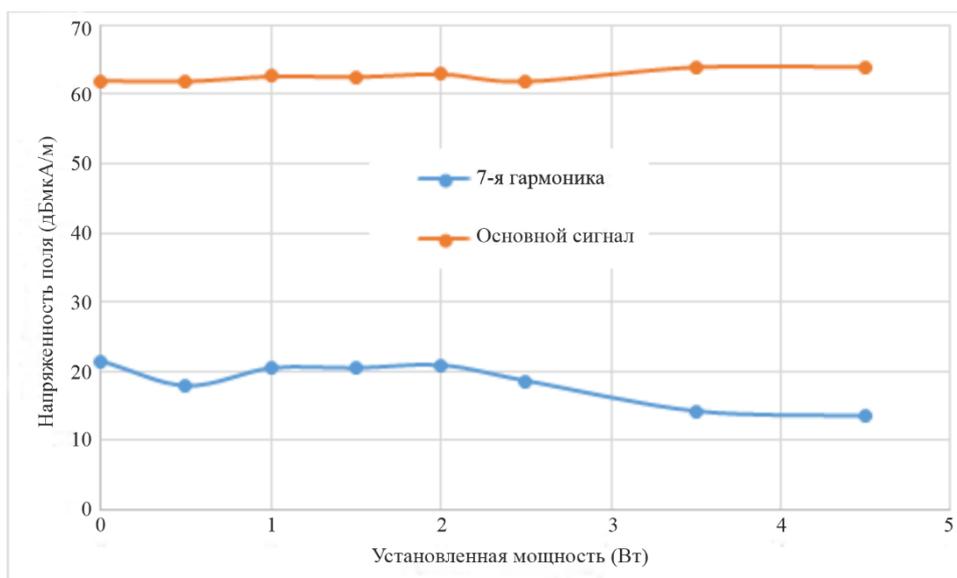
Описанное выше исследование показывает, что излучения в режиме ожидания создают большие проблемы, поскольку их ничто не экранирует. Так как расчеты и практика хорошо согласуются, справедлив вывод, сделанный в разделе 5, что зарядное устройство может создавать помехи для АМ-приемников на расстоянии до 10 м.

6.2.8 Высокие уровни мощности

До сих пор испытания проводились при мощности 2 Вт – предел, налагающийся внутренними резисторами в эквивалентной нагрузке. Однако нагрузка допускает подключение внешних резисторов, что позволяет увеличить мощность до 5 Вт. Эквивалентная нагрузка обнаруживает эти резисторы и соответствующим образом настраивает систему. Результаты измерений уровней основного сигнала и 7-й гармоники зарядного устройства 2 при мощности выше 2 Вт приведены ниже.

РИСУНОК 25

Напряженность поля при более высоких уровнях мощности



Report SM.2449-25

Мощность была ограничена 4,5 Вт, поскольку при полной мощности 5 Вт система проявляла признаки неисправности.

По крайней мере до 2 Вт уровень гармоник остается постоянным. Выше 2 Вт уровень гармоник несколько падает, возможно, из-за смены режима при использовании внешних резисторов. Еще удивительнее то, что уровень основного сигнала также остается постоянным. Отчасти это можно объяснить тем, что с ростом мощности повышается КПД системы, что приводит к уменьшению поля рассеяния.

6.3 3-е исследование, касающееся АМ-радиовещания, для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц

6.3.1 Измерения для сравнения воздействия разных частот

Это исследование проводилось в целях изучения того, будут ли гармоники беспроводного зарядного устройства, работающего в диапазоне частот 315–405 кГц, создавать вредные помехи АМ-радиоприемникам, которые на практике работают в диапазоне частот 526,5–1700 кГц.

6.3.2 Выбор канала АМ-радиовещания

Это исследование проводилось с устройствами индуктивной БПЭ без использования луча, работающими на частоте около 360 кГц. Зарядные устройства либо соответствовали спецификации Qi2 Консорциума беспроводной электромагнитной энергии, либо были очень близки к ней, и все они имелись в свободной продаже. В спецификации Qi2 определяется работа устройств БПЭ на частоте около 360 кГц с более высокой мощностью и значительно более высоким КПД, чем в спецификации Qi1.

Теоретически их 2-я, 3-я и 4-я гармоники попадают в диапазон 526,5–1700 кГц. Однако четные гармоники хорошо подавляются конструкцией зарядной цепи.

Поэтому данное исследование сосредоточено на 3-й гармонике излучения устройств БПЭ. Испытания проводились в Китае с АМ-радиовещательными приемниками, настроенными на частоты 1080 кГц и 1098 кГц. Канал 1080 перекрывается с 3-й гармоникой, а канал 1098 является ближайшим соседним каналом, обнаруженным в реальной жизни в ходе исследования 3-й гармоники излучения устройств БПЭ, работающих на частоте около 360 кГц.

В ходе исследования были собраны данные, полученные в 3-метровой испытательной камере, в офисном здании и в городской гостинице. Беспроводные зарядные устройства трех различных брендов, имеющиеся в свободной продаже, были испытаны на предмет создания помех трем серийным АМ-радиоприемникам от разных производителей.

6.3.3 Субъективное испытание на слышимость помех

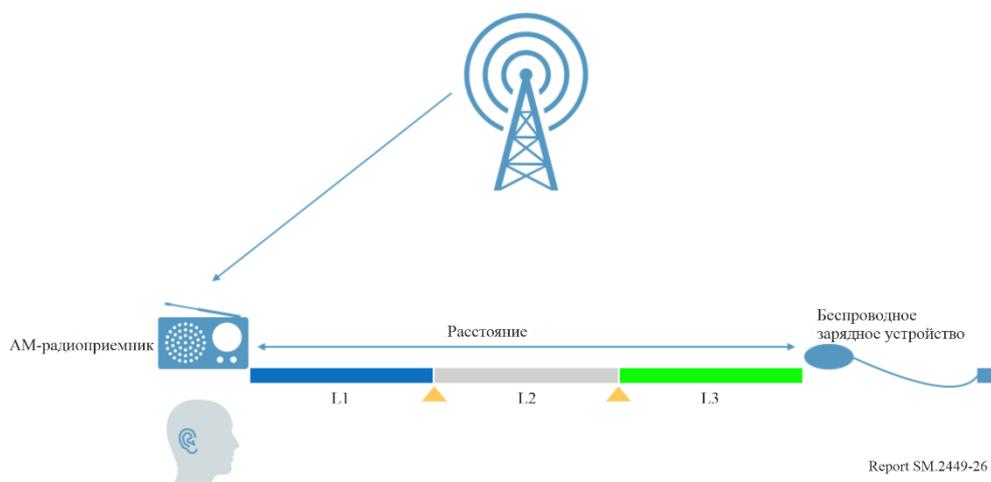
Субъективные испытания на слышимость помех проводились внутри здания, где уровень сигнала АМ-радиовещания очень близок к минимальному уровню, указанному в Рекомендации МСЭ-R BS.703. Тогда можно получить приемлемое качество сигнала, отрегулировав размещение и ориентацию АМ-радиоприемников. Оператор отслеживал уровень слышимых помех, постепенно перемещая беспроводные зарядные устройства в сторону АМ-приемников. Учитывая различия в остроте слуха у разных людей, в субъективной оценке приняли участие пять человек. Субъективное испытание на слышимость помех было организовано в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R BS.1284-2, но с большим акцентом на опыт реальных пользователей.

Оценку слышимости помех можно производить по трем уровням¹⁵:

- уровень 1 – недопустимые помехи,
- уровень 2 – слышимые, но допустимые помехи;
- уровень 3 – неслышимые помехи.

РИСУНОК 26

Расположение объектов при субъективном испытании на слышимость помех



¹⁵ Уровни оценок из Рекомендации МСЭ-R BS.1284 были упрощены следующим образом: уровень 1 = 1 (очень раздражает) и 2 (раздражает), уровень 2 = 3 (слегка раздражает) и 4 (заметно, но не раздражает), уровень 3 = 5 (незаметно).

РИСУНОК 27

Установка для субъективных испытаний на слышимость помех



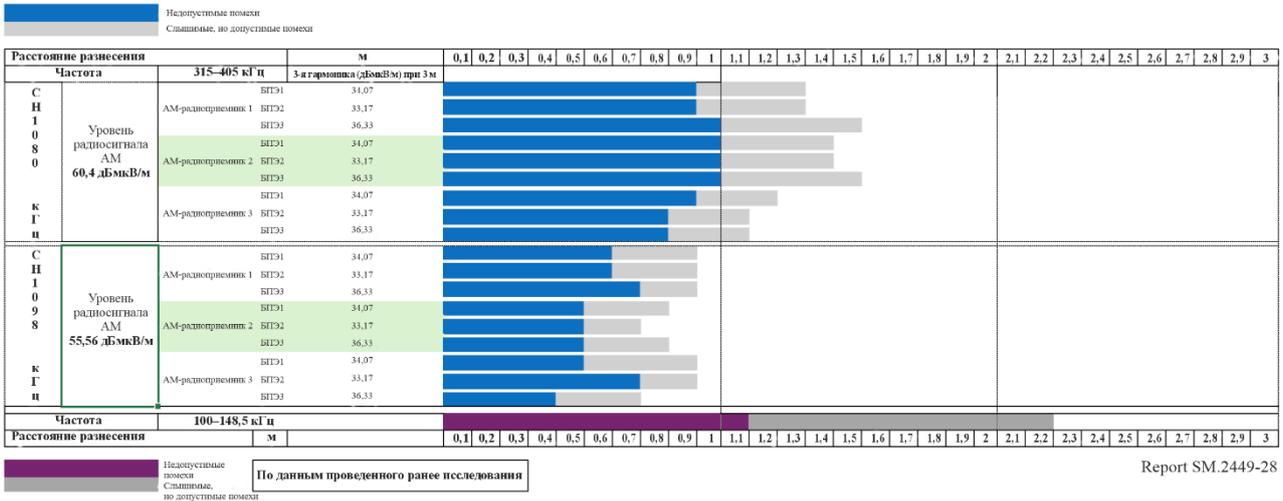
Report SM.2449-27

6.3.4 Краткое изложение результатов

На рисунке 28 в верхней части показаны результаты для АМ-радиоприемника 1, АМ-радиоприемника 2 и АМ-радиоприемника 3, настроенных на канал АМ 1080 кГц, который перекрывается с 3-й гармоникой всех зарядных устройств БПЭ. В нижней части показан канал АМ 1098 кГц.

РИСУНОК 28

Результаты субъективных испытаний на слышимость помех



При наложении гармонических помех на канал АМ-радиовещания эффективно исключить слышимые помехи в наихудшем случае может расстояние разнесения 1,5 м.

Однако при соседстве с каналом АМ-радиовещания для предотвращения слышимых помех для приемников АМ-радиовещания в наихудшем случае достаточно расстояния разнесения 0,9 м.

Эти расстояния достижимы, и поэтому в данном исследовании воздействие на радиовещательную службу было сочтено предотвратимым.

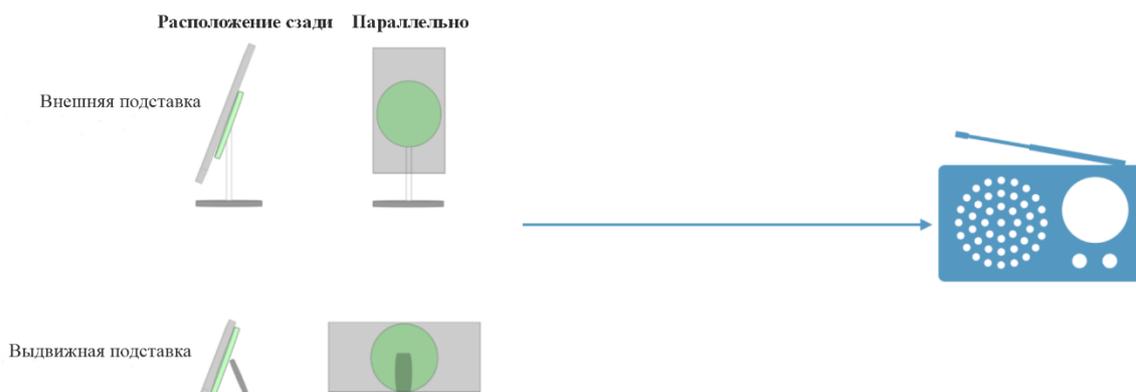
При сравнении полученных расстояний с расстояниями, указанными в первом исследовании, касающемся АМ-радиовещания (пункт 6.1), для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, можно заметить, что расстояния для устройств БПЭ, работающих в диапазоне 100–148,5 кГц, намного меньше, а их воздействие гораздо слабее.

6.3.5 Анализ чувствительности – разная ориентация катушки зарядного устройства и дополнительных устройств БПЭ

Помимо обычных сценариев использования с горизонтальным расположением катушки зарядного устройства в ходе этого исследования также были изучены некоторые сценарии с катушкой зарядного устройства, расположенной вертикально с помощью выдвижной или внешней подставки. В ходе этого исследования проводились измерения двух дополнительных зарядных устройств, которые бывают только вертикальными. Практическое воздействие оценивалось путем изменения положения катушки зарядного устройства относительно АМ-радиоприемников, например сзади и параллельно.

РИСУНОК 29

Ориентация катушек зарядного устройства с вертикальным расположением



Report SM.2449-29

На рисунке 30 показаны результаты для АМ-радиоприемника 1, АМ-радиоприемника 2 и АМ-радиоприемника 3, настроенных на канал АМ 1080 кГц.

РИСУНОК 30

Сводные результаты воздействия гармоник БПЭ на прием канала АМ 1080 кГц (вертикальное расположение)

Расстояние разнесения		м	3-я гармоника (дБмВм) при 3 м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3				
С Н 1 0 8 0	Уровень радиосигнала АМ 99,5 дБмВм	АМ-радиоприемник 1	БПЭ1	35,58	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ2	34,45	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ3	33,85	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ4	36,3	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ5	38,62	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
	АМ-радиоприемник 2	БПЭ1	35,58	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																	
		БПЭ2	34,45	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																	
		БПЭ3	33,85	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																	
		БПЭ4	36,3	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																	
		БПЭ5	38,62	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																	
	К Г Ц	АМ-радиоприемник 3	БПЭ1	35,58	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ2	34,45	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ3	33,85	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ4	36,3	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
			БПЭ5	38,62	[Blue bar from 0.1 to 1.0]																																
Расстояние разнесения		м		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3				

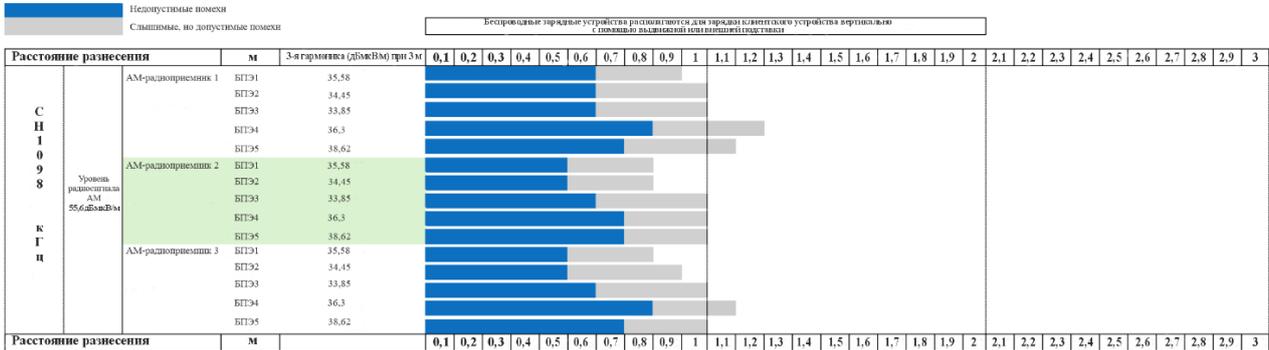
Report SM.2449-30

Следует отметить, что для одного зарядного устройства БПЭ требуется большее защитное расстояние, чем для других. Третья гармоника этого беспроводного зарядного устройства смещена примерно на 500 Гц от середины канала АМ-радиовещания. На рисунке 1, приведенном в Рекомендации МСЭ-R BS.560, показано, что наибольшее защитное отношение составляет приблизительно 16 дБ, что соответствует смещению частоты около 1,6 кГц. Если смещение частоты между гармониками и сигналом АМ-радиовещания составит 1,6 кГц вместо 500 Гц, то защитное расстояние увеличится в 1,17 раза.

На рисунке 31 показаны результаты для АМ-радиоприемника 1, АМ-радиоприемника 2 и АМ-радиоприемника 3, настроенных на канал АМ 1098 кГц.

РИСУНОК 31

Сводные результаты воздействия гармоник БПЭ на прием канала АМ 1098 кГц (вертикальное расположение)



Report SM.2449-31

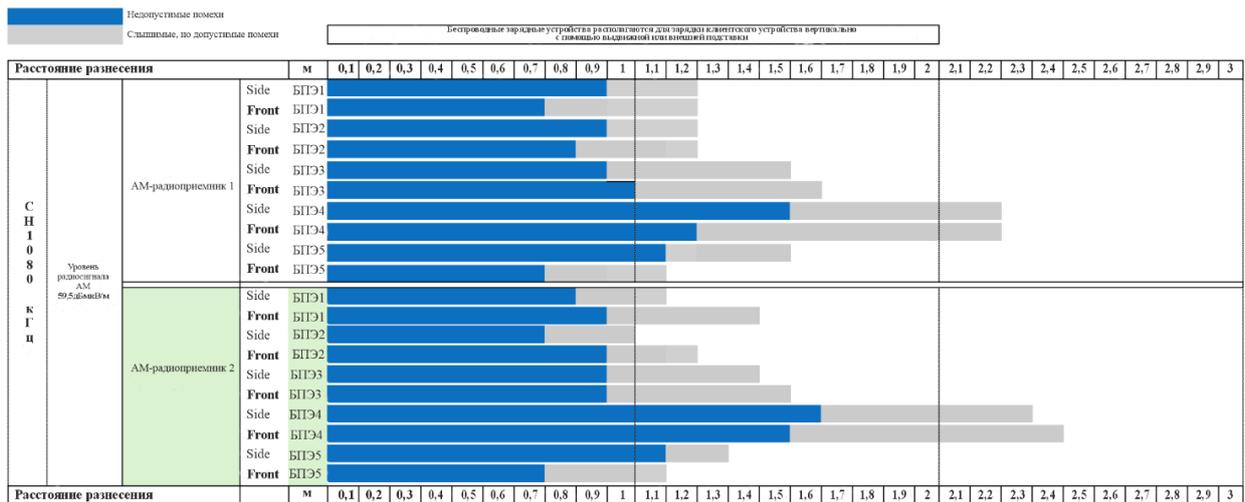
Результаты исследования свидетельствуют о том, что это воздействие сопоставимо с воздействием при горизонтальном расположении катушки беспроводного зарядного устройства.

6.3.6 Анализ чувствительности – разная ориентация АМ-радиоприемника

Был проведен еще один анализ чувствительности для изучения влияния ориентации АМ-радиоприемника.

РИСУНОК 32

Анализ чувствительности – разная ориентация АМ-радиоприемника



6.3.7 Объективное сравнение уровней гармоник

Действующий стандарт, например ETSI EN300 330, требует соблюдения уровня гармоник – 15 дБмкА/м при 360 кГц вместо 66 дБмкА/м при 119 кГц для диапазона частот 100–148,5 кГц, что накладывает значительно более строгие ограничения на излучения основного сигнала в диапазоне частот 315–405 кГц. Это делает гармоники в диапазоне частот 315–405 кГц более благоприятными для служб АМ-радиовещания, чем в диапазоне 100–148,5 кГц.

Для целей данного сравнения были измерены еще 5 устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц.

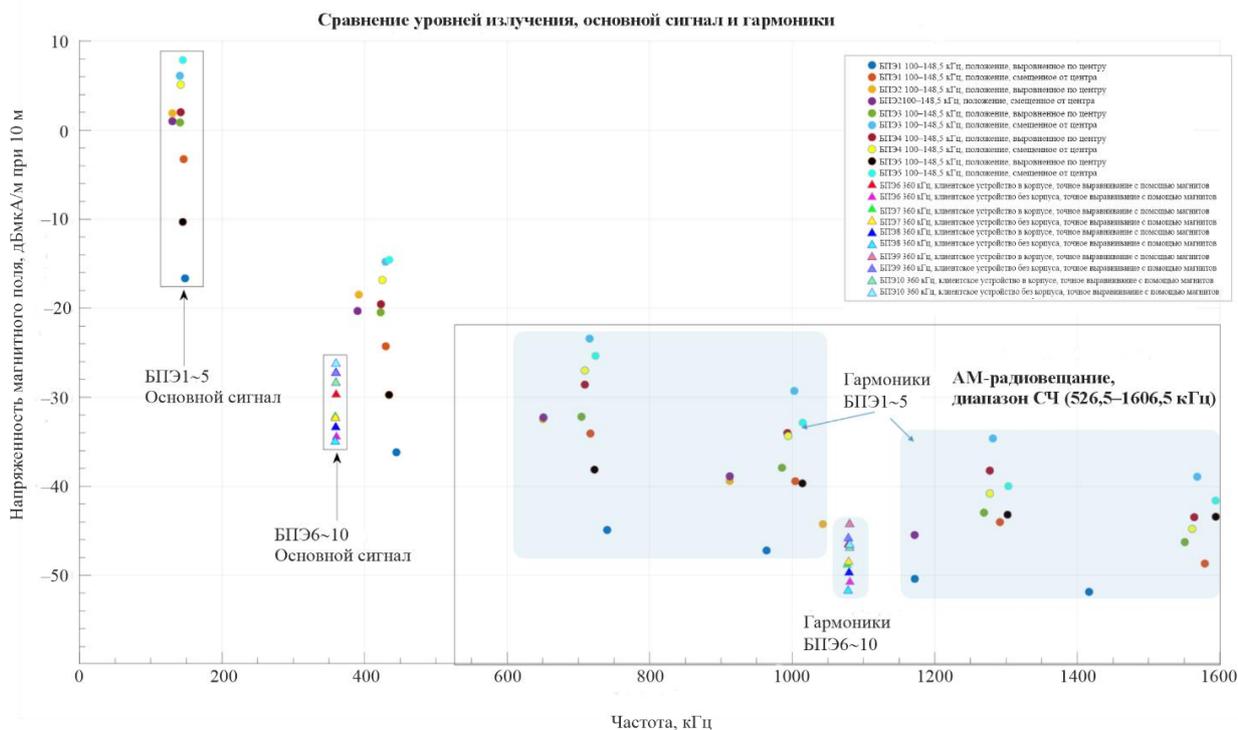
Затем было проведено сравнение их уровней излучения с уровнями излучения пяти устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц, которые использовались в данном исследовании.

На рисунке 33 приведено сравнение уровней гармоник в разных диапазонах частот БПЭ. Оно ясно показывает, что уровень гармоник, излучаемых устройствами БПЭ, работающими в диапазоне частот 315–405 кГц, значительно ниже, чем уровень гармоник, излучаемых устройствами БПЭ, работающими в диапазоне частот 100–148,5 кГц. Кроме того, поскольку частоты, на которых работают зарядные устройства в диапазоне 315–405 кГц, выше, в диапазон средних частот АМ-радиовещания попадает меньше гармоник (две нечетные гармоники вместо шести).

Подводя итог, можно сказать, что воздействие гармоник, излученных в диапазоне частот 315–405 кГц, на прием сигналов АМ-радиовещания на промежуточной частоте гораздо слабее, чем воздействие гармоник, излученных в диапазоне частот 100–148,5 кГц.

