

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Северо-Кавказский филиал
ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский технический университет связи и информатики»

А.Г. ЖУКОВСКИЙ

Методические указания
по проведению практического занятия №3
по дисциплине

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ

Направление подготовки 11.03.02
Инфокоммуникационные технологии и системы связи
профиль Мобильная связь и интернет вещей

Ростов-на-Дону
2022

Методические указания
по проведению практического занятия №3
по дисциплине
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ

**Методика проведения контроля функционирования систем
радиосвязи и обработки полученных измерений**

Методические указания разработаны на основе методики, разработанной ФГУП «Ростест-Москва». ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО РАДИОДОСТУПА СТАНДАРТОВ IEEE 802.11A/B/G И IEEE 802.16-2004, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ВНЕ ПОМЕЩЕНИЙ. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МИ72445498.001-2005

Составитель: А.Г. Жуковский, проф. каф. «ИТСС»

Рассмотрено и одобрено
на заседании кафедры «ИТСС»
Протокол от «19» декабря 2022 г., №5

СОДЕРЖАНИЕ

1 Вводная часть	5
2 Требования к погрешности измерений	9
3 Средства измерений и вспомогательные устройства	9
4 Методы измерений	10
5 Требования по безопасности	15
6 Требования к квалификации операторов	15
7 Условия измерений	16
8 Подготовка к выполнению измерений	18
9 Выполнение измерений	20
10 Обработка результатов измерений	24
11 Анализ и оформление результатов измерений	25
12 Нормативные ссылки и используемая литература	26
13 ПРИЛОЖЕНИЯ	28

Перечень используемых сокращений

БПД – беспроводный абонентский радиодоступ
КШП – контрольная ширина полосы частот
МВИ – методика выполнения измерения
МСЭ – Международный союз электросвязи
НШП – необходимая ширина полосы частот
РЭС – радиоэлектронное средство
ЧТП – частотно-территориальный план
ШЗП – ширина занимаемой полосы частот
ЭИИМ – эквивалентная изотропно излучаемая мощность
BPSK – двоичная фазовая модуляция
DSSS – сигналы с прямым расширением спектра
OFDM – ортогональная частотная модуляция
OFDMA – ортогональное частотное разделение каналов
QAM – квадратурная модуляция
QPSK – квадратурная фазовая модуляция
TDMA – многостанционный доступ с временным разделением каналов

Вводная часть

Назначение методики выполнения измерений.

Настоящий документ устанавливает методику выполнения измерения (МВИ) параметров радиоизлучений радиоэлектронных средств (РЭС) беспроводного абонентского радиодоступа (БПД), построенных на основе стандартов IEEE 802.11 a/b/g [7-10] и IEEE 802.16-2004 [11, 12] (далее – БПД) с целью проверки выполнения требований стандартов, разрешений на использование частот и выявления несанкционированных РЭС.

Методика используется государственными инспекторами Федеральной службы по надзору в сфере связи при осуществлении мероприятий надзора и контроля за соблюдением пользователями радиочастотным спектром условий, установленных при выделении полос радиочастот и присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов, обязательных требований к параметрам излучений РЭС БПД, а также выявления неразрешенных для использования РЭС БПД.

К параметрам излучений РЭС БПД, измеряемых по настоящей методике, относятся следующие:

- частота излучения РЭС БПД;
- эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) РЭС БПД;
- мощность радиосигнала в канале;
- координаты базовой станции;
- азимут направления на излучающую антенну РЭС БПД;
- внеполосные излучения РЭС БПД.

Характеристики измеряемых величин:

- частота излучения от 2,4 до 7,0 ГГц;
- ЭИИМ от -30,0 до +50,0 дБм;
- мощность радиосигнала в канале от -80,0 до +30,0 дБм;
- азимут направления на излучающую антенну РЭС БПД от 0 до 360°;
- внеполосные излучения до -60 дБ.

Используемые термины и определения

Полоса частот - область частот, ограниченная верхним и нижним пределами. (ГОСТ 24375-80) [1].

Необходимая ширина полосы частот радиоизлучения (НШП) – минимальная полоса частот данного класса радиоизлучения, достаточная для передачи сигнала с требуемой скоростью и качеством (ГОСТ 23611-79) [2].

Ширина занимаемой полосы частот радиоизлучения (ШЗП) – ширина полосы частот радиоизлучения, за пределами которой излучается заданная часть мощности излучения радиопередающего устройства (ГОСТ 23611-79) [2].

Контрольная ширина полосы частот излучения (КШП) – ширина полосы частот, за нижним и верхним пределами которой любая спектральная составляющая имеет ослабление на 30 дБ и более относительно излучения, приравненного 0 дБ (ГОСТ 24375-80) [1].

Присвоенная полоса радиочастот – полоса частот, в пределах которой радиостанции разрешено излучение.

Примечание. Ширина присвоенной полосы частот равняется необходимой ширине полосы частот плюс удвоенное абсолютное значение допустимого отклонения частоты. (ГОСТ 23611-79 [2], рекомендации Международного союза электросвязи (МСЭ) SM. 328-9 [15] и п. 142 статьи 1 Регламента радиосвязи [13]).

Присвоенная радиочастота - частота, соответствующая середине присвоенной радиостанции полосы частот. (ГОСТ 24375-80 [1]).

Характерная частота – частота, которую можно легко опознать и измерить в данном излучении. Например, несущую частоту можно рассматривать как характерную частоту. (ГОСТ Р 50657-94 [4], рекомендации МСЭ SM. 328-9 [15] и п. 143 статьи 1 Регламента радиосвязи [13]).

Относительная частота – частота, занимающая по отношению к присвоенной частоте фиксированное и определенное положение. Отклонение этой частоты по отношению к присвоенной частоте имеет ту же абсолютную величину и знак, что и отклонение характерной частоты по отношению к середине полосы частот, занимаемой излучением. (ГОСТ Р 50657-94 [4], рекомендации МСЭ SM. 328-9 [15] и п. 144 статьи 1 Регламента радиосвязи [13]).

Допустимое отклонение частоты – максимально допускаемое отклонение средней частоты полосы частот излучения от присвоенной частоты или характерной частоты излучения от относительной частоты.

Примечание. Допустимое отклонение частоты выражается в миллионных долях или герцах. (ГОСТ Р 50657-94 [4], рекомендации МСЭ SM. 328-9 [15] и п. 145 статьи 1 Регламента радиосвязи [13]).

Ограничительная линия внеполосного излучения – линия на плоскости координат, которая устанавливается для каждого класса излучений и является верхней границей максимально допустимых значений уровней составляющих внеполосного спектра излучения, выраженных в децибелах относительно заданного (исходного) уровня 0 дБ (ГОСТ Р 50016-92 [3]).

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность – представляет собой произведение мощности, подводимой к антенне, на коэффициент усиления этой антенны в заданном направлении относительно изотропной антенны (абсолютный или изотропный коэффициент усиления) (Регламент радиосвязи [13]).

Магнитным азимутом направления – горизонтальный угол, измеряемый по ходу часовой стрелки (от 0 до 360 градусов) от северного направления магнитного меридиана до определяемого направления.

Зона обслуживания – территория, на которой оператор связи предоставляет услуги связи.

Частотно-территориальный план (ЧТП) – распределение частот на территории зоны обслуживания (покрытия). Задается азимутами зон покрытия, частотами и мощностями излучения в соответствующих направлениях, указанными в разрешении на использование частот.

Объектами измерений по настоящей МВИ являются радиоизлучения базовых станций сетей фиксированной радиосвязи абонентского доступа, работающих в соответствии со стандартами IEEE 802.11 a/b/g и IEEE 802.16-2004.

Основные характеристики и параметры стандартов: диапазоны частот, центральные частоты, виды и скорость модуляции приведены в Таблицах 1.1 - 1.3.

Диапазоны частот РЭС БПД

Таблица 1.1.

Стандарт	Диапазон частот, ГГц	Номер канала	Частота, МГц	НШП, МГц	КШП, МГц
802.11a	Нижний диапазон 5,15...5,25	36	5180	22,0	44,0
		40	5200		
		44	5220		
		48	5240		
	Средний диапазон 5,25...5,35	52	5260		
		56	5280		
		60	5300		
		64	5320		
	Верхний диапазон 5,725...5,825	149	5745		
		153	5765		
		157	5785		
		161	5805		
802.11 b/g	2,4...2,4835	1	2412	22,0	44,0
		2	2417		
		3	2422		
		4	2427		
		5	2432		
		6	2437		
		7	2442		
		8	2447		
		9	2452		
		10	2457		
		11	2462		
		12	2467		
		13	2472		

Скорость передачи данных и виды модуляции РЭС БПД

Таблица 1.2

Стандарт	Скорость модуляции, Мбит/с	Вид модуляции
802.11a	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48;54	OFDM
802.11b	1; 2; 5,5; 11	DSSS, BPSK и QPSK
802.11g	1; 2; 5,5; 11	DSSS, BPSK и QPSK
	6; 9; 12; 18; 24; 36; 48;54	OFDM

Параметры радиоизлучений РЭС БПД

Таблица 1.3.

Название стандарта	802.16	802.16a	802.16e
Частотный диапазон, ГГц	10 - 66	2 - 11	2,4 - 2,483; 3,4 - 3,6; 5,7 - 5,8
Ширина канала, МГц	ETSI: 28 US: 20 и 25	ETSI: 1,75; 3,5; 7; 14; 28 US: 1,25; 5; 10; 20	1,75; 3,5; 7; 10
Скорость модуляции, Мбод	1 - 20	1 - 20	1 - 10
Скорость передачи информации	до 135 Мбит/с для канала 28 МГц	до 75 Мбит/с для канала 28 МГц	до 15 Мбит/с для канала 5 МГц
Типы радиоинтерфейсов	WMAN-SC1	WMAN-SC2, WMAN-OFDM, WMAN-OFDMA	WMAN-OFDMA
Типы модуляции	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM-256, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	OFDM-256, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Разделение каналов	TDMA	TDMA	TDMA, OFDMA
Мобильность	Фиксированный	Фиксированный, портативный	Фиксированный, портативный
Радиус действия	2-5 км	7-10 км	2-5 км
Условия работы	Прямая видимость	Работа на отражениях	Работа на отражениях

Примечание. 1. Разделение на стандарты IEEE 802.16, IEEE 802.16a и IEEE 802.16e существовало до 2004 года. С 2004 г. эти стандарты были объединены в один стандарт IEEE 802.16-2004.

2. Современное оборудование стандарта IEEE 802.16-2004, лицензированное в Российской Федерации, работает в диапазоне частот от 2,5 до 7 ГГц.

