

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Отчет МСЭ-R SM.2180**  
(09/2010)

**Воздействие промышленного, научного и  
медицинского (ПНМ) оборудования  
на службы радиосвязи**

**Серия SM**  
**Управление использованием спектра**



## Предисловие

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

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

## Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

### Серии Отчетов МСЭ-R

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

Серия	Название
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	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 1 МСЭ-R.

Электронная публикация  
Женева, 2012 г.

© ITU 2012

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.2180

**Воздействие промышленного, научного и медицинского (ПНМ) оборудования  
на службы радиосвязи**

(2010)

## СОДЕРЖАНИЕ

*Стр.*

1	Введение.....	2
2	Определение и полосы частот.....	2
3	Применения ПНМ оборудования .....	3
4	Характеристики излучения радиоволн.....	5
4.1	Индукционный нагрев .....	6
4.2	Диэлектрический нагрев.....	7
4.3	Медицинские применения.....	8
5	Анализ возможных помех .....	8
5.1	Модели помех СИСПР.....	8
5.1.1	Базовая модель.....	8
5.1.2	Модель СИСПР для диапазона частот ниже 1 ГГц.....	10
5.1.3	Модель СИСПР для диапазона частот выше 1 ГГц .....	13
5.2	Анализ пределов СИСПР.....	15
5.3	Характеристики и критерии защиты служб радиосвязи.....	18
5.4	Эксплуатационные измерения излучения.....	19
5.4.1	Магнитно-резонансное исследование .....	20
5.4.2	Оборудование для индукционного нагрева .....	21
5.4.3	СВЧ-печь.....	21
6	Выводы.....	22
	Справочные документы .....	23
	Прилагаемый документ 1 – Результаты измерения сигнала МРИ.....	24
	Прилагаемый документ 2 – Результаты измерений оборудования для индукционного нагрева.....	30

## 1 Введение

Промышленное, научное и медицинское (ПНМ) оборудование для применений, не относящихся к связи, широко используется для разных целей: сушки, плавки, нагрева, сварки, подогрева, приготовления, размораживания, мягкой и твердой пайки, формовки, формирования изображений и т. д.

Недавно МСЭ-R была разработана Рекомендация МСЭ-R SM.1056 по защите радиослужб от излучений, создаваемых ПНМ оборудованием. Пределы излучений для ПНМ оборудования, рекомендованные МСЭ-R, содержат ссылки на пределы, указанные в Публикации 11 Международного специального комитета по радиопомехам (СИСР). Известно, что пределы СИСР 11 базируются на модели помех, представленной в Публикации 16-4-4 СИСР.

Предполагается, что используемое ПНМ оборудование и приемопередающие радиоустройства находятся в непосредственной близости друг от друга, поскольку число этих радиочастотных устройств растет. В связи с этим необходимо исследовать воздействие ПНМ оборудования на радиослужбы.

## 2 Определение и полосы частот

В этом разделе рассматриваются:

- 1 определения ПНМ применений;
- 2 полосы частот;
- 3 помехи, создаваемые оборудованием ПНМ, в соответствии с Регламентом радиосвязи (РР).

В отношении этих трех пунктов из РР сделаны следующие выдержки:

### 1 Определение

"**1.15** *промышленные, научные и медицинские (ПНМ) применения* (радиочастотной энергии): Работа оборудования или приборов, предназначенных для генерирования и местного использования радиочастотной энергии для промышленных, научных, медицинских, бытовых или подобных целей, за исключением применения в области электросвязи."

### 2 Полосы частот

"**5.138** Следующие полосы:

6765–6795 кГц	(центральная частота 6780 кГц);
433,05–434,79 МГц	(центральная частота 433,92 МГц) в Районе 1, за исключением стран, упомянутых в п. <b>5.280</b> ;
61–61,5 ГГц	(центральная частота 61,25 ГГц);
122–123 ГГц	(центральная частота 122,5 ГГц); и
244–246 ГГц	(центральная частота 245 ГГц)

предназначены для промышленных, научных и медицинских применений (ПНМ). Использование этих полос частот для применений ПНМ должно производиться по специальному разрешению соответствующей администрации, при согласии других администраций, чьи службы радиосвязи могут быть затронуты. При применении настоящего положения администрации должны учитывать соответствующие последние Рекомендации МСЭ-R.

**5.280** В Германии, Австрии, Боснии и Герцеговине, Хорватии, бывшей югославской Республике Македонии, Лихтенштейне, Черногории, Португалии, Сербии, Словении и Швейцарии полоса 433,05–434,79 МГц (центральная частота 433,92 МГц) предназначается для промышленных, научных и медицинских применений (ПНМ). Работающие в указанной полосе службы радиосвязи этих стран должны мириться с вредными помехами, которые могут быть созданы этими применениями. Оборудование ПНМ используется в этой полосе в соответствии с положениями п. **15.13**. (ВКР-07)"

<b>"5.150</b>	Следующие полосы:	
	13 553–13 567 кГц	(центральная частота 13 560 кГц);
	26 957–27 283 кГц	(центральная частота 27 120 кГц);
	40,66–40,70 МГц	(центральная частота 40,68 МГц);
	902–928 МГц	в Районе 2 (центральная частота 915 МГц);
	2 400–2 500 МГц	(центральная частота 2 450 МГц);
	5 725–5 875 МГц	(центральная частота 5 800 МГц); и
	24–24,25 ГГц	(центральная частота 24,125 ГГц)

предназначаются также для промышленных, научных и медицинских применений (ПНМ). Работающие в этих полосах службы радиосвязи должны мириться с вредными помехами, которые могут быть вызваны такими применениями. Промышленное, научное и медицинское оборудование работает в этих полосах согласно положениям п. 15.13."

### 3 Помехи, создаваемые ПНМ оборудованием

**"15.12 § 8** Администрации должны предпринимать все практически осуществимые и необходимые меры для того, чтобы работа всевозможной электрической аппаратуры и установок, включая сеть линий электропередач и распределительную сеть электросвязи, но исключая оборудование для промышленного, научного и медицинского применения, не создавала вредных помех какой-либо службе радиосвязи и, в особенности, радионавигационной или любой другой службе безопасности, работающей в соответствии с положениями настоящего Регламента<sup>1</sup>.

**15.13 § 9** Администрации должны предпринимать все практически осуществимые и необходимые меры для того, чтобы радиация от промышленного, научного и медицинского оборудования была минимальной и чтобы радиация от такого оборудования вне полос, предназначенных для такого оборудования, была на уровне, не создающем вредных помех какой-либо службе радиосвязи и, в особенности, радионавигационной службе или любой другой службе безопасности, работающей в соответствии с положениями настоящего Регламента<sup>1</sup>."

### 3 Применения ПНМ оборудования

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.1056 примерами ПНМ применений являются:

#### Оборудование для индукционного нагрева (ниже 1 МГц)

- домашние индукционные плитки;
- плавка металла;
- сушка поленьев;
- сварка труб;
- пайка;
- нагрев компонент;
- точечная сварка;
- выборочная тепловая обработка поверхности металла;
- выращивание и очистка полупроводниковых кристаллов;
- склейка соединительными элементами автомобильных кузовов;
- сварка упаковки;
- нагрев стальных полос для гальванизации, отжига и сушки после краски.

---

<sup>1</sup> **15.12.1** и **15.13.1** В этом отношении администрации должны руководствоваться соответствующими новейшими Рекомендациями МСЭ-R.

**Оборудование для радиочастотного диэлектрического нагрева (1–100 МГц)**

- сушка фанеры и деловой древесины;
- сушка текстиля;
- сушка стекловолокна;
- сушка бумаги и бумажных покрытий;
- подогрев пластмасс;
- сварка и формовка пластмасс;
- разогрев и сушка продуктов питания;
- размораживание мяса и рыбы;
- сушка внутри плавильни;
- сушка клея;
- сушка пленки;
- полимеризация склеивающих веществ;
- подогрев материалов.

**Медицинское оборудование**

- оборудование ВЧ и СВЧ диатермии и гипертермии;
- хирургический электроинструмент (ХЭИ);
- магнитно-резонансное исследование (МРИ);
- ультразвуковое исследование.

**СВЧ-оборудование (выше 900 МГц)**

- домашние и коммерческие СВЧ-печи;
- размораживание, подогрев и приготовление пищи;
- отверждение красок и покрытий;
- вулканизация резины;
- фармацевтические процессы.

**Разное оборудование**

- радиочастотное возбуждение сварочной дуги;
- оборудование для электроискровой обработки.

**Лабораторное и научное оборудование**

- сигнал-генераторы;
- измерительные приемники;
- счетчики частоты;
- измерители потока;
- анализаторы спектра;
- взвешивающие устройства;
- устройства химического анализа;
- электронные микроскопы;
- импульсные источники питания (не встроенные в оборудование).

В таблице 1 показаны различные применения ПНМ оборудования в разбивке по рабочей частоте.

ТАБЛИЦА 1  
Примеры применений ПНМ оборудования

Частота (МГц)	Применения
Ниже 0,15	Промышленный индукционный нагрев (сварка и плавка металлов) Ультразвуковая очистка (15–30 кГц) Медицинские применения (ультразвуковая диагностика)
0,15–1	Индукционный нагрев (тепловая обработка, сварка упаковки, сварка и плавка металлов) Медицинская ультразвуковая диагностика
1–10	Хирургическая диатермия (генератор затухающих колебаний 1–10 МГц) Обработка и склейка дерева (3,2 МГц и 6,5 МГц) Производство полупроводниковых материалов с использованием индукционных ламповых генераторов Радиочастотная стабилизация сварочной дуги (генератор затухающих колебаний 1–10 МГц)
10–100	Диэлектрический нагрев (большинство работает на частотах полос ПНМ 13,56; 27,12 и 40,68 МГц, но многие работают на частотах вне полос ПНМ): – керамики – сушка внутри плавильни – сушка текстиля – промышленные продукты (склейка и сушка книг, бумаги) – продукты (разогрев, размораживание мяса и рыбы) – сушка растворителей – сушка и склейка дерева (фанеры и деловой древесины) – общая диэлектрическая сушка – нагрев пластмасс (их сварка и формовка) Медицинские применения – медицинская диатермия (27 МГц) – магнитно-резонансное исследование (10–100 МГц, в больших экранированных комнатах)
100–1 000	Приготовление пицци (915 МГц) Медицинские применения (433 МГц) Радиочастотные генераторы плазмы Вулканизация резины (915 МГц)
Выше 1 000	Радиочастотные генераторы плазмы Домашние СВЧ-печи (2 450 МГц) Коммерческие СВЧ-печи (2 450 МГц) Вулканизация резины (2 450 МГц) Ультрафиолетовая полимеризация, возбужденная радиочастотой

#### 4 Характеристики излучения радиоволн

В целом характеристики излучения радиоволн ПНМ оборудования зависят от рабочей частоты, формы сигнала, создаваемого РЧ-источником, структуры излучателя, окружающей структуры излучателя и т. д. Кроме того, характеристики излучения радиоволн зависят от расстояния от ПНМ оборудования. В соответствии с общепринятой теорией антенн пространство вокруг излучателя делится на три зоны, как показано на рисунке 1:

- реактивная (индуктивная) ближняя зона;
- излучающая ближняя зона (зона Френеля);
- дальняя зона (зона Фраунгофера). Следовательно, характеристики излучения радиоволн, воздействующего на устройства радиосвязи, могут различаться в зависимости от расстояния между излучателями и устройствами, испытывающими помехи.

РИСУНОК 1

**Зоны поля антенны**

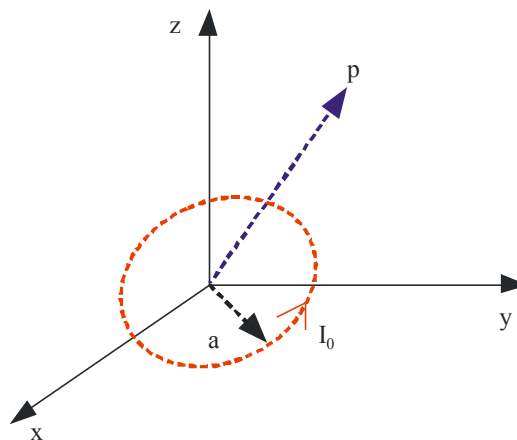
Report SM.2180-01

**4.1 Индукционный нагрев**

Индукционный нагрев является процессом, который используется для склеивания, размягчения или закаливания металлов или других проводящих материалов за счет применения теории трансформаторов. При подаче переменного электрического тока на первичную обмотку трансформатора возникает переменное магнитное поле. Согласно закону Фарадея, если вторичная обмотка этого трансформатора расположена в магнитном поле, то возникнет электрический ток, называемый вихревым. В простейшем оборудовании для индукционного нагрева катушка служит в качестве первичной обмотки, а токопроводящий объект, подлежащий нагреву, становится короткозамкнутой вторичной обмоткой.

