

**МСЭ-R**

Сектор радиосвязи МСЭ

**Отчет МСЭ-R SM.2503-0**

(07/2022)

**Оценка излучаемых бытовыми приборами электромагнитных помех для сети интернета вещей в полосе частот 915 МГц**

**Серия SM**

**Управление использованием спектра**



## Предисловие

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

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

### Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-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: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/ru>, 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: <http://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	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	<b>Управление использованием спектра</b>

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

Электронная публикация  
Женева, 2023 г.

© ITU 2023

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.2503-0

## Оценка излучаемых бытовыми приборами электромагнитных помех для сети интернета вещей в полосе частот 915 МГц

(2022)

### Сфера применения

Электронные устройства и сети таких устройств, в том числе те, которые не используются для электросвязи, могут создавать значительные электромагнитные помехи, способные повлиять на функциональные возможности существующих и будущих систем электросвязи, таких как интернет вещей (IoT), и их приложений. В настоящем Отчете оцениваются уровни электромагнитных помех, создаваемых бытовыми электроприборами, и возможное влияние этих помех на функционирование беспроводной сенсорной сети (WSN), работающей в некоторых администрациях в диапазоне частот 915 МГц, – системы, которая широко используется в IoT благодаря ее технической гибкости и низкой стоимости. Работа была разделена на три этапа. На первом этапе оценивались электромагнитные помехи, исходящие от бытовых электроприборов, на втором этапе определялись характеристики WSN путем оценки показателя уровня принимаемого сигнала (RSSI) и коэффициента ошибок по пакетам (PER) и, наконец, на третьем этапе оценивались значения RSSI и PER при включении в испытание бытового электроприбора. Результаты показали, что исследуемые бытовые электроприборы не соответствуют нормативным требованиям и существенно влияют на функционирование WSN.

### Принятые сокращения

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas (Brazilian Association of Technical Standards)		Бразильская ассоциация технических стандартов
CISPR	International Special Committee on Radio Interference	СИСПР	Международный специальный комитет по радиопомехам
IEC	International Electrotechnical Commission	МЭК	Международная электротехническая комиссия
NBR	Norma Brasileira (Brazilian Standard)		Бразильский стандарт
PER	Packet error rate		Коэффициент ошибок по пакетам
RSSI	Received signal strength indication		Показатель уровня принимаемого сигнала
SAC	Semi-anechoic chamber		Полубезэховая камера
Vac	Volts alternating current	В	Вольт переменного тока
WSN	Wireless sensor network		Беспроводная сенсорная сеть

### 1 Введение

Современное электро-/электронное оборудование и соответствующие сети, в том числе не предназначенные для электросвязи, могут создавать значительные электромагнитные помехи.

Эти явления связаны с динамикой работы электронных систем, наличием импульсных источников питания, нелинейных нагрузок, электромеханических устройств, логических схем и так далее. Такие электрические воздействия могут проявляться как индуктивные и кондуктивные помехи, и если их не подавить в источнике, они способны ухудшить и загрязнить электромагнитный спектр.

Данный фактор имеет потенциально серьезное значение для бытовой среды с высокой плотностью и большим количеством разнообразного электро-/электронного оборудования и сетей, которые могут напрямую влиять на характеристики служб радиосвязи в зоне обслуживания пользователей и потребителей.

В этом исследовании оценивалось поведение беспроводной сенсорной сети (WSN) при воздействии помех, вызванных бытовыми электроприборами, посредством анализа показателя мощности принимаемого сигнала (RSSI) и коэффициента ошибок по пакетам (PER).

Работа была разделена на три этапа. Сначала измеряли электромагнитное излучение, создаваемое бытовыми электроприборами. Затем провели измерение характеристик WSN с получением соответствующих значений RSSI и PER. Наконец, оценили WSN по тем же критериям при участии в испытании бытовых электроприборов.

