

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

2024 г.

МП 133-24-02

р.п. Менделеево
2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	5
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	5
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫМ ПОВЕРКУ	6
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ....	6
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	11
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	11
8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	12
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	12
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ..	13
11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	25
12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	26

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-18.0 Б109 (заводской №109) (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 и после ремонта. Периодической поверке подлежит комплекс, находящийся в эксплуатации и на хранении.

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена 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, утверждённой Приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.

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 и 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 антенных устройств и систем.

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 18
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенн, дБ, в диапазоне частот от 1 до 8 ГГц, при коэффициенте стоячей волны по напряжению испытываемой антенны, не более ¹⁾ :	
1,2	±0,9
1,5	±1,0
2,0	±1,2
2,5	±1,5
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенн, дБ, в диапазоне частот от 8 (включительно) до 18 ГГц, при коэффициенте стоячей волны по напряжению испытываемой антенны, не более ¹⁾ :	
1,2	±0,6
1,5	±0,7
2,0	±0,9
2,5	±1,1
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений АДН ²⁾ на относительном уровне минус 3 дБ, не более, дБ ^{1) 3)}	±0,2

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
<p>Пределы допускаемой относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) в диапазоне частот от 1,0 ГГц до 4,0 ГГц включительно, при относительных уровнях АДН, дБ ¹⁾:</p> <p>-10 дБ -15 дБ -20 дБ -25 дБ -30 дБ -35 дБ</p>	<p>±0,5 ±1,0 ±1,5 ±1,7 ±2,0 ±3,2</p>
<p>Пределы допускаемой относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) в диапазоне частот свыше 4,0 ГГц до 8,0 ГГц включительно, при относительных уровнях АДН, дБ ¹⁾:</p> <p>-10 дБ -15 дБ -20 дБ -25 дБ -30 дБ -35 дБ -40 дБ</p>	<p>±0,5 ±0,8 ±1,0 ±1,5 ±2,0 ±2,5 ±3,2</p>
<p>Пределы допускаемой относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) в диапазоне частот свыше 8,0 ГГц до 12,0 ГГц включительно, при относительных уровнях АДН, дБ ¹⁾:</p> <p>-10 дБ -15 дБ -20 дБ -25 дБ -30 дБ -35 дБ -40 дБ -45 дБ</p>	<p>±0,5 ±0,8 ±1,0 ±1,2 ±1,5 ±1,8 ±2,5 ±3,3</p>
<p>Пределы допускаемой относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) в диапазоне частот свыше 12 ГГц до 18 ГГц включительно, при относительных уровнях АДН, дБ ¹⁾:</p> <p>-10 дБ -15 дБ -20 дБ -25 дБ -30 дБ -35 дБ -40 дБ -45 дБ</p>	<p>±0,5 ±0,8 ±1,0 ±1,2 ±1,5 ±2,0 ±2,6 ±3,6</p>

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z, мм	$\pm 0,5$
¹⁾ Для антенн с коэффициентом усиления не менее 15 дБ. ²⁾ АДН-Амплитудная диаграмма направленности. ³⁾ На согласованной поляризации антенны.	

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 средства измерений	Да	Да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	9
Определение относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН	Да	Да	10.1
Определение относительной погрешности измерений КУ антенн	Да	Да	10.2
Определение диапазона рабочих частот	Да	Да	10.3
Определение абсолютной погрешности позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z	Да	Да	10.4

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.

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 207 до 253 от 49 до 51
Условия эксплуатации: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность окружающего воздуха при температуре 20 °С, %, не более – атмосферное давление, кПа	от +15 до +25 80 от 84,0 до 106,7

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫМ 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:

«Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-18.0 Б 109. Руководство по эксплуатации. ТМСА 109. 018. 00Б РЭ. Книга 1» (далее – РЭ книга 1)

«Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-18.0 Б 109. Руководство по эксплуатации. ТМСА 109. 018. 00Б РЭ. Книга 2. Программное обеспечение измерений РТХ антенн» (далее – РЭ книга 2).

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, модель М5-Д рег. № 71394-18*. Мультиметры цифровые Testo 760-2, рег. № 65373-16*.

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.3 Опробование	СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	Антенна измерительная рупорная П6-225/1 рег. №88090-23* (далее- П6-225/1)
	СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	Антенна измерительная рупорная П6-225/2 рег. №88090-23* (далее- П6-225/2)
	СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/3 рег. №79450-20*, (далее- П6-139/3)
	СИ для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 12,4 до 18 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/4 рег. №79450-20* (далее- П6-139/4)
10.1 Определение относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН	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 2 разряда 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 0,002 до 1 в диапазоне частот от 0,05 до 65 ГГц, рег. № 2.1. ZZT.0210.2015*. (далее- ГВЭ ККП и ККО)
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-225/1

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 плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-225/2
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-139/3
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 12,4 до 18 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-139/4
	СИ расстояний абсолютным дальномером в диапазоне измерений от 1,5 до 60 м, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности объемных $\pm (15 + 6L)$ мкм, где L измеряемая длина в метрах.	Система лазерная координатно-измерительная Leica Absolute Tracker AT401 рег. № 48561-11*
	Вспомогательное оборудование безэховая экранированная камера (БЭК) с диапазоном частот от 300 МГц до 18 ГГц, с габаритными размерами (не менее): длина 12 м; высота 6 м; ширина 6 м.	Безэховая экранированная камера (далее-БЭК),
	Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 1 до 4 ГГц.	Антенна измерительная рупорная П6-421.
	Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 8,2 до 12,4 ГГц.	П6-139/3
	Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 12,4 до 18 ГГц.	П6-139/4
	Вспомогательное оборудование для установки излучающей антенны.	Вспомогательное опорно-поворотное устройство для установки излучающей антенны (далее-вспомогательное ОПУ).