В связи с тем что форма катушки индукционного нагрева аналогична круглой рамочной антенне, характеристики излучения радиоволн, создаваемого такой катушкой, аналогичны характеристикам круглой рамочной антенны. В частности, поскольку рабочая частота индукционного нагрева составляет менее 1 МГц, длина волны превышает 300 м, что гораздо больше радиуса катушки индукционного нагрева. Таким образом, катушка индукционного нагрева может рассматриваться как круговая рамочная антенна небольшого размера.

РИСУНОК 2

**Геометрические характеристики круговой рамочной антенны**

Report SM.2180-02



При размещении системы радиосвязи возле катушки индукционного нагрева ( $kr \ll 1$ ) преобладающие электромагнитные поля, влияющие на устройство, можно приближенно выразить формулой:

$$H_r = \frac{a^2 I_0 \cos \theta}{2r^3} e^{-jkr} \quad (1)$$

$$H_\theta = \frac{a^2 I_0 \sin \theta}{4r^3} e^{-jkr} \quad (2)$$

$$E_\phi = -j \frac{ka^2 I_0 \sin \theta}{4r^2} e^{-jkr} \quad (3)$$

$$E_r = E_\theta = E_\phi = 0, \quad (4)$$

где  $a$  – радиус катушки индукционного нагрева,  $k$  – волновое число, а  $r$  – расстояние измерения.

Два магнитных поля совпадают по фазе. Однако у них имеется сдвиг по фазе с электрическим полем на четверть периода. Следовательно, усредненный во времени поток мощности, связанный с этими полями, отсутствует. Кроме того, поскольку  $r \rightarrow 0$ , напряженность магнитного поля многократно превышает напряженность электрического поля. В связи с этим уравнения (1)–(4) называются уравнениями квазистационарных магнитных полей.

Если положение, в котором выполняется измерение, находится за пределами системы индукционного нагрева ( $kr \gg 1$ ), преобладающие электромагнитные поля можно приближенно выразить формулой:

$$H_\theta = - \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (5)$$

$$E_\phi = \eta \frac{(ka)^2 I_0 \sin \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (6)$$

$$E_r = H_r = E_\theta = E_\phi = 0. \quad (7)$$

Электрическое и магнитное поля совпадают по фазе и обратно пропорциональны  $r$ . Электрическое и магнитное поля небольшой рамочной антенны в дальней зоне взаимно перпендикулярны и расположены в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения. Они образуют равномерную плоско-сферическую волну, полное сопротивление которой равно внутреннему полному сопротивлению среды.

## 4.2 Диэлектрический нагрев

Оборудование для диэлектрического нагрева предназначено для нагрева интересующих диэлектрических материалов, например дерева, текстиля, деловой древесины и т. д. Нагрев достигается за счет излучения СВЧ-радиоволн, которые нагревают поляризованные молекулы диэлектрических материалов. Оборудование для диэлектрического нагрева состоит из генератора мощности, например магнетрона, резонатора или камеры, волновода и регулятора мощности РЧ-сигнала. Обычно резонатор состоит из металлических пластин, и создаваемые магнетроном микроволны отражаются от металлической стенки резонатора, в котором они поглощаются диэлектрическими материалами.

Если оборудование для диэлектрического нагрева находится в полностью закрытой металлической конструкции, то предполагается, что оно не излучает радиоволны. В связи с тем что диэлектрические материалы помещаются в резонатор через дверь, то утечка СВЧ-излучения происходит через небольшую щель, возникающую из-за открывания и закрывания двери, которая выступает в качестве апертурной антенны. Таким образом, характеристики излучения оборудования для диэлектрического нагрева аналогичны характеристикам апертурных антенн.

Так, например, длина волны СВЧ-излучения, применяемая в оборудовании для диэлектрического нагрева, составляет примерно 10 см ~ 30 м. В домашних СВЧ-печах используется частота 2,45 ГГц, длина волны которой составляет около 12,2 см. Так как эта длина волны не превышает габаритов оборудования, то размер или длина апертуры становится сравнимой с длиной волны. Радиоволна, излучаемая оборудованием для диэлектрического нагрева, может выступать в качестве излучения, создаваемого фазированной антенной решеткой.

### 4.3 Медицинские применения

Магнитно-резонансное исследование (МРИ) или ядерное магнитно-резонансное исследование (ЯМРИ) – это, главным образом, метод формирования медицинских изображений, который наиболее широко используется в радиологии для наглядного отображения внутренней структуры и функционирования организма. В отличие от компьютерной томографии (КТ) в этом методе используется не ионизирующее излучение, а мощное магнитное поле, которое ориентирует вектор ядерной намагниченности атомов (в основном) водорода в воде, содержащейся в организме. Радиочастотные (РЧ) поля используются для того, чтобы систематически изменять ориентацию вектора намагниченности, заставляя ядра водорода создавать круговое магнитное поле, которое обнаруживается сканером. Обычно системы МРИ устанавливаются в больших экранированных помещениях для защиты от внешних электромагнитных полей, а также предотвращения излучения РЧ-поля наружу.

Так как РЧ-катушка в оборудовании МРИ образует изогнутую прямоугольную петлю, характеристики излучения радиоволн аналогичны характеристикам рамочной антенны. Длина волны РЧ-сигнала при МРИ составляет около 3~30 м и сравнима в размером РЧ-катушки. Таким образом, характеристики излучения аналогичны характеристикам обычной рамочной антенны.

Экранированное помещение, в котором осуществляется МРИ, можно рассматривать в качестве резонатора с небольшими щелями, а также коммуникационными и электрическими кабелями. РЧ-катушка в оборудовании МРИ становится источником возбуждения резонатора, а излучение за пределы экранирующего помещения происходит через небольшие щели и кабели. Таким образом, характеристики излучения МРИ аналогичны характеристикам апертурной антенны и проволочной антенны.

## 5 Анализ возможных помех

В этом разделе рассматриваются:

- 1 модели помех СИСПР;
- 2 пределы, приведенные в Публикации 11 СИСПР;
- 3 результаты некоторых эксплуатационных измерений излучения.

### 5.1 Модели помех СИСПР

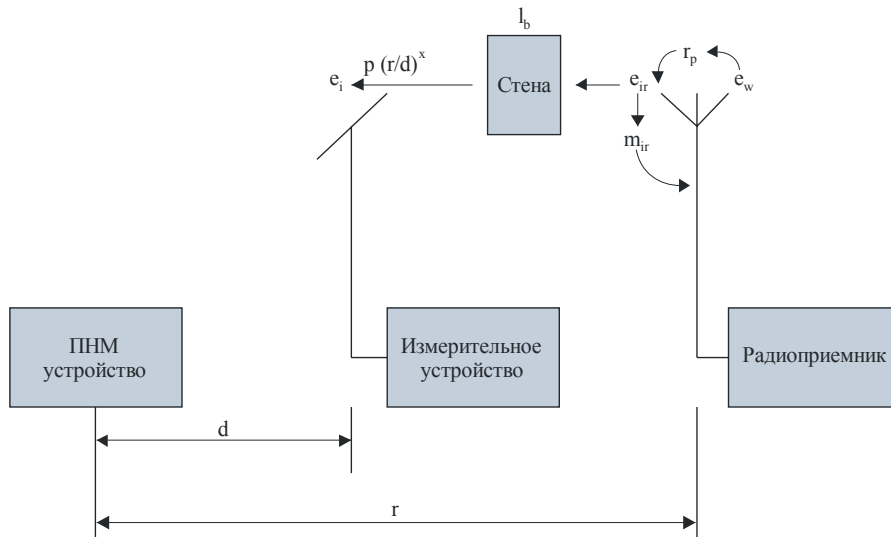
В этом разделе излагается вероятностная модель помех, разработанная СИСПР в целях защиты радиоприемников, находящихся в непосредственной близости от ПНМ устройств. В Публикации 16-4-4 СИСПР представлены две модели для частот выше или ниже 1 ГГц, которые определяют пределы излучений радиоволн ПНМ устройствами с использованием теории вероятности. Эти модели СИСПР являются эффективными средствами оценки воздействия ПНМ устройств на радиослужбы.

#### 5.1.1 Базовая модель

Модели СИСПР основаны на статистическом методе. На рисунке 3 изображена базовая модель СИСПР для определения пределов излучения радиоволн от ПНМ устройств. На этом рисунке  $e_w$  – напряженность поля полезного сигнала, подлежащего защите, на расстоянии  $r$  м в месте расположения антенны приемника, испытывающего помехи;  $e_{ir}$  – напряженность поля допустимой помехи в месте расположения антенны приемника, испытывающего помехи, которая рассчитывается по формуле  $e_{ir} = e_w / r_p$ , где  $r_p$  – защитное отношение;  $m_{ir}$  – коэффициент согласования по поляризации

между волной  $e_{ir}$  и антенной приемника, испытывающего помехи;  $l_b$  – коэффициент экранирования зданиями и другими препятствиями;  $d$  – расстояние между измерительным устройством и ПНМ устройством;  $x$  – коэффициент распространения волны.

РИСУНОК 3  
 Схема модели СИСПР для расчета предела помех от ПНМ устройства



Report SM.2180-03

С помощью этих параметров регулируемая напряженность поля помехи, которая создается источником помех на расстоянии  $d$ , обозначаемая через  $e_i$ , рассчитывается по следующей формуле:

$$e_i = p [(e_w/r_p) m_{ir} l_b (r/d)^x], \tag{8}$$

где:

$p$  – комплексный статистический коэффициент вероятности, который рассчитывается как следующее произведение:  $p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_8 \cdot p_9 \cdot p_{10}$ , где:

- $p_1$ : вероятность того, что главный лепесток излучения расположен в направлении приемника, испытывающего помехи;
- $p_2$ : вероятность того, что направленные приемные антенны испытывают максимальную наводку в направлении источника помех;
- $p_3$ : вероятность того, что приемник, испытывающий помехи, является стационарным;
- $p_4$ : вероятность того, что ПНМ оборудование создает сигнал помехи на критической частоте;
- $p_5$ : вероятность того, что уровень соответствующей гармоники находится ниже предельного значения;
- $p_6$ : вероятность того, что тип создаваемого сигнала помехи будет оказывать существенное влияние на приемную систему;
- $p_7$ : вероятность одновременной работы источника помех и приемной системы;
- $p_8$ : вероятность того, что источник помех находится на расстоянии, на котором вероятно возникновение помехи;

- $p_9$ : вероятность совпадения того, что величина излучения на границе зоны обслуживания защищаемой службы в точности соответствует пределу РЧ-помехи; и
- $p_{10}$ : вероятность того, что здания обеспечивают ослабление.

Будучи выраженным в логарифмических единицах, уравнение (8) может быть записано в следующем виде:

$$E_i = P + E_w - R_p + M_{ir} + L_b + x \cdot 20 \log(r/d). \quad (9)$$

### 5.1.2 Модель СИСПР для диапазона частот ниже 1 ГГц

Для частот ниже 1 ГГц предполагается, что значение  $p$  равно 1. Вероятность того, что фактическое отношение сигнала к помехе,  $R$ , на входе антенны приемника превышает минимально допустимое отношение сигнала к помехе,  $R_p$ , равна предварительно заданному качеству приема,  $q$ , и выражается следующей формулой:

$$\Pr\{R(m_R, s_R) > R_p\} = q, \quad (10)$$

где:

- $\Pr\{ \}$ : функция вероятности;
- $R(m_R, s_R)$ : фактическое отношение сигнала к помехе как функция от ее среднего значения ( $m_R$ ) и стандартного отклонения ( $s_R$ );
- $R_p$ : минимально допустимое отношение сигнала к помехе (защитное отношение) и логарифмическое значение  $r_p$ ;
- $q$ : указанное значение, характеризующее надежность связи.