## 2 Оборудование и установки

Все измерения проводились внутри полубезэховой камеры (SAC) ETS-LINDGREN, позволяющей работать в диапазоне частот от 9 кГц до 220 ГГц, с поворотным столом.

Использовались две антенны: UltraLog модели HL562E для измерений в диапазоне от 30 МГц до 1 ГГц и антенна с двойным гребенчатым волноводом модели 3117 для измерений в диапазоне от 30 МГц до 6 ГГц.

Измерителем служил измерительный приемник электромагнитных помех Rohde & Schwarz модели ESIB 40 с регулируемой полосой пропускания 200 Гц, 9 кГц, 120 кГц и 1 МГц с пиковым (PK), усредняющим (AVR) и квазипиковым (QPK) детекторами в соответствии с требованиями стандарта МЭК/СИСПР 16-1.

К WSN были подключены переменные аттенюаторы JFW Industries моделей 50R-029 (диапазон регулирования от 0 до 70 дБ с точностью 0,5 дБ) и 50R-019 (от 0 до 10 дБ с точностью 0,2 дБ). Для оценки этих аттенюаторов использовался анализатор сети Agilent Technologies модели E5071B.

Применялся радиомодуль BE900, сертифицированный компанией Anatel (Agência Nacional de Telecomunicações). Он обеспечивает беспроводную связь для применений контроля и управления с использованием модуляции 2-FSK с максимальной скоростью 250 кбит/с. Модуль оснащен программируемым процессором AVR ATmega328, радиочастотным приемопередатчиком CC1101 с выходной мощностью 10 дБм, чувствительностью -112 дБм при PER 1%, в котором использовался полосовой фильтр, настроенный для работы в диапазонах промышленного, научного и медицинского (ПНМ) применения 902–907,5 МГц и 915–928 МГц.

В качестве бытовых электроприборов, с которыми проводились измерения, в данном исследовании использовались два блендера (с напряжением питания 220 В и 127 В переменного тока) и пылесос. Кроме того, для комбинированных измерений использовались микроволновая печь и холодильник. Эти электроприборы были выбраны потому, что они типичны для жилых помещений и были доступны на момент исследований; их использование позволяло получить более полные результаты.

Измерения были выполнены в *Instituto de Pesquisas Eldorado* в рамках исследований, проводившихся выпускниками *Pontificia Universidade Católica de Campinas* (Сан-Паулу, Бразилия).

## 3 Методика

Сначала была проведена проверка SAC по методике, представленной в NBR ABNT МЭК/СИСПР 22<sup>1</sup>. Также проводился анализ фоновой шума со сканированием спектра с использованием антенны высотой от 1 до 4 м в вертикальном и горизонтальном положениях. Для получения характеристик и их сравнения с данными технического паспорта были проанализированы аттенюаторы в диапазоне частот от 400 МГц до 1000 МГц с помощью анализатора сети.

Для проведения измерений излучаемых электромагнитных помех бытовые приборы были размещены на расстоянии 80 см от пола на деревянном столе и над поворотным столом с соблюдением расстояния 10 м от измерительной антенны, как показано на рисунке 1.

---

<sup>1</sup> Бразильское издание СИСПР 22.



Измерения в диапазоне частот от 30 МГц до 1 ГГц проводились в соответствии с требованиями СИСПр 14-1; а измерения до 6 ГГц – в соответствии с СИСПр 22.

При первом анализе применялся пиковый детектор, а окончательные измерения основывались на квазипиковых величинах при пиках выше предела и вблизи частот WSN, особенно в полосе 915 МГц, согласно блок-схеме, показанной на рисунке В.1 в NBR ABNT МЭК/СИСПр 22. Для проведения этих измерений использовалось программное обеспечение EMC32 фирмы Rohde & Schwarz.