Требования к погрешности измерений

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения частоты излучения не превышают $\pm 3,0 \cdot 10^{-6}$.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения ЭИИМ не превышают $\pm 6,0$ дБ.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения мощности радиосигнала в канале не превышают $\pm 2,0$ дБ.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения азимута направления на излучающую антенну не превышают $\pm 2^\circ$.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения внеполосных излучений не превышают $\pm 2,0$ дБ.

Средства измерений и вспомогательные устройства

МВИ может быть применена при использовании средств измерения (СИ), которые должны пройти испытания с целью присвоения типа, должны быть занесены в Государственный реестр и должны быть поверены в соответствии с требованиями Закона «Об обеспечении единства измерений».

Перечень СИ и вспомогательных средств, необходимых для измерения параметров радиоизлучений РЭС при проведении мероприятий надзора и контроля указан в Таблице 3.1.

Таблица 3.1

№ п.п.	Вид мероприятий	Перечень СИ и вспомогательных средств
1.	Мероприятия надзора и контроля за соблюдением пользователями радиочастотным спектром условий, установленных при выделении полос радиочастот и присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов, обязательных требований к параметрам излучений РЭС БПД	Средства измерений: – анализатор спектра; – измерительная антенна на треноге с азимутально-угломестными лимбами; – лазерный дальномер; – геодезический спутниковый приемник; – клинометр (при необходимости); – измерительная рулетка (при необходимости); – буссоль (при необходимости). Вспомогательные средства: – программный тестер; – измерительный кабель.
2.	Мероприятия по выявлению неразрешенных для использования РЭС БПД	Средства измерений: – анализатор спектра; – измерительная антенна на треноге с азимутально-угломестными лимбами; Вспомогательные средства: – программный тестер; – измерительный кабель.

Требования к СИ и вспомогательным средствам указаны в Приложении А.

Перечень рекомендуемых СИ и вспомогательных устройств приведен в Таблице А.1 Приложения А.

Методы измерений

Методы измерения параметров частотно-территориального плана

Важнейшим требованием условий, указанных в Разрешении на использование радиочастот или радиочастотных каналов для РЭС, принадлежащих оператору, предоставляющему услуги БПД, является соблюдение ЧТП.

Измерение параметров ЧТП подразумевает измерение ЭИИМ радиосигнала, излучаемого РЭС, в заданном направлении и огибающей спектра радиосигнала. Измерение параметров ЧТП производится в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.1.

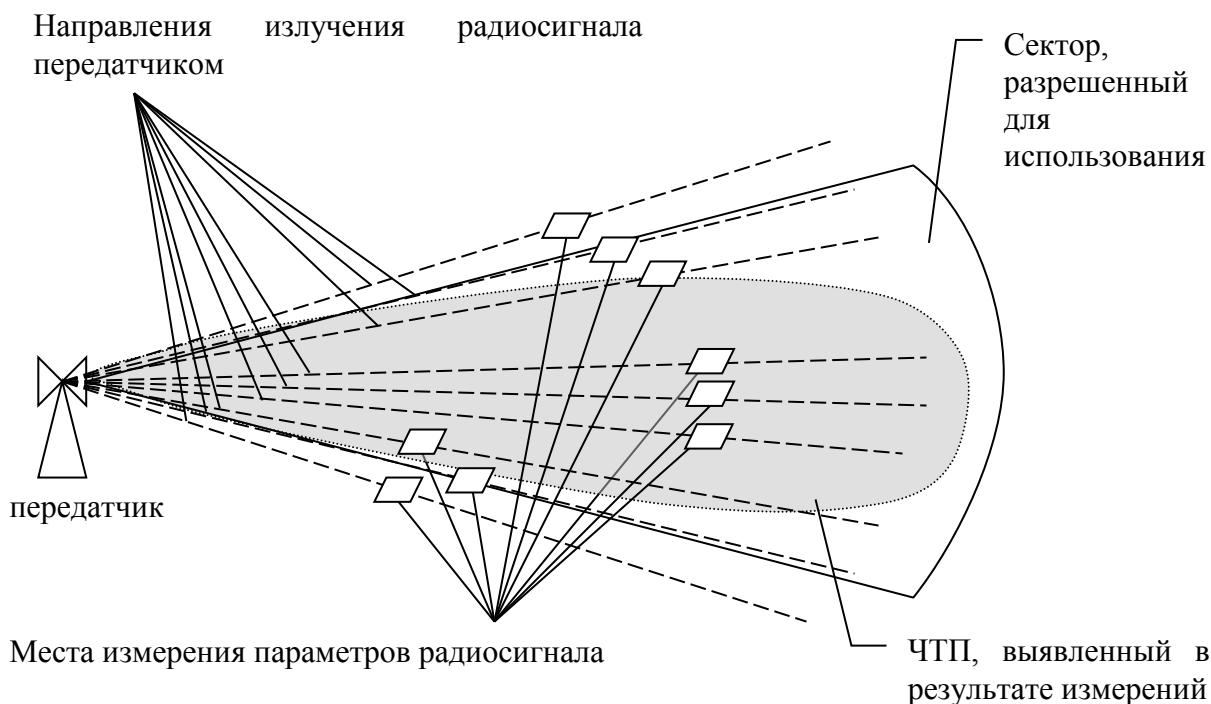


Рис. 4.1

Метод измерения центральной частоты радиосигналов РЭС БПД основан на обработке измеренной спектрограммы радиосигнала с целью определения его «центра тяжести» (рис.4.2).

Примечание. При использовании этого метода вводится предположение о том, что «центр тяжести» совпадает с частотой сигнала и спектр сигнала симметричен.

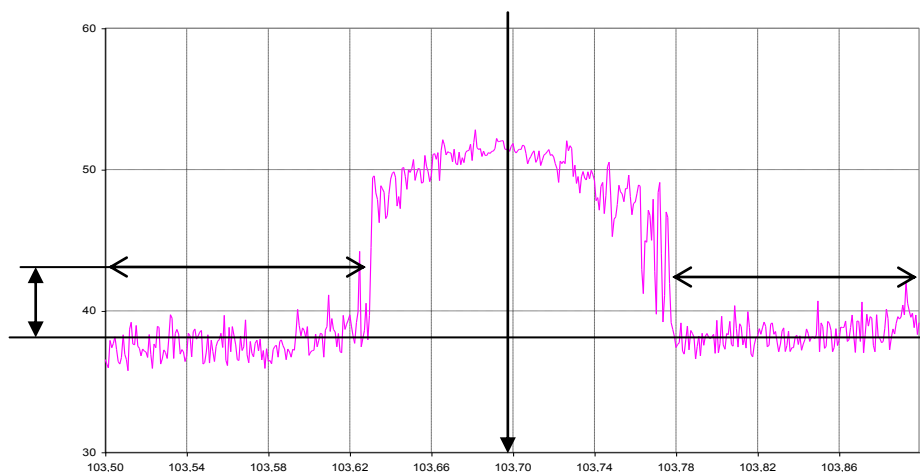


Рис.4.2 Иллюстрация метода центра тяжести

Обработку измерений необходимо проводить специальным программным обеспечением, входящим в состав анализатора спектра. Алгоритм обработки заключается в следующем.

По спектрограмме сигнала определяется средний уровень шума и, для уменьшения погрешности измерения, отбрасываются отсчеты с уровнем менее чем на 6 дБ превышающих уровень шума.

Вычисляется приблизительный центр тяжести спектрограммы из условия:

$$\int_{F_{нач}}^{f_0} S(f)df = \int_{f_0}^{F_{кон}} S(f)df, \quad (1)$$

где $F_{нач}$ и $F_{кон}$ – граничные частоты полосы обзора;

S_i – значение спектральных составляющих, мкВт.

Интегрирование осуществляется численным методом. Выполнение условия определяется по изменению знака разности двух интегралов. Номер шага (частоты) k на котором произошла смена знака определяет положение центра тяжести.

Вычисление центральной частоты сигнала осуществляется с помощью линейной интерполяции по формуле

$$f_0 = -\frac{a}{b}, \quad (2)$$

где $a = \frac{\Delta I_k - \Delta I_{k-1}}{f_k - f_{k-1}}$, $b = \Delta I_k - \frac{\Delta I_k - \Delta I_{k-1}}{f_k - f_{k-1}} f_k$ – коэффициенты линейной интерполяции;

ΔI – левый интеграл из выражения (1).

Измерение ЭИИМ

Косвенный метод измерения ЭИИМ радиоизлучений РЭС БПД основан на измерении плотности потока электромагнитной энергии с использованием анализатора спектра и расчете ЭИИМ в соответствии с принятой моделью. Схема измерения приведена на рис. 4.3.

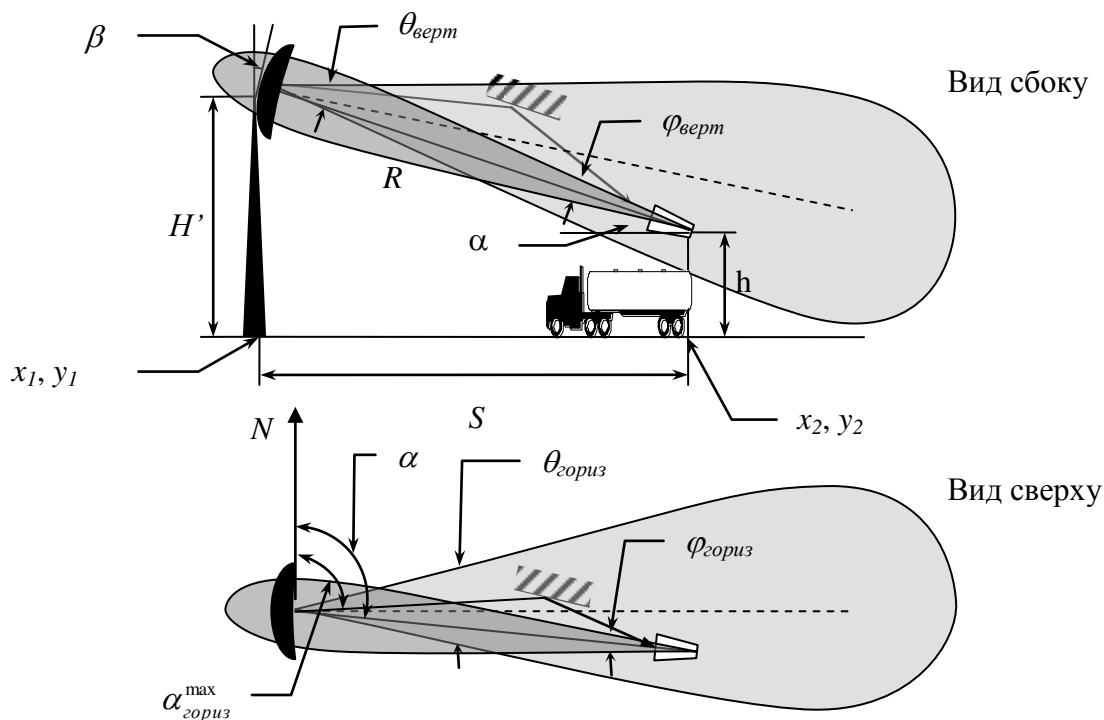


Рис. 4.3

В радиоканале прямой видимости мощность сигнала на входе приемного устройства определяется выражением

$$P_{нрм} = \frac{P_{нр\delta} \eta_{нр\delta} G_{нр\delta} G_{нрм} \eta_{нрм}}{L_0 L_{\delta on}}, \quad (3)$$

где $P_{нр\delta}$ – мощность на выходе передатчика;

$G_{нр\delta}$, $G_{нрм}$ – коэффициент направленного действия антенны передатчика и приемника соответственно;

$\eta_{нр\delta}$, $\eta_{нрм}$ – потери в фидерном тракте передатчика и приемника соответственно;

L_0 – потери в свободном пространстве при распространении радиоволн;

$L_{\delta on}$ – дополнительные потери, вызванные потерями в атмосфере, неточностью наведения антенн, несовпадением поляризаций передающей и приемной антенн и др.