РИСУНОК 33

Сравнение уровня гармоник по результатам измерений



Report SM.2449-33

Следует отметить, что риск помех от устройств БПЭ для зарядки переносных и мобильных устройств, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, по-видимому, весьма ограничен или отсутствует. В этом диапазоне частот работают миллионы устройств, и ни одного случая помех не зафиксировано. Поскольку устройства БПЭ для зарядки переносных и мобильных устройств, работающие в диапазоне 315–405 кГц, оказывают меньшее мешающее воздействие на прием сигналов радиовещания, вероятность того, что помехи будут замечены слушателями АМ-радио, еще меньше.

7 Исследование воздействия устройств индуктивной БПЭ без использования луча на любительскую службу

7.1 Параметры, используемые для моделирования

На территории Соединенных Штатов требования к измерениям для радиочастотных устройств, работающих в ближней зоне, регулируются пунктом 47 части 15.31 (2) CFR. После применения требуемого ФКС коэффициента экстраполяции в 40 дБ на декаду к полю -15 дБмкВ/м при расстоянии 300 м предельное значение для устройств БПЭ без использования луча составляет 44,08 при расстоянии 10 м. Для измерения распространения радиоволн в ближнем поле использовалось моделирование.

Параметры для радиоприемников любительской службы взяты из Рекомендации МСЭ-R М.1732 и приведены в таблице 12. В настоящей Рекомендации не содержатся критерии защиты от помех для любительской связи в этом диапазоне частот. В данном исследовании предполагается использование критерия защиты помеха/шум -6 дБ.

ТАБЛИЦА 12

Параметры, принятые для радиоприемника любительской службы

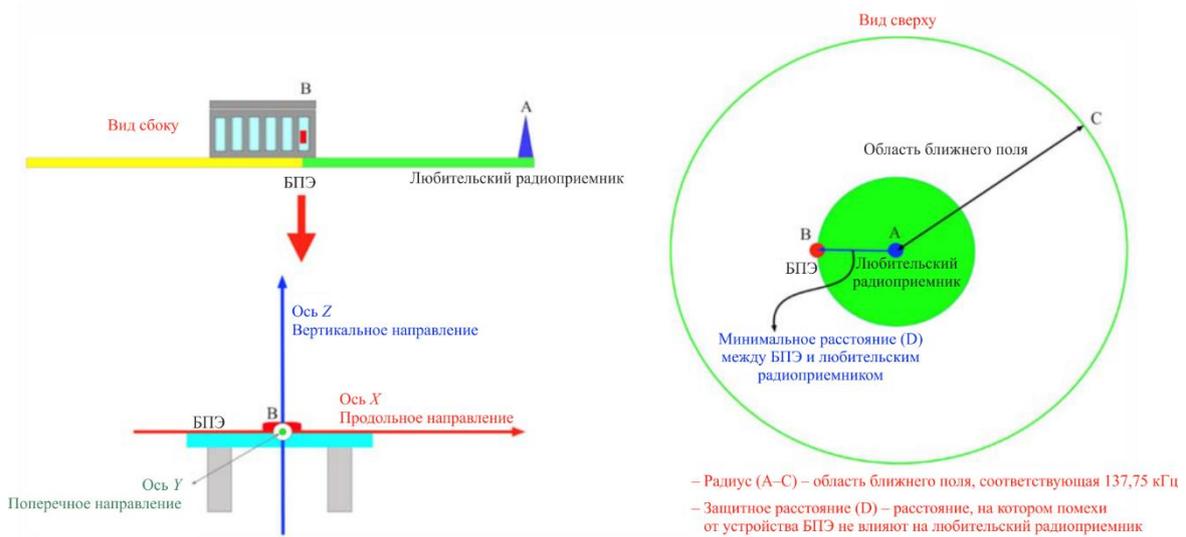
Параметры	Значение
Центральная частота (кГц)	136,75
Полоса пропускания (кГц)	0,4
Диаграмма направленности антенны	Ненаправленная антенна
Минимальный уровень шума (дБмкВ/м)	31,6
Критерии защиты (помеха/шум) (дБ)	-6
Допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	25,6

7.2 Анализ и результаты моделирования

7.2.1 Сценарии с единичной помехой

В сценариях с единичной помехой одно устройство БПЭ размещается внутри здания, а любительский радиоприемник находится на удалении от здания на открытом воздухе. В первом моделировании учитываются потери на входе в здание, равные 10 дБ, а во втором – потери на входе в здание, равные 0 дБ, что позволяет оценивать различные строительные материалы.

РИСУНОК 34
Сценарий с единичной помехой



Report SM.2449-34

РИСУНОК 35
Распределение для сценария 1 с единичной помехой



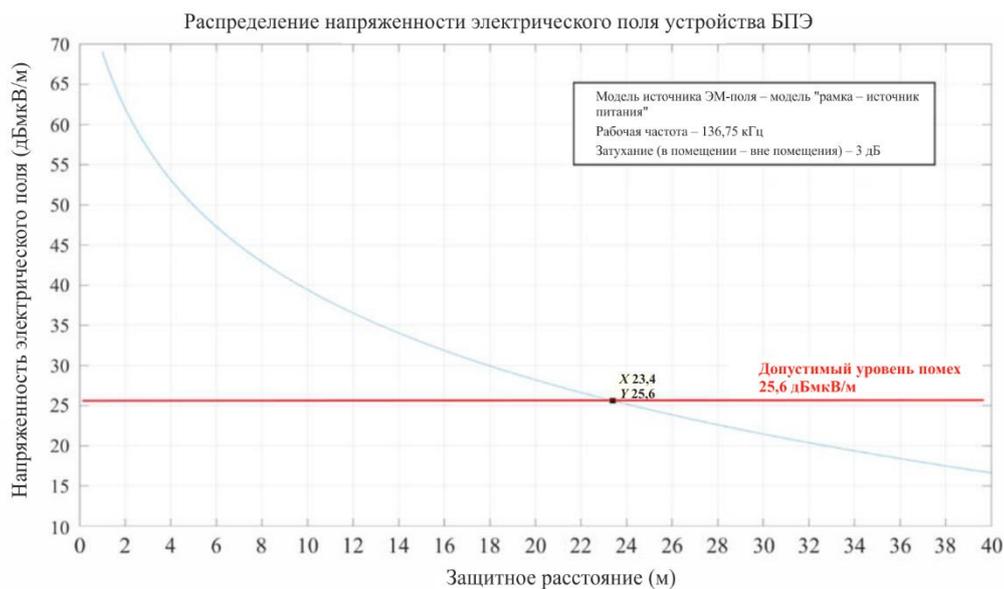
Report SM.2449-35

Выводы по сценарию 1 с единичной помехой

Результаты испытаний по сценарию 1 с единичной помехой с использованием затухания 10 дБ, имитирующего бетонную конструкцию здания, показывают, что устройство БПЭ должно быть размещено на расстоянии более 15,3 м от любительского радиоприемника.

РИСУНОК 36

Распределение для сценария 2 с единичной помехой



Report SM.2449-36

Выводы по сценарию 2 с единичной помехой

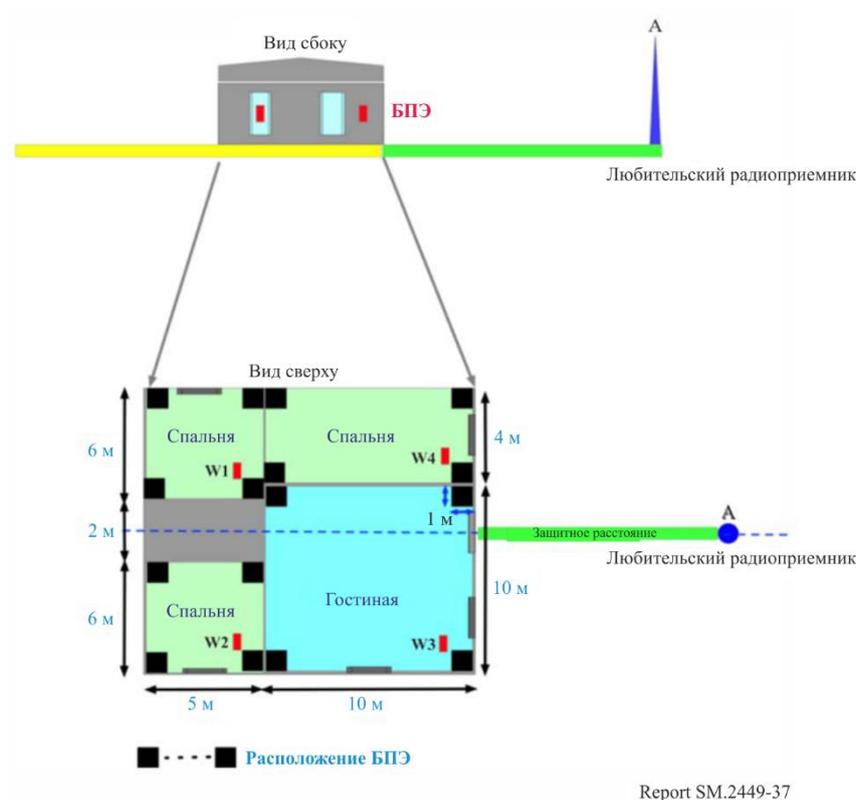
Результаты испытаний по сценарию 2 с единичной помехой с использованием затухания 0 дБ, имитирующего деревянную конструкцию здания, показывают, что устройство БПЭ должно быть размещено на расстоянии более 28,1 м от любительского радиоприемника.

7.2.2 Сценарии с суммарной помехой

В сценариях с суммарной помехой используются четыре устройства БПЭ, расположенные внутри здания. Каждое из устройств БПЭ размещается на расстоянии 1 м от стены, а затем они случайным образом распределяются по углам помещений. В первом сценарии учитываются потери в 10 дБ на входе в здание, имитирующие бетонные стены (которые обычно бывают железобетонными), а во втором – потери величиной 0 дБ, имитирующие деревянные конструкции или кирпичные стены (идеальные условия распространения).

РИСУНОК 37

Изображение модели № 1 сценария с суммарной помехой



Потери на входе в здание, имитирующие различные строительные материалы, были оценены для деревянных и бетонных стен в целях определения защитного расстояния. Результаты приведены в таблице 13.

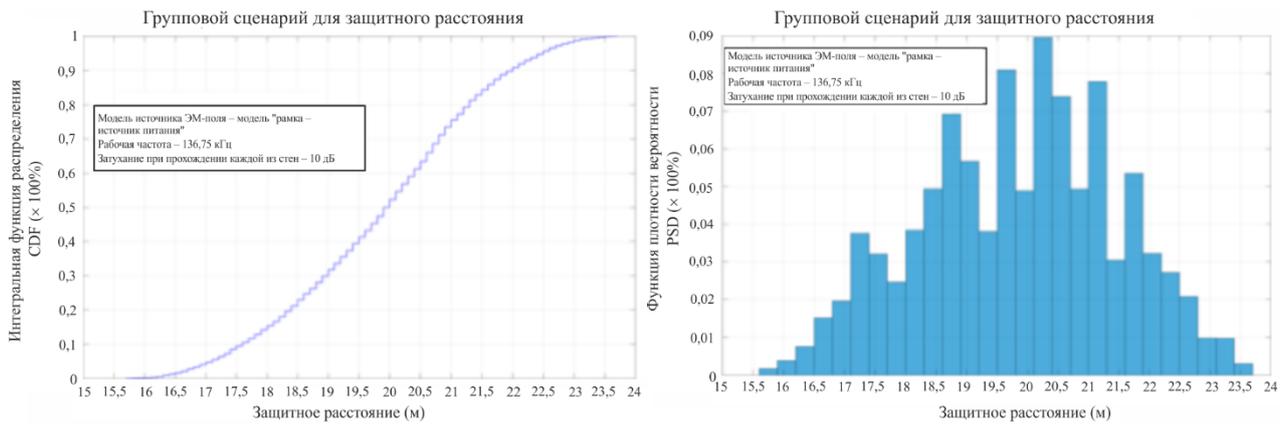
ТАБЛИЦА 13

Значения потерь на входе в здание

Параметр	Количество стен	Потери на входе в здание с деревянными стенами (дБ)	Потери на входе в здание с бетонными стенами (дБ)
БПЭ1	2	0	20
БПЭ2	2	0	20
БПЭ3	1	0	10
БПЭ4	1	0	10

РИСУНОК 38

Результаты моделирования при потерях на входе в здание, равных 10 дБ



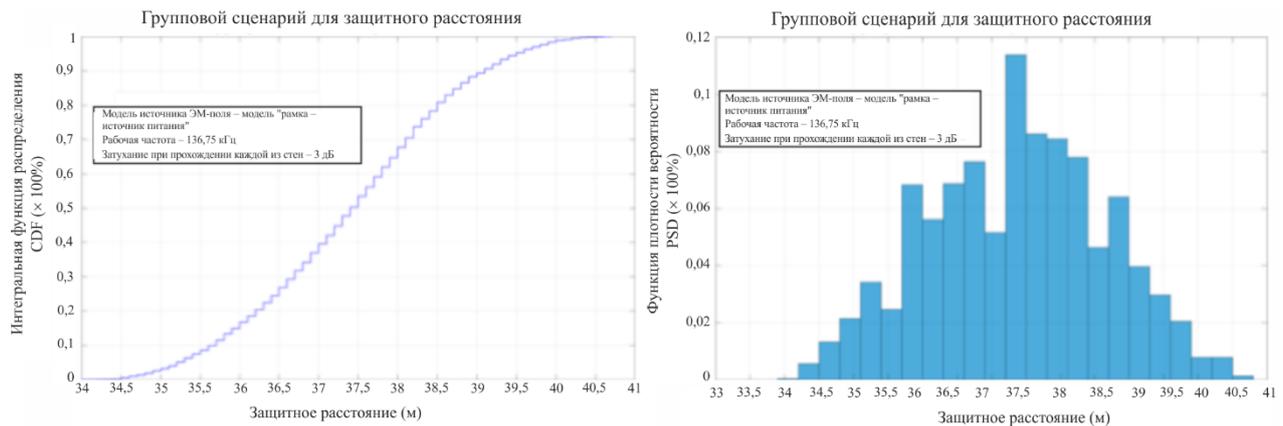
Report SM.2449-38

Выводы для моделирования 1 с суммарной помехой

Среднее защитное расстояние составляет 17,1 м, а максимальное защитное расстояние – 23,2 м для бетонных стен и при потерях на входе в здание, равных 10 дБ. Диапазон значений получен при размещении устройства БПЭ вблизи окон. Максимальное расстояние 23,2 м применяется, если устройство БПЭ находится в непосредственной близости от наружных стен и фазы сигнала налагаются друг на друга конструктивно, а минимальное расстояние, составляющее всего 2,5 м, – в том случае, когда устройство БПЭ находится вблизи внутренних стен и/или фазы сигналов налагаются друг на друга деструктивно.

РИСУНОК 39

Результаты моделирования при потерях на входе в здание, равных 0 дБ



Report SM.2449-39

Выводы для сценария 2 с суммарной помехой

Среднее защитное расстояние составляет 42,0 м, а максимальное защитное расстояние – 51,3 м для деревянных/кирпичных стен и при потерях на входе в здание, равных 0 дБ. Диапазон значений получен при размещении устройства БПЭ вблизи окон. Максимальное расстояние 51,3 м применяется, если устройство БПЭ находится в непосредственной близости от наружных стен и фазы сигнала налагаются друг на друга конструктивно. Минимальное расстояние, составляющее всего 17,2 м, применяется в том случае, когда устройство БПЭ находится вблизи внутренних стен и/или фазы сигналов налагаются друг на друга деструктивно.

7.3 Краткое изложение результатов

В приведенной ниже таблице 14 обобщены результаты моделирования. На основании результатов моделирования можно сделать вывод, что мобильные зарядные устройства БПЭ без использования луча не оказывают воздействия на радиоприемники любительской службы, если эти устройства расположены на расстоянии менее 51,3 м от приемника.

ТАБЛИЦА 14
Краткие результаты испытания

Сценарий	Допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	Расстояние разноса (м)
Сценарий 1 с единичной помехой	25,6	15,3
Сценарий 2 с единичной помехой	25,6	28,1
Сценарий 1 с суммарной помехой	25,6	23,2
Сценарий 2 с суммарной помехой	25,6	51,3

Точное расположение (например, разница высоты) приемной антенны любительской службы может смягчить воздействие помех. Кроме того, маловероятно, что все зарядные устройства БПЭ будут работать на одной и той же частоте, что могло бы еще больше ослабить воздействие помех. Тем не менее в радиусе действия одного приемника, скорее всего, может находиться несколько устройств БПЭ, поскольку защитные расстояния для городской среды велики.

8 Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на радионавигационную службу в диапазоне частот 90–110 кГц

Приемник Logan-C рассматривается как действующий объект воздействия помех, работающий в полосе частот 90–110 кГц с шириной полосы 20 кГц. Характеристики системы Logan-C приведены в Рекомендации МСЭ-R М.583, представленной РГ 5В.

Как правило, станции системы Logan-C строятся в нежилой зоне. Примеры показаны на рисунке 40. Приемник Logan-C расположен на судне.

РИСУНОК 40
Станции Logan-C в нежилой зоне



8.1 Параметры для моделирования

В таблицах 15 и 16 приведены параметры, используемые во время моделирования для источника помех и объекта воздействия помех соответственно.

На территории Соединенных Штатов требования к измерениям для радиочастотных устройств, работающих в ближней зоне, регулируются пунктом 47 части 15.31 (2) CFR. После применения требуемого ФКС коэффициента экстраполяции в 40 дБ на декаду к полю –15 дБмкВ/м при расстоянии 300 м предельное значение для устройств БПЭ составляет 44,08 дБмкВ/м при расстоянии 10 м.

Модель распространения радиоволн, используемая для ближнего и дальнего поля, приведена в Рекомендации МСЭ-R SM.2028.

В моделируемых сценариях помех устройство БПЭ размещалось на столе внутри здания, находящегося в 50 м от береговой линии между передатчиком и приемником, размещенным на борту судна в открытом море. Передатчик Loran-C расположен на суше в 5 км от берега.

ТАБЛИЦА 15

Допущения в отношении параметров для источника помех БПЭ, воздействующего на приемник Loran-C

Параметры	Подробная информация
Тип устройства	Мобильное устройство БПЭ
Рабочая частота (кГц)	100–148,5
Излучаемая напряженность электрического поля (дБмкВ/м на расстоянии 10 м)	44,08
Тип антенны	Ненаправленная
Высота (м)	0,7
Минимальное расстояние от берега (м)	50
Потери на входе в здание (дБ) ¹⁶	10
Модель распространения радиоволн	Модель распространения радиоволн в ближнем поле и в свободном пространстве

ТАБЛИЦА 16

Допущения в отношении параметров для объекта воздействия помех – приемника Loran-C

Параметры	Подробная информация
Система, испытывающая помехи	Приемник Loran-C
Рабочая частота (кГц)	100
Полоса пропускания (кГц)	20
Диаграмма направленности антенны	Стержневая антенна
Выходная мощность передатчика станции Loran-C (кВт)	40
Защищенная минимальная напряженность поля сигнала Loran-C (дБмкВ/м)	45
Критерии защиты (помеха/шум)	–20 дБ

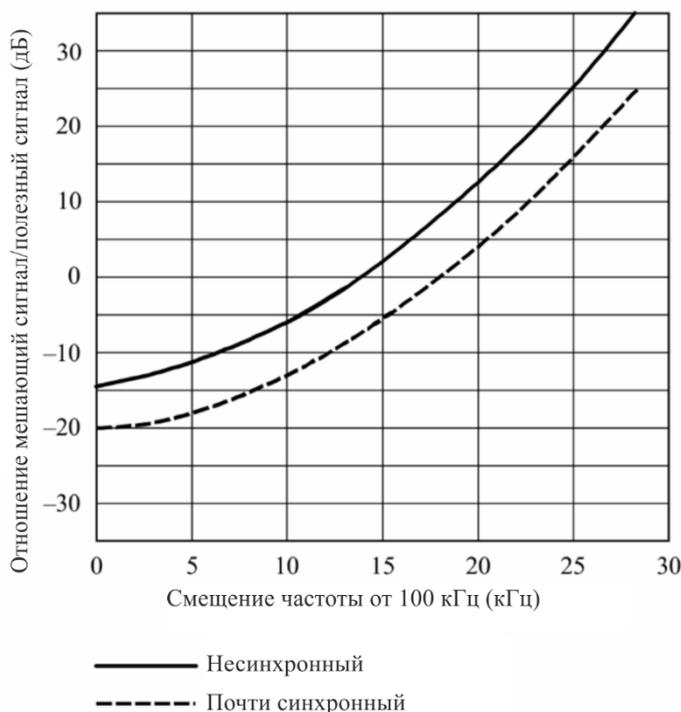
¹⁶ В данном случае потери на входе в здание означают потери сигнала БПЭ на выходе из здания. Здесь это полностью применимо, поскольку эффект затухания в строительном материале распространяется на дальнюю зону.

Используемые критерии защиты показаны на рисунке 1 в Рекомендации МСЭ-R М.589. Согласно этому справочному документу критерии защиты от внутриполосных и внеполосных помех должны соответствовать кривой, изображенной на рисунке 41. Худшая кривая (почти синхронная) используется для оценки риска помех.

Предполагается, что наихудшим случаем будет значение -20 дБ от уровня почти синхронного сигнала на частоте 100 кГц (смещение 0 кГц от 100 кГц); следовательно, уровень шума 25 дБмкВ/м является приемлемым для приемника Logan-C. Кроме того предполагается, что наихудшим случаем будет значение -13 дБ от уровня почти синхронного сигнала на частоте 110 кГц; следовательно, уровень шума 32 дБмкВ/м является приемлемым для приемника Logan-C. На основе этих допущений значение 25 дБмкВ/м на частоте 100 кГц используется при проведении оценки в качестве максимально приемлемого уровня шума в приемнике Logan-C. На рисунке 41 показаны критерии защиты от помех, приведенные в Рекомендации МСЭ-R М.589, в таблице 17 приведены используемые ниже параметры помех.

РИСУНОК 41

Критерии защиты Logan-C/CWI



Report SM.2449-41

ТАБЛИЦА 17

Допущения в отношении параметров объекта воздействия помех – приемника Logan-C

Частота источника помех	Минимальная напряженность поля полезного сигнала	Критерии защиты Logan-C/CWI (почти синхр.)	Допустимый шум приемника Logan-C (дБмкВ/м)
100 кГц	45	-20	25
110 кГц	45	-13	32

ТАБЛИЦА 18

Отношение E/H используется для расчета напряженности электрического поля устройства БПЭ в ближней зоне

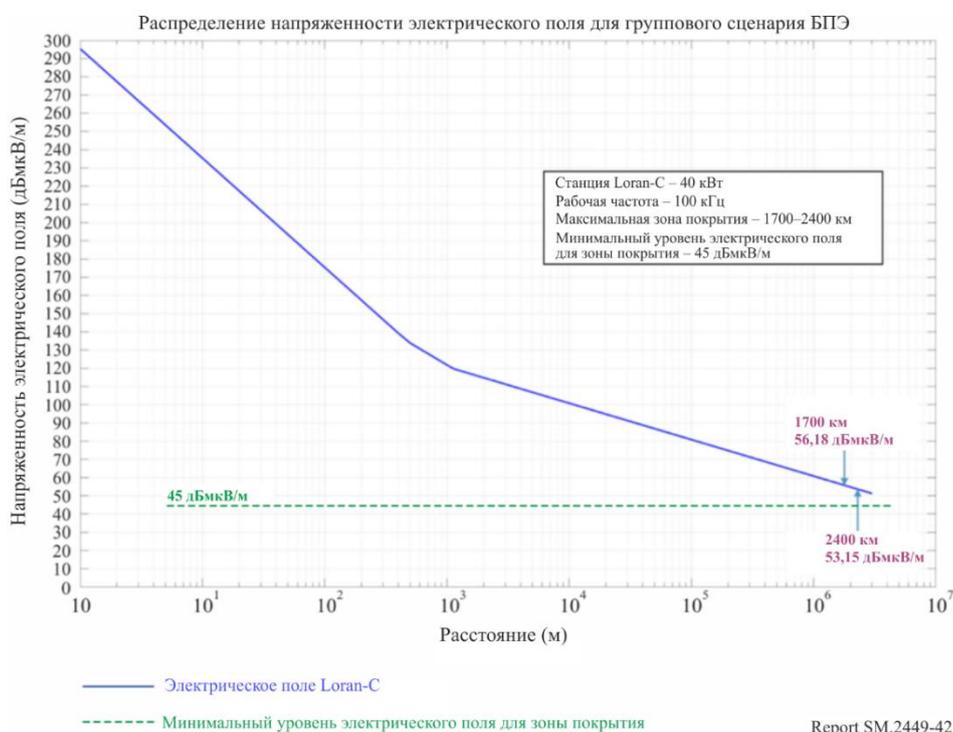
Расстояние (м)	Отношение E/H (дБ/Ом)
10	17,95
100	38,32
1 000	53,26
2 000	52,01
5 000	51,61
10 000	51,55

Распределение уровня сигнала Loran-C

На рисунке 42 показано распределение электрического поля Loran-C по расстоянию исходя из мощности излучения 40 кВт станции Loran-C. В пределах планируемой зоны покрытия 1700–2400 км уровень сигнала Loran-C намного выше минимально требуемого уровня.

