

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.2138-0
(02/2021)

Процедура испытаний для определения точности измерения напряженности поля системой контроля излучений в диапазоне ОВЧ/УВЧ

Серия SM
Управление использованием спектра



Предисловие

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

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

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

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

Серии Рекомендаций МСЭ-R

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

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

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2021г.

© ITU 2021

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.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.2138-0

Процедура испытаний для определения точности измерения напряженности поля системой контроля излучений в диапазоне ОВЧ/УВЧ

(2021)

Сфера применения

Точность измерения напряженности поля системами контроля излучений (радиоконтроля) является важным вопросом для регуляторных органов и других организаций, которые должны внедрять службы контроля излучений. Сравнение различных систем зачастую представляет собой трудную задачу из-за целого ряда факторов, таких как архитектура системы, типовое использование/назначение, требования к габаритам, требования к монтажу и другие вопросы. Для упрощения базового сравнения различных систем радиоконтроля и оценки существующих систем на регулярной основе в настоящей Рекомендации представлено руководство по стандартным методам испытания с целью определения точности измерения напряженности поля системой контроля излучений и представлению результатов испытаний.

Ключевые слова

Точность измерения напряженности поля, измерение, место проведения испытаний, открытое место проведения испытаний, OATS, надлежащее место проведения испытаний на открытом воздухе, POTS.

Сокращения

OATS	Open air test site		Открытое место проведения испытаний
POTS	Proper outdoor test site		Надлежащее место проведения испытаний на открытом воздухе
RF	Radio frequency	РЧ	Радиочастота
SNR	Signal-to-noise ratio		Отношение сигнал/шум
UHF	Ultra-high frequency	УВЧ	Ультравысокая частота
VHF	Very-high frequency	ОВЧ	Очень высокая частота

Соответствующие Рекомендации МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.378

Рекомендация МСЭ-R SM.2060

Рекомендация МСЭ-R SM.2061

Рекомендация МСЭ-R SM.2096

Рекомендация МСЭ-R SM.2097

ПРИМЕЧАНИЕ. – Во всех случаях следует использовать последнее по времени издание действующей Рекомендации/Отчета.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

a) что МСЭ-R опубликовал в Рекомендации МСЭ-R SM.378 "Измерение напряженности поля на станциях радиоконтроля" типовые характеристики требуемой точности измерения напряженности поля;

b) что МСЭ опубликовал в Справочнике МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 года) методы измерения напряженности поля на станциях радиоконтроля;

- c) что точность измерения напряженности поля может влиять на пригодность системы радиоконтроля для выполнения определенных задач контроля, в особенности при использовании в типовых условиях эксплуатации;
- d) что процедуры испытаний для определения точности измерения напряженности поля не должны зависеть от проектного решения системы радиоконтроля;
- e) что процедуры испытаний для определения точности измерения напряженности поля, будучи принятыми, обеспечат объективную оценку различных систем радиоконтроля,

рекомендует

- 1 использовать процедуру испытаний, приведенную в Приложении 1, для определения точности измерения напряженности поля системой радиоконтроля и представления отчета о результатах испытаний;
- 2 указывать в отчете о результатах процедуру и условия испытаний, используемые для определения точности измерения напряженности поля.

Приложение 1

Процедура испытаний для определения точности измерения напряженности поля системой контроля излучений в диапазоне ОВЧ/УВЧ

1 Введение

В настоящей Рекомендации определена общая процедура испытаний для оценки точности измерения напряженности поля системой радиоконтроля. Цель настоящего Приложения – обеспечить определение точности измерения напряженности поля системой радиоконтроля и стандартный метод проведения испытаний, с тем чтобы администрации имели основу для сравнения систем измерения напряженности поля системами радиоконтроля различных производителей и регулярной оценки работы собственных систем в соответствии со своими требованиями.

Точность измерения напряженности поля системой радиоконтроля определяется как разность в децибелах между двумя измеренными значениями напряженности поля сигнала (дБмкВ/м), одно из которых получено с помощью системы радиоконтроля, а другое – с помощью калиброванной эталонной системы измерения напряженности поля.