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Вспомогательное оборудование для установки измеряемой антенны с диапазоном перемещения по верхнему слайдеру от 0 до 1 м, диапазоном вращения установленной антенны по азимуту $\pm 90^\circ$, диапазоном вращения установленной антенны по элевации $\pm 10^\circ$, диапазоном вращения установленной антенны по поляризации $\pm 180^\circ$, отклонение установки приращения угла поворота установленной антенны по азимуту, элевации и поляризации не более $\pm 0,05^\circ$	Опорно-поворотное устройство для установки измеряемой антенны (далее-ОПУ)
10.2 Определение относительной погрешности измерений КУ	<p>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 2 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 16 августа 2023 г. № 1678.</p> <p>Эталон воспроизведения плотности потока энергии электромагнитного поля с коэффициентом усиления от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц. Пределы допускаемой погрешности измерения коэффициента усиления антенн до $\pm 0,25$ дБ.</p> <p>СИ поглощаемой мощности СВЧ в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц с диапазоном измерений мощности от минус 70 до 23 дБ (отн. 1 мВт) и пределами допускаемой относительной погрешности измерения мощности $\pm 4,0\%$</p> <p>СИ для формирования СВЧ колебаний в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц с уровнем выходной мощности 5 дБ (отн. 1 мВт) и пределами допускаемой погрешности установки выходной мощности $\pm 1,2$ дБ</p>	<p>ГВЭ ККП и ККО</p> <p>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).</p> <p>Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP40S рег. № 64926-16*, (далее – ваттметр NRP40S).</p> <p>Генератор сигналов SMB100A с опцией B140 (рег. № 50188-12), (далее – генератор SMB100A).</p>

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 плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-225/1
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-225/2
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-139/3
	СИ плотности потока энергии электромагнитного поля в диапазоне частот от 12,4 до 18 ГГц с коэффициентом стоячей волны по напряжению не более 1,5.	П6-139/4
	СИ ослабления от 0 до минус 60 дБ в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц с погрешностью не более 3,0 дБ.	Аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, рег. № 60239-15* (далее – аттенюатор)
	СИ расстояний, диапазон измерений расстояния от 0,1 до 10 м, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений расстояния $\pm 3,0$ мм.	Дальномер лазерный Leica DISTO TM X310 рег. № 44938-10)*
	Вспомогательное оборудование с диапазоном перемещений по линейной оси не менее 4 м, допускаемое отклонение установки приращения расстояния ± 1 мм	Устройство перемещения антенн (далее – слайдер)
	Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 1 до 2 ГГц.	Антенна измерительная рупорная П6-421.
	Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 1 до 2 ГГц.	Антенна измерительная П6-160
	Вспомогательное оборудование БЭК с	БЭК

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	диапазоном частот от 300 МГц до 18 ГГц, с габаритными размерами (не менее): длина 12 м; высота 6 м; ширина 6 м.	
10.4 Определение абсолютной погрешности позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z	СИ расстояний абсолютным дальномером в диапазоне измерений от 1,5 до 60 м, пределы допускаемой основной абсолютной погрешности объемных $\pm (15 + 6L)$ мкм, где L измеряемая длина в метрах.	Система лазерная координатно-измерительная Leica Absolute Tracker AT401 рег. № 48561-11*
* – 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 комплекса 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 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 ТМСА 1.0-18.0 Б109. Паспорт. ТМСА 109. 018. 00Б 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;

- 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 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 на экране монитора ПК наблюдать иконки программ «MeasurementCenter», «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	
	MeasurementCenter	ProViLab
Идентификационное наименование ПО		
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.5.0.39	1.1.6
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 комплекс к работе в соответствии с документами РЭ Книга 1 и «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-18.0 Б 109. Руководство по эксплуатации. ТМСА 109. 018. 00Б РЭ. Книга 2. Программное обеспечение измерений РТХ антенн» (далее – РЭ книга 2).

9.3.2 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программных продуктов «MeasurementCenter» и «ProViLab».

9.3.3 Проверить работоспособность всех приводов четырехкоординатного (X, Y, Z, P) Т-сканера (далее – сканер):

- при установке угловых положений;
- при перемещении по слайдерам.

9.3.4 Соединить при помощи СВЧ-перехода соединитель кабеля «вход антенны-зонда» и соединитель кабеля «выход испытываемой антенны». В соответствии с эксплуатационной документацией подготовить к работе векторный анализатор электрических цепей R&S ZNA26 (далее – ВАЦ R&S ZNA26) из состава комплекса, перевести его в режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи. Установить следующие настройки ВАЦ:

- полоса анализа от 1 до 18 ГГц;
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (отн. 1 мВт).

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

9.3.5 Поочередно установить в рабочую зону комплекса антенны П6-225/1, П6-225/2, П6-139/3, П6-139/4, на сканер установить антенну-зонд, соответствующую диапазону частот измеряемой антенны на согласованной поляризации.

9.3.6 Подключить СВЧ-кабели к измеряемой антенне и зонду в соответствии с РЭ Книга 1. Настроить комплекс и провести измерение диаграмм направленности на центральной рабочей частоте антенн.

9.3.7 Результаты по проверке работоспособности считать положительными, если:

- при загрузке программных продуктов «MeasurementCenter» и «ProViLab» сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;
- все приводы сканера работоспособны;
- на экране анализатора наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений;
- диаграммы направленности сформированы на заданных частотах.