РИСУНОК 42

Типовое распределение электрического поля Loran-C

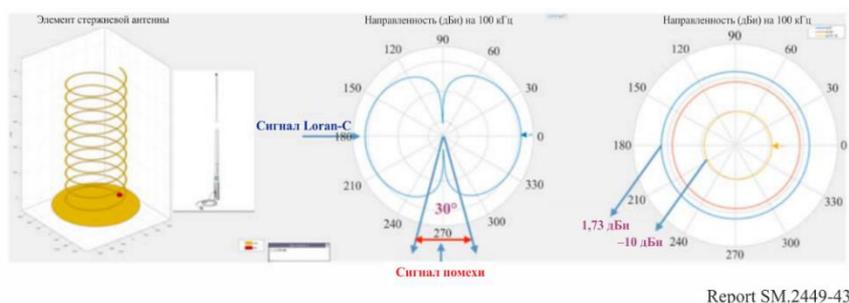


Модель антенны для приемника Loran-C

При проведении оценки в качестве антенны приемника Loran-C, установленной в верхней части судна, используется стержневая антенна. Согласно результатам моделирования, показанным на рисунке 43, разница между коэффициентами усиления мешающего и полезного сигналов составляет –11,73 дБ.

РИСУНОК 43

Усиление антенны приемника Logap-C



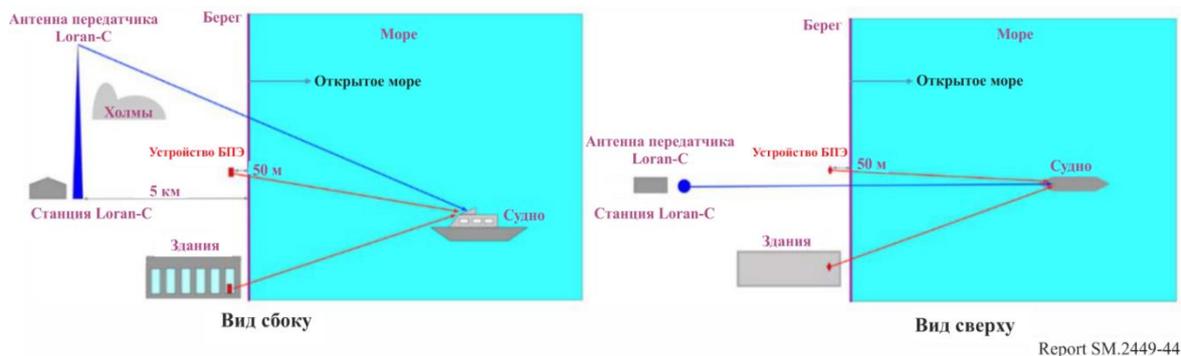
8.2 Сценарии и результаты моделирования

8.2.1 Имитационная модель № 1

В модели № 1 рассматривается устройство БПЭ в здании или вблизи здания, которое находится на расстоянии 50 м от берега. Приемник Logap-C, установленный на судне, является объектом воздействия помех.

РИСУНОК 44

Модель № 1 для исследования воздействия на приемник Logap-C



На рисунке 45 показаны сводные результаты для модели № 1 – сценария с единичной помехой. Когда устройство БПЭ работает на частоте 100 кГц, между защищаемым сигналом (26,21 дБмкВ/м) и напряженностью электрического поля передатчика Logap-C, которое на берегу превышает 110 дБмкВ/м, существует запас, равный 80 дБ.

ТАБЛИЦА 19

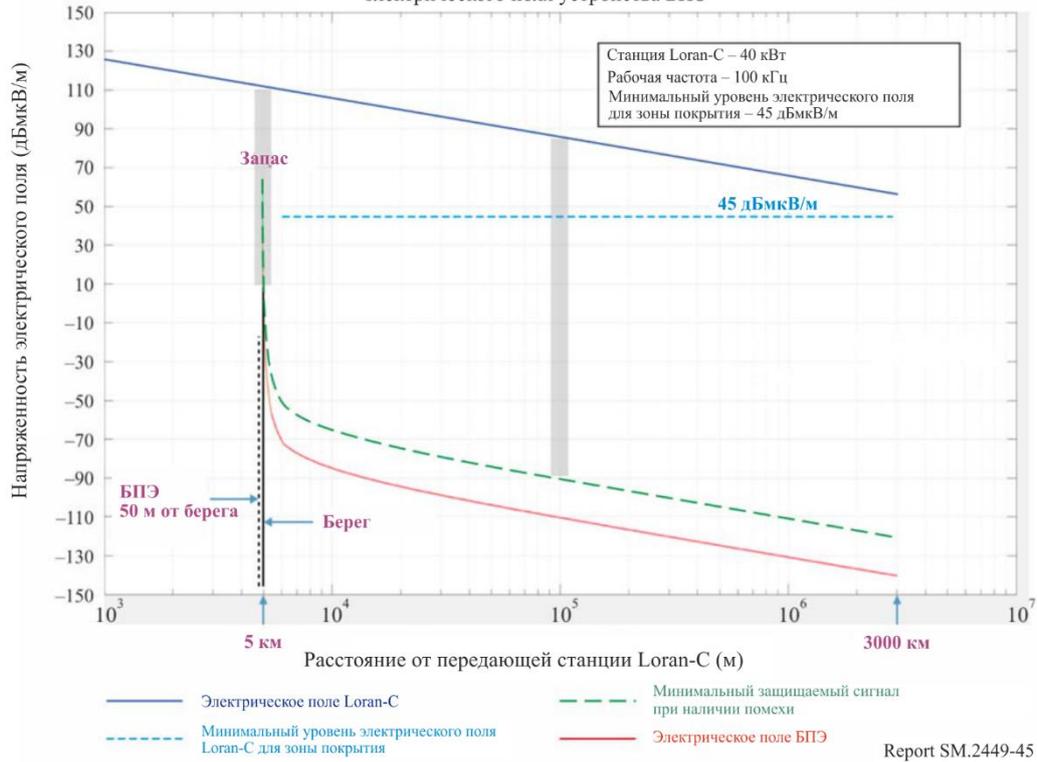
Модель № 1 для приемника Logap-C – единичная помеха

Параметры	Значение
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 300 м (дБмкВ/м)	-15
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 10 м (дБмкВ/м)	44,08
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 50 м (дБмкВ/м) (расстояние от берега)	16,12
Потери на входе в здание (дБ)	10
Защитное отношение (дБ)	20
Защищаемый уровень сигнала (дБмкВ/м), защитное расстояние 50 м	26,12
Уровень сигнала Logap-C на берегу (дБмкВ/м)	> 110
Запас (дБ)	> 80

РИСУНОК 45

Модель № 1 для приемника Logan-C – сценарий с единичной помехой

Распределение электрического поля Logan-C по сравнению с распределением электрического поля устройства БПЭ

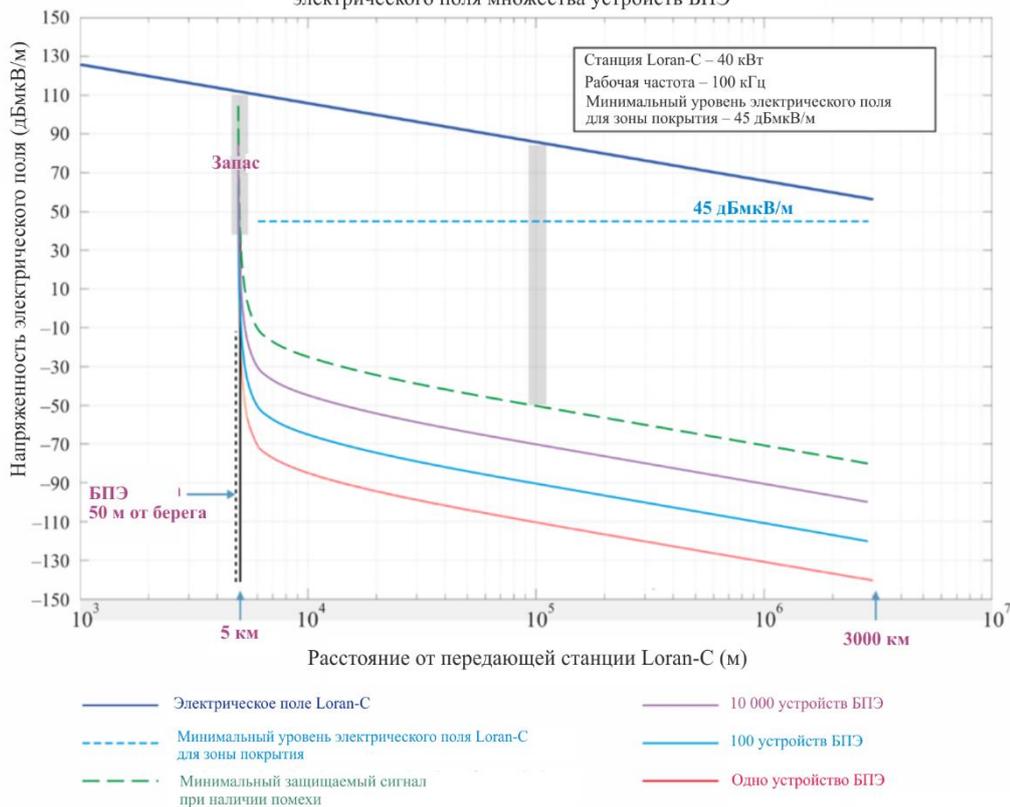


На рисунке 46 представлены сводные данные для различных сценариев с суммарной помехой. На рисунке изображены уровни сигнала электрического поля 100 и 10 000 активных устройств БПЭ, работающих одновременно. Когда 10 000 активных устройств БПЭ работают одновременно на частоте 100 кГц, между защищаемым сигналом (66 дБмкВ/м для 100 устройств и 106,12 дБмкВ/м для 10 000 устройств) и напряженностью электрического поля передатчика Logan-C, которое на берегу превышает 110 дБмкВ/м, существует запас, равный 3,88 дБ.

РИСУНОК 46

Модель № 1 для приемника Loran-C – сценарий с суммарной помехой

Распределение электрического поля Loran-C по сравнению с распределением электрического поля множества устройств БПЭ



Report SM.2449-46

8.2.2 Имитационная модель № 2

В модели № 2 рассматривается передатчик Loran-C, расположенный на суше в 5 км от береговой линии; мобильное устройство БПЭ, расположенное ниже палубы судна; и антенна приемника Loran-C в верхней части судна. С учетом потерь 10 дБ на входе в здание и отношения E/H , равного 17,95 дБ и указанного в таблице 18, допустимый уровень электрического поля помех на расстоянии 10 м будет равен 34,08 дБмкВ/м. Как указано в таблице 16, требуемое отношение помеха/сигнал составляет – 20 дБ. В соответствии с приведенным ниже уравнением максимальный допустимый уровень сигнала помехи равен 42,35 дБмкВ/м, когда мобильное устройство БПЭ работает на расстоянии 10 м от антенны приемника Loran-C.

Уравнение максимально допустимого шума в приемнике Loran-C:

$$\text{Уровень помехи} - \text{Разность усиления} + \text{Уровень защиты} = 34,08 - 11,73 + 20 = 42,35 \text{ дБмкВ/м.}$$

Модель № 2 – сценарий с единичной помехой

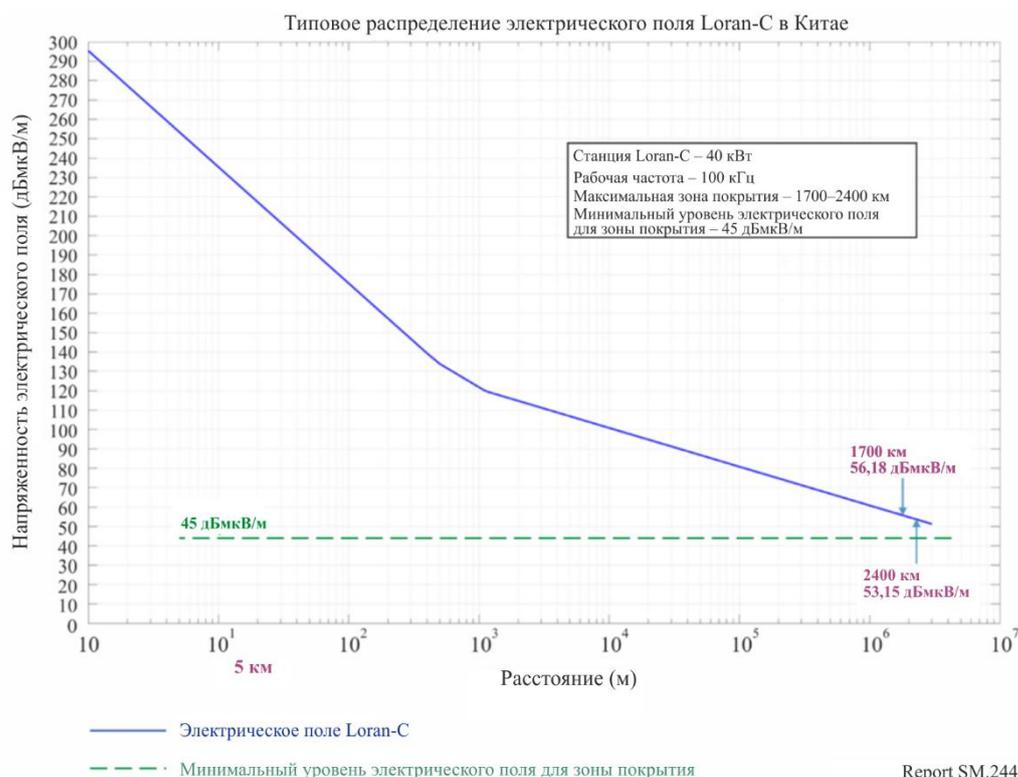
В таблице 20 приведены входные параметры и результаты моделирования для модели № 2 сценария с единичной помехой. Результаты моделирования показывают, что устройство БПЭ при уровне электрического поля, равном 34,08 дБмкВ/м, следует размещать на расстоянии более 5,37 м от антенны приемника Loran-C. Это позволяет поддерживать минимальный уровень сигнала на максимальном расстоянии зоны покрытия 2400 км.

ТАБЛИЦА 20
Модель № 2 для приемника Loran-C – единичная помеха

Параметры	Значение
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 300 м (дБмкВ/м)	-15
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 10 м (дБмкВ/м)	44,08
Потери на входе в здание (дБ)	10
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 10 м с учетом потерь при входе в здание (дБмкВ/м)	34,08
Разность усиления антенны для полезного сигнала и помехи БПЭ (дБ)	-11,73
Защитное отношение (дБ)	20
Защищаемый уровень сигнала для защитного расстояния 10 м (дБмкВ/м)	42,35
Покрывтие для защищаемого уровня сигнала при защитном расстоянии 10 м (км)	8 355
Защитное расстояние исходя из зоны покрытия 1 700 км (м)	4,51
Защитное расстояние исходя из зоны покрытия 2 400 км (м)	5,37

На рисунке 47 показаны сводные данные для модели № 2 сценария с единичной помехой. На рисунке показаны результаты определения защитного расстояния, приведенные в таблице 20.

РИСУНОК 47
Модель № 2 для исследования влияния на приемник Loran-C – единичная помеха

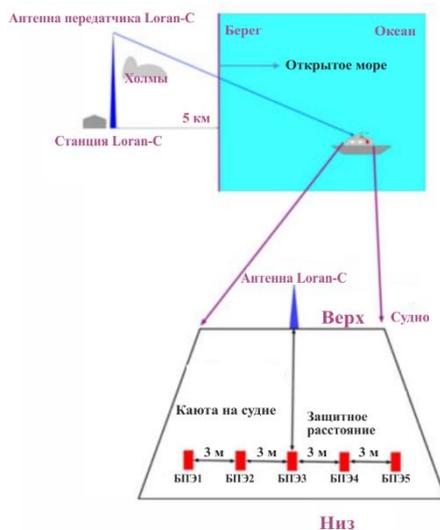


Модель № 2 – сценарий с суммарной помехой

В этом сценарии предполагается, что пять мобильных устройств БПЭ работают одновременно под палубой судна при расстоянии разнеса между устройствами 3 м, как показано на рисунке 48. Входные параметры для сценария с суммарной помехой приведены в таблице 21.

РИСУНОК 48

Модель № 2 для приемника Logan-C – сценарий с суммарной помехой



Report SM.2449-48

ТАБЛИЦА 21

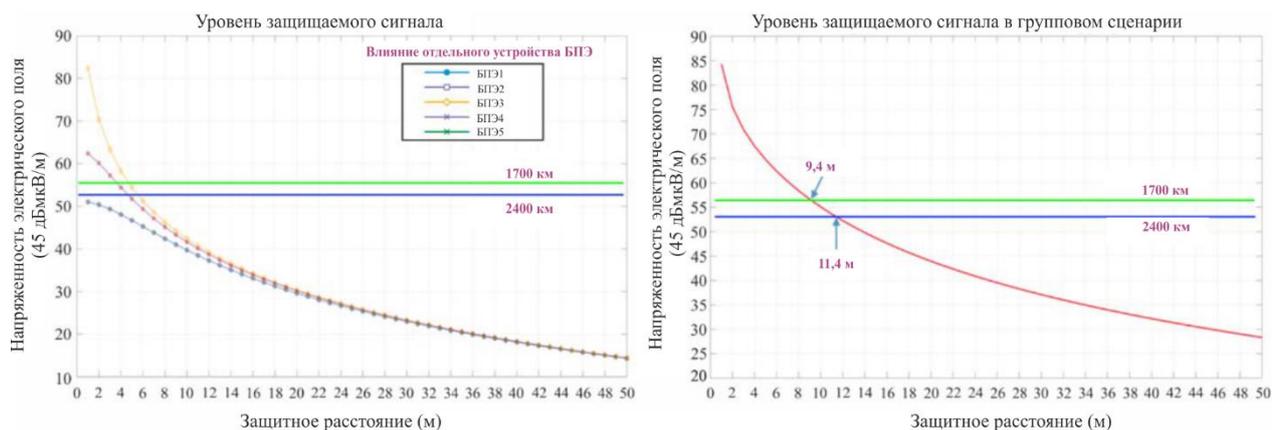
Модель № 2 для приемника Logan-C – сценарий с суммарной помехой

Параметры	Значение
Количество активных устройств БПЭ	5
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 300 м (дБмкВ/м)	-15
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 10 м (дБмкВ/м)	44,08
Потери на входе в здание (дБ)	10
Напряженность электрического поля БПЭ на расстоянии 10 м с учетом потерь при входе в здание (дБмкВ/м)	34,08
Разность усиления антенны для полезного сигнала и помехи БПЭ (дБ)	-11,73
Защитное отношение (дБ)	20
Зона покрытия для уровня защищаемого сигнала при защитном расстоянии 10 м (км)	8 355
Уровень защищаемого сигнала на 1 700 км (дБмкВ/м)	56,18
Требуемое защитное расстояние для зоны покрытия 1 700 км (м)	9,4
Уровень защищаемого сигнала на 2 400 км (дБмкВ/м)	53,13
Требуемое защитное расстояние для зоны покрытия 2 400 км (м)	11,4

На рисунке 49 показаны сводные данные для модели № 2 сценария с суммарной помехой. Во избежание воздействия на приемник Logan-C при максимальной зоне покрытия 2400 км ближайшие к антенне приемника Logan-C устройства БПЭ должны находиться на расстоянии 11,4 м.

РИСУНОК 49

Модель № 2 для исследования воздействия на приемник Logan-C – суммарный уровень сигнала



8.3 Краткое изложение результатов

В сценарии по модели № 1 приемник Logan-C не подвергается воздействию помех, если мобильные зарядные устройства БПЭ находятся на суше.

В модели № 2 сценария с единичной помехой бортовое мобильное зарядное устройство БПЭ не создает помех приемнику Logan-C, если оно находится на расстоянии 4,51 м от антенны приемника в максимальной зоне покрытия, равной 1700 км, и 5,37 м – если желаемая максимальная зона покрытия составляет 2400 км.

В модели № 2 сценария с суммарной помехой бортовые мобильные устройства БПЭ не создают помех приемнику Logan-C, если ближайшее устройство БПЭ находится на расстоянии 9,4 м от антенны приемника в максимальной зоне покрытия, равной 1700 км, и 11,4 м – если желаемая максимальная зона покрытия составляет 2400 км.

9 Исследование воздействия индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на воздушную радионавигационную службу для устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц

9.1 Параметры для моделирования

Моделирование проводится на двух репрезентативных частотах – 130 кГц для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, и 400 кГц для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц.

Что касается частоты 130 кГц, то на территории Соединенных Штатов требования к измерениям для радиочастотных устройств, работающих в ближней зоне, регулируются пунктом 47 части 15.31 (2) CFR. После применения требуемого ФКС коэффициента экстраполяции в 40 дБ на декаду к полю -15 дБмкВ/м при расстоянии 300 м предельное значение для устройств БПЭ без использования луча составляет 44,08 дБмкВ/м при расстоянии 10 м. Для анализа распространения радиоволн в ближнем поле использовалось моделирование.

Что касается частоты 400 кГц, то в проведенном исследовании в качестве максимального уровня излучения для устройств БПЭ рассматривалось предложенное значение -15 дБмкА/м. Использовалось моделирование распространения радиоволн в ближнем поле. Предполагалось, что все устройства БПЭ, задействованные в этом исследовании, используют одну и ту же частоту (400 кГц), в то время как в реальной жизни наблюдается значительный разброс фактических частот зарядки в зависимости от реализации зарядного устройства, состояния зарядки и т. д.

Ответственная группа в МСЭ-R предоставила основные данные для анализа воздействия, как показано в таблице 22.