С помощью изображенной на рисунке 3 модели  $R$  можно выразить через полезный сигнал, сигнал помехи, потери при распространении и усиление антенны в виде следующего уравнения:

$$R = E_w(m_w, s_w) + G_w(m_{Gw}, s_{Gw}) - [E_i(m_i, s_i) + G_i(m_{Gi}, s_{Gi}) - L_o(m_{Lo}, s_{Lo}) - L_b(m_{Lb}, s_{Lb}) + M_{ir}(m_{Mir}, s_{Mir})] \text{ дБ}, \quad (11)$$

где:

- $E_w$ : фактическая напряженность поля полезного сигнала в месте расположения антенны радиоприемника как функция от ее среднего значения ( $m_w$ ) и стандартного отклонения ( $s_w$ );
- $E_i$ : напряженность поля сигнала помехи на расстоянии измерения  $d$  в месте выполнения измерения как функция от ее среднего значения ( $m_i$ ) и стандартного отклонения ( $s_i$ );
- $G_w$ : фактическое значение усиления антенны радиоприемника в отношении полезного сигнала как функция от его среднего значения ( $m_{Gw}$ ) и стандартного отклонения ( $s_{Gw}$ );
- $G_i$ : фактическое значение усиления антенны радиоприемника в отношении сигнала помехи как функция от его среднего значения ( $m_{Gi}$ ) и стандартного отклонения ( $s_{Gi}$ );
- $L_o$ : фактическое значение коэффициента, учитывающего ослабление напряженности поля помехи на трассе ее распространения до места расположения антенны радиоприемника, когда помеха распространяется в свободном пространстве, не имеющем препятствий, как функция от его среднего значения ( $m_{Lo}$ ) и стандартного отклонения ( $s_{Lo}$ ) относительно расстояния измерения  $d$  в месте выполнения измерения:

$$L_o = x \cdot 20 \log(r/d);$$

- $L_b$ : фактическое значение коэффициента, учитывающего ослабление напряженности поля помехи за счет препятствий на трассе распространения относительно распространения в свободном пространстве как функция от его среднего значения ( $m_{Lb}$ ) и стандартного отклонения ( $s_{Lb}$ );
- $M_{ir}$ : фактическое значение коэффициента согласования по поляризации между напряженностью поля помехи  $e_{ir}$  и антенной приемника, испытывающего помехи, как функция от его среднего значения ( $m_{Mir}$ ) и стандартного отклонения ( $s_{Mir}$ ). При совпадении поляризации приемной антенны с поляризацией  $e_{ir}$ , абсолютное значение ( $m_{ir}$ ) равно единице; во всех остальных случаях оно принимает значения меньше 1. Поскольку  $M_{ir}$  и соответствующее ему среднее значение ( $m_{Mir}$ ) выражены в логарифмических единицах, их значения меньше или равны 0 дБ; в связи с этим всегда ставится знак минус.

Если все случайные переменные в правой стороне уравнения (11) являются гауссовыми и взаимно независимыми, то их распределение является гауссовым, при этом среднее значение ( $m_R$ ) и стандартное отклонение ( $s_R$ ) определяются следующими уравнениями:

$$m_R = m_w + m_{Gw} - m_i - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} \quad (12a)$$

$$s_R = (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2}. \quad (12b)$$

Уравнение (11) можно переписать, приведя его к следующему нормальному виду:

$$P[R(m_R, s_R) > R_p] = F[-(R_p - m_R)/s_R] = q. \quad (13)$$

Здесь  $F[ ]$  – функция распределения для гауссова распределения со средним значением  $m = 0$  и стандартным отклонением  $s = 1$ . С помощью обратной функции гауссова распределения, обозначаемой  $F^{-1}[ ]$ , получаем среднее значение  $R$ :

$$m_R = R_p + t_q s_R, \quad (14)$$

где  $t_q = F^{-1}[q]$ .

Далее подставляем уравнения (12a) и (12b) в уравнение (14) и после ряда преобразований получаем следующий результат:

$$m_i = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p - t_q (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2}. \quad (15)$$

Поскольку среднее значение случайной переменной  $E_i$  должно быть ниже предела,  $E_{Limit}$ , имеем:

$$\Pr\{E_i < E_{Limit}\} = F[(E_{Limit} - m_i)/s_i] = b. \quad (16)$$

Применяем  $F^{-1}[ ]$  к уравнению (16) и выражаем  $E_{Limit}$ :

$$E_{Limit} = m_i + t_b s_i. \quad (17)$$

$t_b$  – это  $F^{-1}[b]$ . При этом переписываем  $m_{Lo}$ :

$$m_{Lo} = x \cdot 20 \log(r/d). \quad (18)$$

$x$  – это коэффициент распространения радиоволны, который определяет фактическую величину ослабления в свободном пространстве.

В заключение объединяем уравнения (15), (17) и (18) и рассчитываем  $E_{Limit}$ :

$$E_{Limit} = m_w + m_{G_w} - m_{G_i} + x \cdot 20 \log(r/d) + m_{L_b} - m_{Mir} - R_p + t_b s_i - t_a (s_w^2 + s_i^2 + s_{G_w}^2 + s_{G_i}^2 + s_{L_o}^2 + s_{L_b}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2}. \quad (19)$$

Как правило, в соответствии с Рекомендацией 46/1 СИСПР (см. СИСПР 16-4-3)  $t_a$  и  $t_b$  присваивается, соответственно, значение 0,84 для выполнения условия о том, что 80% серийно выпускаемых устройств удовлетворяют пределу помехи.

В таблице 2 приведен типичный пример предела, который рассчитан с использованием модели СИСПР для частот ниже 1 ГГц.

ТАБЛИЦА 2

**Пример предела, рассчитанного с использованием модели СИСПР для частот ниже 1 ГГц**

Фактическая напряженность поля полезного сигнала, $E_w$		Фактическое значение усиления антенны радиоприемника в отношении полезного сигнала, $G_w$	
Среднее значение, $m_w$ (дБ(мкВ/м))	Стандартное отклонение, $s_w$ (дБ)	Среднее значение, $m_{G_w}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{G_w}$ (дБ)
16	2	0	0,1
Фактическое значение усиления антенны радиоприемника в отношении сигнала помехи, $G_i$		Фактическое значение коэффициента, учитывающего ослабление напряженности поля помехи, $L_o = x \cdot 20 \cdot \log_{10}(r/d)$	
Среднее значение, $m_{G_i}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{G_i}$ (дБ)	Среднее значение, $m_{L_o}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{L_o}$ (дБ)
0	0,1	16,47817482	0,1
Фактическое значение коэффициента, учитывающего ослабление напряженности поля помехи за счет препятствий, $L_b$		Фактическое значение коэффициента согласования по поляризации, $M_{ir}$ (дБ)	
Среднее значение, $m_{L_b}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{L_b}$ (дБ)	Среднее значение, $m_{Mir}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{Mir}$ (дБ)
1	0,1	-0,880	0,1
Напряженность поля сигнала помехи, $E_i$		Предел для измеренной помехи, $E_{limit}$ (дБ(мкВ/м))	
Среднее значение, $m_i$ (дБ(мкВ/м))	Стандартное отклонение, $s_i$ (дБ)		
21,948	0,1	23,7496	

Расстояние измерения, $d$ (м)	Среднее расстояние между источником помех и приемной антенной, $r$ (м)
3	20
Экспонента, которая определяет фактический коэффициент ослабления в свободном пространстве, $x$ (1 или 1~1,5)	Защитное отношение, $R_p$ (дБ)
1	9
$a = Pr\{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$	$b = Pr\{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0,84	0,84

### 5.1.3 Модель СИСПР для диапазона частот выше 1 ГГц

Для диапазона частот выше 1 ГГц в Публикации 16-4-4 СИСПР учитывается семь вероятностей или влияющих факторов. Вместе с тем статистическая модель помехи выводится аналогично тому, как это сделано в п. 5.1.2:

$$E_{Limit} = m_w - R_p + m_{P1} + m_{P2} + m_{P3} + m_{P4} + m_{P5} + m_{P6} + m_{P7} + t_b s_i - t_a (s_{P1}^2 + s_{P2}^2 + s_{P3}^2 + s_{P4}^2 + s_{P5}^2 + s_{P6}^2 + s_{P7}^2)^{1/2} \quad (20)$$

- $E_{Limit}$ : среднее значение напряженности поля допустимой помехи на определенном расстоянии,  $d$ , от источника помех;
- $m_w$ : минимальное значение напряженности поля полезного сигнала на краю зоны обслуживания рассматриваемой радиослужбы;
- $R_p$ : минимальное приемлемое значение отношения сигнала к помехе (т. е. защитное отношение) на входе антенны приемника или в точке питания антенны;
- $m_{P1}/s_{P1}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что главный лепесток напряженности поля помехи не расположен в направлении приемника, испытывающего помехи;
- $m_{P2}/s_{P2}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что направленные приемные антенны не испытывают максимальную наводку в направлении источника помех;
- $m_{P3}/s_{P3}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что для мобильного приемника в соответствующей зоне обслуживания радиослужбы отношение сигнала к шуму может быть улучшено за счет обеспечения определенного расстояния до источника помех;
- $m_{P4}/s_{P4}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что уровень сигнала помехи ниже соответствующего предела;
- $m_{P5}/s_{P5}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что тип создаваемого сигнала помехи будет оказывать существенное влияние на приемную систему;
- $m_{P6}/s_{P6}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что источник помех находится от приемной системы на расстоянии, на котором вероятно возникновение помехи;
- $m_{P7}/s_{P7}$ : ожидаемые среднее значение и стандартное отклонение вероятности того, что здания обеспечивают определенную степень дополнительного ослабления.

В Публикации 16-4-4 СИСПР  $m_{P5}$  рассчитывается следующим образом:

$$a) \quad B_{want} < B_{noise} < B_{meas}$$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{noise}),$$

где:

$B_{want}$ : ширина полосы рассматриваемого радиоприемника по полезному сигналу;

$B_{noise}$ : ширина полосы широкополосной помехи;

$B_{meas}$ : измеряемая ширина полосы частот измерительного устройства.

Имеются следующие соотношения:

$$b) \quad B_{meas} < B_{noise} < B_{want}$$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{noise}/B_{meas}).$$

с)  $B_{noise} > B_{meas}$  и  $B_{want}$ , соответственно,

$$m_{P5} = 10 \log(B_{want}/B_{meas}).$$

Значение  $m_{P6}$  рассчитывается по формуле  $x \cdot 20 \log(r/d)$ , а точные значения других параметров, используемых в уравнении (20), к сожалению, не известны. Полагаем, что эти параметры, за исключением параметров  $m_{P5}$  и  $m_{P6}$ , будут определены на основе практического эксперимента и опыта.

В таблице 3 приведен типичный пример предела, который рассчитан с использованием модели СИСПР для частот выше 1 ГГц.

ТАБЛИЦА 3

**Пример предела, рассчитанного с использованием модели СИСПР для частот выше 1 ГГц**

Фактическая напряженность поля полезного сигнала, ( $E_w$ )		Усиление источника помех, $P_1$ (дБ)	
Среднее значение, $m_w$ (дБ(мкВ/м))	Стандартное отклонение, $s_w$ (дБ)	Среднее значение, $m_{P1}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P1}$ (дБ)
16	2	3	0,1
Усиление антенны приемника, испытывающего помехи, $P_2$ (дБ)		Испытывающий помеху приемник является мобильным, $P_3$ (дБ)	
Среднее значение, $m_{P2}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P2}$ (дБ)	Среднее значение, $m_{P3}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P3}$ (дБ)
3	0,1	5	0,1
Излучение ниже предельного, $P_4$ (дБ)		Поправка на тип широкополосного излучения, $P_5$ (дБ)	
Среднее значение, $m_{P4}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P4}$ (дБ)	Среднее значение, $m_{P5}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P5}$ (дБ)
1	0,1	1,000	0,1
Расстояние до приемника, испытывающего помехи, $P_6$ (дБ)		Ослабление за счет здания, $P_7$ (дБ)	
Среднее значение, $m_{P6}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P6}$ (дБ)	Среднее значение, $m_{P7}$ (дБ)	Стандартное отклонение, $s_{P7}$ (дБ)
16,478	0,1	4,000	0,1
Предел измеренной помехи, $E_{Limit}$ (дБ мкВ/м) 40,3398			

Расстояние измерения, $d$ (м)		Среднее расстояние между источником помех и приемной антенной, $r$ (м)	
3		20	
Экспонента, которая определяет фактический коэффициент ослабления в свободном пространстве, $x$ (1 или 1~1,5)		Защитное отношение, $R_p$ (дБ)	
1		9	
$a = Pr \{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$		$b = Pr \{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$	
0,84		0,84	
$S_i$			
0,1			
$B_w, B_n, B_m, m_{P5}$			
$B_w < B_n < B_m$	$B_m < B_n < B_w$	$B_m < B_n$ or $B_m < B_n$	
$10 \log_{10}(B_w/B_n)$	$10 \log_{10}(B_n/B_m)$	$10 \log_{10}(B_w/B_m)$	

\*  $B_w$ : ширина полосы рассматриваемой радиослужбы по полезному сигналу.

