

МСЭ-R
Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2125-1
(06/2011)

**Параметры и процедуры измерения
приемников и станций радиоконтроля
диапазонов ВЧ/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 Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

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

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

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

Электронная публикация
Женева, 2011 г.

ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2125-1*

**Параметры и процедуры измерения приемников и станций
радиоконтроля диапазонов ВЧ/ОВЧ/УВЧ**

(2007-2011)

Резюме

В настоящем Отчете описаны процедуры измерения для определения технических параметров приемников и систем радиоконтроля. В настоящем Отчете не приводятся ни описания возможных технических решений, ни автоматически лучшее решение для определения того или иного параметра.

В одном разделе Отчета описана проверка ключевых параметров контрольного приемника, а в другом – проверка технических параметров контрольных станций и других интегрированных в них систем, как, например, радиопеленгаторов. Содержания обоих разделов могут частично совпадать, а подразделы могут даже иметь одинаковые названия, однако их следует рассматривать как различные.

Причина разделения технических характеристик на ключевые параметры и параметры станций состоит в том, что контрольные приемники могут быть приобретены как отдельные устройства или в составе интегральной системы, в случае чего параметры отдельного приемника не могут быть определены.

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	2
2 Ключевые параметры приемника	2
2.1 IP_2/IP_3	2
2.2 Чувствительность	3
2.3 Коэффициент шума приемника	3
2.4 Характеристики фильтра ПЧ.....	4
2.5 Скорость сканирования приемника	5
2.6 Ключевые параметры приемников РП	5
3 Процедуры измерения параметров станции контроля и РП	6
3.1 Измерение значений IP_2/IP_3 станций контроля и радиопеленгации	6
3.2 Измерение чувствительности станции контроля или РП	8
3.3 Ключевые параметры станций РП.....	17

* В 2012 году 1-я Исследовательская комиссия внесла редакционные изменения в настоящий Отчет.

1 Введение

В Справочнике МСЭ-R по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) содержатся типовые технические характеристики контрольных приемников и радиопеленгаторов (РП)/контрольных станций, но не указаны процедуры измерения для определения этих характеристик. В Справочнике не учитываются также характеристики комплексных систем, таких как полная контрольная станция/РП, построенная на основе контрольного приемника.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Справочник МСЭ-R по контролю за использованием спектра создан не в качестве стандарта, а с тем чтобы предоставить руководство по всем аспектам контроля за использованием спектра.

В настоящем Отчете указаны соответствующие ключевые параметры приемника и параметры станции. Рассматриваемые параметры могут быть определены производителем или конечным пользователем.

2 Ключевые параметры приемника

2.1 IP_2/IP_3

Контрольные приемники работают в среде, в которой одновременно присутствуют сильные и слабые сигналы. Поэтому важным свойством приемника является возможность одновременной обработки этих сигналов без искажений. Данное свойство называют линейностью приемника, которую количественно определяют с использованием значений IP_2 и IP_3 (интермодуляционные составляющие второго и третьего порядков).

Хотя входные каскады приемника оказывают наибольшее влияние на IP_2 и IP_3 , фильтры усилителя ПЧ в случае цифрового контрольного приемника и любые другие усилители влияют на IP_2 и IP_3 . Поэтому все эти компоненты должны учитываться при проведении измерения IP_2 и IP_3 . Измерения IP_2 и IP_3 выполняются путем подачи двух сигналов на вход приемника и измерения характеристики приемника. В случае нелинейности образуются составляющие двух поданных сигналов, и уровень этих составляющих является мерой нелинейности приемника. Измеряемые значения IP_2 и IP_3 , помимо линейности компонентов приемника, зависят также от следующих параметров:

- разницы частот и уровней двух подаваемых испытательных сигналов;
- выбранных испытательных частот.

2.1.1 Принцип расчета интермодуляционной составляющей второго порядка

На антенный вход контрольного приемника подают два испытательных сигнала одинаковой среднеквадратической мощности (P_{in}) на частотах f_1 и f_2 ($f_1 < f_2$). Вследствие нелинейностей могут появиться две интермодуляционные составляющие на частотах f_3 и f_4 :

$$f_3 = f_2 - f_1 \text{ и } f_4 = f_2 + f_1.$$

Эти частоты могут быть также записаны с использованием параметра Δf (разности частот), который зависит от типа измерения:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ и } f_2 = 2 \times f_3 + \Delta f, \text{ где } \Delta f = 2 \times f_1 - f_2.$$

Тогда интермодуляционная составляющая второго порядка на входе должна быть рассчитана как:

$$IP_2 = Pin + a,$$

где:

- IP_2 : интермодуляционная составляющая второго порядка на входе испытываемого контрольного приемника;
- Pin : среднеквадратическая мощность (дБм) двух подаваемых испытательных сигналов;
- a : разность (дБ) между уровнем испытательных сигналов и уровнем самой большой интермодуляционной составляющей на входе.

2.1.2 Принцип расчета интермодуляционной составляющей третьего порядка

На антенный вход контрольного приемника подаются два испытательных сигнала одинаковой среднеквадратической мощности (Pin) на частотах F_1 и F_2 ($F_1 < F_2$). Вследствие нелинейностей могут появиться две интермодуляционные составляющие на частотах F_3 и F_4 :

$$f_3 = [(2 \times f_1) - f_2] \text{ и } f_4 = [(2 \times f_2) - f_1].$$

Эти частоты могут быть также записаны с использованием параметра Δf (разности частот), который зависит от типа измерения:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ и } f_2 = f_3 + 2 \times \Delta f, \text{ где } \Delta f = f_2 - f_1.$$

Тогда интермодуляционная составляющая третьего порядка на входе должна быть рассчитана как:

$$IP_3 = Pin + a/2,$$

где:

- IP_3 : интермодуляционная составляющая третьего порядка на входе испытываемого контрольного приемника;
- Pin : среднеквадратическая мощность (дБм) двух подаваемых испытательных сигналов;
- a : разность (дБ) между уровнем подаваемых испытательных сигналов и уровнем самой большой интермодуляционной составляющей на входе.

2.2 Чувствительность

Чувствительность приемника радиоконтроля определяется минимальным напряжением сигнала (мкВ) на входе контрольного приемника, при котором возможны демодуляция и звуковое прослушивание принимаемого сигнала.

Минимальный уровень слышимого сигнала может быть определен с использованием отношения сигнал/помеха, включая измерение шума и искажения (SINAD).

2.3 Коэффициент шума приемника

Коэффициент шума – это одна из основных технических характеристик контрольного приемника. Коэффициент шума тесно связан с чувствительностью контрольного приемника. Коэффициент шума контрольного приемника является коэффициентом, на который увеличивается мощность шума самого контрольного приемника при подаче на него эталонного шума. Коэффициент шума измеряется на входе контрольного приемника.

Коэффициент шума контрольного приемника может быть измерен с помощью нескольких методов:

- метода усиления;
- метода "Y-фактора" (метод шумового диода);
- метода чувствительности.

2.4 Характеристики фильтра ПЧ

Форма, ширина полосы и качество различных фильтров ПЧ важны для большинства применений контроля и измерения. Для описания характеристик фильтров ПЧ в основном используются четыре параметра.

2.4.1 Ширина полосы по ПЧ

Это ширина полосы, определяемая как расстояние между точками -3 дБ и -6 дБ фильтра ПЧ приемника.

2.4.2 Неравномерность и асимметрия фильтра ПЧ в полосе пропускания

Способ определения неравномерности в полосе пропускания зависит от производителя. В основном существует два способа, каждый из которых имеет свое преимущество для цифровой или аналоговой фильтрации. Для аналоговых фильтров используется значение размаха, поскольку отсутствуют провалы, а распределение неравномерностей не является равномерным. Для цифровых фильтров используется величина между пиковым и средним значениями, поскольку имеют место провалы, а распределение неравномерностей является равномерным (см. рис. 1).

РИСУНОК 1

Примеры неравномерности в полосе пропускания фильтра



2.4.3 Кривая в полосе пропускания фильтра и подавление внеполосных сигналов

Подавление внеполосных сигналов – это подавление сигналов, удаленных от краев полосы пропускания, которые устанавливаются на определенном расстоянии от центра характеристики фильтра. Различные предлагаемые приемники характеризуются разными значениями этого параметра в зависимости от конструкции фильтра, а также его установки и нагрузки. Данный параметр имеет особое значение для приемников с цифровыми фильтрами, в которых уровень подавления внеполосных сигналов зависит от используемых аналого-цифровых преобразователей. Уровень данного подавления может зависеть от реального расстояния измерения относительно центральной частоты фильтра ввиду аномалий, вызываемых неправильной нагрузкой фильтра.

