

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R SM.2097-0

(08/2016)

**Проводимое на месте измерение точности
фиксированной системы радиопеленгации**

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 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, 2017 г.

© ITU 2017

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.2097-0

Проводимое на месте измерение точности фиксированной системы радиопеленгации

(2016)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации представлено руководство по стандартным методам испытания точности пеленгования фиксированного радиопеленгатора, которое проводится в окончательном месте его установки, и составлению отчетов о результатах. Это испытание может быть частью приемосдаточных испытаний на месте для контроля служб после установки на площадке.

Ключевые слова

Точность радиопеленгатора, проводимое на месте измерение, реальная обстановка.

Рекомендации и Отчеты МСЭ, связанные с данной темой

Рекомендация МСЭ-R SM.2060

Отчет МСЭ-R SM.2125

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

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что МСЭ-R опубликовал типовые спецификации по точности радиопеленгации¹ (РП) в Справочнике МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 года);
- b)* что в Справочник МСЭ "Контроль за использованием спектра" (издание 2011 года) включена ссылка на Отчет МСЭ-R SM.2125 "Параметры и процедуры измерения приемников и станций радиоконтроля диапазонов ВЧ/ОВЧ/УВЧ", в котором определяется точность РП и представлен ряд соответствующих процедур испытаний;
- c)* что спецификация точности РП жестко зависит от применяемых процедур испытаний;
- d)* что рабочие характеристики в спецификациях оборудования РП, как правило, соответствуют работе в идеальных условиях испытаний и не учитывают влияния препятствий, отражений и РЧ-помех на месте установки оборудования;
- e)* что точность системы радиопеленгации на месте установки может сильно зависеть от указанных условий местности², а также от свойств сигнала (напряженности поля, модуляции, в том числе сигналов, изменяющихся по фазе и времени, коэффициента заполнения сигнала, поляризации и длительности сигнала), а также времени интеграции РП;

¹ В контексте обсуждения темы в настоящей Рекомендации под "точностью радиопеленгации" подразумевается точность пеленгования радиопеленгационной системой сигналов, приходящих в горизонтальном направлении. При этом сигналы, приходящие под другими углами места (например, пространственные волны), не учитываются.

² В реальной рабочей обстановке условия многолучевого распространения могут быть простыми или сложными, постоянными или переменными во времени и для различных окружающих условий они будут разными. В одном и то же месте условия будут также изменяться в зависимости от высоты антенны радиопеленгатора.

f) что в зависимости от поставленной задачи одно или несколько указанных особых условий могут иметь ту или иную степень важности, и в ряде случаев ими можно пренебречь;

g) что место и особенности установки радиопеленгационной системы могут напрямую влиять на ее точность и способность выполнять конкретные задачи по радиоконтролю,

рекомендует,

чтобы для определения и протоколирования значений точности окончательно установленных радиопеленгационных систем использовались процедуры испытаний, указанные в Приложении 1.

Приложение 1

1 Введение

В настоящей Рекомендации предлагаются общие процедуры испытаний, которые могут использоваться для оценки точности систем радиопеленгации в реальной радиочастотной обстановке. В технической документации производители оборудования указывают точность радиопеленгации, измеренную в электромагнитно чистых контролируемых условиях приема (как указано в Рекомендации МСЭ-R SM.2060). Однако испытания, описанные в данной Рекомендации, позволяют оценить точность радиопеленгации в той радиочастотной обстановке, в которой установлена и эксплуатируется конкретная система радиопеленгации. Радиочастотная обстановка включает в себя влияние соседних зданий, препятствий, отражения от близлежащих и движущихся объектов, а в некоторых случаях – присутствие мощных радиосигналов.

Измерение характеристик в электромагнитно чистых контролируемых условиях дает достоверные результаты для сравнения показателей точности радиопеленгации. Однако если система не способна функционировать с заданными характеристиками в реальных эксплуатационных условиях, целесообразность ее использования снижается. Поэтому рекомендуется провести четко определенные процедуры испытания стационарного оборудования, целью которых является анализ точности систем радиопеленгации в реальных эксплуатационных условиях. Данные испытания являются одним из этапов приемо-сдаточных испытаний системы.

Очевидно, что точность радиопеленгации в реальных эксплуатационных условиях может быть ниже величины, указанной в технической документации, что обусловлено отрицательным влиянием радиочастотной обстановки, в которой эксплуатируется оборудование. Однако возможность (частичной) коррекции погрешностей измерения на месте испытаний (например, с помощью таблиц поправок) зависит от конструкции системы.

