

СОГЛАСОВАНО

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

А.Н. Щипунов



« 20 »

декабря

2023 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный  
ТМСА 0.2-40.0 БД 106

**Методика поверки**

**МП 010-23-02**

р.п. Менделеево  
2023 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	8
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	9
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОВЕРКУ .....	9
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ.....	10
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	13
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	13
8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .	14
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ .....	15
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ .....	16
10.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АМПЛИТУДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФАЗОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	16
10.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ УРОВНЕЙ АДН И АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ФДН В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ.....	24
10.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КУ АНТЕНН .....	26
10.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ..	27
10.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ АНТЕННЫ-ЗОНДА Т-СКАНЕРА ПО ЛИНЕЙНЫМ КООРДИНАТАМ.....	27
10.6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕКТОРА УГЛОВ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ.....	27
10.7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА КОМПЛЕКСА .....	27
10.8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ АДН И ФДН .....	28
10.9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНА РАБОЧИХ ЧАСТОТ В ДАЛЬНЕЙ ЗОНЕ ..	30
10.10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЕЙ АДН И ФДН В ДАЛЬНЕЙ ЗОНЕ.....	30
10.11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ КУ МЕТОДОМ ЭТАЛОННОЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ АНТЕННЫ .....	33
11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ .....	35
12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....	36

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки МП 010-23-02 «ГСИ. Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Методика поверки» (далее – МП) распространяется на комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106 (далее – комплекс), заводской номер 106, изготовленный ООО «НПП «ТРИМ СПП Измерительные системы», 195197, г. Санкт-Петербург, Ленинградская область, Кондратьевский проспект, д.40, корп.14, литера А, офис 10Н и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

1.2 Прослеживаемость результатов измерений при поверке по государственной поверочной схеме для средств измерений ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц в соответствии с Приказом Росстандарта от 30.12.2019 № 3383 к государственному первичному эталону ослабления электромагнитных колебаний ГЭТ 193-2011 обеспечена.

1.3 Комплекс предназначен для настройки и измерения радиотехнических характеристик пассивных антенн в диапазоне частот 0.2-40.0 ГГц методом дальней зоны и от 1,0 до 40,0 ГГц методом ближней зоны в частотной области.

1.4 В результате поверки должны быть подтверждены следующие метрологические требования, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Метрологические характеристики при измерениях методом ближней зоны	
Диапазон рабочих частот для ближней зоны, ГГц	от 1 до 40
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ) при относительных уровнях амплитудного распределения, дБ -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ -45 дБ	±0,3 ±0,5 ±1,5 ±2,0 ±3,0
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) при относительных уровнях амплитудного распределения, градус -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ -45 дБ	±3 ±6 ±8 ±15 ±20
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений амплитудных диаграмм направленности (далее – АДН) (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ) до относительных уровней; дБ <sup>1)</sup> -10 дБ -20 дБ -30 дБ -40 дБ -45 дБ	±0,4 ±0,7 ±2,0 ±2,7 ±4,0

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение	
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм направленности (далее – ФДН) (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) при относительных уровнях амплитудных диаграмм, градус <sup>1)</sup>		
-10 дБ	±4	
-20 дБ	±10	
-30 дБ	±15	
-40 дБ	±20	
-45 дБ	±25	
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений коэффициента усиления антенн при погрешности измерений КУ измерительного зонда, дБ		
±0,3	±1,5	
±0,5	±1,6	
±0,8	±1,7	
±1,0	±1,8	
±1,5	±2,2	
Метрологические характеристики при измерениях методом дальней зоны		
Диапазон рабочих частот для дальней зоны, ГГц	от 0,2 до 40,0	
Динамический диапазон комплекса для диапазона частот, не менее, дБ <sup>2)</sup>		
от 0,2 до 1,3 ГГц включ.	80	
от 1,3 до 12,0 ГГц включ.	60	
от 12,0 до 15,0 ГГц включ.	80	
от 15,0 до 26,0 ГГц включ.	90	
от 26,0 до 40,0 ГГц включ.	75	
Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН для диапазона частот, дБ <sup>2)</sup>		
Диапазон частот и уровень ДН	Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерений	
	АДН, дБ      ФДН, градус	
от 0,2 до 18,0 ГГц включ.		
-5 дБ	±0,2	±1,3
-10 дБ	±0,2	±1,3
-15 дБ	±0,2	±1,3
-20 дБ	±0,3	±2,1
-25 дБ	±0,4	±2,7
-30 дБ	±0,4	±2,7
-35 дБ	±0,5	±3,4
-40 дБ	±0,7	±4,8
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ.		
-5 дБ	±0,5	±3,4
-10 дБ	±0,5	±3,4
-15 дБ	±0,6	±4,1
-20 дБ	±0,7	±4,8
-25 дБ	±0,7	±4,8
-30 дБ	±0,7	±4,8
-35 дБ	±0,9	±6,2
-40 дБ	±0,9	±6,2

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение	
Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН и ФДН в дальней зоне		
Диапазон частот и уровень ДН	Пределы допускаемой погрешности измерений	
	уровней АДН, дБ	уровней ФДН, градус
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при коэффициенте безэховости (далее – КБ) в рабочей зоне не более минус 20 дБ -5 -10 -15	±1,6 ±2,5 ±4,0	±11,2 ±18,5 ±30,0
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 25 дБ -5 -10 -15 -20	±1,0 ±1,6 ±2,5 ±4,0	±6,9 ±11,2 ±18,5 ±30,4
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 30 дБ -5 -10 -15 -20 -25	±0,7 ±1,0 ±1,6 ±2,6 ±4,1	±4,5 ±7,0 ±11,3 ±19,1 ±30,8
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 35 дБ -5 -10 -15 -20 -25 -30	±0,5 ±0,7 ±1,0 ±1,7 ±2,6 ±4,1	±3,1 ±4,5 ±7,0 ±11,9 ±19,6 ±30,9
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 40 дБ -5 -10 -15 -20 -25 -30 -35	±0,4 ±0,5 ±0,7 ±1,1 ±1,7 ±2,7 ±4,2	±2,4 ±3,2 ±4,6 ±7,7 ±12,6 ±19,8 ±31,5

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики	Значение		
	Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН, дБ	уровней ФДН, градус	
от 0,2 до 18,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 45 дБ	-5 -10 -15 -20 -25 -30 -35 -40	±0,3 ±0,4 ±0,5 ±0,8 ±1,2 ±1,8 ±2,8 ±4,3	±1,9 ±2,4 ±3,2 ±5,3 ±8,4 ±12,8 ±20,6 ±32,6
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 20 дБ	-5 -10 -15	±1,8 ±2,7 ±4,1	±12,9 ±19,9 ±31,4
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 25 дБ	-5 -10 -15 -20	±1,2 ±1,8 ±2,8 ±4,2	±8,8 ±12,9 ±20,4 ±31,8
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 30 дБ	-5 -10 -15 -20 -25	±0,9 ±1,3 ±1,9 ±2,8 ±4,2	±6,4 ±8,8 ±13,5 ±21,0 ±31,8
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 35 дБ	-5 -10 -15 -20 -25 -30	±0,7 ±0,9 ±1,3 ±2,0 ±2,8 ±4,2	±5,1 ±6,5 ±9,5 ±14,2 ±21,1 ±32,0

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики Диапазон частот и уровень ДН	Значение	
	Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН, дБ	уровней ФДН, градус
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 40 дБ		
-5	±0,6	±4,4
-10	±0,7	±5,1
-15	±1,0	±7,2
-20	±1,4	±10,2
-25	±2,0	±14,3
-30	±2,9	±21,2
-35	±4,3	±32,9
св. 18,0 до 40,0 ГГц включ. при КБ в рабочей зоне не более минус 45 дБ		
-5	±0,6	±4,0
-10	±0,6	±4,4
-15	±0,8	±5,9
-20	±1,1	±7,9
-25	±1,5	±10,3
-30	±2,0	±14,5
-35	±3,0	±22,5
-40	±4,4	±33,2
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны, дБ, при погрешности измерений КУ вспомогательной антенны, дБ		
в диапазоне частот от 0,2 до 1,0 ГГц		
±0,3	±1,8	
±0,5	±1,9	
±0,8	±2,0	
±1,0	±2,1	
в диапазоне частот от 1,0 до 2,0 ГГц		
±0,3	±1,2	
±0,5	±1,3	
±0,8	±1,4	
±1,0	±1,5	
в диапазоне частот от 2,0 до 4,0 ГГц		
±0,3	±0,9	
±0,5	±1,0	
±0,8	±1,2	
±1,0	±1,4	
в диапазоне частот от 4,0 до 15,0 ГГц		
±0,3	±0,8	
±0,5	±1,0	
±0,8	±1,2	
±1,0	±1,3	
в диапазоне частот от 15,0 до 40,0 ГГц		
±0,3	±0,8	
±0,5	±0,9	
±0,8	±1,1	
±1,0	±1,3	

Продолжение таблицы 1

1) При условиях:

- в диапазоне частот от 1,0 до 12,0 ГГц включ. без малошумящего усилителя (далее – МШУ), при мощности 0 дБ (отн. 1 мВт) и ширине фильтра промежуточной частоты (далее – ПЧ) 100 Гц;
- в диапазоне частот св. 12,0 до 40,0 ГГц включ. один МШУ, при мощности 0 дБ (отн. 1 мВт) и ширине фильтра ПЧ 100 Гц.

