

Первый заместитель генерального
директора - заместитель по научной
работе ФГУП «ВНИИФТРИ»

2025 г.

Стенд комплексной настройки и измерений РТХ антенн в дальней зоне
ТМСА 6.0-40.0 Д 095

МП 134-25-03

пгт. Менделеево
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	4
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	5
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	5
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ	6
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	8
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	8
8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	9
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	10
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....	18

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на стенд комплексной настройки и измерений РТХ антенн в дальней зоне ТМСА 6.0-40.0 Д 095 (заводской № 095) (далее – стенд), изготовленный обществом с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ТРИМ СШП Измерительные системы» (ООО «НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы»)), г. Санкт-Петербург, и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

1.2 Первичной поверке подлежит стенд до ввода в эксплуатацию. Периодической поверке подлежит стенд, находящийся в эксплуатации, на хранении и после ремонта.

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемого стенда к Государственному первичному эталону единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц (ГЭТ 193-2011) в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383 и к Государственному первичному эталону единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах ГЭТ 75-2023 в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений волнового сопротивления, комплексных коэффициентов отражения и передачи в коаксиальных волноводах в диапазоне частот от 0 до 67 ГГц, утвержденной Приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.

1.4 Поверка стенда может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации лицом в соответствии с его областью аккредитации.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на стенд и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

1.6 Стенд предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенн в дальней зоне в частотной области.

1.7 В результате поверки стенда должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблицах 1.1-1.2.

Таблица 1.1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Доверительные границы погрешности измерений коэффициента усиления (КУ) антенн ¹⁾ (при доверительной вероятности 0,95), дБ	
при КСВН не более 1,2	±0,9
при КСВН не более 1,5	±1,0
при КСВН не более 2,0	±1,2
Пределы абсолютной погрешности установки положений ОПУ ТМП 04В.020 по осям азимута, элевации и поляризации, градус	±0,05
Примечание: ¹⁾ – при отличии КУ исследуемой и эталонной антенн не более 20 дБ, отношении сигнал шум не менее 40 дБ.	

Таблица 1.2 – Доверительные границы погрешности измерений уровней АДН и ФДН (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне рабочих частот

Доверительные границы (при доверительной вероятности 0,95) погрешности измерений в диапазоне частот ¹⁾								
Уровень АДН, дБ	от 6,0 до 8,0 ГГц		от 8,0 до 12,0 ГГц		от 12,0 до 20,0 ГГц		от 20,0 до 40,0 ГГц	
	АДН, дБ	ФДН, градус	АДН, дБ	ФДН, градус	АДН, дБ	ФДН, градус	АДН, дБ	ФДН, градус
-5	±0,15	±1,3	±0,1	±1,3	±0,1	±1,3	±0,1	±0,7
-10	±0,3	±2,0	±0,2	±2,0	±0,2	±2,0	±0,2	±1,3
-15	±0,4	±2,7	±0,3	±2,0	±0,3	±2,0	±0,3	±2,0
-20	±0,7	±4,8	±0,5	±3,4	±0,5	±3,4	±0,4	±2,7
-25	±1,1	±7,7	±0,7	±4,8	±0,7	±4,8	±0,6	±4,1
-30	±1,8	±13,0	±1,2	±8,4	±1,2	±8,4	±0,9	±6,2
-35	±2,8	±20,8	±1,8	±13,0	±1,8	±13,0	±1,4	±9,9
-40	±4,4	±33,4	±2,9	±21,6	±2,9	±21,6	±2,3	±16,9
-45	-	-	±4,5	±34,2	±4,5	±34,2	±3,5	±26,4

Примечание: ¹⁾ – в точках пересечения диапазонов частот применяется меньшее значение погрешности

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки стенда должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр	Да	Да	7
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	9
Определение погрешности измерений коэффициента усиления (КУ) антенн (при доверительной вероятности 0,95)	Да	Нет	10.1
	Нет	Да	10.2
Определение погрешности измерений уровней амплитудных диаграмм направленности (АДН) и фазовых диаграмм направленности (ФДН) (при доверительной вероятности 0,95)	Да	Нет	10.3
	Нет	Да	10.4

Продолжение таблицы 2

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение абсолютных погрешностей установки положений ОПУ ТМП 04В.020 по осям азимута, элевации и поляризации	Да	Да	10.5
Оформление результатов поверки	Да	Да	11

2.2 Допускается проведение поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений по частоте.

