

СОГЛАСОВАНО

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



М.п.

 А.Н. Щипунов

«  »  2026 г.

Государственная система обеспечения единства измерений
Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный
ТМСАК 1.0-12.0/ГСП 085-1

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 134-26-02

пгт. Менделеево
2026 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 И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ.....	11
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	18

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСАК 1.0-12.0/ГСП 085-1 (заводской номер 085-1) (далее – комплекс), 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 комплекс до ввода в эксплуатацию. Периодической поверке подлежит комплекс, находящийся в эксплуатации, на хранении и после ремонта.

1.3 При проведении поверки обеспечивается прослеживаемость поверяемого комплекса 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 и к Государственному первичному эталону единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах ГЭТ 75-2023 в соответствии с Локальной поверочной схемой для измерительных антенн в диапазоне значений от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц ЛПС-134-2023, утвержденной 1 августа 2023 г. ФГУП «ВНИИФТРИ».

1.4 Поверка комплекса 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, эксплуатационной документацией на комплекс и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых измерений.

1.6 Комплекс предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенн в диапазоне частот от 1 до 12 ГГц в ближней зоне методом планарного сканирования.

1.7 В результате поверки комплекса должны быть подтверждены следующие метрологические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон рабочих частот, ГГц	от 1 до 12
Доверительные границы относительной погрешности измерений уровней амплитудных диаграмм направленности (далее – АДН) при доверительной вероятности 0,95 на уровнях, дБ: - в диапазоне углов от минус 40° до плюс 40°: -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ	 ±0,5 ±1,2 ±3,3 ±4,4

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
- в диапазоне углов от минус 65° до минус 40° и от плюс 40° до плюс 65°: -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ	±0,5 ±1,2 ±3,3 ±5,0
Доверительные границы абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм направленности (далее – ФДН) при доверительной вероятности 0,95 при относительных уровнях АДН, градус: - в диапазоне углов от минус 40° до плюс 40°: -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ	±3 ±9 ±25 ±33
- в диапазоне углов от минус 65° до минус 40° и от плюс 40° до плюс 65°: -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ	±3 ±9 ±25 ±42
Доверительные границы относительной погрешности измерений коэффициента усиления (далее – КУ) антенн при доверительной вероятности 0,95, дБ	±2,0

2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки комплекса 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 (далее – ПО) средства измерений	Да	Да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	9
Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95 в диапазоне рабочих частот	Да	Да	10.1

Продолжение таблицы 1

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 погрешности измерений КУ антенн при доверительной вероятности 0,95	Да	Да	10.2
Оформление результатов поверки	Да	Да	11

2.2 Допускается проведение поверки на меньшем числе поддиапазонов измерений по частоте, соответствующих рабочим диапазонам частот используемых антенн-зондов из состава комплекса.

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

2.4 Обработку результатов измерений проводить с использованием программ Microsoft Excel, MatLab, Mathcad или других математических программных продуктов.

3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

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

Таблица 3 – Условия проведения поверки комплекса

Наименование параметра	Значение
Параметры электропитания от сети переменного тока: – напряжение, В – частота, Гц	от 198 до 242 от 49 до 51
Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность окружающего воздуха при температуре 20 °С, % – атмосферное давление, кПа	от +15 до +25 не более 80 от 84 до 106

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 документом «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный (АИВК) ТМСАК 1.0-12.0/ГСП 085-1 зав. № 085-1 Руководство по эксплуатации ТМСА 1.0-12.0 Б 085-1 РЭ» (далее – РЭ).

5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

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

Таблица 4 – Средства измерений и вспомогательное оборудование для поверки комплекса