$B_n$ : ширина полосы широкополосной помехи.

$B_m$ : ширина полосы измерительного приемника.



## 5.2 Анализ пределов СИСПР

В Публикации 11 СИСПР представлены пределы излучений радиоволн ПНМ оборудованием, выраженные через величину векторов магнитного или электрического полей. Измерения в отношении пределов выполнялись измерительным приемником в определенном режиме детектирования, т. е. с использованием пикового, квазипикового и взвешенного детектирования, а также детектирования среднего уровня. Чтобы убедиться в том, что эти пределы могут защитить радиослужбы от ПНМ оборудования, необходимо преобразовать напряженность поля, выраженную в (дБ(мкВ/м)), в принятую мощность, выраженную в дБм.

$$P_R(\text{дБм}) = E(\text{дБ(мкВ/м)}) + G_R(\text{дБи}) - 20 \log F(\text{МГц}) - 77,2, \quad (21)$$

где:

$P_R$ : мощность, принятая радиостанцией (дБм);

$G_R$ : усиление приемной антенны (дБи);

$F$ : частота приема радиостанции (МГц).

Сгруппированные пределы СИСПР 11 состоят из комбинации Групп 1 и 2 и Классов А и В. Определения Групп 1 и 2 и Классов А и В представлены в пп. 4.1 и 4.2 Публикации 11 СИСПР (издание 4). Группа 1 и Классы А и В включает ПНМ устройства, которые могут располагаться возле станций радиосвязи, однако большинство ПНМ устройств, работающих около станций радиосвязи, относится к Группе 2 и Классу В.

С учетом того, что Группа 2 и Класс В считаются средой, в которой ПНМ оборудование может использоваться около устройств радиосвязи, в данном разделе рассматриваются пределы для этой комбинации.

На следующих ниже трех рисунках изображены пределы излучения, указанные, соответственно, в таблицах 4, 7 и 8 Публикации 11 СИСПР (издание 4, июнь 2004 г.).

РИСУНОК 4

**Пределы напряженности магнитного поля для Группы 2 и Класса В на частотах ниже 30 МГц  
(Расстояние измерения равно 10 м, режим детектирования – квазипиковый)**

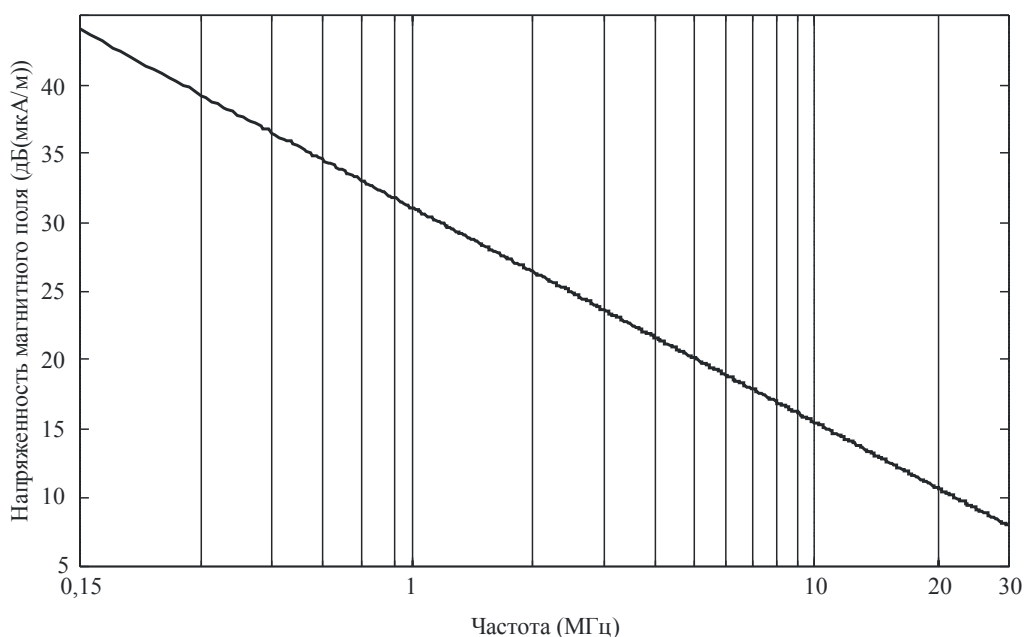
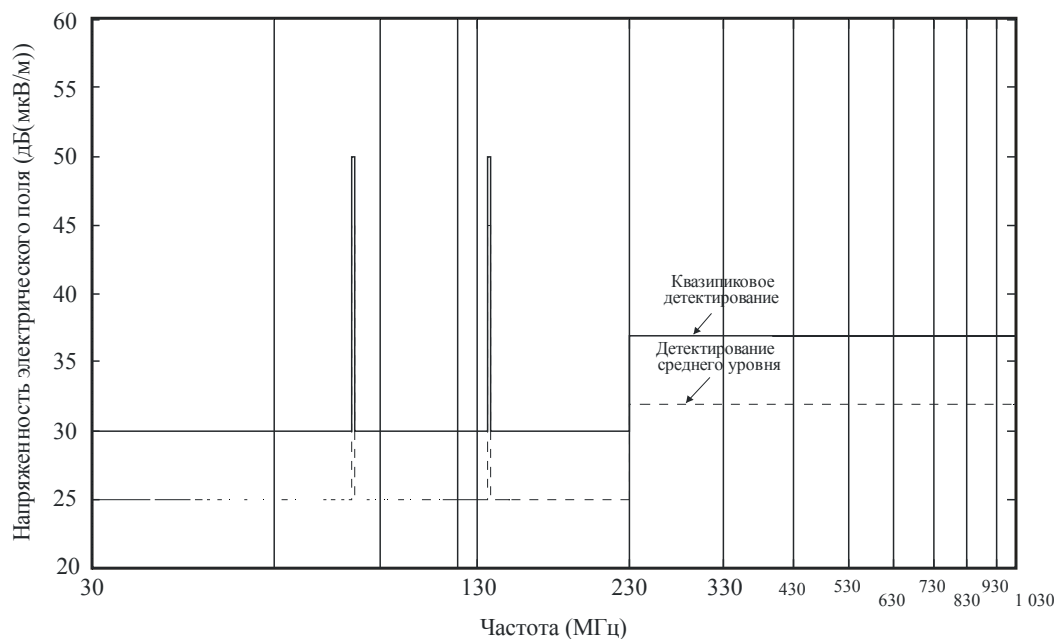


РИСУНОК 5

Пределы напряженности электрического поля для Группы 2 и Класса В на частотах от 30 МГц до 1 ГГц  
(Расстояние измерения равно 10 м, режим детектирования – квазипиковый и среднего уровня  
для среды с использованием магнетрона)\*

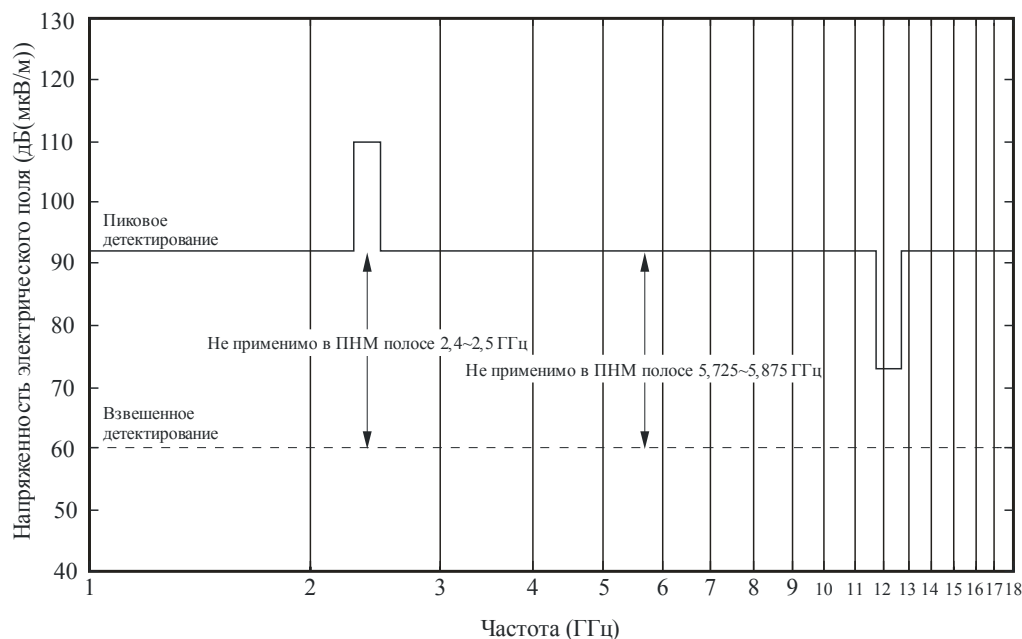


Report SM.2180-05

\* При переходе применяется более строгий предел.

РИСУНОК 6

Пределы напряженности электрического поля для Группы 2 и Класса В на частотах от 1 ГГц до 18 ГГц  
(Расстояние измерения равно 3 м, режим детектирования – пиковый\*, \*\*)



Report SM.2180-06

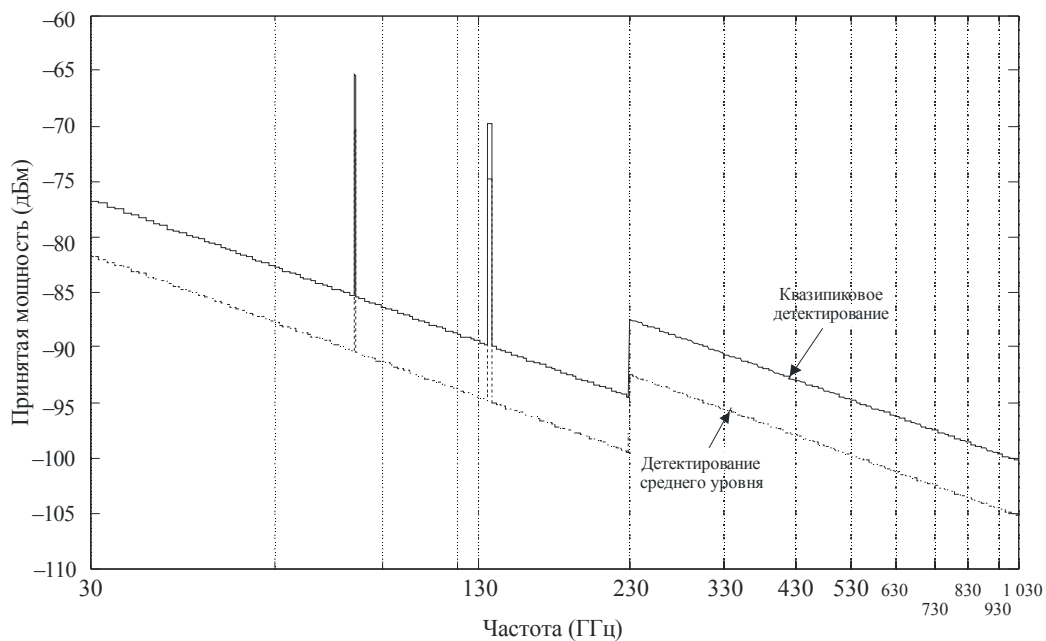
\* Для пикового режима измерения требуется ширина полосы по разрешению 1 МГц и ширина полосы видеосигнала, больше или равная 1 МГц.