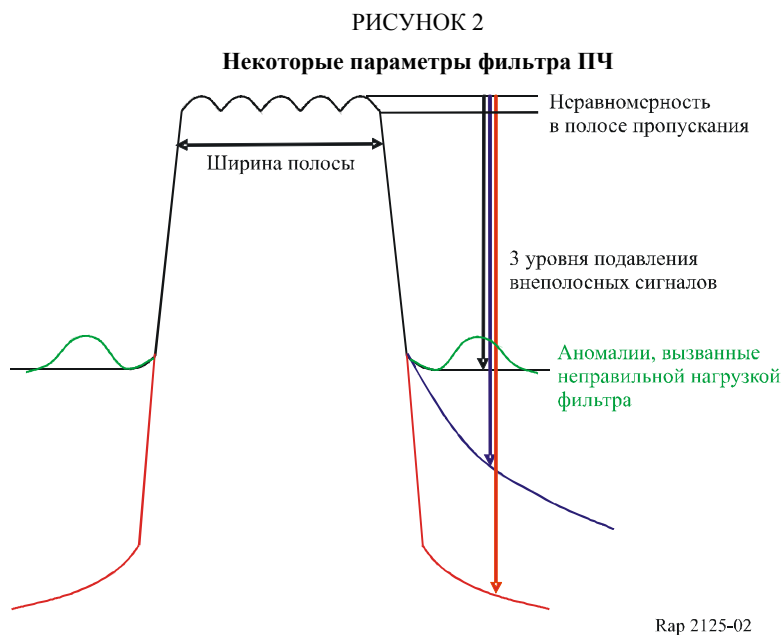
2.4.4 Коэффициент формы фильтра ПЧ

Коэффициент формы определяется как отношение ширины полосы по уровню n дБ и ширины полосы по уровню -6 дБ. Коэффициент n должен быть указан, например $n = 60$ дБ или $n = 50$ дБ. Его следует указывать для каждого фильтра (см. рис. 2).

2.4.5 Групповое запаздывание фильтра ПЧ

Групповое запаздывание – это общая разница по времени, которое необходимо для прохождения через фильтр ПЧ ряда сигналов.

В идеальном фильтре все сигналы, подаваемые на различных частотных позициях в фильтр, проходят его с одинаковой задержкой, поэтому разность фаз между сигналами на входе будет той же, что и разность сигналов на выходе фильтра. Групповое запаздывание можно также назвать фазовой линейностью фильтра.



Большое групповое запаздывание имеет место в основном вблизи краев полосы пропускания фильтра, однако в фильтрах высокого порядка оно заметно также внутри полосы пропускания. Приблизительно можно сказать, что узкополосные фильтры и фильтры с низким коэффициентом формы (края фильтра с крутыми склонами) имеют большее групповое запаздывание, которое обуславливает худшее качество. По существу, в этом отношении нет разницы между цифровыми и аналоговыми фильтрами.

Что это означает для пользователя контрольного приемника? Эти широкополосные фильтры с крутыми краями используются в приемниках для демодуляции цифровых сигналов, и слишком большое групповое запаздывание фильтра особенно сказывается на качестве фазовых демодуляторов. Звуковой контроль может быть также утомительным, если групповое запаздывание фильтра очень велико. Звук сигналов будет искаженным и зашумленным. В многоцелевом контрольном приемнике групповое запаздывание фильтра должно находиться в определенных пределах для каждого фильтра ПЧ.

Один из способов измерения группового времени запаздывания состоит в использовании сетевого анализатора, сканировании в полосе пропускания фильтра и регистрации изменений в поведении фазы/частоты. Групповое запаздывание выражается в единицах времени (микросекунды, наносекунды).

2.5 Скорость сканирования приемника

Скорость сканирования (иногда называемая скоростью развертки) является мерой того, насколько быстро приемник может предоставить значения уровней сигналов по ряду частот в рамках заданной полосы частот. Она измеряется в МГц в секунду.

На скорость сканирования оказывают влияние то или иное время переключения полосы, время обратного хода развертки, время установления сигнала местного генератора и любое время вычисления. Другими словами, параметр скорости сканирования может быть использован для вычисления времени просмотра. В дополнение отдельно может быть приведен перечень конкретных элементов, которые влияют на скорость сканирования, таким образом, пользователи имеют возможность определить время просмотра для любого произвольного диапазона частот.

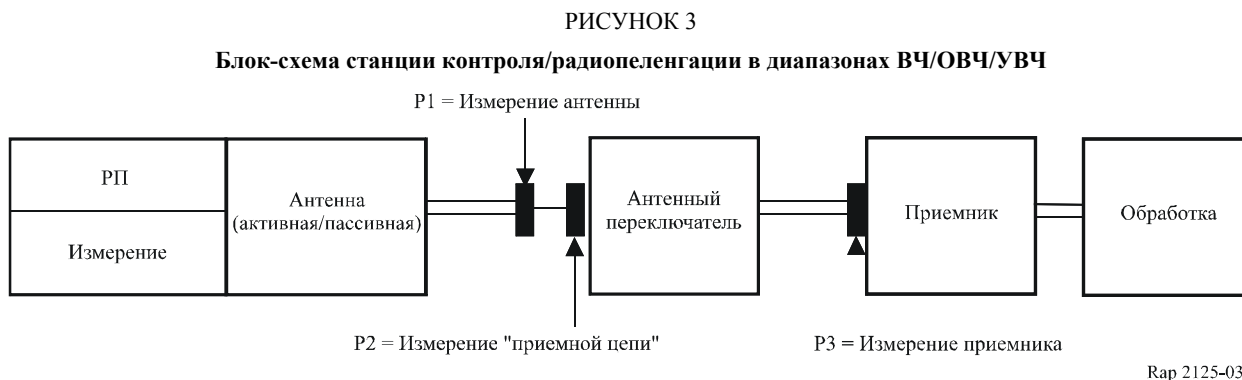
2.6 Ключевые параметры приемников РП

В зависимости от измеряемых параметров приемник радиопеленгации (РП) следует рассматривать как контрольный приемник или приемную цепь станции РП, и должно применяться соответствующее измерение параметров.

3 Процедуры измерения параметров станции контроля и РП

Типовая блок-схема станции радиоконтроля (а также станции радиопеленгации) приведена на рис. 3.

Для описания антенны (P1), приемной цепи (P2) или приемника (P3) может быть определено несколько точек измерения.



Как правило, антенна состоит из ряда элементарных антенн (диполей или других). Эти элементарные антенны могут включать переключаемые усилители, ячейки согласования и пр. Эти компоненты должны быть неотъемлемыми частями антенны, если они связаны с одной элементарной антенной.

С другой стороны, антенные переключатели, используемые для выбора нескольких элементарных антенн (радиопеленгация или контроль), должны считаться не составными частями антенны, а антенными переключателями, относящимися к приемной цепи. Аналогично усилители, фильтры, общие для нескольких элементарных антенн, а также компоненты изменения или транспонирования частот должны считаться не частью антенны, а частью приемной цепи.

В настоящем разделе описаны измерения антенны (P1) и приемной цепи; измерения контрольного приемника описаны в п. 2.

Кабели, которыми оснащена станция (и приемная цепь), должны быть типичными для работающей станции:

- для мобильной станции длина используемых при испытаниях кабелей должна составлять 10 м;
- для фиксированной станции длина используемых при испытаниях кабелей должна составлять 20 м.

3.1 Измерение значений IP_2/IP_3 станций контроля и радиопеленгации

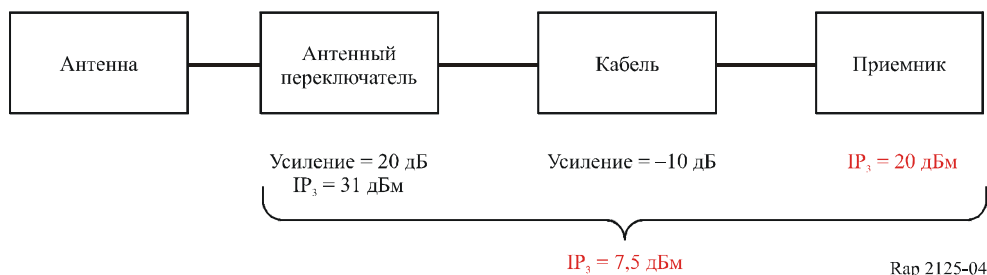
Измерения интермодуляции зависят от условий, в которых они проводятся. Для того чтобы конечные потребители могли сравнить качество контрольных приемников и станций радиоконтроля и РП, важно определить процедуры измерения интермодуляционных составляющих второго (IP_2) и третьего (IP_3) порядков.

Интермодуляционные составляющие второго и третьего порядков создаются на всех уровнях станции радиоконтроля или РП – в антеннах (антеннах радиопеленгации и/или прослушивания), в антенных переключателях и кабелях, в приемнике.

Для того чтобы можно было понять явления, возникающие в результате интермодуляции, необходимо, таким образом, иметь данные об интермодуляции, создаваемой станцией контроля в целом.

В графическом примере, приведенном на рис. 4, значение IP_3 приемника составляет 20 дБм, однако значение той же IP_3 на выходе антенны снижается до 7,5 дБм. Данный пример показывает, что качество приемника не обязательно отражает качество станции.

