



Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде
по обеспечению единства измерений _____

СОГЛАСОВАНО

Начальник

ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России

_____ Т.Ф. Мамлеев

« 23 » _____ 2021 г.



Государственная система обеспечения единства измерений
Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный

ВМФТ.411734.003

Методика поверки

ВМФТ.411734.003 МИП

2021 г.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ВМФТ.411734.003 (далее – комплекс) и устанавливает методы и средства его первичной и периодической поверок.

1.2 По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, невозможна сокращенная поверка по отдельным характеристикам комплекса.

1.3 Поверяемый комплекс должен иметь прослеживаемость к государственным первичным эталонам в соответствии с государственной поверочной схемой ГОСТ Р 8.851-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц.

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки должны выполняться операции, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта методики поверки	Проведение операции при	
		первичной поверке	периодической поверке
1 Внешний осмотр	7.1	Да	Да
2 Опробование	8.2	Да	Да
3 Проверка программного обеспечения	9	Да	Да
4 Проверка неравномерности амплитудного и фазового распределений, относительного уровня кроссполаризационной составляющей электромагнитного поля в рабочей зоне, максимальных размеров рабочей зоны, нестабильности амплитудного распределения в пределах рабочей зоны	10.1	Да	Да
5 Проверка инструментальной погрешности измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности	10.2	Да	Да
6 Проверка погрешности измерений коэффициента усиления	10.3	Да	Да
7 Проверка погрешности измерений амплитудной и фазовой диаграммы направленности	10.4	Да	Да
8 Проверка диапазона рабочих частот, динамического диапазона измерений относительных уровней диаграмм направленности	10.5	Да	Да
9 Проверка диапазона установки угла поворота ОПУ	10.6	Да	Да
10 Проверка абсолютной погрешности установки угла азимута и угла места	10.7	Да	Да
11 Проверка диапазона перемещения слайдера, абсолютной погрешности установки положения слайдера	10.8	Да	Да

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

- 3.1 При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:
- температура окружающего воздуха, °С от +20 до +25;
 - относительная влажность воздуха при температуре +20 °С, % до 70;
 - атмосферное давление, кПа от 86,0 до 106,0;
 - напряжение питающей сети, В 220 ± 22 ;
 - частота питающей сети, Гц 50 ± 1 .

Примечание - При проведении поверочных работ условия окружающей среды средств поверки (рабочих эталонов) должны соответствовать регламентируемым в их инструкциях по эксплуатации требованиям.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 К проведению поверки могут быть допущены лица, имеющие высшее или среднее техническое образование и практический опыт в области радиотехнических измерений, и аттестованные на право проведения поверки.

4.2 Поверитель должен изучить эксплуатационные документы на поверяемый комплекс и используемые средства поверки.

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки должны применяться средства поверки, указанные в таблице 2.

5.2 Все средства поверки должны быть исправны и иметь действующие документы о поверке (знак поверки).

5.3 Допускается применение других средств поверки, удовлетворяющих требованиям настоящей методики поверки и обеспечивающих требуемую точность передачи единиц величин поверяемому комплексу.

Таблица 2

Номер пункта методики поверки	Наименование рабочих эталонов или вспомогательных средств поверки. Номер документа, регламентирующего технические требования к рабочим эталонам или вспомогательным средствам. Разряд по государственной поверочной схеме и (или) метрологические и основные технические характеристики
10.1, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8	Система лазерная координатно-измерительная API Tracker3 (диапазон измерений расстояний от 0,001 до 40 м, предел допускаемой средней квадратической погрешности измерений расстояний $(10 + L)$, мкм, где L – измеряемое расстояние, м)
10.2, 10.5	Аттенюатор ступенчатый программируемый Agilent 84908M (диапазон частот от 0 до 50 ГГц, диапазон вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ)
10.2, 10.5	Анализатор цепей векторный N5224A (диапазон рабочих частот от 0,01 до 43,5 ГГц, пределы допускаемых значений абсолютной погрешности измерений коэффициента передачи (амплитуда и фаза) на частоте 2 ГГц от минус 59,99 до плюс 10 дБ $\pm 0,07$ дБ, $\pm 0,5$ градус)

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При выполнении операций поверки должны быть соблюдены все требования техники безопасности, регламентированные ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ 12.3.019-80, действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», а также всеми действующими местными инструкциями по технике безопасности.

6.2 К выполнению операций поверки и обработке результатов наблюдений могут быть допущены только лица, аттестованные в качестве поверителя в установленном порядке.

6.3 Поверяемый комплекс, а также используемые средства измерений должны быть надежно заземлены. Коммутации и сборки схем для проведения измерений должны проводиться только при выключенном сигнале векторного анализатора цепей.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Внешний осмотр

7.1.1 Внешний вид и комплектность проверить на соответствие данным, приведенным в руководстве по эксплуатации и в паспорте на комплекс.

При проведении внешнего осмотра проверить:

- соответствие комплектности эксплуатационной документации, наличие маркировок с указанием типа и заводского номера;
- чистоту и исправность разъёмов;
- отсутствие механических и электрических повреждений, влияющих на работу комплекса.

7.1.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными при отсутствии видимых дефектов. В противном случае, комплекс дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется для проведения ремонта.

8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

8.1.1 На поверку представляют комплекс, полностью укомплектованный в соответствии с паспортом на него.

8.1.2 Во время подготовки к поверке поверитель знакомится с нормативной документацией на комплекс и подготавливает все материалы и средства измерений, необходимые для проведения поверки.

8.1.3 Контроль условий проведения поверки по пункту 3.1 провести перед началом поверки, а затем периодически, но не реже одного раза в час.

8.2 ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с руководством по эксплуатации. Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программы «RL-BEAM-DA».

Проверить работоспособность всех приводов позиционера антенного ВМФТ.411722.001:

- при перемещении по оси Ox ;
- при перемещении по азимуту;
- при перемещении по углу места;
- при вращении по поляризации.

8.2.2 Соединить при помощи адаптера соединитель кабеля «вход облучателя» и соединитель кабеля «выход испытываемой антенны». Подготовить к работе векторный анализатор электрических цепей (далее – анализатор) из состава комплекса, перевести его в режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи. Установить следующие настройки анализатора:

- полоса анализа от 0,75 до 40,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного сигнала 0 дБмВт.

На экране анализатора наблюдать результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи. При этом должны отсутствовать резкие изменения полученной характеристики, свидетельствующие о неудовлетворительном состоянии радиочастотного тракта комплекса.

8.2.3 В соответствии с РЭ установить эталонную антенну в рабочую зону сканера. Настроить комплекс и провести измерения амплитудной диаграммы направленности (далее – АДН) эталонной антенны на частоте 10,0 ГГц.