\*\* Измерения взвешиванием с шириной полосы по разрешению 1 МГц и шириной полосы видеосигнала, равной 10 Гц.

На рисунках 7 и 8 представлены мощность, принятая радиостанцией с усилением антенны 0 дБи, при применении формулы преобразования (20), предназначенной для преобразования пределов электрического поля.

РИСУНОК 7

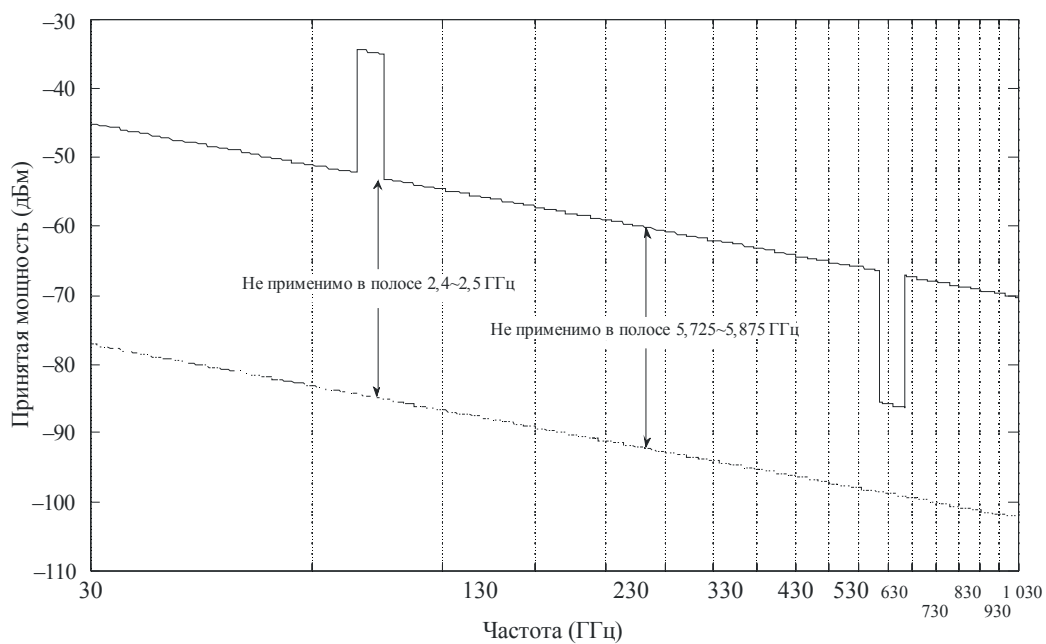
Преобразование пределов электрического поля для Группы 2 и Класса В на частотах от 30 МГц до 1 ГГц



Report SM.2180-07

РИСУНОК 8

Преобразование пределов электрического поля для Группы 2 и Класса В на частотах от 1 ГГц до 18 ГГц



Report SM.2180-08

Как следует из рисунка 8, принятая мощность в диапазоне 2,3~2,4 ГГц высока по сравнению с принятой мощностью, применимой в других участках диапазона 1~18 ГГц, поэтому радиослужбы могут испытывать помехи. В Публикации 11 имеется примечание для диапазона частот 2,3–2,4 ГГц, в котором указано, что в целях недопущения вредных помех службам радиосвязи администрации могут требовать соблюдения более строгих пределов излучений, чем пределы, предусмотренные в СИСПР 11.

В соответствии с последними документами, касающимися электромагнитных помех, существующие пределы излучений СИСПР были разработаны для защиты аналоговых, а не цифровых служб радиосвязи. Отношение сигнала к шуму различается для аналоговых и цифровых служб радиосвязи. В том что касается воздействия ПНМ оборудования на цифровые радиослужбы, требуется, чтобы МСЭ-R предоставил СИСПР характеристики и критерии защиты цифровых систем радиосвязи. Таким образом, необходимо проанализировать, обеспечивают ли существующие пределы Публикации 11 СИСПР надлежащую защиту цифровых радиоприемников.

### 5.3 Характеристики и критерии защиты служб радиосвязи

Для того чтобы оценить ухудшение качественных показателей служб радиосвязи вследствие излучения радиоволн, создаваемого ПНМ оборудованием, необходимо знать критерии защиты и технические характеристики потенциально затронутых систем радиосвязи. В Прилагаемом документе А8 к Отчету МСЭ-R SM.2057 (Исследования по вопросам воздействия устройств, использующих сверхширокополосную технологию, на службы радиосвязи) перечислены соответствующие Рекомендации и Отчеты МСЭ-R. Возможно, что эти списки не содержат последнюю информацию, поскольку некоторые Рекомендации и Отчеты могли быть изменены, или же мог поменяться их статус. В этом прилагаемом документе также содержатся технические характеристики и критерии защиты систем, способных испытывать помехи, которые были представлены в течение исследовательского периода во вкладах и заявлениях о взаимодействии от различных рабочих групп МСЭ-R. С того времени ответственные рабочие группы МСЭ-R могли разработать или принять другие значения.

В процессе изучения излучений, создаваемых устройствами малого радиуса действия, Рабочая группа 1А получила от других рабочих групп следующие критерии защиты, характеристики и требования к качеству обслуживания:

- Рекомендация МСЭ-R SM.1754 – Методы измерения сверхширокополосных передач.
- Рекомендация МСЭ-R SM.1755 – Характеристики сверхширокополосной технологии.
- Рекомендация МСЭ-R SM.1756 – Основа для внедрения устройств, использующих сверхширокополосную технологию.
- Рекомендация МСЭ-R SM.1757 – Воздействие устройств, в которых используется сверхширокополосная технология, на системы, работающие в службах радиосвязи.
- Рекомендация МСЭ-R RS.1346 – Совместное использование частот вспомогательной службой метеорологии и медицинскими имплантируемыми системами связи (MICS), работающими в подвижной службе в полосе частот 401–406 МГц.
- Отчет МСЭ-R SM.2057 – Исследования по вопросам воздействия устройств, использующих сверхширокополосную технологию, на службы радиосвязи.
- Рекомендация МСЭ-R M.1739 – Критерии защиты для систем беспроводного доступа, включая локальные радиосети, функционирующих в подвижной службе, в соответствии с Резолюцией 229 (ВКР-03), в полосах частот 5150–5250 МГц, 5250–5350 МГц и 5470–5725 МГц.
- Рекомендация МСЭ-R M.1767 – Защита сухопутных подвижных систем от наземных цифровых систем видео- и аудиовещания в совместно используемых полосах частот ОВЧ и УВЧ, распределенных на первичной основе.

- Рекомендация МСЭ-R М.1823 – Технические и эксплуатационные характеристики цифровых систем сотовой сухопутной подвижной связи для использования в исследованиях совместного использования частот.
- Отчет МСЭ-R М.2039-1 – Характеристики наземных систем ИМТ-2000 для совместного использования частот/анализа помех. В нем содержится ряд требований по защите, таких как значения отношения С/Ш, эталонная чувствительность приемников и пороги помех для различных систем ИМТ-2000.
- Рекомендация МСЭ-R ВТ.1786 – Критерий оценки влияния помех на наземную радиовещательную службу (РС).
- Отчет МСЭ-R BS.2104 – Помехи, создаваемые частотным модулятором радиовещательным службам.
- РГ 4А разрабатывает подборку соответствующей информации, включающую характеристики систем и требования к качеству обслуживания в ФСС и РСС в диапазоне 3,4–31 ГГц, которая позволит РГ 1А провести технические исследования и оценить воздействие устройств малого радиуса действия на ФСС и РСС, а также средства обеспечения надлежащей защиты этих служб (подборка предварительной информации представлена в Прилагаемом документе к Документу 1А/145).
- Рекомендация МСЭ-R RA.769 – Критерии защиты, используемые для радиоастрономических измерений.
- Рекомендация МСЭ-R RA.314 – Предпочтительные полосы частот для радиоастрономических измерений.
- Рекомендация МСЭ-R RA.517 – Защита радиоастрономической службы от передатчиков, работающих в соседних полосах частот.
- Рекомендация МСЭ-R RA.611 – Защита радиоастрономической службы от побочных излучений.
- Рекомендация МСЭ-R RA.1031 – Защита радиоастрономической службы в полосах частот, используемых совместно с другими службами.
- Рекомендация МСЭ-R RA.1237 – Защита радиоастрономической службы от нежелательных излучений, возникающих в результате применения широкополосной цифровой модуляции.
- Рекомендация МСЭ-R S.1432 – Распределение допустимого ухудшения качества по ошибкам в гипотетических эталонных цифровых трактах фиксированной спутниковой службы (ФСС), возникающего из-за неизменных во времени помех, для систем, работающих на частотах ниже 30 ГГц.

#### 5.4 Эксплуатационные измерения излучения

В этом разделе рассматриваются результаты измерения ПНМ излучений, создаваемых:

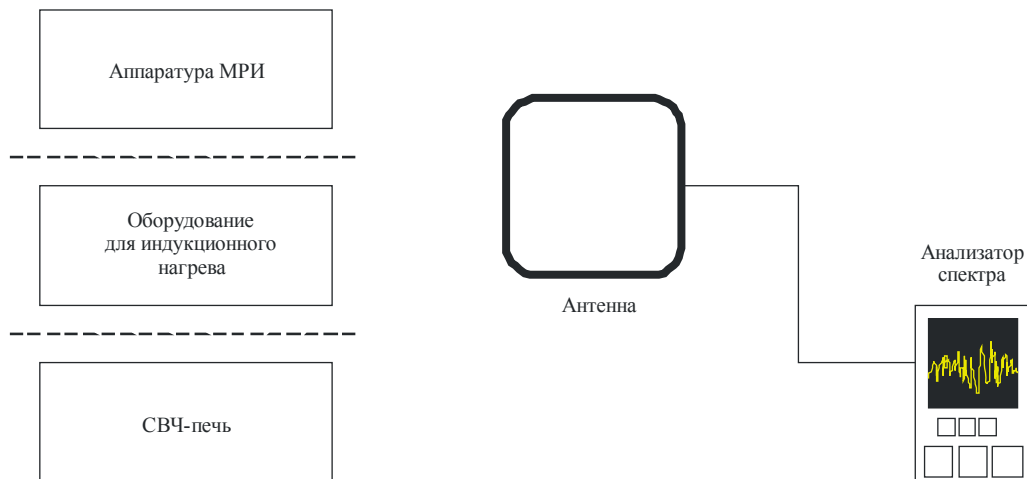
- 1 аппаратурой МРИ;
- 2 оборудованием для индукционного нагрева;
- 3 СВЧ-печью.

Для исследования излучаемой мощности утечки от ПНМ оборудования измерения спектра применительно к аппаратуре МРИ и оборудованию для индукционного нагрева выполнялись в выключенном/включенном состояниях, а применительно к СВЧ-печи – при отсутствии/наличии в ней емкости с водой объемом 1000 мл.

Измерительная установка, показанная на рисунке 9, используется в больницах и на производственных предприятиях для измерения сигнала ПНМ оборудования. В связи с тем что целью данного измерения являлось лишь простое наблюдение принимаемого сигнала в реальных условиях использования ПНМ оборудования, данный метод измерения не может применяться при сертификации этого оборудования. Однако, как известно, существует несколько методов измерения,

предназначенных для сертификации ПНМ оборудования, которые приведены в FCC OST MP-5, EN55011, и т. д.<sup>1</sup>. Следует отметить, что для получения результатов измерения, правильность которых можно проверить, в обязательном порядке должен соблюдаться один из методов измерения. В целях проверки правильности измерений настоятельно рекомендуется готовить отчет об испытании.

РИСУНОК 9  
Конфигурация измерения



Report SM.2180-09

Для измерения излучений аппаратуры МРИ, оборудования для индукционного нагрева и СВЧ-печи использовались, соответственно, рамочная антенна, активная направленная антенна и рупорная антенна.

#### 5.4.1 Магнитно-резонансное исследование

На представленной ниже снимке, сделанном в больнице, в которой используется аппаратура МРИ, измерения выполнялись с помощью рамочной антенны в режиме вертикальной и горизонтальной поляризации, соответственно, при этом расстояние между аппаратурой МРИ и измерительным устройством составляло около 3 м.