Учитывая, что

$$P_{эиим} = P_{нр\delta} \eta_{нр\delta} G_{нр\delta} \quad (4)$$

и

$$L_0 = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2, \quad (5)$$

где R – расстояние от передатчика до приемника;

λ – длина волны несущего колебания,

выражение (3) можно представить в виде

$$P_{нрм} = \frac{P_{эиим} G_{нрм} \eta_{нрм} \lambda^2}{(4\pi R)^2 L_{\delta on}}. \quad (6)$$

Дополнительные потери при отсутствии осадков, относительной влажности менее 80% и отсутствии переизлучателей и препятствий, определяются потерями из-за неточности наведения измерительной антенны, отклонением измерительных точек от максимума диаграммы направленности (ДН) антенны передатчика и несовпадением поляризаций передающей и приемной антенн:

$$L_{\delta on} = L_{tx \text{ верт}} L_{tx \text{ гориз}} L_{rx \text{ верт}} L_{rx \text{ гориз}} L_{поля}, \quad (7)$$

где $L_{tx \text{ верт}}$ – потери, вызванные отклонением ДН измерительной антенны от ДН антенны передатчика в угломестной плоскости;

$L_{tx \text{ гориз}}$ – потери, вызванные отклонением ДН измерительной антенны от ДН антенны передатчика в азимутальной плоскости;

$L_{rx \text{ верт}}$ – потери, вызванные неточностью наведения ДН измерительной антенны на антенну передатчика в угломестной плоскости;

$L_{tx \text{ гориз}}$ – потери, вызванные неточностью наведения ДН измерительной антенны на антенну передатчика в азимутальной плоскости;

$L_{поля}$ – потери, вызванные несовпадением поляризаций передающей и приемной антенн.

Потери $L_{tx \text{ верт}}$, $L_{tx \text{ гориз}}$, $L_{rx \text{ верт}}$, $L_{rx \text{ гориз}}$ вычисляются в соответствии с выражением

$$L_x = 1 + \left(\frac{2\varphi_x}{\theta_x} \right)^2, \quad (8)$$

где φ_x – ошибка наведения в соответствующей плоскости;

θ_x – ширина ДН антенны в соответствующей плоскости.

Отклонение измерительной антенны от максимума ДН антенны передатчика в азимутальной плоскости $\psi_{гориз}$ находится как разность азимутов

$$\psi_{гориз} = \alpha_{гориз} - \alpha_{гориз}^{\max}, \quad (9)$$

где $\alpha_{гориз}$ – азимут в точке измерения;

$\alpha_{гориз}^{\max}$ – азимут в точке с максимальным уровнем измеренной мощности.

Отклонение измерительной антенны от максимума ДН антенны передатчика в угломестной плоскости $\psi_{верт}$ зависит от угла превышения точки крепления антенны над

точкой измерения ε и угла подвеса антенны β :

$$\psi_{верт} = \varepsilon - \beta. \quad (10)$$

Потери, вызванные несовпадением поляризаций передающей и приемной антенн рассчитывают так

$$L_{поляр} = \frac{1}{K(\Delta e, \Delta \gamma)},$$

где $K(\Delta e, \Delta \gamma)$ – коэффициент передачи энергии, рассчитываемый для антенн с эллиптической поляризацией по выражению:

$$K(\Delta e, \Delta \gamma) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{4e(e + \Delta e)}{(1 + e^2)[1 + (e + \Delta e)^2]} + \frac{(1 + e^2)[1 - (e + \Delta e)^2]}{(1 + e^2)[1 + (e + \Delta e)^2]} \cos 2\gamma \right\},$$

где $\Delta e = e' - e$, e' и e – коэффициенты эллиптичности (отношение малой полуоси эллипса к большой);

$\Delta \gamma$ – угол между полуосями эллипсов поляризации передающей и приемной антенны.

Так как ошибка наведения измерительной антенны в плоскости поляризации не должна превышать 3° , то $L_{поляр}$ будет не более 1,01.

Таким образом, выражение для расчета ЭИИМ можно записать так:

$$P_{эиим} = \frac{1,01(4\pi R)^2 P_{прм}}{\lambda^2 G_{прм} \eta_{прм}} \left[1 + \left(\frac{2(\varepsilon - \beta)}{\theta_{верт}} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{2(\alpha_{гориз} - \alpha_{гориз}^{max})}{\theta_{гориз}} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{2\phi_{верт}}{\phi_{верт}} \right)^2 \right] \left[1 + \left(\frac{2\phi_{гориз}}{\phi_{гориз}} \right)^2 \right]. \quad (11)$$

Исходными данными здесь служат значения:

- длины волны несущего колебания λ ;
- коэффициента направленного действия приемной измерительной антенны $G_{прм}$;
- потерь в фидерном тракте приемника $\eta_{прм}$;
- ширины ДН антенны передатчика в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно – $\theta_{гориз}$ и $\theta_{верт}$;
- ширины ДН измерительной антенны в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно – $\phi_{гориз}$ и $\phi_{верт}$;
- ошибок наведения измерительной антенны на антенну передатчика в азимутальной и угломестной плоскостях соответственно – $\phi_{гориз}$ и $\phi_{верт}$;
- угла подвеса антенны β .

Для расчета необходимо измерить:

- мощность сигнала в канале $P_{прм}$;
- расстояние от передатчика до приемника R ;
- азимут точки измерения с максимальным уровнем измеренной мощности $\alpha_{гориз}^{max}$;
- азимут точки измерения $\alpha_{гориз}$;
- угол превышения точки крепления антенны над точкой измерения ε .

Измерение мощности в заданном радиоканале можно осуществить с помощью анализатора спектра. Алгоритм измерения мощности в радиоканале с помощью анализатора спектра состоит в том, что при анализе входного сигнала измеряется мощность его отдельных спектральных составляющих, а затем суммируется мощность тех спектральных составляющих, которые входят в диапазон частот заданного радиоканала.

Примечание. При проведении измерений в городской застройке интенсивность принимаемого поля сильно зависит от точки приема. Пространственные изменения возникают из-за наложения друг на друга большого количества волн, образованных вследствие дифракции, рассеяния и отражения от зданий. Из-за разности фаз наложение волн дает интерференционную картину с достаточно глубокими замираниями. Расстояние между максимальными (минимальными) значениями сигнала составляет величину порядка $\lambda/2$. Поэтому измерения мощности в городской застройке должны проводиться в нескольких равномерно распределенных точках на расстоянии менее $0,8\lambda$ между точками, по результатам которых вычисляется среднее значение мощности, принимаемое за результат измерения.

Измерение абсолютных координат точки установки передатчика производится с

помощью специального приемника сигналов спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS.

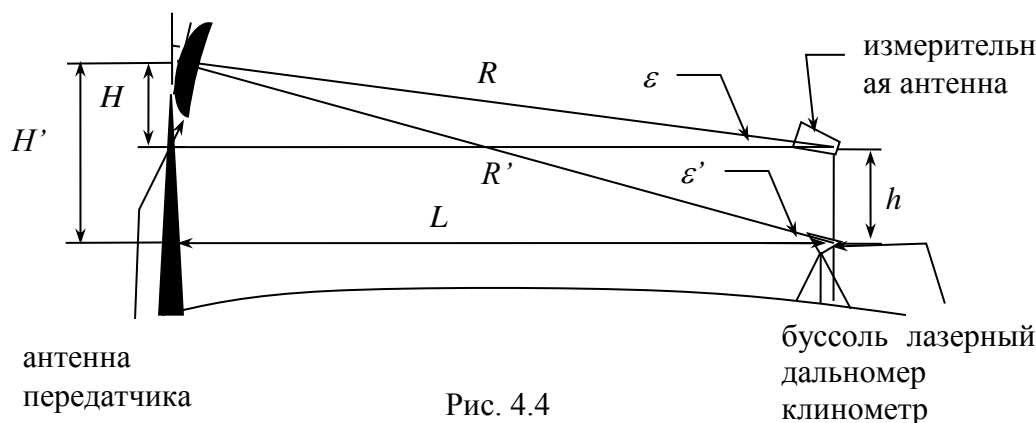
Измерение расстояний выполняются методом, который основан на измерении промежутка времени между посылкой лазерного импульса и приемом отраженного от предмета сигнала. Данный метод реализуется с помощью лазерного дальномера на малых расстояниях.

Примечание. Если лазерный дальномер не может быть помещен в точку, где расположена измерительная антенна, то производится пересчет расстояния в соответствии с выражением (13).

На больших расстояниях следует пользоваться приемником сигналов спутниковых радионавигационных систем, последовательно устанавливаемым в точке размещения измеряемого РЭС БПД и измерительной антенны. При этом расстояние определяется либо по бумажной, либо по цифровой карте местности.

Измерение угла превышения установки антенны передатчика над точкой измерения выполняют с помощью клинометра.

Клинометр позволяет непосредственно измерять угол превышения объекта над точкой измерения. Схема измерения иллюстрируется рисунком 6.3.



Если высота h равна нулю, то угол ε' , измеряемый с помощью клинометра, равен углу превышения точки крепления антенны над точкой измерения ε . Если в точке крепления антенны нельзя измерить угол превышения точки крепления антенны над точкой измерения, то необходимо измерить угол в точке, расположенной непосредственно под измерительной антенной и выполнить пересчет в соответствии с выражением

$$\varepsilon = \arctg\left(\frac{R' \sin \varepsilon' - h}{R' \cos \varepsilon'}\right), \quad (12)$$

а расстояние R от измерительной антенны до антенны передатчика в соответствии с выражением

$$R = \sqrt{(R' \sin \varepsilon' - h)^2 + (R' \cos \varepsilon')^2}. \quad (13)$$

Измерение высоты осуществляют двумя способами: с помощью лазерного дальномера или измерительной рулетки.