8.2.3 Результаты поверки считать положительными, если комплекс обеспечивает перемещение антенны по оси Ox , вращение по азимуту, углу места, поляризации, на экране анализатора наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений, комплекс обеспечивает измерения АДН, а также отсутствует срабатывание программной или аппаратной сигнализации о неисправностях комплекса. В противном случае комплекс дальнейшей поверке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

9 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ.

9.1. Проверку целостности метрологически значимой части ПО комплекса следует выполнять посредством сравнения идентификационных данных ПО, указанных в описании типа комплекса, с их реальными значениями.

9.2. Для получения идентификационных данных необходимо выбрать файл «*RL-BEAM-DA.exe*», нажав на нем правой кнопкой мышки и в открывшемся контекстном меню выбрать «свойства», перейти во вкладку «подробно».

9.3. В открывшемся окне напротив строки «Версия файла» зафиксировать номер версии файла.

9.4. Выбрать файл *RL-BEAM-DA.exe*, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт «Свойства». Открыть вкладку «Хеш-суммы файлов». Наблюдать контрольную сумму файла *RL-BEAM-DA.exe* по алгоритму MD5.

9.5. Результат проверки считать положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют идентификационным данным, записанным в описании типа на комплекс.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

10.1 Проверка неравномерности амплитудного и фазового распределений, относительного уровня кроссполяризованной составляющей электромагнитного поля в рабочей зоне, максимальных размеров рабочей зоны, нестабильности амплитудного распределения в пределах рабочей зоны

10.1.1 Установить сканер электромагнитного поля (ЭМП) в центре рабочей зоны комплекса на опорно-поворотное устройство (ОПУ) в горизонтальное положение.

10.1.2 На подвижную каретку сканера установить уголкового отражателя (УО) из состава системы лазерной координатно-измерительной API Tracker3, измерительный блок установить внутри безэховой камеры со стороны зеркала радиоколлиматора.

10.1.3 Записать траекторию движения УО при перемещении каретки сканера для горизонтального и вертикального пространственных положений сканера. При помощи программного обеспечения системы лазерной координатно-измерительной API Tracker3 рассчитать отклонение траектории УО вдоль направления распространения рассеянного зеркалом коллиматора ЭМП относительно линейного тренда траектории УО от координат каретки $\Delta l(x_i)$ (где $\Delta l(x_i) < 0$ при смещении каретки в направлении зеркала коллиматора (рисунок 1).

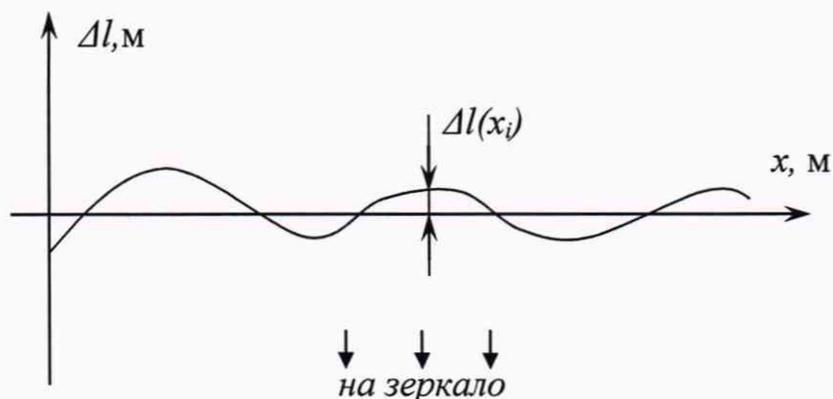


Рисунок 1 – К расчету отклонения траектории каретки сканера (УО)

10.1.4 Установить облучатель зеркала радиоколлиматора на вертикальную поляризацию. Взамен уголкового отражателя установить на каретку сканера антенну-зонд на вертикальной поляризации.

Перемещая каретку сканера с антенной-зондом вдоль рабочей зоны и одновременно измеряя амплитуды $A(x_i)$ и фазы $\Phi'(x_i)$ коэффициента передачи, получить пространственное распределение амплитуды и фазы электромагнитного поля на согласованной поляризации.

Шаг между отсчётами поля установить не более $\lambda/2$ для максимальной частоты в диапазоне рабочих частот облучателя, а диапазон перемещения каретки сканера должен соответствовать $\pm 0,8$ м относительно центра рабочей зоны.

10.1.5 Повернуть антенну-зонд на 90° относительно оси поляризации.

Перемещая каретку сканера с антенной-зондом вдоль рабочей зоны и одновременно измеряя амплитуды $A_k(x_i)$ коэффициента передачи, получить пространственное распределение амплитуды кроссполяризации.

10.1.6 Обработку результатов измерений провести с использованием программ MSExcel, MatLab или Mathcad.

Исключить из измеренного фазового распределения линейное отклонение, обусловленное неперпендикулярностью установки направляющей рельсы сканера направлению распространения ЭМП.

Аппроксимировать измеренную зависимость фазы $\Phi'(x_i)$ линейной функцией $\Phi_{лин}(x_i)$ методом наименьших квадратов (рисунок 2).

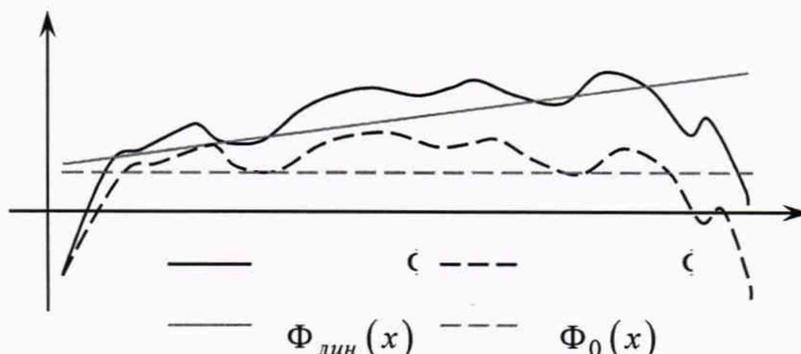


Рисунок 2 - К расчету фазового распределения

10.1.7 Рассчитать фазовое распределение ЭМП по формуле (1):

$$\Phi(x_i) = \Phi'(x_i) - \Phi_{лин}(x_i) - \frac{360}{\lambda} \Delta l(x_i), \quad (1)$$

где λ – длина волны ЭМП, м;

$\Phi'(x_i), \Phi_{лин}(x_i), \Phi(x_i)$ - относительные фазы, $^\circ$.

Аппроксимировать зависимость $\Phi(x_i)$ линейной функцией $\Phi_0(x_i)$ методом наименьших квадратов (рисунок 2). Значения функции $\Phi_0(x_i)$ в пределах рабочей зоны должны находиться в пределах $\pm 0,1^\circ$. В противном случае вышеизложенная процедура исключения линейного отклонения повторяется.

10.1.8 Установить сканер ЭМП в вертикальное положение.