Для оценки WSN был написан код вычислений на языке программирования Python. Пакет размером 52 байта передавался последовательно через USB-интерфейс компьютера в базовую станцию WSN. В WSN выполнялось детектирование для оценки значений RSSI (как линии вверх, так и линии вниз) и PER. В обоих случаях установка помещалась внутри SAC для оценки поведения сети в контролируемой среде, как показано на рисунке 2. Для оценки уровня чувствительности перед базовой станцией были уставлены аттенюаторы. Чтобы избежать влияния на измерения, компьютер для сбора данных был размещен под полом SAC. Расстояние между базовой станцией и сенсорным узлом составляло примерно 4,5 м, они размещались на штативах на высоте 1 м от земли.

РИСУНОК 1

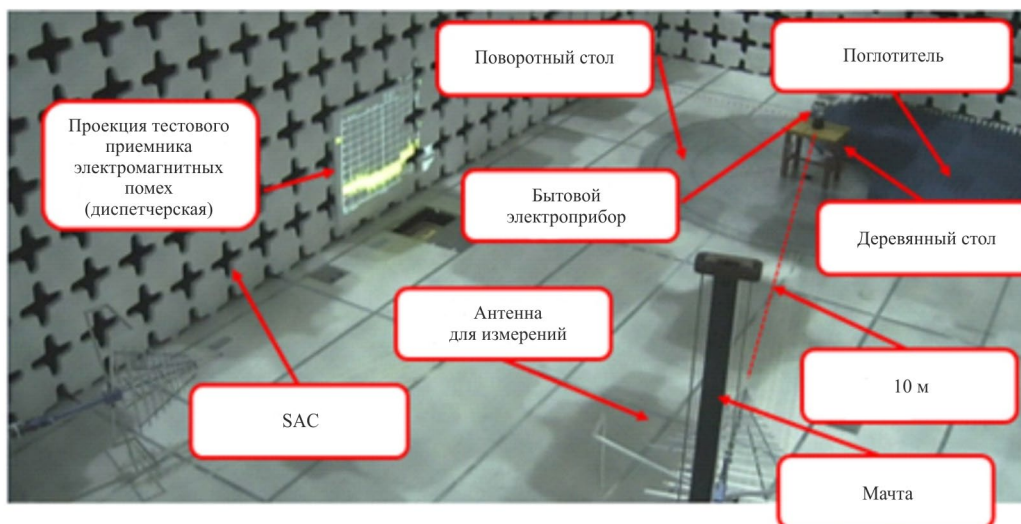
**Испытательная конфигурация для измерения электромагнитных помех**