Измерение азимута точки наблюдения

Кроме измерения ЭИИМ в конкретной точке пространства, для определения реального ЧТП необходимо измерить угол между прямой, соединяющей точку измерения с точкой, в которой находится передатчик, и направлением на север, которое принято за начало при отчете азимутов.

Метод измерения азимута основан на измерении угла отклонения магнитной стрелки, вызванного магнитным полем Земли. Данный метод реализуется с помощью буссоли.

Измерение внеполосных излучений и проверка соответствия радиоизлучения спектральной маске стандарта БПД.

Проверку соответствия радиоизлучения спектральной маске стандарта БПД выполняют, используя анализатор спектра. Метод состоит в измерении огибающей спектра сигнала и сравнении ее со спектральной маской (см. рис. 4.5).

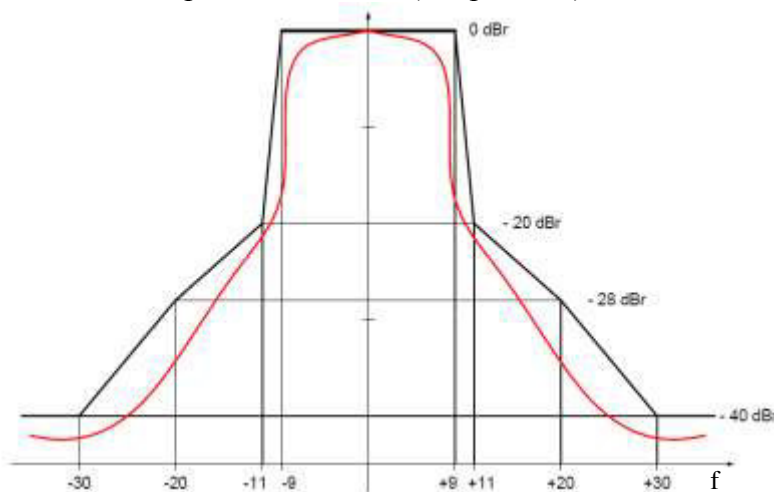


Рис.4.5.

Методы выявления несанкционированных РЭС

Метод состоит в обнаружении (например, при выполнении измерений параметров ЧТП разрешенного РЭС) сигнала от несанкционированной РЭС с помощью анализатора спектра, настраиваемого по частоте развертки. Если сигнал излучает передатчик в диапазоне частот стандартов БПД, расположенный в месте отличном от указанного в разрешении, то можно сделать вывод о том, что данный передатчик является несанкционированным.

Метод заключается в обнаружении сигнала от несанкционированных РЭС с помощью программного тестера, который может выявлять сигнал от всех РЭС, работающих в том же стандарте, как зарегистрированных, так и работающих незаконно.

Требования по безопасности

Все работы должны производиться с соблюдением требований безопасности, установленных в ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности [18], Санитарных правилах и нормах работы с источниками СВЧ-излучения САНПиН 2.2.4/2.1.8.055 [19], выполнением требований по безопасности, установленных в инструкциях по эксплуатации используемых СИ, а также общих требований правил безопасности при выполнении работ по контролю за радиоизлучениями РЭС.

При работах на высоте (крышах зданий, вышках и пр.) обязательным требованием применения настоящей МВИ является соблюдение правил безопасности при работе на высоте.

При выполнении измерений запрещается поднимать мачту с закрепленной на ней антенной, если сила ветра превышает 20 м/с.

Требования к квалификации операторов

К работам по измерению параметров радиоизлучений РЭС допускаются инспекторы имеющие квалификационную группу по электробезопасности не ниже четвертой для работы с электроустановками до 1000 В, прошедшие обучение и аттестованные на право работы по контролю и надзору за деятельностью операторов связи.

Измерения должны выполнять инспекторы, изучившие документацию на используемые средства измерений и вспомогательное оборудование, изучившие настоящую

методику, прошедшие инструктаж по технике безопасности и имеющие навыки практической работы по измерению параметров радиоизлучений РЭС.

Условия измерений

Условия окружающей внешней среды:

- температура окружающей среды определяется рабочим диапазоном температур используемых СИ и вспомогательных средств;
- относительная влажность воздуха до 80%;
- давление определяется рабочим диапазоном давлений используемых СИ и вспомогательных средств.
- отсутствие осадков;
- скорость ветра не более 20 м/с.

Все измерения рекомендуется проводить в течение одного дня. Если измерения не могут быть проведены в течение одного дня, то в начале каждого дня необходимо проводить калибровку средств измерения.

Количество измерительных площадок должно быть не менее 12. Одна из площадок выбирается в непосредственной близости от антенны передатчика в направлении предполагаемого максимума ее ДН на минимально возможном расстоянии. Эта площадка необходима для проверки соответствия радиоизлучения спектральной маске стандарта БПД.

Другие площадки выбираются следующим образом. В направлении максимума ДН антенны передатчика выбирается три измерительных площадки, одна из которых располагается в предполагаемом направлении 0° ДН. Две другие должны быть расположены на прямых, отклоняющихся от направления 0° ДН, на углы $5-7^\circ$.

По четыре измерительные площадки располагаются вблизи каждой из границ сектора, разрешенного для использования оператором связи, причем одна из них располагается непосредственно на границе сектора, еще одна располагается на прямой, отклоняющейся за границу сектора на 3° . Оставшиеся две площадки располагаются внутри сектора, разрешенного для использования, на прямых отклоняющихся от границы сектора на 3° и 6° соответственно.

Примечание. Количество измерительных площадок может быть уменьшено, если границы разрешенного сектора составляют угол менее 30° , но их количество должно быть не менее 10 (включая измерительную площадку для проверки соответствия радиоизлучения спектральной маске стандарта БПД).

Количество измерительных площадок может быть увеличено, если есть основания полагать, что ДН антенны передатчика оператора связи выходит за границы сектора, разрешенного для использования оператором связи. Дополнительные измерительные площадки необходимо располагать так, чтобы можно было оценить величину отклонения ДН от установленных границ сектора.

Измерительные площадки, на которых проводятся измерения, должны удовлетворять следующим условиям:

- площадки измерений должны иметь прямую видимость на антенну излучающего средства;
- вдоль линии распространения радиосигнала, на указанном в таблице 10.1 расстоянии $r_{\text{пк}}$, не должно быть переизлучателей (металлических конструкций и сооружений, линий электропередачи и т.п.) и затеняющих местных предметов, отсутствие которых контролируется визуально;
- площадка должна быть доступной для пешего передвижения или для автотранспорта;
- расстояние между базовой станцией и антенной должно быть не менее $10 \cdot \lambda$ (λ – рабочая длина волны радиоизлучения РЭС) либо D^2/λ (D – размер апертуры измерительной антенны) и не более максимального расстояния, указанного в таблице 7.1. Выделенные диапазоны расстояний от передатчика до места наблюдения (см. табл. 7.1) являются рекомендуемыми при выборе измерительной площадки.

Таблица 7.1

Станд арт	f, ГГц	R, м	2...10	10...25	25...50	50...75	75...100	100...150	150...200
802.16	2,15 - 2,4	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,15/ 0,09	0,35/ 0,18	0,7/ 0,35	1,0/ 0,52	-/ 0,70	-/ 1,04	-/ 1,39
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7
802.11 b/g 802.16	2,4 - 2,4835	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,13/ 0,08	0,31/ 0,16	0,62/ 0,31	0,93/ 0,47	1,25/ 0,62	-/ 0,93	-/ 1,24
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7
802.16	3,4 – 3,849	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,1/ 0,06	0,22/ 0,12	0,44/ 0,22	0,66/ 0,33	0,88/ 0,44	-/ 0,66	-/ 0,88
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7
802.11a	5,15 - 5,35	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,06/ 0,04	0,15/ 0,08	0,29/ 0,15	0,43/ 0,22	0,58/ 0,29	0,87/ 0,43	1,16/ 0,58
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7
802.11a 802.16	5,725 - 5,825	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,06/ 0,03	0,13/ 0,07	0,26/ 0,13	0,39/ 0,20	0,52/ 0,26	0,78/ 0,39	1,04/ 0,52
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7
802.16	5,9 – 6,4	$r_{\text{пх}}$, м	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10	5/10
		D , м	0,05/ 0,03	0,13/ 0,07	0,25/ 0,13	0,38/ 0,19	0,51/ 0,26	0,76/ 0,38	1,01/ 0,51
		$G_{\text{нрм}}$, дБ	10,6/ 6,0	18,0/ 12,3	24,0/ 18,0	27,5/ 21,5	30,0/ 24,0	33,5/ 27,5	36,0/ 30,0
		φ , град	53/90	22,6/43,6	11,5/22,6	7,6/15,2	5,7/11,4	3,8/7,6	2,9/5,7

где $r_{\text{пх}}$ – минимальное расстояние от линии распространения сигнала до препятствия или преизлучателя;

D – размер апертуры измерительной антенны;

$G_{\text{нрм}}$ – коэффициент направленного действия измерительной антенны;

φ – ширина ДН измерительной антенны и в азимутальной и в угломестной плоскостях.

Требования к параметрам измерительных антенн приведены в таблице 7.1 и Приложении А.

Измерительная антенна должна быть ориентирована в пространстве в соответствии с поляризацией измеряемого сигнала и иметь максимальное согласование с передающей антенной.

Уровень сигнала при проверке соответствие огибающей спектра сигнала спектральной маске должен на 50 дБ превышать уровень шумов.

При измерении мощности в канале уровень сигнала должен превышать уровень шумов как минимум на 20 дБ.

Подготовка к выполнению измерений

При подготовке к выполнению измерений необходимо определить исходные данные. Исходные данные и источники исходной информации приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Наименование величины	Источник данных
Назначенная частота	Разрешение на использование частот
Присвоенная полоса радиочастот	Разрешение на использование частот
Координаты и высота подвеса антенны	Разрешение на использование частот
Азимуты излучения антенны	Разрешение на использование частот
Мощность передатчика или значение ЭИИМ	Разрешение на использование частот
Стандарт БПД, в соответствии с которым работает передатчик	Решение ГКРЧ; Разрешение на использование частот; Сведения от оператора, предоставляющего услуги БПД
Спектральная маска	ТУ на радиооборудование, согласованные с ГРЧЦ; Рекомендации ITU
Диаграмма направленности антенны передатчика в азимутальной и угломестной плоскостях	ТУ на антенну, согласованные с ГРЧЦ; Рекомендации ITU
Угол подвеса антенны передатчика	Результаты измерений, выполненные оператором; Проект на базовую станцию
Коэффициент направленного действия измерительной антенны	Паспорт на измерительную антенну
Ширина ДН измерительной антенны передатчика в азимутальной и угломестной плоскостях	Паспорт на измерительную антенну
Затухание в приемном фидерном тракте	Нормативно-техническая документация на элементы фидерного тракта
Ошибки наведения измерительной антенны на антенну передатчика	Паспорт на опорно-поворотное устройство

При подготовке к проведению измерений накануне проводятся следующие работы:

- согласование цели, времени и условий проведения измерений;
- рекогносцировка района проведения измерений;
- выбор площадок измерений;

- организация связи для обеспечения взаимодействия между персоналом;
- подготовка необходимой измерительной аппаратуры.