Система радиоконтроля состоит из антенны, РЧ-кабелей, приемника и программного обеспечения радиоконтроля. Предполагается, что в программное обеспечение внесены все необходимые поправки на КПД антенны и потери в РЧ-кабелях и коммутаторах.

Процедура измерений позволяет определить точность измерения напряженности поля системой в определенных условиях испытаний на испытательной площадке в условиях контролируемого распространения, и может использоваться для калибровки мобильных и переносных систем радиоконтроля, а также стационарных систем радиоконтроля (перед их монтажом).

2 Принцип измерения

Измерения проводят в упрощенных условиях и по упрощенной схеме, для того чтобы обеспечить повторяемость процедуры. По этой причине влияние типа модуляции (включая изменяющиеся по фазе и времени сигналы), коэффициента заполнения сигнала, ширины полосы, поляризации сигнала, длительности сигнала, шума, других сигналов и неконтролируемых условий (например, многоволнового и многолучевого распространения) намеренно не учитывают. Благодаря этому упрощается процедура и сокращается время, необходимое для выполнения измерений.

Согласно международным стандартам наилучшей измерительной площадкой является открытое место проведения испытаний (OATS) или безэховая камера.

На практике найти OATS или безэховую камеру достаточно большого размера может быть затруднительно. Вместо этого возможно использовать испытательную площадку, которая характеризуется низким коэффициентом отражения, отсутствием зданий и расположенных поблизости крупных металлических конструкций или поверхностей, находится на достаточном расстоянии от основных дорог и мешающих передатчиков. Таким условиям может отвечать обширное открытое поле, которое может быть названо надлежащим местом проведения испытаний на открытом воздухе (POTS).

Следует отметить, что измерения в безэховых камерах обычно возможны только в диапазоне УВЧ и на более высоких частотах ввиду ограниченного размера камеры и ее отражающих свойств.

3 Схема измерительной установки

Предлагаемые варианты схемы установки для определения точности измерения напряженности поля показаны на рисунках 1 и 2.

Схема измерительной установки, изображенная на рисунке 1, рекомендуется для применения главным образом в условиях POTS, а изображенная на рисунке 2 – в условиях OATS или безэховой камеры.

На практике в условиях POTS электромагнитная обстановка контролю не поддается. Поэтому прежде чем приступать к измерениям на той или иной испытательной частоте, необходимо убедиться, что она не занята другим сигналом.

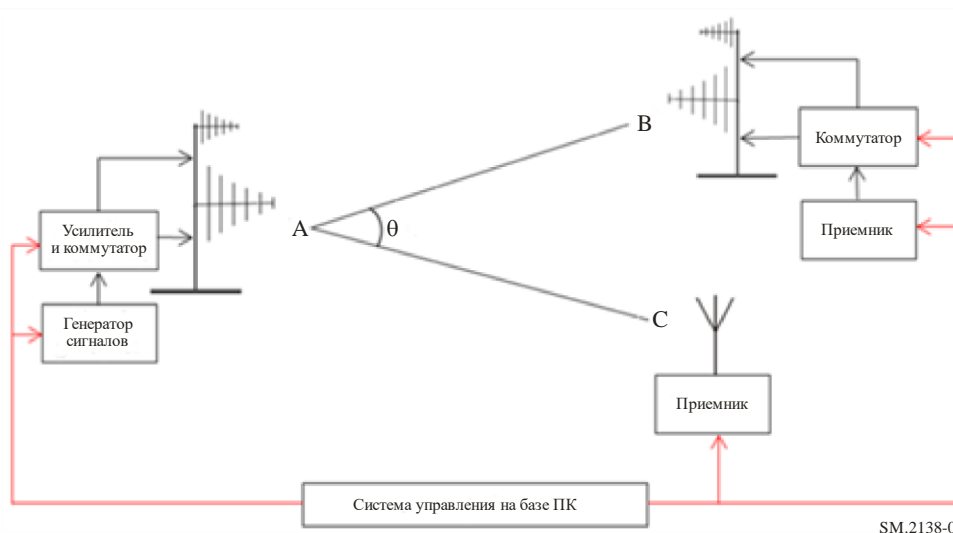
Перед выполнением измерений необходимо откалибровать POTS с помощью системы измерения напряженности поля. В случае если используется OATS или безэховая камера, крайне важно обеспечить корректность калибровки площадки.