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 207 до 253 В, с относительной погрешностью ± 1 %. СИ частоты питающей сети в диапазоне от 49 до 51 Гц с абсолютной погрешностью не более 0,5 Гц.	Измерители влажности и температуры ИВТМ-7 М (исполнение ИВТМ-7 М 2-Д-В) рег.№ ¹⁾ 71394-18. Мультиметры цифровые Testo 760-2, рег.№ ¹⁾ 65373-16.
9.3 Опробование	СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 3,95 до 5,85 ГГц; КСВН – не более 1,5; КУ – не менее 19 дБ; ПГ – не более $\pm 0,8$ дБ. СИ ККО в диапазоне частот от 1 до 12 ГГц; диапазон измерений ККО от 0 до 1; ПГ – не более 5%.	Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/1 рег.№ ¹⁾ 79450-20 (далее – П6-139/1). Анализатор цепей векторный N5222A рег.№ ¹⁾ 53568-13 (далее – ВАЦ).
10.1 Определение погрешности измерений относительных уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95 в диапазоне рабочих частот	Эталон единиц комплексных коэффициентов передачи в диапазоне от 0 до минус 60 дБ и комплексных коэффициентов отражений в диапазоне от 0,002 до 1 в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц, соответствующий требованиям к эталонам не ниже вторичного эталона в соответствии с приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.	Государственный вторичный эталон единиц комплексных коэффициентов передачи в диапазоне от 0 до минус 60 дБ и комплексных коэффициентов отражений в диапазоне от 0,05 до 65 ГГц, рег. № 2.1. ZZT.0210.2015 (далее – ГВЭ ККП и ККО).

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 ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц; КСВН – не более 2,0; КУ – не менее 14 дБ; ПГ – не более $\pm 0,6$ дБ. СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц; КСВН – не более 2,0; КУ – не менее 12 дБ; ПГ – не более $\pm 0,6$ дБ. СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 3,95 до 5,85 ГГц; КСВН – не более 1,5; КУ – не менее 19 дБ; ПГ – не более 0,8 дБ. СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 5,85 до 8,20 ГГц; КСВН – не более 1,5; КУ – не менее 21 дБ; ПГ – не более 0,8 дБ. СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 ГГц; КСВН – не более 1,5; КУ – не менее 22 дБ; ПГ – не более 0,8 дБ. СИ ППЭ ЭМП в диапазоне частот от 0,45 до 6,0 ГГц; КСВН – не более 2,0; КУ – от 1,0 до 19,0 23 дБ; ПГ – не более $\pm 1,5$ дБ. СИ расстояний в диапазоне измерений от 1 до 60 м, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений расстояний ± 10 мкм; горизонтальных углов в диапазоне 360°, вертикальных углов $\pm 145^\circ$, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения горизонтальных и вертикальных углов $\pm (15+6L)$, где L – измеряемая длина в м.	Антенна измерительная рупорная П6-225/1 (рег.№1) 88090-23), (далее – П6-225/1). Антенна измерительная рупорная П6-225/2 (рег.№1) 88090-23), (далее – П6-225/2). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/1 рег.№¹⁾ 79450-20 (далее – П6-139/1). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/2 рег.№¹⁾ 79450-20 (далее – П6-139/2). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/3 рег.№¹⁾ 79450-20 (далее – П6-139/3). Антенна широкополосная измерительная рупорная П6-421 рег.№¹⁾ 82813-21 (далее – П6-421). Системы лазерные координатно-измерительные Leica Absolute Tracker AT930 рег.№¹⁾ 60403-15 (далее – Leica Tracker).
10.2 Определение погрешности измерений КУ при доверительной вероятности 0,95	СИ (эталон) воспроизведения плотности потока энергии электромагнитного поля с коэффициентом усиления от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц. Пределы допускаемой погрешности измерения коэффициента усиления антенн до $\pm 0,25$ дБ.	Государственный эталон единицы КУ измерительных антенн в диапазоне значений от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц (3.1.ZZT.0437.2023), (далее – ГЭТ КУ).

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Примечание – ¹⁾ Регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ).		

5.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, обеспечивающие проверку метрологических характеристик поверяемого комплекса с требуемой точностью.

5.3 Средства измерений (эталонны) 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 комплекса 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 комплекса проверить:

- комплектность, маркировку и пломбировку комплекса путем сличения с данными, приведенными в документе «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный (АИВК) ТМСАК 1.0-12.0/ГСП 085-1 зав. № 085-1 Паспорт ТМСАК 1.0-12.0/ГСП 085-1 ПС» (далее – ПС). Допускается замена неисправных автономных измерительных блоков, в том числе представленных аналогичными СИ утвержденного типа;

- отсутствие видимых механических повреждений составных частей комплекса, влияющих на его нормальную работу;

- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок;

- наружную поверхность элементов комплекса, в том числе управляющих и питающих кабелей;

- состояние органов управления.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность, маркировка и пломбировка комплекса соответствуют ПС;

- составные части комплекса не имеют механических и электрических повреждений, влияющих на их нормальную работу;

- управляющие и питающие кабели не имеют механических и электрических повреждений;

- органы управления исправны;

- отсутствуют повреждения лакокрасочных покрытий, маркировка четкая;

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

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

8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Порядок просмотра версии ПО «FrequencyMeas»:

- запустить программу «FrequencyMeas»;
- вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши по заголовку окна программы;
- выбрать пункт «About FrequencyMeas»;
- в появившемся информационном окне будет отображено наименование программы и ее версия;
- для закрытия окна нажать кнопку «ОК».