Примечание. При выборе площадок учитывается характер прилегающей местности (рельеф, растительный покров, застройка и пр.), сведения из предыдущих проверок и сведения от оператора связи.

При измерении ЭИИМ в различных направлениях важно обеспечить передачу одного и того же сигнала по беспроводному каналу, так как это непосредственно влияет на измеряемую мощность сигнала. Поэтому, для получения одного и того же уровня передаваемого сигнала, необходимо исключить работу всех других абонентских устройств с тестируемой РЭС кроме программных тестеров. При измерениях необходимо передавать одну и ту же тестовую последовательность.

Непосредственно перед измерениями на каждой измерительной площадке производятся следующие работы:

- сбор схемы измерения;
- подготовка СИ к измерениям.

Собрать схему измерения, показанную на рис. 8.1.

Примечание: а) Проведение измерений предусматривает использование одного проводного и другого беспроводного активирующих излучения оконечных устройств для обеспечения работы РЭС только на передачу.

б) Измерительный кабель должен присоединяться к разъемам с усилием закручивания не более 0,1 Н·м.

в) Измерительную антенну необходимо ориентировать в пространстве в соответствии с поляризацией измеряемого сигнала и добиться максимального согласования с приемной антенной. Для этого измерительную антенну поворачивают в плоскости поляризации в соответствии с поляризацией радиосигнала и помещают в центре измерительной площадки на высоте 9-11 м, для исключения влияния подстилающей поверхности (при измерениях на крышах зданий или башнях, высота которых более 10 м и нет влияния подстилающей поверхности, высота антенны над измерительной площадкой должна быть 1-2 м). В этих пределах отыскивается высота, при которой мощность сигнала, измеряемая анализатором, принимает наибольшее значение. На этой высоте, плавно поворачивая измерительную антенну в горизонтальной плоскости, вновь последовательно добиваются максимальных показаний анализатора. Процедуры отыскания максимума в вертикальной и горизонтальной плоскостях повторяют до тех пор, пока не отыщется положение, отклонение от которого в любой плоскости приводит только к уменьшению показаний мощности сигнала, измеряемой анализатором.

г) Вспомогательный программный тесте – приемник, используемый для активации базовой станции необходимо располагать так, чтобы они находились вне зоны приема измерительной станции.

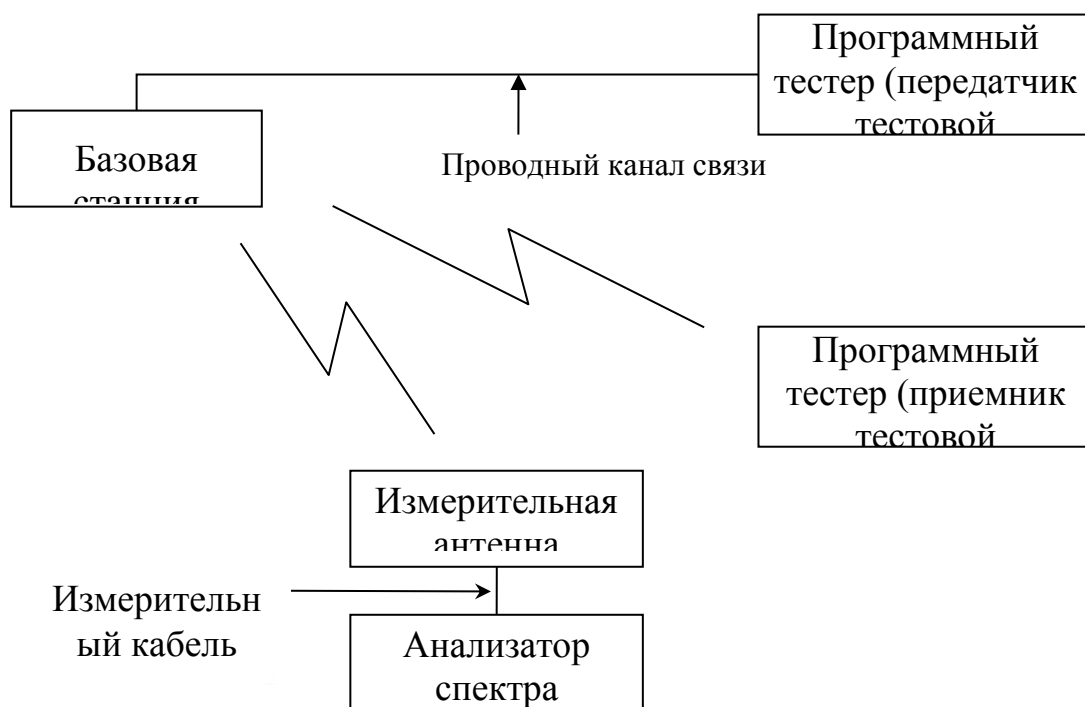


Рис 8.1.

При подготовке СИ их необходимо прогреть в течение времени, указанном в «Руководстве по эксплуатации» и провести настройку СИ. Вспомогательные устройства необходимо подготавливать в соответствии с правилами, указанными в инструкциях по эксплуатации на эти устройства.

Перед началом серии измерений необходимо провести калибровку СИ.

Выполнение измерений

Алгоритм измерения:

1. На месте установки антенны измеряются ее координаты и высота установки.
2. На первой измерительной площадке (в непосредственной близости от антенны передатчика) проверяется соответствие огибающей спектра сигнала спектральной маске и измеряется частота сигнала.
3. На каждой измерительной площадке (кроме первой):
 - измерение мощности сигнала в канале;
 - измерение расстояния от передатчика до точки наблюдения;
 - измерение высоты установки измерительной антенны;
 - измерение угла превышения установки антенны передатчика над точкой измерения;
 - измерение азимута точки измерения.

Примечание. При выполнении измерений для получения достоверных результатов необходимо точно соблюдать условия измерений.

Измерение высоты установки антенны передатчика и измерительной антенны.

Измерение высоты установки антенны передатчика производится лазерным дальномером в соответствии с «Руководством по эксплуатации» на СИ или измерительной рулеткой.

Примечание: измерение высоты установки измерительной антенны производится после ее наведения и настройки.

Измерение координат установки антенны передатчика.

Измерение производится в соответствии с эксплуатационной документацией на приемник сигналов спутниковых радионавигационных систем.

Проверка соответствия огибающей спектра сигнала спектральной маске.

1.1.1 Перед началом измерений необходимо провести подготовку к выполнению измерений.

При измерении установить следующие параметры анализатора спектра:

- центральная частота – соответствует центральной частоте сигнала.
- режим работы – режим накопления максимальных значений;
- используемый детектор – детектор среднеквадратических значений;
- режим развертки – многократный;
- полоса обзора, время развертки, полосы пропускания узкополосного и широкополосного тракта анализатора спектра выбирается в соответствии с таблицей 9.1.

Запустить тестовый сигнал на программном тестере для инициирования передачи данных с базовой станции.

Примечание: Тестовый сигнал должен действовать постоянно в течение всего периода наблюдений. Необходимо, чтобы базовая станция работала с максимально возможной скоростью модуляции, так как измерять ширину занимаемой полосы частот необходимо на интервалах времени, когда излучение занимает наиболее широкую полосу.

Работа с программным тестером описана в Приложении Б.

Таблица 9.1

Стандарт БПД, НШП	Полоса обзора, МГц	Полоса пропускания узкополосного тракта, кГц	Полоса пропускания широкополосного тракта, кГц	Время развертки, мс
802.11a, 22,0 МГц	100	100	1000	300
802.11b/ g, 22,0 МГц	66	100	100	300
802.16-2004, 1,25; 1,75 МГц	5	10	30	3000
802.16-2004, 3,0; 3,5 МГц	10	10	30	3000
802.16-2004, 5,5; 7,0 МГц	20	30	100	1000
802.16-2004, 8,75; 10,0 МГц	30	50	150	600
802.16-2004, 14,0 МГц	50	100	300	300
802.16-2004, 17,5; 20,0 МГц	60	100	300	300
802.16-2004, 28,0 МГц	90	100	300	300

После инициирования передачи тестовой последовательности с одного программного тестера на другой необходимо запустить накопление максимальных значений сигнала.

В результате на экране отобразится полученный путем усреднения энергетический спектр контролируемого излучения.

В процессе усреднения спектра следует контролировать постоянство прохождения тестового сигнала от одного программного тестера к другому, визуально анализировать наличие помех в процессе измерений, степень изменчивости усредняемого спектра контролируемого излучения. Через 1 минуту, когда изображение спектра перестанет изменяться, следует сравнить на полученное изображение с маской спектра сигнала и сделать вывод о соответствии спектра сигнала спектральной маске.

Примечания: Если обнаружено, что в процессе проведения характер анализируемого излучения существенно изменились, или огибающая спектра сигнала и мгновенной частоты показали наличие кратковременных помех, измерения следует повторить.

Сохранить изображение огибающей спектра сигнала в памяти анализатора спектра, если есть такая функциональная возможность, или сразу сравнить ее со спектральной маской.

Примечание. Спектральные маски для различных стандартов приведены в Приложении В.

Повторить процедуру измерения три раза.

Измерение частоты излучения РЭС.

Перед началом измерений необходимо провести подготовку к выполнению измерений.

При измерении установить следующие параметры анализатора спектра:

- центральная частота – соответствует центральной частоте сигнала (Таблица 7.1).
- режим работы – режим накопления максимальных значений;
- используемый детектор – детектор среднеквадратических значений;

- режим развертки – многократный;
- полоса обзора, время развертки, полосы пропускания узкополосного и широкополосного тракта анализатора спектра выбирается в соответствии с таблицей 9.2.

Таблица 9.2

Стандарт БПД, НШП	Полоса обзора (ΔF), МГц	Полоса пропускания узкополосного тракта ($\Delta f_{нч}$), кГц	Полоса пропускания широкополосного тракта, кГц	Время развертки, с
802.11a, 22,0 МГц	66	2,4	7,5	30
802.11b/g, 22,0 МГц	66	2,4	7,5	30
802.16-2004, 1,25; 1,75 МГц	5	$\leq f_c \times 10^{-6}$	$3 \times \Delta f_{нч}$	$\geq 2,5 \times \Delta F / (\Delta f_{нч})^2$
802.16-2004, 3,0; 3,5 МГц	10			
802.16-2004, 5,5; 7,0 МГц	20			
802.16-2004, 8,75; 10,0 МГц	30			
802.16-2004, 14,0 МГц	50			
802.16-2004, 17,5; 20,0 МГц	60			
802.16-2004, 28,0 МГц	90			

где f_c – частота сигнала.