ТАБЛИЦА 22

**Допустимый предельный уровень помех для автоматической радиопеленгации (ADF)/
ненаправленного радиомаяка (NDB)**

Службы	Диапазон частот (кГц)	Полоса частот приемника ADF/NDB (кГц)	Допустимый предельный уровень помех (дБмкВ/м)
Воздушная радионавигационная	130–535	2,7	21,9

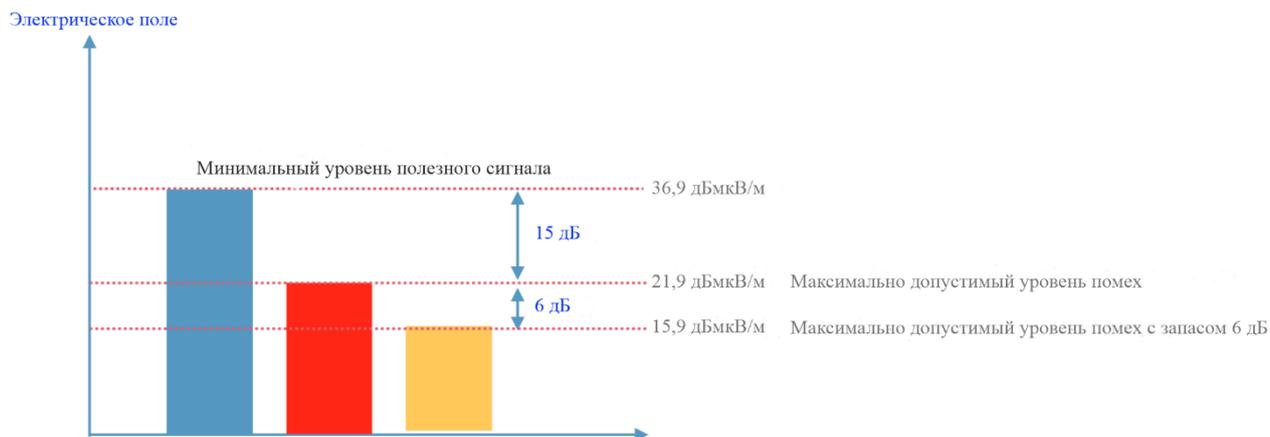
При моделировании учитывается суммарное влияние путем сложения всех значений мощности излучения БПЭ от каждого устройства.

Как и при анализе чувствительности, результаты приведены с дополнительным запасом в 6 дБ.

Разные уровни показаны на рисунке 50.

РИСУНОК 50

Соответствующие уровни напряженности поля

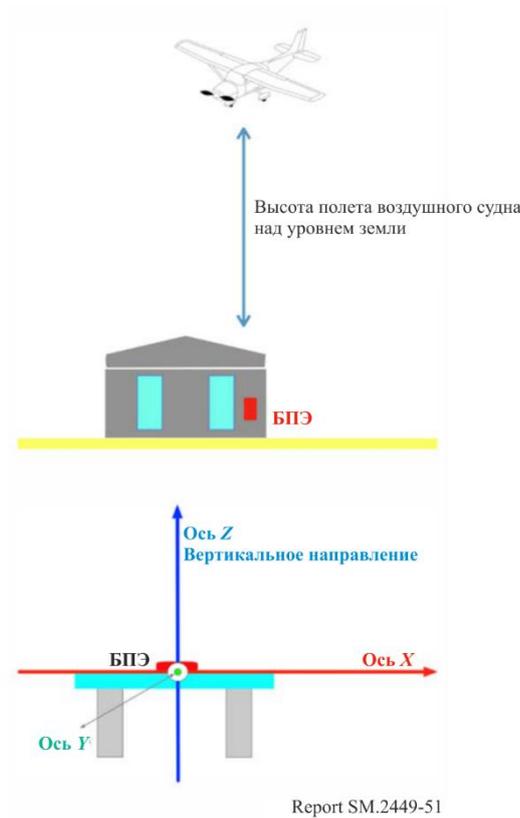


Report SM.2449-50

9.2 Сценарий с единичной помехой

В сценариях с единичной помехой одно устройство БПЭ размещается внутри здания, а воздушное судно находится непосредственно над зданием.

РИСУНОК 51
Сценарий с единичной помехой



9.2.1 Результаты по сценарию с единичной помехой

РИСУНОК 52

БПЭ на частоте 130 кГц: зависимость уровня электрического поля от высоты над уровнем земли (м) при единичной помехе

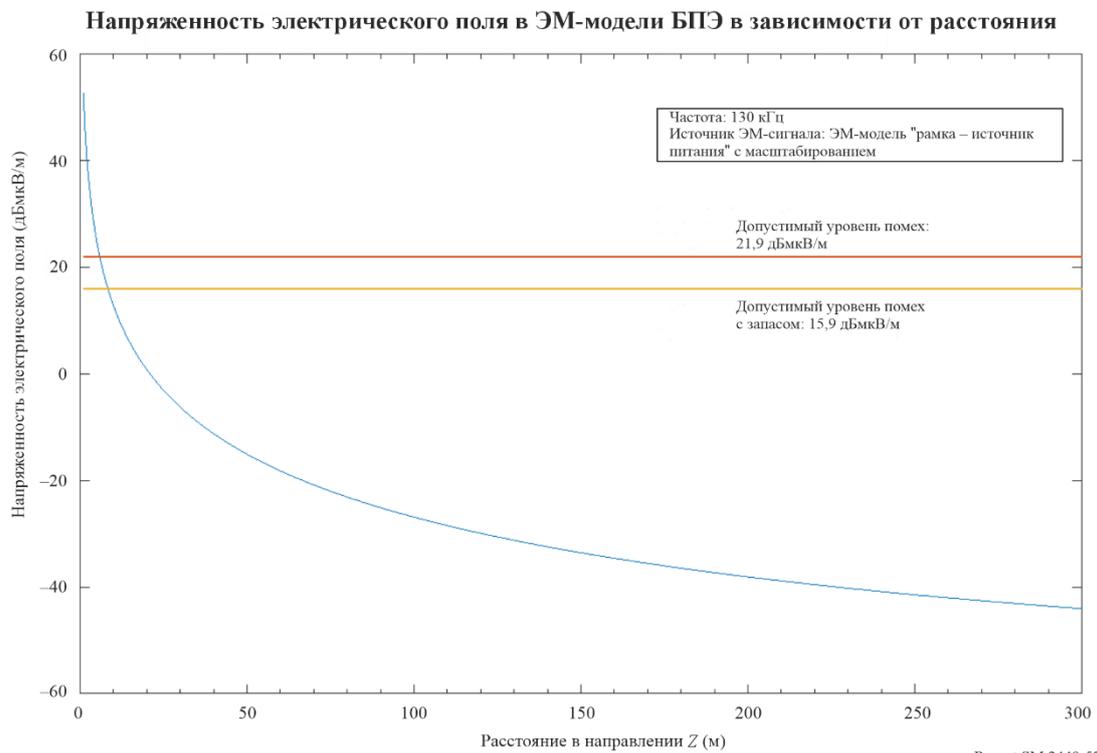


РИСУНОК 53

БПЭ на частоте 130 кГц: зависимость уровня электрического поля от высоты над уровнем земли (м) при единичной помехе (увеличенный масштаб)

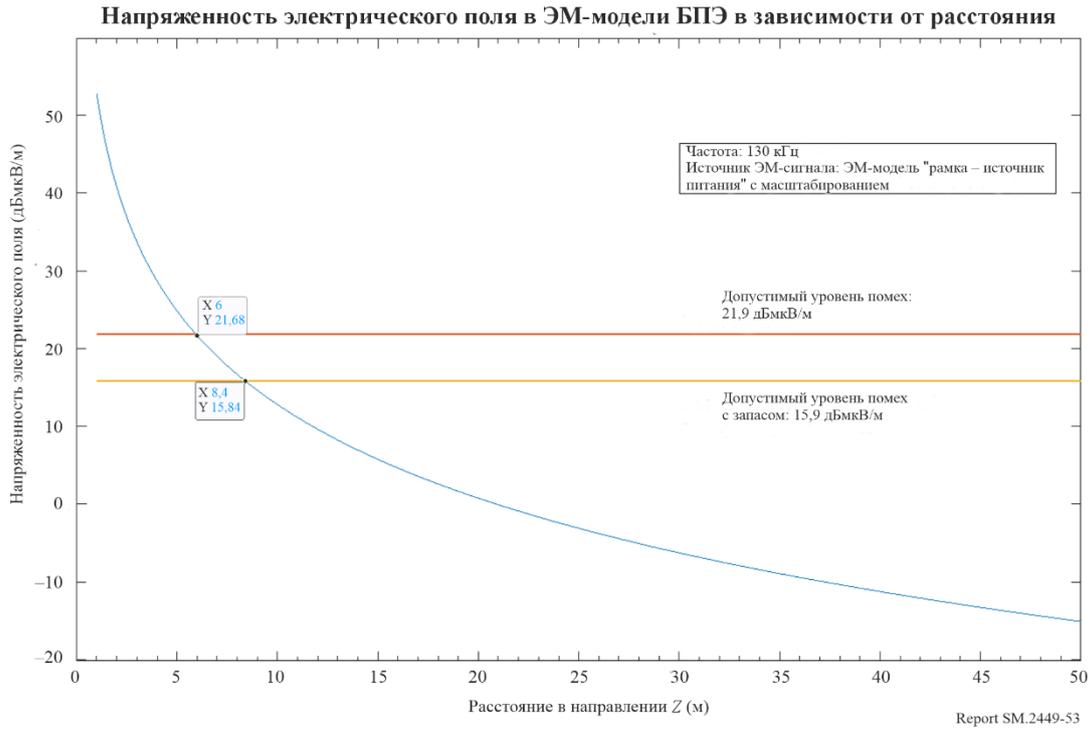


РИСУНОК 54

БПЭ на частоте 400 кГц: зависимость уровня электрического поля от высоты над уровнем земли (м) при единичной помехе и при горизонтальном расположении катушки БПЭ

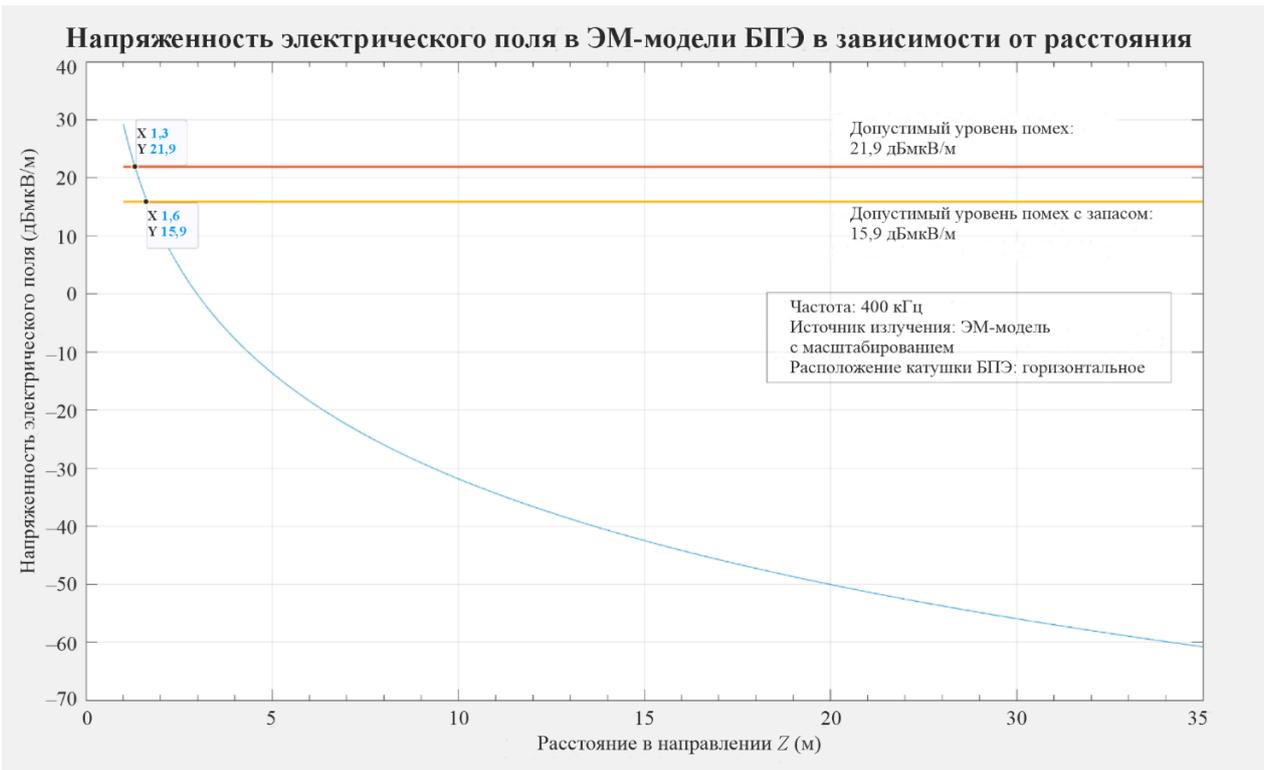
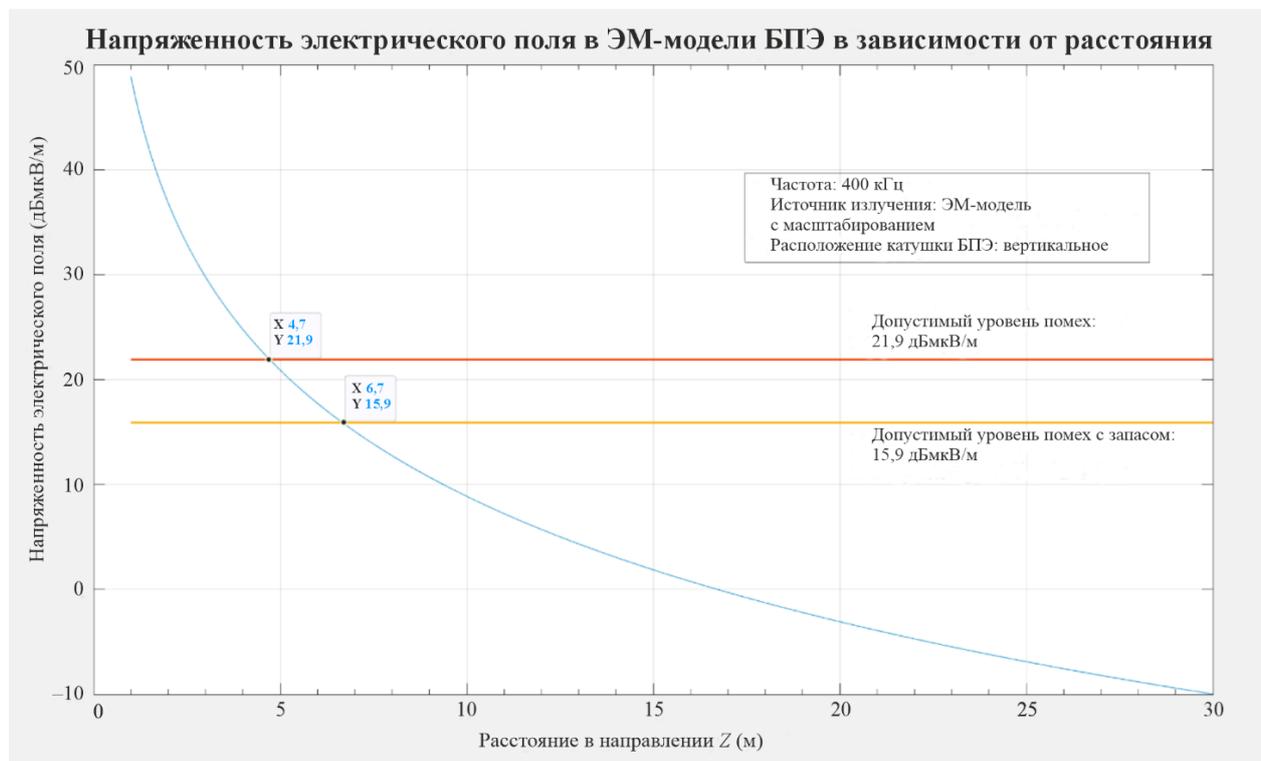


РИСУНОК 55

БПЭ на частоте 400 кГц: зависимость уровня электрического поля от высоты над уровнем земли (м) при единичной помехе и при вертикальном расположении катушки БПЭ



Report SM.2449-55

9.2.2 Выводы по сценарию с единичной помехой

Результаты испытаний по сценарию с единичной помехой показывают, что воздействие на приемник автоматического радиопеленгатора (ADF) ниже порогового значения для расстояния более 6 м. С учетом запаса это расстояние превышает 8,4 м. В расчете не учитывались потери при прохождении волн через крышу или пол. Включение этих потерь дополнительно снизило бы воздействие помех от устройств БПЭ на приемник ADF.

9.3 Сценарий с суммарной помехой

В сценарии с суммарной помехой предполагалась плотность размещения устройств 5000 устройств/км² для устройств БПЭ на частоте 130 кГц и 1500 устройств/км² для устройств БПЭ на частоте 400 кГц на основе таблицы 1.

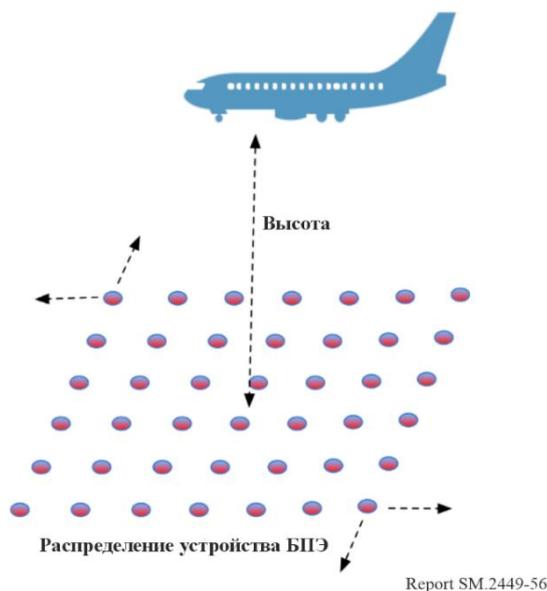
В наихудшем случае для этого сценария предполагается, что все устройства передают данные одновременно на одной и той же частоте. В действительности основная частота устройств БПЭ различается.

9.3.1 БПЭ на частоте 130 кГц

9.3.1.1 Сценарий при 130 кГц

В сценарии с суммарной помехой рассматривались устройства БПЭ, равномерно распределенные на квадратной площадке. Размеры площадки варьировались от 1 км × 1 км до 8 км × 8 км. Были смоделированы два значения высоты полета воздушного судна – 100 м и 300 м. Для справки: минимальные безопасные значения высоты полета в США составляют 500 футов (≈150 м) над открытой водой или малонаселенными районами и 1000 футов (≈300 м) над городскими районами соответственно. Приемная антенна ADF воздушного судна располагается над центром квадрата. Поля излучения объединяются по правилам сложения векторов.

РИСУНОК 56
Пример сценария с суммарной помехой



В таблице 23 показаны результаты при высоте полета воздушного судна 100 м.

ТАБЛИЦА 23
Суммарное электрическое поле БПЭ
(высота полета воздушного судна 100 м)

Площадь (км × км)	E_{\max} (дБмкВ/м)	Средний уровень (дБмкВ/м)	Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	Запас/интервал (дБ)	
				Без запаса	С запасом
1 × 1	-6,3	16,7	21,9	28,2	22,2
2 × 2	-5,5	-15,9	21,9	27,4	21,4
4 × 4	-4,8	-15,3	21,9	26,7	20,7
8 × 8	-5	-14,6	21,9	26,9	20,9

9.3.1.2 Выводы для высоты полета воздушного судна 100 м

Моделирование показало, что максимальная расчетная напряженность поля ниже максимально допустимого уровня помех более чем на 26 дБ. С учетом запаса она меньше максимально допустимого уровня помех более чем на 20 дБ. В расчете не учитывались потери при прохождении волн через крышу или пол, но это дополнительно снизит воздействие помех от устройств БПЭ на ADF.

В таблице 24 показаны результаты для высоты полета воздушного судна 300 м.

ТАБЛИЦА 24

**Суммарное электрическое поле БПЭ
(высота полета воздушного судна 300 м)**

Площадь (км × км)	E_{\max} (дБмкВ/м)	Средний уровень (дБмкВ/м)	Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	Запас/интервал (дБ)	
				Без запаса	С запасом
1 × 1	-16,5	-25,5	21,9	38,4	32,4
2 × 2	-13,4	-22,2	21,9	35,3	29,3
4 × 4	-11,0	-20,1	21,9	32,9	26,9
8 × 8	-10,4	-18,6	21,9	32,3	26,9

9.3.1.3 Выводы для высоты полета воздушного судна 300 м

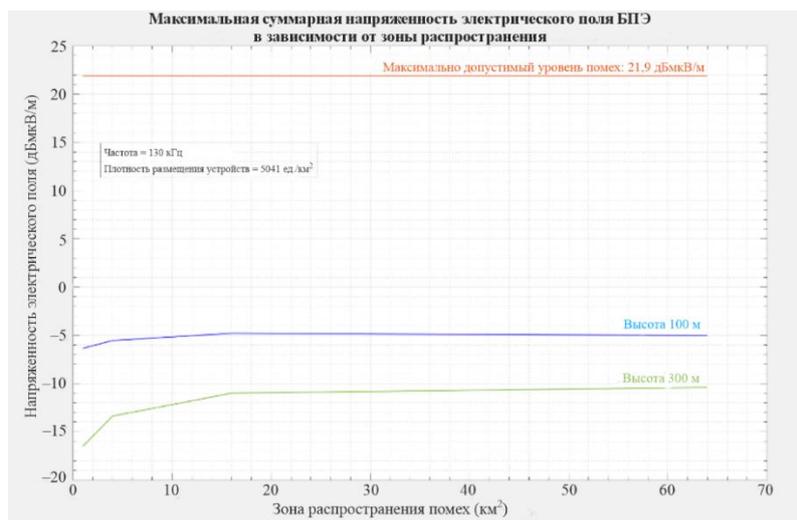
Моделирование показало, что максимальная расчетная напряженность поля ниже максимально допустимого уровня помех более чем на 32 дБ. С учетом запаса она меньше максимально допустимого уровня помех более чем на 26 дБ. При моделировании не учитывались потери при прохождении волн через крышу или пол, но они дополнительно снизят воздействие помех от устройств БПЭ на ADF.

9.3.1.4 Влияние расчетной площади на зону принимаемых помех

При увеличении расчетной площади уровень помех за пределами 15 км² для высоты 100 м и 30 км² для высоты 300 м остается неизменным, как показано на рисунке 57.

РИСУНОК 57

Зависимость напряженности поля от зоны распространения помех



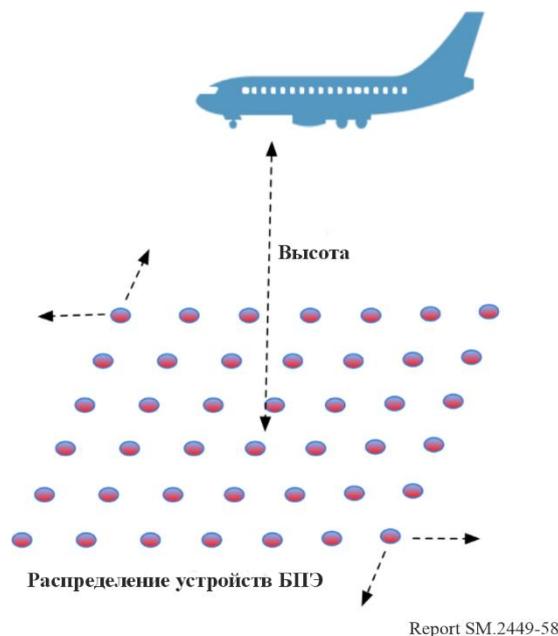
Report SM.2449-57

9.3.2 БПЭ на частоте 400 кГц

9.3.2.1 Сценарий при частоте 400 кГц

В сценарии с суммарной помехой рассматривались устройства БПЭ, равномерно распределенные по квадратной площадке. Размер площадки варьировался от 1 км × 1 км до 16 км × 16 км. Были смоделированы два значения высоты полета воздушного судна – 100 м и 300 м. Для справки: минимальная безопасная высота полета в Соединенном Королевстве составляет 500 футов (≈150 м) над открытой водой или малонаселенными районами и 1000 футов (≈300 м) над городскими районами. Приемная антенна ADF воздушного судна располагается над центром квадрата. Поля излучения объединяются по правилам сложения векторов.

РИСУНОК 58
Пример сценария с суммарной помехой



В таблице 25 показаны результаты при высоте полета воздушного судна 100 м.