Повторить измерения пп. 10.1.2-10.1.7, перемещая каретку сканера с антенной-зондом по координате y_i , провести вычисления зависимостей $A(y_i)$, $A_k(y_i)$ и $\Phi(y_i)$.

10.1.9 Определить максимальную неравномерность пространственной зависимости амплитуды ΔA и фазы $\Delta\Phi$ на согласованной поляризации в пределах рабочей зоны с размером $\emptyset 1,5$ м по следующим формулам:

$$\Delta A_1 = \max \left[\max_i \{A(x_i)\} - \min_i \{A(x_i)\}; \max_i \{A(y_i)\} - \min_i \{A(y_i)\} \right]$$

$$\Delta\Phi_1 = \max \left[\max_i \{\Phi(x_i)\} - \min_i \{\Phi(x_i)\}; \max_i \{\Phi(y_i)\} - \min_i \{\Phi(y_i)\} \right] \quad (2)$$

при $x_i, y_i \in \pm 1,2$ м

где $A(x_i), A(y_i)$ – амплитуда ЭМП, дБ.

10.1.10 Определить относительный уровень кроссполяризации в центре рабочей зоны с размером $\emptyset 1,5$ м по формулам:

$$K_1 = \max \left[\max_i \{A(x_i) - A_k(x_i)\}; \max_i \{A(y_i) - A_k(y_i)\} \right] \quad (3)$$

при $x_i, y_i \in \pm 1,2$ м

где $A(x_i), A(y_i), A_k(x_i), A_k(y_i)$ – амплитуда ЭМП, дБ.

10.1.11 Установить облучатель зеркала радиоколлиматора на вертикальную поляризацию. Разместить антенну-зонд в произвольную точку рабочей зоны комплекса, поляризация вертикальная. В течение 10 минут произвести измерения амплитуды $A(x_i)$ коэффициента передачи. Рассчитать нестабильность амплитудного распределения в пределах рабочей зоны как разницу между наибольшим и наименьшим значением амплитуда коэффициента передачи.

10.1.12 Провести измерения пп. 10.1.1-10.1.11 для всего рабочего диапазона путём поочерёдных измерений в диапазонах частот каждого облучателя коллиматора. Количество частот в пределах рабочего диапазона частот облучателя выбрать не менее двух.

10.1.13 Результаты поверки считать положительными, если неравномерность амплитудного и фазового распределений, относительный уровень кроссполяризации составляющей электромагнитного поля в рабочей зоне $\emptyset 1,5$ м в рабочем диапазоне частот не превышают значений, приведённых в таблице 3.

Таблица 3

Наименование характеристики	Значение характеристики
Максимальный размер рабочей зоны, м	$\emptyset 1,5$
Неравномерность амплитудного распределения в пределах рабочей зоны 1), 2), дБ, не более:	
- в диапазоне частот от 0,75 до 1,0 ГГц включ.;	3,2
- в диапазоне частот свыше 1,0 до 2,0 ГГц включ.;	2,5
- в диапазоне частот свыше 2,0 до 3,0 ГГц включ.;	2,0
- в диапазоне частот свыше 3,0 до 4,0 ГГц включ.;	1,5
- в диапазоне частот свыше 4,0 до 18,0 ГГц включ.;	1,2

- в диапазоне частот свыше 18,0 до 40,0 ГГц включ.	1,0
Неравномерность фазового распределения в пределах рабочей зоны1), 2), °, не более:	
- в диапазоне частот от 0,75 до 1,1 ГГц включ.;	25
- в диапазоне частот свыше 1,1 до 2,0 ГГц включ.;	15
- в диапазоне частот свыше 2,0 до 4,0 ГГц включ.;	12
- в диапазоне частот свыше 4,0 до 18,0 ГГц включ.;	10
- в диапазоне частот свыше 18,0 до 40,0 ГГц включ.	8
Относительный уровень кроссполяризационной составляющей в пределах рабочей зоны1), 2), дБ, не более:	
- в диапазоне частот от 0,75 до 2,0 ГГц включ.;	-18
- в диапазоне частот свыше 2,0 ГГц до 40,0 ГГц включ.	-29
Нестабильность амплитудного распределения в пределах рабочей зоны, дБ, не более:	
- в диапазоне частот от 0,75 до 10,0 ГГц включ.;	0,5
- в диапазоне частот свыше 10,0 до 40,0 ГГц включ.	0,35
1)– без учёта 5 % отсчётов, имеющих максимальное отклонение;	
2) – при измерениях амплитудного и фазового распределений антенной с коэффициентом усиления не более 15 дБ в диапазоне частот до 18 ГГц и не более 20 дБ в диапазоне частот свыше 18 ГГц;	

10.2 Проверка инструментальной погрешности измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности

10.2.1 Подготовить комплекс для измерения диаграммы направленности в соответствии с РЭ.

10.2.2 Установить на ОПУ тестовую антенну, диапазон частот антенн выбрать в соответствии с диапазоном частот используемого облучателя согласно таблице 4.

Сориентировать тестовую антенну для работы на согласованной поляризации электромагнитного поля, электрическую ось антенны установить в направлении зеркала радиоколлиматора по максимуму принимаемого сигнала.

Измерения провести в произвольной очередности для всех частотных диапазонов.

Таблица 4 – Типы используемых антенн

Номер измерений	Тип антенны	Диапазон частот, ГГц
1	П6-48	от 0,75 до 1,0 включ.
2	П6-123	от 1,0 до 1,1 включ.
3		от 1,1 до 1,7 включ.
4		от 1,7 до 2,6 включ.
5		от 2,6 до 3,95 включ.
6		от 3,95 до 5,8 включ.
7		от 5,8 до 8,2 включ.
8	П6-140	от 8,2 до 12,4 включ.
9		от 12,4 до 18,0 включ.
10		от 18,0 до 26,5 включ.
11		от 26,5 до 40,0 включ.

10.2.3 Подключить в СВЧ тракт комплекса программируемый аттенюатор 84908М.

10.2.4 Путём регулировки мощности источника сигнала, ширины полосы фильтра промежуточной частоты и количества усреднений приёмника сигнала добиться соотношения сигнал/шум не менее 70 дБ.

Измерения провести не менее чем в трёх точках частотного диапазона каждого облучателя коллиматора.

10.2.5 Зафиксировать амплитуду $S_{xdB}(nf)$ измеряемого коэффициента передачи поочередно для ослаблений программируемого аттенюатора $xdB = 0, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 55$ и 60 дБ.

10.2.6 Подключить аттенюатор к портам анализатора электрических цепей векторного N5224A, используя фазостабильные кабельные сборки.

Установить частоты, соответствующие используемым при измерениях в п. 10.2.4. Параметры обзора установить такими, чтобы обеспечивалось соотношение сигнал/шум не менее 80 дБ.

Зафиксировать амплитуду $S_{xdB}^0(nf)$ измеряемого коэффициента передачи поочередно для ослаблений программируемого аттенюатора $xdB = 0, 10, 20, 30, 40, 45, 50, 55$ и 60 дБ.