РИСУНОК 4

Пример измерения IP_3 станции

Антенны могут создавать интермодуляционные составляющие, которые следует охарактеризовать. Эти нелинейности создаются активными элементами и/или согласующими трансформаторами. Поэтому в результате измерения будут предоставлены значения IP_2 и IP_3 на выходах антенн (P1).

Значения IP_2 и IP_3 приемной цепи должны быть измерены для станции в целом без антенны и приведены относительно входа в приемную цепь (P2).

Измерения IP_2 и IP_3 контрольного приемника описаны в п. 2.1.

3.1.1 Измерения IP_2 и IP_3 антенны

Испытательные сигналы подаются передающей антенной.

Основное отличие от процедуры, применяемой в отношении приемника, состоит в том, что измерительная позиция находится на выходе антенны, таким образом, немного изменяются формулы.

Интермодуляционная составляющая второго порядка на выходе антенны тогда должна быть рассчитана следующим образом:

$$IP_{2s} = P_{out} + a,$$

где:

IP_{2s} : интермодуляционная составляющая второго порядка на выходе антенны;

P_{out} : среднеквадратическая мощность (дБм) двух подаваемых испытательных сигналов на выходе антенны;

a : разность (дБ) между уровнем подаваемых испытательных сигналов и уровнем самых больших интермодуляционных составляющих на выходе.

Интермодуляционная составляющая третьего порядка на выходе антенны должна быть тогда рассчитана следующим образом:

$$IP_{3s} = P_{out} + a/2,$$

где:

IP_{3s} : интермодуляционная составляющая третьего порядка на выходе антенны;

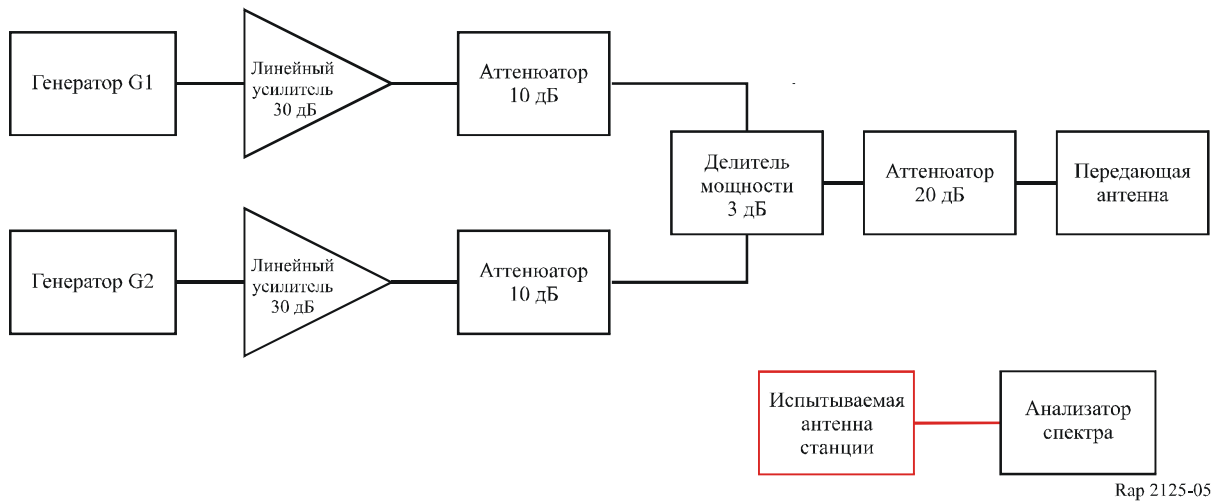
P_{out} : среднеквадратическая мощность (дБм) двух подаваемых испытательных сигналов на выходе антенны;

a : разность (дБ) между уровнем подаваемых испытательных сигналов и уровнем самых больших интермодуляционных составляющих на выходе.

Сигналы на выходе антенны должны быть доступны для проведения измерения. Если такой сигнал не доступен вследствие ограничений, обусловленных компоновкой, измерения следует провести на идентичной эталонной антенне, выходной сигнал которой является доступным.

Измерительная установка, предлагаемая на рис. 5 (включая передающую антенну), должна обладать лучшим качеством, чем измеряемый контрольный приемник. Значения интермодуляционных составляющих измерительной установки должны быть на 10 дБ выше значений измеряемых интермодуляционных составляющих.

РИСУНОК 5

Установка для измерения IP_2/IP_3 антенны

Измерение уровня должно осуществляться с точностью выше 1 дБ.

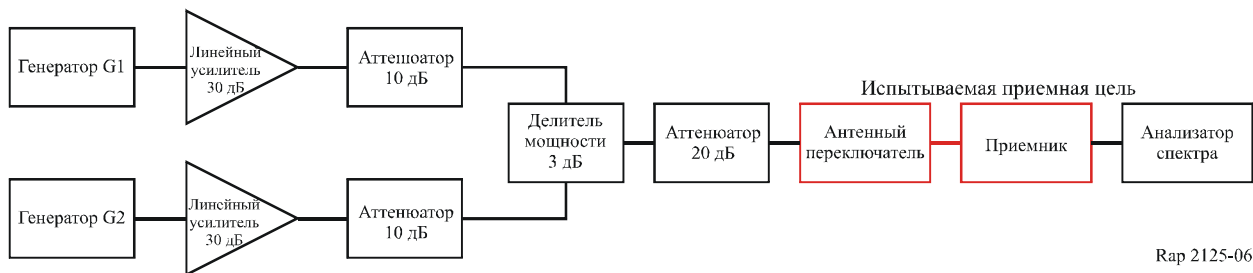
3.1.2 Измерение IP_2 и IP_3 приемной цепи

Применяется тот же принцип, что и для описанного в п. 2.1 измерения контрольного приемника.

Этот принцип должен применяться к станциям контроля или станциям РП. Если имеется несколько каналов, то один из них может быть использован для испытания.

Данное измерение определяется для станций контроля или станций РП. Установка, предлагаемая для проведения такого измерения, представлена на рис. 6.

РИСУНОК 6

Установка для измерения IP_2/IP_3 приемной цепи

Измерение уровня должно осуществляться с точностью выше 1 дБ.

3.2 Измерение чувствительности станции контроля или РП

При осуществлении измерений на уровне станции контроля или радиопеленгации на них может оказывать влияние радиоэлектрическая среда. В случае приема слабого сигнала, уровень которого близок к предельной чувствительности станции, отражения от близкорасположенных препятствий, фоновый шум и другие радиосигналы могут создавать помехи измерению.

Погрешности, обусловленные средой распространения, многолучевыми эффектами и помехами, не следует учитывать при измерении чувствительности станции, поскольку тогда трудно осуществлять измерения чувствительности в неконтролируемом месте расположения.

Поэтому были предложены две среды проведения испытаний:

- измерение на основе платформы с использованием определенных частот;
- измерения в открытом месте проведения испытаний (ОМПИ), где нет отражений от близкорасположенных препятствий, фонового шума и других радиосигналов, которые могут создавать помехи измерению, с использованием ограниченного количества частот.

Результаты измерения на основе платформы должны публиковаться производителями. Измерения в ОМПИ следует использовать для подтверждения измерений, проведенных на основе платформы для ограниченного количества частот.

Измерения чувствительности станций ОНЧ/НЧ/ВЧ в ОМПИ не осуществляются по следующим причинам:

- длины волн сигналов ОНЧ/НЧ/ВЧ обуславливают большие расстояния между передатчиком и приемником;
- с помехами, создаваемыми атмосферным шумом, трудно бороться (они зависят от активности солнечных пятен, времени суток и пр.).

Поэтому чувствительность станций ОНЧ/НЧ/ВЧ (от 9 кГц до 30 кГц) следует измерять только на основе платформы. Для измерений чувствительности станций ОВЧ/УВЧ следует использовать платформу и измерения в ОМПИ.

3.2.1 Принцип измерения чувствительности на основе платформы

В целях получения характеристики чувствительности станции контроля должны быть осуществлены три основные измерения:

- получение характеристики **КПД антенны** (см. рис. 3 – точка измерения P1);
- получение характеристики **собственного шума антенны** (см. рис. 3 – точка измерения P1);
- получение характеристики **чувствительности приемной цепи** (см. рис. 3 – точка измерения P2).

Тогда измерение чувствительности на основе платформы подразделяется на:

- измерение КПД антенны с целью определения мощности сигнала, поступающего от антенны, в зависимости от поля принимаемого сигнала. Это измерение описано в п. 3.2.1.1;
- измерение собственного шума антенны, который характеризует влияние антенны на шум станции. Это измерение описано в п. 3.2.1.2;
- измерение чувствительности приемной цепи. Это измерение описано в п. 3.2.1.3 в отношении станции контроля и в п. 3.2.1.4 – в отношении станции радиопеленгации.

Вычисление чувствительности станции исходя из КПД антенны, собственного шума антенны и чувствительности приемной цепи осуществляется в два этапа.