2) При условиях:

- в диапазоне частот от 0,2 до 8,0 ГГц включ. без МШУ, при мощности 15 дБ (отн. 1 мВт) и ширине фильтра ПЧ 100 Гц;
- в диапазоне частот от 8,0 до 12,0 ГГц включ. без МШУ, при мощности 15 дБ (отн. 1 мВт) и ширине фильтра ПЧ 10 Гц;
- в диапазоне частот от 12,0 до 40,0 ГГц включ. два МШУ, при мощности 0 дБ (отн. 1 мВт) и ширине фильтра ПЧ 100 Гц.

## 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	
1 Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
2 Проверка программного обеспечения (далее – ПО) средства измерений	Да	Да	8
3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	9
4 Определение метрологических характеристик средства измерений	-	-	10
4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля	Да	Да	10.1
4.2 Определение относительной погрешности измерений относительных уровней АДН и абсолютной погрешности измерений ФДН	Да	Да	10.2
4.3 Определение относительной погрешности измерений КУ антенн	Да	Да	10.3
4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне	Да	Да	10.4
4.5 Определение диапазона изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам	Да	Нет	10.5
4.6 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности	Да	Нет	10.6

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	
4.7 Определение динамического диапазона комплекса	Да	Да	10.7
4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН	Да	Да	10.8
4.9 Определение диапазона рабочих частот в дальней зоне	Да	Да	10.9
4.10 Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН в дальней зоне	Да	Да	10.10
4.11 Определение погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны	Да	Да	10.11
5 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	11

2.2 Поверка осуществляется аккредитованными в установленном порядке юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями.

2.3 Поверка прекращается в случае получения отрицательного результата при проведении хотя бы одной из операций, приведенных в таблице 2, а комплекс признают не прошедшим поверку.

2.4 Не допускается проведение поверки для меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

### 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

Влияющая величина	Нормальное значение	Допускаемое отклонение от нормального значения
Температура окружающего воздуха, °С	20	±5
Относительная влажность окружающего воздуха, %	от 30 до 80	–
Атмосферное давление, кПа	от 84 до 106,7	–
Напряжение питающей сети переменного тока, В	230	±23
Частота питающей сети, Гц	50	±1

### 4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами с высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений, и имеющими квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами ТМСА 0.2-40.0 БД 106 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Руководство по эксплуатации. Книга 1» (далее – РЭ Книга 1); ТМСА 0.2-40.0 БД 106 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-

вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Руководство по эксплуатации. Книга 2» (далее – РЭ Книга 2); ТМСА 0.2-40.0 БД 106 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Руководство по эксплуатации. Книга 3» (далее – РЭ Книга 3); ТМСА 0.2-40.0 БД 106 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Руководство по эксплуатации. Книга 4» (далее – РЭ Книга 4); ТМСА 0.2-40.0 БД 106 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Руководство по эксплуатации. Книга 5» (далее – РЭ Книга 5).

## **5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ**

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

Таблица 4 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Средства измерений с диапазоном измерений давления от 840 до 1060 гПа, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 3$ гПа. Диапазоном измерений относительной влажности от 0 до 99 %, пределы допускаемой погрешности измерений относительной влажности $\pm 2$ %. Диапазоном измерений температуры от минус 20 до плюс 60 °C, пределы допускаемой погрешности измерений температуры $\pm 0,2$ °C	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, модель М5-Д (рег. № 15500-12)
4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля		
4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне		
4.5 Определение диапазона изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам		
4.7 Определение динамического диапазона комплекса		
4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН		

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
<p>3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений</p> <p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.5 Определение диапазона изменений положения антенных зонда Т-сканера по линейным координатам</p> <p>4.7 Определение динамического диапазона комплекса</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	<p>Средства измерений с диапазоном измерений напряжения переменного тока от 0,1 до 600 В, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений напряжения переменного тока <math>\pm(0,01 \cdot U + 0,3 \text{ В})</math>. Диапазоном измерений частоты переменного тока от 0,1 Гц до 60 МГц, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений частоты переменного тока в диапазоне от 0,1 до 600 Гц включ. <math>\pm (0,001 \cdot F + 0,1 \text{ Гц})</math></p>	<p>Мультиметр цифровой Testo 760-2, (рег. № 65373-16)</p>
<p>3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений</p> <p>4.7 Определение динамического диапазона комплекса</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	<p>Средства измерений с диапазоном частот от 30 до 300 МГц, пределы допускаемой погрешности коэффициента калибровки <math>\pm 2 \text{ dB}</math></p>	<p>Антenna измерительная дипольная П6-121 (рег. № 58703-14)</p>
<p>3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений</p> <p>4.7 Определение динамического диапазона комплекса</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	<p>Средства измерений с диапазоном частот от 300 до 1000 МГц, пределы допускаемой погрешности коэффициента калибровки <math>\pm 2 \text{ dB}</math></p>	<p>Антenna измерительная П6-62 (рег. № 28932-05)</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
<p>3 Подготовка к поверке и опробование средства измерений</p> <p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.7 Определение динамического диапазона комплекса</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	<p>Средства измерений с диапазоном частот от 0,9 до 40 ГГц, пределы допускаемой погрешности измерений коэффициента усиления: ±1,8 дБ (для антенны П6-123); ±1,2 дБ (для антенны П6-140-х)</p>	<p>Комплекты антенные измерительные АИК 1-40Б, модификация АИК 1-40Б/01 (рег. № 55403-13)</p>
<p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	<p>Средства измерений с диапазоном частот от 0,01 до 50 ГГц, динамический диапазон для диапазона частот от 1 до 46 ГГц не менее 110 дБ, нелинейность приёмных устройств не более 0,1 дБ</p>	<p>Анализатор электрических цепей векторный (далее – ВАЦ) ZVA50 (рег. № 48355-11)</p>
<p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.7 Определение динамического диапазона комплекса</p>	<p>Средства измерений с диапазоном частот от 0 до 65 ГГц</p>	<p>Набор мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218 (рег. № 56592-14)</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
<p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.5 Определение диапазона изменений положения антенных зонда Т-сканера по линейным координатам</p>	Средства измерений с диапазоном измерений расстояний от 1 до 60000 мм, пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности, мкм ( $L$ -измеряемая длина в м) $\pm(15 + 6 L)$	Система лазерная координатно-измерительная Leica Absolute Tracker AT930 (рег. № 60403-15)
<p>4.1 Определение относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля</p> <p>4.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне</p> <p>4.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН</p>	Эталон 2-го разряда с диапазоном частот от 0 до 50 ГГц, диапазоном вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ	Эталон 2-разряда аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М (далее - аттенюатор) (рег. № 86892-22)

5.2 Допускается использование аналогичных средств поверки, обеспечивающих определение метрологических характеристик поверяемого комплекса с требуемой точностью.

5.3 Средства поверки должны быть исправны, поверены и иметь сведения в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

## 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 Размещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании.

## 7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 При проведении внешнего осмотра комплекса проверить:

- комплектность и маркировку комплекса;

- наружную поверхность элементов комплекса, в том числе управляющих, питающих и радиочастотных кабелей, а также целостность СВЧ-соединителей;

- состояние органов управления;
- наличие действующего свидетельства о поверке на ВАЦ.

7.2 Проверку комплектности комплекса проводить сличением действительной комплектности с данными, приведенными в разделе 3 «Комплектность» документа ТМСА 0.2-40.0 БД 106 ПС «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 0.2-40.0 БД 106. Паспорт. ТМСА 0.2-40.0 БД ПС» (далее – ПС).

7.3 Проверку маркировки производить путем внешнего осмотра и сличением с данными, приведенными в документе РЭ Книга 1.

7.4 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность комплекса соответствуют ПС;
- маркировка комплекса соответствуют РЭ Книга 1;

– наружная поверхность комплекса не имеет механических повреждений и других дефектов;

– управляющие, питающие и радиочастотные кабели, а также СВЧ-соединители не имеют механических и электрических повреждений;

– органы управления закреплены прочно и без перекосов, действуют плавно и обеспечивают надежную фиксацию;

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

– имеется действующее свидетельство о поверке на ВАЦ.

В противном случае результаты внешнего осмотра считать отрицательными и последующие операции поверки не проводить.

## 8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

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

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

После загрузки операционной системы WINDOWS на экране монитора ПК наблюдать иконки программ *MeasurementCenter*, *ProViLab*.

Установить далее на ПК программу, позволяющую определять версию и контрольную сумму файла по алгоритму MD5, например, программу **«HashTab»**.

8.2 Выбрать файл *MeasurementCenter.exe*, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт «**Свойства**». Открыть вкладку «Хеш-суммы файлов». Наблюдать контрольную сумму файла *MeasurementCenter.exe* по алгоритму MD5. Запустить файл *MeasurementCenter.exe*, нажать правой кнопкой мыши на строке заголовка и выбрать пункт всплывающего меню «**О программе**». Наблюдать значение версии файла *MeasurementCenter.exe*. Результаты наблюдения зафиксировать в рабочем журнале.