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

10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

10.1 Определение относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и относительной погрешности измерений максимумов боковых лепестков АДН

10.1.1 Определение относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и относительной погрешности измерений максимумов боковых лепестков АДН осуществить путем последовательных измерений меры АДН (антенн П6-225/1, П6-225/2, П6-139/3, П6-139/4) в безэховой камере с соблюдением условий дальней зоны и на испытываемом комплексе на контрольных частотах 1,0, 4,0, 8,2, 12,0, 18,0 ГГц.

10.1.2 Определение КСВН входа антенны.

10.1.2.1 Определение КСВН входа антенн проводить относительно волнового сопротивления 50 Ом. Измерение КСВН проводить с применением анализатора электрических цепей векторного (ВАЦ) в соответствии с руководством по его эксплуатации.

10.1.2.2 Подготовить ВАЦ ZVA67 из состава Государственного вторичного эталона 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 0,05 до 65 ГГц (2.1.ZZT.0210.2015) для работы в соответствии с РЭ.

10.1.2.3 Измерения проводить в режиме панорамного обзора на частотах:

- для П6-225/1 от 1,0 до 2,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;

- для П6-225/2 от 2,0 до 4,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-139/3 от 8,2 до 12,4 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц;
- для П6-139/4 от 12,4 до 18,0 ГГц включ. с шагом не более 10 МГц.

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

10.1.2.5 Включить ВАЦ ZVA67. Выходную мощность сигнала установить равную минус 10 дБ (отн. 1 мВт).

В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ ZVA67 выполнить калибровку по выходу СВЧ кабельной сборки, используемой для подключения антенн, в частотном диапазоне, который будет использоваться в соответствии с п. 10.1.2.3.

Подключить испытываемую антенну к порту 1 ВАЦ ZVA67 с помощью СВЧ кабельной сборки. Кнопкой «Meas» выбрать режим измерений «S11», формат измерений «Format» – измерение КСВН, в зоне «Scale» масштаб измерений «Autoscale All».

10.1.2.6 В соответствии с руководством по эксплуатации ВАЦ ZVA67 провести измерение КСВН.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.1.2.7 Результаты измерений считать положительными, если значения КСВН в диапазоне рабочих частот не превышают 1,5.

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

10.1.3 Измерение АДН в дальней зоне

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

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

10.1.3.3 Установить на вспомогательное ОПУ вспомогательную антенну П6-421. Поляризацию вспомогательной антенны установить согласованной с поляризацией измеряемой антенны. Расстояние между антеннами должно быть не менее:

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

где R – расстояние между раскрывами антенн, м.

D_1 и D_2 – наибольшие размеры апертур антенн, м;

λ – минимальная длина волны в диапазоне измерений, м.

10.1.3.4 Подключить выходы антенн с использованием фазостабильных кабельных сборок к измерительным портам ВАЦ ZVA67

10.1.3.5 Подготовить лазерный трекер Leica Absolute Tracker AT401 к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.

10.1.3.6 Совместить раскрывы антенн П6-421 и П6-225/1 с помощью приводов ОПУ и вспомогательного ОПУ, контролируя положение антенн лазерным трекером. Погрешность установки не должна превышать $\pm 0,5$ градуса по азимуту, $\pm 0,5$ градуса по элевации, $\pm 0,1$ градуса по поляризации.

10.1.3.7 Установить настройки в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 – Параметры измерений при проверке динамического диапазона

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

Тип измеряемой антенны	Тип вспомогательной антенны	Поддиапазон частот*, ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
П6-139/4	П6-139/4	от 12,4 до 18,0	10
*поддиапазон частот установить соответствующий рабочему диапазону частот применяемых антенн			

10.1.3.8 ВАЦ ZVA67 установить в режим измерений коэффициента передачи (S21 или S12) со следующими параметрами:

- диапазон частот и шаг по частоте – в соответствии с таблицей 6;
- выходная мощность ВАЦ ZVA67 – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 500 Гц;
- усреднения сигнала – отсутствуют.

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

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

10.1.3.11 Динамический диапазон измерений АДН антенных устройств рассчитать по формуле (2):

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

10.1.3.12 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 ПЧ.

10.1.3.13 Установить параметры обзора ВАЦ ZVA67 по частоте в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 – Параметры обзора ВАЦ ZVA67 по частоте при измерении АДН

Контрольные частоты, ГГц	Тип измеряемой антенны	Тип вспомога- тельной антенны	Поддиапазон частот ВАЦ, ГГц	Шаг по частоте, МГц, не более
1	П6-225/1	П6-421	от 0,5 до 2,0	1
4	П6-225/2	П6-421	от 3,0 до 5,0	1
8 (8,2)	П6-139/3	П6-139/3	от 7,0 до 9,2	5
12	П6-139/3	П6-139/3	от 11,0 до 13,0	5
18	П6-139/4	П6-139/4	от 17,0 до 19,0	5

10.1.3.14 Установить измеряемую антенну по азимуту в начальное положение. Последовательно перемещая антенну по азимуту от начального положения до конечного, провести измерение комплексного коэффициента передачи $\hat{S}_{12}(\theta, f)$ со следующими настройками:

- начальное положение по азимуту минус 60°;
- конечное положение по азимуту 60°;
- шаг сканирования по азимуту 0,5° (не более);

– режим реверса–без реверса;

10.1.3.15 Провести фильтрацию результатов измерений по формуле 3:

$$\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f) = 20 \lg(F^{+1}\{F^{-1}\{\dot{S}_{12}(\theta, f)\}w(t)\}) \quad (3),$$

где $\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f)$ – сигнал после фильтрации;
 $F^{+1}\{\dots\}$ и $F^{-1}\{\dots\}$ – обозначение прямого и обратного преобразования Фурье, соответственно.