Запустить тестовый сигнал на программном тестере для инициирования передачи данных с базовой станции.

Примечание: Тестовый сигнал должен действовать постоянно в течение всего периода наблюдений. Необходимо, чтобы базовая станция работала с максимально возможной скоростью модуляции, так как измерять ширину занимаемой полосы частот необходимо на интервалах времени, когда излучение занимает наиболее широкую полосу.

Работа с программным тестером описана в Приложении Б.

После инициирования передачи тестовой последовательности с одного программного тестера на другой необходимо запустить накопление максимальных значений сигнала.

В результате на экране отобразится полученный путем усреднения энергетический спектр контролируемого излучения.

В процессе усреднения спектра следует контролировать постоянство прохождения тестового сигнала от одного программного тестера к другому, визуально анализировать наличие помех в процессе измерений, степень изменчивости усредняемого спектра контролируемого излучения. Через 2 минуты, когда изображение спектра перестанет изменяться, следует сохранить изображение огибающей спектра сигнала в памяти анализатора спектра для последующей обработки.

Примечания: Если обнаружено, что в процессе проведения характер анализируемого излучения существенно изменились, или огибающая спектра сигнала и мгновенной частоты показали наличие кратковременных помех, измерения следует повторить.

Повторить процедуру измерения десять раз.

С помощью специального программного обеспечения обработать огибающие спектра сигнала и вычислить десять значений центральной частоты f_i .

Измерение мощности сигнала в канале.

Перед началом измерений необходимо провести подготовку к выполнению измерений.

При измерении установить следующие параметры анализатора спектра:

- центральная частота – соответствует центральной частоте сигнала (Таблица 7.1).
- полоса обзора, время развертки, полосы пропускания узкополосного и широкополосного тракта анализатора спектра выбирается в соответствии с таблицей 9.1;
- используемый детектор – детектор среднеквадратических значений;
- режим измерений – измерение мощности в канале;
- полоса частот канала – в соответствии НШП сигнала;
- режим развертки – многократный.

Запустить тестовый сигнал на программном тестере для инициирования передачи данных с базовой станции.

Примечание: Тестовый сигнал должен действовать постоянно в течение всего периода наблюдений.

Работа с программным тестером описана в Приложении Б.

После инициирования передачи тестовой последовательности с одного программного тестера на другой необходимо запустить многократные измерения мощности в канале.

В результате на экране будет отображаться энергетический спектр контролируемого излучения.

В процессе анализа спектра следует контролировать постоянство прохождения тестового сигнала от одного программного тестера к другому, визуально анализировать наличие помех в процессе измерений, степень изменчивости усредняемого спектра контролируемого излучения. После некоторого количества измерений, если показания мощности сигнала изменяются в пределах ± 1 дБ, следует зафиксировать результат наблюдения P_i .

Переместить измерительную антенну в следующую точку наблюдения на расстояние $0,8\lambda$.

Примечание. Перемещение производит в следующем порядке:

первая точка – исходная;

вторая точка – антенна перемещается на расстояние $0,8\lambda$ от исходной точки в направлении антенны передатчика;

третья точка – антенна перемещается на расстояние $0,8\lambda$ от исходной точки в направлении - от антенны передатчика;

четвертая точка – антенна перемещается на расстояние $1,6\lambda$ от исходной точки в направлении - от антенны передатчика.

Повторить процедуру измерения четыре раза.

Измерение расстояния от антенны передатчика до точки наблюдения.

Лазерный дальномер установить на штатив (треногу) и выровнять в горизонтальной плоскости.

Навести луч лазера на антенну передатчика, и зафиксировать результат R_i измерения расстояния между СИ и антенной передатчика.

Повторить процедуру измерения четыре раза.

Измерение угла превышения установки антенны передатчика над точкой измерения.

Клинометр установить на штатив (треногу) и выровнять в горизонтальной плоскости.

Навести луч лазера или на антенну передатчика, и зафиксировать результат измерения угла превышения установки антенны передатчика над точкой измерения.

Повторить процедуру измерения четыре раза.

Измерение азимута точки измерения

Буссоль установить на штатив (треногу) и выровнять в горизонтальной плоскости.

Навести визир на антенну передатчика, и зафиксировать результат измерения азимута точки наблюдения.

Повторить процедуру измерения четыре раза.

Выявление несанкционированных РЭС

После измерения ЭИИМ, необходимо получить огибающие спектра исследуемого диапазона частот в 8-10 направлениях, при совершении полного оборота измерительной антенны вокруг своей оси на 360° . Если при этом будет зафиксировано появление сосредоточенных помех, не являющихся сигналом от проверяемого РЭС, то они могут являться сигналом незаконной РЭС. При измерениях фиксируется примерное направление источника помех и мощность его сигнала.

При подготовке к измерениям параметра качества услуг программный тестер может обнаруживать все РЭС работающие в том же стандарте, что и абонентская станция программного тестера. Это означает, что если обнаружен сигнал от неизвестной РЭС, работающей в одном стандарте с программным тестером, то эта РЭС может быть несанкционированной или нарушать условия разрешения на использование частот.

Обработка результатов измерений

Обработка результатов измерений координат установки антенны РЭС производится в соответствии с эксплуатационной документацией на приемник сигналов спутниковых радионавигационных систем.

Проверка соответствия огибающей спектра сигнала спектральной маске производится после их получения, если есть возможность сохранять огибающую спектра сигнала в памяти анализатора, или непосредственно в процессе измерений.

При проверке на изображение огибающей спектра сигнала накладывается спектральная маска, причем за нулевой уровень P_0 принимается максимальный огибающей спектра P_{max} с учетом погрешности измерений

$$P_0 \text{ (дБ)} = P_{max} \text{ (дБ)} + 2 \text{ дБ.} \quad (14)$$

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между нулевыми уровнями трех наблюдений превышает 2 дБ, то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

При измерении частоты сигнала за результат измерения принимается среднее значение частоты f_{cp} , вычисляемое по выражению

$$f_{cp} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} f_i \quad (15)$$

В качестве погрешности указывается значение $\delta_f = \pm 3,0 \cdot 10^{-6}$.

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между значениями частоты сигнала десяти наблюдений превышает $3,0 \cdot 10^{-6}$, то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

При измерении мощности сигнала в канале за результат измерения принимается медиана всех наблюдений, вычисляемая в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [20]. Для ее вычисления из полученных результатов наблюдений исключаются минимальное и максимальное значения, а за результат принимается

$$\bar{P}_{прм} = \frac{P_{(2)} + P_{(3)}}{2}. \quad (16)$$

В качестве погрешности указывается значение $\Delta P_{прм} = 2 \text{ дБ}$.

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между наблюдениями P_i превышает 2 дБ, то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

При измерении расстояния от передатчика до точки наблюдения необходимо учитывать условия измерения. Если измерения производились в точке, которая не совпадала

с точкой установки измерительной антенны, то необходимо пересчитать расстояния по формуле (13).

За результат измерения расстояния принимается медиана всех наблюдений, вычисляемая отбрасыванием из полученных результатов наблюдений минимального и максимального значений

$$\bar{R} = \frac{R_{(2)} + R_{(3)}}{2}. \quad (17)$$

В качестве погрешности указывается значение $\Delta R = 0,1$ м.

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между наблюдениями R_i превышает 0,1 м, то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

При измерении угла превышения установки антенны передатчика над точкой измерения необходимо учитывать условия измерения. Если измерения производились в точке, которая не совпадала с точкой установки измерительной антенны, то необходимо пересчитать угол превышения по формуле (12).

За результат измерения угла превышения установки антенны принимается медиана всех наблюдений, вычисляемая отбрасыванием из полученных результатов наблюдений минимального и максимального значений

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_{(2)} + \varepsilon_{(3)}}{2}. \quad (18)$$

В качестве погрешности указывается значение $\Delta \varepsilon = 1^\circ$.

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между наблюдениями ε_i превышает 1° , то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

При измерении азимута точки измерения за результат измерения принимается медиана всех наблюдений, вычисляемая в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 [20]. Для ее вычисления из полученных результатов наблюдений исключаются минимальное и максимальное значения, а за результат принимается

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_{(2)} + \alpha_{(3)}}{2}. \quad (19)$$

В качестве погрешности указывается значение $\Delta \alpha = 1^\circ$.

Примечание. Если установлено, что максимальная вариация между наблюдениями α_i превышает 1° , то результаты измерений являются недостоверными и процедуру измерения необходимо провести еще раз.

Измерение ЭИИМ является косвенным. При расчете результата измерения используются результаты предыдущих измерений и исходные данные. Расчет ЭИИМ производится в соответствии с выражением (11). В качестве погрешности указывается значение $\Delta P_{\text{эиим}} = 6$ дБ.

Анализ и оформление результатов измерений

Если при проверке обнаружено, что одна или несколько из трех огибающих спектра пересекают спектральную маску, то необходимо оперативно выявить их возможные причины. Завышение результата измерения может быть вызвано погрешностями измерений вследствие наличия помех, которые оператор не смог визуальным образом обнаружить по изображению спектра.

Если выявлено, что превышение огибающих спектра сигнала спектральной маски не вызвано погрешностями, то проверяемое РЭС признается не соответствующим требованиям стандартов.

Если ни одна из огибающих спектра сигнала не превышает спектральной маски, то проверяемое РЭС признается соответствующим требованиям стандартов.

С целью выявления характера долговременных изменений ЧТП по сравнению с результатами, полученными при вводе передатчика в эксплуатацию или при проведении инспекционного контроля целесообразно постоянно анализировать результаты измерений ЧТП контролируемых РЭС, полученные в процессе периодического контроля. Такой анализ

проводят путем просмотра и сравнения результатов настоящих измерений с полученными ранее.

Примечание. Рекомендуется контроль проводить в одних и тех же точках измерения, что позволит более объективно сравнивать между собой результаты.

Полученные значения параметров ЧТП следует сравнить с разрешенными значениями. Для этого необходимо сопоставить номинальную ДН антенны передатчика в азимутальной плоскости со значениями ЭИИМ в соответствующих направлениях, с учетом погрешности измерений.

Пример сравнения результатов измерения ЭИИМ с номинальной ДН антенны передатчика приведен в Приложении Г.

Если измеренные значения ЭИИМ в соответствующих направлениях не превосходят разрешенные значения, то следует считать, что существующий ЧТП соответствует условиям использования частот.

Если в процессе такого анализа обнаружено, что измеренные значения ЭИИМ в соответствующих направлениях выходят за установленные границы, то проверяемое РЭС признается не соответствующим условиям использования частот.