8.3 Выбрать файл *ProViLab.exe*, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт «**Свойства**». Открыть вкладку «Хеш-суммы файлов». Наблюдать контрольную сумму файла *ProViLab.exe* по алгоритму MD5. Запустить файл *ProViLab.exe*, в заголовке главного окна наблюдать значение версии файла *ProViLab.exe*. Результаты наблюдения зафиксировать в рабочем журнале.

8.4 Сравнить полученные контрольные суммы и версии с их значениями, записанными в ПС. Результат сравнения зафиксировать в рабочем журнале.

8.5 Результаты идентификации ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 5.

Таблица 5 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование ПО	MeasurementCenter.exe	ProViLab.exe
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.4.0.22	1.1.5
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) по алгоритму MD5	08F4B55B4538C40A328B EBCE4A63294F	288731FFF2350FCFE35 5BBC3D3E68606

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

## 9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ

### 9.1 Подготовка к поверке

9.1.1 Проверить наличие эксплуатационной документации и сроки действия свидетельств о поверке средств поверки.

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

### 9.2 Опробование

9.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ Книга 1.

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

9.2.3 Проверить работоспособность всех приводов четырехкоординатного (SL, AZ, EL, R) опорно-поворотного устройства (ОПУ) и четырехкоординатного (X, Y, Z, P) Т-сканера (сканер):

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

9.2.4 Установить на сканер antennу ТМА 0,2 – 1,3 Э из состава комплекса, на ОПУ установить antennу, соответствующую заданному диапазону частот, указанную в таблице 4 (допускается использование комплекта antenn с пересекающимися диапазонами частот), на согласованной поляризации.

Установить следующие настройки ВАЦ:

- диапазон частот, соответствующий диапазону установленных antenn;
- ширина полосы пропускания 1 кГц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (отн. 1 мВт).

Провести измерения сечений диаграммы направленности (далее – ДН) antennы.

9.2.5 Поочередно установить на сканер antennы ТМА 1,3 – 15 Э и ТМА 15 – 40 Э из состава комплекса, на ОПУ устанавливать antennы, соответствующие заданным диапазонам, указанным в таблице 4.

9.2.6 Повторить операции п.9.2.4 для диапазона частот от 1,3 до 40,0 ГГц.

9.2.7 Результаты опробования считать положительными, если:

– при загрузке программных продуктов «MeasurementCenter» и «ProViLab» сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;

- все приводы сканера и ОПУ работоспособны;
- ДН сформированы в заданном диапазоне частот.

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 амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля**

10.1.1 Относительную погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля  $\delta_A$ , дБ, определить по формуле (1):

$$\delta_A = 20 \lg(1 + KS_{\Sigma}), \quad (1)$$

где

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

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \left( \frac{A_j - \bar{A}}{A_j} \right)^2}{m-1}}, \quad (4)$$

$\theta_{A1}$  – погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи ВАЦ из состава комплекса;

$\theta_{A2}$  – погрешность измерений, обусловленная неидеальной поляризационной связью антенн-зондов из состава комплекса;

$S$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного распределения;

$A$  – результат измерений амплитудного распределения;

$\bar{A}$  – среднее арифметическое значение результатов измерений амплитудного распределения;

$t$  – коэффициент Стьюдента для заданного числа реализаций измерений амплитудного распределения;

$m$  – количество измерений.

Абсолютную погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля  $\Delta_{\phi}$ , градус, определить по формуле (5):

$$\Delta_{\phi} = \frac{180}{\pi} K_{\phi} S_{\Sigma\phi}, \quad (5)$$

где

$$S_{\Sigma\phi} = \sqrt{\left(\frac{\theta_{\phi 1}^2 + \theta_{\phi 2}^2 + \theta_{\phi 3}^2}{3}\right) + S_{\phi}^2}, \quad (6)$$

$$K_{\phi} = \frac{tS_{\phi} + 1.1\sqrt{\theta_{\phi 1}^2 + \theta_{\phi 2}^2 + \theta_{\phi 3}^2}}{S_{\phi} + \sqrt{\frac{\theta_{\phi 1}^2 + \theta_{\phi 2}^2 + \theta_{\phi 3}^2}{3}}}, \quad (7)$$

$$S_{\phi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (\phi_j - \bar{\phi})^2}{m-1}}, \quad (8)$$

$\theta_{\phi_1}$  – погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи ВАЦ из состава комплекса, рад;

$\theta_{\phi_2}$  – погрешность измерений фазы, обусловленная неточностью позиционирования антенных-зонда в плоскости сканирования, рад;

$\theta_{\phi_3}$  – погрешность измерений фазы, обусловленная случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса, рад;

$S_{\phi}$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений фазового распределения, рад;

$\phi$  – результат измерений фазового распределения, рад;

$\bar{\phi}$  – среднее арифметическое значение результатов измерений фазового распределения, рад.

Относительную погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютную погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля определить при относительных уровнях амплитудного распределения от минус 10 до минус 40 дБ с интервалом 10 дБ. Динамический диапазон измерений амплитудного распределения при этом должен составлять не менее 55 дБ. Под динамическим диапазоном измерений амплитудного распределения следует понимать отношение максимального уровня амплитудного распределения к среднему уровню измеряемых радиошумов.

Относительную погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля  $\delta_A$  и абсолютную погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля  $\Delta_{\phi}$  определить:

- на частоте 40,0 ГГц по формулам (1) и (5) соответственно;
- на частотах 1,0 и 26,0 ГГц по формулам (9) и (10) соответственно:

$$\delta_A = 20 \lg \left( 1 + 1.1 \sqrt{\theta_{A1}^2 + \theta_{A2}^2} \right); \quad (9)$$

$$\Delta_{\phi} = \frac{180}{\pi} 1.1 \sqrt{\theta_{\phi 1}^2 + \theta_{\phi 2}^2 + \theta_{\phi 3}^2}. \quad (10)$$

Частные составляющие погрешностей измерений (слагаемые в выражениях (2), (3), (6), (7)) определить по нижеследующим методикам.

10.1.2 Погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи анализатора из состава комплекса определить при помощи аттенюатора.

Подготовить анализатор цепей векторный ZVA50 для работы в соответствии с РЭ.

Подключить аттенюатор к измерительным портам анализатора цепей векторного ZVA50 с использованием фазостабильных кабельных сборок.

Установить параметры обзора:

- диапазон частот от 1 до 40 ГГц (должен содержать частоты на которых выполняются измерения в тракте комплекса);
- выходная мощность 0 дБ [отн. 1 мВт];
- ширина полосы фильтра ПЧ 1 кГц;
- количество усреднений 10;
- режим измерений  $S_{12}$  (или  $S_{21}$ ).

Зафиксировать амплитуду  $K_{dB}(f_i)$  измеряемого коэффициента передачи поочередно для ослаблений аттенюатора  $dB = 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45$  дБ.

Определить вносимое в тракт комплекса значение ослабления по формуле 11

$$L(f_i) = K_{0dB}(f_i) - K_{dB}(f_i) \quad (11)$$

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

Провести полную двухпортовую калибровку анализатора из состава комплекса в комплекте со штатными радиочастотными кабелями и аттенюатором в соответствии с технической документацией на него.

Установить следующие настройки ВАЦ для диапазона частот от 1 до 12 ГГц:

- полоса анализа от 1,0 до 12,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 100 Гц;
- режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи S21;
- шаг по частоте 10 МГц.

Для диапазона частот от 12 до 40 ГГц, в измерительный тракт нужно включить малошумящий усилитель из состава комплекса и установить следующие настройки ВАЦ:

- полоса анализа от 12,0 до 40,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 100 Гц;
- режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи S21;
- шаг по частоте 10 МГц.

Без подачи мощности провести измерения модуля комплексного коэффициента передачи

$|S_{12}(f_i)|$ , дБ. Зафиксировать верхнюю границу АЧХ шума  $N$ , дБ.

Увеличивая мощность сигнала с порта генератора анализатора, зафиксировать опорный уровень, при котором обеспечивается условие  $|S_{12}(f_i)| \geq (N + 55)$ , дБ.

Изменяя ослабление аттенюатора от 0 до 45 дБ с шагом 5 дБ, провести измерения модуля комплексного коэффициента передачи.

Погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи на каждой частоте  $f_i$ , указанной в п. 10.1.1, рассчитать как разность (в логарифмических единицах) между

измеренным значением модуля коэффициента передачи  $|S_{12}(f_i)|$ , дБ, и действительным

значением ослабления аттенюатора  $L(f_i)$ , дБ, записанным в его технической документации (свидетельстве о поверке), по формуле (12):

$$\theta_{A1}(f_i) = |S_{12}(f_i)| - L(f_i). \quad (12)$$

За погрешность  $\theta_{A1}$  для каждого номинала ослабления, соответствующего относительному уровню амплитудного распределения электромагнитного поля М, принять максимальное значение погрешности измерений  $\theta_{A1}(f_i)$  соответствующего номинала ослабления аттенюатора в установленной полосе частот в линейном масштабе:

$$\theta_{A1}^{(M)} = \max \left\{ 10^{\frac{\theta_{A1}(f_i)}{20}} \right\}. \quad (13)$$

Результаты испытаний записать в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты оценки погрешности измерений модуля комплексного коэффициента передачи ВАЦ из состава комплекса

Ослабление аттенюатора L, дБ	Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ	Погрешность измерений $\theta_{A1}$ , дБ
5	-5	
10	-10	
15	-15	
20	-20	
25	-25	
30	-30	
35	-35	
40	-40	
45	-45	

10.1.3 Погрешность измерений, обусловленную неидеальной поляризационной развязкой антенн-зондов из состава комплекса, определить по формуле (14):

$$\theta_{A2} = (1 + 10^{0.1K_{PP}})^2 - 1, \quad (14)$$

где КПР – минимальный уровень кроссполяризационной развязки антенн-зондов из состава комплекса, принимаемый равным минус 20 дБ.