Следует отметить, что точность радиопеленгации, определенная с помощью методов, описанных в настоящей Рекомендации, применима только к конкретной установке радиопеленгации и не может напрямую применяться к другим системам радиопеленгации (в том числе системам того же типа), работающим в других радиочастотных условиях.

Следует также отметить, что данная процедура не может выполнять функции исчерпывающих приемо-сдаточных испытаний на месте установки оборудования, однако может служить основой для таких испытаний. Как правило, пользователь задает более подробные технические условия в зависимости от зоны покрытия и требуемых эксплуатационных характеристик.

Рекомендуется проводить два вида испытаний: 1) испытания с использованием тестового передатчика с контролируемой частотой и местоположением, который передает непрерывные радиосигналы на уровне, обеспечивающем отношение SNR в испытываемой системе не менее 20 дБ; 2) испытания с использованием сигналов от действующих радиостанций и других передатчиков с определенным фиксированным местоположением (так называемых возможных целей), которые могут иметь различные типы модуляции и уровни сигнала. При этом предполагается использование только тех сигналов от возможных целей, отношение SNR которых не ниже значения, заданного производителем испытываемой системы.

2 Подготовка к проведению измерений

Система РП должна испытываться в реальных рабочих условиях – в том месте, где ее будет эксплуатировать администрация, которая ее приобрела. Приемлемой альтернативой могут служить заводские эксплуатационные испытания, однако они должны быть выполнены при условиях, максимально соответствующих реальным условиям эксплуатации системы.

Определение зоны покрытия для испытаний

Перед проведением испытаний точности радиопеленгации необходимо провести анализ в целях определения границ зоны покрытия планируемых тестовых передатчиков, а также действующих радиостанций и других передатчиков с известным местоположением (возможных целей). Подходящая возможная цель должна обладать стабильной выходной мощностью, а также обеспечивать требуемое отношение SNR на протяжении всего испытания. Для анализа покрытия могут применяться инструменты моделирования. Анализ проводится на основе требуемых параметров передатчика – мощности, частоты, модуляции и местоположения. Проведенный анализ позволяет планировать размещение тестовых передатчиков и выбирать подходящие возможные цели.

Требования к выходной мощности тестовых передатчиков

Мощность немодулированного сигнала тестового передатчика должна быть достаточной, способной обеспечить отношение SNR принимаемого сигнала не менее 20 дБ. Однако по взаимной договоренности администрации и производителя допускается использование сигналов с минимальным SNR, при котором достигается заданная точность (согласно спецификации производителя). Для возможных целей обязательно используются типы модуляции и уровни передаваемых сигналов, однако сигналы, отношение SNR которых ниже минимального значения, установленного производителем, не используются.

Подготовка тестовых передатчиков и антенн

Для проведения полевых испытаний следует подготовить испытательное оборудование – передатчики, генерирующие сигналы в требуемом частотном диапазоне, мощность которых позволяет получить необходимое отношение SNR. В целях обеспечения достоверности результатов испытательное оборудование (включая передатчик, передающие антенны и т. д.) подлежит регулярной калибровке.

Использование передатчиков с ненаправленными антеннами позволяет точнее смоделировать реальные рабочие условия. Однако по обоюдному соглашению с производителем для решения конкретных задач допускается использование направленных антенн, о чем следует упомянуть в отчете о результатах испытаний.

Места расположения тестовых передатчиков

Испытательное оборудование устанавливается на автомобиль, оборудованный глобальной системой позиционирования и соответствующим источником питания (испытательный автомобиль). Автомобиль перемещается по дорогам в пределах расчетной зоны покрытия, что позволяет получить не менее восьми равномерно распределенных значений азимута в пределах 360° (два на квадрант³). Контрольные точки должны находиться на линии прямой видимости до системы радиопеленгации. Разница между любыми двумя смежными контрольными углами должна быть не менее 30°. В случаях, когда подобное распределение точек размещения передатчиков не представляется возможным, могут использоваться другие схемы распределения. При этом с учетом покрытия требуемой зоны желательно придерживаться схемы "две точки на квадрант".

В испытаниях должны использоваться как минимум восемь контрольных точек. Эти контрольные точки должны находиться на разных расстояниях от системы радиопеленгации, от ближней зоны до внешней границы зоны покрытия. Наиболее удаленная контрольная точка должна находиться на границе зоны покрытия, что позволит поддерживать SNR на уровне 20 дБ. Ближняя контрольная

³ Эта схема является оптимальной для системы радиопеленгации, охватывающей диапазон 360°. Если радиопеленгатор должен охватывать меньшее число квадрантов, схема распределения может быть изменена.