10.2.7 Рассчитать инструментальную погрешность [дБ] измерения амплитуды диаграммы направленности в рабочей зоне коллиматора по формуле:

$$\delta S_{xdB}(nf) = \pm \left\{ S_{xdB}(nf) - S_{0dB}(nf) \right\} - \left\{ S_{xdB}^0(nf) - S_{0dB}^0(nf) \right\}, \quad (4)$$

где $S_{xdB}(nf)$ - результаты измерений амплитуды $S_{-5dB}(nf), S_{-10dB}(nf) \dots S_{-50dB}(nf)$, дБ;

$S_{xdB}^0(nf)$ - результаты измерений амплитуды $S_{-5dB}^0(nf), S_{-10dB}^0(nf) \dots S_{-50dB}^0(nf)$, дБ.

10.2.8 Рассчитать инструментальную погрешность [°] измерения фазы диаграммы направленности в рабочей зоне коллиматора по формуле:

$$\Delta \varphi_{xdB}(nf) = \pm \arctan \left(10^{0,05 \delta S_{xdB}(nf)} - 1 \right). \quad (5)$$

10.2.9 Повторить пп. 10.2.2-10.2.8 для остальных диапазонов частот из таблицы 5.

10.2.10 Результаты поверки считать положительными, если значения инструментальных погрешностей измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности в рабочей зоне коллиматора находятся в пределах, указанных в таблице 5. Таблица 5 - Инструментальные погрешности измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности

Наименование характеристики	Значение характеристики
Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерений амплитудных (фазовых) ДН ³ , дБ, до уровня (при значении коэффициента усиления антенны не менее 10 дБ в диапазоне частот до 3 ГГц и не менее 20 дБ в диапазоне частот свыше 3 ГГц):	
- минус 10 дБ включ.;	$\pm 0,15$ ($\pm 1,5^\circ$)
- минус 20 дБ включ.;	$\pm 0,2$ ($\pm 2,0^\circ$)
- минус 30 дБ включ.;	$\pm 0,3$ ($\pm 3,0^\circ$)
- минус 40 дБ включ.	$\pm 0,4$ ($\pm 4,0^\circ$)

10.3 Проверка погрешности измерений коэффициента усиления

10.3.1 В качестве исходных данных о характеристиках испытываемых антенн использовать модель с косинусным на пьедестале $0,5$ распределением амплитуды и равномерным распределением фазы ЭМП вдоль апертуры:

$$E_0(x_i) = \cos(\pi x_i / l), \quad (6)$$

где l – протяженность апертуры, м.

Протяжённость апертуры изменять в пределах от 4λ до $1,5$ м с шагом не более $0,1$ м.

10.3.2 Выполнить преобразование Фурье от пространственного распределения ЭМП, что позволит перейти к его угловому распределению или спектру плоских волн:

$$D_0(\varphi_i) = \text{FFT}^{-1} \{ E_0(x_i) \}, \quad (7)$$

где $\text{FFT}^{-1}\{\cdot\}$ – символ прямого дискретного преобразования Фурье.

10.3.3 Рассчитать результат электродинамического взаимодействия модели $E_0(x_i)$ и соответствующего её размерам отрезка измеренного амплитудно-фазового распределения по формуле:

$$E(x_i) = E_0(x_i) 10^{A(x_i)/20} \exp[\sqrt{-1}\pi\Phi(x_i)/180]. \quad (8)$$

10.3.4 Выполнить преобразование Фурье от пространственного распределения ЭМП $E(x_i)$:

$$D(\varphi_i) = \text{FFT}^{-1}\{E(x_i)\}. \quad (9)$$

10.3.5 Рассчитать отношение максимумов зависимостей угловых спектров идеального $D_0(\varphi_i)$ и искажённого $D(\varphi_i)$ распределений:

$$\delta D = \frac{\max_i |D_0(\varphi_i)|}{\max_i |D(\varphi_i)|} - 1. \quad (10)$$

10.3.6 Повторить вычисления пп. 10.3.3-10.3.5 для вертикального сечения измеренного распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне $A(y_i)$ и $\Phi(y_i)$.

В качестве итогового значения $\delta D'(nf)$ принять максимальное значение δD для вертикального и горизонтального измеренных сечений распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне для возможных значений протяженности апертуры l на каждой частоте nf .

10.3.7 Погрешность измерений коэффициента усиления $\Delta G(nf)$ рассчитать на основе частных составляющих суммарной погрешности по формуле:

$$\Delta G(nf) = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2(nf) + \theta_3^2 + \theta_4^2(nf) + \theta_5^2(nf) + \theta_6^2 + \theta_7^2} \right), \quad (11)$$

где θ_1 - составляющая суммарной погрешности, обусловленная погрешностью коэффициента усиления эталонной антенны, принимаемая равной 0,08, 0,12, 0,26 (0,3, 0,5, 1,0 дБ, соответственно);

$\theta_2(nf)$ - составляющая суммарной погрешности, обусловленная инструментальной погрешностью измерения амплитуды [дБ], определяемая в п. 14.1 для ослабления аттенюатора 10 дБ, вычисляется по формуле:

$$\theta_2(nf) = 10^{0,1\delta S_{10\text{дБ}}(nf)} - 1; \quad (12)$$

$\theta_3(nf)$ - составляющая суммарной погрешности, обусловленная неравномерностью амплитуды и фазы в рабочей зоне коллиматора при измерении сигнала с выхода эталонной антенны, вычисляемая по формуле:

$$\theta_3(nf) = 10^{0,025\Delta A(nf)} - 1; \quad (13)$$

где $\Delta A(nf)$ - неравномерность амплитуды в рабочей зоне коллиматора;

$\theta_4(nf)$ - составляющая суммарной погрешности, обусловленная неравномерностью амплитуды и фазы в рабочей зоне коллиматора при измерении сигнала с выхода испытываемой антенны, равная $\delta D'(nf)$;

$\theta_5(nf)$ - составляющая суммарной погрешности, обусловленная поляризационными потерями, принимается равной 0,01;

θ_6 - составляющая суммарной погрешности, обусловленная рассогласованием трактов, принимается равной 0,04, 0,11 и 0,18 для КСВН антенн не более 1,5, не более 2,0 и не более 2,5, соответственно;

θ_7 - составляющая суммарной погрешности, обусловленная неидеальной юстировкой антенн и другими факторами, принимается равной 0,05.

10.3.8 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешностей измерений коэффициента усиления в диапазоне частот находятся в пределах, указанных в таблице 6.

