

СОГЛАСОВАНО

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



А.Н. Щипунов

2026 г.

Государственная система обеспечения единства измерений
Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный
ТМСА 1.0-50.0 K112
МЕТОДИКА ПОВЕРКИ
МП 134-25-08

пгт. Менделеево
2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	5
3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ.....	6
4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ	6
5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ.....	6
6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ	9
7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ.....	9
8 ПРОВЕРКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	10
9 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	10
10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ	11
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ	19

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) распространяется на комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112 (заводской № 112) (далее – комплекс), изготовленный обществом с ограниченной ответственностью «Научно-производственное предприятие «ТРИМ СШП Измерительные системы» (ООО «НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы»», г. Санкт-Петербург, и устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок.

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

1.3 При проведении поверки должна быть обеспечена прослеживаемость поверяемого комплекса к Государственному первичному эталону единицы ослабления электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 0 до 178 ГГц (ГЭТ 193-2011) в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений ослабления напряжения постоянного тока и электромагнитных колебаний в диапазоне частот от 20 Гц до 178,4 ГГц, утвержденной приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383 и к Государственному первичному эталону единицы волнового сопротивления в коаксиальных волноводах ГЭТ 75-2023 в соответствии с Локальной поверочной схемой для измерительных антенн в диапазоне значений от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц ЛПС-134-2023, утвержденной 1 августа 2023 г. ФГУП «ВНИИФТРИ».

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

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой 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 антенн в дальней зоне в частотной области.

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 1,0 до 50,0
Диапазоны рабочих частот облучателей, ГГц:	
– однополяризационный облучатель FD-07-1	от 1,0 до 1,1
– однополяризационный облучатель FD-1-1	от 1,1 до 1,7
– однополяризационный облучатель FD-1-2	от 1,7 до 2,6
– однополяризационный облучатель FD-2-3	от 2,60 до 3,95
– однополяризационный облучатель FD-3-5	от 3,95 до 5,85
– однополяризационный облучатель FD-5-8	от 5,85 до 8,20
– однополяризационный облучатель FD-8-12	от 8,2 до 12,4
– однополяризационный облучатель FD-12-18	от 12,4 до 18,0
– однополяризационный облучатель FD-18-26	от 18,0 до 26,5
– двухполяризационный облучатель FD-26-40	от 26,5 до 40,0
– однополяризационный облучатель FD-40-60	от 40,0 до 50,0
Максимальный размер рабочей зоны (диаметр), м	1,8

Продолжение таблицы 1

Наименование характеристики		Значение	
Доверительные границы абсолютной погрешности установки приращения углового положения по осям вращения ОПУ ¹⁾ при доверительной вероятности 0,95, градус		±0,017	
Неравномерность амплитудного (А) и фазового (Ф) распределений, относительный уровень кроссполаризационной составляющей электромагнитного поля (К) в пределах рабочей зоны, не более ²⁾			
Диапазон частот, ГГц	А, дБ	Ф, градус	К, дБ
однополяризационный облучатель FD-07-1	3,0	25	-
однополяризационный облучатель FD-1-1	3,5	25	-21
однополяризационный облучатель FD-1-2	2,2	20	-24
однополяризационный облучатель FD-2-3	2,4	15	-24
однополяризационный облучатель FD-3-5	2,6	20	-25
однополяризационный облучатель FD-5-8	2,5	15	-26
однополяризационный облучатель FD-8-12	2,6	15	-25
однополяризационный облучатель FD-12-18	2,2	20	-26
однополяризационный облучатель FD-18-26	2,5	20	-26
двухполяризационный облучатель FD-26-40	3,0	30	-25
однополяризационный облучатель FD-40-60	2,2	30	-24
Доверительные границы инструментальной погрешности измерений уровней АДН и ФДН ³⁾ при доверительной вероятности 0,95			
Уровень АДН, дБ	АДН, дБ	ФДН, градус	
-5	±0,10	±0,7	
-10	±0,15	±1,0	
-15	±0,20	±1,4	
-20	±0,25	±1,7	
-25	±0,30	±2,1	
-30	±0,35	±2,4	
-35	±0,45	±3,1	
-40	±0,60	±4,1	
-45	±0,80	±5,6	
-50	±1,10	±7,7	
Доверительные границы погрешности измерений коэффициента усиления (КУ) антенн ⁴⁾ при доверительной вероятности 0,95, дБ			
для антенн с размерами апертуры от X ⁵⁾ до 900 мм			
Облучатели FD-07-1, FD-1-1, FD-1-2		±1,5	
Облучатели FD-2-3, FD-3-5, FD-5-8, FD-8-12, FD-12-18, FD-18-26, FD-26-40, FD-40-60		±0,6	
для антенн с размерами апертуры от 900 до 1500 мм			
Облучатели FD-07-1, FD-1-1, FD-1-2		±1,2	
Облучатели FD-2-3, FD-3-5, FD-5-8, FD-8-12, FD-12-18, FD-18-26, FD-26-40, FD-40-60		±0,6	
для антенн с размерами апертуры от 1500 до 1800 мм			
Облучатели FD-07-1, FD-1-1, FD-1-2		±1,2	
Облучатели FD-2-3, FD-3-5, FD-5-8, FD-8-12, FD-12-18, FD-18-26, FD-26-40, FD-40-60		±0,8	