В соответствии с измеренными спектрами, приведенными в Прилагаемом документе 1, результаты измерений в пяти больницах являются следующими:

В таблице 4 показаны частоты, на которых наблюдается самое сильное ПНМ излучение, а также соответствующие измеренные уровни излучения в каждой больнице. Измерения выполнялись с помощью рамочной антенны на расстоянии 3 м за исключением одного места. Самое сильное ПНМ излучение при наличии сигналов утечки из помещений, оборудованных для МРИ, составляет порядка  $-34$  дБм на частоте  $63,8$  МГц. Данный ПНМ сигнал может причинять вредные помехи радиовещательной службе на этой частоте, или другим службам радиосвязи, использующим высокочувствительные приемники на частоте  $63,8$  МГц<sup>2</sup>. Необходимо провести дальнейшие исследования, чтобы определить воздействие на службы радиосвязи внутри больниц, поскольку у каждой службы есть собственные критерии защиты.

<sup>1</sup> См. справочный документ [16].

<sup>2</sup> Данные измерения выполнялись на объекте, в то время как в СИСПР 11 указаны излучения радиоволн на испытательном стенде. Следовательно, эти значения нельзя непосредственно сравнивать с пределами излучений, приведенными в СИСПР 11.

ТАБЛИЦА 4

**Результаты измерений аппаратуры МРИ на расстоянии 3 м\***  
(ширина полосы по разрешению равна 100 кГц)

	Выключено		Включено	
	Частота (МГц)	Измеренное значение (дБм)	Частота (МГц)	Измеренное значение (дБм)
<b>МРИ А</b>	127,717	-70,40	127,782	-48,38
<b>МРИ В</b>	63,85	-78,49	63,848	-34,36
<b>МРИ С</b>	63,74	-70,15	63,83	-61,91
<b>МРИ D</b>	62,50	-80,51	63,85	-51,69
<b>МРИ E<sup>(1)</sup></b>	63,76	-73,68	63,86	-53,82

<sup>(1)</sup> Расстояние измерения для МРИ E равно 10 м.

#### 5.4.2 Оборудование для индукционного нагрева

На рисунке 9 показаны примеры измерения излучаемых радиоволн, которые создаются оборудованием для индукционного нагрева мощностью 50 кВт и 3 кВт, на расстоянии 3 м.

Как следует из приведенных в таблице 5 уровней излучений, равных -43,58 дБм и 9,84 дБм, сигнал утечки от оборудования для индукционного нагрева, вероятно, будет создавать помеху радиослужбе, поскольку чувствительность многих радиоприемников, как правило, находится в пределах от -100 дБм до -80 дБм.

ТАБЛИЦА 5

**Результаты измерений оборудования для индукционного нагрева на расстоянии 3 м**  
(ширина полосы по разрешению 100 равна кГц)

	Выключено		Включено	
	Измеренное значение (дБм)	Частота (МГц)	Измеренное значение (дБм)	Частота (МГц)
Оборудование для индукционного нагрева А	39,6	-74,03	20,7	-43,58
Оборудование для индукционного нагрева В	75,6	-56,37	25,23	9,84

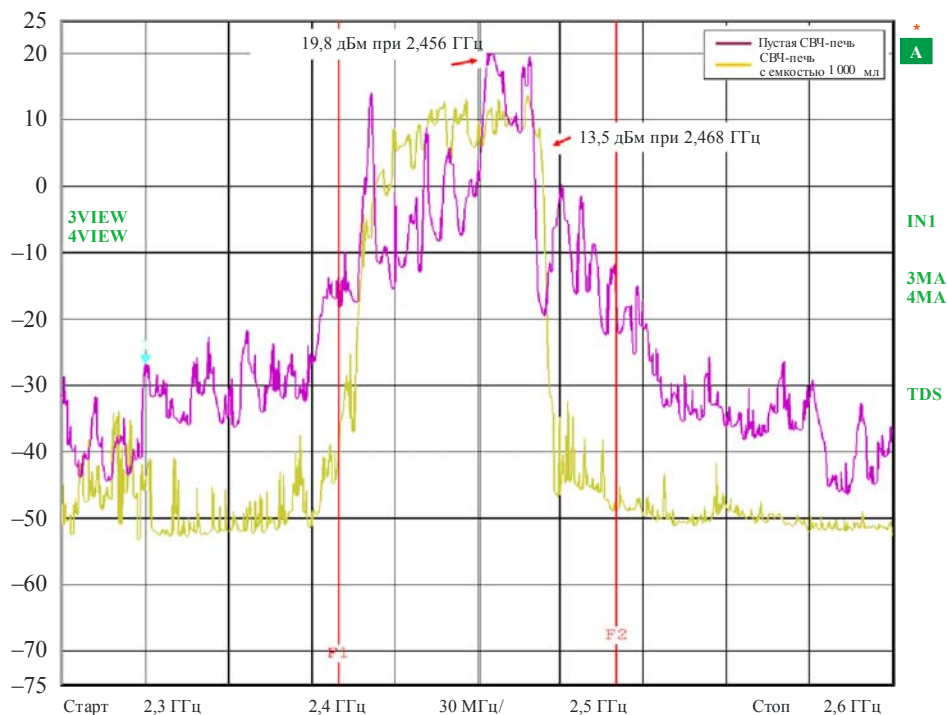
Подробное описание измеренного радиочастотного спектра представлено в Прилагаемом документе 2.

#### 5.4.3 СВЧ-печь

На рисунке 10 изображен радиочастотный спектр СВЧ-печи мощностью 1250 Вт при отсутствии/наличии в ней емкости с водой объемом 1000 мл. Измерения выполнялись в полуэховой камере с использованием рупорной антенны на расстоянии 3 м. На рисунке 10 можно наблюдать, что боковые лепестки двух спектров различаются. Следует отметить, что СВЧ-печь, в которую помещалась емкость с водой, соответствует пределам излучения, установленным в Публикации 11 СИСПР.

РИСУНОК 10

## Измерение спектра СВЧ-печи



Report SM.2180-10

Уровень  $-35$  дБм, наблюдаемый на рисунке 10 на частоте около  $2,35$  ГГц, может причинять вредную помеху системам ИМТ, использующим частоты  $2,3\sim 2,4$  ГГц. Кроме того, выпущен отчет NTIA<sup>3</sup>, в котором представлены характеристики радиочастотного спектра, создаваемого СВЧ-печами за пределами полосы частот  $2,4\sim 2,5$  ГГц ПНМ оборудования. С учетом измерений радиочастотного спектра, выполненных NTIA, возможно возникновение помех между СВЧ-печами и системами ИМТ, использующими частоты  $2,3\sim 2,4$  ГГц и  $2,5\sim 2,69$  ГГц. В связи с этим требуется дополнительно изучить вопрос об установлении строгих пределов для СВЧ-печей, чтобы защитить системы ИМТ от излучаемых ими радиоволн.

## 6 Выводы

В настоящем отчете представлен метод анализа помех и пределы излучений ПНМ оборудования, разработанные СИСПР. Пределы излучений Публикации 11 СИСПР получены на основе отношений сигнала к шуму для служб радиосвязи. Следовательно, данные пределы имеют большое значение для успешной защиты администрациями службы радиосвязи от излучения радиоволн, создаваемого ПНМ оборудованием.

Тем не менее, согласно последним документам, касающимся электромагнитных помех, существующие пределы излучений СИСПР были разработаны для защиты аналоговых, а не цифровых служб радиосвязи. Отношение сигнала к шуму различается для аналоговых и цифровых служб. В связи с этим МСЭ-R предлагается предоставить СИСПР характеристики и критерии защиты цифровых систем радиосвязи.

<sup>3</sup> См. справочный документ [15].



**Справочные документы**

- [1] J. Thuery and E.H. Grant, *Microwaves: Industrial, scientific, and medical applications*, Artech House, 1992.
- [2] M. Stuchly and S.S Stuchly, "Industrial, scientific, medical and domestic applications of microwaves,' physical science, measurement and equipmentation, management and education, reviews," *IEE Proc. A*, Vol. 130, No. 8, pp. 467-503, November 1983.
- [3] J. Rolomey, "Recent European developments in active microwave imaging for industrial, scientific, and medical applications," *IEEE Trans. Microwave theory*, Vol. 37, No. 12, pp. 2109-2117, December 1998.
- [4] S. Miyamoto, "Performance of 2.4 GHz-band wireless LAN system using orthogonal frequency division multiplexing scheme under microwave oven noise environment," in *proc. electromagnetic compatibility international symposium*, August 2005, pp.157-162.
- [5] Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, and Y. Yamanaka, "Performance analysis of interference problems involving DS-SS WLAN systems and microwave ovens," *IEEE Trans. electromagnetic compatibility*, Vol. 47, No. 1, pp. 45-53, February 2005.
- [6] W. R. Vincent and G. K. Lott, "Measurements of Extensive HF Industrial, Scientific, and Medical Interference far Removed from the ITU Allocated Bands," in *Proc. HF Radio Systems and Techniques*, July 1994, pp. 155-158.
- [7] ANSI, *IEEE recommended practice for the measurement of radio frequency emission from industrial, scientific, and medical (ISM) equipment installed on user's premises*, IEEE Std 139-1988, March 1993.
- [8] P.B. Kenington and D.W. Bennett, "Field measurements study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment," *IEE Proc. Science, Measurement and Technology*, Vol. 144, No. 3, pp. 134-140, May 1997.
- [9] T.L. Wilson, "Electric process heating committee activities in international interference limits setting- a report," *IEEE Trans. Industry Applications*, Vol. IA-23, No. 1, pp. 90-94, January 1987.
- [10] S. Krishnamoorthy, J.H. Reed, C.R. Anderson, P. Robert, and S. Srikanteswara, "Characterization of the 2.4 GHz ISM band electromagnetic interference in a hospital environment," in *IEEE proc. engineering in medicine and biology society*, September 2003, pp. 3245-3248.
- [11] P.B. Kenington and D.W. Bennett, "Study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment," in *proc. electromagnetic compatibility*, September 1997, pp. 6-11.
- [12] D. Bernard, "Measurement of microwave ovens radiation between 1 & 18 GHz in relation with the CISPR standardisation activities," in *proc. electromagnetic compatibility*, August 1997, pp. 118-122.
- [13] МСЭ-R, *Регламент радиосвязи*, 2007 г.
- [14] МСЭ-R, *Ограничение излучений от промышленного, научного и медицинского (ПНМ) оборудования, Рекомендация МСЭ-R SM.1056-1*, 2007 г.
- [15] P.E. Gawthrop, F.H. Sanders, K.B. Nebbia, and J.J. Sell, *Radio spectrum measurements of industrial microwave ovens*, Volume 1, NTIA Report 94-303-1, March 1994.
- [16] FCC, *FCC Methods of measurements of radio noise emissions from industrial, scientific, and medical equipment*, FCC/OST MP-5, February 1986.
- [17] CISPR, *Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment –Electromagnetic disturbance characteristics Limits and methods of measurement*, CISPR Publication 11 Edition 4, June 2004 (revised in Edition 5, May 2010).
- [18] CISPR, *Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services*, CISPR Publication 16-4-4, July 2007.

- [19] K. Willundh, "Relation Between the Amplitude Probability Distribution of an Interfering Signal and its Impact on Digital Radio Receivers," IEEE Trans. EMC, Vol. 48, No. 3, pp. 537-544, August 2006.
- [20] P. F. Stenumgaard, "On Radiated Emission Limits for Pulsed Interference to Protect Modern Digital Wireless Communication Systems," IEEE Trans. EMC, Vol. 49, No. 4, pp. 931-936, November 2007.

## Прилагаемый документ 1

### Результаты измерения сигнала МРИ

В настоящем Прилагаемом документе представлен радиочастотный спектр пяти сигналов оборудования для МРИ во включенном и выключенном состояниях.