ТАБЛИЦА 25
Распределение суммарного электрического поля, излучаемого БПЭ
(высота полета воздушного судна 100 м)

Площадь (км × км)	E_{\max} (дБмкВ/м)	Средний уровень (дБмкВ/м)	Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	Запас/интервал (дБ)	
				Без запаса	С запасом
1 × 1	-5,5	-14,4	21,9	27,4	21,4
2 × 2	-3,9	-12,7	21,9	25,8	19,8
4 × 4	-3,2	-11,7	21,9	25,1	19,1
8 × 8	-3,5	-11,7	21,9	25,4	19,4

9.3.2.2 Выводы для высоты полета воздушного судна 100 м при частоте 400 кГц

Моделирование по сценарию с суммарной помехой показало, что максимальная расчетная напряженность поля ниже максимально допустимого уровня помех более чем на 25 дБ. С учетом запаса она меньше максимально допустимого уровня помех более чем на 19 дБ. При моделировании не учитывались потери на входе в здание (при прохождении через крышу/потолки), но они еще больше снизят воздействие помех от устройств БПЭ на ADF.

В таблице 26 показаны результаты для высоты полета воздушного судна 300 м.

ТАБЛИЦА 26

**Распределение суммарного электрического поля, излучаемого БПЭ
(высота полета воздушного судна 300 м)**

Площадь (км × км)	E_{\max} (дБмкВ/м)	Средний уровень (дБмкВ/м)	Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	Запас/интервал (дБ)	
				Без запаса	С запасом
1 × 1	-11,5	-20,3	21,9	33,4	27,4
2 × 2	-8,1	-16,6	21,9	30,0	24,0
4 × 4	-6,2	-14,2	21,9	28,1	22,1
8 × 8	-4,2	-12,6	21,9	26,1	20,1
16 × 16	-3,9	-11,5	21,9	25,8	19,8

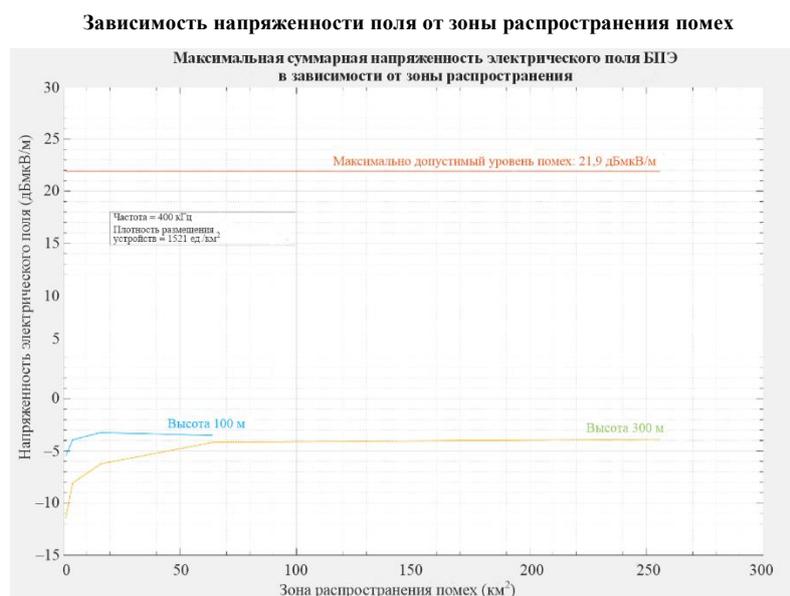
9.3.2.3 Выводы для высоты полета воздушного судна 300 м при частоте 400 кГц

Моделирование по сценарию с суммарной помехой показало, что максимальная расчетная напряженность поля ниже максимально допустимого уровня помех на 25 дБ. С учетом запаса она меньше максимально допустимого уровня помех более чем на 19 дБ. При моделировании не учитывались потери на входе в здание (при прохождении через крышу/потолки), но они еще больше снизят воздействие помех от устройств БПЭ на ADF.

9.3.2.4 Влияние расчетной площади на зону приема помех при частоте 400 кГц

При увеличении расчетной площади уровень помех за пределами 20 км² для высоты 100 м и 60 км² для высоты 300 м остается неизменным, как показано на рисунке 59.

РИСУНОК 59



Report SM.2449-59

9.4 Краткое изложение результатов

Моделирование показало, что электрическое поле зарядных устройств БПЭ для мобильных и переносных устройств не оказывает влияние на прием сигналов автоматических радиопеленгаторов/ненаправленных радиомаяков. В расчете/при моделировании не учитывались потери при прохождении волн через крышу или пол, так как это дополнительно снизило бы воздействие помех от устройств БПЭ на ADF.

10 Общий анализ воздействия БПЭ на службы радиосвязи (например, на фиксированные и подвижные)

10.1 Исследование методом Монте-Карло воздействия БПЭ (315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц) на службы радиосвязи при единичной помехе в совмещенном канале

В данном исследовании анализируется уровень излучения отдельного устройства БПЭ, которое работает в совмещенном канале с приемником службы радиосвязи, например подвижной или фиксированной службы. Оно не относится к приемникам, расположенным внутри зданий, например к АМ-радиоприемникам, воздействие помех на которые необходимо сравнивать с шумом одиночной несущей. Уровень таких помех выше уровня белого гауссова шума, который используется здесь для сравнения, но насколько именно выше, не ясно.

10.1.1 Параметры

10.1.1.1 Устройства БПЭ

10.1.1.1.1 Уровни излучения БПЭ

Уровни излучения БПЭ, которые использовались в данном исследовании, приведены в таблице 27.

ТАБЛИЦА 27
Уровни излучения БПЭ

Параметр	Значение
Максимальный уровень излучения БПЭ при наихудшем выравнивании (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	-15
Минимальный уровень излучения БПЭ при наилучшем выравнивании (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	-30
Рабочая частота БПЭ 1 (кГц)	400
Рабочая частота БПЭ 2 (кГц)	1 650
Рабочая частота БПЭ 3 (кГц)	2 000

Каждое устройство БПЭ сконструировано таким образом, что максимально допустимый уровень излучения достигается лишь при наихудшем взаимном расположении двух катушек, в то время как при многих других расположениях фактический уровень излучения намного ниже. Влияние выравнивания учитывается путем случайного выбора уровня излучения между значениями при наилучшем и наихудшем выравнивании.

В данном исследовании анализируется воздействие устройств БПЭ в совмещенном канале.

10.1.1.1.2 Параметры служб радиосвязи

В таблице 28 приведены параметры служб радиосвязи, используемых в анализе.

ТАБЛИЦА 28

Параметры служб радиосвязи

Параметр	Значение
Полоса пропускания приемника (кГц)	2,7 ⁽¹⁾
Частота приема (кГц)	400, 1 650, 2 000
Уровень шума приемника	Искусственный шум (см. пункт 10.1.2.3.3)
Антенна	Всенаправленная
Высота над уровнем земли (м)	1,5

⁽¹⁾ Соседний канал не рассматривался, перекрывающиеся каналы считались полностью совпадающими.

Воздействие помех анализируется путем расчета среднего уровня помех в зависимости от расстояния.

10.1.1.1.3 Распространение радиоволн**10.1.1.1.3.1 Модель распространения**

См. Приложение 3.

10.1.1.1.3.2 Дополнительные потери при распространении

Предполагается, что в городах на 30% трасс между источником помех и радиоприемником имеется металлический объект (то есть металлизированные окна, железобетонные стены/полы, двери/ворота, заборы), тогда как в жилых районах это маловероятно. Этот показатель можно также понимать как процент теплоэффективных зданий, которые в Рекомендации МСЭ-R P.2109 определены как здания, построенные с использованием металлизированного стекла или панелей с фольгированной подложкой. Параметры, которые использовались для расчета, приведены в таблице 29.

Распространение сквозь дерево или кирпич не приводит к дополнительным потерям.

ТАБЛИЦА 29

Дополнительные потери при распространении

Параметр	Применимый %	Значение (дБ)
Потери при распространении в городской среде	30%	10
Другие среды	–	–

Там, где потери не применялись, считается, что они отсутствуют, то есть используется значение 0 дБ.

10.1.1.1.3.3 Шумовая обстановка

В рассматриваемом диапазоне частот нередко преобладает искусственный шум. За основу для анализа взята Рекомендация МСЭ-R P.372. Кроме того, для анализа используются результаты измерений искусственного шума, проведенных в Нидерландах (MN) [1], [3]. Измерения проводились на расстоянии не менее 10 м от ближайшей стены здания. В [3] поясняется, что измерения направлены на описание восприятия искусственного шума пользователями служб радиосвязи, такими как радиолюбители.

В таблицах 30 и 31 приведены медианные уровни шума из Рекомендации МСЭ-R P.372 и результаты измерений искусственного шума в Нидерландах (MN), преобразованные в напряженность магнитного поля с использованием поправочного коэффициента 51,5 дБ.

ТАБЛИЦА 30

Уровни шума согласно Рекомендации МСЭ-R P.372

Параметр	Уровень (дБмкА/м)	Стандартное отклонение (дБ)
400 кГц		
Городской шум	-32,82	8,4
Шум в жилых районах	-37,12	5,8
1 650 кГц		
Городской шум	-37,56	8,4
Шум в жилых районах	-41,86	5,8
2 000 кГц		
Городской шум	-38,20	8,4
Шум в жилых районах	-42,50	5,8

ТАБЛИЦА 31

Уровни шума по результатам измерений в Нидерландах (MN)

Параметр	Уровень (дБмкА/м)	Стандартное отклонение (дБ)
400 кГц		
Городской шум	-18,47	5,6
Шум в жилых районах	-23,97	9,5
1 650 кГц		
Городской шум	-26,23	6,4
Шум в жилых районах	-32,34	5,5
2 000 кГц		
Городской шум	-27,28	6,4
Шум в жилых районах	-33,84	5,5

10.1.1.1.3.4 Потери рассогласования

Ориентация антенны радиоприемников по отношению к полю, создаваемому зарядным устройством БПЭ, не фиксирована. Случайные потери рассогласования образуются в результате первоначального случайного угла рассогласования θ , который имеет равномерное распределение от 0° до 360° . Тогда потери рассогласования в дБ определяются по формуле:

$$\text{Потери рассогласования} = \min(-10\log_{10}(\cos^2\theta), 35).$$

Эти потери ограничены 35 дБ в осевом направлении для учета несовершенства конструкции антенны и катушки.

10.1.2 Методика

Моделирование методом Монте-Карло единичных помех проводится в целях анализа статистического воздействия зарядного устройства БПЭ на частотах 400 кГц, 1650 кГц и 2000 кГц. Ситуация с помехами в этих диапазонах частот в основном определяется искусственным шумом, который характеризуется средним значением и стандартным отклонением (пространственным распределением). С таким уровнем искусственного шума сталкивается любая служба радиосвязи, работающая в этих диапазонах частот. Учитывая статистический характер анализа, была проведена оценка разницы между медианными значениями при наличии и отсутствии устройств БПЭ.

Процесс моделирования выглядит следующим образом:

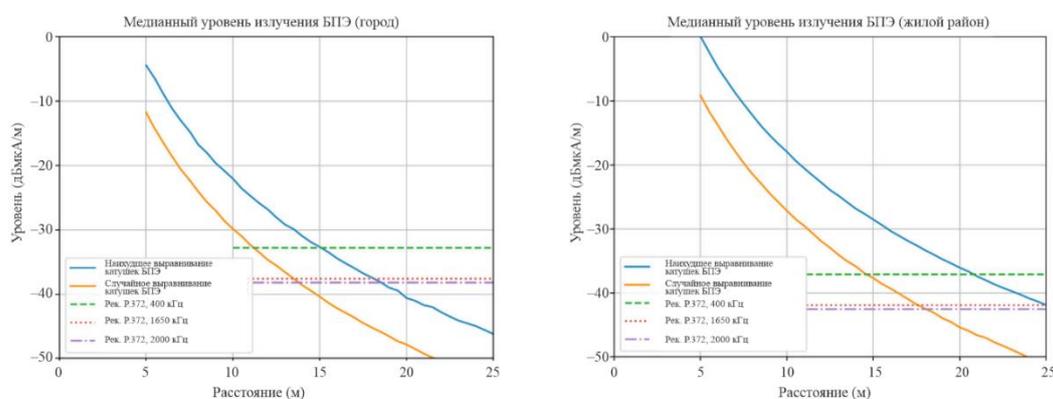
- радиоприемник помещают на расстоянии 5 м от устройства БПЭ;
- выполняют цикл из 20 000 событий:
 - устройству БПЭ назначают уровень излучения (при изменяющемся случайным образом согласовании от наилучшего до наихудшего);
 - производят расчет уровня принимаемых помех (суммарного) от устройств БПЭ (с учетом потерь распространения и рассогласования);
 - регистрируют уровень помех;
 - производят расчет медианного уровня помех;
- увеличивают расстояние между радиоприемником и устройством БПЭ на 0,1 м;
- отображают, как изменяется медианный уровень излучения от устройства БПЭ в зависимости от расстояния от радиоприемника.

10.1.3 Краткое изложение результатов

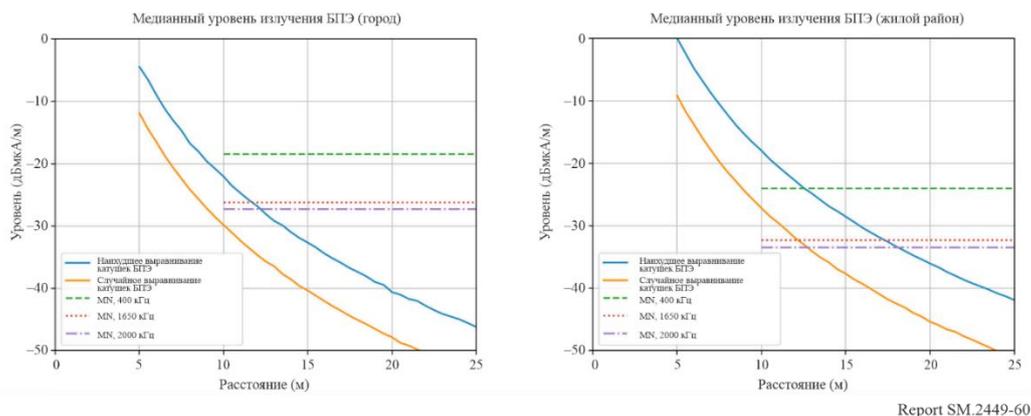
Подробные результаты моделирования показаны на рисунке 60. Синяя кривая соответствует устройству БПЭ, у которого всегда имеет место только наихудшее выравнивание между зарядным устройством БПЭ и приемными катушками (следовательно, это верхняя граница уровня излучения); оранжевая кривая соответствует случайному выравниванию катушек (то есть выравнивание варьируется от наилучшего до наихудшего – следовательно, варьируется и излучение). Горизонтальные линии соответствуют медианным уровням искусственного шума на частотах 400 кГц, 1650 кГц и 2000 кГц.

РИСУНОК 60

Подробные результаты



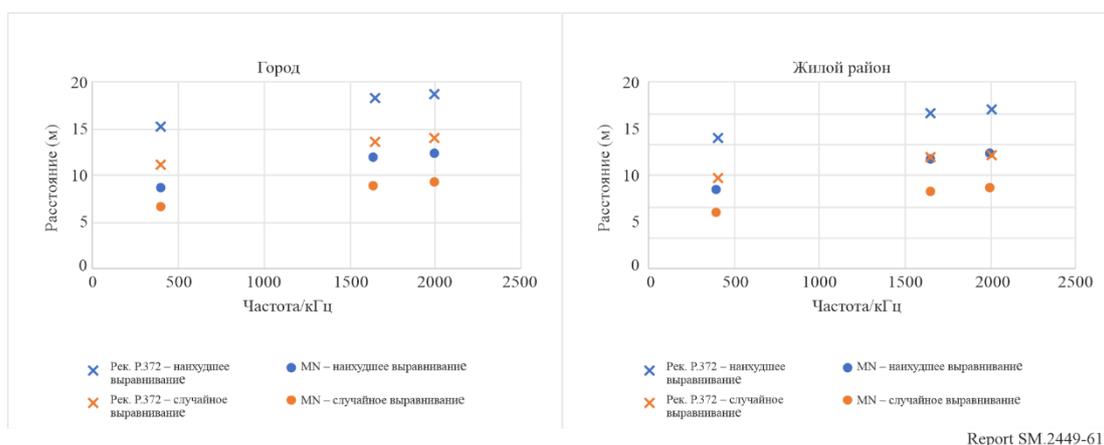
а) При использовании в качестве справочного материала Рекомендации МСЭ-R P.372



б) При использовании измерений, произведенных в Нидерландах

На рисунке 61 показано расстояние, на котором медианный уровень помех от устройства БПЭ опускается ниже медианного уровня шума.

РИСУНОК 61
Подробные результаты



В таблице 32 приведены сводные данные о расстоянии, на котором уровень излучения зарядного устройства БПЭ опускается ниже медианного уровня искусственного шума, определенного в исследовании единичных помех.

ТАБЛИЦА 32

Расстояния в метрах, на которых уровень излучения от зарядного устройства БПЭ опускается ниже медианного уровня искусственного шума, определенного в исследовании единичных помех

	Уровень шума	Расстояние при наихудшем выравнивании (м)	Расстояние при случайном выравнивании (м)
Город	Рек. МСЭ-R P.372	15–19	11–14
	Данные измерений, проведенных в Нидерландах	9–13	7–9
Жилые районы	Рек. МСЭ-R P.372	21–26	15–18
	Данные измерений, проведенных в Нидерландах	13–18	9–13

Это исследование единичных помех представляет собой анализ наихудшего случая, поскольку предполагает, что излучения БПЭ всегда находятся в совмещенном канале с радиоприемником.

10.2 Исследование методом Монте-Карло воздействия суммарных помех от БПЭ (315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц) на службы радиосвязи

В данном исследовании анализируется уровень излучения устройств БПЭ, воздействующих на приемник службы радиосвязи, например подвижной или фиксированной службы. Оно не относится к приемникам, расположенным внутри зданий, например к АМ-радиоприемникам, воздействие помех на которые необходимо сравнивать с шумом одиночной несущей. Уровень таких помех выше уровня белого гауссова шума, который используется здесь для сравнения, но насколько именно выше, не ясно.

10.2.1 Параметры

10.2.1.1 Устройства БПЭ

10.2.1.1.1 Уровни излучения БПЭ

Уровни излучения БПЭ, которые использовались в данном исследовании, приведены в таблице 33.

ТАБЛИЦА 33
Уровни излучения БПЭ

Параметр	Значение
Максимальное излучение БПЭ при наихудшем выравнивании (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	-15
Минимальное излучение БПЭ при наилучшем выравнивании (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	-30
Рабочая частота БПЭ 1 кГц	350–400
Рабочая частота БПЭ 2 кГц	1 750–1 800
Рабочая частота БПЭ 3 кГц	2 000–2 050
Ширина полосы БПЭ	< 1 кГц

Каждое устройство БПЭ сконструировано таким образом, что максимально допустимый уровень излучения достигается лишь при наихудшем взаимном расположении двух катушек, в то время как при многих других расположениях фактический уровень излучения намного ниже. Это учитывается путем случайного выбора уровня излучения между наилучшим и наихудшим выравниванием.

Излучения устройств БПЭ, как правило, являются очень узкополосными, то есть их полоса пропускания значительно уже полосы приемника радиослужбы. Сигнал зарядного устройства очень похож на немодулированный сигнал, поэтому влияние соседних каналов не учитывалось.

10.2.1.1.2 Распределение высоты расположения устройств БПЭ

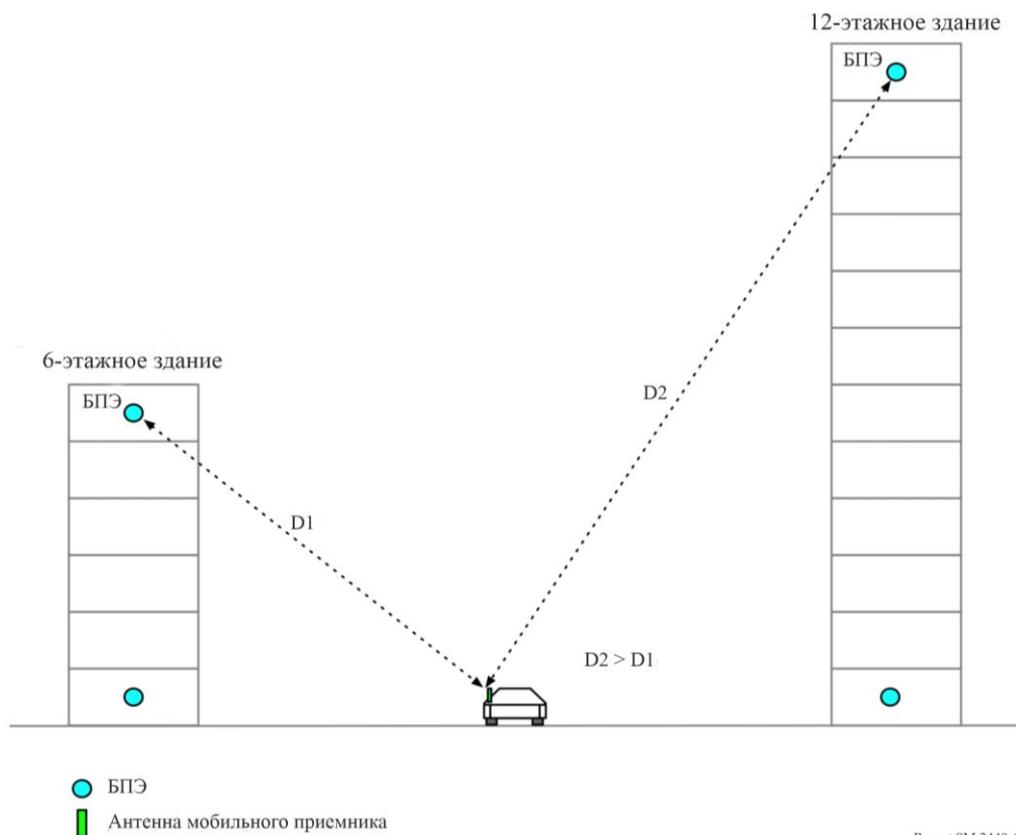
Устройства БПЭ равномерно распределены по всем этажам здания. Предполагается, что высота каждого этажа составляет 3 м, а на самом нижнем этаже устройства находятся на высоте 1,5 м над землей. Распределение высоты расположения приведено в таблице 34.

ТАБЛИЦА 34

Распределение высоты расположения устройств БПЭ

Среда	Количество этажей
Городская среда (плотная застройка: 20 тыс. жителей/км ²)	6
Городская среда (обычная застройка: 5 тыс. жителей/км ²)	4
Жилой район (2 тыс. жителей/км ²)	2

РИСУНОК 62



Здания в городах могут быть выше шести этажей. В данном исследовании предполагается, что плотность размещения устройств фиксирована. Таким образом, использование в расчетах более высокой этажности приведет к меньшему воздействию. Устройства БПЭ на верхних этажах будут оказывать меньшее воздействие, поскольку расстояние до подвергнувшегося воздействию помех приемника больше. Параметры, используемые в данном исследовании, могут быть применимы не ко всем типам среды.

10.2.1.1.3 Плотность/распространенность

В таблицах 35, 36 и 37 указана плотность размещения устройств БПЭ для рассматриваемых в анализе служб радиосвязи на основе таблицы 1.