По итогам измерений необходимо сформировать отчет, в который нужно включить данные о контролируемом РЭС, об условиях и результатах измерений и выводы относительно исправности РЭС. К отчету прилагается протокол измерений по форме, утвержденной приказом Мининформсвязи России от 28.10.2004 № 25.

Нормативные ссылки и используемая литература

1. ГОСТ 24375-80. Радиосвязь. Термины и определения.
2. ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
3. ГОСТ Р 50016-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и внеполосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля.
4. ГОСТ Р 50657-94. Совместимость технических средств электромагнитная. Устройства радиопередающие всех категорий и назначений народнохозяйственного применения. Требования к допустимым отклонениям частоты. Методы измерений и контроля.
5. Нормы 19-02. Нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные излучения радиопередатчиков гражданского применения.
6. Нормы 17-99. Радиопередатчики всех категорий и назначений. Требования на допустимые отклонения частоты. Методы измерений и контроля.
7. IEEE Std 802.11 (ISO/IEC 8802-11: 1999): IEEE Standards for Information Technology -- Telecommunications and Information Exchange between Systems -- Local and Metropolitan Area Network -- Specific Requirements -- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY).
8. IEEE Std 802.11a-1999 (Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11-1999): High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band.
9. IEEE Std 802.11b-1999 (Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition): Higher-Speed Physical layer Extension in the 2.4 GHz Band PDF-ISBN: 0-7381-1812-5.
10. IEEE Std 802.11g-2003 (Amendment to IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003)): Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band PDF-ISBN: 0-7381-3701-4.
11. IEEE Std 802.16-2001, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks -- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", Apr. 8, 2002.
12. IEEE Std 802.16a/D3-2001: "Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks -- Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems --

Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2 – 11 GHz”. Mar. 25, 2002.

13. Регламент радиосвязи. - М.: Радио и связь, том 1, 1990.
14. Справочник по радиоконтролю. Издание МСЭ - Р. 2002 г.
15. Рек. МСЭ SM. 328-9.Спектры и ширина полосы излучений.
16. ГОСТ Р 8.563-96. ГСИ. Методики выполнения измерений.
17. ОСТ 45.150-99. Методики выполнения измерений порядок разработки и аттестации.
18. ГОСТ 12.3.019-80. Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности.
19. САНПиН 2.2.4/2.1.8.055 – 96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона. Санитарные правила и нормы.
20. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.
21. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. М. Эко-Трендз, 2005. – 384 с.: ил.
22. Измерение параметров излучений РЭС на радиоконтрольных постах. Материалы семинара повышения квалификации сотрудников региональных управлений ГСН России. 27.11 - 01.12.00. - Санкт-Петербург: Проблемная лаборатория по РК и ЭМС. 2000г.
23. Анализатор спектра R&S FSP-30. Руководство по эксплуатации. Rohde&Schwarz GmbH&Co, 2004 г.

Приложение А

Требования к средствам измерений и вспомогательным средствам

Требования к анализатору спектра:

- Диапазон частот анализатора спектра должен быть в пределах от 1,0 до 7,0 ГГц.

Примечание: Допускается производить измерения по участкам диапазона анализаторами спектра различных типов.

- Полоса обзора анализатора спектра должна обеспечивать измерение огибающей спектра сигнала в полосе частот, соответствующей минимальному контрольному уровню.

Примечание. При отсутствии анализатора спектра с требуемой полосой обзора допускается измерение огибающей контролируемого спектра по участкам.

- Полоса пропускания анализатора спектра на уровне минус 3 дБ должна быть не менее 300 кГц.
- Динамический диапазон анализатора спектра должен обеспечивать измерение максимального контрольного уровня.
- Неравномерность амплитудно-частотной характеристики анализатора спектра в установленной полосе частот не должна превышать 3 дБ.
- Предел допускаемой погрешности измерения уровня не более $\pm 2,0$ дБ.

Требования к измерительной антенне (см. также табл. 10.1):

- Диапазон частот измерительной антенны должен быть в пределах от 1,0 до 7,0 ГГц.
- Измерительная антенна должна иметь линейную поляризацию.
- КСВН, не более 2,5.
- Измерительная антенна должна быть аттестована либо по эффективной площади, либо по коэффициенту усиления с погрешностью не более 30%.

Измерительная антенна должна устанавливаться на треноге с угломестно-азимутальным лимбом. Требования к треноге:

- Погрешность наведения по азимуту – не более 3°.
- Погрешность наведения по углу места – не более 3°.
- Погрешность наведения в плоскости поляризации – не более 3°.

Требования к лазерному дальномеру:

- Диапазон измерения расстояний 2 – 150 м.
- Предел допускаемой погрешности измерения расстояния не более 0,1 м.

Требования к геодезическому спутниковому приемнику

- Предел допускаемой погрешности определения координат не более 30,0 м

Требования к клинометру:

- Диапазон измерения вертикальных углов 0-90°.
- Предел допускаемой погрешности измерения вертикальных углов не более 1°.

Требования к буссоли

- Диапазон измерения азимутов 0-360°.
- Предел допускаемой погрешности измерения азимута не более 1°.

Требования к измерительной рулетке:

- Диапазон измерения длин 0,01 - 20,0 м.
- Предел допускаемой погрешности измерения расстояния не более 0,01 м.

Требования к измерительному кабелю

- Измерительный кабель предназначен для соединения измерительной антенны и анализатора спектра.
- Длина кабеля для соединения анализатора спектра с антенной не более 2 м.
- Затухание в кабеле не более 2 дБ.
- Затухание кабеля должно быть откалибровано в диапазоне частот от 1,0 до 7,0 ГГц с погрешностью не более 0,1 дБ.

Рекомендуемые средства измерений и вспомогательные средства

Таблица А.1

Тип СИ	Характеристики СИ
Анализаторы спектра	
Rohde&Schwarz FSP – 7, 13, 30	Полоса частот 20,0 Гц – 7,0/ 13,0/ 30,0 ГГц Полоса пропускания по НЧ до 10,0 МГц Динамический диапазон от 30,0 до -130,0 дБм Предел допускаемой погрешности измерения уровня не более $\pm 0,5$ дБ
Rohde&Schwarz FSQ – 8, 26, 40	Полоса частот 20 Гц – 8,0/ 26,0/ 40,0 ГГц Полоса пропускания по НЧ до 50,0 МГц Динамический диапазон от 30,0 до -130,0 дБм Предел допускаемой погрешности измерения уровня не более $\pm 0,5$ дБ
Agilent Technology 89650S	Полоса частот 3,0 Гц – 26,5 ГГц Полоса пропускания по НЧ до 80,0 МГц Динамический диапазон от 30,0 до -120,0 дБм Предел допускаемой погрешности измерения уровня не более $\pm 0,25$ дБ
Измерительные антенны	
П6-59	Диапазон частот от 1,0 до 18,0 ГГц. Пределы допускаемой относительной погрешности эффективной поверхности и коэффициента калибровки антенны не более $\pm 1,5$ дБ КСВН не более 2,0 Поляризация линейная
Лазерные дальномеры	
Leica DISTO Classic 5a	Диапазон измерения расстояний 1,0 – 150,0 м. Предел допускаемой погрешности измерения расстояния не более 0,05 м.
Светодальномер 2СТ10 "Блеск 2"	Диапазон измерения расстояний 2,0 – 10000,0 м. Погрешность измерения расстояний $J(5 \pm 3 \cdot 10^{-6} D)$ мм.
Геодезические спутниковые приемники	
Compact Flash GPS приёмник GlobalSat BC-337	Предел допускаемой погрешности не более ± 100 м.
Клинометры	
Laser Technology Inc Impulse 200/200LR	Диапазон измерения вертикальных углов 0 – 180°. Предел допускаемой погрешности измерения угла не более

	$\pm 0.1^\circ$.
Буссоли	
БВЛ	<p>Диапазон измерения азимутов 0-360°.</p> <p>Допустимое среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерения магнитного азимута, не более 15'</p> <p>Систематическая составляющая погрешности изменения магнитного азимута, не более 15'</p>
БГ-1	<p>Диапазон измерения азимутов 0-360°.</p> <p>Погрешность измерения магнитных азимутов 30'</p>
Программные тестеры	
AirMagnet Handheld 3.0	Анализатор беспроводных сетей Wi-Fi
AirMagnet Laptop Trio	Анализатор беспроводных сетей Wi-Fi
Berkeley Varitronics Systems Yellowjacket Indoor 802.11	Анализатор беспроводных сетей Wi-Fi
Berkeley Varitronics Systems Bumble Bee	Анализатор беспроводных сетей Wi-Fi

Основные характеристики программного тестера

Программный тестер представляет собой переносной компьютер (ноутбук), в состав которого включен адаптер, позволяющий работать в сетях БПД соответствующего стандарта. Кроме этого в состав программного тестера должно входить необходимое общее (системное) и специальное (прикладное) программное обеспечение.

Общее программное обеспечение - наиболее универсальная часть программного обеспечения, общая для различных компьютеров. Программы, входящие в ее состав, обеспечивают управление всеми аппаратными и программными ресурсами. Под общим программным обеспечением понимают операционную систему.

Прикладное программное обеспечение реализует конкретные алгоритмы передачи тестовой последовательности и обработки получаемой информации. Под прикладным программным обеспечением понимается тестовая программа, предназначенная для передачи тестовой последовательности.

В качестве тестовой программы может служить любая программа, имеющая возможность передачи информации по Internet/Ethernet сетям. Примеры программ:

- файловые менеджеры с возможностью работы в LAN (Explorer, Windows Commander и т.п.);
- программы передачи/получения электронной почты (MS Outlook, Outlook Express, The Bat и т.п.);
- программы просмотра гипертекстовых документов (MS Internet Explorer, Opera, Mozilla и т.п.).

Особенности применения программных тестеров при измерениях.

1. В качестве передатчика/приемника тестовой последовательности может выступать любой программный тестер.

2. При проверке соответствия огибающей спектра сигнала спектральной маске необходимо обеспечить максимальную скорость передачи информации. Максимальная скорость передачи данных достигается при обеспечении хорошего канала связи и небольшого расстояния между базовой станцией и абонентским устройством. Поэтому для достижения максимальной скорости передачи данных необходимо обеспечить минимальное расстояние от базовой станции до программного тестера – приемника тестовой последовательности, а также минимальный уровень помех в канале.

Максимальную скорость передачи информации можно установить директивно, настроив соответствующим образом базовую станцию.

3. При выявлении несанкционированных РЭС важной особенностью прикладного программного обеспечения является возможность определять MAC-адрес устройств. Эта возможность позволяет отличать разрешенные РЭС от несанкционированных РЭС.

Спектральные маски стандартов БПД

Требования стандартов к допустимым значениям внеполосных излучений задаются в виде спектральных масок в табличной форме или рисунков в координатах (уровень – частота).