8.2 Порядок просмотра версии ПО «NFCalc»:

- запустить программу «NFCalc»;
- вызвать контекстное меню щелчком правой кнопки мыши по заголовку окна программы;
- выбрать пункт «О программе...»;
- в появившемся информационном окне будет отображено наименование программы и ее версия;
- для закрытия окна нажать кнопку «ОК».

8.3 Порядок просмотра версии ПО «AMRView»:

- запустить программу «AMRView»;
- в главном меню программы раскрыть раздел «Помощь»;
- выбрать пункт «О программе»;
- в появившемся информационном окне будет отображено наименование программы и ее версия;
- для закрытия окна нажать кнопку «ОК».

8.4 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		
	FrequencyMeas	NFCalc	AMRView
Идентификационное наименование ПО			
Номер версии (идентификационный номер) ПО	8.0.11.2023	3.20.1	3.16.151112
Цифровой идентификатор ПО	–	–	–

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. Последующие операции поверки проводить после установления в помещении, в котором будет выполняться поверка, условий, соответствующих таблице 3.

9.3 Опробование

9.3.1 Проверить наличие актуальных сведений о пригодности ВАЦ и генератора сигналов N5183A (далее – генератор) из состава комплекса в ФИФ ОЕИ. До окончания срока действия поверки должно оставаться не менее половины назначенных межповерочных интервалов.

9.3.2 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

9.3.3 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке ПО.

9.3.4 Проверить работоспособность всех приводов 6-ти координатного (X, Y, Z, Θ , ϕ , R) прецизионного горизонтального сканера (далее – сканер) при перемещении по всем осям.

9.3.5 Соединить при помощи СВЧ-перехода соединитель кабеля «вход антенны-зонда» и соединитель кабеля «вход испытываемой антенны». В соответствии с эксплуатационной документацией подготовить ВАЦ из состава комплекса для измерений модуля комплексного коэффициента передачи со следующими настройками:

- полоса анализа от 1 до 12 ГГц (допускается разбивать на поддиапазоны частот);
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного сигнала минус 10 дБ (отн. 1 мВт).

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

9.3.6 Установить в рабочую зону комплекса антенну П6-139/1. На сканер установить антенну-зонд ТМАЗ 4-8 И на согласованной поляризации.

9.3.7 Подключить СВЧ-кабели к антенне П6-139/1 и зонду в соответствии с РЭ. Настроить комплекс и провести измерение диаграммы направленности на центральной рабочей частоте антенны.

9.3.8 Результаты проверки работоспособности считать положительными, если:

- при загрузке ПО сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;
- все приводы сканера работоспособны;
- на экране наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений;

- диаграмма направленности сформирована на заданной частоте.

Примечание:

1 В качестве антенны допускается использовать любую антенну, работающую в частотном диапазоне комплекса и включенную в ФИФ ОЕИ.

2 Антенна-зонд должна соответствовать частотному диапазону применяемой антенны.

9.3.9 Результаты опробования считать положительными, если:

– в ФИФ ОЕИ имеются актуальные сведения о пригодности ВАЦ и генератора из состава комплекса, до окончания сроков действия проверок не менее половины назначенных межповерочных интервалов;

– при загрузке ПО сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;

– все приводы сканера работоспособны и обеспечивают перемещение антенны-зонда по всей зоне сканирования 13×13 м и всем осям;

– на экране наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений;

– получены корректные результаты измерений АДН антенны.

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

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Определение погрешности измерений АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95

10.1.1 Определение коэффициента стоячей волны по напряжению входа антенн-зондов (далее – КСВН зонда).

10.1.1.1 Определение КСВН зонда проводить относительно волнового сопротивления 50 Ом. Измерение КСВН зонда проводить с применением ВАЦ в соответствии с руководством по его эксплуатации.

10.1.1.2 Подготовить ВАЦ для работы в соответствии с РЭ.