РИСУНОК 2

## Конфигурация WSN внутри SAC без бытовых электроприборов



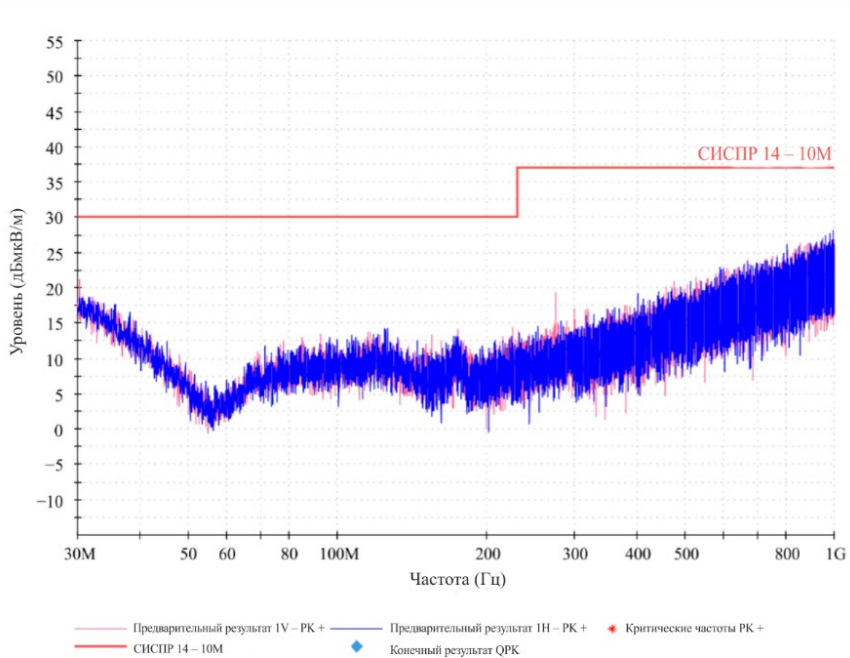
Отчет SM.2503-2

## 4 Измерение возмущений

На рисунке 3 показан фоновый шум, измеренный при выключенных бытовых электроприборах. На рисунках 4–7 представлены результаты измерений излучаемых электромагнитных помех при включенных бытовых электроприборах.

РИСУНОК 3

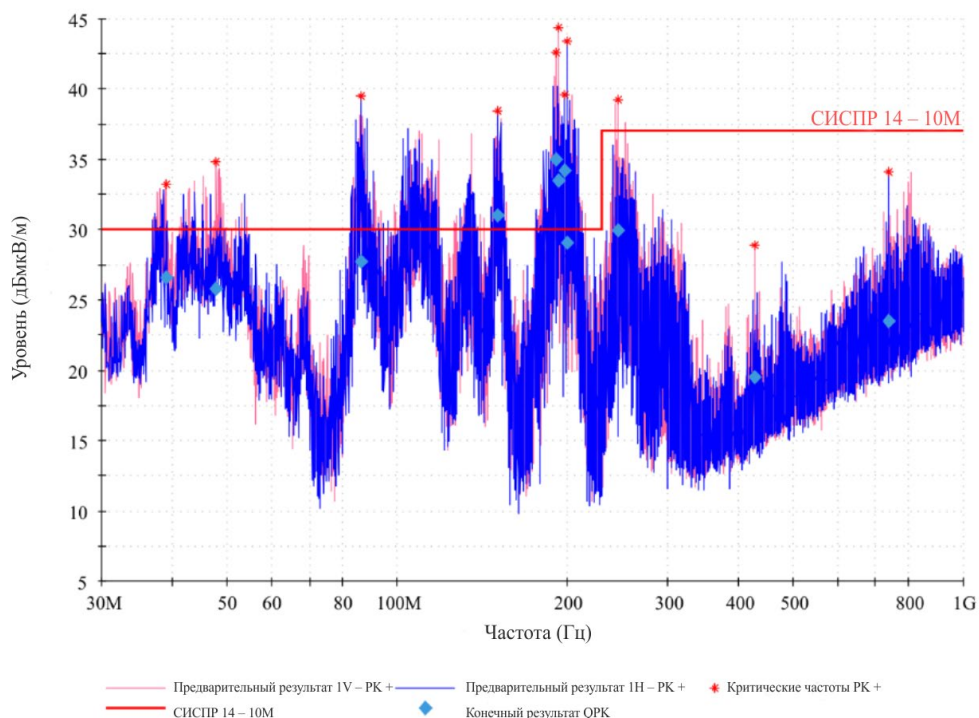
## Результат измерения помех – фоновый шум



Отчет SM.2503-3

Как видно на рисунке 4, при сканировании пиковых помех полученные значения превышают нормативный предел. Для частот вблизи 150, 190, 193 и 197 МГц превышался предел для измерения квазипиков, при этом самый высокий уровень превышал предел на 4,97 дБ. Можно сделать вывод, что данный пылесос не соответствует нормативным требованиям.