В верхней части таблицы В.1 указана спектральная маска (рис. В.1) для РЭС, работающих в стандартах 802.11 a/g, где используются виды модуляции OFDM.

В нижней части таблицы В.1 указана спектральная маска (рис. В.1) для РЭС, работающих в стандартах 802.11 b/g, где используется модуляция DSSS, BPSK и QPSK.

Таблица В.1.

802.11a/g (Вид модуляции - OFDM)				
Частота, МГц	-30	-20	-11	-9
Уровень, дБ	-40	-28	-20	0
802.11b/g (Виды модуляции - DSSS, BPSK и QPSK)				
Частота, МГц	-22	-22	-11	-11
Уровень, дБ	-50	-30	-30	0

Примечания: 1. В таблице приведены значения частот относительно центральной частоты.

2. Для построения спектральной маски необходимо последовательно соединить точки между собой.

3. В таблице приведены координаты точек, находящихся слева от центральной частоты. Точки, находящиеся справа от центральной частоты, располагаются симметрично.

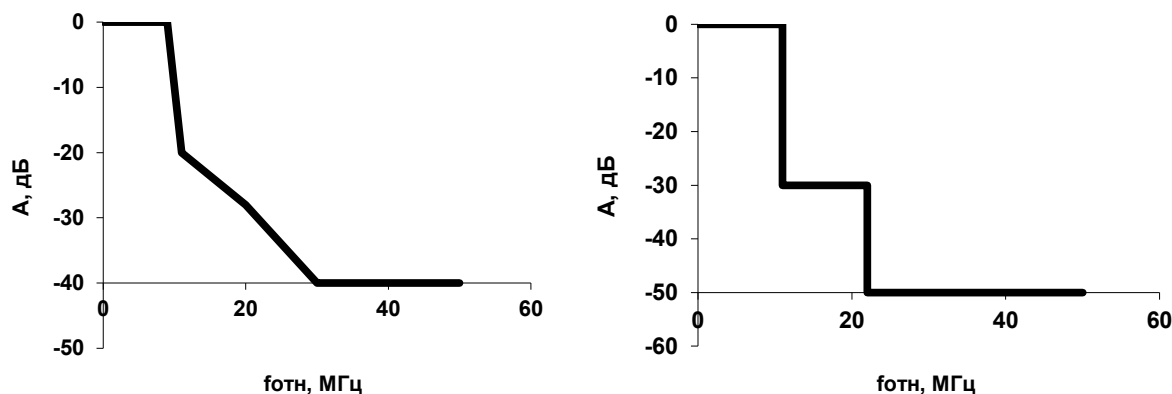


Рис. В.1

На рисунках В.2 а)-в) приведен внешний вид и указаны точки по которым строится спектральная маска. Для того, чтобы воспользоваться рисунками необходимо знать вид модуляции и НШП. Таблица В.2 содержит информацию о частотных координатах точек, по которым строится спектральная маска, а таблица В.3 содержит информацию об уровне точек.

Таблица В.2

Вид модуляции QPSK							
НШП, МГц	Минимальная скорость передачи информации, Мбит/с	А, МГц	В, МГц	С, МГц	Д, МГц	Е, МГц	Ф, МГц
1,75	2	0,875	0,875	1,25	1,85	3,5	4,375
2	2	1,0	1,0	1,42	2,11	4	5
3,5	4	1,75	1,75	2,5	3,7	7,0	8,75
7	8	3,5	3,5	5,0	7,4	14	17,5
14	16	7,0	7,0	10	14,8	28	35
28/30	32	14	14	20	29,6	56	70
Вид модуляции 16 QAM							
НШП, МГц	Минимальная скорость передачи информации, Мбит/с	А, МГц	В, МГц	С, МГц	Д, МГц	Е, МГц	Ф, МГц
1,75	4	0,875	0,875	1,25	1,85	3,5	4,375
2	4	1,0	1,0	1,42	2,11	4	5
3,5	8	1,75	1,75	2,5	3,7	7,0	8,75
7	16	3,5	3,5	5	7,4	14	17,5
14	32	7,0	7,0	10	14,8	28	35
28/30	64	14,0	14,0	20	29,6	56	70
Вид модуляции 64 QAM							
НШП, МГц	Минимальная скорость передачи информации, Мбит/с	А, МГц	В, МГц	С, МГц	Д, МГц	Е, МГц	Ф, МГц
1,75	6	0,875	0,875	1,25	1,85	3,5	4,375
2	6	1,0	1,0	1,42	2,11	4	5
3,5	12	1,75	1,75	2,5	3,7	7,0	8,75
7	24	3,5	3,5	5	7,4	14	17,5
14	48	7,0	7,0	10	14,8	28	35
28/30	96	14,0	14,0	20	29,6	56	70

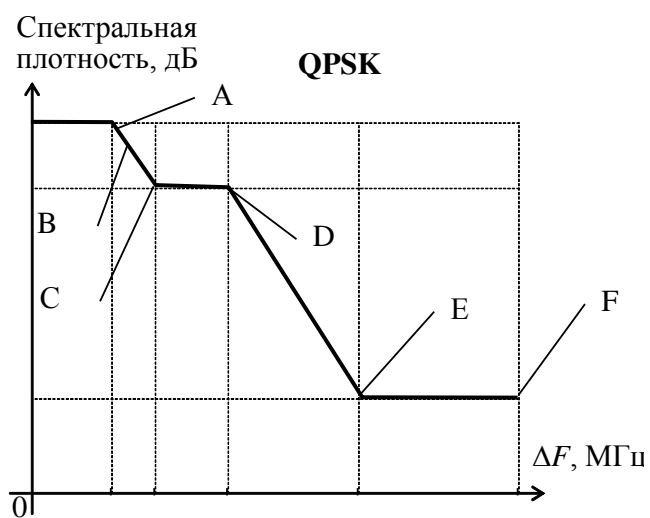
Примечания: 1. В таблице приведены значения частот относительно центральной частоты.

Таблица В.3

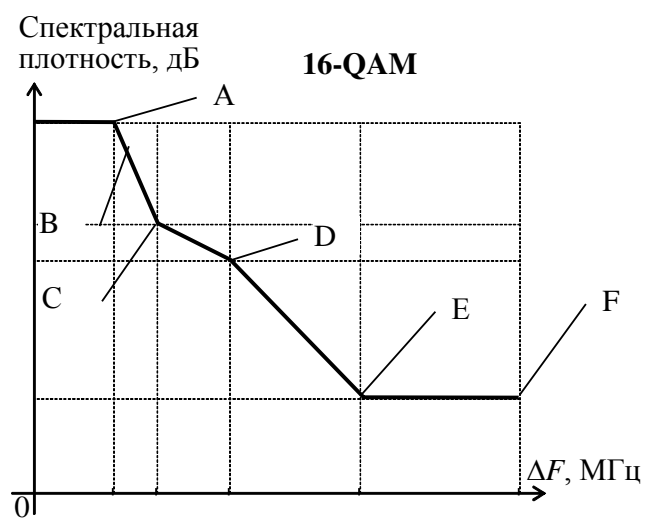
	точка А, дБ	точка В, дБ	точка С, дБ	точка Д, дБ	точка Е, дБ	точка Ф, дБ
Вид модуляции QPSK	0	-10	-25	-27	-50	-50
Вид модуляции 16-QAM	0	-10	-27	-32	-50	-50
Вид модуляции 64-QAM	0	-10	-32	-38	-50	-50

Примечания: 1. Для построения спектральной маски необходимо последовательно соединить точки между собой.

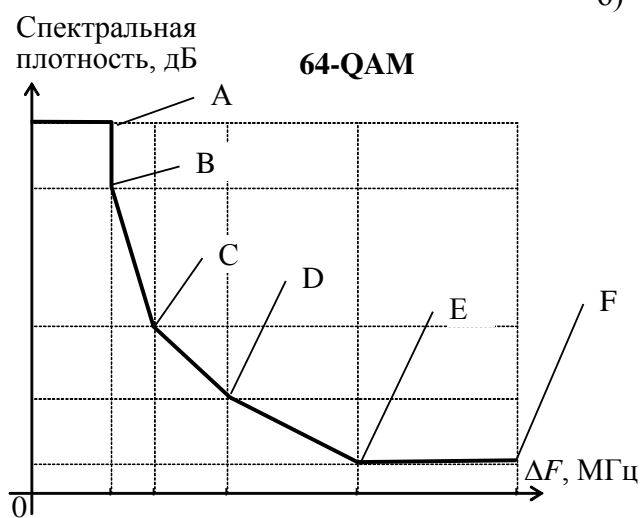
2. В таблице приведены координаты точек, находящихся справа от центральной частоты. Точки, находящиеся слева от центральной частоты, располагаются симметрично.



а)



б)



в)
Рис. В.2.

Приложение Г

Пример построения номинальной ДН антенны передатчика с учетом погрешностей измерения

ДН антенны передатчика задается в табличном или графическом виде в координатах азимут-ЭИИМ. Если ДН задана в табличном виде, то к каждому значению ЭИИМ необходимо прибавить 6 дБ для учета погрешности измерений ЭИИМ и абсолютную величину каждого азимута (кроме нулевого) увеличить на 1° для учета погрешности измерения азимута (см. табл. Г.1).

Если ДН задана в графическом виде, то на графике к каждому значению ЭИИМ необходимо прибавить 6 дБ для учета погрешности измерений ЭИИМ (см. рис. Г.1).

Таблица Г.1.

Азимут, градусы	0	30	50	55	60	63	90
ЭИИМ, дБ	0	-3	-10	-15	-20	-25	-25
Азимут', градусы	0	31	51	56	61	64	91
ЭИИМ', дБ	6	3	-4	-9	-14	-19	-19

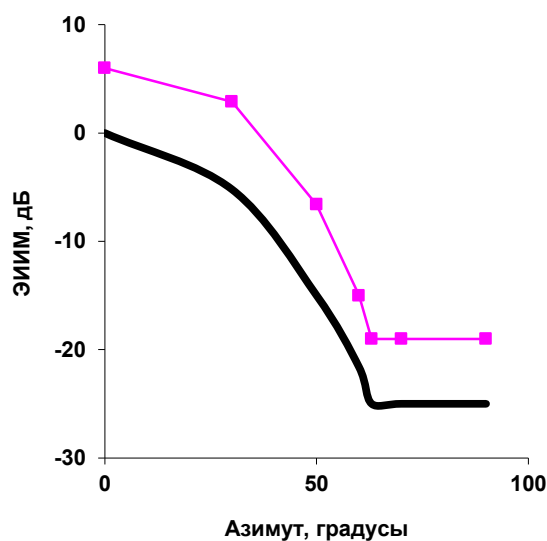


Рис. Г.1.