2.3 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, приведенных в таблице 2, поверка прекращается, и стенд признается непригодным к применению.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки стенда должны соблюдаться условия, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Условия проведения поверки стенда

Наименование параметра	Значение
Параметры электропитания от сети переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	220 ± 22 $50 \pm 0,5$
Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность окружающего воздуха при температуре 25 °С, %, не более – атмосферное давление, кПа	от +15 до +30 70 от 86,6 до 106,7

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами с высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений, имеющими опыт работы в области антенных измерений не менее 3-х лет и квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами:

– «Стенд комплексной настройки и измерений РТХ антенн в дальней зоне ТМСА 6.0-40.0 Д 095. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ);

– «Программное обеспечение. Описание программы «Расчета и отображения» (ProViLab 1.1.7) компании НПП «ТРИМ». Книга 1»;

– «Программное обеспечение. Описание программы «Расчета и отображения» (ProViLab 1.1.7) компании НПП «ТРИМ». Книга 2»;

– «Программное обеспечение. Описание программы «Расчета и отображения» (ProViLab 1.1.7) компании НПП «ТРИМ». Книга 3».

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 При проведении поверки стенда должны быть применены средства измерений (далее – СИ) и вспомогательное оборудование, указанные в таблице 4.

Таблица 4 – Средства измерений и вспомогательное оборудование для поверки стенда

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.2 Контроль условий поверки	СИ температуры окружающей среды в диапазоне измерений от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью измерений $\pm 0,2$ °С. СИ атмосферного давления окружающей среды в диапазоне измерений от 630 до 800 мм рт. ст. с абсолютной погрешностью ± 3 гПа. СИ относительной влажности воздуха в диапазоне от 30% до 80 % с погрешностью ± 2 %. СИ напряжения питающей сети в диапазоне от 198 до 242 В, с относительной погрешностью ± 1 %. СИ частоты питающей сети в диапазоне от 49,5 до 50,5 Гц с абсолютной погрешностью не более 0,5 Гц.	Измерители влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 15500-12*. Измерители температуры цифровые Fluke серии II моделей 51, 52, 53, 54, рег. № 76835-19*. Мультиметры цифровые Testo 760-2, рег. № 65373-16*. Мультиметры цифровые Fluke 87V MAX, рег. № 80953-21*.
10.1, 10.2 Определение доверительных границ погрешности измерений КУ антенн (при доверительной вероятности 0,95)	Эталоны воспроизведения плотности потока энергии электромагнитного поля с коэффициентом усиления от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц, соответствующие требованиям к эталонам не ниже исходного эталона в соответствии с локальной поверочной схемой ЛПС-134-2023 от 1 августа 2023 г. Эталоны ослабления от 0 до минус 60 дБ в диапазоне частот от 6 до 40 ГГц, соответствующие требованиям к эталонам не ниже 2 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383	Государственный эталон единицы коэффициента усиления измерительных антенн в диапазоне значений от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц, рег. № 3.1.ZZT.0437.2023* (далее – ГЭТ КУ). Анализатор электрических цепей векторный ZVA50, эталон 2-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383, рег. № 48355-11* (далее – ВАЦ ZVA50).

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	СИ ослабления от 0 до минус 60 дБ в диапазоне частот от 6 до 40 ГГц с погрешностью не более 3,0 дБ. СИ для наблюдения и измерения относительного распределения энергии электрических (электромагнитных) колебаний в полосе частот от 9 кГц до 43 ГГц. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 5,64 до 8,24 ГГц. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 8,24 до 12,05 ГГц. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 12,05 до 17,44 ГГц. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 17,44 до 25,95 ГГц. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 25,95 до 40,00 ГГц.	Аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, рег. № 60239-15* (далее – аттенюатор). Анализатор спектра портативный MS2726C (рег. № 46513-11)* (далее – анализатор MS2726C). Вспомогательное оборудование: – зонды на основе открытого конца волновода: - Антенна-зонд в виде открытого конца прямоугольного волновода сечением 35×15 мм; - Антенна-зонд в виде открытого конца прямоугольного волновода сечением 23×10 мм; - Антенна-зонд в виде открытого конца прямоугольного волновода сечением 16×8 мм; - Антенна-зонд в виде открытого конца прямоугольного волновода сечением 11×5,5 мм; - Антенна-зонд в виде открытого конца прямоугольного волновода сечением 7,2×3,4 мм.

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10.6, 10.7 Определение абсолютных погрешностей установки положений ОПУ ТМП 04В.020 по осям азимута, элевации и поляризации	СИ углов с абсолютной погрешностью не более 1 минуты.	Теодолит электронный RGK TO-02 рег. № 73115-18* (далее – теодолит TO-02).
* – рег. №__ – регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ).		