При проведении испытаний в условиях POTS, необходимо в ходе каждого измерения параллельно измерять напряженность поля в опорной точке В (см. рисунок 1) для компенсации изменения условий распространения радиоволн на POTS (например, из-за изменения электропроводности почвы).

Выбирать испытательную площадку можно исходя из практических соображений, касающихся длительности испытаний или числа испытуемых систем. Измерения, выполненные в условиях OATS или в безэховой камере, обычно лучше поддаются контролю, а выполненные в условиях POTS, как правило, более эффективны.

3.1 Схема измерительной установки при использовании POTS

РИСУНОК 1



Как показано на рисунке 1, испытательная установка имеет следующую конфигурацию.

Передающую систему размещают в точке А. Эталонную систему измерения напряженности поля размещают в точке В, а испытуемую систему радиоконтроля – в точке С так образом, что эти три системы образуют треугольник. Расстояние между эталонной и передающей системами должно в точности равняться расстоянию между системой радиоконтроля и передающей системой.

Диаграмма направленности антенны эталонной системы измерения напряженности поля должна быть как можно более сходной с диаграммой направленности антенны испытуемой системы радиоконтроля.

Для того чтобы снизить уровень электромагнитного излучения во время испытаний и уменьшить мощность передающей системы, рекомендуется использовать направленную антенну с шириной луча по уровню 3 дБ не более 30°.

Для того чтобы свести к минимуму взаимодействие между антеннами системы радиоконтроля и эталонной системы, угол θ между направлениями от передающей системы на эталонную систему и систему радиоконтроля следует сделать как можно бóльшим, но не более 30°.

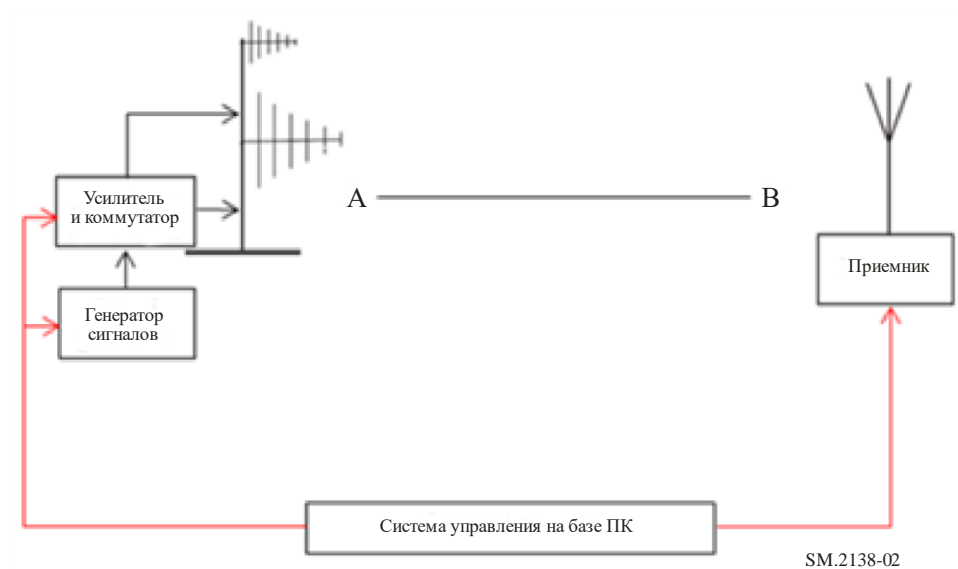
Направление максимума излучения передающих антенн устанавливают в среднюю точку между системой радиоконтроля и эталонной системой.

Высоту передающих антенн и антенн эталонной системы над землей рекомендуется устанавливать не менее одной длины волны наименьшей испытательной частоты, для того чтобы отражения от поверхности земли не влияли на результаты испытаний.

Высота передающих антенн должна быть регулируемой, и диапазон ее регулировки должен составлять не менее одной длины волны наименьшей испытательной частоты.

3.2 Схема измерительной установки при использовании безэховой камеры или OATS

РИСУНОК 2



Как показано на рисунке 2, испытательная установка имеет следующую конфигурацию.