Таблица 6 - Погрешности измерений коэффициента усиления

Наименование характеристики	Значение характеристики
Пределы допускаемой погрешности измерений коэффициента усиления антенн методом замещения при погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны ⁴⁾ , дБ (при КСВН антенн не более 2,0):	
- в диапазоне частот от 0,75 до 2,0 ГГц включ.	
0,3 дБ	±1,0
0,5 дБ	±1,2
1,0 дБ	±1,6
- в диапазоне частот свыше 2,0 ГГц	
0,3 дБ	±0,8
0,5 дБ	±1,0
1,0 дБ	±1,4
⁴⁾ - при отличии КУ антенн не более 30 дБ, отношении сигнал/шум не менее 40 дБ.	

10.4 Проверка погрешности измерений амплитудной и фазовой диаграммы направленности

10.4.1 Определение погрешности измерений уровней боковых лепестков ДН выполняется на основе инструментальных погрешностей и методической погрешности из-за переотражений в соответствии с требованиями ГОСТ 8.736-2011.

10.4.2 Выполнить прямое дискретное преобразование Фурье от измеренного распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне $A(x_n)$ и $\Phi(x_n)$ и получить угловой спектр излучения коллиматора:

$$M^1(\varphi_n) = FFT^{+1} \left\{ 10^{A(x_n)/20} \exp \left[\sqrt{-1} \pi \Phi(x_n) / 180 \right] \left[\frac{1}{2} \cos \left(\frac{2\pi n}{N} - \pi \right) + \frac{1}{2} \right] \right\}, \quad (14)$$

при $x_n \in \pm 1,2$ м

где $n = 0 \dots N-1$ - номер дискретного отсчета,

N - общее число отсчетов;

$A(x_n)$ и $\Phi(x_n)$ - измеренные распределения амплитуды и фазы, дополненные нулевыми отсчетами до размерности 2^{12} .

10.4.3 Рассчитать угловой спектр используемой оконной функции вида «косинус на пьедестале»:

$$W^1(\varphi_n) = FFT^{+1} \left\{ \frac{1}{2} \cos \left(\frac{2\pi n}{N} - \pi \right) + \frac{1}{2} \right\}. \quad (15)$$

10.4.4 Угловой спектр помех зеркала коллиматора рассчитать по формуле:

$$B^1(\varphi_n) = 20 \lg |M^1(\varphi_n) - W^1(\varphi_n) + 10^{-6}|. \quad (16)$$

10.4.4 В полученном распределении B_n^1 выделить угловые сектора в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7

Диапазон частот, ГГц	Границы сектора	Сектор «1»	Сектор «2»	Сектор «3»
от 0,75 до 2,0	$\Theta = 15^\circ$	$\pm \Theta$	$-2\Theta \dots -\Theta$ $\Theta \dots 2\Theta$	вне сектора $\pm 2\Theta$
свыше 2,0 до 10,0	$\Theta = 12^\circ$			
свыше 10,0	$\Theta = (150/f)^\circ$			

Сопоставить значениям отсчётов угла φ_n значения угла в соответствии с ГОСТ 8.309-78.

Определить максимальные уровни B_1^1 , B_2^1 и B_3^1 распределений $B^1(\varphi_n)$ в областях «1», «2» и «3», соответственно.

10.4.5 Повторить вычисления пп. 10.4.1-10.4.4 распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне, измеренного в вертикальной плоскости $A(y_n)$ и $\Phi(y_n)$. В качестве итоговых принять максимальные значения в выбранных секторах между горизонтальной и вертикальной плоскостью.

10.4.6 Рассчитать систематическую погрешность измерений отношений уровней сигналов, обусловленную нелинейностью амплитудной характеристики A [дБ], определяемой в п. 10.4, по формуле:

$$\theta_H(nf) = 10^{0,1\delta S_{xdB}(nf)} - 1, \quad (17)$$

где $\delta S_{xdB}(nf)$ - систематическая погрешность измерений из-за нелинейности амплитудной характеристики для измеряемого уровня ДН, дБ.

Рассчитать систематическую погрешность измерений из-за наличия помеховых сигналов по формуле:

$$\theta_{KB} = \left[1 + 10^{-0,05(L-B)} \right]^2 - 1, \quad (18)$$

где L - измеряемый уровень диаграммы, дБ;

B - максимальный уровень помех для выбранного сектора углов, определённый в п. 10.4.5.

Пересчитать доверительные границы ($p = 0,99$) случайной погрешности, обусловленной влиянием собственных шумов измерительной системы, по формуле:

$$\varepsilon = \left(1 + 10^{-0,05(L+SNR)} \right)^2 - 1, \quad (19)$$

где $SNR = 60$ - отношение сигнал/шум в направлении максимума ДН, дБ.

10.4.7 Погрешность измерений уровней амплитудных ДН (в линейном масштабе) рассчитать по формуле:

$$\delta_{лин} = \frac{\varepsilon + \theta_H + \theta_{KB}}{\varepsilon/2,56 + \frac{1}{\sqrt{3}}(\theta_H + \theta_{KB})} \sqrt{\frac{1}{3}(\theta_H + \theta_{KB})^2 + \frac{\varepsilon^2}{6,56}}. \quad (20)$$

Рассчитать пределы погрешности измерений уровней амплитудных ДН в логарифмический масштаб по формуле:

$$\delta_{лог} = \pm 10 \lg(1 + \delta_{лин}). \quad (21)$$

Пределы погрешности измерений фазовых ДН рассчитать по формуле:

$$\delta_\phi = \pm \operatorname{atan}(\delta_{лин}). \quad (22)$$

10.4.8 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений амплитудных ДН находятся в пределах, приведенных в таблице 8.