ТАБЛИЦА 35

Плотность размещения БПЭ с рабочей частотой 1 (400 кГц)

Параметр	Значение
Плотность размещения устройств в городской среде (плотная застройка: 20 тыс. жителей/км ²)	1500/км ²
Плотность размещения устройств в городской среде (обычная застройка: 5 тыс. жителей/км ²)	375/км ²
Плотность размещения в жилых районах (2 тыс. жителей/км ²)	150/км ²
Типичная продолжительность зарядки	1–2 часа
Устройства, заряжаемые в час пик (ночь: 0:00–07:00)	100%
Устройства, заряжаемые не в час пик (день: 09:00–21:30)	1/4

ТАБЛИЦА 36

Плотность размещения БПЭ с рабочей частотой 2 (1800 кГц)

Параметр	Значение
Плотность размещения в городской среде (плотная застройка: 20 тыс. жителей/км ²)	500/км ²
Плотность размещения в городской среде (обычная застройка: 5 тыс. жителей/км ²)	125/км ²
Плотность размещения в жилых районах (2 тыс. жителей/км ²)	50/км ²
Типичная продолжительность зарядки	1–2 часа
Устройства, заряжаемые в час пик (ночь: 23:30–07:00)	100%
Устройства, заряжаемые не в час пик (день: 11:00–20:00)	1/3

ТАБЛИЦА 37

Плотность размещения БПЭ с рабочей частотой 3 (2000 кГц)

Параметр	Значение
Плотность размещения в городской среде (плотная застройка: 20 тыс. жителей/км ²)	500/км ²
Плотность размещения в городской среде (обычная застройка: 5 тыс. жителей/км ²)	125/км ²
Плотность размещения в жилых районах (2 тыс. жителей/км ²)	50/км ²
Типичная продолжительность зарядки	1–2 часа
Устройства, заряжаемые в час пик (ночь: 23:30–07:00)	100%
Устройства, заряжаемые не в час пик (день: 11:00–20:00)	1/3

В данном исследовании предполагается, что все устройства БПЭ работают в часы пик. В действительности это не так. Поэтому уровень воздействия, скорее всего, переоценен.

Существует корреляция между уровнями искусственного шума и плотностью населения [3], поэтому различные значения плотности размещения устройств БПЭ считаются связанными с соответствующими уровнями шума.

10.2.1.2 Параметры служб радиосвязи

В таблице 38 приведены параметры служб радиосвязи, которые использовались при проведении анализа.

ТАБЛИЦА 38
Параметры служб радиосвязи

Параметр	Значение
Полоса пропускания приемника (кГц)	2,7 ⁽¹⁾
Частота приема (кГц)	400, 1800, 2000
Уровень шума приемника	Искусственный шум в полосе пропускания 2,7 кГц (см. пункт 10.2.1.3.3)
Антенна	Всенаправленная
Высота над уровнем земли (м)	1,5

⁽¹⁾ Используемая полоса пропускания радиоприемника составляет 2,7 кГц. Однако с учетом возможного несовершенства радиоприемников и устройств БПЭ фактическая полоса была увеличена на 1 кГц – до 3,7 кГц, что приводит к более высокому уровню шума, оцениваемому в полосе пропускания радиоприемника. Таким образом, представленные результаты следует рассматривать как наихудший случай.

Предполагается, что расстояние между устройством БПЭ и радиоприемником минимально. В городской среде это расстояние составляет 5 м, а в жилых районах – 10 м. Это либо типичное минимальное расстояние между службами радиосвязи, либо зона действия оператора радиослужбы. В [3] в качестве типичного расстояния между зданиями и местами приема на радиолюбительские антенны в диапазонах СЧ и ВЧ используется расстояние не менее 10 м от ближайшей наружной стены здания. Влияние помех анализируется по повышению уровня шума.

Уровень помех, который попадает в полосу пропускания 2,7 кГц, суммируется и добавляется к искусственному шуму в данной полосе, что отражается в увеличении уровня шума. Помехи от БПЭ рассматриваются в данном случае только как вклад в мощность шума, а не как отдельная очень узкая несущая. Таким образом, результат применим только к тем системам, для которых справедливо предположение, что помехи можно рассматривать как шум, то есть к цифровым системам связи.

10.2.1.3 Распространение радиоволн

10.2.1.3.1 Модель распространения

См. Приложение 3.

10.2.1.3.2 Дополнительные потери при распространении

Предполагается, что в городах на 30% трасс между источником помех и радиоприемником имеется металлический объект (металлизированные окна, железобетонные стены/полы, двери/ворота, заборы), тогда как в пригородных районах это маловероятно. Этот показатель можно также понимать как процент теплоэффективных зданий, которые в Рекомендации МСЭ-R P.2109 определены как здания, построенные с использованием металлизированного стекла или панелей с фольгированной подложкой. Параметры, которые использовались для расчета, приведены в таблице 39.

Распространение сквозь дерево или кирпич не приводит к дополнительным потерям.

ТАБЛИЦА 39

Дополнительные потери при распространении

Параметр	Применимый %	Значение (дБ)
Потери при распространении в городской среде	30%	10
Другие среды	–	–

Там, где потери не применялись, считается, что они отсутствуют, то есть 0 дБ.

10.2.1.3.3 Шумовая обстановка

В рассматриваемом диапазоне частот нередко преобладает искусственный шум. За основу для анализа взята Рекомендация МСЭ-R P.372. Кроме того, для анализа используются результаты измерений искусственного шума, проведенных в Нидерландах (MN) [1], [3]. Измерения проводились на расстоянии не менее 10 м от ближайшей стены здания. В [3] поясняется, что измерения направлены на описание восприятия искусственного шума пользователями служб радиосвязи, такими как радиолюбители.

В таблицах 40 и 41 приведены медианные уровни шума из Рекомендации МСЭ-R P.372 и результаты измерений искусственного шума в Нидерландах (MN), преобразованные в напряженность магнитного поля с использованием поправочного коэффициента 51,5 дБ.

ТАБЛИЦА 40

Уровни шума согласно Рекомендации МСЭ-R P.372

Параметр	Уровень (дБмкА/м)	Стандартное отклонение (дБ)
400 кГц		
Городской шум	-32,82	8,4
Шум в жилых районах	-37,12	5,8
1650 кГц		
Городской шум	-37,85	8,4
Шум в жилых районах	-42,15	5,8
2000 кГц		
Городской шум	-38,20	8,4
Шум в жилых районах	-42,50	5,8

ТАБЛИЦА 41

Уровни шума по результатам измерений в Нидерландах (MN)

Параметр	Уровень (дБмкА/м)	Стандартное отклонение (дБ)
400 кГц		
Городской шум	-18,47	5,6
Шум в жилых районах	-23,97	9,5
1650 кГц		
Городской шум	-26,7	6,4
Шум в жилых районах	-32,86	5,5
2000 кГц		
Городской шум	-27,28	6,4
Шум в жилых районах	-33,84	5,5

Анализируется только изменение шума в зависимости от местоположения (пространственное распределение). Однако, как четко указано в Рекомендации МСЭ-R P.372, шум также изменяется со временем, и такие изменения могут быть даже больше, см. таблицу 42.

ТАБЛИЦА 42

Значения децильных отклонений искусственного шума согласно Рекомендации МСЭ-R P.372

Категория	Дециль	Изменение со временем (дБ)	Изменение в зависимости от местоположения (дБ)
Город	Верхний	11,0	8,4
	Нижний	6,7	8,4
Жилой район	Верхний	10,6	5,8
	Нижний	5,3	5,8
Сельская местность	Верхний	9,2	6,8
	Нижний	4,6	6,8

10.2.1.3.4 Потери рассогласования

Ориентация антенны радиоприемников по отношению к полю, создаваемому зарядным устройством БПЭ, не фиксирована. Случайные потери рассогласования образуются в результате первоначального случайного угла рассогласования θ , который имеет равномерное распределение от 0° до 360° . Тогда потери рассогласования в дБ определяются по формуле:

$$\text{Потери рассогласования} = \min(-10 \log_{10}(\cos^2\theta), 35).$$

Эти потери ограничены 35 дБ в осевом направлении для учета несовершенства конструкции антенны.

10.2.2 Методика

Моделирование методом Монте-Карло проводится в целях анализа статистического воздействия зарядных устройств БПЭ в диапазонах частот 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц. Ситуация с помехами в этих диапазонах частот в основном определяется искусственным шумом, который характеризуется средним значением и стандартным отклонением (пространственным распределением). С таким уровнем искусственного шума сталкивается любая радиослужба,

работающая в этих диапазонах частот. Учитывая статистический характер анализа, была проведена оценка разницы между медианными значениями при наличии и отсутствии устройств БПЭ.

Процесс моделирования выглядит следующим образом:

- радиоприемник помещают в центр установки;
- выполняют цикл из 10 000 событий:
 - около 700 устройств БПЭ разбросаны по территории случайным образом и служат источниками помех (Примечание 1);
 - каждому устройству БПЭ назначают уровень излучения (случайным образом между уровнями при наилучшем и наихудшем согласовании);
 - радиоприемнику назначают уровень шума, соответствующий распределению искусственных шумов;
 - каждому устройству БПЭ назначают случайную рабочую частоту;
 - рассчитывают уровень принимаемых помех (суммарный) от всех устройств БПЭ, работающих в совмещенном канале (потери распространения, потери поляризационной селекции) (Примечание 2);
 - регистрируют уровень шума + помехи;
- строят функцию распределения плотности потока мощности (CDF) уровней шума и уровня шума + помехи;
- рассчитывают приращение медианных уровней шума.

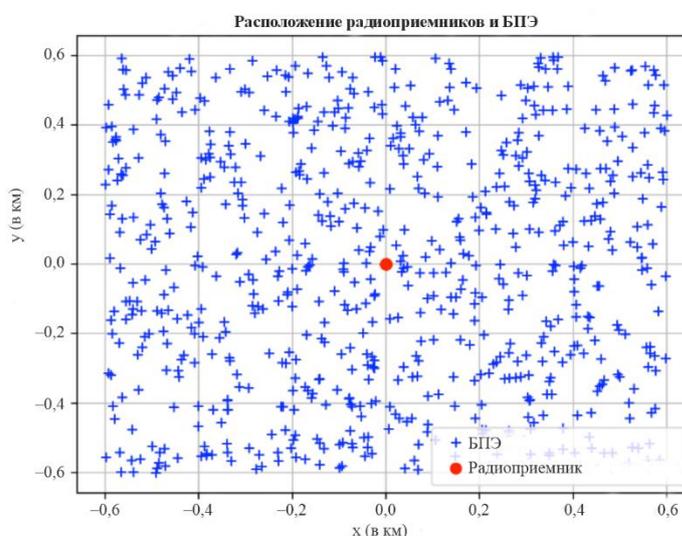
ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Зона моделирования должна быть достаточно большой, чтобы отражать достаточное количество статистических выборок (уровней мощности и пространственных конфигураций).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Суммируются уровни напряженности поля, а не уровни мощности.

На рисунке 63 показана схема одного сеанса моделирования с плотностью размещения 500 устройств БПЭ на 1 км².

РИСУНОК 63

Пример схемы сеанса моделирования



Report SM.2449-63

10.2.2.1 Результаты

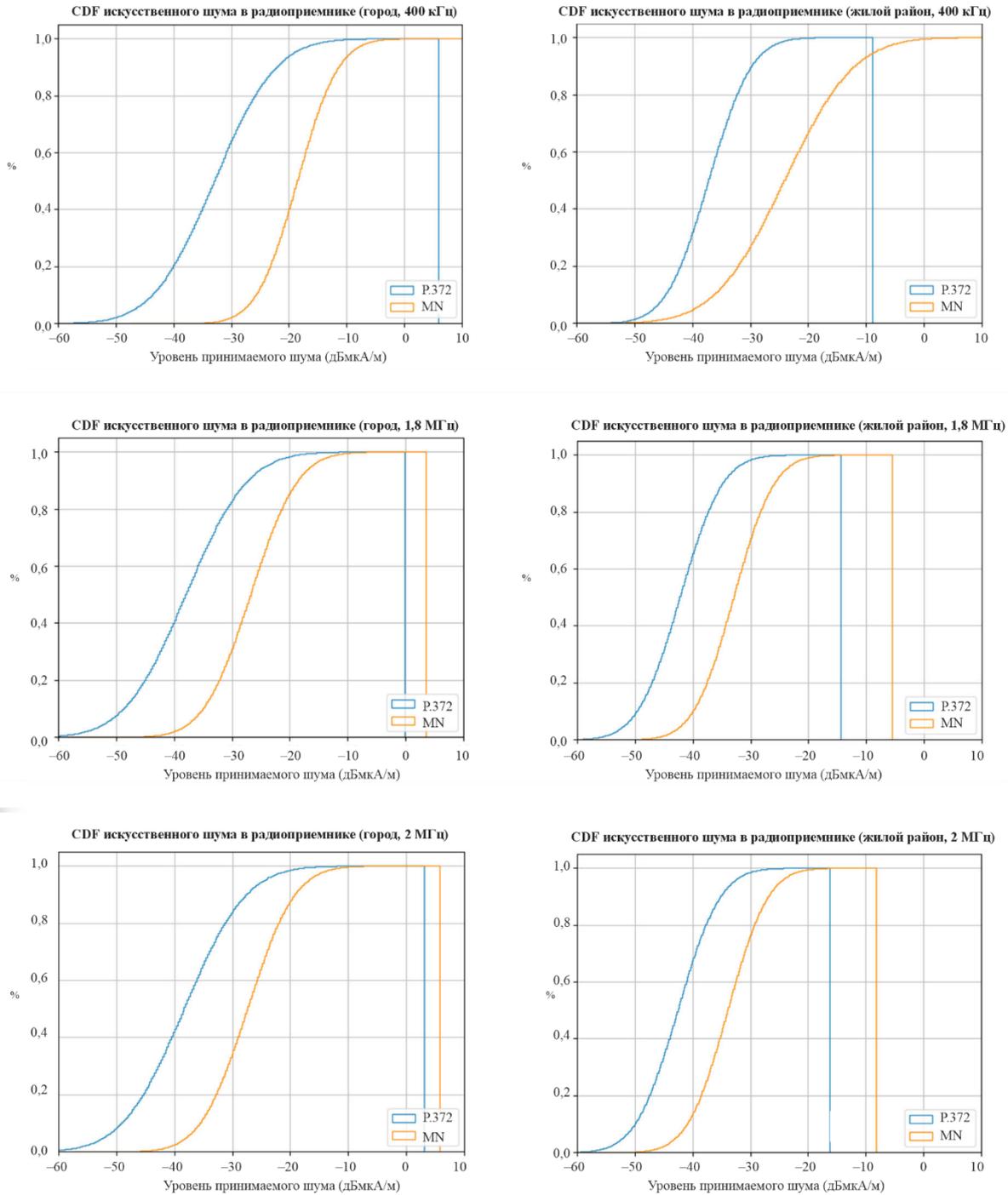
10.2.2.1.1 Интерпретация результатов

В некоторых местах службы радиосвязи, работающие в диапазонах частот 315–405 кГц, 1606,5–1800 кГц и 2000–2170 кГц, испытывают воздействие шума. За исключением диапазонов частот УВЧ и выше, среди шумов может преобладать не тепловой или естественный шум, а внешний по отношению к приемнику искусственный шум.

На рисунке 64 показана текущая шумовая обстановка для приемников служб радиосвязи в анализируемых диапазонах частот. Уровни шума из обоих источников – Рекомендации МСЭ-R P.372 и результатов измерений искусственного шума в Нидерландах (MN) – показаны в виде медианных уровней и соответствующих стандартных отклонений.

РИСУНОК 64

Пример уровней искусственного шума в радиоприемнике



Report SM.2449-64

Качество приема радиосигнала в этих диапазонах во многом зависит от расположения точек, соответствующих приемнику, в левой части кривых. Это может быть связано либо с перемещением приемника в пространстве, либо, в некоторых случаях, с частотой.

Например, в некоторых приемниках подвижной службы применяется схема скачкообразной перестройки частоты, благодаря чему разница в уровнях шума приводит к более надежному соединению.

10.2.2.1.2 Результаты для частоты 400 кГц

ТАБЛИЦА 43

Увеличение уровня шума (частота БПЭ в диапазоне 400 кГц)

Среда	День/ночь	Плотность (/км ²)	Уровень шума	Увеличение медианного уровня шума (дБ)
Город (плотная городская застройка)	Ночь	1500	P.372	1,2
			MN	0,3
	День	375	P.372	0,3
			MN	0,1
Город (обычная застройка)	Ночь	375	P.372	0,4
			MN	0,1
	День	94	P.372	0,1
			MN	0
Жилой район	Ночь	150	P.372	0,2
			MN	0,1
	День	38	P.372	0,1
			MN	0,0

10.2.2.1.3 Результаты для частоты 1800 кГц

ТАБЛИЦА 44

Увеличение уровня шума (частота БПЭ в диапазоне 1750–1800 кГц)

Среда	День/ночь	Плотность (/км ²)	Уровень шума	Увеличение медианного уровня шума (дБ)
Город (плотная городская застройка)	Ночь	500	P.372	1,8
			MN	0,6
	День	167	P.372	0,8
			MN	0,2
Город (обычная застройка)	Ночь	125	P.372	0,6
			MN	0,2
	День	42	P.372	0,3
			MN	0,1
Жилой район	Ночь	50	P.372	0,4
			MN	0,2
	День	17	P.372	0,2
			MN	0,1

10.2.2.1.4 Результаты для частоты 2000 кГц

ТАБЛИЦА 45

Увеличение уровня шума (частота БПЭ в диапазоне 2000 кГц)

Среда	День/ночь	Плотность (/км ²)	Уровень шума	Увеличение медианного уровня шума (дБ)
Город (плотная городская застройка)	Ночь	500	P.372	2,1
			MN	0,7
	День	167	P.372	1
			MN	0,3
Город (обычная застройка)	Ночь	125	P.372	0,8
			MN	0,2
	День	42	P.372	0,3
			MN	0,1
Жилой район	Ночь	50	P.372	0,6
			MN	0,2
	День	17	P.372	0,2
			MN	0,1

10.2.2.1.5 Краткое изложение результатов

Исследование показало, что предполагаемая плотность размещения устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц, в городских районах с очень плотной застройкой приводит к увеличению уровня шума на 1,2 дБ по сравнению медианным уровнем, прогнозируемым в Рекомендации МСЭ-R P.372. При использовании данных фактических измерений ради шума в Нидерландах увеличение медианного уровня шума составило менее 0,3 дБ. Для всех других сред (городские районы с обычной застройкой и жилые районы) в диапазоне 1700–1800 кГц было выявлено увеличение медианного уровня шума на 0,4 дБ или менее, что приводит к превышению шумом медианного уровня, предсказанного в Рекомендации МСЭ-R P.372, на 1,8 дБ. При использовании данных фактических измерений ради шума в Нидерландах увеличение медианного уровня шума составило менее 0,6 дБ. Для всех остальных сред (городские районы с обычной застройкой и жилые районы) было выявлено увеличение медианного уровня шума не более чем на 0,6 дБ.

В диапазоне 2000–2170 кГц это приводит к увеличению уровня шума на 2,1 дБ по сравнению с медианным уровнем, прогнозируемым в Рекомендации МСЭ-R P.372. При использовании данных фактических измерений ради шума в Нидерландах увеличение медианного уровня шума составило менее 0,7 дБ. Для всех остальных сред (городские районы с обычной застройкой и жилые районы) было выявлено увеличение медианного уровня шума не более чем на 0,8 дБ.

Эти уровни соответствуют пиковому времени зарядки, приходящемуся на ночное время. В дневное время повышение среднего уровня шума оказалось ниже.

Фактический уровень шума на расстоянии менее 10 м от устройства БПЭ может быть выше или ниже уровней техногенного шума, которые использовались в данном исследовании. Фактическое воздействие БПЭ на шумовую обстановку на таком близком расстоянии от зданий или внутри зданий не удалось оценить из-за отсутствия источников данных об уровнях техногенного шума для этого случая.

11 Исследование воздействия БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на системы морской радионавигационной службы/дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС) на частотах ниже 325 кГц

11.1 Введение

Полоса частот 315–325 кГц распределена морской радионавигационной службе и используется для дифференциальных передач глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС). Подробные параметры приведены в Рекомендации МСЭ-R М.823-3. Полоса частот БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств 315–405 кГц пересекается с полосой частот ДГНСС 315–325 кГц в Районах 2 и 3. Согласно РГ 5В, минимальный уровень полезного сигнала ДГНСС (на границе зоны покрытия) составляет от 40 до 100 мкВ/м; более подробную информацию см. в таблице 45А. В некоторых местах (например, в Европе и Канаде) ДГНСС также используется на внутренних водных путях для предоставления точной информации о местоположении. В Районе 1 эти системы работают на частотах ниже 315 кГц.

Поэтому в данном исследовании анализируется только воздействие БПЭ на частотах выше 315 кГц. Это означает, что рассматривается только сценарий открытого моря.

Предполагалось, что все устройства БПЭ, участвующие в исследовании, используют одну и ту же частоту (315 кГц), тогда как в реальной жизни можно наблюдать значительный разброс фактических частот зарядки в зависимости от реализации зарядного устройства, состояния зарядки и т. д.

11.2 Параметры для моделирования

В данном исследовании в качестве максимального уровня излучений для устройств БПЭ рассматривалось предлагаемое значение –15 дБмкА/м. Предполагалось, что все устройства БПЭ, участвующие в исследовании, используют одну и ту же частоту (315 кГц), тогда как в реальной жизни можно наблюдать значительный разброс фактических частот зарядки в зависимости от реализации зарядного устройства, состояния зарядки и т. д.

Параметры ДГНСС приведены в таблице 46.

ТАБЛИЦА 46

Параметры дифференциальных глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС)

Параметры	Значение	Справочная информация
Минимальный уровень полезного сигнала на границе зоны покрытия (мкВ/м)	40/75/100 От 40 до 100 мкВ/м	Отдельные страны Района 3, Информация МАМС – Таблица станций ДГНСС, издание 1.8, 2021 год
Защитное отношение, C/I (дБ)	15, совмещенный канал	Рек. МСЭ-R М.823-3, таблица 5
Максимально допустимый уровень сигнала помехи на границе зоны покрытия (дБкВ/м)	17,04 /22,5 /25	R3
Покрытие	От 50 до 500 км	Информация МАМС – Таблица станций ДГНСС, издание 1.8, 2021 год
Максимально допустимый уровень сигнала помехи на границе зоны покрытия (дБкВ/м)	18,89/11,02/17,04	R1/R2/R3
Доступность сигнала (навигация в океанских водах)	99,8 %	Резолюция ИМО А.1046 (27) Дополнение 2.5

11.3 Сценарии и результаты

С учетом сценариев использования индуктивной БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств были выбраны три сценария моделирования: единичные помехи в целом, устройство БПЭ на берегу и устройство БПЭ на судне.

11.3.1 Исследование единичных помех 1: воздействие БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств на дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС)

Исследование проводилось с использованием параметров, указанных в таблице 46, с применением модели распространения согласно Рекомендации МСЭ-R SM.2028.