Передающую систему размещают в точке А, а испытуемую систему радиоконтроля – в точке В.

Для того чтобы снизить уровень электромагнитного излучения во время испытаний и уменьшить мощность передающей системы, рекомендуется использовать направленную антенну с шириной луча по уровню 3 дБ не более 30°.

Направление максимума излучения передающих антенн устанавливают на антенну системы радиоконтроля.

При использовании OATS рекомендуется высоту передающих антенн устанавливать не менее одной длины волны наименьшей испытательной частоты, для того чтобы отражения от поверхности земли не влияли на результаты испытаний.

Кроме того, при использовании OATS или безэховой камеры с проводящей заземляющей плоскостью высота передающих антенн должна быть регулируемой, и диапазон ее регулировки должен составлять не менее одной длины волны наименьшей испытательной частоты. Это требование не распространяется на полностью безэховые камеры (в том числе с безэховой заземляющей плоскостью).

3.3 Общие соображения

Выбор испытательной частоты и расстояния от передающих антенн до антенн системы радиоконтроля и эталонной системы должен производиться в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.2060, для того чтобы соблюдались требования к испытаниям и условия дальнего поля.

Все расстояния между элементами измерительной установки, а также значения высоты антенн должны быть отражены в отчете о результатах испытаний.

Ширина полосы измерения системы радиоконтроля должна быть установлена на минимальное значение.

Должны быть включены режим автоматической регулировки усиления (APУ) и режим автоматической регулировки частоты (АРЧ) (если он предусмотрен) системы радиоконтроля.

Для определения фактических рабочих характеристик системы радиоконтроля она должна работать в нормальных условиях эксплуатации, например, питание мобильной системы радиоконтроля должно осуществляться от собственного аккумулятора или от бортовой сети транспортного средства.

Прочие параметры должны быть настроены оптимальным для системы радиоконтроля образом в соответствии с техническим паспортом или руководством по эксплуатации.

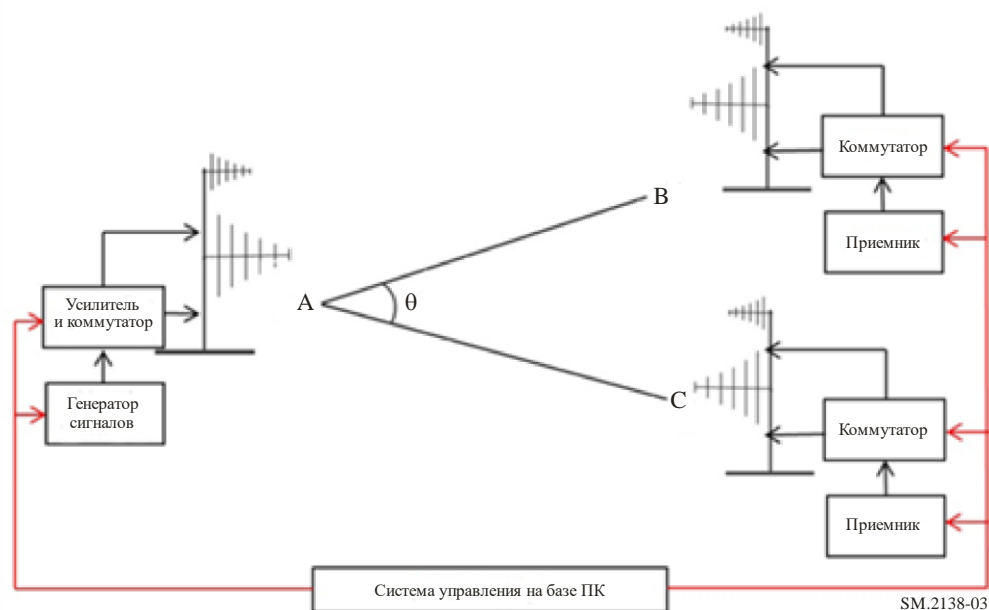
Все оборудование и принадлежности (например, передатчик, передающие антенны, эталонная система в составе приемников, антенн, кабелей и т. п.) должны быть откалиброваны по установленным национальным или международным процедурам. Для достижения наивысшей общей точности измерений рекомендуется перед выполнением испытаний откалибровать эталонную систему, включая приемники, антенны, кабели и другие принадлежности, как единое целое.