точка может располагаться в дальнем поле, и этого будет достаточно. Контрольные точки могут выбирать администрации. Кроме того, по взаимной договоренности производителя и администрации допускается использование дополнительных контрольных точек. Это позволит администрациям иметь более точное представление о характеристиках системы в условиях конкретного региона.

Выбор частоты тестового передатчика

Выбранные частоты должны быть равномерно распределены по диапазону и при этом отделены от частот возможных целей, описанных выше, таким образом, чтобы на полученный пеленг сигнала тестового передатчика не влиял сигнал соседней возможной цели⁴. Методика выбора частот для испытаний может быть выбрана на основе Рекомендации МСЭ-R SM.2060 (окончательное количество частот для испытаний может быть ограничено лицензиями или другими факторами).

Параметры модуляции тестового передатчика

Испытание следует проводить с использованием немодулированной несущей (CW), тестовых передатчиков и возможных целей, о которых говорилось выше. Сигналы возможных целей должны включать в себя аналоговые и цифровые сигналы, модуляция которых типична для сигналов, принимаемых системами радиопеленгации, и для рабочих радиочастотных условий⁵.

При проведении испытания с использованием немодулированных несущих полоса пропускания радиопеленгатора устанавливается в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.2060. При проведении испытания с использованием цифровой или аналоговой модуляции сигналов полоса пропускания радиопеленгатора устанавливается в соответствии с шириной полосы сигнала.

Отчет о параметрах испытаний

Все параметры испытаний (уровень тестового сигнала (мкВ/м), тип тестового сигнала, пропускная способность радиопеленгатора, угол контрольной точки, расстояние проведения испытаний, типы антенн и т. д.) должны быть отражены в отчете.

3 Процедура измерения

Испытательный автомобиль перемещают в первую точку проведения измерений. С помощью глобальной навигационной системы определяют точное место, с которого рассчитывается истинный пеленг от системы радиопеленгации до тестового передатчика. Азимут тестового передатчика относительно радиопеленгатора (истинный азимут) должен быть установлен с точностью как минимум $0,1^\circ$ (среднеквадратичное значение) или одной десятой части расчетной точности радиопеленгации в зависимости от того, какой из вариантов содержит более строгое ограничение, с учетом степени достоверности 95%.

Уровень сигнала тестового передатчика следует отрегулировать таким образом, чтобы обеспечить напряженность поля сигнала, принимаемого антенной радиопеленгатора, с уровнем SNR не менее 20 дБ, если только в соглашении между администрацией и производителем не указано, что испытания проводятся с уровнем SNR, эквивалентным минимальной напряженности поля сигнала, заявленной производителем, при котором достигается указанная точность. Кроме того, перед включением тестового передатчика следует убедиться, что выбранная частота свободна. Это означает, что в месте расположения системы радиопеленгации не должны приниматься другие сигналы.

Затем значение азимута системы РП фиксируется и заносится в таблицы данных. Для каждой частоты проводится отдельное испытание. После завершения всех измерений в одном месте испытательный

⁴ В реальных условиях добиться этого для конкретных сигналов или типов модуляции бывает сложно, особенно при наличии нескольких сигналов в одном частотном диапазоне. Подобных ситуаций следует избегать либо необходимо принять отдельные исключения.

⁵ По взаимной договоренности между администрациями и производителями допустимо проведение испытаний определенных видов модулированных сигналов.

автомобиль перемещается в другое расположение и процедура измерения повторяется. Процедура повторяется до тех пор, пока не будут проведены измерения на всех необходимых азимутах⁶.

Измеряются не только параметры тестового передатчика, но и пеленги на выбранные возможные цели. Результаты измерений заносятся в таблицу вместе с расчетными значениями истинных пеленгов. В таблицу заносятся значения SNR и модуляция принимаемых сигналов, полученные при испытании возможных целей.

Примером является таблица 1; одна таблица используется для немодулированных сигналов, другая аналогичная таблица с дополнительными столбцами – для значений SNR и модуляции сигнала, полученных при испытании возможных целей.

ТАБЛИЦА 1

Пример таблицы данных испытаний

Модуляция сигнала _____ Поляризация сигнала _____

Индекс	Истинное значение	Частота 1		Частота 2		Частота 3		Частота 4		Частота М	
	Азимут	РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ	РП	Δ
1	1°										
2	28°										
3	77°										
8	354°										

Отметим, что Δ – погрешность пеленга для каждого измерения. Она рассчитывается как разница между истинным азимутом и пеленгом, отображаемым радиопеленгатором.

4 Анализ результатов испытаний

При проведении измерений на месте эксплуатации оборудования в рамках приемо-сдаточных испытаний в таблице результатов должны быть представлены отдельные значения. На их основе пользователь может сформировать более подробные таблицы поправок, что в дальнейшем позволит в определенной мере компенсировать погрешность пеленга⁷.