РИСУНОК 4  
Результат измерения помех – пылесос

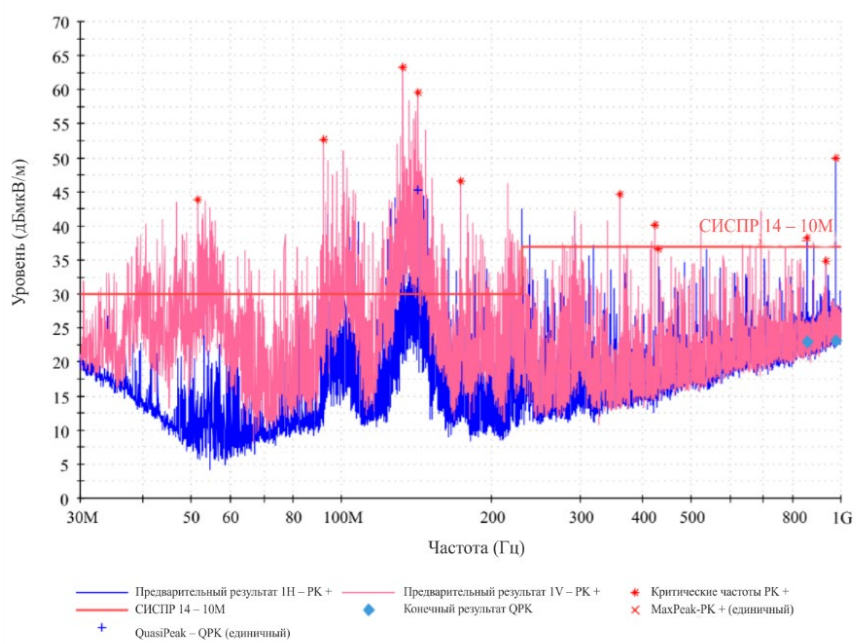


Отчет SM.2503-4

На рисунке 5 показаны измерения помех от блендера с напряжением питания 127 В переменного тока. Значения, полученные при сканировании пиковых помех, превышали нормативный предел. При оценке измерений квазипиковых помех значения были ниже предела и ближе к 900 МГц; однако при оценке должны учитываться все частоты, протестированные на соответствие требованиям. Примечательно, что устройство, помимо прочего, продемонстрировало высокий уровень помех в районе 150 МГц.

РИСУНОК 5

Результат измерения помех – блендер с напряжением питания 127 В переменного тока

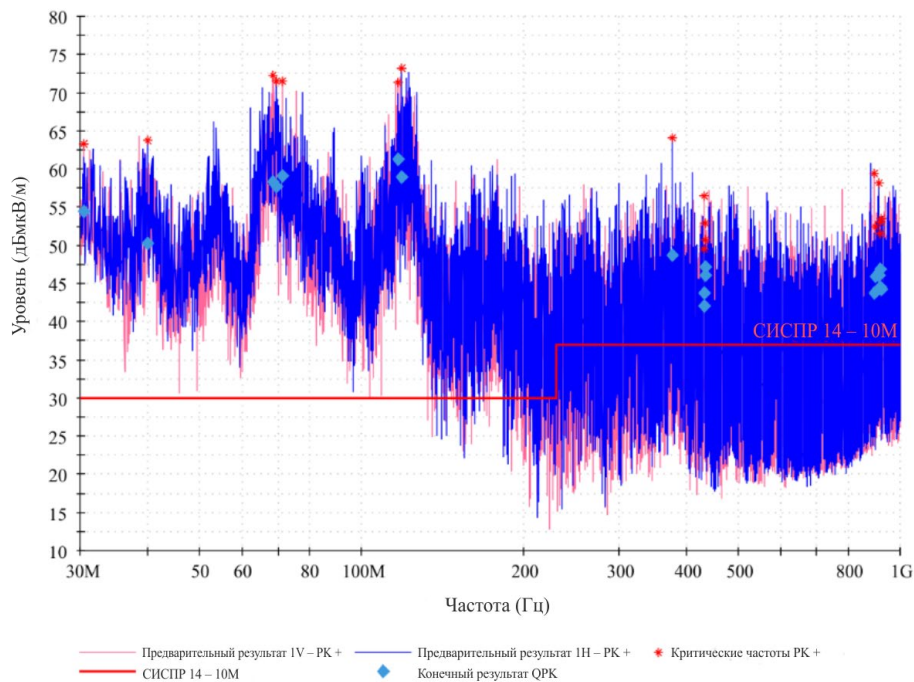


Отчет SM.2503-5

На рисунке 6 показан результат измерения возмущений от блендера с напряжением питания 220 В переменного тока. Он демонстрирует значительный уровень электромагнитных помех, превышающий нормативный предел более чем на 25 дБ. В диапазоне WSN возмущения были близки к превышению нормативного предела на 10 дБ. По итогам этого измерения ввиду высокого уровня помех данное устройство было выбрано для оценки с WSN.