4 Процедура определения испытательных частот, эталонной напряженности поля и значений высоты антенн

4.1 Процедуры проведения испытаний на POTS

В точке С (см. рисунок 1) размещают еще одну эталонную систему, как показано на рисунке 3, при этом высоту антенны эталонной системы в точке С устанавливают равной высоте антенны испытываемой системы радиоконтроля. Для повышения точности измерений рекомендуется использовать в эталонных системах В и С антенны одного типа. Диаграмма направленности антенны эталонной системы должна быть как можно более сходной с диаграммой направленности антенны испытываемой системы радиоконтроля.

РИСУНОК 3



На передатчике устанавливают режим немодулированного сигнала и настраивают его на испытательную частоту f_i .

Регулирование уровня выходного сигнала передатчика осуществляют, до тех пор пока отношение сигнал/шум принятого эталонной системой в точке В сигнала не достигнет как минимум 20 дБ.

Регулированием высоты передающей антенны¹ определяют позицию, при которой на эталонной системе в точке В уровень принятого сигнала является наибольшим. Это необходимо, для того чтобы не выполнять измерения в точке, где прямая волна и волна, отраженная от поверхности земли, взаимно компенсируются.

В протокол вносят уровень выходной мощности передатчика, испытательную частоту, высоту передающей антенны и результаты по меньшей мере десяти последовательных измерений напряженности поля, а также среднее значение E_{Vi} (дБмкВ/м), полученное на эталонной системе В.

Одновременно выполняют такие же измерения напряженности поля на эталонной системе в точке С, внося в протокол результаты по меньшей мере десяти последовательных измерений напряженности поля и среднее значение E_{Ci} (дБмкВ/м), полученное на эталонной системе С.

Вычисляют разность D_i измеренных значений напряженности поля на эталонных системах в точках В и С по следующей формуле:

$$D_i = E_{Vi} - E_{Ci}.$$

Далее меняют испытательную частоту, после чего описанную выше процедуру повторяют, до тех пор пока не будут выполнены измерения на всех частотах.

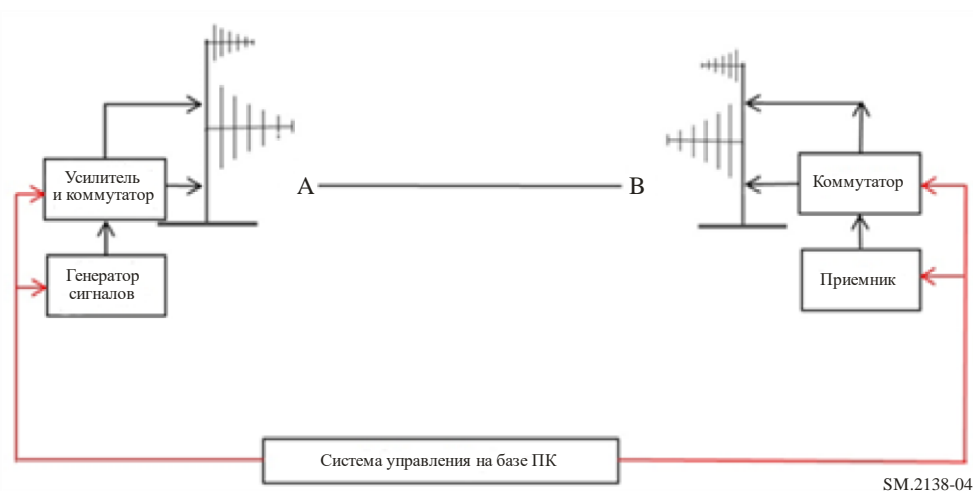
При выборе испытательной частоты для конфигурации, изображенной на рисунке 3, рекомендуется выполнить измерения на как можно большем количестве частот и вычислить разность измеренных значений напряженности поля на каждой частоте. Для окончательного испытания отбирают те частоты, на которых разность оказывается наименьшей. На этих частотах далее проводят измерения, как описано в пункте 5.1.