РИСУНОК 11

Пример измерения излучения сигнала МРИ



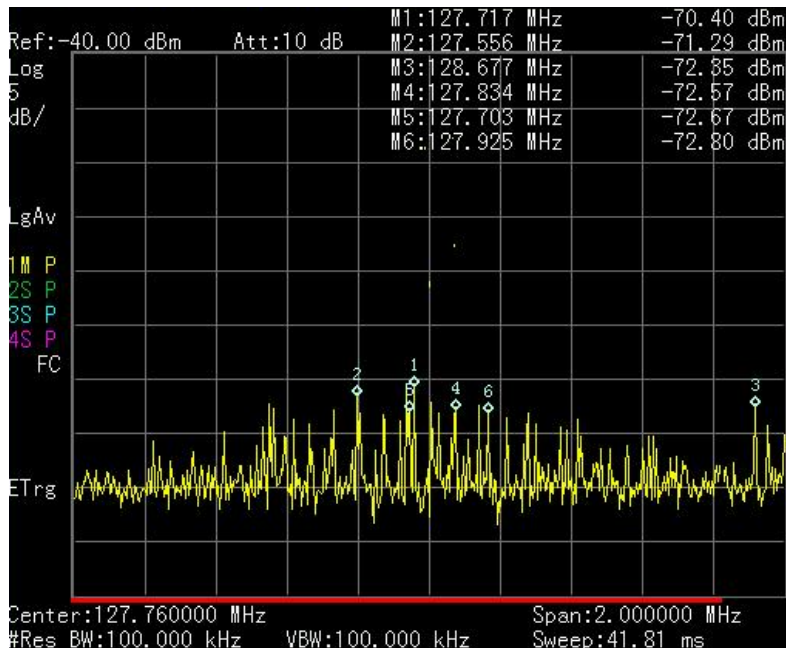
а) Вертикальная поляризация



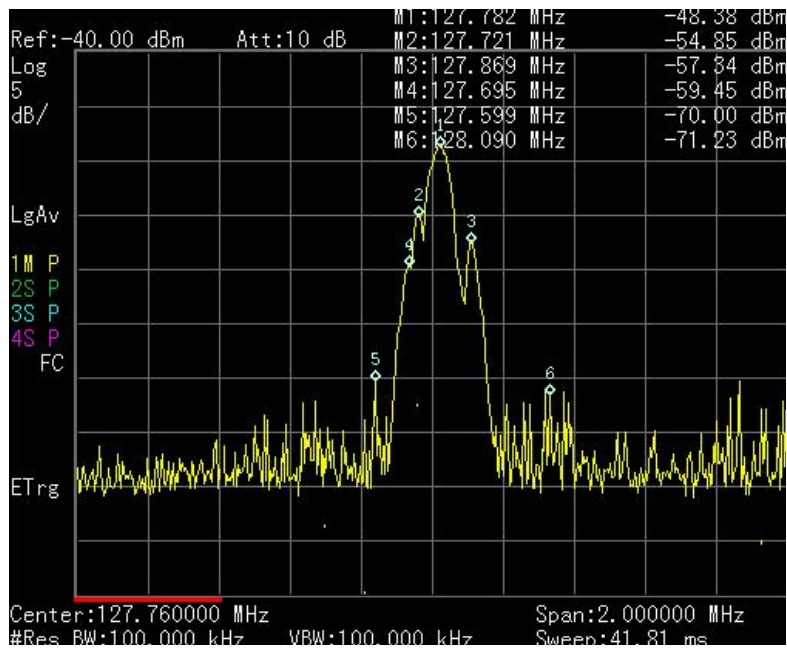
б) Горизонтальная поляризация

РИСУНОК 12

Радиочастотный спектр оборудования А для МРИ



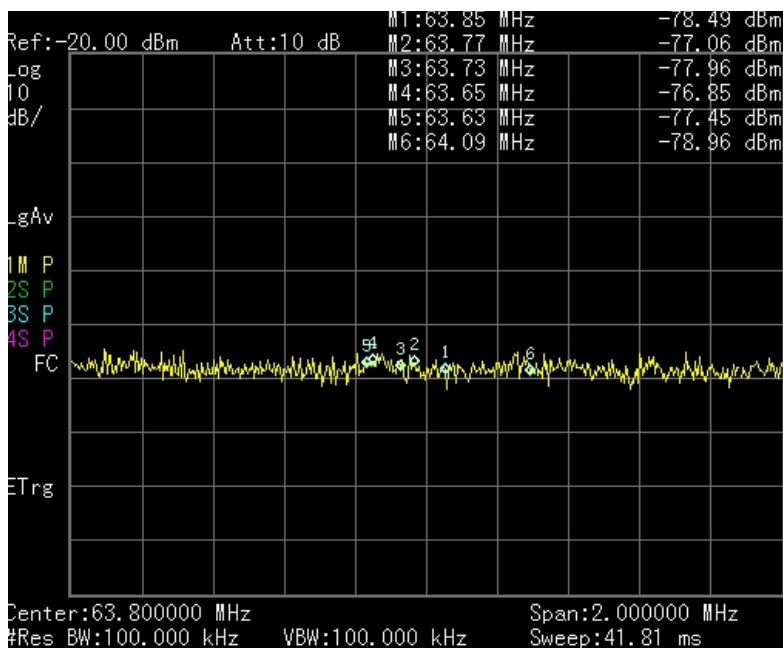
а) Выключено



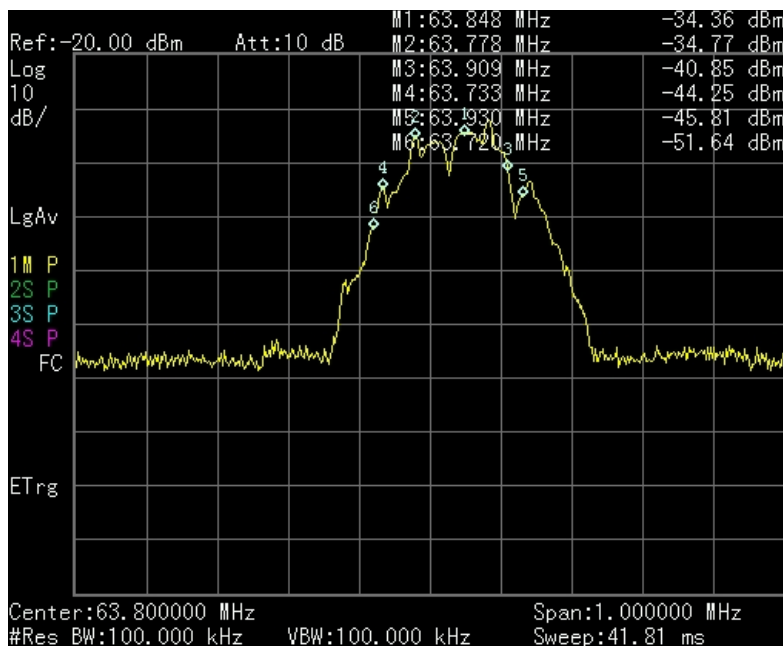
б) Включено

РИСУНОК 13

## Радиочастотный спектр оборудования В для МРИ



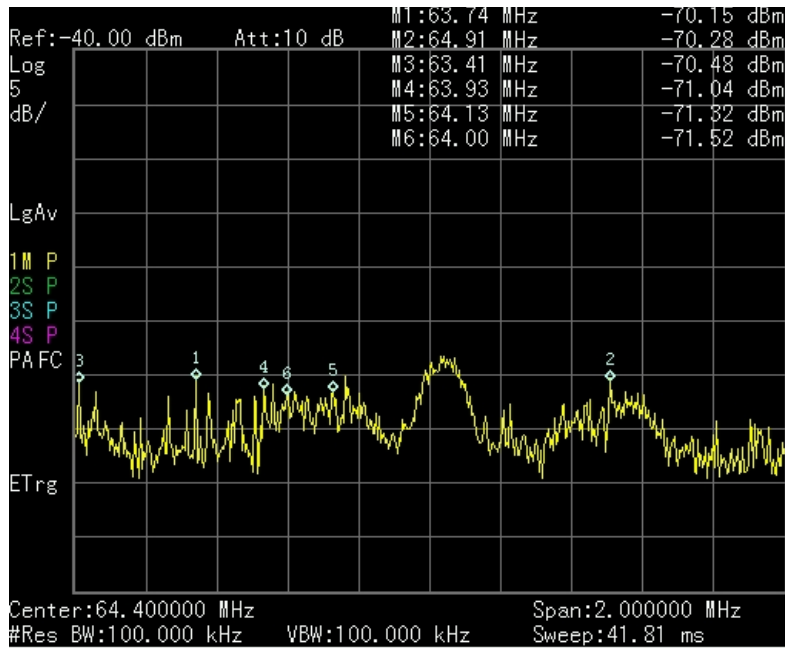
а) Выключено



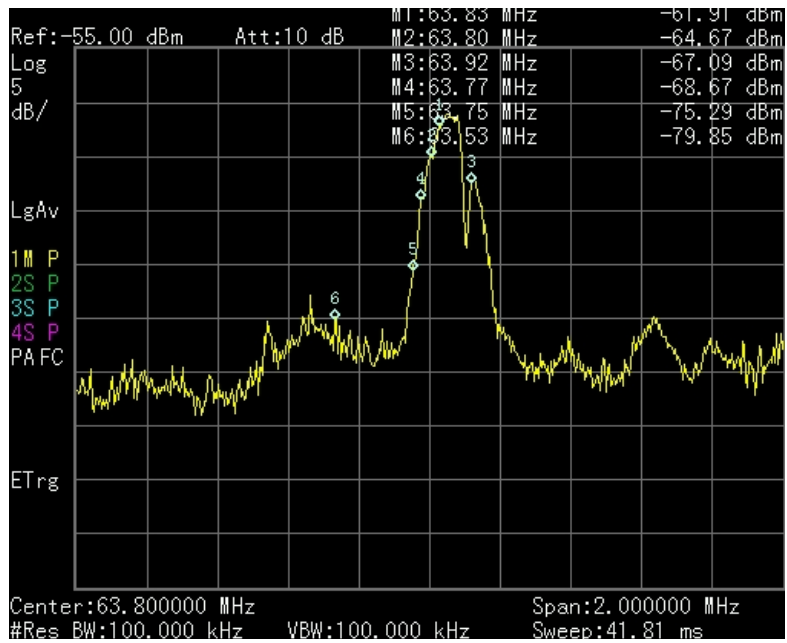
б) Включено

РИСУНОК 14

Радиочастотный спектр оборудования С для МРИ



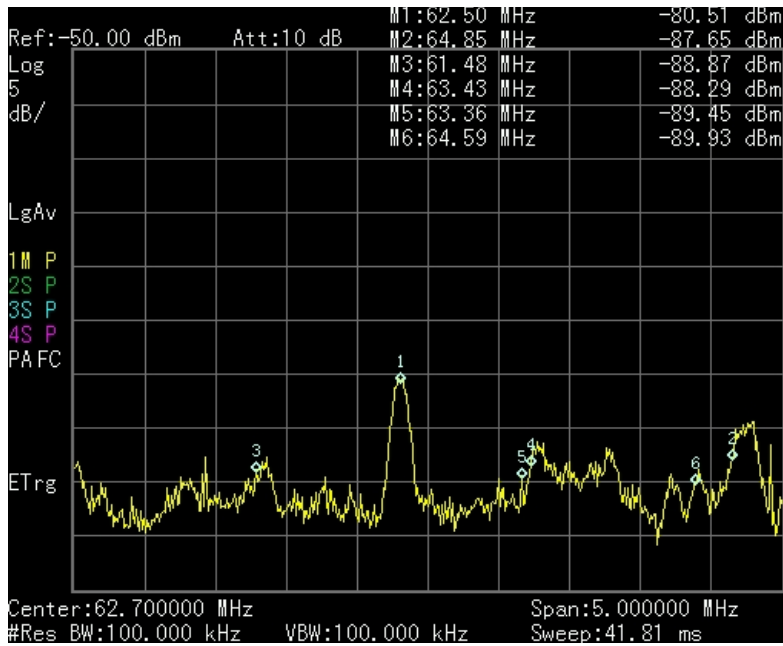
а) Выключено



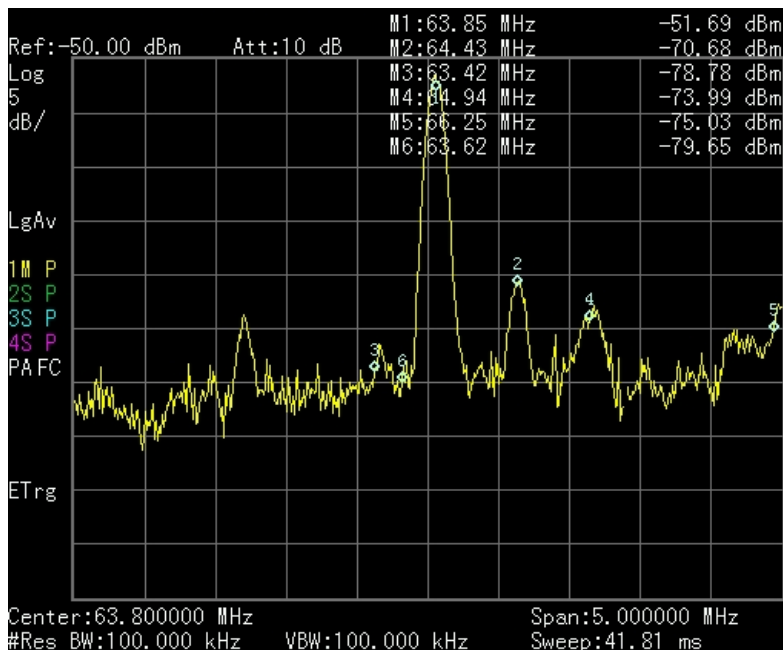
б) Включено

РИСУНОК 15

Радиочастотный спектр оборудования D для МРИ



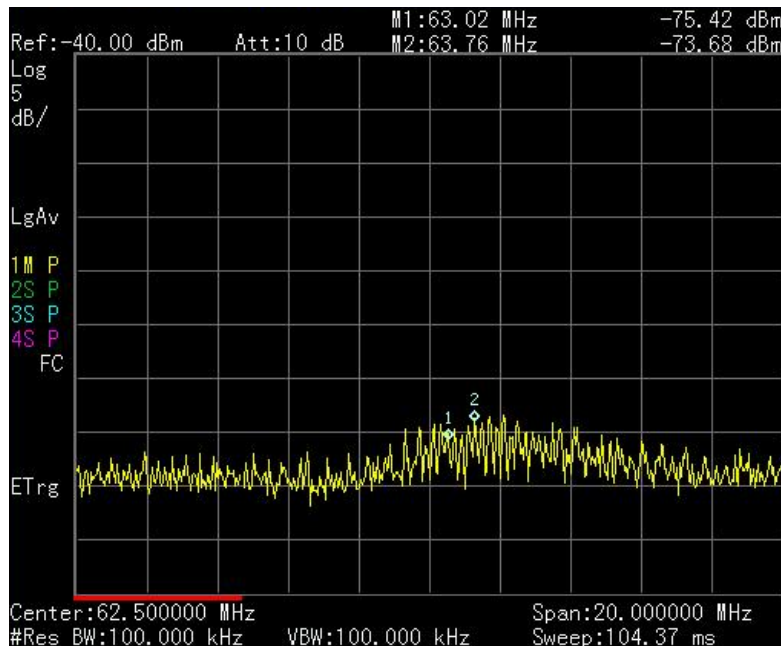
а) Выключено