РИСУНОК 6

Результат измерения помех – блендер с напряжением питания 220 В переменного тока



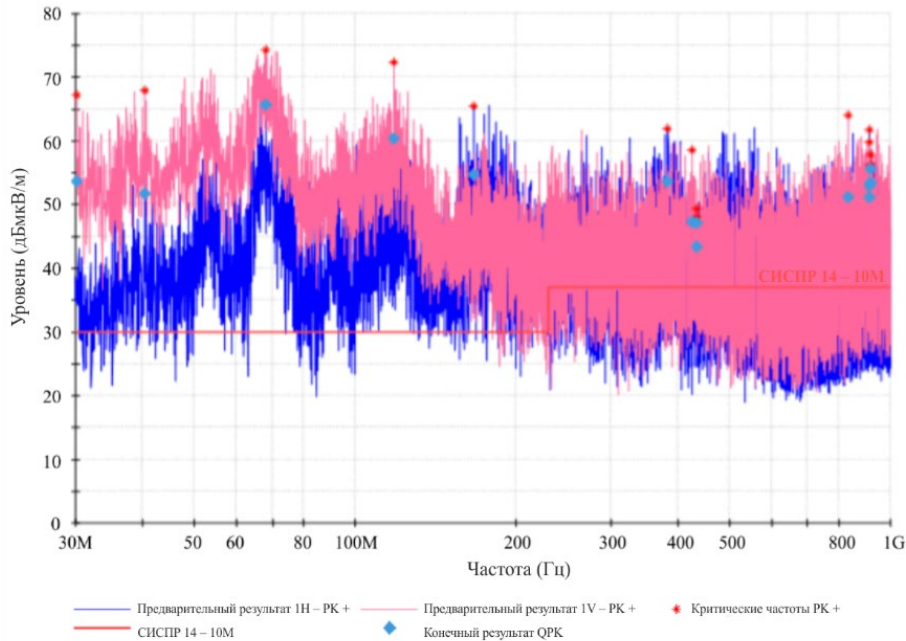
Отчет SM.2503-6



На рисунке 7 представлены результаты измерения помех при одновременной работе обоих блендеров. Уровни помех превышают нормативный предел более чем на 30 дБ, в частности в диапазоне частот WSN возмущения превышали нормативный предел примерно на 15 дБ.

РИСУНОК 7

Результат измерения помех – блендеры с напряжением питания 127 В и 220 В переменного тока