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

10.1.3.16 Определить АДН по формуле 4:

$$A_{\text{дз}}(\theta, f) = |\dot{S}_{\text{фил } 12}(\theta, f)| \quad (4),$$

где $A_{\text{дз}}(\theta, f)$ – АДН измеренной антенны, дБ.

10.1.3.17 Нормировать АДН к максимуму по формуле 5:

$$A_{\text{дз норм}}(\theta, f) = A_{\text{дз}}(\theta, f) - \max(f) \quad (5),$$

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

10.1.3.18 В протоколе зафиксировать уровни максимумов и угловое положение боковых лепестков АДН на контрольных частотах, указанных в п. 10.1.3.13.

10.1.3.19 Повторить пункты 10.1.3.14-10.1.3.18 для горизонтальной поляризации измеряемой антенны.

10.1.3.20 Повторить пункты 10.1.3.1-10.1.3.19 для оставшихся пар антенн в соответствии с таблицей 6.

10.1.4 Измерение АДН в ближней зоне на ТМСА 1.0-18.0 Б 109.

10.1.4.1 Установить антенну (в соответствии с таблицей 8, из п. 10.1.3) в рабочую зону комплекса, в положение, соответствующее вертикальной поляризации, таким образом, чтобы плоскость раскрыва была параллельно плоскости сканирования. Погрешность установки антенны не должна превышать: 0,5 градуса по азимуту, 0,5 градуса по элевации, 0,2 градуса по поляризации.

Таблица 8 – Порядок установки антенн в зависимости от контрольной частоты

Контрольные частоты, ГГц	Тип измеряемой антенны	Антенна зонд
1	П6-225/1	ТМАЗ 1-2 И
4	П6-225/2	ТМАЗ 2-4 И или ТМАЗ 4-8 И
8 (8,2)	П6-139/3	ТМАЗ 8-18
12	П6-139/3	ТМАЗ 8-18
18	П6-139/4	ТМАЗ 8-18
*допускается смещение контрольных частот в диапазоне $\pm 10\%$ за исключением 1 и 18 ГГц		

Используя режим ручного или дистанционного управления сканером, установить антенну-зонд соосно с измеряемой антенной в положение, соответствующее согласованной поляризации.

Расстояние между раскрывами измеряемых антенн и антенн-зондов установить равным в пределах 3λ , где λ – максимальная длина волны измеряемого поддиапазона частот.

Запустить программу измерений в частотной области «MeasurementCenter» из состава комплекса.

В соответствии с РЭ на комплекс настроить измерение на контрольной частоте в соответствии с таблицей 8. Ширину полосы пропускания установить равной 100 Гц, уровень мощности выходного сигнала анализатора максимальный (без компрессии).

Далее установить следующие настройки:

- шаг сканирования – не более $\lambda/2$;
- режим сканирования – непрерывное сканирование без реверса;
- поляризация измеряемой антенны – вертикальная;
- поляризация зонда – вертикальная;
- учет зонда – включен;
- размеры области сканирования – определить из условия уменьшения уровня амплитудного распределения на границе области на 40 дБ относительно максимума.

10.1.4.2 Запустить измерение АДН антенн.

10.1.4.3 С использованием программы расчета «ProViLab» из состава комплекса рассчитать нормированные (через «ноль») АДН для Е и Н сечений измеряемой антенны на контрольных частотах в соответствии с таблицей 8. В протоколе зафиксировать уровни максимумов и угловое положение боковых лепестков АДН.

10.1.4.4 Не перемещая антенну, повторить измерения по п. 10.1.4.2 еще 4 раза (не менее).

10.1.4.5 Повторить пункты 10.1.4.1 -10.1.4.4 для оставшихся антенн и контрольных частот, в соответствии с таблицей 8.

10.1.4.6 Перевести АДН в линейный масштаб по формуле 6:

$$A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f) = 10^{0.05 \cdot A_{\text{ТМСА } i}(\theta, f)} \quad (6),$$

где $A_{\text{ТМСА } i}(\theta, f)$ – i -результат измерений АДН в дБ.

10.1.4.7 Вычислить среднее арифметическое результатов наблюдений, на каждой контрольной частоте f из таблицы 7:

$$\overline{A_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f) \quad (7).$$

10.1.4.8 Вычислить среднее квадратическое отклонение результатов измерений АДН по формуле 8, за θ принять углы, соответствующие боковым лепесткам АДН:

$$S(\theta, f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f) - \overline{A_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f)}}{A_{\text{ТМСА } i \text{ лин}}(\theta, f)} \right)^2}{n - 1}} \quad (8),$$

где n -количество измерений.

10.1.4.9 Вычислить суммарное среднее квадратическое отклонение оценки измеряемой величины по формуле 9:

$$S_{\Sigma}(\theta, f) = \sqrt{\left(\frac{\theta_{A1}^2(\theta, f) + \theta_{A2}^2(\theta, f)}{3} \right) + S^2(\theta, f)} \quad (9),$$

где θ_{A1} – составляющая погрешности измерений относительных уровней боковых лепестков АДН, определяемая по формуле:

$$\Delta A(\theta, f) = \overline{A_{\text{ТМСА лин}}(\theta, f)} - A_{\text{ДЗ норм лин}}(\theta, f) \quad (10),$$

θ – соответствует углу j -го бокового лепестка (для основного лепестка- углу на котором АДН уменьшилась на 3 дБ)

f – контрольная частота из таблицы 7.

$$\theta_{A1}(\theta, f) = 10^{0.05\Delta A} - 1 \quad (11),$$

$\theta_{A2}(\theta, f)$ – погрешность измерений, обусловленная побочными переотражениями и другими источниками определяется по формуле 12:

$$\theta_{A2}(\theta, f) = 10^{0.05 \cdot a \cdot D} - 1 \quad (12),$$

где D – относительный уровень АДН;

a – коэффициент принимаемый равным 0,04 для частоты 1 ГГц и 0,02 для остальных частот.