Продолжение таблицы 1

Примечания:

- 1) – при вращении в одном направлении;
- 2) – при измерениях амплитудного и фазового распределений антенной с коэффициентом усиления не более 8 дБ;
- 3) – для отношения сигнал/шум в максимуме измеряемой ДН не менее 70 дБ;
- 4) – в максимуме АДН, при отличии КУ антенн не более 30 дБ, отношении сигнал/шум не менее 40 дБ, КСВН входа антенн не более 1,5;
- 5) – X=300 мм для облучателей FD-07-1, FD-1-1, FD-1-2, X=200 мм для облучателей FD-2-3, FD-3-5, X=150 мм для облучателя FD-5-8, X=100 мм для облучателей FD-8-12, FD-12-18, FD-18-26, FD-26-40, FD-40-60.

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 максимального размера рабочей зоны, неравномерности амплитудного и фазового распределений, относительного уровня кроссполяризационной составляющей электромагнитного поля в пределах рабочей зоны	Да	Да	10.1
Определение инструментальной погрешности измерений уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95	Да	Да	10.2
Определение погрешности измерений КУ антенн при доверительной вероятности 0,95	Да	Нет	10.3
	Нет	Да	10.4
Определение абсолютной погрешности установки приращения углового положения по осям вращения ОПУ при доверительной вероятности 0,95	Да	Да	10.5
Оформление результатов поверки	Да	Да	11

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

2.3 При получении отрицательных результатов при выполнении любой из операций, приведенных в таблице 2, поверка прекращается, и 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 198 до 242 от 49 до 51
Условия применения: – температура окружающего воздуха, °С – относительная влажность окружающего воздуха при температуре +20 °С, %, не более – атмосферное давление, кПа	от +18 до +22 70 от 86 до 106,7

4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

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

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документами:

– ТМСА 1.0-50.0 К112 ПС «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Паспорт» (далее – ПС);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 1. Часть 1. Описание комплекса и его составных частей. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ч.1);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 1. Часть 2. Методики проведения измерений. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ч.2);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 2. Программное обеспечение измерения РТХ антенн. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ПО);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 3. Часть 1. Программное обеспечение расчета и отображения «ProVilab». Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ПО к.3 ч.1);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 3. Часть 2. Программное обеспечение расчета и отображения «ProVilab». Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ПО к.3 ч.2);

– ТМСА 1.0-50.0 К112 РЭ «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 К112. Книга 3. Часть 3. Программное обеспечение расчета и отображения «ProVilab». Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ ПО к.3 ч.3).