На первом этапе определяется вклад антенны в шум станции:

$$NFa = 10 \times \log \left[10^{\left(\frac{174 + Nfloor}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{NFrc}{10} \right)} - 1 \right] - NFrc ,$$

где:

- NFa*: вклад антенны в шум станции (дБ);
- NFrc*: коэффициент шума приемной цепи станции (дБ);
- Nfloor*: собственный шум антенны в дБм/Гц (измеренный – см. п. 3.2.1.2).

Процедура измерения коэффициента шума приемной цепи (рис. 3 – точка измерения P2) осуществляется точно таким же путем, что и измерение коэффициента шума приемника.

На втором этапе вычисляется чувствительность:

$$S = AF + Src + NFa,$$

где:

- S : чувствительность станции (дБ(мкВ/м));
- AF : КПД антенны (дБ(мкВ/м)) (измеренный – см. п. 3.2.1.1);
- Src : предел чувствительности приемной цепи станции (дБм) (см. п. 3.2.1.3 и 3.2.1.4);
- NFa : вклад антенны в шум станции (дБ), рассчитанный выше.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Если антенна или антенна, работающая в подполосе, является пассивной, то вклад антенны в шум может считаться нулевым. Тогда чувствительность станции:

$$S = AF + Src.$$

3.2.1.1 КПД антенны

Определение КПД антенны приведено в п. 4.4.1.1.2 Справочника МСЭ-R по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). КПД приемной антенны равно электрическому полю плоской волны, поделенное на электрическое напряжение на выходе антенны, соединенной с номинальной нагрузкой (обычно 50 Ом):

$$AF = E - V0,$$

где:

- AF : КПД антенны (дБ/м);
- E : электрическое поле (дБ(мкВ/м));
- $V0$: выходное напряжение на нагрузке 50 Ом (дБ(мкВ)).

Измерение КПД антенны осуществляется в два этапа:

- измерение поля сигнала, принимаемого эталонной антенной;
- измерение напряжения на выходе испытываемой антенны (антенны контроля или радиопеленгации).

Принцип измерения состоит в создании известного однородного поля на уровне измеряемой антенны и измерении напряжения на выходе антенны. Схема предлагаемой установки для проведения этого измерения представлена на рис. 7.

В случае использования антенн с неизвестным фазовым центром (например, логопериодических антенн) и коротких расстояний для проведения испытаний (безэховая испытательная камера) рекомендуется применять анализатор сети для определения точного фазового центра. Эталонная антенна и испытываемая антенны должны иметь одинаковые фазовые центры.

Расчет КПД антенны не зависит от типа антенны:

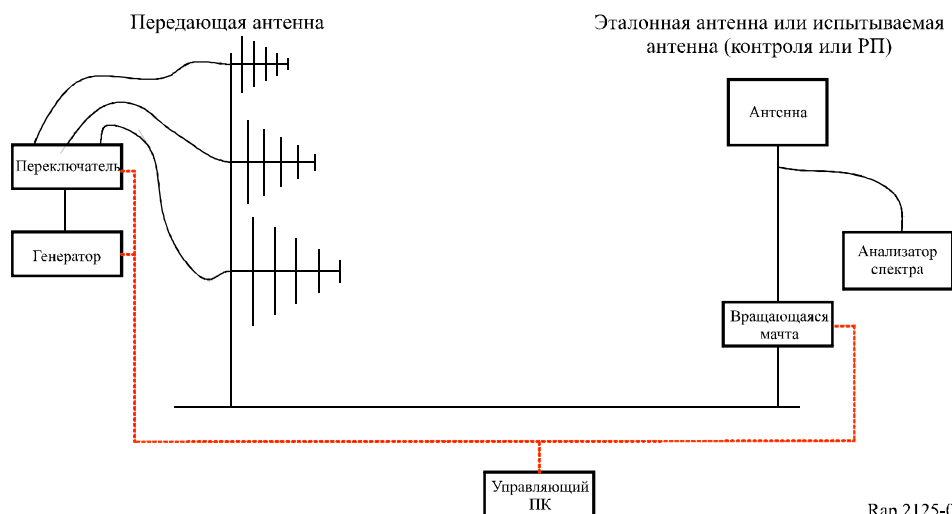
$$AF_{ant} = AF_{ref} - Lev_{ant} + Lev_{ref},$$

где:

- AF_{ant} : КПД антенны радиоконтроля или радиопеленгации (дБ/м);
- AF_{ref} : КПД эталонной антенны (дБ/м);
- Lev_{ant} : напряжение на выходе антенны радиопеленгации при нагрузке 50 Ом (дБ(мкВ));
- Lev_{ref} : напряжение на выходе эталонной антенны (дБ(мкВ)).

РИСУНОК 7

Установка для измерения КПД антенны



Rap 2125-07

Эталонная антенна должна выбираться следующим образом:

- количество антенн должно зависеть от охватываемого диапазона частот. Антенны должны полностью охватывать диапазон частот испытываемой антенны;
- коэффициенты полезного действия (КПД) "эталонной" антенны должны быть известны с соответствующей точностью. КПД антенны или усиление должны соответствовать национальному или международному стандарту.

Потери в кабелях не учитываются в расчете, но они должны быть одинаковыми при проведении измерений эталонной антенны и измерений испытываемой антенны.

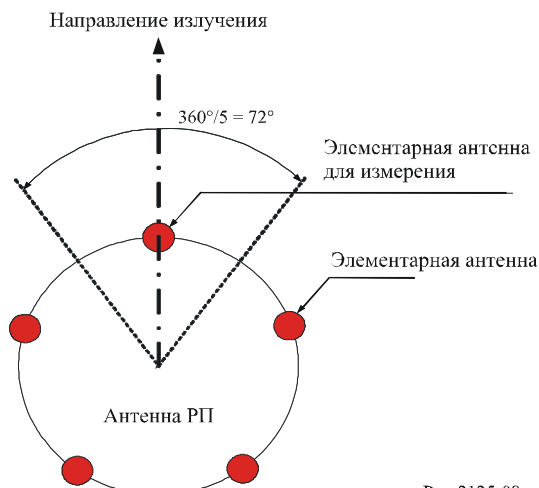
Случай антенны для РП

Антенна для радиопеленгации состоит из N элементарных антенн. Каждая элементарная антенна имеет угол раскрытия, равный $360^\circ/N$. Измерение должно быть осуществлено в пределах этого угла раскрытия для одной элементарной антенны.

Например, как показано на рис. 8, в случае антенны, состоящей из пяти элементарных диполей, измерение должно быть выполнено в пределах 72° .

РИСУНОК 8

Измерение уровня в случае антенны для радиопеленгации



Rap 2125-08

Осуществляется 10 измерений уровня, распределенных в пределах угла от $-(360^\circ/N)/2$ до $+(360^\circ/N)/2$.

На каждой частоте измерения вычисляется уровень принимаемого сигнала:

$$Lev_{ant} = \frac{\sum (N_{mes})}{10}.$$

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Данный метод не подходит для радиопеленгаторов Уотсона-Ватта или на основе эффекта Доплера, поскольку точность зависит от размеров всей антенной решетки.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – При проведении измерения на эталонной антенне и измерения на антенне для радиопеленгации должны использоваться те же кабели и измерительное устройство (анализатор спектра или измерительная станция).

3.2.1.2 Собственный шум антенны

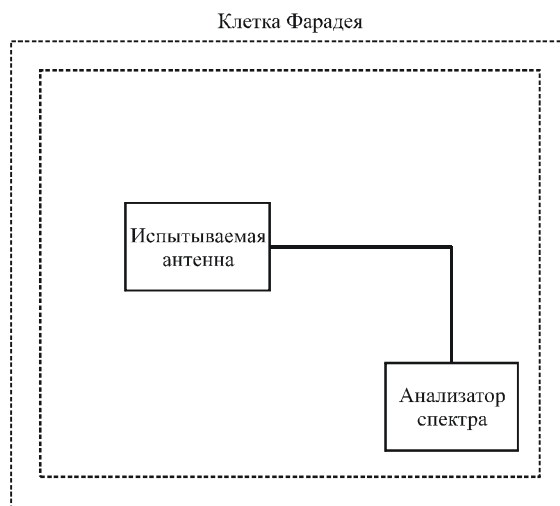
Активные антенны состоят из элементов, к которым поводится постоянное напряжение или ток. К таким элементам относятся транзисторные усилители, переключатели или элементы согласования. Активные компоненты создают плотность мощности шума, которая ухудшает чувствительность системы.

Измерение собственного шума следует проводить в клетке Фарадея, как показано на рис. 9. Собственный шум (дБм/Гц) измеряется непосредственно на выходе антенны с использованием анализатора спектра.

Антенна должна быть помещена в электрически бесшумную среду вдали от какой-либо структуры, которая может повлиять на ее полное сопротивление или усиление. На практике соответствующим местом является экранированное помещение (такое, как клетка Фарадея).

РИСУНОК 9

Установка для измерения плотности мощности шума антенны



Rap 2125-09

Собственный шум анализатор спектра должен быть на 10 дБ ниже плотности шума, создаваемого испытываемой антенной. Может быть необходимо использовать малошумящий усилитель.