Таблица 8 – Погрешности измерений диаграмм направленности

Размеры апертуры, мм	Измеряемый уровень ДН, дБ	Погрешности измерений диаграмм направленности ¹⁾							
		в диапазоне частот от 0,75 до 1,1 ГГц							
сектор углов, °		±25		±45		±90			
		А, дБ	φ, °	А, дБ	φ, °	А, дБ	φ, °	А, дБ	φ, °
от 750 до 1125 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,6	± 4,8	± 0,4	± 3,4		
	-10	± 1,7	± 12,1	± 1,1	± 7,8	± 0,7	± 5,3		
	-15	± 2,7	± 20,2	± 1,8	± 12,9	± 1,2	± 8,6		
	-20	± 4,3	± 32,3	± 2,8	± 20,7	± 1,9	± 13,4		
	-25			± 4,4	± 33,0	± 3,0	± 21,5		
	-30					± 4,5	± 33,5		
сектор углов, °		±20		±25		±45		±90	
от 1125 до 1500 мм	-5	± 1,6	± 11,9	± 1,0	± 7,3	± 0,6	± 4,8	± 0,4	± 3,4
	-10	± 2,7	± 20,0	± 1,7	± 12,1	± 1,1	± 7,8	± 0,7	± 5,3
	-15	± 4,2	± 32,0	± 2,7	± 20,2	± 1,8	± 12,9	± 1,2	± 8,6
	-20			± 4,3	± 32,3	± 2,8	± 20,7	± 1,9	± 13,4
	-25					± 4,4	± 33,0	± 3,0	± 21,5
	-30							± 4,4	± 33,0
в диапазоне частот от 1,1 до 1,7 ГГц									
сектор углов, °		±30		±90					
от 375 до 750 мм	-5	± 1	± 7,3	± 0,5	± 3,5				
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,8	± 5,4				
	-15	± 2,8	± 20,3	± 1,3	± 8,6				
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,9	± 13,5				
	-25			± 3	± 21,5				
	-30			± 4,5	± 33,1				
сектор углов, °		±20		±30		±45		±90	
от 750 до 1500 мм	-5	± 1,6	± 12	± 1,0	± 7,3	± 0,7	± 4,9	± 0,4	± 2,7
	-10	± 2,7	± 20	± 1,7	± 12,1	± 1,1	± 7,8	± 0,6	± 4
	-15	± 4,3	± 32,1	± 2,8	± 20,3	± 1,8	± 12,9	± 0,9	± 6,2
	-20			± 4,3	± 32,4	± 2,9	± 20,8	± 1,4	± 9,2
	-25					± 4,5	± 33	± 2,1	± 14,3
	-30							± 3,0	± 21,6
	-35							± 4,5	± 33,5
в диапазоне частот от 1,7 до 2,6 ГГц									
сектор углов, °		±45		±90					
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,7	± 4,9	± 0,5	± 3,5				
	-10	± 1,1	± 7,8	± 0,8	± 5,4				
	-15	± 1,8	± 12,9	± 1,3	± 8,6				
	-20	± 2,9	± 20,8	± 1,9	± 13,5				
	-25	± 4,4	± 32,5	± 3,0	± 21,5				
	-30			± 4,5	± 33,1				
сектор углов, °		±30		±60		±90			
от 375 до 750 мм	-5	± 0,9	± 6,2	± 0,5	± 3,5	± 0,4	± 2,7		
	-10	± 1,4	± 10,1	± 0,8	± 5,4	± 0,6	± 4,0		
	-15	± 2,3	± 16,9	± 1,3	± 8,6	± 0,9	± 6,2		
	-20	± 3,7	± 27,2	± 1,9	± 13,5	± 1,4	± 9,2		
	-25			± 3,0	± 21,5	± 2,1	± 14,3		
	-30			± 4,5	± 33,1	± 3,0	± 21,6		
	-35					± 4,5	± 33,5		
сектор углов, °		±25		±55		±90			
от 750 до 1125 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,5	± 3,5	± 0,4	± 2,7		
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,8	± 5,4	± 0,6	± 4,0		
	-15	± 2,8	± 20,3	± 1,3	± 8,6	± 0,9	± 6,2		
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,9	± 13,5	± 1,4	± 9,2		
	-25			± 3,0	± 21,5	± 2,1	± 14,3		
	-30			± 4,5	± 33,1	± 3,0	± 21,6		
	-35					± 4,5	± 33,5		

сектор углов, °		±20		±50		±90			
от 1125 до 1500 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,5	± 3,5	± 0,4	± 2,7		
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,8	± 5,4	± 0,6	± 4,0		
	-15	± 2,8	± 20,3	± 1,3	± 8,6	± 0,9	± 6,2		
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,9	± 13,5	± 1,4	± 9,2		
	-25			± 3,0	± 21,5	± 2,1	± 14,3		
	-30			± 4,5	± 33,1	± 3,0	± 21,6		
	-35					± 4,5	± 33,5		
в диапазоне частот от 2,6 до 3,95 ГГц									
сектор углов, °		±30		±60		±90			
погрешности измерений		А, дБ	φ, °	А, дБ	φ, °	А, дБ	φ, °		
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,5	± 3,5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2		
	-10	± 0,8	± 5,4	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2		
	-15	± 1,3	± 8,6	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8		
	-20	± 1,9	± 13,5	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7		
	-25	± 2,9	± 21,0	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0		
	-30	± 4,4	± 32,6	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3		
	-35			± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2		
-40					± 4,5	± 33,6			
сектор углов, °		±20		±30		±60		±90	
от 375 до 750 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,5	± 3,5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,8	± 5,4	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2
	-15	± 2,8	± 20,3	± 1,3	± 8,6	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,9	± 13,5	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7
	-25			± 3,0	± 21,5	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0
	-30			± 4,5	± 33,1	± 3	± 21,6	± 2,1	± 14,3
	-35					± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2
-40							± 4,5	± 33,6	
сектор углов, °		±20		±50		±60		±90	
от 750 до 1125 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,6	± 4	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7
	-15	± 2,8	± 20,3	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3
	-25			± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6
	-30			± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1
	-35			± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0
-40					± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3	
-45							± 4,6	± 34,2	
сектор углов, °		±15		±45		±60		±90	
от 1125 до 1500 мм	-5	± 1,0	± 7,3	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2,0
	-10	± 1,7	± 12,1	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7
	-15	± 2,8	± 20,3	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4,0
	-20	± 4,3	± 32,4	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3
	-25			± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6
	-30			± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1
	-35			± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0
-40					± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3	
-45							± 4,6	± 34,2	
в диапазоне частот от 3,95 до 5,8 ГГц									
сектор углов, °		±30		±45		±90			
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2,0		
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7		
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4,0		
	-20	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3		
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6		
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1		
	-35	± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0		
-40			± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3			
-45					± 4,6	± 34,2			
сектор углов, °		±20		±40		±90			
от 375 до 750 мм	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,9		
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,5		