10.1.4.10 Относительную погрешность измерений уровней боковых лепестков амплитудной диаграммы направленности δ_A , дБ определить по формуле:

$$\delta_A = 20 \lg(1 + K S_\Sigma) \quad (13),$$

$$\text{где} \quad K = \frac{tS + 1.1 \sqrt{\theta_{A1}^2 + \theta_{A2}^2}}{S + \sqrt{\frac{\theta_{A1}^2 + \theta_{A2}^2}{3}}} \quad (14),$$

t – коэффициент Стьюдента.

10.1.5 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ находятся в пределах $\pm 0,2$ дБ и значения относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 50 дБ) при относительных уровнях АДН, находятся в пределах:

Для диапазона частот свыше 1 до 4 ГГц включительно:

– минус 10 дБ	$\pm 0,5$ дБ;
– минус 15 дБ	$\pm 1,0$ дБ;
– минус 20 дБ	$\pm 1,5$ дБ;
– минус 25 дБ	$\pm 1,7$ дБ;
– минус 30 дБ	$\pm 2,0$ дБ;
– минус 35 дБ	$\pm 3,2$ дБ.

Для диапазона частот свыше 4 до 8 ГГц включительно:

– минус 10 дБ	$\pm 0,5$ дБ;
– минус 15 дБ	$\pm 0,8$ дБ;
– минус 20 дБ	$\pm 1,0$ дБ;
– минус 25 дБ	$\pm 1,5$ дБ;
– минус 30 дБ	$\pm 2,0$ дБ;
– минус 35 дБ	$\pm 2,5$ дБ;
– минус 40 дБ	$\pm 3,2$ дБ.

Для диапазона частот свыше 8 до 12 ГГц включительно:

– минус 10 дБ	$\pm 0,5$ дБ;
– минус 15 дБ	$\pm 0,8$ дБ;
– минус 20 дБ	$\pm 1,0$ дБ;

– минус 25 дБ	±1,2 дБ;
– минус 30 дБ	±1,5 дБ;
– минус 35 дБ	±1,8 дБ;
– минус 40 дБ	±2,5 дБ;
– минус 45 дБ	±3,3 дБ.

Для диапазона частот свыше 12 до 18 ГГц включительно:

– минус 10 дБ	±0,5 дБ;
– минус 15 дБ	±0,8 дБ;
– минус 20 дБ	±1,0 дБ;
– минус 25 дБ	±1,2 дБ;
– минус 30 дБ	±1,5 дБ;
– минус 35 дБ	±2,0 дБ;
– минус 40 дБ	±2,6 дБ;
– минус 45 дБ	±3,6 дБ.

10.2 Определение относительной погрешности измерений КУ антенн

10.2.1 Определение инструментальной погрешности измерений КУ определить при помощи аттенюатора.

10.2.1.1 Подготовить ВАЦ ZVA67 из состава Государственного вторичного эталона 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 0,05 до 65 ГГц (2.1.ZZT.0210.2015) для работы в соответствии с РЭ.

10.2.1.2 Подключить аттенюатор к измерительным портам №1 и №2 ВАЦ ZVA67 с использованием фазостабильных кабельных сборок с рабочим диапазоном частот до 18 ГГц (не менее) и длиной не более 2 м.

Установить параметры обзора ВАЦ ZVA67:

- режим измерений коэффициента передачи (S21 или S12);
- диапазон частот от 1 до 18 ГГц;
- шаг по частоте – 10 МГц, не более;
- 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;

- количество усреднений 10;

- режим измерений S₁₂ (или S₂₁).

10.2.1.3 Зафиксировать амплитуду $A_{xdB}(f_i)$ измеряемого коэффициента передачи поочередно для ослаблений аттенюатора $x_{dB} = 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45$ дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

10.2.1.4 Определить вносимое в тракт комплекса значение ослабления по формуле 15:

$$L_{xdB}(f_i) = A_{0dB}(f_i) - A_{xdB}(f_i) \quad (15).$$

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

10.2.1.5 В измерительный тракт комплекса ТМСА 1.0-18.0 Б 109 внести аттенюатор таким образом, чтобы он соединял разъемы радиочастотных кабелей для подключения испытываемой антенны и антенны-зонда. Ослабление аттенюатора установить равным 0 дБ.

10.2.1.6 Установить параметры обзора ВАЦ из состава комплекса:

- режим измерений коэффициента передачи (S_{21} или S_{12});
- диапазон частот от 1 до 18 ГГц;
- шаг по частоте – 10 МГц, не более;
- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного канала с уровнем компрессии не более 0,05 дБ;
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц;
- количество усреднений 10;
- режим измерений S_{12} (или S_{21}).

10.2.1.7 Установить на аттенюаторе ослабление 0 дБ, выполнить нормализацию шкалы ВАЦ по измеряемой «трассе». Далее, установить на аттенюаторе ослабление 45 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.