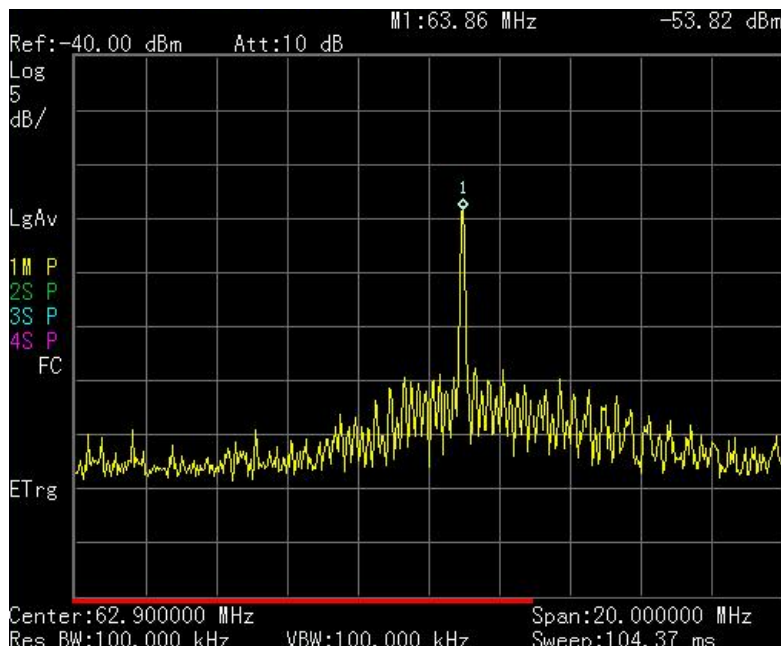
б) Включено

РИСУНОК 16

Радиочастотный спектр оборудования E для МРИ



а) Выключено



б) Включено

## Прилагаемый документ 2

### Результаты измерений оборудования для индукционного нагрева

В настоящем Прилагаемом документе представлен радиочастотный спектр двух видов оборудования для индукционного нагрева во включенном и выключенном состояниях.

РИСУНОК 17

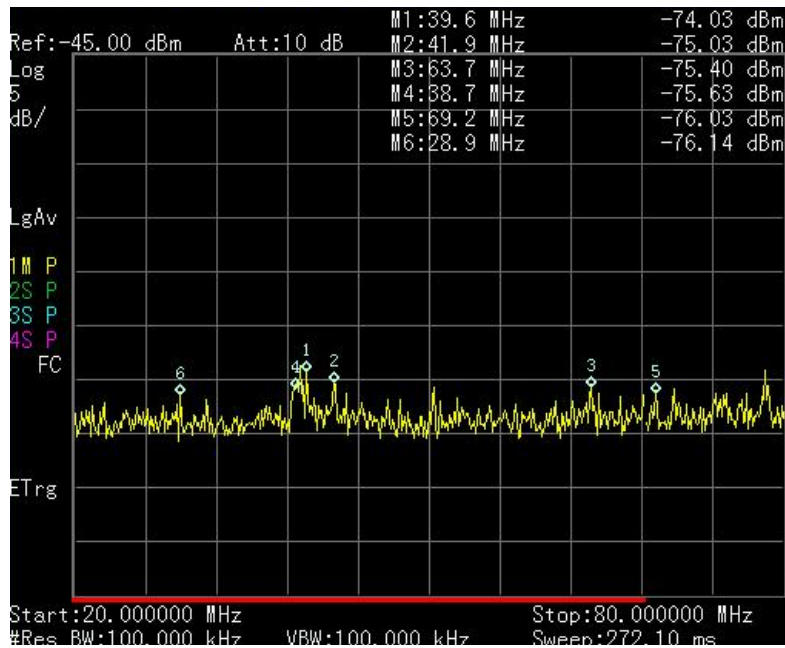
#### Примеры оборудования для индукционного нагрева



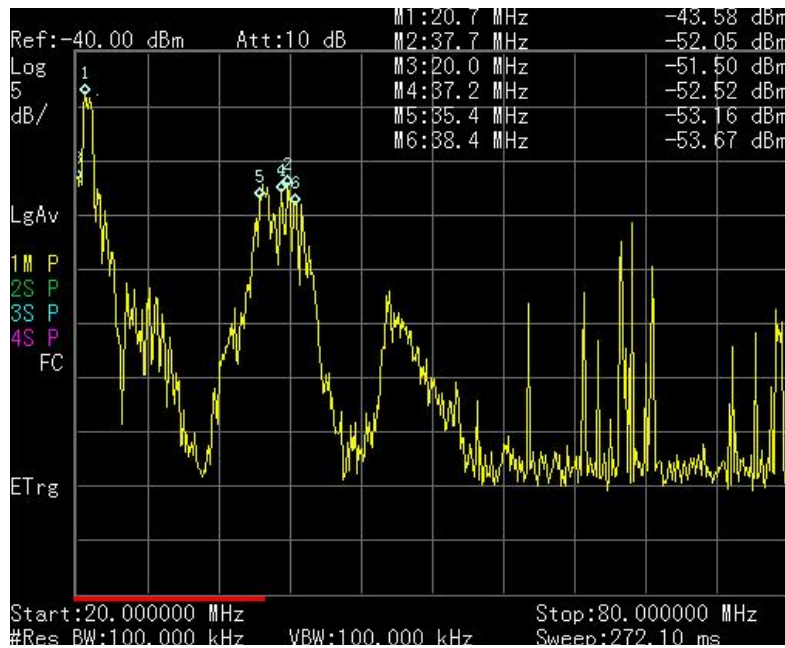


РИСУНОК 18

Радиочастотный спектр оборудования А для индукционного нагрева



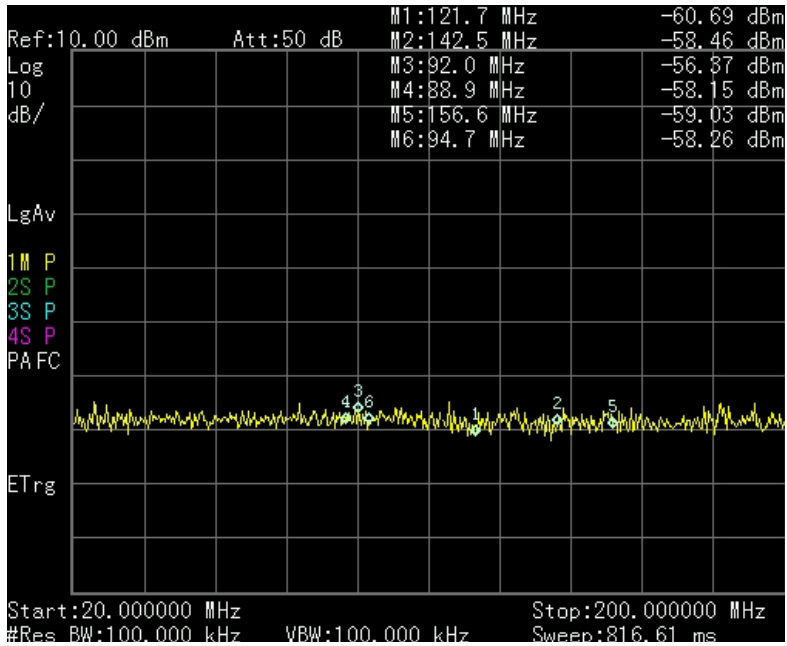
а) Выключено



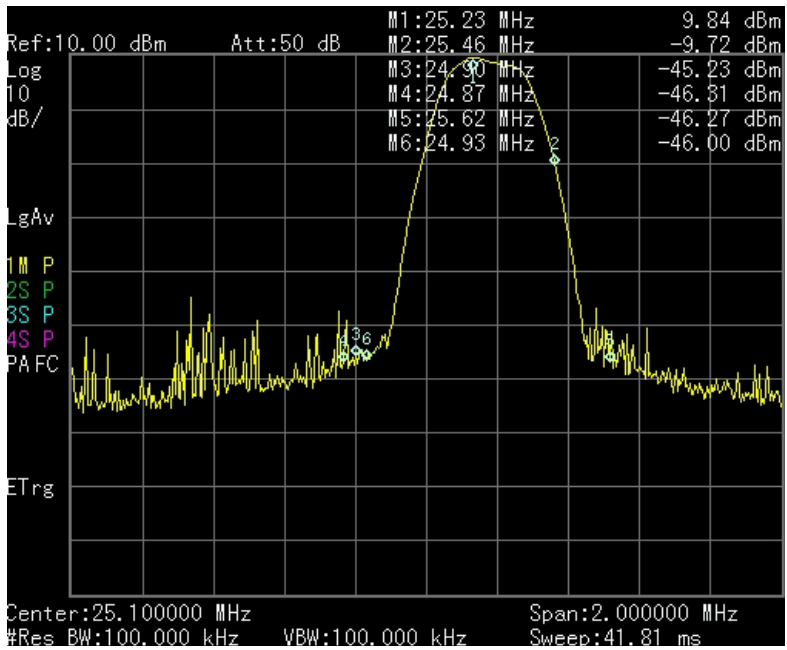
б) Включено

РИСУНОК 19

Радиочастотный спектр оборудования В для индукционного нагрева



а) Выключено



б) Включено