10.1.4 Погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи анализатором из состава комплекса определить с помощью набора мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218 и аттенюатора.

В измерительный тракт комплекса внести аттенюатор и меру фазового сдвига из состава набора ZV-Z218 таким образом, чтобы они соединяли разъемы радиочастотных кабелей для подключения испытуемой антенны и антенный-зонда. Ослабление аттенюатора установить равным 0 дБ.

Провести полную двухпортовую калибровку ВАЦ ZVA 67 из состава комплекса в комплекте с штатными радиочастотными кабелями, аттенюатором и мерой в диапазоне частот от 1 до 40,0 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Изменяя ослабление аттенюатора от 0 до 45 дБ с шагом 5 дБ, провести измерения фазы комплексного коэффициента передачи при следующих настройках анализатора для диапазона частот от 1,0 до 12,0 ГГц:

- полоса анализа от 1,0 до 12,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 100 Гц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (мВт);
- режим измерений фазы комплексного коэффициента передачи S21;
- шаг по частоте 10 МГц.

Для диапазона частот от 12 до 40 ГГц, в измерительный тракт нужно включить малошумящий усилитель из состава комплекса и установить следующие настройки ВАЦ:

- полоса анализа от 12,0 до 40,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 100 Гц;
- режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи S21;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (мВт);
- шаг по частоте 10 МГц.

Погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи на каждой частоте  $f_i$ , указанной в п. 10.1.1, рассчитать как разность между измеренным значением фазы коэффициента передачи  $\arg(S12(f_i))$ , рад, и действительным значением установленного фазового сдвига меры  $\Phi^{(N)}(f_i)$ , рад, записанным в его технической документации, по формуле (15):

$$\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i) = \arg(S12(f_i)) - \Phi^{(N)}(f_i). \quad (15)$$

За погрешность  $\theta_{\phi_1}$  для каждого номинала относительного уровня фазового распределения электромагнитного поля принять максимальное значение погрешности измерений  $\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i)$  соответствующего номинала ослабления аттенюатора в установленной полосе частот:

$$\theta_{\phi_1}^{(N)} = \max \{ \theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i) \}. \quad (16)$$

Результаты испытаний записать в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты оценки погрешности измерений фазы комплексного коэффициента передачи ВАЦ из состава комплекса

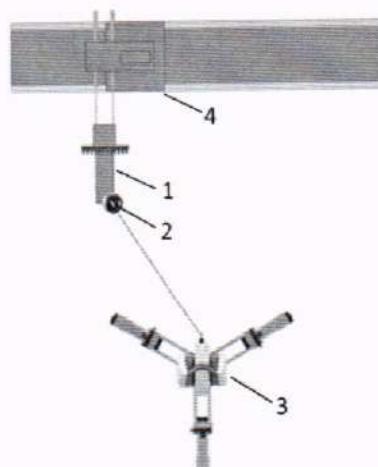
Ослабление аттенюатора L, дБ	Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ	Погрешность измерений $\theta_{\phi_1}$ , дБ
5	-5	
10	-10	
15	-15	
20	-20	
25	-25	
30	-30	
35	-35	
40	-40	
45	-45	

10.1.5 Погрешность измерений фазы, обусловленную неточностью позиционирования антены-зонда в плоскости сканирования, определить с помощью системы лазерной координатно-измерительной Leica Absolute Tracker AT930.

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

Подготовить систему Leica Absolute Tracker AT930 к измерению в соответствии с эксплуатационной документацией на нее.

Оптический отражатель из состава системы Leica Absolute Tracker AT930 закрепить на антенну-зонд, установленную на сканере из состава комплекса, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.



1 – антenna-зонд; 2 – оптический отражатель; 3 – система Leica Absolute Tracker AT930;  
4 – сканер

Рисунок 1 – Схема измерений характеристик позиционирования сканера

С помощью программы ручного управления сканером (рисунок 2) в соответствующей вкладке программного продукта для измерений в ближней зоне «MeasurementCenter» переместить антенну-зонд в крайнее центральное левое положение. Переместить антенну-зонд в крайнее заднее положение по оси Z. Зафиксировать показания системы Leica Absolute Tracker AT930.

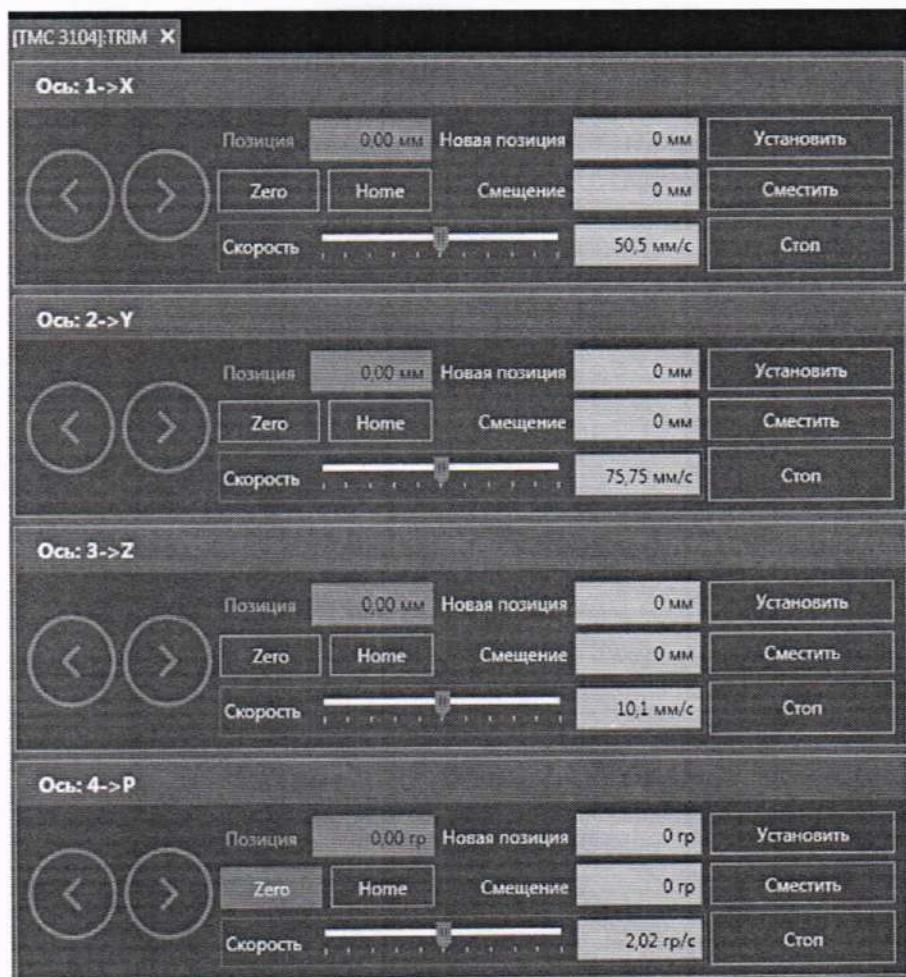


Рисунок 2 – Меню программы для ручного управления движением сканера

Переместить антенну зонд вдоль оси Oz в крайнее переднее положение и зафиксировать показания системы Leica Absolute Tracker AT930.

Перемещая антенну-зонд с установленным оптическим отражателем вдоль оси Ox в пределах рабочей зоны сканера с шагом  $\lambda_{min}/2$  (где  $\lambda_{min}$  - минимальная длина волны, соответствующая верхней границе диапазона рабочих частот комплекса, до срабатывания механического ограничителя), фиксировать показания системы Leica Absolute Tracker AT930.

С помощью программы ручного управления сканером (рисунок 2) в соответствующей вкладке программного продукта для измерений в ближней зоне «MeasurementCenter» переместить антенну-зонд в крайнее центральное нижнее положение. Зафиксировать показания системы Leica Absolute Tracker AT930.

Перемещая антенну-зонд с установленным оптическим отражателем вдоль оси Oy в пределах рабочей зоны сканера с шагом  $\lambda_{min}/2$ , до срабатывания механического ограничителя, фиксировать показания системы Leica Absolute Tracker AT930.