10.2.1.8 Зафиксировать амплитуду $B_{xdB}(f_i)$ измеряемого коэффициента передачи поочередно для ослаблений аттенюатора $xdB = 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45$ дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

Определить вносимое в тракт комплекса значение ослабления по формуле 16:

$$M_{xdB}(f_i) = B_{0dB}(f_i) - B_{xdB}(f_i) \quad (16).$$

Погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи на каждой частоте $\theta_1(f_i)$, дБ, рассчитать как разность (в логарифмических единицах) по формуле (17):

$$\delta_{xdB}(f_i) = M_{xdB}(f_i) - L_{xdB}(f_i) \quad (17).$$

За результирующую погрешность измерений принять среднее арифметическое значение модуля погрешности в диапазоне частот для каждого номинала ослабления (уровня АДН). Полученные значения внести в таблицу 9. Полученные значения не должны превышать указанных в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты оценки инструментальной погрешности измерений КУ и АДН антенных устройств

Ослабление аттенюатора x , дБ	Относительный уровень амплитудного распределения M , дБ	Модуль инструментальной погрешности измерений КУ и АДН $\delta_{инс}$, дБ	Допустимые значения, дБ
5	-5		0,05
10	-10		0,10
15	-15		0,15
20	-20		0,20
25	-25		0,25
30	-30		0,30
35	-35		0,35
40	-40		0,40
45	-45		0,45

10.2.2 Определение опорного значения КУ антенн.

10.2.2.1 Провести измерения КУ П6-139/3, П6-139/4 на ГЭТ КУ в диапазоне частот от 8 (8,2) до 18 ГГц (в соответствии с рабочим диапазоном частот антенн) с шагом по частоте не более 100 МГц.

10.2.2.2 Измерение КУ П6-225/1 и П6-225/2 проводить в безэховой экранированной камере. Камера должна быть оснащена устройствами для установки и позиционирования антенн, а также автоматизированным слайдером, обеспечивающим возможность изменения расстояния между антеннами не менее 4 м. В зоне измерений не допускается нахождение предметов, имеющих отражающие металлические поверхности.

10.2.2.2.1 Для измерения коэффициента усиления использовать две вспомогательные антенны (рупор №1 и рупор №2), имеющие следующие характеристики:

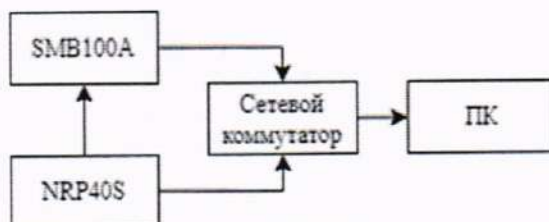
- диапазон рабочих частот, соответствующий диапазону рабочих частот измеряемой антенны (допускается перекрывать диапазоны рабочих частот испытываемой антенны двумя парами вспомогательных антенн);

- пирамидальный рупор с коаксиальным соединителем (волноводно-коаксиальным переходом) типа SMA (розетка), или 3,5 мм (розетка) или другого типа, соответствующего диапазону частот антенны;

- КСВН входа не более 2,0.

10.2.2.2.2 Измерения проводить в диапазоне частот от 1 до 2 ГГц с шагом по частоте не более 100 МГц и в диапазоне частот от 2 до 4 ГГц с шагом по частоте не более 100 МГц.

10.2.2.2.3 Подготовить средства измерений к работе в соответствии с руководством по их эксплуатации, прогреть не менее 20 минут. Для проведения калибровки (измерений мощности на входе излучающей антенны) соединить приборы в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1. Присоединить NRP40S к кабельной СВЧ сборке, подключаемой к входу излучающей антенны. Зафиксировать подводимую мощность P_1 к антенне на каждой частоте измерения.



SMB100A – генератор сигналов SMB100A; NRP40S – ваттметр поглощаемой мощности СВЧ NRP40S; ПК – персональный компьютер;

Рисунок 1 – Схема для проведения калибровки подводимой мощности

10.2.2.2.4 Для проведения измерений КУ собрать схему измерений по рисунку 2.

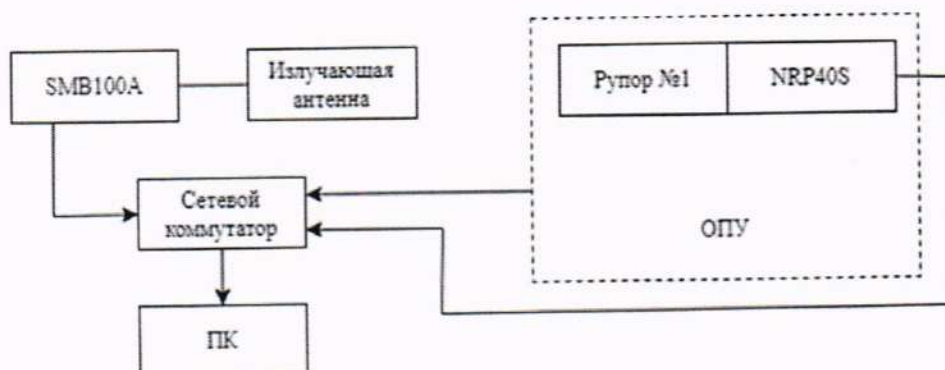


Рисунок 2 – Схема соединений для измерения КУ

На SMB100A установить выходную мощность сигнала равную 0 дБ (отн. 1 мВт) и требуемую частоту сигнала. Рупор №1 подключить к SMB100A при помощи фазостабильной СВЧ кабельной сборки.

Ваттметр поглощаемой мощности установить в режим измерений с параметрами:

– количество усреднений 4.