3.2.1.3 Определение чувствительности приемной цепи станции контроля

Чувствительность приемной цепи радиоконтроля (*Src*) определяется как минимальное напряжение сигнала (мкВ) на входе приемной цепи, позволяющее осуществлять демодуляцию последовательности и звуковое прослушивание принимаемого сигнала.

Измерение аналогично измерению параметров контрольного приемника. Схема предлагаемой установки представлена на рис. 10.

Минимальный уровень слышимого сигнала определяется путем измерения SINAD (отношение сигнал/помеха с учетом шумов и искажений).

Генератор используется для подачи в приемную цепь сигналов с желаемыми амплитудами.

РИСУНОК 10



Rap 2125-010

3.2.1.4 Определение чувствительности приемной цепи станции радиопеленгации

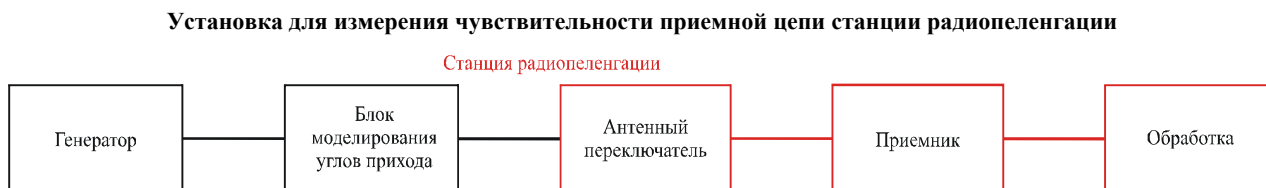
Повышенная чувствительность расширяет охват радиопеленгатора или обеспечивает сохранение необходимой точности в случае слабых сигналов.

Чувствительность измеряется исходя из ухудшения точности радиопеленгации при снижении уровня принимаемого сигнала. Схема предлагаемой измерительной установки представлена на рис. 11.

Генератор используется для подачи в приемную цепь сигналов с желаемыми амплитудами и фазами.

С этой целью приемная цепь соединяется с блоком моделирования угла прихода.

РИСУНОК 11



Rap 2125-011

По результатам N измерений в условиях сильного сигнала вычисляют угол прихода (он должен быть постоянным):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}.$$

Снижая уровень сигнала до появления погрешности азимута, получаем:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}},$$

где:

- δ : среднеквадратическая погрешность при измерении на пределе чувствительности по сравнению с измерением при сильном сигнале (градусы);
- θ_0 : азимут, измеренный при сильном сигнале (градусы);
- θ_{mes} : азимут, измеренный при каждом уровне сигнала генератора (градусы);
- N : количество замеров азимута при каждом уровне сигнала генератора (градусы).

Предел чувствительности достигается, когда

- либо δ больше среднеквадратического значения $+2^\circ$;
- либо радиопеленгатор более не дает результатов.

Если приемлемая погрешность азимута δ отличается от среднеквадратического значения 2° в некоторых частотных подполосах, то данное значение погрешности азимута должно быть приведено вместе с характеристикой чувствительности.

Измерения должны быть выполнены с использованием следующих параметров:

- время интеграции – выбирается значение близкое к 1 с;
- ширина полосы – выбирается как можно ближе к 1 кГц.

3.2.2 Принцип измерения чувствительности в ОМПИ

В этом пункте поясняется другой метод измерения чувствительности.

Место расположения в свободном пространстве или ОМПИ – это место, предназначенное для проведения измерений антенн (усиления, диаграммы направленности излучения).

Измерение чувствительности станции в свободном пространстве или в ОМПИ осуществляется для всей станции. Предлагаемая установка для этого измерения показана на рис. 12.

Передающая антенна должна быть направленной и ориентированной на приемную антенну. Эту антенну следует выбирать таким образом, чтобы можно было передавать сигнал достаточной мощности без создания побочных сигналов интермодуляции или излучения на частотах измерения.

Приемная антенна должна быть размещена на вращающейся мачте, обеспечивающей точную установку антенны в заданном положении.

В случае измерения чувствительности радиопеленгатора поле сигнала, принимаемого антенной, должно быть однородным, следовательно, должно иметь одинаковую фазу по всей антенной структуре. Расстояние между передающей антенной и приемной антенной не должно быть менее длины волны измеряемого сигнала, или расстояние должно быть выбрано таким образом, чтобы разность фаз на всей антенной структуре была менее 5° в случае погрешности РП менее $0,5^\circ$.

Выбор среды места расположения должен обеспечить, чтобы отражения от близкорасположенных препятствий, фоновый шум и другие радиосигналы не создавали помех измерению.

Выбранное место расположения:

- должно быть свободно от зданий;
- вблизи него не должно быть металлических поверхностей;
- вблизи него не должно быть дорог, поскольку транспортные средства могут создавать помехи;
- должно быть на достаточном расстоянии от создающего помехи передатчика (радиовещания, подвижной телефонной связи, аэропорта и пр.);
- должно быть на достаточном расстоянии от источников шума, таких как высоковольтные линии электропередачи, телефонные линии и др.

Расстояние между приемной и передающей антеннами должно быть больше размера антенн.

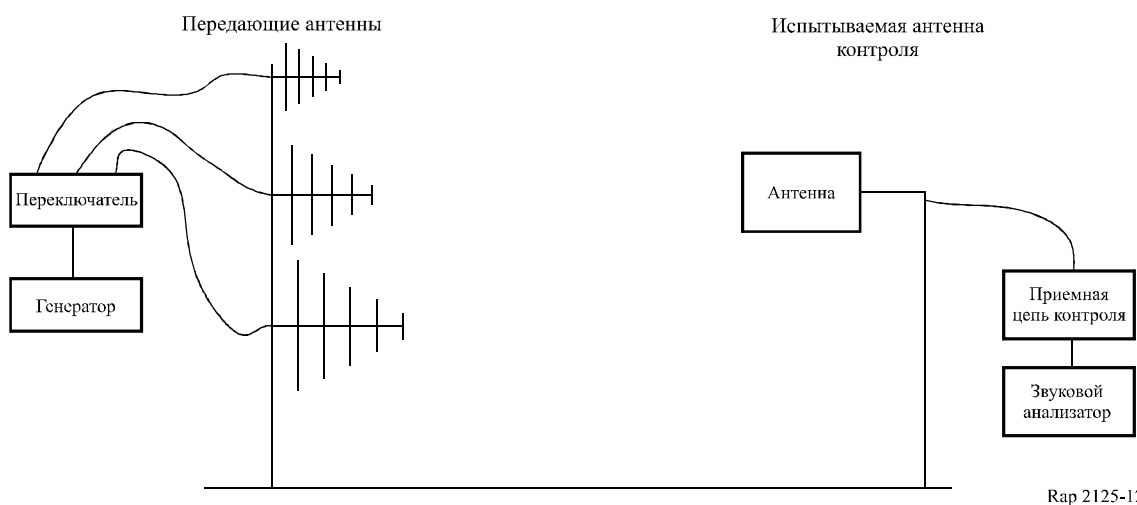
Частоты следует выбирать в пределах диапазонов частот, свободных от помех.

Необходимо обследовать занимаемые полосы частот. Следует отказаться от частот, использование которых может привести к ухудшению результатов измерений. Схема предлагаемой установки для этого измерения приведена на рис. 13.

3.2.2.1 Измерение чувствительности станции контроля в ОМПИ

РИСУНОК 12

Установка для проведения измерения чувствительности станции контроля в ОМПИ



Процедура измерения

Чувствительность задается формулой:

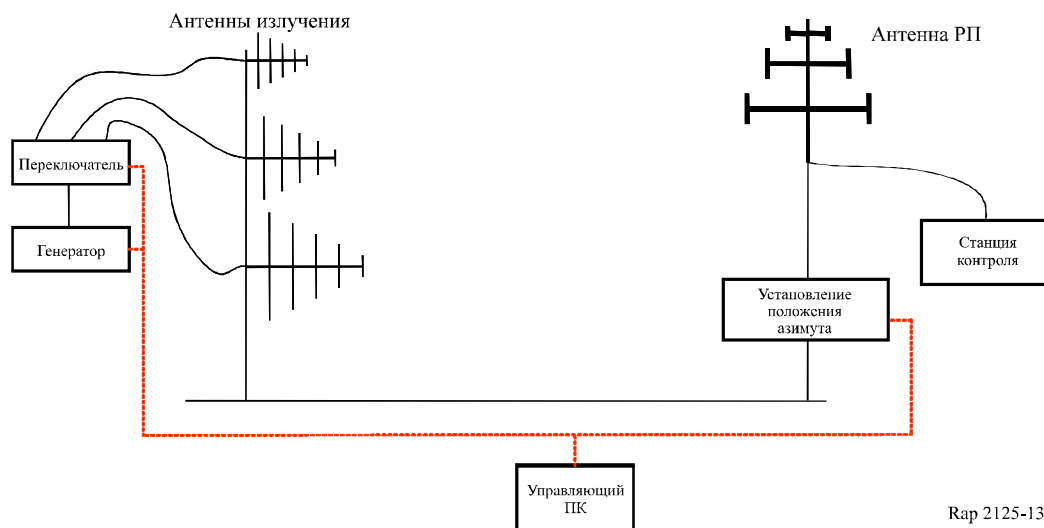
$$S = E_0 + (L_1 - L_0),$$

где:

- S : чувствительность станции контроля в отношении напряженности поля (дБ(мкВ/м));
- E_0 : значение измеренной напряженности поля (дБ(мкВ/м));
- L_0 : уровень сигнала, подаваемого на передающую антенну при хорошем отношении сигнал/шум (дБ(мкВ));
- L_1 : уровень сигнала, подаваемого на передающую антенну при достижении уровня чувствительности (дБ(мкВ)).