По формуле (17) рассчитать погрешность позиционирования антены-зонда как разность между координатами плоскости сканирования и координатами положения антены-зонда  $\Delta z$  измеренными с использованием Leica Absolute Tracker AT930, м:

$$d_z = |Z_{верт} - Z_{изм}|. \quad (17)$$

Погрешность измерений фазы  $\Delta\phi(f_i)$ , рад, обусловленную неточностью позиционирования антены-зонда в плоскости сканирования, для каждого номинала частоты, указанного в п. 10.1.1, оценить по формуле (18):

$$\Delta\phi(f_i) = k \cdot \Delta z, \quad (18)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число, 1/м;

$\lambda$  – длина волны, соответствующая частотам, указанным в п. 10.1.1, м.

За погрешность измерений фазы  $\theta_{\phi_2}$  для каждого номинала частоты, указанного в п. 10.1.1, принять среднее квадратическое значение погрешности, определенное по формуле (19):

$$\theta_{\phi_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{M-1} (\Delta\phi(f_i))^2}{M}}, \quad (19)$$

где  $M$  – число точек, в которых проводились измерения пространственного положения антены-зонда.

Размеры рабочей области сканирования по осям 0x, 0y, 0z рассчитать как разность между показаниями системы Leica Absolute Tracker AT930 в момент срабатывания механического ограничителя сканера при установке антены-зонда в крайние положения.

$$\begin{aligned} L_x &= |X_{\text{нач}} - X_{\text{кон}}|; \\ L_y &= |Y_{\text{нач}} - Y_{\text{кон}}|; \\ L_z &= |Z_{\text{нач}} - Z_{\text{кон}}|. \end{aligned} \quad (20)$$

10.1.6 Погрешность измерений фазы, обусловленную случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса, определить с помощью набора мер отражения из состава мер коэффициентов передачи и отражения ZV-Z218.

В измерительный тракт комплекса внести меру отражения таким образом, чтобы он замыкал соединитель радиочастотного кабеля для подключения антены-зонда.

Провести однопортовую калибровку ВАЦ из состава комплекса в диапазоне частот от 1,0 до 40,0 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Провести измерения фазы комплексного коэффициента отражения при следующих настройках анализатора:

- полоса анализа от 1 до 40,0 ГГц;
- ширина полосы пропускания 100 Гц;
- уровень мощности выходного колебания минус 10 дБ (отн. 1 мВт);
- режим измерений фазы комплексного коэффициента отражения S11.

С помощью программы ручного управления сканером (рисунок 2) в соответствующей вкладке программного продукта для измерений в ближней зоне «MeasurementCenter» переместить антенну-зонд в крайнее нижнее положение.

Перемещая антенну-зонд с установленным оптическим отражателем вдоль оси x0y в пределах рабочей зоны сканера с шагом 20 см, фиксировать показания ВАЦ.

За оценку погрешности измерений фазы, обусловленную случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса, принять разность между максимальным и минимальным значением измеренной фазы комплексного коэффициента отражения на частоте 40 ГГц. Расчеты произвести по формуле (21).

$$\Theta_{\phi_3} = \max(\arg(S_{12}(x, y))) - \min(\arg(S_{12}(x, y))) \quad (21)$$

где  $\arg(S_{12}(x, y))$  – значением фазы коэффициента передачи в соответствующих координатах плоскости сканирования, рад.

10.1.7 Оценку среднего квадратического отклонения результатов измерений амплитудного и фазового распределений (АФР) проводить методом прямых измерений с многократными наблюдениями распределения поля, формируемого на плоскости сканирования антенной П6-140.

Антенну П6-140 установить на опорно-поворотное устройство в положение, соответствующее вертикальной поляризации, таким образом, чтобы плоскость раскрыва была параллельна плоскости сканирования.

Используя режим ручного или дистанционного управления сканера, установить антенну-зонд соосно с антенной П6-140 в положение, соответствующее вертикальной поляризации.

Расстояние между раскрывами антенны П6-140 и антены-зонда установить равным в пределах  $(3\text{--}8)\lambda$ , где  $\lambda$  – максимальная длина волны измеряемого поддиапазона частот.

Запустить программу измерений в частотной области.

В соответствии с РЭ на комплекс установить полосу частот ВАЦ от 26 до 40 ГГц, ширину полосы пропускания 100 Гц, шаг перестройки по частоте 1 ГГц, уровень мощности выходного сигнала анализатора 0 дБ (отн. 1 мВт).

Далее установить следующие настройки:

- шаг сканирования не более  $\lambda/2$ ;
- режим сканирования – непрерывное сканирование без реверса;
- поляризация измеряемой антенны – вертикальная;
- поляризация зонда – вертикальная;
- размеры области сканирования  $200 \times 300$  мм.

Нажать кнопку «НАЧАТЬ ИЗМЕРЕНИЯ».

Измерить АФР не менее 7 раз с интервалом не менее 5 мин (далее – результаты измерений АФР, полученные в ходе одного сканирования, – реализация).

Запустить программу расчета характеристик антенн по данным в ближнем поле, входящую в комплект поставки комплекса. На частоте 40 ГГц рассчитать амплитудные  $A_j$  и фазовые  $\varphi_j$  распределения, а также среднее квадратическое отклонение результатов измерений АФР по формулам (4) и (8).

10.1.8 Результаты операции поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля при динамическом диапазоне измерений амплитудного распределения не менее 50 дБ и кроссполяризационной связке антены-зонда не менее 20 дБ находятся в следующих пределах для относительных уровней амплитудного распределения:

– минус 10 дБ	$\pm 0,3$ дБ;
– минус 20 дБ	$\pm 0,5$ дБ;
– минус 30 дБ	$\pm 1,5$ дБ;
– минус 40 дБ	$\pm 2,0$ дБ;
– минус 45 дБ	$\pm 3,0$ дБ,

а значения абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля при динамическом диапазоне измерений амплитудного распределения не менее 50 дБ находятся в следующих пределах при относительном уровне амплитудного распределения:

– минус 10 дБ	$\pm 3^\circ$ ;
– минус 20 дБ	$\pm 6^\circ$ ;
– минус 30 дБ	$\pm 8^\circ$ ;
– минус 40 дБ	$\pm 15^\circ$ ;
– минус 45 дБ	$\pm 20^\circ$ .

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

## 10.2 Определение относительной погрешности измерений относительных уровней АДН и абсолютной погрешности измерений ФДН в ближней зоне.

10.2.1 Определение погрешности измерений относительных уровней АДН и ФДН осуществить методом математического моделирования с учетом результатов, полученных в п. 10.1 настоящей методики, путем сравнения невозмущенных амплитудных диаграмм направленности, определенных для линейно поляризованной антенны с равномерным синфазным распределением токов на апертуре, и тех же диаграмм направленности этой же антенны, но с учетом погрешности измерений АФР.

10.2.2 Невозмущенную диаграмму направленности оценить следующим образом.

Размеры плоскости сканирования выбрать из критерия максимального сектора углов восстанавливаемой диаграммы направленности, равного  $\pm 65^\circ$ , по формулам (22):

$$\begin{aligned} L_X &= a + 2R \cdot \operatorname{tg}\theta, \\ L_Y &= b + 2R \cdot \operatorname{tg}\theta, \end{aligned} \quad (22)$$

где  $L_X, L_Y$  – размеры плоскости сканирования в соответствующих плоскостях, м;

$a, b$  – размеры раскрыва в соответствующих плоскостях, м,  $a, b \geq 5\lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны, соответствующая частотам 1,0; 26,0 и 40,0 ГГц;

$R$  – измерительное расстояние,  $R = 3\lambda$ , м;

$\Theta = 2,27$  рад.

Интервал дискретизации выбрать равным  $0,5\lambda_{max}$ .

Для частоты 1,0 ГГц пересчитать АФР в раскрыве антенны в АФР на плоскости сканирования по формуле (23):

$$J(x_2, y_2) = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[ \frac{A_0(x, y) \exp[j(\phi_0(x, y))] }{\sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + R^2}} \cdot \exp[-j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + R^2}] \right] \right], \quad (23)$$

где  $J(x_2, y_2)$  – АФР на плоскости сканирования;

$(x_2, y_2)$  – координаты на плоскости сканирования, м;

$A_0$  – амплитуда сигнала ( $A_0 = 1$  В);

$\phi_0$  – фаза сигнала ( $\phi_0 = 0$  рад);

$N(M) = \left[ \frac{L_X (L_Y)}{\Delta x (\Delta y)} \right]$  – число шагов сканирования в каждой из плоскостей,

где  $\Delta x, \Delta y$  – шаг сканирования в плоскости X и Y, соответственно.

Рассчитать нормированные АДН и ФДН по формулам (24) и (25):

$$F_A(u, v) = \sqrt{1 - u^2 - v^2} \frac{|\Im(J(x_2, y_2))|}{\operatorname{MAX}(|\Im(J(x_2, y_2))|)}, \quad (24)$$

$$F_\phi(u, v) = \arg[\Im(J(x_2, y_2))], \quad (25)$$

где  $|...|$  – модуль комплексной величины;

$\Im(...)$  – оператор двумерного дискретного преобразования Фурье;

$\operatorname{MAX}$  – максимальное значение модуля комплексной величины;

$\arg$  – аргумент функции;

$u = \sin \theta \cdot \cos \varphi, v = \sin \theta \cdot \sin \varphi$  – угловые координаты;

$U = \pm \frac{\lambda}{2L_X} N, V = \pm \frac{\lambda}{2L_Y} M$  – угловые сектора в системе координат направляющих косинусов  $(u, v)$ , в пределах которых восстанавливается диаграмма, рад;

$$w = \sqrt{1 - u^2 - v^2}, \theta = \arccos w, \varphi = \operatorname{arctg} \left( \frac{v}{u} \right).$$

10.2.3 АДН и ФДН антенны с учетом погрешности измерений АФР оценить следующим

образом.