Измеряемую антенну и рупор №1 установить на ОПУ (треногу), имеющее возможность настройки по углам азимута, места и крена. Рупор №1 должен быть установлен на ОПУ, обеспечивающее продольное перемещение, обе антенны должны находиться на линии визирования, совпадающей с направлением перемещения ОПУ.

Установить измеряемую антенну и рупор №1 визуально в горизонтальное положение с вертикальной поляризацией. Вращая антенны поочередно в плоскостях азимута, угла места и крена добиться положений, обеспечивающих максимальное значение измеряемой ваттметром мощности сигнала.

Расстояние R_n (R_k) между раскрывами антенн установить в соответствии с критерием (формулы (18) и (19)). Шаг по расстоянию рассчитывать по формуле (20). Расстояние между антеннами контролировать при помощи дальномера лазерного путём прикладывания тыльной части дальномера к раскрыву излучающей антенны и измерения дальности до мишени, совмещённой с раскрывом приёмной антенны. Схема установки и перемещения антенн представлена на рисунке 3.

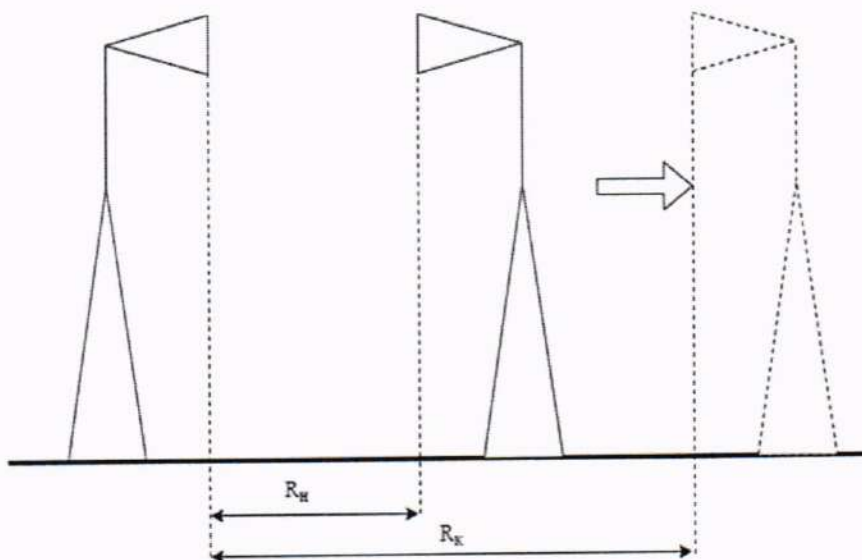


Рисунок 3 – Схема установки и перемещения антенн

$$R_n = 0,5 \frac{(D_1 + D_2)^2}{\bar{\lambda}} \quad (18),$$

$$R_k = 1,5 \frac{(D_1 + D_2)^2}{\bar{\lambda}} \quad (19),$$

$$\Delta R = \frac{\bar{\lambda}}{8}, \quad (20),$$

где D_1 и D_2 – наибольшие размеры апертур антенн;

R_n и R_k – начальное и конечное расстояния соответственно;

ΔR – шаг по расстоянию;

$\bar{\lambda}$ – усредненная в диапазоне измерений длина волны, м.

10.2.2.2.5 Перемещать приёмную антенну (рупор № 1) в диапазоне расстояний от R_n до R_k с шагом не более ΔR фиксируя в каждой точке R_i значение мощности P_i на каждой частоте измерений.

10.2.2.2.6 Рассчитать зависимость измеренного произведения коэффициентов усиления измеряемой антенны и рупора № 1 от расстояния по формуле (21):

$$G_{12} = P_i - P_r + 20 \lg \left(\frac{4\pi R_i}{\lambda} \right) \quad (21),$$

где λ – длина волны.

10.2.2.2.7 Используя программные пакеты типа Microsoft Excel, MathCad, MatLAB или др. аппроксимировать зависимость произведения коэффициентов усиления G_{12} от расстояния R_i полиномом вида:

$$W(R) = G_0 + \frac{G_1}{R} + \frac{G_2}{R^2} \quad (22),$$

где G_x – коэффициенты, определяемые при аппроксимации.

10.2.2.2.8 Зафиксировать полученное значение произведения коэффициентов усиления для дальней зоны $G'_{12} = G_0$ для каждой частоты.

10.2.2.2.9 Взамен рупора № 1 установить рупор № 2. Повторить операции п.п. 10.2.2.2.4 – 10.2.2.2.8.

Зафиксировать значение произведения коэффициентов усиления G'_{13} для каждой частоты.

10.2.2.2.10 Взамен измеряемой антенны установить рупор №1. Повторить операции п.п. 10.2.2.2.4 – 10.2.2.2.8.

Зафиксировать значение произведения коэффициентов усиления G'_{23} для каждой частоты.

10.2.2.2.11 Рассчитать значения КУ измеряемой антенны G_n , в [дБ], на каждой частоте по формуле (23):

$$G_n = \frac{1}{2} (G'_{12} + G'_{13} - G'_{23}) \quad (23).$$

10.2.3 Определение погрешности измерений КУ антенн.

10.2.3.1 Провести измерения КУ П6-225/1, П6-225/2, П6-139/3, П6-139/4 в соответствии с РЭ на комплекс ТМСА 1.0-18.0 Б 109 на частотах, соответствующих п.п. 10.2.2.1 и 10.2.2.2.