ТАБЛИЦА 47

Параметры дифференциальных глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС)

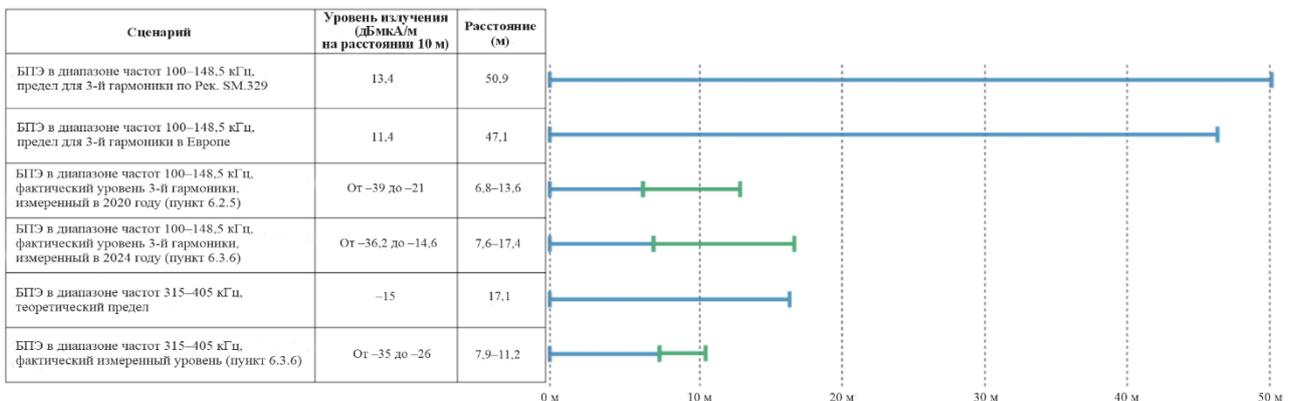
Параметр	Значение
Минимальный уровень полезного сигнала ДГНСС (мкВ/м)	75 (типичное значение)
Минимальный уровень полезного сигнала ДГНСС (дБмкВ/м)	37,5
Защитное отношение (дБ) для совмещенного канала	15
Порог напряженности поля помех (дБмкВ/м)	22,5
Модель распространения	Рек. МСЭ-R SM.2028
Рабочая частота ДГНСС	315 кГц

На рисунке 65 показано требуемое расстояние от антенны ДГНСС поля *H* до устройств БПЭ с различными уровнями излучения и частотами.

РИСУНОК 65

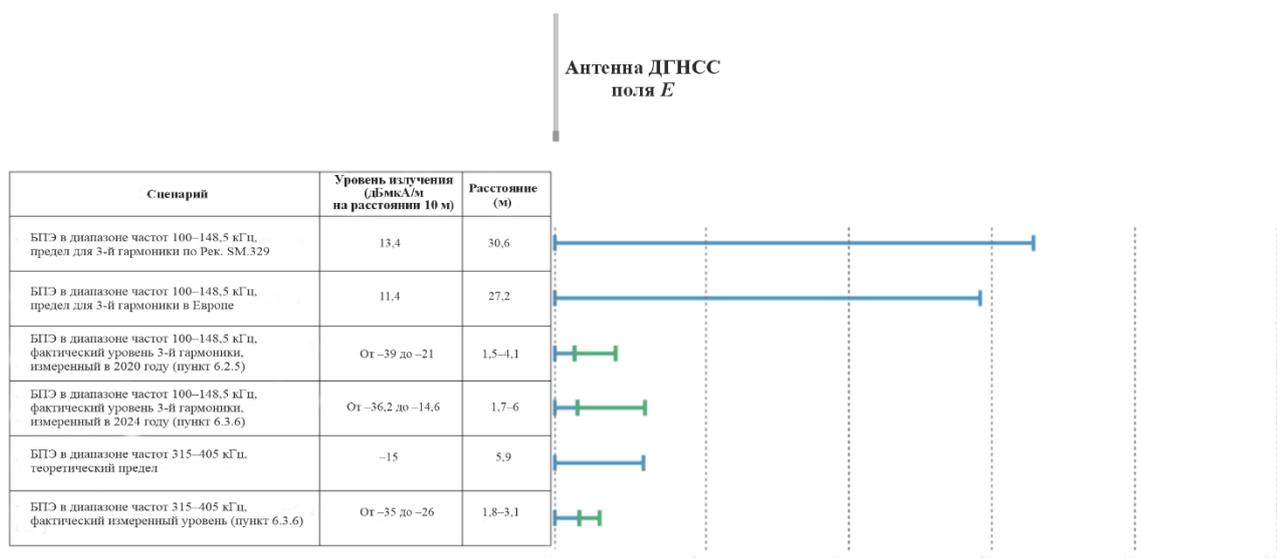
Расстояния разнесения для различных уровней излучения БПЭ (поле *H*)

Антенна ДГНСС
поля *H*



На рисунке 66 показано требуемое расстояние от антенны ДГНСС поля *E* до устройств БПЭ с различными уровнями излучения и частотами.

РИСУНОК 66

Расстояния разнесения для различных уровней излучения БПЭ (поле E)

Сравнение этих различных уровней излучения, показанное на рисунках 65 и 66, указывает на то, что полученные расстояния разнесения для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц, меньше, чем для 3-й гармоники излучения устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц. В диапазоне более низких частот работают миллионы устройств, и ни одного случая помех не зафиксировано. Поскольку устройства БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств, работающие в диапазоне 315–405 кГц, оказывают меньшее воздействие на работу ДГНСС, вероятность возникновения помех еще меньше.

Кроме того, в случае антенны поля E помехи значительно слабее.

В данном исследовании предполагалось идеальное согласование между антеннами, для чего потребовалось бы идеальное выравнивание устройства БПЭ с антенной ДГНСС.

11.3.2 Исследование 2: воздействие БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазоне 315–405 кГц на дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС)

Исследование проводилось с использованием параметров, перечисленных в таблице 47, с применением модели распространения согласно Рекомендации МСЭ-R SM.2028.

Когда устройство БПЭ расположено вблизи приемника ДГНСС, защитное расстояние r может находиться в пределах ближнего поля, тогда его можно рассчитать с помощью следующего уравнения (13), приведенного в Приложении 1 к Рекомендации МСЭ-R SM.2028:

$$r = \sqrt[3]{\frac{m}{2\pi H_{limit}}}$$

m описывается уравнениями (1) и (2) из Приложения 1 к Рекомендации МСЭ-R SM.2028, а предельный уровень напряженности магнитного поля H_{limit} (А/м) можно получить из уравнения (8). Было выбрано значение m , равное максимальному значению из $m1$ и $m2$. Здесь предполагается, что антенна ДГНСС представляет собой магниточувствительную рамочную антенну, а коэффициент преобразования электрического поля в магнитное $E/H = 51,5$ дБ без учета других коэффициентов преобразования из-за большого расстояния между передатчиком и приемником ДГНСС. БПЭ обычно работает в очень узкой полосе, которая меньше полосы ДГНСС, поэтому коэффициент перекрытия частот равен 0. При расчете не учитываются смягчающие факторы, которые могли бы уменьшить воздействие на приемник.

Результат, приведенный в таблице 48, показывает, что в случае единичных помех, создаваемых БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств, защитное расстояние для ДГНСС составляет 21 м, то есть устройства БПЭ должны находиться на расстоянии 21 м от приемника ДГНСС.

Разные модели распространения могут давать разные результаты, а фактическое расстояние воздействия помех может быть меньше из-за влияния других факторов. Дополнительную информацию о данном сценарии воздействия помех могут дать полевые испытания.

ТАБЛИЦА 48

Параметры дифференциальных глобальных навигационных спутниковых систем (ДГНСС)

Параметр	Значение
Минимальный уровень полезного сигнала ДГНСС (мкВ/м)	75 (типичное значение)
Минимальный уровень полезного сигнала ДГНСС (дБмкВ/м)	37,5
Защитное отношение (дБ) для совмещенного канала	15
Порог напряженности поля помех (дБмкВ/м)	22,5
Максимальный уровень излучения БПЭ (дБмкА/м на расстоянии 10 м)	-15
Модель распространения	Рек. МСЭ-R SM.2028
Защитное расстояние от одного БПЭ (м)	21

11.3.3 Исследование суммарных помех 1: сценарий использования устройств БПЭ на берегу

Уровень сигнала, передаваемого станциями радиомаяков, постепенно уменьшается по мере удаления от берега. Уровни сигнала относительно покрытия указаны в Информации МАМС⁸ о станциях ДГНСС по странам. Приемник, подвергающийся воздействию помех, установлен на судне. Наихудшим случаем в данном исследовании считается случай, когда судно находится на границе зоны покрытия. Этот сценарий представлен на рисунке 67.

РИСУНОК 67

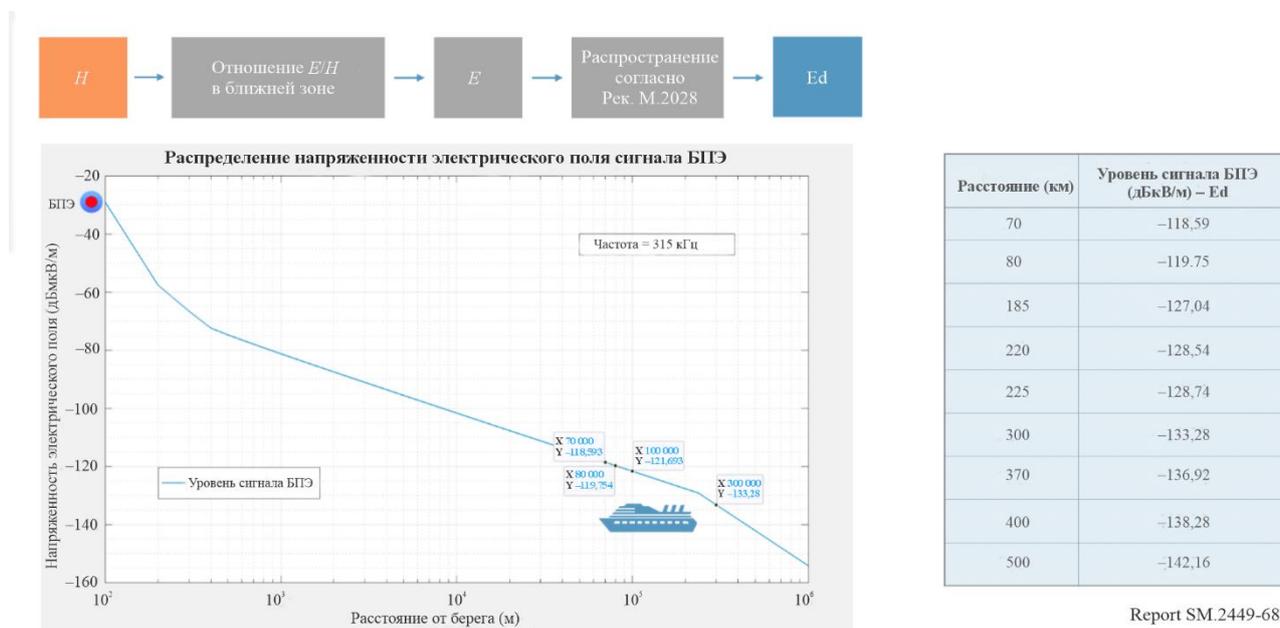
Сценарий использования устройства БПЭ на берегу



На рисунке 68 показано распределение напряженности электрического поля, создаваемого одиночным устройством БПЭ. Уровень сигнала БПЭ, принимаемого судном, соответствует зоне покрытия. Используемая модель распространения основана на Рекомендации МСЭ-R SM.2028.

РИСУНОК 68

Распределение напряженности электрического поля устройства БПЭ



Как в сценарии с единичной помехой, так и в сценарии суммарных помех моделирование бюджета линии связи системы проводилось с консервативными предположениями. В данном исследовании учитывались станции ДГНСС Китая, Республики Корея, Индии, Малайзии, Вьетнама, Бразилии и Канады. В случае единичной помехи запас составляет более 140 дБ. Для сценария суммарных помех, как показано в таблице 49, моделирование позволяет определить количество устройств БПЭ, которые одновременно работают на одной и той же частоте и в одной и той же фазе и могут создавать вредные помехи приемнику ДГНСС. Кроме того, учитывая плотность размещения устройств БПЭ в городских районах, в том числе с плотной застройкой, делаются соответствующие выводы о размерах зоны распределения. Причем зона, расположенная в городских районах, в том числе с плотной застройкой, по результатам моделирования оказалась намного превышающей размеры реальных прибрежных городов. Это означает, что на практике суммарные помехи не могут достигать уровня вредных помех.

ТАБЛИЦА 49

Моделирование бюджета линии связи системы ДГНСС

Параметры ДГНСС	Китай	Индия	Вьетнам	Корея (Республика)	Бразилия	Канада
Номинальный уровень сигнала (мкВ/м)	75	100	100	100	20	75
Покрытие (км)	300	185	500	80	370	150
Защитное отношение (дБ)	15	15	15	15	15	15
Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м)	22,50	25,00	25,00	25,00	11,02	22,5
Уровень сигнала БПЭ в зоне покрытия (дБмкВ/м)	-133,28	-127,04	-142,15	-119,75	-136,92	-125,22
Запас по помехам от одного БПЭ (дБ)	155,78	152,04	167,15	144,75	147,94	147,72
Суммарное количество устройств БПЭ (единиц) для перекрытия запаса	61 526 366	39 994 475	227 771 824	17 278 260	24 947 671	24 325 471
Эквивалентная территория плотной городской застройки (км ²)	47 476	30 861	175 958	13 332	1 999 581	16 217
Эквивалентная городская территория (км ²)	189 902	123 444	70 382	53 330	498 953	64 868
Площадь прибрежного города (км ²)	6 340 (Шанхай)	603 (Мумбаи)	2 061 (Хошимин)	770 (Пусан)	1521 (Сан-Паулу)	115 (Ванкувер)

Результаты для устройств БПЭ на берегу

Согласно результатам данного исследования как единичный, так и суммарный сигналы не создают никаких вредных помех для морской системы ДГНСС, работающей в Районах 2 и 3. В Районе 1 частоты БПЭ и ДГНСС не перекрываются.

В сценарии с единичной помехой минимальный запас составляет 144 дБ для корейской ДГНСС и еще больший запас для систем других стран.

В сценарии суммарных помех предполагается, что все устройства БПЭ работают на одной и той же частоте и с одной и той же векторной фазой (наихудший случай). В реальности частота зарядки варьируется, и устройства будут иметь случайные векторные фазы. В итоге помех будет еще меньше. Кроме того, не принималась в расчет избирательность антенн. Распределенная территория в городских районах, в том числе с плотной застройкой, по результатам моделирования оказывается намного больше размеров реальных прибрежных городов, означая, что на практике суммарные помехи не могут достигать опасного уровня.

11.3.4 Исследование суммарных помех 2: сценарий использования устройств БПЭ на судне

В этом сценарии рассматриваются главным образом устройства БПЭ, находящиеся на борту судов, например круизных. Устройства БПЭ используются в каютах и равномерно распределены по прямоугольной зоне. Для моделирования распространения радиоволн в ближнем поле использовалось моделирование электромагнитного поля. Для оценки суммарных помех применялось векторное суммирование по методу Монте-Карло.

Количество активных устройств рассчитывалось, как указано в таблице 50.

ТАБЛИЦА 50

Коэффициент активности устройств БПЭ

Сценарий	Уровень проникновения диапазона частот (%) ⁽¹⁾	Доля метода беспроводной зарядки (%) ⁽²⁾	Время зарядки (%) ⁽³⁾	Коэффициент активности (%) в пиковые часы зарядки ⁽⁴⁾
Высокая интенсивность использования беспроводной связи	30	60	25	4,5
Низкая интенсивность использования беспроводной связи	30	15	25	1,13

(1) В настоящее время преобладает использование диапазона частот 100–148,5 кГц. Ожидается, что в будущем наряду с диапазоном частот 100–148,5 кГц часть рынка займет диапазон 315–400 кГц. Ожидаемый уровень проникновения 30%.

(2) Ожидается, что к 2025 году уровень проникновения беспроводных зарядных устройств вырастет до 34%.

(3) Время зарядки составляет почти 8 часов. Разовая зарядка осуществляется в течение 2 часов.

(4) Основное время зарядки приходится на период с 23:00 до 7:00 (в течение 8 часов).

В качестве основы для анализа взято большое круизное судно. Выбрано судно AIDA Nova, показанное на рисунке 69.

РИСУНОК 69

AIDA Nova (<https://en.wikipedia.org/wiki/AIDANova>)



Модель разрабатывалась на основе планировки судна. См. рисунки 70 и 71.

РИСУНОК 70
Геометрическая модель судна (часть 1)

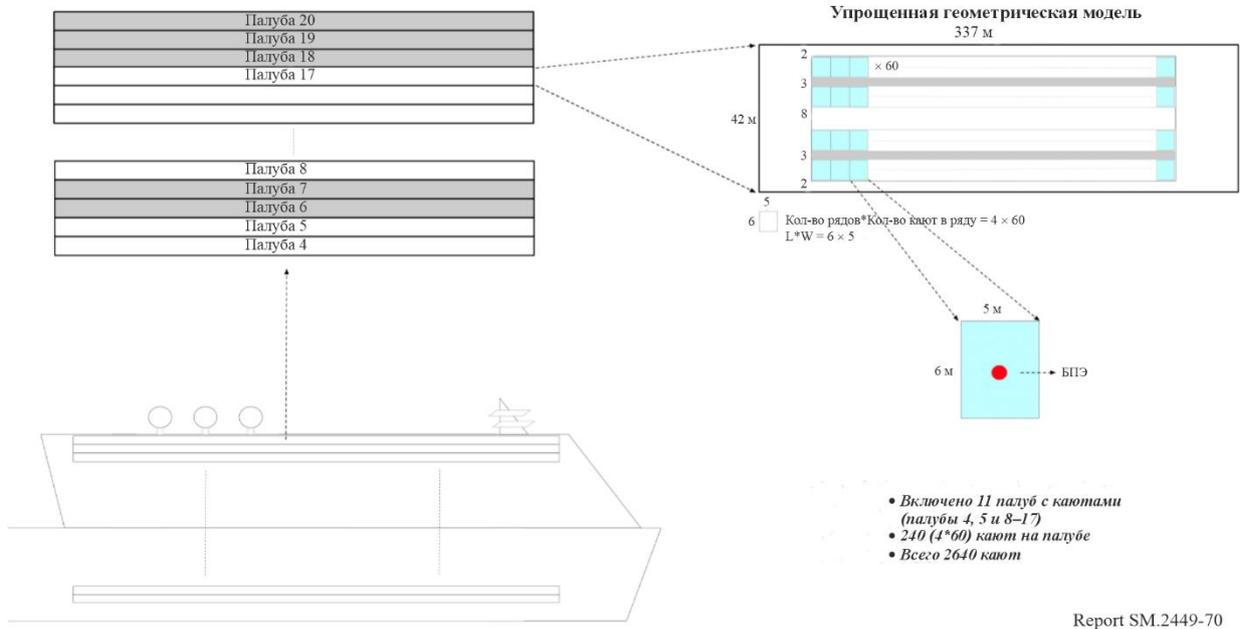
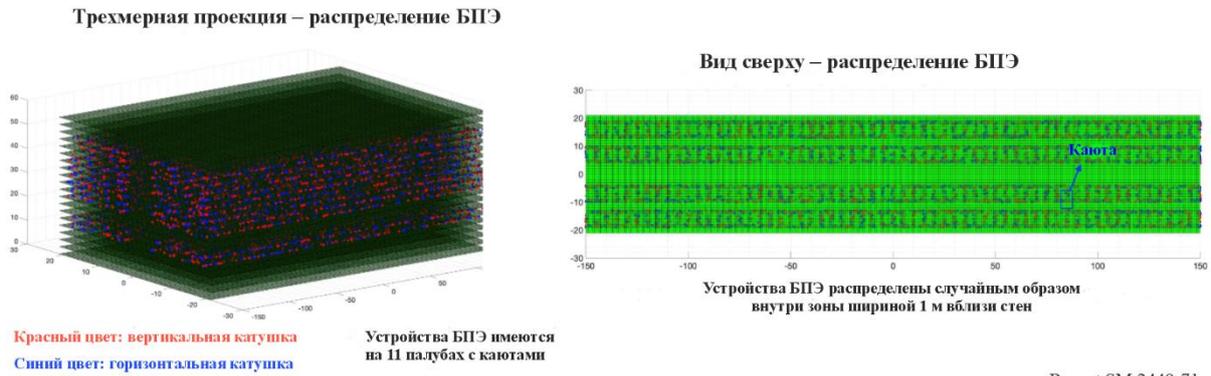


РИСУНОК 71
Геометрическая модель судна (часть 2)



Были изучены два различных сценария с использованием одного или двух устройств БПЭ на каюту.

Круизные суда построены главным образом из металлических конструкций, которые оказывают значительное влияние на магнитные поля, создаваемые зарядными устройствами БПЭ. Результаты измерений, приведенные в таблице 51, указывают на возможность следующего уровня воздействия (оранжевая рамка).

ТАБЛИЦА 51

Ослабление поля, вызванное различными (строительными) материалами

№ п/п	Материал	Расстояние (мм)	Потери (дБ)	Дополнительная информация
1	Деревянная дверь почтовой каюты	500	0	
2	Кирпичная стена почтовой каюты толщиной 280 мм	300	0	
3	Древесно-стружечная плита (ДСП) двойной толщины (50 мм)	500	0	
4		475	2	Панель толщиной 100 мм за генератором
5	Стальная панель, 600 × 1000 мм	475	10	Панель между генератором и приемником
6	Алюминиевая панель, 480 × 2000 мм	500	11	Горизонтальная панель
7		500	15	Вертикальная панель
8	Камера GTEM , сквозь стенку	500	> 34	Дверь должна быть плотно закрыта

Ослабление поля, вызванное металлическими конструкциями, приводит к снижению напряженности поля более чем на 10 дБ. Значение ослабления рассматривается как случайная величина в диапазоне 10–30 дБ.

Исследования проводились с учетом разных типов антенн ДГНСС – антенн поля *E* и антенн поля *H*. Результаты расчета суммарных помех приведены в таблицах 52 и 53.

ТАБЛИЦА 52

Сводные результаты расчета для устройств БПЭ на судне – антенна ДГНСС поля *H* (с использованием постоянного коэффициента *E/H*)

Количество кают	Площадь (м*м)	Количество устройств БПЭ на каюту	Плотность размещения БПЭ (/км ²)	Суммарное электрическое поле (вероятность 99,8%)		Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м) (R1/R2/R3)
				Коэфф. активности 1,1%	Коэфф. активности 4,5%	
4x60x11	42*337	1	186 520	-13,83	-6,53	18,89/11,02/17,04
4x60x11	42*337	2	373 039	-11,23	-2,08	18,89/11,02/17,04

ТАБЛИЦА 53

Сводные результаты расчета для устройств БПЭ на судне – антенна ДГНСС поля *E* (с использованием коэффициента *E/H*, зависящего от расстояния)

Количество кают	Площадь (м*м)	Количество устройств БПЭ на каюту	Плотность размещения БПЭ (/км ²)	Суммарное электрическое поле (вероятность 99,8%)		Максимально допустимый уровень помех (дБмкВ/м) (R1/R2/R3)
				Коэфф. активности 1,1%	Коэфф. активности 4,5%	
4x60x11	42*337	1	186 520	-27,65	-17,96	18,89/11,02/17,04
4x60x11	42*337	2	373 039	-23,61	-12,93	18,89/11,02/17,04

Результаты расчета для устройств БПЭ на судне

Моделирование позволяет сделать вывод о том, что устройства БПЭ на судне не создают вредных помех для бортового морского приемника ДГНСС. С учетом действующего максимально допустимого уровня помех во всех Районах и во всех случаях все еще остается запас более 13 дБ.

При этом не учитывались дополнительные смягчающие факторы, которые могут уменьшить воздействие, такие как влияние металлической конструкции судна, способной уменьшить напряженность поля на величину до 40 дБ, и диаграмма направленности антенны приемника ДГНСС. Самые высокие уровни излучения БПЭ будут по высоте ниже антенны ДГНСС, в то время как полезный сигнал поступает горизонтально.

11.4 Использование ДГНСС на подходе к порту

Оставшийся недостаточно изученным сценарий использования ДГНСС – навигация с повышенной точностью при входе судна в гавань или выходе из нее. Были проверены местоположения станций ДГНСС, ближайших к крупным портам рассмотренных выше стран. В каждом случае в непосредственной близости от этих портов имеются станции ДГНСС с уровнем напряженности поля, значительно превышающим минимальный.

11.5 Краткое изложение результатов

Моделирование показало, что электрическое поле, создаваемое устройствами БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств, не влияет на прием сигналов ДГНСС.