10.1.1.3 Измерения проводить в режиме панорамного обзора на частотах:

- антенна-зонд ТМАЗ 1-2 И от 1 до 2 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- антенна-зонд ТМАЗ 2-4 И от 2 до 4 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- антенна-зонд ТМАЗ 4-8 И от 4 до 8 ГГц включ. с шагом не более 20 МГц;
- антенна-зонд ТМАЗ 8-18 И от 8 до 12 ГГц включ. с шагом не более 50 МГц.

10.1.1.4 При измерении КСВН зонда, антенну-зонд ориентировать в сторону, свободную от отражающих предметов и на удалении от них не менее 3 м.

10.1.1.5 Включить ВАЦ. Выходную мощность сигнала установить равную минус 10 дБ (отн. 1 мВт).

В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ выполнить калибровку по выходу СВЧ кабельной сборки, используемой для подключения антенн, в частотном диапазоне, который будет использоваться в соответствии с п. 10.1.1.3.

Подключить испытываемую антенну-зонд к порту 1 ВАЦ с помощью СВЧ кабельной сборки. Кнопкой «Meas» выбрать режим измерений «S₁₁», формат измерений «Format» – измерение КСВН, в зоне «Scale» масштаб измерений «Autoscale All».

Результаты измерений зафиксировать.

10.1.1.6 Результаты определения считать положительными, если значения КСВН зондов в диапазоне рабочих частот не превышают 1,7.

В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

10.1.2 Определение погрешности измерений относительных уровней АДН осуществить путем последовательных измерений АДН антенн П6-225/1, П6-225/2, П6-139/1, П6-139/2, П6-139/3 в безэховой камере с коэффициентом безэховости не хуже минус 40 дБ с соблюдением условий дальней зоны и на испытываемом комплексе на контрольных частотах 1,0; 3,0; 4,0; 8,0; 12,0 ГГц.

Примечание – Допускается проводить измерения опорных АДН в поле зеркала коллиматора с неравномерностью по амплитуде не более 0,6 дБ в рабочей зоне размером 1×1 м.

10.1.2.1 Измерение опорных АДН в дальней зоне.

10.1.2.1.1 Измерения проводить в БЭК. В зоне измерений не допускается нахождение предметов, имеющих отражающие металлические поверхности, незакрытые радиопоглощающими материалами.

10.1.2.1.2 Установить на ОПУ антенну П6-225/1 в положение, соответствующее вертикальной поляризации.

10.1.2.1.3 Установить на вспомогательное ОПУ вспомогательную антенну П6-421. Поляризацию вспомогательной антенны установить согласованной с поляризацией измеряемой антенны. Расстояние между антеннами R должно соответствовать условию, определяемому формулой (1):

$$R \geq \frac{2(D_1 + D_2)^2}{\lambda}, \quad (1)$$

где R – расстояние между раскрывами антенн, см;

D_1 и D_2 – наибольшие размеры апертур вспомогательной и измеряемой антенн, см;

λ – минимальная длина волны в диапазоне измерений, см.

10.1.2.1.4 Подключить выходы антенн с использованием фазостабильных кабельных сборок к измерительным портам ВАЦ.

10.1.2.1.5 Совместить раскрывы антенны П6-225/1 и вспомогательной антенны П6-421. Абсолютная погрешность установки не должна превышать $\pm 0,5$ градуса по азимуту и элевации, $\pm 0,1$ градуса по поляризации.

10.1.2.1.6 Установить настройки ВАЦ в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Параметры измерений при проверке динамического диапазона

Тип измеряемой антенны	Тип вспомогательной антенны	Поддиапазон частот ¹⁾ , ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
П6-225/1	П6-421	от 1,0 до 2,0	1
П6-225/2	П6-421	от 2,0 до 4,0	1
П6-139/1	П6-139/1	от 3,95 до 5,85	10
П6-139/2	П6-139/2	от 5,85 до 8,20	10
П6-139/3	П6-139/3	от 8,2 до 12,0	10

Примечание – ¹⁾ Установить поддиапазон частот, соответствующий рабочему диапазону частот применяемых антенн

10.1.2.1.7 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) – 500 Гц;
- усреднения сигнала – отсутствуют.

10.1.2.1.8 Зафиксировать измеряемый коэффициент передачи $K_{\text{АНТ}}(f)$, дБ.