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 198 до 242 В, с относительной погрешностью ± 1 %. СИ частоты питающей сети в диапазоне от 49,5 до 50,5 Гц с абсолютной погрешностью не более 0,5 Гц.	Измерители влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 15500-12*. Измерители температуры цифровые Fluke серии II моделей 51, 52, 53, 54, рег. № 76835-19*. Мультиметры цифровые Testo 760-2, рег. № 65373-16*. Мультиметры цифровые Fluke 87V MAX, рег. № 80953-21*.
10.1 Определение диапазона рабочих частот, максимального размера рабочей зоны, неравномерности амплитудного и фазового распределений, относительного уровня кроссполяризационной составляющей электромагнитного поля в пределах рабочей зоны	СИ расстояний абсолютным дальномером в диапазоне измерений от 1 до 60 м, диапазон измерений горизонтальных углов ± 360 °, диапазон измерений вертикальных углов ± 145 °. Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения расстояний с применением интерферометра ± 10 мкм/м, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения горизонтальных и вертикальных углов $\pm (15 + 6L)$ мкм, где L – измеряемая длина в метрах. Вспомогательное оборудование с диапазоном перемещений по линейной оси не менее 2 м. Вспомогательное оборудование с диапазоном частот от 0,8 до 50,0 ГГц.	Система лазерная координатно-измерительная Leica Absolute Tracker AT930 (рег. № 60403-15)* (далее – лазерный трекер AT930). Теодолит электронный RGK TO-02 рег. № 73115-18* (далее – теодолит TO-02). – сканер линейный; – зонды в виде открытых концов волноводов разных сечений.
10.2, 10.3 Определение инструментальной погрешности измерений уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95	Эталоны ослабления от 0 до минус 60 дБ в диапазоне частот от 1 до 50 ГГц, соответствующие требованиям к эталонам на ниже 2 разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383	Анализатор электрических цепей векторный ZVA50, эталон 2-го разряда в соответствии с приказом Росстандарта от 30 декабря 2019 г. № 3383, рег. № 48355-11* (далее – ВАЦ ZVA50).

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	СИ ослабления от 0 до минус 60 дБ в диапазоне частот от 1 до 50 ГГц с погрешностью не более 3,0 дБ.	Аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М (рег. № 60239-15)* (далее – аттенюатор).
10.4 Определение погрешности измерений КУ антенн при доверительной вероятности 0,95	СИ (эталон) воспроизведения плотности потока энергии электромагнитного поля с коэффициентом усиления от 5 до 40 дБ в диапазоне частот от 0,8 до 50 ГГц. Пределы допускаемой погрешности измерения коэффициента усиления антенн до $\pm 0,25$ дБ.	Государственный эталон единицы 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). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-421 (рег. № 82813-21)* (далее – П6-421). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/1 (рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/1). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/2 (рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/2). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/3 (рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/3). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/4 (рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/4). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/5 (рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/5). Антенна измерительная пирамидальная рупорная П6-139/6

Продолжение таблицы 4

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		(рег. № 79450-20)* (далее – П6-139/6). Антенна измерительная рупорная П6-133 (рег. № 67813-17)* (далее – П6-133).
10.4 Определение абсолютной погрешности установки приращения углового положения по осям вращения ОПУ при доверительной вероятности 0,95	СИ углов с абсолютной погрешностью не более 1 минуты.	Теодолит ТО-02
* – рег. №___ – регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (далее – ФИФ ОЕИ).		

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

5.3 Средства измерений (эталонные) 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 ПС;
- 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;
- наличие радиопоглощающих материалов на поворотных устройствах и стенах помещения в зонах зеркальных переотражений;
- состояние органов управления.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность и маркировка 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 закреплены прочно и без перекосов, действуют плавно и обеспечивают надежную фиксацию;
- отражающие элементы вблизи рабочей зоны комплекса укрыты радиопоглощающими материалами;
- отсутствуют повреждения лакокрасочных покрытий, маркировки четкие;
- 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 10 на экране монитора ПК наблюдать иконки программ «MeasurementCenter» и «ProViLab».

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

Таблица 5 – Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
	MeasurementCenter	ProViLab.exe
Идентификационное наименование ПО		
Номер версии (идентификационный номер) ПО	-	1.0.4
Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	-	-

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 документом РЭ.