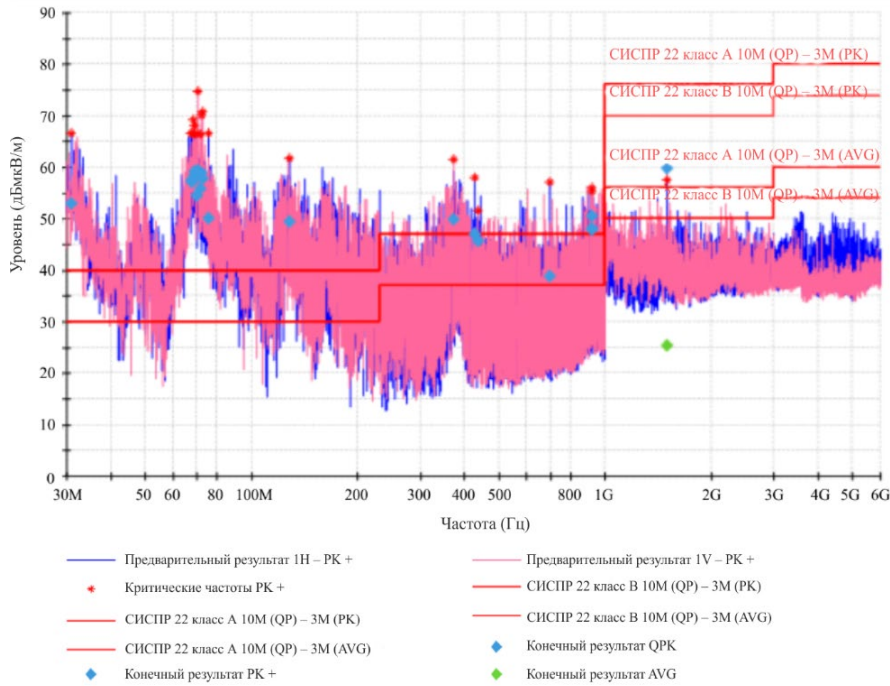


Отчет SM.2503-7

Дополнительно были проведены измерения комбинированных возмущений, исходящих от бытовых электроприборов разного типа. На рисунке 8 представлены измерения с использованием микроволновой печи, холодильника и блендера с напряжением питания 127 В переменного тока. Уровни превысили пределы на ряде частот, в том числе выше 1 ГГц.

РИСУНОК 8

Результат измерения помех – микроволновая печь, холодильник, блендер (127 В переменного тока)



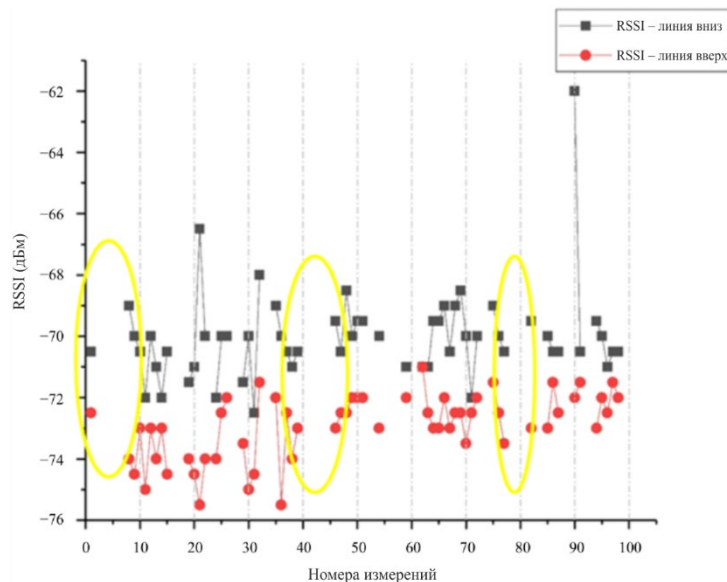
Отчет SM.2503-8

## 5 Оценка помех

На рисунке 9 представлен набор из 100 измерений RSSI WSN с бытовым электроприбором (блендер 220 В переменного тока) в безэховой камере. Желтыми метками показаны потери пакетов, вызванные электромагнитными помехами, исходящими от блендера. Полученное значение PER составило 42%, что привело к значительной потере трафика данных при эксплуатации WSN.