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

10.1.2.1.10 Динамический диапазон измерений АДН антенных устройств определить по формуле (2):

$$D_{\text{АНТ}}(f) = K_{\text{АНТ}}(f) - K_{\text{шум}}(f) - 3, \text{ дБ.} \quad (2)$$

10.1.2.1.11 В случае если измеряемый динамический диапазон составляет не менее 60 дБ, то перейти к выполнению следующего пункта. В противном случае, добиться обеспечения требуемого значения динамического диапазона путём уменьшения ширины полосы фильтра промежуточной частоты (далее – ПЧ).

10.1.2.1.12 Установить измеряемую антенну по азимуту в начальное положение. Последовательно перемещая антенну по азимуту от начального положения до конечного, провести измерение комплексного коэффициента передачи $\dot{S}(\theta, f)$ со следующими настройками:

- плоскость сканирования – горизонтальная;
- начальное положение по азимуту минус 65 градусов;
- конечное положение по азимуту 65 градусов;
- шаг сканирования по азимуту θ 0,5 градуса (не более).

10.1.2.1.13 Провести фильтрацию результатов измерений по формуле (3):

$$\dot{S}_{\text{фил}}(\theta, f) = 20 \lg(F^{+1}\{F^{-1}\{\dot{S}(\theta, f)\}w(t)\}), \quad (3)$$

где $\dot{S}_{\text{фил}}(\theta, f)$ – сигнал после фильтрации;

$F^{+1}\{\dots\}$ и $F^{-1}\{\dots\}$ – обозначение прямого и обратного дискретного преобразования Фурье, соответственно;

$w(t)$ – функция окна во временной области.

10.1.2.1.14 Нормировать АДН к максимуму по формуле (4):

$$A_{\text{ДЗ норм}}(\theta, f) = |\dot{S}_{\text{фил}}(\theta, f)| - \max(f), \quad (4)$$

где $\max(f)$ – максимум АДН на каждой частоте.

10.1.2.1.15 Повторить пп. 10.1.2.1.12 – 10.1.2.1.14 для вертикальной плоскости сканирования.

10.1.2.1.16 Повторить пп. 10.1.2.1.1 – 10.1.2.1.15 для оставшихся пар антенн в соответствии с таблицей 6.

10.1.2.2 Измерение АДН в ближней зоне.

10.1.2.2.1 Установить антенну в соответствии с таблицей 7 в рабочую зону комплекса, в положение, соответствующее горизонтальной поляризации, таким образом, чтобы плоскость раскрытия была параллельно плоскости сканирования. Абсолютная погрешность установки антенны не должна превышать $\pm 0,5$ градуса по азимуту и элевации, $\pm 0,2$ градуса по поляризации.

Таблица 7 – Параметры измерений при проверке АДН

Контрольные частоты, ГГц	Тип измеряемой антенны	Антенна зонд	Поддиапазон частот, ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
1,0	П6-225/1	ТМАЗ 1-2	от 1,0 до 2,0	100
3,0	П6-225/2	ТМАЗ 2-4	от 2,0 до 4,0	100
4,0	П6-139/1	ТМАЗ 4-8	от 3,95 до 5,85	100
8,0	П6-139/2	ТМАЗ 4-8	от 5,85 до 8,20	100
12,0	П6-139/3	ТМАЗ 8-18	от 8,2 до 12,0	100

В соответствии с РЭ настроить измерение на контрольных частотах в соответствии с таблицей 6. Ширину полосы пропускания установить равной 100 Гц, уровень мощности выходного сигнала анализатора максимальный (без компрессии).

Далее установить следующие настройки:

- шаг сканирования – не более $\lambda/3$;
- режим сканирования – непрерывное сканирование без реверса;
- поляризация измеряемой антенны – горизонтальная;
- поляризация зонда – горизонтальная;
- учет зонда – включен;
- размеры области сканирования – определить из условия уменьшения уровня амплитудного распределения на границе области на 40 дБ относительно максимума.

10.1.2.2.2 Запустить измерение АДН антенн.

10.1.2.2.3 С использованием ПО определить нормированные (через «ноль») АДН для Е (плоскость, содержащая вектор электрического поля) и Н (плоскость, содержащая вектор магнитного поля) сечений измеряемой антенны на контрольных частотах в соответствии с таблицей 7.

10.1.2.2.4 Повторить пункты с п. 10.1.2.2.1 по п. 10.1.2.2.3 для оставшихся антенн и контрольных частот, в соответствии с таблицей 6.