РИСУНОК 13

Установка для измерения чувствительности станции радиопеленгации в ОМПИ



3.2.2.2 Установка для измерения чувствительности станции радиопеленгации в ОМПИ

По результатам N измерений в условиях сильного сигнала вычисляют угол прихода (он должен быть постоянным):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}.$$

Отмечают уровень сигнала генератора и осуществляют измерение поля в месте расположения антенны радиопеленгации.

Снижая уровень сигнала до появления погрешности азимута, получаем:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}},$$

где:

- δ : среднеквадратическая погрешность при измерении на пределе чувствительности по сравнению с измерением при высоком уровне сигнала (градусы);
- θ_0 : азимут, измеренный при высоком уровне сигнала (градусы);
- θ_{mes} : азимут, измеренный при каждом уровне сигнала генератора (градусы);
- N : количество замеров азимута при каждом уровне сигнала генератора (градусы).

Предел чувствительности достигается, когда:

- либо δ больше среднеквадратического значения $+2^\circ$;
- либо радиопеленгатор более не дает результатов.

При достижении предела чувствительности отмечают уровень сигнала генератора L_1 , а затем вычисляют чувствительность:

$$S = E_0 - L_0 + L_1,$$

где:

- S : конкретная чувствительность станции в отношении напряженности поля (дБ(мкВ/м));
- E_0 : значение напряженности поля (дБ(мкВ/м));
- L_0 : уровень сигнала, подаваемого на передающую антенну, при сильном сигнале (дБ(мкВ));
- L_1 : уровень сигнала, подаваемого на передающую антенну при достижении уровня чувствительности (дБ(мкВ)).

Если приемлемая погрешность азимута δ отличается от среднеквадратического значения 2° в некоторых частотных подполосах, то данное значение погрешности азимута должно быть приведено вместе с характеристикой чувствительности.

3.2.3 Параметры станции при измерении чувствительности

Для возможно более точного воспроизведения условий работы в ходе измерений следует использовать следующие установки:

- АРУ приемника должно быть отключено;
- все усилители антенн, антенного переключателя и приемника, если они предусмотрены, должны быть установлены на максимальное усиление;
- все аттенюаторы антенн, антенного переключателя и приемника, если они предусмотрены, должны быть установлены на минимальное ослабление.

3.2.4 Представление результатов

Параметры измерений, описанные в пп. 3.2.1.4–3.2.2.2, должны указываться при предоставлении значений чувствительности.

Эти значения чувствительности должны быть гарантированы во всей полосе или подполосе частот, указанной производителем. Производитель может предоставлять среднее или типовое значение.

Производитель должен указать условия расчета этого среднего или типового значения.

Производитель должен указать следующие значения:

- чувствительность к полю станции контроля (дБ(мкВ/м)) со следующими параметрами:
 - тип модуляции (А3Е или F3Е);
 - ширина полосы фильтра анализатора (кГц);
 - индекс модуляции или девиация частоты;
 - используемое отношение SINAD (дБ);
- чувствительность к полю станции радиопеленгации (дБ(мкВ/м)) со следующими параметрами:
 - время интеграции (с);
 - ширина полосы фильтра анализатора (кГц).

3.3 Ключевые параметры станций РП

3.3.1 Точность РП (угловая): точность системы

В Справочнике МСЭ-R по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) не указаны процедуры измерения точности РП. В Справочнике приведены только классы пеленгов (классы А, В, С и D) в отношении Рекомендации МСЭ-R SM.854, но не характеристики приемников РП.

Точность системы РП – это эффективное или среднеквадратическое значение разницы между истинным азимутом и показываемым пеленгом.

Для измерения точности РП могут применяться три метода:

- испытание в реальных условиях, представляющих собой конечную рабочую среду;
- измерения с использованием ограниченного количества частот в ОМПИ, где отсутствуют отражения от близкорасположенных препятствий, фоновый шум и другие радиосигналы, которые могут создавать помехи измерению;
- измерения на основе платформы: станция РП без антенны соединяется с блоком моделирования и генератором.

Первое испытание в основном используется для определения точности системы или практической точности при типовом использовании системы. Два других метода применяются для определения инструментальной точности и могут быть использованы в целях калибровки.

3.3.1.1 Испытания точности РП в реальных условиях

Введение в метод испытания в реальных условиях

Точность системы радиопеленгации, в том числе автономных радиопеленгаторов, а также функциональных средств радиопеленгации, интегрированный в систему радиоконтроля и являющихся ее частью, может быть измерена различными способами. Система может быть испытана без антенн в лаборатории путем подключения генератора сигналов к устройству (такому, как делитель мощности или РЧ кабели соответствующих протяженностей), которое моделирует напряжения и фазы сигналов в антеннах, и соединения этого блока моделирования с системой РП, в которой отсутствуют антенны. Система может быть расположена внутри безэховой испытательной камеры, а испытательные сигналы могут генерироваться и использоваться для измерения точности системы. Система может быть размещена на испытательном стенде или испытательном полигоне в электромагнитно чистой среде без отражений или структур, которые могут вызывать рассеяние, резонансы и переизлучение, и испытывается при наличии сильных сигналов. В таких чистых средах большинство систем радиопеленгации имеет превосходное качество, и такие измерения служат для определения "инструментальной точности" системы. Измерения рабочих показателей в данных условиях не обеспечивают установления различия между системами радиопеленгации, однако в

действительности в "реальном мире" не существует рабочих условий, в которых высококачественная система могла бы функционировать, а система более низкого качества не могла бы. Та или иная администрация может приобрести систему, которая хорошо работает при лабораторных испытаниях, и обнаружить, что она не действует при реальном развертывании.

В целях получения точного измерения рабочих показателей системы радиопеленгации испытания должны быть осуществлены в реальных условиях эксплуатации, аналогичных тем, в которых система в действительности будет использоваться, и такие измерения служат для определения "инструментальной точности" системы. В остальной части настоящего раздела изложена рекомендуемая процедура определения "инструментальной точности", т. е. испытания систем радиопеленгации в реальных условиях эксплуатации при различных типах модуляции и использовании сигналов при минимальном отношении сигнал/шум, указанном производителем системы. В разделах 3.3.1.3 и 3.3.1.4 описаны процедуры определения "инструментальной точности", т. е. испытания систем радиопеленгации в лаборатории или на испытательном полигоне с использованием сильных сигналов.

Определение процедуры измерения

Система РП должна испытываться в реальных рабочих условиях, предпочтительно в типовых местоположениях, где администрация, которая приобрела систему, будет ее использовать. Приемлемой альтернативой являются "заводские эксплуатационные испытания", однако они должны быть выполнены при условиях, как можно более близких к предполагаемым условиям, в которых система будет реально развернута.

Перед проведением испытаний точности РП следует проделать анализ для определения зоны покрытия испытательных передатчиков, которые будут развернуты для проведения испытаний, и существующих известных радиовещательных станций и других передатчиков (называемых "возможными целями"). Этот анализ поможет расположить испытательные передатчики и выбрать возможные цели, сигналы которых будут приняты радиопеленгатором, а напряженности полей этих сигналов обеспечат минимальное отношение сигнал/шум, которое, по крайней мере, было указано производителем системы.

Для проведения испытаний следует подготовить испытательное оборудование. Это оборудование включает испытательные передатчики и генераторы модулирующего сигнала, обеспечивающие сигналы всех типов модуляции (аналоговой и цифровой) с различными значениями ширины полосы, в том числе узкополосные и широкополосные сигналы. При цифровой модуляции ширина импульсов должна быть порядка 0,5 мс или случайной. Это оборудование должно быть установлено на транспортном средстве, которое снабжено глобальной системой определения местоположения и соответствующим источником питания; транспортное средство будет двигаться по дорогам в рассчитанной зоне покрытия в направлении случайно выбираемых местоположений для получения не менее 36 правильно распределенных значений азимута.

Уровень сигнала испытательного передатчика должен быть скорректирован таким образом, чтобы сигнал, принимаемый системой РП, соответствовал значению отношения сигнал/шум, указанному производителем испытываемой системы. Возможные цели должны быть выбраны так, чтобы отношение сигнал/шум соответствовало указанному значению, причем не допускаются сигналы, отношение сигнал/шум для которых более чем на 20 дБ превышает указанное отношение сигнал/шум.