РИСУНОК 9

Анализ RSSI с бытовыми электроприборами – 100 измерений

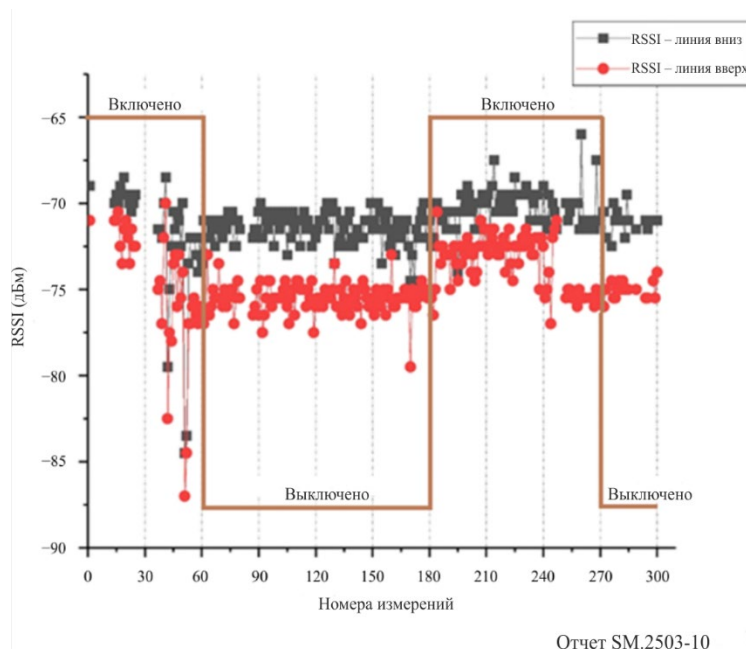


Отчет SM.2503-9

На рисунке 10 представлены 300 измерений, выполненных в то время, когда бытовой электроприбор был включен и выключен. При проведении измерений с 60-го по 180-е, когда бытовой электроприбор был выключен, WSN поддерживала стабильный уровень RSSI; однако в интервале измерений со 180-го по 270-е бытовой электроприбор был включен, и пакеты терялись из-за нестабильности RSSI.

РИСУНОК 10

Анализ RSSI с бытовыми электроприборами – 300 измерений



Отчет SM.2503-10

## 6 Выводы

На основании представленных результатов можно сделать вывод, что исследуемые бытовые электроприборы демонстрируют уровень излучаемых электромагнитных помех выше нормативного предела и способны существенно повлиять на функционирование WSN.

Чтобы проверить, как эти возмущения повлияли на WSN, внутри безэховой камеры в течение некоторого времени измерялись уровни RSSI и PER. Когда бытовые электроприборы не были подключены к сети, уровень RSSI оставался стабильным и потери пакетов не происходило. Включение в процесс испытания выбранного бытового электроприбора вносило нестабильность в RSSI, и уровень PER достигал 42%, что позволило сделать вывод о том, что помехи, создаваемые исследуемым бытовым электроприбором, существенно влияют на функционирование сети.

Эта работа ориентирована на WSN IoT, действующую в диапазоне 915 МГц; тем не менее некоторые помехи, создаваемые бытовыми электроприборами, были обнаружены и измерены на многих частотах, причем на некоторых из них имели гораздо более высокие уровни, чем указывалось для большей части исследуемого диапазона. Таким образом, эти помехи могут затрагивать и другие службы радиосвязи. В данном исследовании не учитывались частоты ниже 30 МГц, где помехи могут быть еще более значительными.

Настоящий Отчет стимулирует проведение исследований этих и других возможных случаев помех и показывает необходимость продолжения изучения указанных явлений в полосах частот, используемых или предусмотренных для сетей IoT, чтобы охватить помехи и возмущения, которые бытовые электроприборы могут создавать сетям IoT других конфигураций.

Более широкий взгляд на эту работу позволяет сделать вывод о том, что новые технологии, такие как IoT, могут планироваться или проектироваться, но при их практическом внедрении, особенно в бытовой среде, сети могут не функционировать должным образом из-за неожиданных помех, исходящих от различных видов непреднамеренных источников излучения, угрожая развитию технологий и их применению.

Поскольку для развития интеллектуальных сетей и умных городов требуется все больше конвергентного и интегрированного электро-/электронного оборудования и сетей, чрезвычайно важно учитывать технические концепции электромагнитной совместимости и любые необходимые требования для предотвращения помех, исходящих от непреднамеренных источников излучения, особенно для защиты существующих и будущих служб радиосвязи.

---