5.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик поверяемого стенда с требуемой точностью.

5.3 Средства измерений (эталон) должны быть исправны, поверены и иметь актуальные сведения о пригодности в ФИФ ОЕИ.

6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки должны быть соблюдены все требования безопасности в соответствии с ГОСТ 12.3.019-80 «ССБТ. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности», а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на составные элементы стенда и средства поверки.

6.2 Перемещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра стенда проверить:

- комплектность, маркировку и пломбировку стенда путем сличения с данными, приведенными в документе «Стенд комплексной настройки и измерений РТХ антенн в дальней зоне ТМСА 6.0-40.0 Д 095. Паспорт» (далее – ПС);
- отсутствие видимых механических повреждений составных частей стенда, влияющих на его нормальную работу;
- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок;
- наружную поверхность элементов стенда, в том числе управляющих и питающих;
- наличие радиопоглощающих материалов на поворотных устройствах и стенах помещения в зонах зеркальных переотражений;
- состояние органов управления.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность и маркировка стенда соответствуют ПС;
- составные части стенда не имеют механических и электрических повреждений, влияющих на их нормальную работу;
- управляющие и питающие кабели не имеют механических и электрических повреждений;
- органы управления закреплены прочно и без перекосов, действуют плавно и обеспечивают надежную фиксацию;
- отражающие элементы вблизи рабочей зоны стенда укрыты радиопоглощающими материалами;
- отсутствуют повреждения лакокрасочных покрытий, маркировки четкие;

– все надписи на органах управления и индикации четкие и соответствуют их функциональному назначению.

7.3 Стенд, не удовлетворяющий требованиям п. 7.2, к поверке не допускается.

8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Включить персональные компьютеры (далее – ПК), для этого:

- на блоке источника бесперебойного питания нажать кнопку включения;
- нажать на системном блоке ПК кнопку включения;
- включить монитор.

После загрузки операционной системы WINDOWS 11 на экране монитора ПК наблюдать иконки программ «Frequency Domain Antenna Measurement» и «ProViLab».

8.2 Результаты идентификации ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные (признаки) ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
	Frequency Domain Antenna Measurement	ProViLab
Идентификационное наименование ПО		
Номер версии (идентификационный номер) ПО	8.0.0.0	1.1.7
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) по алгоритму MD5	-	-

В противном случае результаты проверки соответствия ПО считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

9.1 Подготовка к поверке

9.1.1 Проверить наличие эксплуатационной документации и актуальных данных о поверке СИ, используемых при поверке.

9.1.2 Подготовить средства поверки к проведению измерений в соответствии с руководствами по их эксплуатации.

9.2 Контроль условий поверки

9.2.1 Провести измерения температуры окружающего воздуха, относительной влажности окружающего воздуха, параметров электропитания сети и атмосферного давления в помещении, в котором будет выполняться поверка. Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

9.2.2 Результаты контроля условий поверки считать положительными, если значения температуры окружающего воздуха, относительной влажности окружающего воздуха, параметров электропитания сети и атмосферного давления в помещении, в котором будет выполняться поверка, соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

В противном случае результаты контроля условий поверки считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

9.3 Опробование

9.3.1 Подготовить стенд к работе в соответствии с документом РЭ.

9.3.2 Проверить работоспособность аппаратуры стенда путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программных продуктов ПО «Frequency Domain Antenna Measurement» и «ProViLab».

9.3.3 Проверить работоспособность приводов однокоординатного опорно-поворотного устройства для вспомогательной антенны ТМП 01В.010 (далее – ОПУ ТМП 01В.010) и четырехкоординатного опорно-поворотного устройства антенн ТМП 04В.020 (далее – ОПУ ТМП 04В.020).

9.3.4 Проверить работоспособность приводов ОПУ ТМП 04В.020 и ОПУ ТМП 01В.010.

9.3.5 Провести измерение сечений АДН антенны ТМА 6-40 Э в диапазоне частот от 20 до 40 ГГц с шагом 5 ГГц.

9.3.6 Результаты проверки работоспособности стенда считать положительными, если:

- при загрузке программных продуктов «Frequency Domain Antenna Measurement» и «ProViLab» сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;
- в измеренных АДН антенны ТМА 6-40 Э в направлении строительной оси присутствует выраженный главный лепесток и наблюдается симметрия;
- все приводы ОПУ ТМП 01В.010 и ОПУ ТМП 04В.020 работоспособны.