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

9.3.3 Проверить работоспособность приводов многоосевого позиционера (далее – ОПУ) и позиционера облучателей (далее – ОПУ облучателей).

9.3.4 Результаты проверки работоспособности комплекса считать положительными, если:

- при загрузке программных продуктов «MeasurementCenter» и «ProViLab» сообщения об ошибках и неисправностях отсутствуют;
- все приводы ОПУ и ОПУ облучателей работоспособны.

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

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

10.1 Определение диапазона рабочих частот, максимального размера рабочей зоны, неравномерности амплитудного и фазового распределений, относительного уровня кроссполаризационной составляющей электромагнитного поля в пределах рабочей зоны

10.1.1 Установить линейный сканер на ОПУ и подготовить его к работе.

10.1.2 Установить на сканер зонд для приёма электромагнитного поля в частотном диапазоне, согласованном с частотным диапазоном используемого облучателя радиоколлиматора, на ОПУ и подготовить его к работе. Типы антенн-зондов, используемых при измерениях, выбирать в соответствии с таблицей 6.

Измерения проводить поочерёдно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

10.1.3 На подвижную каретку линейного сканера установить уголкового отражателя (далее – УО) из состава лазерного трекера АТ930, измерительный блок установить внутри безэховой камеры со стороны зеркала коллиматора.

Примечание: измерения параметров нелинейности траектории перемещения каретки сканера допускается проводить отдельно от измерений АФР.

10.1.4 Записать траекторию движения УО при перемещении каретки сканера поочерёдно в вертикальной и горизонтальной плоскостях в диапазонах перемещения зонда. При помощи программного обеспечения лазерного трекера АТ930 рассчитать отклонение траектории УО вдоль направления распространения рассеянного зеркалом коллиматора ЭМП относительно линейного тренда траектории УО от координат каретки $\Delta l(x_i)$ (где $\Delta l(x_i) < 0$ при смещении каретки в направлении зеркала коллиматора (рисунок 1).

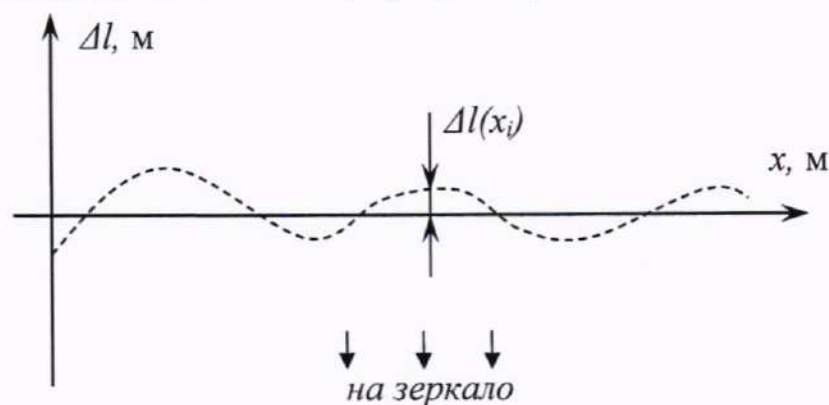


Рисунок 1 – К расчету отклонения траектории каретки сканера (УО)

10.1.5 Сконфигурировать радиочастотный тракт для измерений АФР поля радиоколлиматора в выбранном частотном поддиапазоне.

10.1.6 Установить параметры сканирования, указанные в таблице 6.

Измерения проводить в рабочей зоне, ограниченной диаметром 1,8 м, в горизонтальном и вертикальном сечениях, проходящих через её центр. Количество измеряемых частот должно быть не менее 3 для каждого облучателя радиоколлиматора (включая крайние частоты поддиапазона). В качестве зондовых антенн использовать открытые концы волноводов (далее – ОКВ).