Погрешность пеленга для каждого выполненного измерения рассчитывается как разность между истинным азимутом (угол испытательной антенны передатчика) и пеленгом, демонстрируемым оборудованием РП.

В ходе испытаний должны регистрироваться данные измерений не менее 36 значений азимута, правильно распределенных по 360°. В частности, должно быть очень большое количество испытательных местоположений, полностью охватывающих 360° при различных (случайных) разносах азимутов, что обуславливает необходимость проведения измерений с разрешением 10°, но не точно через каждые 10° и не через каждые 10°. Для обеспечения гибкости в выборе подходящих мест проведения измерений в полевых условиях точки измерений должны быть разнесены минимум на 6° и максимум на 14°, при этом усредненный разнос составляет 10°.

Например, "подходящий" набор для осуществления измерений может включать 36 мест проведения испытаний по следующим пеленгам относительно антенны РП:

1°, 8°, 14°, 27°, 39°, 46°, 60°, 72°, 85°, 92°, 104°, 118°, 131°, 144°, 156°, 165°, 172°, 179°, 189°,
198°, 206°, 215°, 222°, 235°, 247°, 258°, 268°, 276°, 286°, 299°, 310°, 319°, 327°, 334°, 346°, 354°.

В этом наборе минимальный шаг составляет 6° (от 8° до 14°), а максимальный шаг – 14° (от 46° до 60°; от 104° до 118°). При 36 измерениях "усредненный" шаг равен 10°.

Погрешность пеленга должна быть измерена не менее чем на девяти частотах каждой декадной полосы, правильно распределенных в рамках полосы частот радиопеленгатора, включая начало и конец шкалы, и не менее чем на пяти частотах в рамках рабочего диапазона, если он не включает полную декадную полосу.

Данные должны быть собраны по каждому азимуту и на каждой частоте, а при нескольких типах модуляции – по каждому азимуту и на каждой частоте в каждом из этих случаев, в том числе при аналоговой и цифровой модуляции, модуляции узкополосного и широкополосного сигналов. Отдельные измерения РП могут быть усреднены для получения сводного результата РП для каждого случая азимута, частоты и модуляции, при этом не более 10% отдельных измерений РП отбрасываются как "неправдоподобные данные". Затем итоговый результат РП сравнивается с известным углом прихода, и рассчитывают погрешность или Δ , значение которой вносят в таблицу данных испытаний.

В большинстве систем РП для приема используются антенны с вертикальной поляризацией, поскольку приемные антенны с горизонтальной поляризацией удорожают и усложняют систему РП, и поскольку представляющие интерес сигналы обычно либо имеют вертикальную поляризацию либо ввиду частичной поляризации или эффектов распространения могут быть приняты антенной с вертикальной поляризацией. В частности:

- a) Ионосферные волны диапазона ВЧ претерпевают вращение поляризации в ионосфере, поэтому антенна одной поляризации (обычно вертикальной) достаточна для приема сигналов ВЧ, которые изначально имели вертикальную или горизонтальную поляризацию. Земные радиоволны диапазона ВЧ распространяются как сигналы вертикальной поляризации, поскольку сигналы с горизонтальной поляризацией не могут распространяться как земные волны.
- b) Большинство сигналов ОВЧ/УВЧ (кроме некоторых ТВ сигналов) обычно имеют вертикальную поляризацию (или, по крайней мере, двойную поляризацию, как многие радиовещательные сигналы с ЧМ), таким образом, наиболее важные измерения относятся к сигналам с вертикальной поляризацией. Местоположение немногих источников сигналов только горизонтальной поляризации (как некоторых сигналов ТВ радиовещания) обычно хорошо известно, и поэтому их точная РП не является необходимой. Ввиду простоты конструкции антенн ОВЧ/УВЧ с вертикальной поляризацией, особенно для мобильных платформ, большинство представляющих интерес передатчиков работают с антеннами с вертикальной поляризацией, что наиболее важно для целей РП.
- c) В некоторых типах аппаратуры диапазона УВЧ используются сигналы, которые могут иметь горизонтальную поляризацию или поляризация которых может изменяться в зависимости от текущей ориентации передающей антенны (например, в подвижной сотовой связи), и может быть интересно описать показатели работы системы РП в отношении сигналов, передаваемых с горизонтальной поляризацией.

Поэтому большинство испытаний РП обычно осуществляется при вертикальной поляризации. Однако испытания РП могут быть проведены с сигналами горизонтальной поляризации в дополнение к сигналам вертикальной поляризации. Поляризация испытательных сигналов должна быть отмечена в таблице данных испытаний.

Таблица 1 представляет пример такой таблицы данных испытаний. Одна такая таблица используется для каждого испытания при аналоговой и цифровой модуляции.

ТАБЛИЦА 1

Примерная таблица данных испытаний

Модуляция сигнала _____ Поляризация сигнала _____

Номер	Истинный азимут	Частота 1		Частота 2		Частота 3		Частота 4		Частота М	
		РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ
1	1°										
2	8°										
3	14°										
...
36	354°										

В этой таблице в колонке РП указывается значение измеренного азимута, а в колонке Δ указывается значение разности между измеренным и истинным азимутами.

При проведении испытаний транспортное средство должно двигаться в сторону первого местоположения. Глобальная система определения местоположения должна использоваться для установления точного места, откуда система РП определяет пеленг на испытательный передатчик. Затем значения азимута должны быть внесены во все таблицы данных для различных типов модуляции, после чего следует провести испытания при различных частотах и типах модуляции и занести данные в соответствующие таблицы. После завершения всех измерений в одном местоположении транспортное средство должно переместиться в местоположение, в котором случайное приращение будет приблизительно на 10° больше по сравнению с предыдущим пеленгом, и процедуру измерения следует повторить. Необходимо повторять данную процедуру до тех пор, пока не будут проведены измерения при всех требуемых азимутах.

Действительное или среднеквадратическое значение погрешности пеленга рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2},$$

где:

N : количество измерений.

В ходе рассмотрения настоящего проекта на международном уровне следует изучить иные возможности для расчета погрешности. Например, можно рассмотреть интегральную функцию распределения погрешности, с помощью которой определяется процент всех измерений, результаты которых находятся в пределах определенной погрешности азимута. Например, для данной системы можно определить:

Процент измерений	Погрешность азимута
50%	< 0,1°
67%	< 1,7°
90%	< 5,5°.

Если в качестве контрольной точки использовать процентиль 90, то в данном случае характеристика погрешности этой системы составит < 5,5°.

С целью обеспечения надежности результатов следует соблюдать следующие требования:

- Азимут передатчика по отношению к станции РП (истинный азимут) должен быть установлен с точностью, среднеквадратическое значение которой составляет, по крайней мере, 0,1%, или с точностью, составляющей десятую часть от ожидаемой точности РП, в зависимости от того, какая из них носит более ограничительный характер, с учетом доверительного уровня 95,45%.

- b) До 10% местоположений в зоне покрытия (углы азимута) могут быть отброшены для учета проблем, связанных с расположением, покрытием, других проблем эксплуатационного характера при условии, что разработан соответствующий процесс или процедура для отбрасывания таких данных.
- c) Заявляемая точность системы РП должна быть вычисленным среднеквадратическим значением всех точек данных, кроме отброшенных точек.

Например, при рассмотрении системы РП, работающей с двумя комплектами антенн, можно было бы определить следующие точки проведения испытаний, соответствующие данному стандарту:

- a) Антенна в полосе 80 МГц – 1300 МГц.
 - 36 точек азимута, правильно распределенных в пределах 360°;
 - 13 точек частоты, 2 точки в первой декаде рабочего диапазона (80 МГц и 90 МГц), 9 точек во второй декаде (от 100 МГц до 900 МГц) плюс 2 точки в третьей декаде, относящейся к оставшейся части диапазона (1000 МГц и 1300 МГц);
 - всего $N = 36 \times 13 = 468$ точек проведения испытаний для каждого типа аналоговой и каждого типа цифровой модуляции.
- b) Антенна в полосе 1300 МГц – 3000 МГц.
 - 36 точек азимута, правильно распределенных в пределах 360°;
 - не менее 5 точек частоты, поскольку диапазон не включает полной логарифмической декады (1300, 1640, 1980, 2320, 2660, 3000 МГц);
 - всего $N = 36 \times 5 = 180$ точек проведения испытаний для каждого типа аналоговой и каждого типа цифровой модуляции.

3.3.1.2 Дополнительные соображения в отношении измерений РП ВЧ

При измерении точности РП ВЧ имеют место некоторые следующие ограничения:

- длина волны ВЧ сигнала обуславливает большие расстояния между передатчиками и приемниками;
- сложно контролировать изменения атмосферных шумов (зависят от солнечной активности, времени суток и других переменных).

Таким образом, измерения точности РП ВЧ проводят так же, как и измерения точности РП ОВЧ/УВЧ, за исключением того, что:

- передатчик должен быть реальным радиовещательным передатчиком с известными характеристиками (азимут, уровень); или
- положение транспортного средства, на котором установлен передатчик ВЧ, должно быть известно.