В противном случае результаты поверки стенда считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить, стенд бракуется и подлежит ремонту.

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Определение погрешности измерений КУ антенн (при доверительной вероятности 0,95)

10.1.1 Определение инструментальной погрешности измерений КУ и АДН антенных устройств

10.1.1.1 Измерения выполнять для комбинаций вспомогательной и измеряемой антенн, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры измерений при определении инструментальной погрешности

Поддиапазон частот, ГГц	Тип вспомогательной антенны	Тип измеряемой антенны	Шаг по частоте, МГц, не более
от 6,0 до 8,2	ТМА 6-40	ТМА 6-40 Э*	10
от 8,2 до 12,4			20
от 12,4 до 18,0			20
от 18,0 до 26,5			40
от 26,5 до 40,0			50
Примечание: *– в качестве измеряемых антенн допускается использование антенн П6-139/х, которые соответствуют программе испытаний.			

10.1.1.2 На ОПУ ТМП 04В.020 установить измеряемую антенну согласно таблице 6. Подключить вход антенны к измерительному тракту. Поляризацию антенны установить согласованной с поляризацией антенны ТМА 6-40, установленной на ОПУ ТМП 01В.010.

Подключить аттенюатор в приёмную часть СВЧ тракта стенда до первого каскада усиления (при наличии).

10.1.1.3 ВАЦ установить в режим измерений коэффициента передачи (S_{21} или S_{12}) со следующими параметрами:

- диапазон частот и шаг по частоте – в соответствии с таблицей 6;

- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц.

10.1.1.4 Провести измерения коэффициента передачи $A_{\text{дБ}}(f)$ в диапазоне ослаблений x аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 5 дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

10.1.1.5 Подключить аттенюатор к ВАЦ с использованием фазостабильных кабельных сборок длиной не более 2 м каждая. Установить следующие параметры измерений:

- диапазон частот и шаг по частоте – аналогично п. 10.1.1.3;
- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного канала с уровнем компрессии не более 0,05 дБ (уровень компрессии проверяется путём записи измеряемой «трассы» при заданном уровне мощности передатчика в память и сравнении её текущей «трассой» при уровне мощности, уменьшенном на 5 дБ);
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц.

Примечание: измерения параметров аттенюатора допускается проводить отдельно от измерений нелинейности амплитудной характеристики стенда.

10.1.1.6 Установить на аттенюаторе ослабление 0 дБ, выполнить нормализацию шкалы ВАЦ ZVA50 по измеряемой «трассе». Далее, установить на аттенюаторе ослабление 65 дБ, отключить один из кабелей от аттенюатора.

В случае если измеряемый коэффициент передачи при разомкнутом тракте составляет не более минус 80 дБ, то подключить кабельную сборку к аттенюатору и перейти к выполнению следующего пункта. В противном случае, добиться обеспечения требуемого значения динамического диапазона путём уменьшения ширины полосы фильтра ПЧ или увеличения количества усреднений.

10.1.1.7 Провести измерения коэффициента передачи $B_{\text{дБ}}(f)$ в диапазоне ослаблений x аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 5 дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

10.1.1.8 Рассчитать модуль инструментальной погрешности измерений КУ и АДН в децибелах в диапазоне частот по формуле (2):

$$C_{\text{дБ}}(f) = \left[A_{\text{дБ}}(f) - A_{0\text{дБ}}(f) \right] - \left[B_{\text{дБ}}(f) - B_{0\text{дБ}}(f) \right]. \quad (2)$$

10.1.1.9 За результирующую погрешность измерений принять среднее арифметическое значение модуля погрешности в диапазоне частот для каждого уровня АДН (ослабления аттенюатора со знаком «минус»). Полученные значения не должны превышать указанных в таблице 7.

Таблица 7 – Модуль инструментальной погрешности измерений КУ и АДН в диапазоне частот от 6,0 до 40,0 ГГц

Уровень АДН, дБ (минус x дБ)	Модуль инструментальной погрешности измерений КУ и АДН $C_{\text{дБ}}$
-5	0,05
-10	0,10
-15	0,15
-20	0,20
-25	0,25
-30	0,30
-35	0,35
-40	0,40
-45	0,45
-50	0,50

10.1.2 Определение КСВН входа антенны ТМА 6-40 Э

10.1.2.1 Определение КСВН входа антенны проводить относительно волнового сопротивления 50 Ом с применением ВАЦ ZVA50 в соответствии с ЭД на него.

10.1.2.2 Измерения КСВН антенны ТМА 6-40 Э проводить в режиме панорамного обзора на частотах от 6,0 до 40,0 ГГц включительно с шагом не более 10 МГц.