	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,6		
	-20	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,6		
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,0	± 6,2		
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,7		
	-35	± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 1,6	± 10,8		
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2		
	-45					± 3,2	± 23,1		
	-50					± 4,7	± 34,9		
сектор углов, °		±15		±40		±90			
от 750 до 1125 мм	-5	± 0,5	± 3,5	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,9		
	-10	± 0,8	± 5,4	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,5		
	-15	± 1,3	± 8,6	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,6		
	-20	± 1,9	± 13,5	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,6		
	-25	± 3,0	± 21,5	± 1,5	± 10,0	± 1,0	± 6,2		
	-30	± 4,5	± 33,1	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,7		
	-35			± 3,1	± 22,2	± 1,6	± 10,8		
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2		
	-45					± 3,2	± 23,1		
-50					± 4,7	± 34,9			
сектор углов, °		±10		±40		±90			
от 1125 до 1500 мм	-5	± 0,5	± 3,5	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,9		
	-10	± 0,8	± 5,4	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,5		
	-15	± 1,3	± 8,6	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,6		
	-20	± 1,9	± 13,5	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,6		
	-25	± 3,0	± 21,5	± 1,5	± 10,0	± 1,0	± 6,2		
	-30	± 4,5	± 33,1	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,7		
	-35			± 3,1	± 22,2	± 1,6	± 10,8		
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2		
	-45					± 3,2	± 23,1		
-50					± 4,7	± 34,9			
в диапазоне частот от 5,8 до 8,2 ГГц									
сектор углов, °		±20		±40		±90			
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,9		
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,4	± 2,7	± 0,4	± 2,5		
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,6		
	-20	± 1,4	± 9,2	± 0,8	± 5,3	± 0,7	± 4,6		
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,6	± 1,0	± 6,2		
	-30	± 3,0	± 21,6	± 1,5	± 10,1	± 1,2	± 7,7		
	-35	± 4,5	± 33,5	± 2,2	± 15,0	± 1,6	± 10,8		
	-40			± 3,1	± 22,3	± 2,2	± 15,2		
	-45			± 4,6	± 34,2	± 3,2	± 23,1		
-50					± 4,7	± 34,9			
сектор углов, °		±15		±25		±50		±90	
от 375 до 15000 мм	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,9	± 0,2	± 1,8
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,4	± 2,7	± 0,4	± 2,5	± 0,3	± 2,4
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,6	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,4	± 9,2	± 0,8	± 5,3	± 0,7	± 4,6	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,6	± 1,0	± 6,2	± 0,9	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 1,5	± 10,1	± 1,2	± 7,7	± 1,0	± 6,3
	-35	± 4,5	± 33,5	± 2,2	± 15,0	± 1,6	± 10,8	± 1,3	± 8,4
	-40			± 3,1	± 22,3	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,1
	-45			± 4,6	± 34,2	± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,2
-50					± 4,7	± 34,9	± 3,3	± 24,2	
в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 ГГц									
сектор углов, °		±30		±45		±90			
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,9	± 0,2	± 1,8		
	-10	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,5	± 0,3	± 2,4		
	-15	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,6	± 0,5	± 3,3		
	-20	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,6	± 0,6	± 4,1		
	-25	± 1,5	± 10,0	± 1,0	± 6,2	± 0,9	± 5,4		
	-35	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,7	± 1,0	± 6,3		
-35	± 3,1	± 22,2	± 1,6	± 10,8	± 1,3	± 8,4			

	-40	± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,1		
	-45			± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,2		
	-50			± 4,7	± 34,9	± 3,3	± 24,2		
сектор углов, °		±10		±25		±45		±90	
от 375 до 1500 мм	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,9	± 0,2	± 1,8
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,5	± 0,3	± 2,4
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,6	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,6	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,0	± 6,2	± 0,9	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,7	± 1,0	± 6,3
	-35	± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 1,6	± 10,8	± 1,3	± 8,4
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,1
	-45					± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,2
	-50				± 4,7	± 34,9	± 3,3	± 24,2	
в диапазоне частот от 12,4 до 18,0 ГГц									
сектор углов, °		±10		±20		±30		±90	
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,9	± 0,2	± 1,8
	-10	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7	± 0,4	± 2,5	± 0,3	± 2,4
	-15	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,6	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3	± 0,7	± 4,6	± 0,6	± 4,1
	-25	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6	± 1,0	± 6,2	± 0,9	± 5,4
	-30	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1	± 1,2	± 7,7	± 1,0	± 6,3
	-35	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0	± 1,6	± 10,8	± 1,3	± 8,4
	-40	± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,1
	-45			± 4,6	± 34,2	± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,2
	-50				± 4,7	± 34,9	± 3,3	± 24,2	
сектор углов, °		±10		±20		±30		±90	
от 375 до 1500 мм	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,9	± 0,2	± 1,8
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,4	± 2,7	± 0,4	± 2,5	± 0,3	± 2,4
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,6	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,4	± 9,2	± 0,8	± 5,3	± 0,7	± 4,6	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,2	± 7,6	± 1,0	± 6,2	± 0,9	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 1,5	± 10,1	± 1,2	± 7,7	± 1,0	± 6,3
	-35	± 4,5	± 33,5	± 2,2	± 15,0	± 1,6	± 10,8	± 1,3	± 8,4
	-40			± 3,1	± 22,3	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,1
	-45			± 4,6	± 34,2	± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,2
	-50				± 4,7	± 34,9	± 3,3	± 24,2	
в диапазоне частот от 18,0 до 26,5 ГГц									
сектор углов, °		±5				±15			
до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,3	± 2,6	± 0,3	± 2,2	± 0,3	± 1,8	± 0,2	± 1,7
	-10	± 0,5	± 3,9	± 0,4	± 3,1	± 0,3	± 2,5	± 0,3	± 2,3
	-15	± 0,9	± 6,1	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,5	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,3	± 9,1	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,5	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,0	± 14,2	± 1,5	± 10,0	± 0,9	± 6,2	± 0,8	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,0	± 14,3	± 1,1	± 7,6	± 0,9	± 6,2
	-35	± 4,5	± 33,4	± 3,0	± 22,1	± 1,6	± 10,8	± 1,2	± 8,4
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,0
	-45					± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,1
	-50				± 4,7	± 34,8	± 3,3	± 24,1	
сектор углов, °		±10		±20		±30		±90	
от 375 до 1500 мм	-5	± 0,3	± 2,6	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 1,8	± 0,2	± 1,7
	-10	± 0,5	± 3,9	± 0,4	± 3,1	± 0,3	± 2,5	± 0,3	± 2,3
	-15	± 0,9	± 6,1	± 0,7	± 4,8	± 0,5	± 3,5	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,3	± 9,1	± 1,0	± 6,7	± 0,7	± 4,5	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,0	± 14,2	± 1,5	± 10,0	± 0,9	± 6,2	± 0,8	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,0	± 14,3	± 1,1	± 7,6	± 0,9	± 6,2
	-35	± 4,5	± 33,4	± 3,0	± 22,1	± 1,6	± 10,8	± 1,2	± 8,4
	-40			± 4,5	± 33,6	± 2,2	± 15,2	± 1,6	± 11,0
	-45					± 3,2	± 23,1	± 2,3	± 16,1
	-50				± 4,7	± 34,8	± 3,3	± 24,1	
в диапазоне частот от 26,5 до 40,0 ГГц									
сектор углов, °		±5		±15		±30		±90	

до 375 мм (но не менее 3λ или 150 мм)	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,9
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7	± 0,4	± 2,5
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,6
	-20	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3	± 0,7	± 4,6
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6	± 1,0	± 6,2
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1	± 1,2	± 7,7
	-35	± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0	± 1,6	± 10,8
	-40			± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3	± 2,2	± 15,2
	-45					± 4,6	± 34,2	± 3,2	± 23,1
	-50							± 4,7	± 34,9
сектор углов, °		±5		±10		±30		±90	
от 375 до 1500 мм	-5	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,2	± 0,2	± 2,0	± 0,2	± 1,8
	-10	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,2	± 0,4	± 2,7	± 0,3	± 2,4
	-15	± 0,9	± 6,2	± 0,7	± 4,8	± 0,6	± 4,0	± 0,5	± 3,3
	-20	± 1,4	± 9,2	± 1,0	± 6,7	± 0,8	± 5,3	± 0,6	± 4,1
	-25	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,0	± 1,2	± 7,6	± 0,9	± 5,4
	-30	± 3,0	± 21,6	± 2,1	± 14,3	± 1,5	± 10,1	± 1,0	± 6,3
	-35	± 4,5	± 33,5	± 3,1	± 22,2	± 2,2	± 15,0	± 1,3	± 8,4
	-40			± 4,5	± 33,6	± 3,1	± 22,3	± 1,6	± 11,1
	-45					± 4,6	± 34,2	± 2,3	± 16,2
	-50							± 3,3	± 24,2

10.5 Проверка диапазона рабочих частот, динамического диапазона измерений относительных уровней диаграмм направленности

10.5.1 Определение диапазона рабочих частот провести по результатам определения инструментальной погрешности измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности (п. 10.1).