Таблица 6 – Параметры сканирования при измерениях

Поддиапазон частот, ГГц	Тип облучателя	Тип антенны-зонда	Шаг перемещения, мм, не более
от 1,0 до 1,1	FD-07-1	Зонд на основе антенны Вивальди	100
от 1,1 до 1,7	FD-1-1		100
от 1,7 до 2,6	FD-1-2		50
от 2,6 до 3,95	FD-2-3		30
от 3,95 до 5,85	FD-3-5	ОКВ 58×25 мм	20
от 5,85 до 8,2	FD-5-8	ОКВ 35×15 мм	18
от 8,2 до 12,4	FD-8-12	ОКВ 23×10 мм	12
от 12,4 до 18	FD-12-18	ОКВ 16×8 мм	8
от 18 до 26,5	FD-18-26	ОКВ 11,0×5,5 мм	5
от 26,5 до 40	FD-26-40	ОКВ 7,2×3,4 мм	3,5
от 40 до 50	FD-40-60	ОКВ 5,2×2,6 мм	2

10.1.7 Путём размыкания радиочастотного тракта убедиться, что отношение сигнал/шум на согласованной поляризации ЭМП составляет не менее 60 дБ. При невыполнении указанного условия изменить параметры обзора ВАЦ и/или установить в радиочастотный тракт малошумящий усилитель, повторить проверку отношения сигнал/шум.

10.1.8 Выполнить измерения зависимостей амплитуды $A'(x)$ и фазы $\Phi'(x)$ измеряемого коэффициента передачи на вертикальной и горизонтальной поляризациях, в горизонтальном и вертикальном сечениях, проходящих через центр рабочей зоны радиоколлиматора, на согласованной поляризации и кроссполяризации. Измерения проводить в произвольном порядке для всех частотных поддиапазонов из таблицы 5.

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

Исключить из измеренного фазового распределения линейное отклонение, обусловленное неперпендикулярностью установки направляющей рельсы сканера направлению распространения ЭМП. Для этого аппроксимировать измеренную зависимость фазы $\Phi'(x_i)$ линейной функцией $\Phi_{\text{лин}}(x_i)$ методом наименьших квадратов (рисунок 2).

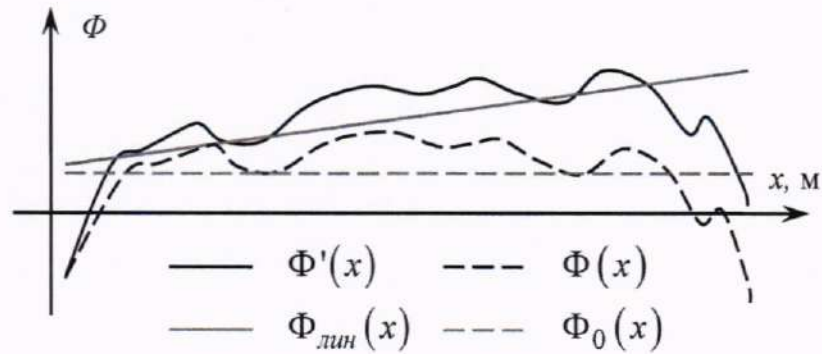


Рисунок 2 - К расчету фазового распределения

10.1.10 Рассчитать фазовое распределение ЭМП по формуле (1):

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

где λ – длина волны ЭМП, м;

$\Phi'(x_i), \Phi_{\text{лин}}(x_i), \Phi(x_i)$ – относительные фазы, градус.

10.1.11 Аппроксимировать зависимость $\Phi(x_i)$ линейной функцией $\Phi_0(x_i)$ методом наименьших квадратов.

10.1.12 Построить полученные пространственные распределения амплитуды $A_j(x_i)$, фазы $\Phi_j(x_i)$ и кроссполяризации $K_j(x_i)$. Исключить из полученных распределений 5 % значений, имеющих наибольшее отклонение от среднего значения. Определить максимальную неравномерность амплитуды ΔA и фазы $\Delta \Phi$ на согласованной поляризации в каждом диапазоне частот по следующим формулам (2-4):

$$\Delta A = \max_j \left(\max_i A_j(x_i) - \min_i A_j(x_i) \right), \quad (2)$$

$$\Delta \Phi = \max_j \left(\max_i \Phi_j(x_i) - \min_i \Phi_j(x_i) \right), \quad (3)$$

где $A_j(x_i)$ – амплитуда ЭМП в i -й точке пространства для j -го сечения, дБ;

$\Phi_j(x_i)$ – фаза ЭМП в i -й точке пространства для j -го сечения, градус;

а также максимальный уровень кроссполяризации

$$K_j = \max_j \left(K_j(x_i) - \max_i A_j(x_i) \right). \quad (4)$$

10.1.13 Результаты поверки считать положительными, если в рабочей зоне коллиматора, ограниченной диаметром 1,8 м, характеристики АФР соответствуют значениям, указанным в таблице 1.