10.1.2.3 При измерении КСВН испытуемую антенну ориентировать в сторону, свободную от отражающих предметов и на удалении от них не менее 3 м.

10.1.2.4 В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ ZVA50 провести измерение КСВН. Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.1.2.5 Результаты измерений считать положительными, если значения КСВН в диапазоне рабочих частот не превышают 2,0. В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

10.1.3 Определение погрешности измерений КУ измерительных антенн

10.1.3.1 Провести измерения КУ П6-139/2, П6-139/3, П6-139/4, П6-139/5 и П6-139/6 на ГЭТ КУ.

10.1.3.2 Провести измерения КУ П6-139/2, П6-139/3, П6-139/4, П6-139/5 и П6-139/6 в соответствии с РЭ на стенд.

10.1.3.3 Рассчитать погрешность измерений КУ для каждой частоты по формуле (3):

$$\Delta G = |G_{\Sigma} - G_{И}|, \quad (3)$$

где G_{Σ} и $G_{И}$ - значения КУ, измеренные на ГЭТ КУ и стенде соответственно, дБ.

10.1.3.4 Результаты измерений считать положительными, если значения погрешности измерений КУ в диапазоне частот от 6 до 40 ГГц не превышают 0,5 дБ.

10.1.4 Определение коэффициента безэховости (далее – КБ) стенда

10.1.4.1 На ОПУ ТМП 04В.020 закрепить зонд в виде открытого конца волновода согласно таблице 8.

10.1.4.2 ВАЦ установить в режим измерений коэффициента передачи (S_{21} или S_{12}) со следующими параметрами:

– выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;

– ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц.

10.1.4.3 Измерить коэффициент передачи, изменяя положение ОПУ ТМП 04В.020 по оси слайда от начальной координаты до конечной с шагом, указанным в таблице 8.

10.1.4.4 Аппроксимировать полиномом второй степени (4) измеренную зависимость мощности от расстояния $P(x)$ для каждой частоты для выделения огибающей, обусловленной изменением расстояния между антеннами.

$$P_{АП}^x(x) = ax^2 + bx + c. \quad (4)$$

10.1.4.5 Путём вычитания из измеренных зависимостей полученных аппроксимаций выделить интерференционную зависимость по формуле (5):

$$P_{ИН}^x(x) = P(x) - P_{АП}^x(x). \quad (5)$$

10.1.4.6 Определить значение модуля разности максимального и минимального значений амплитуды интерференционной зависимости δ , формула (6), показанной на рисунке 1, в децибелах.