10.5.2 Результаты поверки считать положительными, если инструментальная погрешность измерений амплитуды и фазы диаграммы направленности удовлетворяет заданным требованиям (см. п. 10.1). В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 0,75 до 40 ГГц.

10.5.3 Определение динамического диапазона измерений относительных уровней диаграмм направленности провести по результатам определения погрешности измерений амплитудной и фазовой диаграмм направленности (п. 10.4).

10.5.4 Результаты поверки считать положительными, если погрешности измерений амплитудной и фазовой диаграмм направленности удовлетворяют заданным требованиям (см. п. 10.4). В этом случае динамический диапазон измерений относительных уровней диаграмм направленности соответствует таблице 9.

Таблица 9 – Динамический диапазон измерений относительных уровней диаграмм направленности

Наименование характеристики	Значение характеристики
Динамический диапазон измерений относительных уровней диаграмм направленности, дБ:	
- в диапазоне частот от 0,75 до 1,1 ГГц включ.;	30
- в диапазоне частот свыше 1,1 до 2,6 ГГц включ.;	35
- в диапазоне частот свыше 2,6 до 3,95 ГГц включ.;	45
- в диапазоне частот свыше 3,95 до 40,0 ГГц включ.	50

10.6 Проверка диапазона установки угла поворота ОПУ

10.6.1 Проверку диапазонов установки углового положения ОПУ в азимутальной плоскости и крену проводить визуально (ОПУ обеспечивают непрерывное (без ограничений) вращение через СВЧ вращающееся сочленение). ОПУ устанавливать в режим непрерывного вращения до срабатывания концевых датчиков. Убедиться, что приводы ОПУ поворачиваются более чем на один полный оборот.

10.6.2 Определение диапазона установки углового положения ОПУ в угломестной

плоскости проводить с помощью лазерного трекера API Tracker3 в соответствии с его РЭ. Определение действительных значений установки углового положения осуществляется с использованием программных средств трекера.

10.6.3 Установить на башню ОПУ уголкового отражателя из состава трекера. Расстояние от УО до оси вращения ОПУ должно составлять не менее 0,5 м.

10.6.4 Установить ОПУ в положение по углу места «0°00'».

10.6.5 Вращать ОПУ по углу места до предельных положений (при пропадании сигнала от УО повернуть его отражающей частью в сторону трекера). Определить действительные значения установки углового положения с использованием программных средств трекера.

10.6.6 Результаты поверки считать положительными, если:

- диапазон установки угла поворота ОПУ по азимуту составляет от 0° до 360°;
- диапазон установки угла поворота ОПУ по крену составляет от 0° до 360°;
- диапазон установки угла поворота ОПУ по углу места составляет от -115° до 45°.

10.7 Проверка абсолютной погрешности установки угла азимута и угла места

10.7.1 Проверку абсолютной погрешности установки углового положения ОПУ проводить с помощью лазерного трекера API Tracker3 в соответствии с его РЭ. Определение действительных значений установки углового положения осуществляется с использованием программных средств трекера.

10.7.2 Установить на башню ОПУ уголкового отражателя из состава трекера. Расстояние от УО до оси вращения ОПУ должно составлять не менее 0,5 м.

10.7.3 Установить ОПУ в положение по углу азимута «0°00'».

10.7.4 Вращая ОПУ по азимуту в пределах от 0 до 360° и по углу места в пределах от минус 35 до 35° с интервалом показаний 10°00' (не более), для каждого углового положения зафиксировать показания трекера в горизонтальной плоскости (при пропадании сигнала от УО повернуть его отражающей частью в сторону трекера).

10.7.5 Для каждого углового положения вычислить с учетом знака абсолютную погрешность установки угла поворота ОПУ по формуле:

$$\Delta\alpha = \alpha_c - \alpha_m, \quad (23)$$

где α_c - угол, установленный с помощью ПО комплекса, в градусах;

α_m - угол, измеренный трекером, в градусах.

10.7.6 Повторить операции по пп. 10.7.2-10.7.5 два раза.

10.7.7 Повторить операции по пп. 10.7.2-10.7.6 для угла места.

10.7.8 Для каждого углового положения вычислить среднее арифметическое значение по трем измерениям абсолютной погрешности установки угла поворота ОПУ.

10.7.9 Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности отсчета углового положения ОПУ в азимутальной плоскости, плоскости угла места находятся в пределах $\pm 0,05^\circ$.

10.8 Проверка диапазона перемещения слайдера, абсолютной погрешности установки положения слайдера

10.8.1 С помощью ПО комплекса переместить слайдер в крайнее положение.

Перемещая слайдер с установленным оптическим отражателем вдоль оси 0x в пределах от 0 до 2000 мм с шагом не более 200 мм, фиксировать показания лазерного трекера API Tracker3.

10.8.2 Абсолютную погрешность установки положения слайдера определить как разницу между установленным с помощью ПО положением слайдера и измеренным с помощью лазерного трекера API Tracker3.

10.8.3 Результаты испытаний считать положительными, если диапазон перемещения слайдера составляет от 0 до 2000 мм, абсолютная погрешность установки положения слайдера находится в пределах $\pm 0,2$ мм.

11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 В результате оценки характеристик, полученных в результате поверки, делается вывод о пригодности дальнейшего использования средства измерений. Критериями пригодности являются соответствие погрешности средства измерений п.п. 10.1-10.8 настоящей методики поверки и требованиям ГОСТ Р 8.851-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц

12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

12.1 Сведения о результатах поверки комплекса передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

12.2 По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие комплекса метрологическим требованиям) наносится знак поверки и (или) выдается свидетельство о поверке.

12.3 По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, в случае отрицательных результатов поверки (не подтверждено соответствие комплекса метрологическим требованиям) выдается извещение о непригодности к применению.

12.4 Обязательное оформление протокола поверки не требуется. По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, возможно оформление протокола поверки.

Начальник отдела ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России



К.С. Черняев

Старший научный сотрудник ФГБУ «ГНМЦ» Минобороны России



Д.И. Александрова