10.2.3.2 Рассчитать погрешность измерений КУ по формуле (24):

$$\Delta G = |G_{\Sigma} - G_n| \quad (24),$$

где G_{Σ} и G_n – значения КУ, измеренные на ГЭТ КУ (по п. 10.2.2.1) или экстраполяционном полигоне (по п. 10.2.2.2) и комплексе ТМСА 1.0-18.0 Б 109 соответственно, дБ.

10.2.3.3 Относительную погрешность измерений КУ δ_G , дБ, рассчитать по формуле (25):

$$\delta_G = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2} \right) \quad (25),$$

где $\Theta_1 = 10^{0,1\Delta G} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений КУ антенн, определяемой в п. 10.2.3.2;

$\Theta_2 = 10^{0,1\delta_{\text{инс}}} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной инструментальной погрешностью $\delta_{\text{инс}}$ [дБ], определяемой из таблицы 8 для уровня минус 10 дБ;

$\Theta_3 = \left(\frac{K_{\text{СВН}}-1}{K_{\text{СВН}}+1}\right)^2$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ тракта измеряемой антенны (где КСВН принимается равным 1,2; 1,5; 2,0; 2,5);

10.2.3.4 Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенн, при КСВН измеряемой антенны, находятся в пределах, указанных в таблице 10.

Таблица 10 – Пределы относительной погрешности измерений коэффициента усиления

Пределы относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенн, дБ		
при КСВН, не более	в диапазоне частот от 1 до 8 ГГц	в диапазоне частот от 8 (включительно) до 18 ГГц
1,2	$\pm 0,9$	$\pm 0,6$
1,5	$\pm 1,0$	$\pm 0,7$
2,0	$\pm 1,2$	$\pm 0,9$
2,5	$\pm 1,5$	$\pm 1,1$

10.3 Определение диапазона рабочих частот

10.3.1 Определение диапазона рабочих частот проводить по результатам определения относительной погрешности измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН (п. 10.1).

10.3.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 1,0 до 18,0 ГГц значения погрешностей измерений уровней максимумов боковых лепестков АДН находятся в допустимых пределах, приведенных в п. 10.1.5. В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 1,0 до 18,0 ГГц.

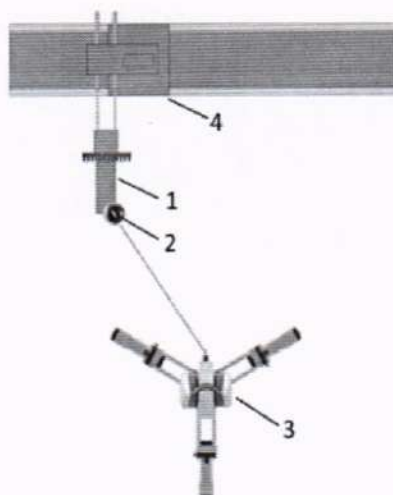
10.4 Определение абсолютной погрешности позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z

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

10.4.2 Подготовить систему Leica Absolute Tracker AT401 к измерению в соответствии с эксплуатационной документацией на нее.

10.4.3 Оптический отражатель из состава системы Leica Absolute Tracker AT401 закрепить на антенну-зонд, установленную на сканере из состава комплекса, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4. В соответствии с РЭ на комплекс настроить и запустить сканирование со следующими параметрами:

- размер области сканирования по X и Y– максимальный, до срабатывания концевых выключателей;
- шаг сканирования 100 мм (не более);
- режим реверса–включен;



1 – антенна-зонд; 2 – оптический отражатель; 3 – система Leica Absolute Tracker AT401;
4 – сканер

Рисунок 4 – Схема измерений характеристик позиционирования сканера

10.4.3 Запустить измерение пространственного положения углового отражателя с использованием системы Leica Absolute Tracker AT401 с шагом не более шага сканирования из п. 10.4.3

Вычислить величину среднего арифметического значения \bar{Z} , мм по формуле:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{n} \quad (26),$$

где \bar{Z} – среднее арифметическое значение, принимаемое за координату плоскости сканирования по оси Z;

Z_i – измеренные координаты точки i в плоскости сканирования по оси Z, мм;

n – количество единичных измерений.

Исключить из полученных результатов 5 % значений (грубые промахи), имеющих наибольшее отклонение от среднего значения.

По формуле (27) рассчитать абсолютную погрешность позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z:

$$\Delta Z = Z_i - \bar{Z} \quad (27).$$

10.4.4 Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z находятся в пределах $\pm 0,5$ мм.

11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 Относительную погрешность измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и относительную погрешность измерений максимумов боковых лепестков АДН рассчитать по формуле (13).

Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений АДН на относительном уровне минус 3 дБ и значения относительной погрешности измерений максимумов боковых лепестков АДН (при динамическом диапазоне

измеренного амплитудного распределения антенны не менее 50 дБ) при относительных уровнях АДН, находятся в пределах п. 10.1.5.

11.2 Относительную погрешность измерений КУ антенн рассчитать по формуле (25).

Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность измерений КУ антенн находится в пределах, представленных в таблице 10.

11.3 Диапазон рабочих частот определить по результатам определения погрешности измерений относительных уровней максимумов боковых лепестков АДН (п. 10.1).

Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений относительных уровней максимумов боковых лепестков АДН поля находятся в допустимых пределах (п. 10.1.5) во всем рабочем диапазоне частот (10.1).

11.4 Абсолютную погрешность позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z рассчитать по формуле (27).

Результаты поверки считать положительными, если абсолютная погрешность позиционирования антенны-зонда сканера по оси Z находится в пределах п. 10.4.4.

12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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


12.2 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.

Начальник НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Инженер лаб. 133 НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский



К.И. Курбатов