$$\delta = \max_x \{P_{ИН}^x(x)\} - \min_x \{P_{ИН}^x(x)\}. \quad (6)$$

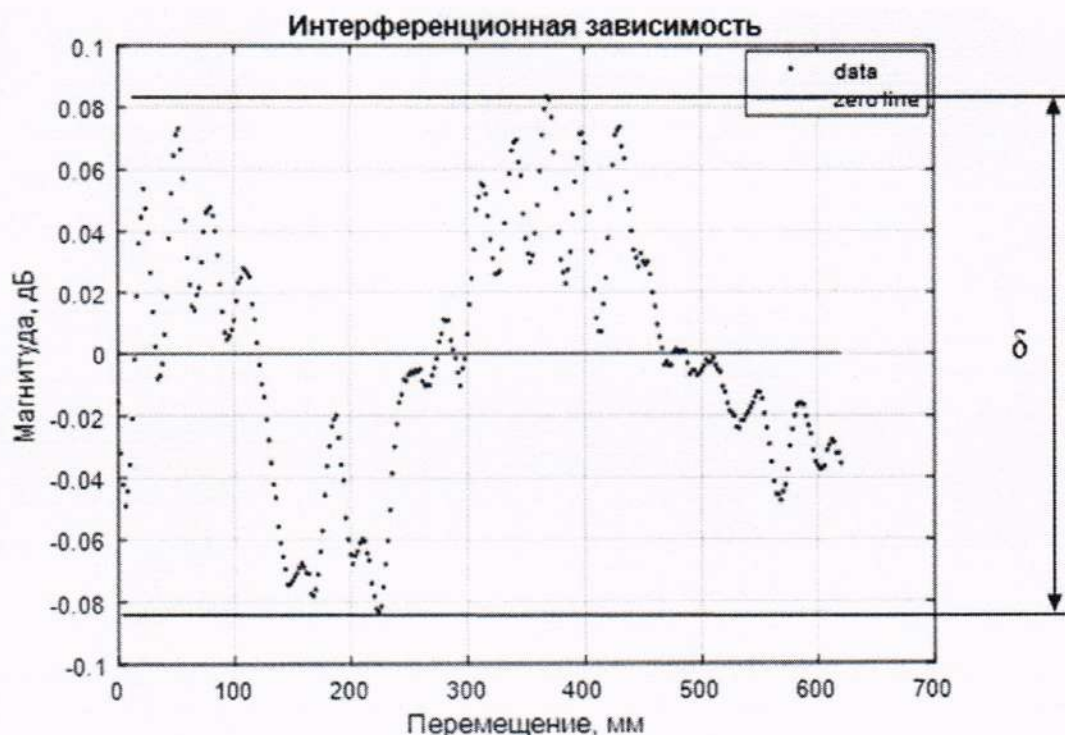


Рисунок 1 – Пример интерференционной зависимости

10.1.4.7 Рассчитать КБ для частотного диапазона по формуле (6):

$$KB = 20 \lg \left(2 \cdot CKЗ \left(\frac{10^{\frac{\delta_f}{20}} - 1}{10^{\frac{\delta_f}{20}} + 1} \right) \right), \quad (6)$$

где $CKЗ(\cdot)$ – операция вычисления среднеквадратического значения КБ в пределах частотного диапазона по набору отсчётов f для соответствующих частот и двух поляризаций.

10.1.4.8 Повторить операции пп. 10.1.4.2 – 10.1.4.7 для остального диапазона частот стенда с шагом, указанным в таблице 8.

Таблица 8 – Параметры измерений при определении КБ

Поддиапазон частот, ГГц	Тип вспомогательной антенны	Тип антенны-зонда	Шаг по частоте, МГц, не более	Шаг перемещения, мм, не более
от 6,0 до 8,0	ТМА 6-40	ОКВ 35×15 мм	500	2
от 8,0 до 12,0		ОКВ 23×10 мм		
от 12,0 до 18,0		ОКВ 16×8 мм	1000	2
от 18,0 до 20,0		ОКВ 11,0×5,5 мм		
от 20,0 до 26,5		ОКВ 11,0×5,5 мм	2000	1
от 26,5 до 40,0		ОКВ 7,2×3,4 мм		

10.1.4.9 Результаты измерений считать положительными, если значения КБ в диапазоне рабочих частот не превышают значений, указанных в таблице 9. В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

Таблица 9 – Пределы значений КБ

Поддиапазон частот, ГГц	Тип вспомогательной антенны	Тип антенны-зонда	Предел значений КБ, дБ
от 6,0 до 8,0	ТМА 6-40	ОКВ 35×15 мм	-45
от 8,0 до 12,0		ОКВ 23×10 мм	-50
от 12,0 до 18,0		ОКВ 16×8 мм	-50
от 18,0 до 20,0		ОКВ 16×8 мм	-50
от 20,0 до 26,5		ОКВ 11,0×5,5 мм	-53
от 26,5 до 40,0		ОКВ 7,2×3,4 мм	-53

10.1.5 Определение значений погрешности измерений КУ антенн (при доверительной вероятности 0,95)

10.1.5.1 Определение значений погрешности измерений КУ антенн (при доверительной вероятности 0,95) проводить на основе частных составляющих суммарной погрешности по формуле (8):

$$\delta G = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2 + \theta_4^2 + \theta_5^2 + \theta_6^2} \right), \quad (8)$$

где $\theta_1 = 10^{0,1 \Delta G} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений КУ измерительных антенн, определяемой в п. 10.2.3;

$\theta_2 = 10^{0,1 C_{20 \text{ дБ}}} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной инструментальной погрешностью приемного устройства $C_{20 \text{ дБ}}$ [дБ], определяемой в п. 10.2.1 для уровня минус 20 дБ;

$\theta_3 = \left[1 + 10^{-0,05 \text{ КБ}} \right]^2 - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной побочными переотражениями, определяемой в п.10.2.4;

θ_4 – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неравномерностью амплитудно-фазового распределения ЭМП из-за конечного расстояния между антеннами, принимаемая равной 0,05;

$\theta_5 = \left(\frac{КСВН - 1}{КСВН + 1} \right)^2$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ тракта эталонной антенны (где КСВН принимается равным 1,2, 1,5 и 2,0);

θ_6 – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неточной юстировкой, поляризационными потерями и другими факторами, принимаются равными 0,05.

10.1.5.2 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений КУ (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне рабочих частот, находятся в пределах, приведенных в таблице 1.1.