Пример спецификации в перечне данных:

Точность РП: среднеквадратическое значение $\leq 2,5^\circ$ (80 МГц – 1300 МГц, исходя из эксплуатационных испытаний) (согласно соответствующей Рекомендации МСЭ-R серии SM).

Точность РП: среднеквадратическое значение $\leq 2,0^\circ$ (1300 МГц – 3000 МГц, исходя из эксплуатационных испытаний) (согласно соответствующей Рекомендации МСЭ-R серии SM).

3.3.1.3 Определение процедуры испытания точности РП в ОМПИ

Ту или иную систему можно испытать без антенн в лаборатории путем соединения генератора сигналов с блоком моделирования антенны и его соединения с системой РП без антенн. Система может быть размещена в ОМПИ, в электромагнитно чистой среде без отражений или структур, которые могли бы вызвать рассеяние, резонансы и переизлучение, и испытана при наличии сильных сигналов (см. рис. 14). Измерения в такой чистой среде проводятся для определения "инструментальной точности" системы. Эта инструментальная точность обычно не является настолько верной, как в результате измерения показателей работы системы в реальных условиях

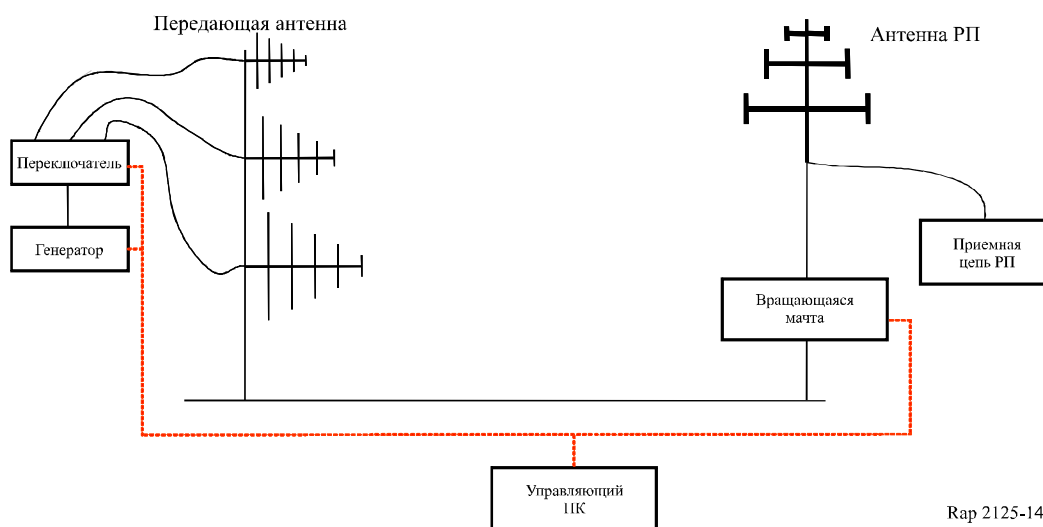
эксплуатации, поскольку большинство систем РП хорошо работают в контролируемой среде в лаборатории или на испытательном стенде при использовании сильных сигналов.

В случае данного испытания измерение точности РП радиопеленгатора в среде без отражений осуществляется путем использования испытательного передатчика, расположенного в окрестностях антенны РП. Схема проведения испытаний должна обеспечивать изменение азимута испытательной антенны передатчика с определенными шагами для охвата всего диапазона пеленгов в 360°.

Частоты, на которых появляются ошибки РП, связанные со средой распространения или многолучевыми эффектами, должны быть отброшены.

РИСУНОК 14

Установка для измерения точности РП станции радиопеленгации в ОМПИ



Rap 2125-14

Рассчитывается измеренная погрешность азимута:

$$\theta_{(F,\theta)} = (\theta_{mes} - \theta_{theo}),$$

где:

θ_{mes} : угол, измеренный на данной частоте и при выбранном азимуте (градусы);

θ_{theo} : теоретический угол при выбранном азимуте (градусы).

В результате, точность РП вычисляется путем расчета среднего квадратического всех значений частот и выбранных азимутов:

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum_{\theta} \sum_F \theta_{(F,\theta)}^2}{N}},$$

θ : измерение азимута (среднеквадратическое значение в градусах);

$\theta_{(F,\theta)}$: угол, измеренный на данной частоте и при выбранном азимуте (градусы);

N : количество точек измерения.

Можно компенсировать погрешность из-за смещения при установке антенны РП, учитывая среднее смещение при всех измерениях следующим образом:

$$\theta = \theta - \frac{\sum_{\theta} \sum_F \theta_{(F,\theta)}}{N}.$$

При измерении точности РП ВЧ имеют место некоторые ограничения:

- длина волны ВЧ сигнала обуславливает большие расстояния между передатчиками и приемниками;
- сложно контролировать изменения атмосферных шумов (зависят от солнечной активности, времени суток...).

Таким образом, измерения точности РП ВЧ проводят так же, как и измерения точности РП ОВЧ/УВЧ, за исключением того, что:

- передатчик должен быть реальным радиовещательным передатчиком с известными характеристиками (азимут, уровень); или
- положение транспортного средства, на котором установлен передатчик ВЧ, должно быть известно.

Распределение точек измерения

Для обеспечения справедливого распределения частот в пределах всех полосы они должны выбираться следующим образом:

- распределение будет осуществляться по октаве;
- количество измерений на каждую подполосу будет фиксированным и равным или большим 1;
- точки измерения будут выбраны случайным образом.

При проведении измерений в открытом месте расположения азимуты измерений будут выбраны следующим образом:

- количество азимутов измерения будет фиксированным и равным или большим 2;
- азимуты измерений будут выбраны случайным образом в пределах 360°.

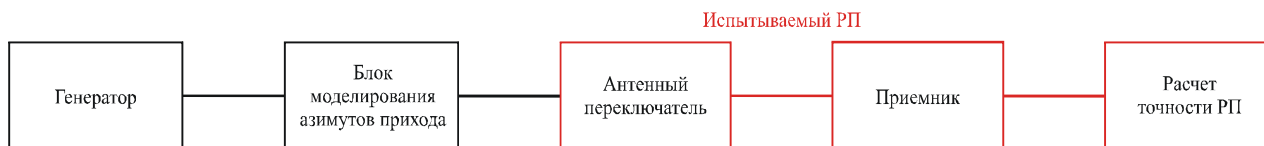
Точность РП должна быть гарантированной. Опубликованная точность РП должна быть действительной во всем номинальном диапазоне температур, указанном в перечне данных.

3.3.1.4 Определение процедуры испытания точности РП на платформе

Точность РП получают с использованием блока моделирования азимутов прихода. Это устройство позволяет подать сигнал с правильными амплитудой и фазой на каждую элементарную антенну антенны РП (см. рис. 15).

РИСУНОК 15

Установка для измерения точности РП станции радиопеленгации на платформе



Rap 2125-015

Метод измерения аналогичен методу для ОМПИ за исключением того, что теоретический азимут задается блоком моделирования антенны.

3.3.2 Скорость сканирования при измерении РП

Скорость сканирования РП характеризует количество передатчиков, которые станция РП может анализировать в заданный период времени. Этот параметр зависит от двух факторов:

- скорости приемника (расположение местных генераторов, фильтров...);
- скорости цифровой обработки (БПФ (быстрое преобразование Фурье), радиопеленгация...).

Скорость сканирования – это возможность радиопеленгатора измерять действительную частоту обнаружения РП приходящих сигналов в заданной полосе частот между F_{min} и F_{max} . Показатель скорости сканирования выражается в МГц/с.

Скорость сканирования не зависит от используемой антенны, поэтому измерение проводится без антенны. Измеряемой скоростью сканирования должна быть скорость сканирования приемной цепи станции радиопеленгации, как определено на рис. 10.

Качество гарантируется двумя измерениями:

- расчетом действительного азимута одного радиоимпульса, подтверждающего скорость, с которой сканируется полоса;
- расчетом действительного азимута нескольких одновременных радиоимпульсов без влияния на скорость, с которой осуществляется сканирование полосы.

Будут учитываться только действительные измерения азимута во всем нормируемом диапазоне температур, указанном в перечне данных.

Представление результатов

Значение скорости сканирования РП должно быть гарантировано.

Публикуемая скорость сканирования должна быть действительной во всем нормируемом диапазоне температур, указанном в перечне данных.

3.3.3 Минимальная длительность сигнала РП

Принцип измерения

Минимальная длительность сигнала характеризует минимальное время, в течение которого необходимо наличие сигнала для его обнаружения и измерения радиопеленгатором.

Это время зависит от:

- скорости цифровой обработки (ББП, радиопеленгация...);
- выбранного фильтра ПЧ.

Принцип измерения состоит в создании импульса, длительность которого равна минимальной длительности сигнала, и расчете вероятности обнаружения, которая должна быть выше 95%.

Представление результатов

Значение скорости сканирования РП должно быть гарантировано.

Публикуемая скорость сканирования должна быть действительной во всем нормируемом диапазоне температур, указанном в перечне данных.