В сценарии, когда устройства БПЭ расположены на берегу, общее количество устройств БПЭ рассчитывалось таким образом, чтобы суммарные помехи были сопоставимы с допустимым уровнем. Расчетное количество устройств БПЭ для разных прибрежных городов значительно превышает ожидаемое в реальности.

В сценарии, когда устройства БПЭ находятся на борту судна, для суммарных помех во всех Районах оставляется запас не менее 13 дБ. Кроме того, в исследовании не учитывались дополнительные потери, вызванные конструкцией и выбором материалов конструкции судна. Также не применялась избирательность антенн ДГНСС, что еще больше понизило бы уровень суммарных помех.

Для сценария использования ДГНСС на подходе к порту местоположение передатчика ДГНСС выбирается таким образом, чтобы обеспечить значительный запас во избежание риска помех от устройств БПЭ.

12 Морская подвижная служба в связи с ГМССБ

Необходимо обеспечить защиту частот морских подвижных служб, используемых для связи для обеспечения безопасности человеческой жизни, перечисленных в Приложении 15 к РР, в частности частот 490 кГц, 518 кГц и 2187,5 кГц. Рабочие диапазоны частот 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц не пересекаются с этими диапазонами частот и не создают попадающих в них нечетных гармоник.

13 Службы SFTS, работающие в диапазоне частот 3995–4005 кГц в Районе 3

Исследования не проводились. Возможным решением является ограничение работы устройств БПЭ частотами выше 2005 кГц и исключение возможного попадания второй гармоники в используемый службой SFTS диапазон 3995–4005 кГц.

14 Исследование воздействия БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазоне частот 1700–1800 кГц на системы радиолокационной службы

Исследования не проводились.

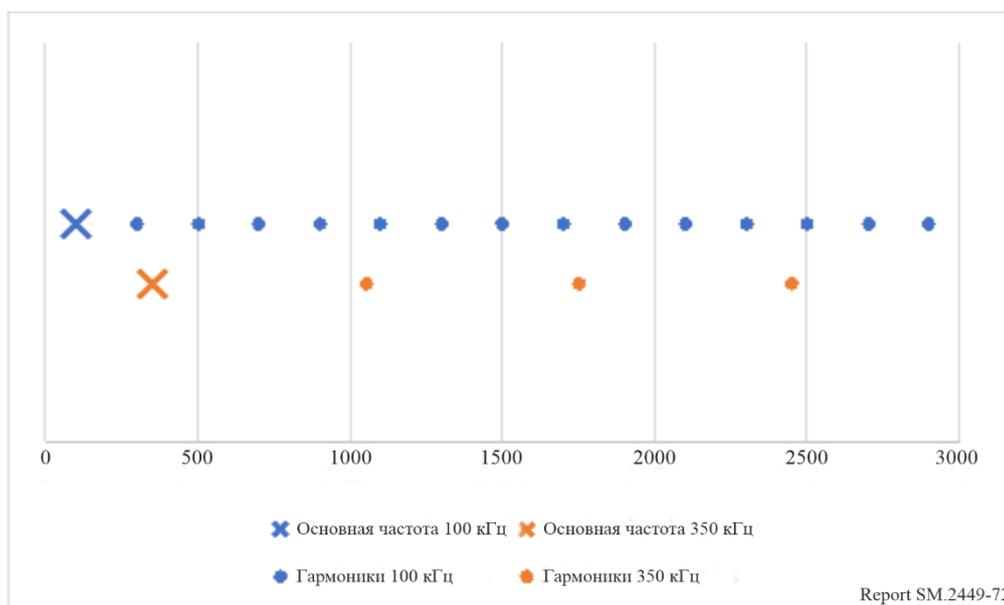
15 Сравнение воздействия зарядных устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц

Здесь важны два элемента – разница в частоте появления гармоник и разница в фактических уровнях излучения.

На рисунке 72 показано сравнение устройства БПЭ, работающего на частоте 100 кГц, с устройством, работающим на частоте 350 кГц, которое создает нечетные гармоники. Устройство БПЭ, работающее на частоте 100 кГц, создает 14 гармоник ниже 3 МГц, а устройство БПЭ, работающее на частоте 375 кГц, – только 3. В таком случае вероятность того, что служба радиосвязи будет затронута, в четыре–пять раз выше, когда устройство БПЭ работает в диапазоне более низких частот.

РИСУНОК 72

Частота появления гармоник ниже 3 МГц



Report SM.2449-72

Предельный уровень излучения на основной частоте для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, может достигать 37,7–42 дБмкА/м, тогда как для устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц, он не превышает –15 дБмкА/м (на расстоянии 10 м).

В реальной жизни устройства БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств могут не достигать уровней, показанных выше на рисунке 72. Тем не менее они могут быть весьма значительными. Как показано в пункте 6.3.7, фактические уровни некоторых зарядных устройств, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, на своей 3-й гармонике превышают уровень –15 дБмкВ/м.

Эти уровни соответствуют существующей нормативной базе во многих странах, но при значительно более высоких гармониках, чем те, что исходят от зарядного устройства БПЭ, работающего на пределе излучения на основной частоте –15 дБмкА/м.

Зарядные устройства БПЭ, работающие в диапазоне частот 315–405 кГц, представляют значительно меньший риск для радиослужб. В целом частота появления их гармоник намного ниже. Уровень этих гармоник также намного ниже, в частности из-за более низкого уровня излучений на основной частоте.

16 Заключение

В целях анализа воздействия БПЭ для мобильных и переносных устройств на службы радиосвязи использовалось моделирование излучений и были проведены измерения. В настоящем Отчете анализируется влияние помех на АМ-радиовещание, любительскую радиосвязь и воздушную радионавигацию (ADF/NDB), а также приведено исследование, анализирующее влияние БПЭ на уровень искусственного шума независимо от службы.

16.1 АМ-радиовещание в диапазоне 525–1700 кГц

Чтобы не создавать помех, устройства БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств должны располагаться на достаточном расстоянии от радиоприемников.

Согласно одному из исследований, требуемое расстояние разнесения для АМ-радиоприемников и устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, составляет 2,3 м, а согласно другому оно может быть значительно больше.

В ходе еще одного исследования было установлено, что требуемое расстояние разнесения для АМ-радиоприемников и устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц, в большинстве случаев составляет 1,5 м, когда выбрана рабочая частота устройства БПЭ 360 кГц, а уровень основного излучения на расстоянии 10 м находится в диапазоне от –25 до –35 дБмкА/м (–15 дБмкА/м в ETSI EN300 330), что намного меньше, чем для диапазона частот 100–148,5 кГц. Это исследование включало анализ чувствительности к ориентации устройств БПЭ и АМ-радиоприемников. При проведении одного из измерений было обнаружено зарядное устройство, для которого требовалось расстояние разнесения 2,3 м, что свидетельствует об увеличении расстояния разнесения при смещении частоты между гармоникой и серединой канала АМ-радиовещания на 500 Гц. В наихудшем случае смещение частоты относительно середины канала составило 1,6 кГц. Дальнейшие расчеты показывают, что при смещении частоты на 1,6 кГц вместо 500 Гц защитное расстояние увеличивается до 2,7 м. Однако для проверки этих расчетов могут потребоваться дополнительные измерения, чтобы исключить создание БПЭ потенциальных вредных помех системам АМ-радиовещания.

Устройства БПЭ, работающие в диапазоне частот 315–405 кГц, оказывают значительно меньшее влияние на АМ-радиовещание, чем устройства с рабочим диапазоном частот 100–148,5 кГц. Администрациям рекомендуется убедиться, что ситуация соответствует их национальным требованиям.

16.2 Любительская служба в диапазоне частот 135,7–137,8 кГц

Для того чтобы устройства БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств, работающие в диапазоне частот 100–148,5 кГц, не создавали помех приемникам служб радиосвязи, эти устройства должны быть разнесены на достаточное расстояние. Для любительской службы это расстояние составляет от 15,3 до 51,3 м в зависимости от сценария. Тем не менее в радиусе действия одного приемника, скорее всего, может находиться несколько устройств БПЭ, поскольку защитные расстояния в городской среде велики.

16.3 Воздушная радионавигация и устройства БПЭ, работающие в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц

В ходе исследований, проведенных для воздушной радионавигационной службы (ADF/NDB), было установлено, что требуемые расстояния разнесения намного меньше минимальных значений безопасной высоты полета.

16.4 Общий анализ воздействия БПЭ на службы радиосвязи (например, фиксированные и подвижные) для устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц

16.4.1 Исследование суммарных помех методом Монте-Карло

В этом исследовании методом Монте-Карло анализировалось количество помех, попадающих в полосу пропускания приемника, путем их сравнения с уровнем искусственного шума. Исследование показало, что предполагаемая плотность размещения устройств БПЭ во всех трех диапазонах частот (315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц) приводит к увеличению уровня шума выше медианного уровня, предсказанного в Рекомендации МСЭ-R P.372, на 1,2–2,1 дБ в зависимости от частоты только в городских районах с очень плотной застройкой. При использовании данных фактических измерений радиошума в Нидерландах повышение медианного уровня шума для трех диапазонов частот составило менее 0,3–0,7 дБ. Во всех остальных средах (городские районы с обычной застройкой и жилые районы)

повышение медианного уровня шума составило менее 0,4 дБ, 0,6 дБ или 0,8 дБ в зависимости от частоты.

Эти уровни соответствуют пиковым часам зарядки, которые обычно приходятся на ночное время. В дневное время повышение медианного уровня шума оказалось ниже.

Фактический уровень шума на расстоянии менее 10 м от устройства БПЭ может быть выше или ниже уровней искусственного шума, которые использовались в данном исследовании. Фактическое воздействие БПЭ на шумовую обстановку на таком близком расстоянии от зданий или внутри зданий не удалось оценить из-за отсутствия информации об уровнях искусственного шума для этого случая.

16.4.2 Исследование единичных помех методом Монте-Карло

В этом исследовании медианный уровень помех сравнивался с медианным уровнем искусственного шума и определялась точка, ниже которой помехи превышают уровень искусственного шума. Исследование показало, что при моделировании разных условий выравнивания положения зарядного устройства БПЭ относительно приемных катушек (от наилучшего до наихудшего излучения) расстояния, на которых уровень излучений зарядного устройства БПЭ опускается ниже медианного уровня искусственного шума, зависят от диапазона частот:

- в городах оно составляет 11–14 м при сравнении с медианным уровнем, предсказанным в Рекомендации МСЭ-R P.372, и 7–9 м при сравнении с уровнем, полученным в результате фактических измерений ради шума в Нидерландах;
- в жилых районах оно составляет 15–18 м при сравнении с медианным уровнем, предсказанным в Рекомендации МСЭ-R P.372, и 9–13 м при сравнении с уровнем, полученным в результате фактических измерений ради шума в Нидерландах.

Данное исследование единичных помех представляет собой анализ наихудшего случая, поскольку предполагается, что излучения БПЭ всегда имеют место в совмещенном канале с радиоприемником, а приемная антенна идеально расположена относительно поля, создаваемого устройством БПЭ.

Фактический уровень шума на расстоянии менее 10 м от устройства БПЭ может быть выше или ниже уровней искусственного шума, которые использовались в данном исследовании. Фактическое воздействие БПЭ на шумовую обстановку на таком близком расстоянии от зданий или внутри зданий не удалось оценить из-за отсутствия информации об уровнях искусственного шума для этого случая.

16.5 Воздействие БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц на системы морской радионавигационной службы/дифференциальные глобальные навигационные спутниковые системы (ДГНСС)

Результаты первого исследования единичных помех показывают, что при единичных помехах от БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств защитное расстояние для ДГНСС может достигать 47–51 м для третьей гармоники устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц на пределе нежелательных излучений, и 17 м для излучений на основной частоте от устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц на пределе основных излучений.

При фактически измеренных уровнях защитное расстояние составило 7–17 м для третьей гармоники устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 100–148,5 кГц, и 8–11 м для излучений на основной частоте устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–405 кГц. Устройства БПЭ для зарядки мобильных и переносных устройств, работающие в диапазоне частот 315–405 кГц, создают меньше помех для ДГНСС, чем гармоники устройств БПЭ, работающие в диапазоне 100–148,5 кГц.

Согласно второму исследованию единичных помех при таких помехах от БПЭ без использования луча для мобильных и переносных устройств защитное расстояние для ДГНСС без учета смягчающих факторов составляет 21 м, то есть устройства БПЭ должны находиться на расстоянии 21 м от приемника ДГНСС.

Администрациям следует учитывать требуемые расстояния разнесения при планировании использования диапазонов частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц для БПЭ, особенно для исключения создания БПЭ помех приемникам ДГНСС на берегу и на судах.

Первое исследование суммарных помех показало, что устройства БПЭ на берегу не оказывают воздействие на прием сигналов ДГНСС на борту судна.

Второе исследование суммарных помех показало, что магнитное и электрическое поля (типа H и E) устройств БПЭ, работающих в диапазоне частот 315–325 кГц, не оказывают воздействие на прием сигналов ДГНСС на большом круизном судне.

16.6 Морская подвижная служба в связи с ГМССБ

Обеспечивается защита частот морских подвижных служб, используемых для связи в целях обеспечения безопасности человеческой жизни, перечисленных в Приложении 15 к РР. В частности, это частоты 490 кГц, 518 кГц и 2187,5 кГц. Рабочие диапазоны частот БПЭ 315–405 кГц, 1700–1800 кГц и 2000–2170 кГц не пересекаются с этими диапазонами частот и БПЭ не создает попадающих в них нечетных гармоник.

16.7 Сравнение воздействия зарядных устройств БПЭ, работающих в диапазонах частот 100–148,5 кГц и 315–405 кГц

Зарядные устройства БПЭ, работающие в диапазоне частот 315–405 кГц, представляют меньший риск для радиослужб, чем зарядные устройства БПЭ, работающие в диапазоне 100–148,5 кГц. В целом они создают меньше гармоник. Уровень этих гармоник также намного ниже, в частности из-за более низкого уровня излучений на основной частоте.

Приложение 1

Справочные материалы

Документ МСЭ-R и номер	Название документа МСЭ-R
Региональное соглашение по Плану Женева, 1975 год (GE75)	
Рекомендация МСЭ-R P.368-7	Кривые распространения земной волны для частот между 10 кГц и 30 МГц
Рекомендация МСЭ-R P.372	Радиошум
Рекомендация МСЭ-R BS.468	Измерение уровня напряжения шума звуковой частоты в звуковом радиовещании
Рекомендация МСЭ-R BS.498	Ионосферная перекрестная модуляция в НЧ и СЧ радиовещательных диапазонах
Рекомендация МСЭ-R P.532	Ионосферные эффекты и эксплуатационные соображения, связанные с искусственной модификацией ионосферы и радиоканала
Рекомендация МСЭ-R BS.559	Объективное измерение защитных отношений по радиочастоте в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании
Рекомендация МСЭ-R BS.560	Защитные отношения по радиочастоте в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании
Рекомендация МСЭ-R BS.561	Определение излучений в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещательных диапазонах
Рекомендация МСЭ-R M.589	Технические характеристики методов передачи данных и защиты от помех для радионавигационной службы в частотных диапазонах между 70 и 130 кГц
Рекомендация МСЭ-R BS.638	Термины и определения, используемые при планировании частот в звуковом радиовещании
Рекомендация МСЭ-R BS.639	Необходимая ширина полосы излучения в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании

Документ МСЭ-R и номер	Название документа МСЭ-R
Рекомендация МСЭ-R BS.703	Характеристики АМ звуковых радиовещательных эталонных приемников для целей планирования
Рекомендация 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
Рекомендация МСЭ-R SM.1056	Ограничение излучений от промышленного, научного и медицинского (ПНМ) оборудования
Рекомендация МСЭ-R P.1147	Прогнозирование напряженности поля пространственной волны на частотах между приблизительно 150 и 1700 кГц
Рекомендация МСЭ-R P.1321	Факторы распространения радиоволн, влияющие на системы, использующие методы цифровой модуляции на НЧ и СЧ
Рекомендация МСЭ-R BS.1348	Требования к службе цифрового звукового радиовещания на частотах ниже 30 МГц
Рекомендация МСЭ-R BS.1386	Характеристики и диаграммы НЧ и СЧ передающих антенн
Рекомендация МСЭ-R BS.1387	Методика объективных измерений воспринимаемого качества звука
Рекомендация МСЭ-R BS.1514	Система цифрового звукового радиовещания в диапазонах радиовещания ниже 30 МГц
Рекомендация МСЭ-R M.1732-2	Характеристики систем, работающих в любительской и любительской спутниковой службах, в целях применения в исследовании по совместному использованию частот
Рекомендация МСЭ-R BS.1895	Критерии защиты систем наземного радиовещания
Рекомендация МСЭ-R SM.1896	Диапазоны частот для согласования на глобальном или региональном уровне устройств малого радиуса действия
Рекомендация МСЭ-R SM.2028	Расчет защитного расстояния между индукционными системами и службами радиосвязи, работающими на частотах ниже 30 МГц
Рекомендация МСЭ-R SM.2103	Согласование на глобальном уровне категорий устройств малого радиуса действия
Рекомендация МСЭ-R P.2109	Прогнозирование потерь на входе в здание
Рекомендация МСЭ-R SM.2110	Диапазоны частот для работы систем беспроводной передачи энергии (БПЭ) без использования луча
Рекомендация МСЭ-R SM.2129	Руководство по использованию диапазонов частот для работы систем беспроводной передачи энергии без использования луча для мобильных и переносных устройств
Отчет МСЭ-R BS.401	Передающие антенны в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании
Отчет МСЭ-R BS.458	Характеристики систем в НЧ, СЧ и ВЧ радиовещании
Отчет МСЭ-R SM.2057	Исследования по вопросам воздействия устройств, использующих сверхширокополосную технологию, на службы радиосвязи
Отчет МСЭ-R SM.2153	Технические и эксплуатационные параметры и использование спектра для устройств радиосвязи малого радиуса действия
Отчет МСЭ-R SM.2154	Технологии измерения загруженности спектра устройств радиосвязи малого радиуса действия
Отчет МСЭ-R SM.2179	Измерения для устройств радиосвязи малого радиуса действия
Отчет МСЭ-R SM.2180	Воздействие промышленного, научного и медицинского (ПНМ) оборудования на службы радиосвязи
Отчет МСЭ-R SM.2210	Воздействие излучений устройств малого радиуса действия на службы радиосвязи
Отчет МСЭ-R SM.2303	Беспроводная передача энергии с использованием технологий, не предусматривающих передачу с помощью радиочастотного луча

Другие справочные материалы

- [1] Measurement Methodology and Results of Measurements of Man-Made Noise Floor on HF in The Netherlands, T.W.H. Fockens, A.P.M. Zwamborn, F. Leverink, IEEE Transactions on EMC, Vol 61, No. 2, April 2019.
- [2] I. Landa, A. Arrinda, I. Eizmendi, M. M. Velez and I. Fernandez, “Man-made noise measurements in indoor locations in Medium Wave band”, Proceedings of the Fourth European Conference on Antennas and Propagation, Barcelona, 2010, pp. 1-5.
- [3] K. Fockens and F. Lefeink, “Correlation Between Measured Man-Made Noise Levels and the Density of Habitation”, in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, doi: 10.1109/TEMC.2020.3001979.
- [4] M. Iwama, “Estimation of Background Noise in HF-Band”, 2008 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility and 19th International Zurich Symposium on Electro- magnetic Compatibility, May 2008, Singapore, pp. 478-481.
- [5] ERC Recommendation 70-03: <https://docdb.cept.org/document/845>.
- [6] ERC Recommendation 74-01: <https://docdb.cept.org/document/1001>.
- [7] ERC Report 69: <https://docdb.cept.org/document/637>.
- [8] ECC Report 67: <https://docdb.cept.org/document/177>.

Приложение 2

Сокращения

Term	Explanation	Термин	Название
ADC	Analogue digital converter	АЦП	Аналого-цифровой преобразователь
ADF	Automatic direction finder		Автоматический радиопеленгатор
AM	Amplitude modulation	АМ	Амплитудная модуляция
BBC	British Broadcasting Corporation	Би-би-си	Британская радиовещательная корпорация
BW	Bandwidth		Полоса пропускания
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	ЕТСИ	Европейский институт стандартизации электросвязи
FCC	Federal Communications Commission	ФКС	Федеральная комиссия по связи
ISM	Industrial, scientific, and medical (applications)	ПНМ	Промышленные, научные и медицинские (применения)
LF	Low frequency	НЧ	Низкая частота
NDB	Non-directional beacon		Ненаправленный радиомаяк
RR	Radio Regulations	РР	Регламент радиосвязи
SCN	Single carrier noise		Шум одиночной несущей
TR	Technical report		Технический отчет
WGN	White gaussian noise		Белый гауссов шум
WPT	Wireless power transmission	БПЭ	Беспроводная передача энергии

Приложение 3

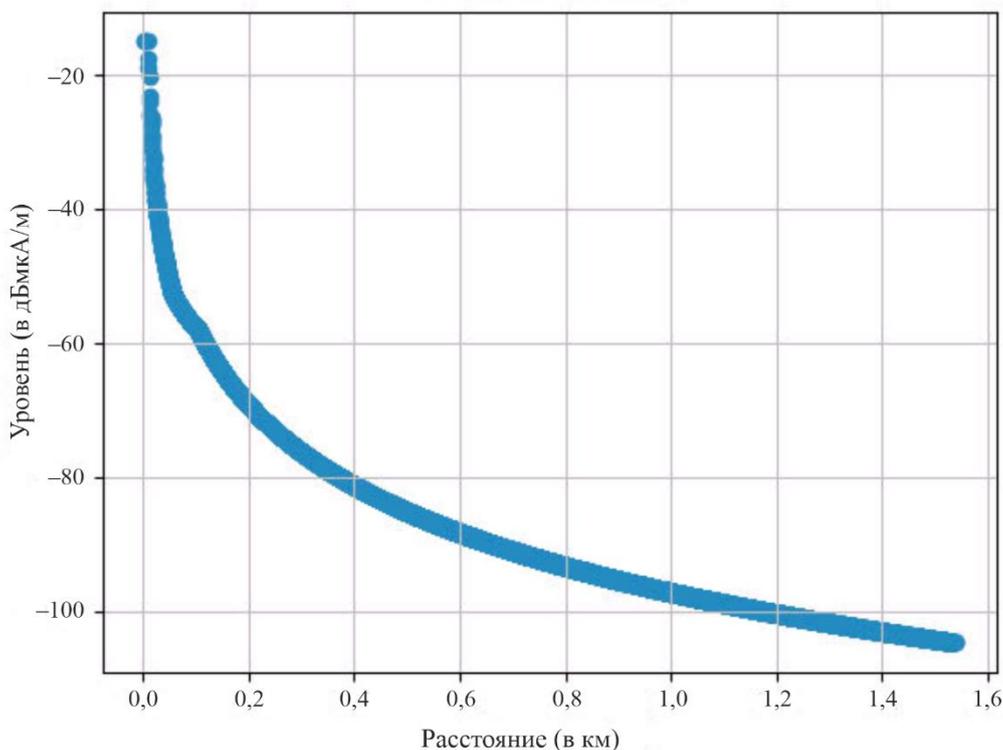
Модель распространения для излучений БПЭ

Расчет потерь при распространении основан на модели распространения, используемой в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.2028 для грунта типа 9. Он учитывает влияние магнитной связи на близких расстояниях (60 дБ на декаду) и потери в свободном пространстве (20 дБ на декаду) в дальней зоне. Переход между ближней и дальней зонами моделируется величиной 40 дБ на декаду. После дальней зоны предполагается распространение земной волны. Модель была запрограммирована на непосредственный вывод результатов в единицах дБмкА/м. Она прямо настроена на создание уровня -15 дБмкА/м на расстоянии 10 м.

РИСУНОК 73

Пример кривой потерь при распространении на частоте 2 МГц

Модель распространения



Report SM.2449-73