10.1.2.3 Определение погрешностей измерений.

10.1.2.3.1 Определить эквивалентный уровень помех по формуле (5):

$$EUP(\theta, f) = 20 \lg \left(\frac{d(\theta, f) - 1}{d(\theta, f) + 1} \right) + A_{дз}(\theta, f), \quad (5)$$

где

$$d(\theta, f) = 10^{\frac{D(\theta, f)}{20}}, \quad (6)$$

$$D(\theta, f) = |A_{дз}(\theta, f) - A_{бз}(\theta, f)|, \quad (7)$$

где $A_{БЗ}(\theta, f)$, $A_{ДЗ}(\theta, f)$ – результаты измерений АДН в ближней и дальней зонах соответственно, дБ, θ – угол от минус 65 до 65 градусов, f – частота, ГГц.

10.1.2.3.2 Определить среднеквадратическое значение эквивалентного уровня помех на контролируемой частоте по формуле (8):

$$EUP_{\theta}^{DN} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{\theta} 10^{\frac{EUP(\theta, f)}{10}} \right), \quad (8)$$

где N – количество угловых отсчётов по θ .

10.1.2.3.3 Определить частную составляющую доверительных границ погрешности измерений по формуле (9) для каждого значения L из таблицы 8:

$$\theta_{A1} = \left(1 + 10^{\frac{L - (EUP_{\theta}^{DN} + 3)}{20}} \right)^2 - 1, \quad (9)$$

где L – уровень измеряемой АДН (таблица 8), дБ.

10.1.2.3.4 Подготовить комплекс к измерению характеристик антенн в ближней зоне в соответствии с РЭ.

10.1.2.3.5 Подготовить Leica Tracker к измерению в соответствии с эксплуатационной документацией на неё, в режиме измерения через равные промежутки по перемещению. С помощью АРМ задать длину перемещения не более 10 см.

10.1.2.3.6 Оптический отражатель из состава Leica Tracker закрепить на оси Z сканера в месте установки антенны-зонда.

10.1.2.3.7 В соответствии с РЭ на комплекс настроить и запустить измерения в максимально большой зоне сканирования.

10.1.2.3.8 Запустить измерения Leica Tracker.

10.1.2.3.9 После окончания измерений, используя ПО Leica Tracker экспортировать отклонения от плоскости по оси Z $dz(x, y)$ (где Z – ось, нормаль к плоскости сканирования).

10.1.2.3.10 Определить отклонения фазовых распределений в комплексном виде по формуле (10):

$$AFR(x, y) = e^{j \frac{2\pi f}{c} dz(x, y)}. \quad (10)$$

10.1.2.3.11 Определить опорное значение фазового распределения по формуле (11):

$$AFR^o(x, y) = e^{j \cdot 0}. \quad (11)$$

10.1.2.3.12 Определить искажённые сечения диаграммы направленности (далее – ДН) и опорные сечения ДН в угломестной плоскости для значений x :

$$S_{nx}(k_y) = \text{fft}(AFR(y)) \quad \text{var} \rightarrow x, \quad (12)$$

$$S_{nx}^o(k_y) = \text{fft}(AFR^o(y)) \quad \text{var} \rightarrow x, \quad (13)$$

$$k_y = \frac{2\pi f}{c} \sin(E), \quad (14)$$

$$S_{nx}(k_y) \rightarrow S_{nx}(E), \quad (15)$$

где E - угол места.

10.1.2.3.13 Определить искажённые сечения ДН и опорные сечения ДН в азимутальной плоскости значений y :

$$S_{ny}(k_x) = \text{fft}(AFR(x)) \quad \text{var} \rightarrow y, \quad (16)$$

$$S_{ny}^o(k_x) = \text{fft}(AFR^o(x)) \quad \text{var} \rightarrow y, \quad (17)$$

$$k_x = \frac{2\pi f}{c} \sin(A), \quad (18)$$

$$S_{ny}(k_x) \rightarrow S_{ny}(A), \quad (19)$$

где A - угол азимута.