10.2 Определение инструментальной погрешности измерений уровней АДН и ФДН при доверительной вероятности 0,95

10.2.1 Измерения выполнять для комбинаций облучателей и антенн измерительных, указанных в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры измерений при определении динамического диапазона

Поддиапазон частот, ГГц	Тип облучателя	Тип вспомогательной антенны	Шаг по частоте, не более, МГц
от 1,0 до 1,1	FD-07-1	П6-421	10
от 1,1 до 1,7	FD-1-1		10
от 1,7 до 2,6	FD-1-2		10
от 2,6 до 3,95	FD-2-3		20
от 3,95 до 5,85	FD-3-5	П6-139/1	50
от 5,85 до 8,2	FD-5-8	П6-139/2	50
от 8,2 до 12,4	FD-8-12	П6-139/3	50
от 12,4 до 18	FD-12-18	П6-139/4	100
от 18 до 26,5	FD-18-26	П6-139/5	100
от 26,5 до 40	FD-26-40	П6-139/6	100
от 40 до 50	FD-40-60	П6-133	100
Примечание – в качестве вспомогательных допускается использование эталонных антенн из состава Комплекса.			

10.2.2 На ОПУ установить антенну П6-421. Подключить вход антенны к измерительному тракту. Поляризацию антенны установить согласованной с поляризацией поля коллиматора, а ось симметрии совместить с горизонтальной плоскостью и направить на центр зеркала коллиматора.

Подключить аттенюатор в приёмную часть СВЧ тракта комплекса до первого активного элемента.

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

- диапазон частот и шаг по частоте – в соответствии с таблицей 7;
- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного тракта без компрессии;
- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц;
- ширина апертуры сглаживающей функции «Smoothing» – 5%.

10.2.4 Провести измерения коэффициента передачи $A_{\text{хв}}(f)$ в диапазоне ослаблений x аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 10 дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

10.2.5 Повторить операции пп. 10.2.2 – 10.2.4 для П6-139/1, П6-139/2, П6-139/3, П6-139/4, П6-139/5, П6-139/6 и П6-133.

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

- диапазон частот и шаг по частоте – аналогично п. 10.2.3;
- выходная мощность ВАЦ – максимальная, обеспечивающая режим работы приёмного канала с уровнем компрессии не более 0,05 дБ (уровень компрессии проверяется путём записи измеряемой «трассы» при заданном уровне мощности передатчика в память и сравнении её текущей «трассой» при уровне мощности, уменьшенном на 5 дБ);

- ширина полосы фильтра ПЧ (IF Bandwidth) – 100 Гц;
- ширина апертюры сглаживающей функции «Smoothing» – 5%.

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

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

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

10.2.8 Провести измерения коэффициента передачи $B_{\text{xdB}}(f)$ в диапазоне ослаблений x аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 10 дБ. Результаты зафиксировать в виде файлов с табличными данными.

10.2.9 Значения инструментальной погрешности измерений уровней АДН при доверительной вероятности 0,95 в децибелах в диапазоне частот по формуле (5):

$$C_{\text{xdB}} = \pm 10 \log \left(1 + \frac{1,96 s_H + \theta_H}{s_H + \theta_H} \sqrt{\theta_H^2 + s_H^2} \right), \quad (5)$$

где s_H – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического, вычисляемое согласно п. 5.4 ГОСТ 8.736-2011 на основе $U_{\text{xdB}}(f)$;

θ_H – среднее арифметическое отклонения $U_{\text{xdB}}(f)$;

$$U_{\text{xdB}}(f) = 10^{0,1[A_{\text{xdB}}(f) - A_{0\text{dB}}(f)] - [B_{\text{xdB}}(f) - B_{0\text{dB}}(f)]} - 1.$$

Для уровня АДН минус 5 принимается полученное значение инструментальной погрешности для уровня минус 10 дБ, для уровня ДН минус 15 – минус 20 дБ и так далее.