Значения погрешности измерений АФР для каждого относительного уровня амплитудного распределения М задавать программно с учетом оценки погрешности измерений АФР, полученных в п. 10.1.1, по формулам (26) и (27):

$$\delta A = \text{Norm}(0, \sigma_A^2), \quad (26)$$

$$\Delta\varphi = \text{Norm}(0, \sigma_\varphi^2), \quad (27)$$

где Norm – генератор случайных величин, распределенных по нормальному закону;

$\sigma_A$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного распределения  $\sigma_A = 10^{\frac{\Delta_A}{20}} / 2,45$ ;

$\sigma_\varphi$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений фазового распределения  $\sigma_\varphi = \Delta_\Phi / 2,45$ .

Рассчитать АФР электромагнитного поля на плоскости сканирования с учетом погрешности их измерений по формуле (28):

$$J^*(x_2, y_2) = |J(x_2, y_2)| (1 + \delta A) \exp(j(\arg(J(x_2, y_2)) + \Delta\varphi)). \quad (28)$$

Аналогичным образом провести расчет «возмущенных» диаграмм направленности 7 раз. При каждой последующей реализации воспроизводить новые случайные величины по законам (24).

10.2.4 Погрешность измерений относительных уровней АДН и ФДН оценить следующим образом.

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений уровней АДН и ФДН в двух главных сечениях при  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi/2$  рассчитать по формулам (29) и (30):

$$\sigma F_A = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left( \frac{(F_A^*)_i - F_A}{(F_A^*)_i} \right)^2}, \quad (29)$$

$$\sigma F_\Phi = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left( \frac{(F_\Phi^*)_i - F_\Phi}{(F_\Phi^*)_i} \right)^2}, \quad (30)$$

где  $k$  – число реализаций моделирования,  $k = 7$ .

Рассчитать погрешность измерений уровней АДН и ФДН по формулам (31) и (32):

$$\delta F_A = \pm 20 \lg(1 + 2,45 \sigma F_A); \quad (31)$$

$$\Delta F_\Phi = \pm \frac{180}{\pi} 2,45 \cdot \sigma F_\Phi. \quad (32)$$

10.2.5 Повторить расчеты для номиналов частот 26,0 и 40,0 ГГц.

10.2.6 Результаты операции поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений АДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ и кроссполяризационной развязке антены-зонда не менее 20 дБ) до относительных уровней, находятся в пределах:

– минус 10 дБ	$\pm 0,4$ дБ;
– минус 20 дБ	$\pm 0,7$ дБ;
– минус 30 дБ	$\pm 2,0$ дБ;
– минус 40 дБ	$\pm 2,7$ дБ;
– минус 45 дБ	$\pm 4,0$ дБ;

и значения абсолютной погрешности измерений ФДН (при динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения не менее 50 дБ) при относительных уровнях амплитудных диаграмм, находятся в пределах:

– минус 10 дБ	$\pm 4^\circ$ ;
– минус 20 дБ	$\pm 10^\circ$ ;
– минус 30 дБ	$\pm 15^\circ$ ;
– минус 40 дБ	$\pm 20^\circ$ ;
– минус 45 дБ	$\pm 25^\circ$ .

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

### 10.3 Определение относительной погрешности измерений КУ антенн

10.3.1 Относительную погрешность измерений КУ определить расчетным путем при использовании результатов измерений, полученных в п. 10.1.2 настоящего документа.

Относительную погрешность измерений КУ  $\delta_G$ , дБ, рассчитать по формуле (33):

$$\delta_G = \pm 10 \lg(1 + 1,1 \cdot \sqrt{\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5}), \quad (33)$$

где  $\delta_1$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной методической погрешностью,  $\delta_1 = 1,0$  дБ (0,26);

$\delta_2$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений модуля комплексного коэффициента передачи  $\theta_{A1}$ , определяемой в п. 10.1.2 для уровня минус 10 дБ, вычисляются по формуле (34):

$$\delta_2 = 10^{0,1\theta_{A1}} - 1; \quad (34)$$

$\delta_3$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений КУ измерительного зонда  $\delta_3 = 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,5$  дБ;

$\delta_4$  – границы частной составляющей суммарной погрешности из-за рассогласования  $\delta_4 = 0,11$ , что соответствует КСВН=2,0;

$\delta_5$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной поляризационными потерями, вычисляются по формуле (35):

$$\delta_5 = (1 + 10^{0,05K})^2 - 1; \quad (35)$$

где К – наибольший уровень кроссполяризационной составляющей поля излучения среди измерительного зонда и исследуемой антенны, принимается равным минус 20 дБ;

10.3.2 Результаты операции поверки считать положительными, если относительная погрешность измерений КУ антенн находится в пределах, представленных в таблице 8.

Таблица 8

Погрешность измерений КУ измерительного зонда, дБ	Относительная погрешность измерений КУ, дБ
±0,3	±1,5
±0,5	±1,6
±0,8	±1,7
±1,0	±1,8
±1,5	±2,2

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

#### **10.4 Определение диапазона рабочих частот в ближней зоне**

10.4.1 Определение диапазона рабочих частот проводить по результатам определения погрешностей измерений АФР (п. 10.1).

10.4.2 Результаты операции поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 1,0 до 40,0 ГГц значения погрешностей измерений АФР находятся в допускаемых пределах, приведенных в п. 10.1.8. В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 1,0 до 40,0 ГГц.

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

#### **10.5 Определение диапазона изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам**

10.5.1 Определение размеров рабочей области сканирования осуществить по результатам измерений, выполненных в соответствии с п. 10.1.5 настоящей методики.

10.5.2 Результаты операции поверки считать положительными, если диапазон изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам:

- по оси X не менее 3000 мм;
- по оси Y не менее 3000 мм;
- по оси Z не менее 500 мм.

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

#### **10.6 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности**

10.6.1 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности осуществить по результатам определения погрешности измерений по п. 10.2.

10.6.2 Результаты операции поверки считать положительными и сектор углов восстанавливаемой АДН в азимутальной и угломестной плоскостях составляет от минус  $65^{\circ}$  до плюс  $65^{\circ}$ , если при заданных в п. 10.2 условиях моделирования (секторы углов  $\Theta$  и  $\phi$ ) рассчитанные значения относительной погрешности измерений относительных уровней АДН находятся в допускаемых пределах, приведенных в п. 10.2.6.

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

#### **10.7 Определение динамического диапазона комплекса**

10.7.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ книга 1.

10.7.2 На сканер и на ОПУ поочередно устанавливать антенны в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9 – Список антенн для измерения динамического комплекса

Диапазон частот, ГГц	Антенна, устанавливаемая на сканер	Антенна, устанавливаемая на ОПУ
от 0,2 до 0,3 включ.	ТМА 0,2-1,3 Э	П6-121
от 0,3 до 1,0 включ.	ТМА 0,2-1,3 Э	П6-62
от 1,0 до 1,3 включ.	ТМА 0,2-1,3 Э	П6-123
от 1,3 до 12,0 включ.	ТМА 1,3-15 Э	П6-123
от 12,0 до 15,0 включ.	ТМА 1,3-15 Э	П6-140
от 15,0 до 40,0 включ.	ТМА 15-40 Э	П6-140

10.7.3 ВАЦ установить в режим измерений коэффициента передачи.

Для диапазона частот от 0,2 до 12,0 ГГц мощность передатчика «Power» ВАЦ установить 15 дБ (отн 1 мВт), ширину полосы фильтра промежуточной частоты «Bandwidth» установить 10 Гц, диапазон частот устанавливать в соответствии с таблицей 9, шаг по частоте не более 10 МГц. Малошумящие усилители из состава комплекса отключить.

10.7.4 Провести измерения коэффициента передачи  $K(f)$ , дБ.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.7.5 Отключить кабельную СВЧ сборку от входа антенны, подключенной к приемному порту ВАЦ.

На открытый конец кабеля подключить согласованную нагрузку. Провести измерения коэффициента передачи  $K_{шум}(f)$ , дБ.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.7.6 Рассчитать динамический диапазон комплекса  $D(f)$ , в [дБ], по формуле (36):

$$D(f) = K(f) - K_{шум}(f) \quad (36)$$

Результаты расчета зафиксировать в рабочем журнале.

10.7.7 За величину динамического диапазона комплекса принять минимальное значение в диапазоне частот.

10.7.8 Для диапазона частот от 12,0 до 40,0 ГГц мощность передатчика «Power» ВАЦ установить 0 дБ (отн 1 мВт), ширину полосы фильтра промежуточной частоты «Bandwidth» установить 100 Гц, диапазон частот устанавливать в соответствии с таблицей 9, шаг по частоте не более 10 МГц. Включить в измерительный тракт малошумящие усилители из состава комплекса.

Выполнить операции п.п. 10.7.2-10.7.7 для всех диапазонов частот.