При проведении измерений в рамках испытаний на заводе-изготовителе отдельные измерения точности РП могут быть усреднены для получения сводного значения точности РП для каждого азимута, частоты и модуляции (если это применимо), при этом до 10% отдельных результатов измерений РП отбрасываются как выпадающие значения (неправдоподобные данные).

Эффективное или среднеквадратичное значение (RMS) погрешности пеленга Δ_{RMS} в каждом частотном диапазоне рассчитывается на основе усреднения выборок (за вычетом выпадающих значений) по формуле:

⁶ Такого рода повторные испытания целесообразно проводить с использованием программного обеспечения для управления передатчиком и системой радиопеленгации, сбора информации и составления отчета о результатах.

⁷ Корректные таблицы поправок для установленной системы могут быть сформированы на основе результатов испытаний дополнительных углов и частот.

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

где:

N : количество измерений.

В целях обеспечения достоверности результатов необходимо соблюдать следующие требования:

- а) до 10% выборок результатов измерений по всему диапазону частот радиопеленгатора в зоне покрытия (углы азимута) может быть отброшено с учетом эксплуатационных погрешностей при условии, что для отбрасывания таких данных разработан соответствующий метод или алгоритм;
- б) заявленная точность системы радиопеленгации должна представлять собой расчетное RMS всех результатов наблюдения, за исключением отброшенных. Отброшенные данные следует тем не менее включить в отчет об испытаниях.

5 Дополнительные аспекты измерений точности радиопеленгации на ВЧ

При измерении точности радиопеленгации на ВЧ имеются некоторые ограничения:

- длина волны ВЧ-сигналов такова, что передатчики и приемники должны находиться на значительном расстоянии друг от друга, а расстояние между тестовым передатчиком и системой радиопеленгации должно отвечать условиям дальнего поля;
- уровень атмосферного шума не контролируется и зависит от солнечной активности, времени суток и других переменных факторов. Зачастую он значительно превышает шум системы РП, поэтому удержание минимального SNR на уровне 20 дБ может представлять определенные сложности.

Измерения точности радиопеленгации на ВЧ должны в целом проводиться так же, как измерения точности на ОВЧ/УВЧ, за исключением того, что:

- передатчик может представлять собой действующий радиовещательный передатчик с известными характеристиками (азимут, уровень);
- положение транспортного средства в поле дальней зоны, на котором установлен передатчик ВЧ, должно быть известно;
- число значений азимута для испытаний может ограничиваться географическими или иными факторами;
- при испытаниях, описанных в настоящем документе, рассматривается только точность радиопеленгации по сигналам наземной волны для ВЧ-систем, а для оценки сигналов ионосферной волны потребуются испытания других видов.

6 Примеры результатов испытаний

Необходимо представить результаты испытаний, основанные на физическом диапазоне частот антенн радиопеленгаторов, а для возможных целей – на основе типа модуляции тестового сигнала, полосы пропускания радиопеленгатора и других параметров.

При рассмотрении системы радиопеленгации, работающей с двумя комплектами антенн, можно определить следующие контрольные точки в качестве минимального набора, соответствующего данному стандарту.

- а) Антенна в диапазоне 80–1300 МГц:
 - 8 точек азимута, равномерно 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) и 2 точки в третьей декаде в оставшейся части диапазона (1000 МГц и 1300 МГц);

- $N_t = 8 \times 13 = 104$ испытания для каждой немодулированной несущей;
- N_0 – это фактическое число проведенных испытаний с аналоговыми и цифровыми модуляциями сигналов от возможных целей;
- итого $N = N_t + N_0$.

b) Антенна в полосе 1300–3000 МГц:

- 8 точек азимута, равномерно распределенных в пределах 360° ;
- не менее 5 точек частоты, поскольку диапазон не содержит полную логарифмическую декаду (1300, 1640, 1980, 2320, 2660, 3000 МГц);
- $N_t = 8 \times 5 = 40$ испытаний для каждой немодулированной несущей;
- N_0 – это фактическое число проведенных испытаний с аналоговыми и цифровыми модуляциями сигналов от возможных целей;
- итого $N = N_t + N_0$.

Итак, отчет о результатах эксплуатационных испытаний гласит:

- точность радиопеленгации $\leq 2,5^\circ$ RMS (в диапазоне 80–1300 МГц, измерена согласно Рекомендации МСЭ-R SM.2097-0);
 - точность радиопеленгации $\leq 2,0^\circ$ RMS (в диапазоне 1300–3000 МГц, измерена согласно Рекомендации МСЭ-R SM.2097-0).
-