10.1.2.3.14 Определить эквивалентный уровень помех по формулам (20) и (21):

$$EUP^Z(A) = 20 \lg \left(\frac{d(A) - 1}{d(A) + 1} \right) + S_{ny}^o(A), \quad (20)$$

$$EUP^Z(E) = 20 \lg \left(\frac{d(E) - 1}{d(E) + 1} \right) + S_{nx}^o(E), \quad (21)$$

где

$$d(A) = 10^{\frac{D(A)}{20}}, \quad (22)$$

$$d(E) = 10^{\frac{D(E)}{20}}, \quad (23)$$

$$D(A) = |S_{ny}(A) - S_{ny}^o(A)|, \quad (24)$$

$$D(E) = |S_{nx}(E) - S_{nx}^o(E)|. \quad (25)$$

10.1.2.3.15 Определить максимальное значение эквивалентного уровня помех в контролируемом диапазоне по формуле (26):

$$EUP^Z = 10 \lg \left(\frac{1}{2} \left(\frac{1}{N_A} \sum_A 10^{\frac{EUP^Z(A)}{10}} + \frac{1}{N_E} \sum_E 10^{\frac{EUP^Z(E)}{10}} \right) \right), \quad (26)$$

где N_A – количество отсчетов по углу азимута, N_E – количество отсчетов по углу места.

10.1.2.3.16 Определить частную составляющую погрешности измерений по формуле (27):

$$\theta_{A2} = \left(1 + 10^{\frac{L - (EUP^Z + 3)}{20}} \right)^2 - 1, \quad (27)$$

где L – уровень измеряемой АДН (таблица 8), дБ

10.1.2.3.17 Доверительные границы погрешности измерений относительных уровней АДН $\delta_{\text{АДН}}$, дБ определить по формуле (28):

$$\delta_{\text{АДН}} = \theta_{\text{А1}} + \theta_{\text{А2}}. \quad (28)$$

$$\delta_{\text{АДН[дБ]}} = \pm 10 \lg(1 + \delta_{\text{АДН}}).$$

10.1.2.3.18 Погрешность измерений ФДН $\delta_{\text{ФДН}}$, градус определить по формуле (29):

$$\delta_{\text{ФДН}} = \pm \arctg(\sqrt{\delta_{\text{АДН}}}). \quad (29)$$

10.1.2.4 Результаты определения считать положительными, если значения погрешности измерений уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95 находятся в пределах, приведенных в таблице 1.

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

10.2.1 Определить действительные значения КУ антенн $G_3(f)$, перечисленных в таблице 6 с применением ГЭТ КУ в соответствии с «Правилами содержания и применения» ГЭТ КУ.

Погрешность измерений действительных значений КУ должно быть не более значений приведённых в таблице 8.

Таблица 8 – Погрешность измерений действительных значений КУ антенн

Диапазон частот, ГГц	Значения КУ, дБ	Погрешность измерения КУ, дБ, не более
1,0 – 2,0	1,0 – 30,0	$\pm 1,2$
2,0 – 4,0		$\pm 0,9$
4,0 – 8,0		$\pm 0,25$
8,0 – 12,0		$\pm 0,25$

10.2.2 В соответствии с РЭ рассчитать КУ $G_{\text{и}}(f)$ для измерений, проведённых по п. 10.1.2.2 в поддиапазонах частот и с шагом по частоте указанных в таблице 7.

10.2.3 Определить частную составляющую погрешности измерений КУ антенн, измеренных комплексом, по формуле (30):

$$\delta_{3[\text{дБ}]} = \max(|G_3(f) - G_{\text{и}}(f)|), \quad (30)$$

$$\delta_3 = 10^{(0,1 \cdot \delta_{3[\text{дБ}]})} - 1.$$

10.2.4 Погрешность измерений КУ антенн определить расчетным путем при использовании результатов измерений, полученных в п. 10.1 настоящей программы.

Погрешность измерений КУ δ , дБ, определить по формуле (31):

$$\delta = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} \right), \quad (31)$$

где $\delta_1 = 10^{(0.1 \cdot \delta_A)} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений АДН, определяемой из п. 10.1 для уровня минус 10 дБ;

$\delta_2 = \left(\frac{K_{СВН}-1}{K_{СВН}+1} \right)^2$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ тракта;

δ_3 – погрешность измерений КУ антенн, рассчитанная по формуле (30).

10.2.5 Результаты определения считать положительными, если значения погрешности измерений КУ антенн при доверительной вероятности 0,95 находятся в пределах, приведенных в таблице 1.

11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

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

11.3 Протокол поверки оформляется только по заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку.

Начальник НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник лаб. № 134 НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский
М.А. Озеров