10.7.9 Результаты операции поверки считать положительными, если динамический диапазон комплекса в диапазонах частот соответствует значениям, приведенным в таблице 10.

Таблица 10 – Динамический диапазон комплекса

Диапазон частот, ГГц	Динамический диапазон, дБ, не менее
от 0,2 до 1,3 включ.	80,0
от 1,3 до 12,0 включ.	60,0
от 12,0 до 15,0 включ.	80,0
от 15,0 до 26,0 включ.	90,0
от 26,0 до 40,0 включ.	75,0

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

## 10.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН

10.8.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ книга 1.

10.8.2 Подключить аттенюатор в СВЧ тракт комплекса. На сканер и на ОПУ поочередно устанавливать антенны в соответствии с таблицей 9.

10.8.3 ВАЦ установить в режим измерений коэффициента передачи.

Для диапазона частот от 0,2 до 12,0 ГГц мощность передатчика «Power» ВАЦ установить 15 дБ (отн 1 мВт), ширину полосы фильтра промежуточной частоты «Bandwidth» установить 10 Гц, диапазон частот устанавливать в соответствии с таблицей 9, шаг по частоте не более 10 МГц. Малошумящие усилители из состава комплекса отключить.

10.8.4 Провести измерения коэффициента передачи  $A_{0dB}(f)$ , дБ.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.8.5 Провести измерения коэффициента передачи  $A_{xdB}(f)$  в диапазоне ослаблений аттенюатора от 5 до 40 дБ с шагом 5 дБ.

Результаты измерений зафиксировать в рабочем журнале.

10.8.6 Для диапазона частот от 12,0 до 40,0 ГГц мощность передатчика «Power» ВАЦ установить 0 дБ (отн 1 мВт), ширину полосы фильтра промежуточной частоты «Bandwidth» установить 100 Гц, диапазон частот устанавливать в соответствии с таблицей 9, шаг по частоте не более 10 МГц. Включить в измерительный тракт малошумящие усилители из состава комплекса.

Выполнить операции п.п. 10.8.2–10.8.5 для всех диапазонов частот.

10.8.7 Подключить аттенюатор к ВАЦ ZVA50.

Провести измерения величин вводимого относительного ослабления  $B_{0dB}(f)$ ,  $B_{xdB}(f)$  аналогично п.п. 10.8.4–10.8.5 в соответствии с РЭ на ВАЦ для диапазона частот от 0,2 до 40 ГГц.

Зафиксировать результаты измерений  $B_{0dB}(f)$ ,  $B_{xdB}(f)$  в рабочем журнале.

Измерения проводить с шагом не более 50 МГц.

10.8.8 Рассчитать инструментальную погрешность измерений АДН, в [дБ], в диапазоне частот по формуле (37):

$$\Delta_{xdB}(f) = \pm \left[ [A_{xdB}(f) - A_{0dB}(f)] + [B_{xdB}(f) - B_{0dB}(f)] \right] \quad (37)$$

10.8.9 За инструментальную погрешность измерений АДН принять среднее значение модуля погрешности в диапазоне частот.

10.8.10 Инструментальную погрешность измерений ФДН, в градусах, в диапазоне частот рассчитать по формуле (38):

$$\varphi_{xdB} = \pm \frac{180}{\pi} \operatorname{arctg} \left( 10^{0.05 \langle \Delta(f) \rangle} - 1 \right) \quad (38)$$

где  $\langle \Delta(f) \rangle$  – среднее значение модуля погрешности в диапазоне частот, дБ.

10.8.11 Результаты операции поверки считать положительными, если значения инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН находятся в пределах, указанных в таблице 11.

Таблица 11 – Пределы инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН

Диапазон частот, ГГц	Уровень ДН, дБ	Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерений АДН, дБ	Пределы допускаемой абсолютной инструментальной погрешности измерений ФДН, градус
от 0,2 до 18,0 включ.	-5	±0,2	±1,3
	-10	±0,2	±1,3
	-15	±0,2	±1,3
	-20	±0,3	±2,1
	-25	±0,4	±2,7
	-30	±0,4	±2,7
	-35	±0,5	±3,4
	-40	±0,7	±4,8

Продолжение таблицы 11

Диапазон частот, ГГц	Уровень ДН, дБ	Пределы допускаемой инструментальной погрешности измерений АДН, дБ	Пределы допускаемой абсолютной инструментальной погрешности измерений ФДН, градус
св. 18,0 до 40,0 включ.	-5	±0,5	±3,4
	-10	±0,5	±3,4
	-15	±0,6	±4,1
	-20	±0,7	±4,8
	-25	±0,7	±4,8
	-30	±0,7	±4,8
	-35	±0,9	±6,2
	-40	±0,9	±6,2

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

### 10.9 Определение диапазона рабочих частот в дальней зоне

10.9.1 Определение диапазона рабочих частот проводить по результатам определения инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН.

10.9.2 Результаты операции поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 0,2 до 40 ГГц включительно, значения инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН находятся в допускаемых пределах (см. таблицу 11). В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 0,2 до 40 ГГц.

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

### 10.10 Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН в дальней зоне

10.10.1 Определение погрешности измерений АДН и ФДН проводить для условия, что расстояние R между антеннами при измерениях удовлетворяет условию дальней зоны.

Определение погрешностей измерений АДН (ФДН) выполнять с учетом их инструментальных погрешностей и методической погрешности из-за источников переотражений в соответствии с требованиями ГОСТ 8.736-2011.

10.10.2 Рассчитать составляющую погрешности измерений, обусловленную инструментальной погрешностью приемного устройства  $\Delta(f)$  [дБ], определяемой в п. 10.8.8, по формуле (39):

$$\theta_H = 10^{0,1\Delta(f)} - 1. \quad (39)$$

10.10.3 Рассчитать составляющую погрешности измерений из-за наличия побочных переотражений в безэховой камере по формуле (40):

$$\theta_{KB} = \left(1 + 10^{-0,05(L-KB)}\right)^2 - 1, \quad (40)$$

где L – измеряемый уровень ДН, дБ;

KB – коэффициент безэховости, дБ, (от минус 20 до минус 45 дБ)

Рассчитать доверительные границы ( $p = 0,99$ ) случайной составляющей погрешности, обусловленной влиянием собственных шумов измерительной системы, по формуле (41):

$$\varepsilon = \left(1 + 10^{-0,05(L+SNR)}\right)^2 - 1, \quad (41)$$

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

10.10.4 Рассчитать пределы погрешности измерений уровней АДН и ФДН (при доверительной вероятности 0,95) в диапазоне частот по формуле (42):

$$\delta_{\text{ЛИН}} = \frac{\varepsilon + \theta_H + \theta_{KB}}{\sqrt[3]{2,56} + \frac{1}{\sqrt{3}}(\theta_H + \theta_{KB})} \sqrt{\frac{1}{3}(\theta_H + \theta_{KB})^2 + \frac{\varepsilon^2}{6,56}} \quad (42)$$

10.10.5 Рассчитать пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН в логарифмический масштаб по формуле (43):

$$\delta_{\log} = \pm 10 \lg(1 + \delta_{\text{ЛИН}}), \quad (43)$$

Рассчитать пределы допускаемой погрешности измерений ФДН по формуле (44):

$$\delta_\phi = \pm a \tan(\delta_{\text{ЛИН}}). \quad (44)$$

10.10.6 Результаты операции поверки считать положительными, если значения погрешности измерений уровней АДН и ФДН находятся в пределах, приведенных в таблице 12.

Таблица 12 – Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН и ФДН

Диапазон частот, ГГц	КБ, дБ	Уровень ДН, дБ	Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН, дБ	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровней ФДН, градус
от 0,2 до 18,0 включ.	-20	-5	±1,6	±11,2
		-10	±2,5	±18,5
		-15	±4,0	±30,0
	-25	-5	±1,0	±6,9
		-10	±1,6	±11,2
		-15	±2,5	±18,5
		-20	±4,0	±30,4
	-30	-5	±0,7	±4,5
		-10	±1,0	±7,0
		-15	±1,6	±11,3
		-20	±2,6	±19,1
		-25	±4,1	±30,8
	-35	-5	±0,5	±3,1
		-10	±0,7	±4,5
		-15	±1,0	±7,0
		-20	±1,7	±11,9
		-25	±2,6	±19,6
		-30	±4,1	±30,9
	-40	-5	±0,4	±2,4
		-10	±0,5	±3,2
		-15	±0,7	±4,6
		-20	±1,1	±7,7
		-25	±1,7	±12,6
		-30	±2,7	±19,8
		-35	±4,2	±31,5