10.2 Определение погрешности измерений КУ антенн (при доверительной вероятности 0,95)

10.2.1 Определить инструментальную погрешность измерений КУ и АДН в соответствии с методикой, изложенной в п. 10.1.1.

Результаты измерений считать положительными, если значения инструментальной погрешности измерений КУ и АДН не превышают значений, указанных в таблице 7.

10.2.2 Определение погрешности измерений КУ измерительных антенн выполнить в соответствии с методикой, изложенной в п. 10.1.3.

Результаты измерений считать положительными, если значения погрешности измерений КУ измерительных антенн не превышают 0,5 дБ.

10.2.3 Определение коэффициента безэховости стенда выполнить в соответствии с методикой, изложенной в п. 10.1.4.

Результаты измерений считать положительными, если значения КБ в диапазоне рабочих частот не превышают значений, указанных в таблице 9.

10.2.4 Результаты периодической поверки считать положительными (значения погрешности измерений КУ (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне рабочих частот, находятся в пределах, приведенных в таблице 1.1), если результаты выполнения операций поверки согласно пп. 10.2.1-10.2.3 положительные.

10.3 Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН (при доверительной вероятности 0,95)

10.3.1 Проверить динамический диапазон измерений АДН.

10.3.1.1 На ОПУ ТМП 04В.020 установить антенну ТМА 6-40 Э. Подключить вход антенны к измерительному тракту. Поляризацию антенны установить согласованной с поляризацией вспомогательной антенны ТМА 6-40, установленной на ОПУ ТМП 01В.010.

10.3.1.2 ВАЦ установить в режим измерений коэффициента передачи (S_{21} или S_{12}) со следующими параметрами:

- диапазон частот и шаг по частоте – в соответствии с табл. 6;
- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 1 кГц;
- усреднения сигнала – отсутствуют.

10.3.1.3 Зафиксировать измеряемый коэффициент передачи $K_{АНТ}(f)$, дБ.

10.3.1.4 Отключить кабельную сборку приемного измерительного порта ВАЦ и установить на ее место согласованную нагрузку. Зафиксировать измеряемый коэффициент передачи $K_{ШУМ}(f)$, дБ.

10.3.1.5 Динамический диапазон измерений АДН антенных устройств рассчитать по формуле (9):

$$D_{АНТ}(f) = K_{АНТ}(f) - K_{ШУМ}(f) - 3, \text{ дБ.} \quad (9)$$

10.3.1.6 Результаты проверки считать положительными, если значения динамического диапазона в диапазоне рабочих частот составляют не менее 60 дБ. В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

10.3.2 Рассчитать значения систематических погрешностей измерений отношений уровней сигналов, обусловленную нелинейностью амплитудной характеристики $C_{хдБ}$ [дБ], определяемой в п.10.1.2.8, по формуле (2) для уровней $x = 5, 10, \dots, 50$ дБ (для уровней ДН

минус 5 дБ и минус 10 дБ принимается инструментальная погрешность для уровня минус 10 дБ, для уровней ДН минус 15 и минус 20 дБ – минус 20 дБ и так далее) (10):

$$\theta_H(nf) = 10^{0,1C_{\text{шв}}(nf)} - 1. \quad (10)$$

Рассчитать систематическую погрешность измерений из-за наличия побочных переотражений по формуле (11):

$$\theta_{KB} = \left[1 + 10^{-0,05(L-KB)} \right]^2 - 1, \quad (11)$$

где L – измеряемый уровень ДН, дБ;

KB – максимальное значение КБ для выбранного диапазона частот, определённое в п. 10.2.4.

Рассчитать доверительные границы ($p = 0,95$) случайной погрешности, обусловленной влиянием собственных шумов измерительной системы, по формуле (12):

$$\varepsilon = \left(1 + 10^{-0,05(L+SNR)} \right)^2 - 1, \quad (12)$$

где SNR – отношение сигнал/шум в направлении максимума ДН, связанное с динамическим диапазоном $D_{\text{АНТ}}(f)$ и принимаемое равным 60 дБ.

10.3.3 Погрешность измерений уровней АДН (в линейном масштабе) рассчитать в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 по формуле (13):

$$\delta_{\text{лин}} = \frac{\varepsilon + \theta_H + \theta_{KB}}{\varepsilon/2,56 + \frac{1}{\sqrt{3}}(\theta_H + \theta_{KB})} \sqrt{\frac{1}{3}(\theta_H + \theta_{KB})^2 + \frac{\varepsilon^2}{6,56}}. \quad (13)$$

Пересчитать пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН в логарифмический масштаб по формуле (14):

$$\delta_{\text{лог}} = \pm 10 \lg(1 + \delta_{\text{лин}}). \quad (14)$$

Пределы допускаемой погрешности измерений уровней ФДН рассчитать по формуле (15):

$$\delta_{\phi} = \pm \arctg(\sqrt{\delta_{\text{лин}}}). \quad (15)$$

10.3.4 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений уровней АДН и ФДН в диапазоне частот находятся в пределах, приведенных в таблице 1.2.