¹ Того же эффекта можно достичь, варьируя другие геометрические параметры измерительной установки – например высоту приемных антенн, расположение передатчиков или приемников. Тем или иным образом необходимо обеспечить строго симметричное положение приемных систем относительно направления максимального излучения передающей антенны.

4.2 Процедуры проведения испытаний в безэховой камере или на OATS

Эталонную систему размещают в точке В (см. рисунок 2), как показано на рисунке 4, при этом высоту антенны эталонной системы в точке В устанавливают в точности равной высоте антенны испытываемой системы радиоконтроля.

РИСУНОК 4



На передатчике устанавливают режим немодулированного сигнала и настраивают его на испытательную частоту f_i .

Регулирование уровня выходного сигнала передатчика осуществляют, до тех пор пока отношение сигнал/шум принятого эталонной системой сигнала не достигнет как минимум 20 дБ.

При проведении испытаний на OATS регулированием высоты передающей антенны² определяют позицию, при которой на эталонной системе в точке В уровень принятого сигнала является наибольшим. Это необходимо, для того чтобы не выполнять измерения в точке, где прямая волна и волна, отраженная от поверхности земли, взаимно компенсируются. При проведении испытаний в полностью безэховой камере (с безэховой заземляющей плоскостью), необходимость в этом шаге отсутствует.

В протокол вносят уровень выходной мощности передатчика, испытательную частоту, высоту передающей антенны и результаты по меньшей мере десяти последовательных измерений напряженности поля, а также среднее значение E_i (дБмкВ/м), полученное на эталонной системе.

Далее меняют испытательную частоту и высоту передающей антенны, после чего описанную выше процедуру повторяют, до тех пор пока не будут выполнены измерения на всех частотах. На этих частотах далее проводят измерения, как описано в пункте 5.2.

5 Процедура выполнения измерений

5.1 Процедура проведения испытаний на POTS

Испытуемую систему радиоконтроля размещают в точке С испытательной площадки, как показано на рисунке 1.

² Того же эффекта можно достичь, варьируя другие геометрические параметры измерительной установки – например высоту приемных антенн, расположение передатчиков или приемников. Тем или иным образом необходимо обеспечить строго симметричное положение приемных систем относительно направления максимального излучения передающей антенны.

На передатчике устанавливают режим немодулированного сигнала и настраивают его на одну из испытательных частот f_i , отобранных согласно пункту 4.1; передающую антенну устанавливают на высоту, определенную согласно пункту 4.1.

Регулирование уровня выходного сигнала передатчика осуществляют, до тех пор пока отношение сигнал/шум принятого эталонной системой сигнала не достигнет как минимум 20 дБ. На эталонной системе выполняют не менее десяти последовательных измерений напряженности поля и вносят их результаты в протокол наряду с полученным средним значением E_i (дБмкВ/м).

Одновременно на испытываемой системе радиоконтроля выполняют не менее десяти последовательных измерений напряженности поля и вносят их результаты в протокол наряду с полученным средним значением E'_i (дБмкВ/м).

Точность измерения напряженности поля ΔE_i (дБ) системой радиоконтроля на частоте f_i вычисляют по формуле

$$\Delta E_i = E_i - E'_i - D_i.$$

Далее меняют испытательную частоту, после чего описанную выше процедуру повторяют, до тех пор пока не будут выполнены измерения на всех выбранных частотах.

5.2 Процедура проведения испытаний в безэховой камере или на OATS

Испытуемую систему радиоконтроля размещают в точке В испытательной площадки, как показано на рисунке 2.

На передатчике устанавливают режим немодулированного сигнала и настраивают его на ту же испытательную частоту f_i , отобранную согласно пункту 4.2, и с тем же уровнем мощности; передающую антенну устанавливают на высоту, определенную согласно пункту 4.2.

На испытываемой системе радиоконтроля выполняют не менее десяти последовательных измерений напряженности поля и вносят их результаты в протокол наряду с полученным средним значением E'_i (дБмкВ/м).

Точность измерения напряженности поля ΔE_i (дБ) системой радиоконтроля на частоте f_i вычисляют по формуле

$$\Delta E_i = E_i - E'_i.$$

Далее меняют испытательную частоту и высоту передающей антенны, после чего описанную выше процедуру повторяют, до тех пор пока не будут выполнены измерения на всех выбранных частотах.