Продолжение таблицы 12

Диапазон частот, ГГц	КБ, дБ	Уровень ДН, дБ	Пределы допускаемой погрешности измерений уровней АДН, дБ	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений уровней ФДН, градус
от 0,2 до 18,0 включ.	-45	-5	±0,3	±1,9
		-10	±0,4	±2,4
		-15	±0,5	±3,2
		-20	±0,8	±5,3
		-25	±1,2	±8,4
		-30	±1,8	±12,8
		-35	±2,8	±20,6
		-40	±4,3	±32,6
		-5	±1,8	±12,9
		-10	±2,7	±19,9
св. 18,0 до 40,0 включ.	-25	-15	±4,1	±31,4
		-5	±1,2	±8,8
		-10	±1,8	±12,9
		-15	±2,8	±20,4
	-30	-20	±4,2	±31,8
		-5	±0,9	±6,4
		-10	±1,3	±8,8
		-15	±1,9	±13,5
		-20	±2,8	±21,0
	-35	-25	±4,2	±31,8
		-5	±0,7	±5,1
		-10	±0,9	±6,5
		-15	±1,3	±9,5
		-20	±2,0	±14,2
		-25	±2,8	±21,1
	-40	-30	±4,2	±32,0
		-5	±0,6	±4,4
		-10	±0,7	±5,1
		-15	±1,0	±7,2
		-20	±1,4	±10,2
		-25	±2,0	±14,3
		-30	±2,9	±21,2
	-45	-35	±4,3	±32,9
		-5	±0,6	±4,0
		-10	±0,6	±4,4
		-15	±0,8	±5,9
		-20	±1,1	±7,9
		-25	±1,5	±10,3
		-30	±2,0	±14,5
		-35	±3,0	±22,5
		-40	±4,4	±33,2

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

## 10.11 Определение относительной погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны

10.11.1 Определение погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны проводить для следующих условий:

– КУ исследуемой антенны измеряется в максимуме ДН антенны;

– КСВН антенн не более 1,6 для диапазона частот от 15 до 40 ГГц и не более 2,0 для диапазона частот от 0,2 до 15 ГГц.

10.11.2 Определение погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны проводить в соответствии с ГОСТ 8.736-2011 на основе частных составляющих суммарной погрешности по формуле (45):

$$\Delta G = \pm 10 \cdot \lg \left( 1 + 1,1 \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2 + \theta_4^2 + \theta_5^2 + \theta_6^2 + \theta_7^2 + \theta_8^2} \right), \quad (45)$$

где  $\theta_i$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью КУ эталонной антенны  $\Delta G_3$ , принимаются равными 0,3; 0,5; 0,8 и 1,0 дБ (что соответствует 0,07; 0,12; 0,2 и 0,26);

$\theta_2$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной инструментальной погрешностью приемного устройства А [дБ], определяемой в п. 10.8.8 для уровня минус 10 дБ, вычисляются по формуле (46):

$$\theta_2 = 10^{0,1A} - 1; \quad (46)$$

$\theta_3$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной влиянием шумов, принимаются равными 0,02;

$\theta_4$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной конечным расстоянием между антеннами, принимаются равными 0,05 при выполнении условия  $R \geq 2 \cdot D^2 / \lambda$  (где  $\lambda$  – длина волн, см;  $D$  – наибольший из размеров раскрытий антенн каких, см);

$\theta_5$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной побочными переотражениями от элементов антенного полигона, вычисляемые по формуле (47):

$$\theta_5 = \left( 1 + 10^{0,05KB} \right)^2 - 1, \quad (47)$$

где  $KB$  – коэффициент безэховости, дБ, значения приведены в таблице 13;

Таблица 13 – Границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной побочными переотражениями от элементов антенного полигона

Частотный диапазон, ГГц	Коэффициент безэховости, дБ	Границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной побочными переотражениями от элементов антенного полигона
0,2-1,0	-15	0,39
1,0-2,0	-20	0,21
2,0-4,0	-25	0,12
4,0-15,0	-30	0,06
15,0-40,0	-35	0,04

$\theta_6$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной поляризационными потерями, вычисляемые по формуле (48):

$$\theta_6 = \left( 1 + 10^{0,05K} \right)^2 - 1, \quad (48)$$

где  $K$  – наибольший уровень кроссполяризационной составляющей поля излучения среди эталонной и исследуемой антенн, принимается равным минус 30 дБ;

$\theta_7$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ трактов эталонной и исследуемой антенн, принимаются равными 0,05 для диапазона частот от 15 до 40 ГГц и 0,11 для диапазона частот от 0,2 до 15 ГГц (что соответствует КСВН = 1,6 и 2,0 соответственно).

$\theta_8$  – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неточной установкой фазовых центров антенн приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неточной установкой фазовых центров антенн

Частотный диапазон, ГГц	Поправка на положение фазового центра, м	Границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неточной установкой фазовых центров антенн, дБ
0,2-1,0	±0,25	0,7
1,0-2,0	±0,15	0,5
2,0-4,0	±0,10	0,3
4,0-15,0	±0,10	0,3
15,0-40,0	±0,10	0,3

10.11.3 Результаты операции поверки считать положительными, если значения погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны находятся в пределах, приведенных в таблице 15.

Таблица 15 - Пределы допускаемой относительной погрешности измерений КУ

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны, дБ, при погрешности измерений КУ вспомогательной антенны, дБ	
в диапазоне частот от 0,2 до 1,0 ГГц	
±0,3	±1,8
±0,5	±1,9
±0,8	±2,0
±1,0	±2,1
в диапазоне частот от 1,0 до 2,0 ГГц	
±0,3	±1,2
±0,5	±1,3
±0,8	±1,4
±1,0	±1,5
в диапазоне частот от 2,0 до 4,0 ГГц	
±0,3	±0,9
±0,5	±1,0
±0,8	±1,2
±1,0	±1,4
в диапазоне частот от 4,0 до 15,0 ГГц	
±0,3	±0,8
±0,5	±1,0
±0,8	±1,2
±1,0	±1,3

Продолжение таблицы 15

Пределы допускаемой относительной погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны, дБ, при погрешности измерений КУ вспомогательной антенны, дБ	
в диапазоне частот от 15,0 до 40,0 ГГц	
±0,3	±0,8
±0,5	±0,9
±0,8	±1,1
±1,0	±1,3

## 11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

11.1 Относительную погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютную погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля рассчитать по формулам (1, 5, 9, 10).

Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и значения абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля находится в допускаемых пределах (п. 10.1.8).

11.2 Относительную погрешность измерений уровней амплитудных диаграмм направленности и абсолютную погрешность измерений фазовых диаграмм направленности рассчитать по формулам (31, 32).

Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность измерений уровней амплитудных диаграмм направленности и абсолютная погрешность измерений фазовых диаграмм направленности находится в допускаемых пределах (п. 10.2.6).

11.3 Относительная погрешность КУ антенн определяется расчетным путем при использовании результатов измерений, полученных в п. 10.1.2 настоящего документа, по формуле (33).

Результаты поверки считать положительными, если относительная погрешность измерений КУ антенн находится в пределах, представленных в таблице 8.

11.4 Диапазон рабочих частот в ближней зоне определить по результатам определения погрешностей измерений АФР (п. 10.1.8).

Результаты поверки считать положительными, если значения относительной погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и значения абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля находится в допускаемых пределах (п. 10.1.8) во всем рабочем диапазоне частот (10.4).

11.5 Определение диапазона изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам осуществить по результатам измерений, выполненных в соответствии с п. 10.1.5 настоящей методики.

Результаты поверки считать положительными, если диапазон изменений положения антенны-зонда Т-сканера по линейным координатам:

- по оси X не менее 3000 мм;
- по оси Y не менее 3000 мм;
- по оси Z не менее 500 мм.

11.6 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности осуществить по результатам определения погрешности измерений по п. 10.2.

Результаты поверки считать положительными и сектор углов восстанавливаемой АДН в азимутальной и угломестной плоскостях составляет от минус  $65^{\circ}$  до плюс  $65^{\circ}$ , если при заданных в п. 10.2 условиях моделирования (секторы углов  $\Theta$  и  $\phi$ ) рассчитанные значения относительной погрешности измерений относительных уровней АДН находятся в допускаемых пределах, приведенных в п. 10.2.6.

11.7 Определение динамического диапазона комплекса проводить по формуле (36).

Результаты поверки считать положительными, если динамический диапазон комплекса находится в допускаемых пределах (п. 10.7.9).

11.8 Определение инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН проводить по формулам (37, 38).

Результаты поверки считать положительными, если инструментальная погрешность АДН и ФДН находится в допускаемых пределах (п. 10.8.11)

11.9 Диапазон рабочих частот в дальней зоне определить по результатам определения инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН (п. 10.8).

Результаты поверки считать положительными, если значения инструментальной погрешности измерений АДН и ФДН находится в допускаемых пределах (п. 10.8.11) во всем рабочем диапазоне частот (10.9).

11.10 Определение погрешности измерений уровней АДН и ФДН в дальней зоне проводить по формулам (42, 43, 44).

Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений уровней АДН и ФДН в дальней зоне находятся в допускаемых пределах (п. 10.10.6).

11.11 Определение погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны проводить по формулам (45).

Результаты испытаний считать положительными, если значения погрешности измерений КУ методом эталонной вспомогательной антенны находятся в допускаемых пределах (п. 10.11.3).

## 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 средство измерений наносится знак поверки, и (или) выдается свидетельство о поверке средства измерений, 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»

Заместитель начальника НИО-1  
ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник лаб. 133 НИО-1  
ФГУП «ВНИИФТРИ»

О.В. Каминский

А.В. Титаренко

М.С. Шкуркин