10.4 Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН (при доверительной вероятности 0,95)

10.4.1 Проверить результаты выполнения операций поверки, изложенных в п. 10.2.1
Результаты измерений считать положительными, если значения инструментальной погрешности измерений КУ и АДН не превышают значений, указанных в таблице 7.

10.4.2 Проверить результаты выполнения операций поверки, изложенных в п. 10.2.3
Результаты измерений считать положительными, если значения инструментальной погрешности измерений КУ и АДН не превышают значений, указанных в таблице 9.

10.4.3 Результаты периодической поверки считать положительными (значения погрешности измерений уровней АДН и ФДН (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне рабочих частот, находятся в пределах, приведенных в таблице 1.2), если результаты выполнения операций поверки согласно пп. 10.4.1 и 10.4.2 положительные.

10.5 Определение абсолютных погрешностей установки положений ОПУ ТМП 04В.020 по осям азимута, элевации и поляризации

10.5.1 Определение абсолютной погрешности установки угловых положений ОПУ ТМП 04В.020 проводить с помощью теодолита ТО-02 в соответствии с его РЭ. Определение действительных значений установки углового положения осуществляется с использованием теодолита ТО-02.

10.5.2 Установить ОПУ ТМП 04В.020 в положение по углу азимута 0 градусов 00 секунд.

10.5.3 Вращая ОПУ ТМП 04В.020 по азимуту в пределах от минус 90 до плюс 90 градусов с интервалом показаний 15 градусов (не более), для каждого углового положения зафиксировать показания теодолита ТО-02 в горизонтальной плоскости.

10.5.4 Для каждого углового положения вычислить с учетом знака абсолютную погрешность установки угла поворота ОПУ ТМП 04В.020 по формуле (16):

$$\Delta\alpha = \alpha_c - \alpha_m, \quad (16)$$

где α_c - угол, установленный на дисплее теодолита ТО-02, в градусах;

α_m - угол, измеренный теодолитом ТО-02, в градусах.

10.5.5 Повторить операции по пп. 10.5.2-10.5.4 два раза.

10.5.6 Для каждого углового положения вычислить среднее арифметическое значение по трем измерениям абсолютной погрешности установки угла поворота ОПУ ТМП 04В.020.

10.5.7 Повторить операции по пп. 10.5.1-10.5.6 при вращении ОПУ ТМП 04В.020 по оси элевации (углу места) и угла крена (поляризации).

10.5.8 Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности установки углового положения ОПУ ТМП 04В.020 по осям азимута, элевации (углу места) и углу крена (поляризации) находятся в пределах $\pm 0,05$ градуса.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

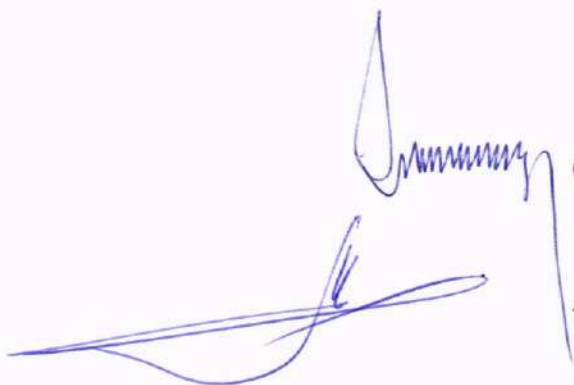
11.1 Стенд признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

11.2 Результаты поверки стенда подтверждаются сведениями о результатах поверки средств измерений, включенными в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. По заявлению владельца стенда или лица, представившего его на поверку, на стенд наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке стенда, и (или) в паспорт стенда вносится запись о проведенной поверке, заверяемая подписью поверителя и знаком поверки, с указанием даты поверки, или выдается извещение о непригодности к применению стенда.

11.3 При проведении поверки стенда на меньшем числе поддиапазонов измерений по частоте, соответствующая запись должна быть сделана в протоколе поверки и эксплуатационных документах.

Начальник НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Заместитель начальника НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



O.V. Каминский

A.V. Титаренко