6 Представление результатов испытаний и прочие вопросы

Окончательные результаты испытаний представляют в виде таблицы и/или графика, содержащих значения точности измерения напряженности поля на каждой из отобранных испытательных частот, как показано в таблице 1.

В отчете о результатах испытаний должны быть указаны уровни напряженности поля принятого системами сигнала, а также место проведения испытаний, дата, время и температура воздуха (если испытания проводятся на открытом воздухе). Кроме того, в отчете о результатах испытаний должны быть указаны параметры испытательного сигнала, в том числе средняя частота, амплитуда сигнала и режим модуляции, установленные на генераторе сигналов.

Точность полученных результатов испытаний зависит от многих факторов, включая точность испытательной системы, влияние испытательной площадки, отражение от поверхности земли и испытательные образцы на каждой испытательной частоте. Ввиду этого важно перед каждым измерением, выполняемым в другой день или после существенной перемены погоды, выполнять действия, описанные в пункте 4. Все испытательное оборудование и принадлежности (например, передатчик, передающие антенны, эталонная система в составе приемников, антенн, кабелей и т. п.) должны быть откалиброваны по установленным национальным или международно признанным процедурам. Для достижения наивысшей общей точности измерений рекомендуется перед выполнением

испытаний откалибровать эталонную систему, включая приемники, антенны, кабели и другие принадлежности, как единое целое. Испытательная площадка также должна быть откалибрована в разные времена года по установленным национальным или международно признанным процедурам.

Неопределенность результата испытаний (включая испытательную установку и испытательную площадку) должна быть проанализирована с использованием национальных или международно признанных процедур и отражена в отчете о результатах испытаний для содействия наиболее эффективному использованию такого отчета.

В рекомендуемой процедуре измерений применяются немодулированные сигналы. Вместе с тем по согласованию между всеми сторонами допускается использование различных режимов модуляции сигнала при условии, что их параметры будут измерены и внесены в отчет в соответствии с условиями и методами, описанными в настоящей Рекомендации. Применение модуляции должно быть отражено в отчете о результатах испытаний.

Следует отметить, что в случае мобильной системы радиоконтроля с мачтой, высота которой может достигать 10 м и более, точность результата испытаний будет возрастать с увеличением высоты антенны. В случае мобильной системы радиоконтроля без мачты или с мачтой высотой менее 10 м точность результата испытаний будет снижена из-за влияния транспортного средства.

Все параметры измерений (ширина полосы и т. д.) должны соответствовать требованиям Справочника МСЭ-R по контролю за использованием спектра с внесением в отчет о результатах аналогичных условий испытаний и результатов испытаний, выраженных в децибелах.

В случае если испытываемая система представляет собой радиопеленгатор, предпочтительно располагать его под углом, по умолчанию равным 0° , то есть направлять непосредственно на передатчик. При невозможности соблюдения данного требования в отчете о результатах испытаний должна быть указана ориентация радиопеленгатора относительно передатчика.

Использование программного обеспечения для регулирования испытательных частот на передатчике, высоты антенны, считывания результатов измерений с испытываемой и эталонной систем, а также расчета данных испытаний в автоматическом режиме позволит принципиально повысить эффективность испытаний, в случае когда требуется испытать большое число сходных систем.

ТАБЛИЦА 1

Образец таблицы данных испытаний

Режим модуляции сигнала _____ Поляризация сигнала _____

Частота, МГц	Напряженность поля на эталонной системе E_i , дБмкВ/м	Напряженность поля на испытываемой системе радиоконтроля E'_i , дБмкВ/м	Точность измерения напряженности поля ΔE , дБ
f_1			
f_2			
f_3			
...			...

Пример таблицы с указанием точности измерения напряженности поля в техническом паспорте:

Частота	f_1	f_2	f_3	...	f_N
Точность измерения напряженности поля	Точность измерения напряженности поля на частоте f_1	Точность измерения напряженности поля на частоте f_2	Точность измерения напряженности поля на частоте f_3	...	Точность измерения напряженности поля на частоте f_N