10.2.10 Рассчитать значения инструментальной погрешности измерений уровней АДН при доверительной вероятности 0,95 в линейном масштабе по формуле (6):

$$C_{\text{xdB}}^{\text{линей}} = 10^{0,1 C_{\text{xdB}}} - 1. \quad (6)$$

Рассчитать значения инструментальной погрешности измерений ФДН в линейном масштабе при доверительной вероятности 0,95 по формуле (7):

$$D_{\text{xdB}} = \pm \arctg(C_{\text{xdB}}^{\text{линей}}). \quad (7)$$

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

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

10.3.1 Определение погрешности измерений КУ измерительных антенн.

10.3.1.1 Провести измерения КУ П6-421, П6-139/1, П6-139/2, П6-139/3, П6-139/4, П6-139/5, П6-139/6 и П6-133 на ГЭТ КУ. Измерения проводить не менее чем в 10 эквидистантных частотных точках, включающих крайние точки поддиапазонов в соответствии с таблицей 7.

10.3.1.2 Провести измерения КУ П6-421, П6-139/1, П6-139/2, П6-139/3, П6-139/4, П6-139/5, П6-139/6 и П6-133 на комплексе в соответствии с РЭ. Частотные точки должны соответствовать используемым в п. 10.3.1.1.

10.3.1.3 Рассчитать погрешность измерений КУ измерительных антенн по формуле (8):

$$\Delta G = \max_f |G_{\Sigma}(f) - G_{И}(f)|, \quad (8)$$

где $G_{\Sigma}(f)$ и $G_{И}(f)$ – частотные зависимости КУ, измеренные на ГЭТ КУ и комплексе соответственно, дБ.

10.3.1.4 Результаты измерений считать положительными, если значения погрешности измерений КУ удовлетворяют требованиям, указанным в таблице 7. В противном случае результаты измерений считать отрицательными и последующие операции не проводить.

10.3.2 Расчёт составляющей погрешности из-за неравномерности поля радиоколлиматора

10.3.2.1 В качестве исходных данных о характеристиках испытываемых антенн использовать модель антенны со следующими характеристиками:

- предельное значение КСВН составляет 1,5;
- «косинусным на пьедестале» (размер пьедестала 0,5) распределением амплитуды и равномерным распределением фазы ЭМП вдоль апертуры (9):

$$E_M(x_i) = \sqrt{0,5 \cos\left(\frac{\pi x_i}{l} - \frac{\pi}{2}\right) + 0,5}, \quad (9)$$

где l – протяженность апертуры, м.

Протяжённость апертуры l изменять в пределах:

- от 0,3 до 1,8 м с шагом не более 100 мм для облучателей FD-07-1, FD-1-1, FD-1-2;
- от 0,2 до 1,8 с шагом не более 100 мм для облучателей FD-2-3, FD-3-5;
- от 0,15 до 1,8 с шагом не более 50 мм для облучателя FD-5-8;
- от 0,1 до 1,8 м с шагом не более 50 мм для облучателей FD-8-12, FD-12-18, FD-18-26, FD-26-40, FD-40-60.

10.3.2.2 Выполнить преобразование Фурье от пространственного распределения ЭМП для перехода к его угловому распределению (10):

$$D_M(\varphi_i) = \text{DFT}^{+1} \left\{ \frac{E_M(x_i)}{\sum_i E_M(x_i)} \right\}, \quad (10)$$

где $\text{DFT}^{+1}\{\cdot\}$ символ прямого дискретного преобразования Фурье,

$$\varphi_i = \left| \arcsin \left(\lambda \frac{i - 0,5I}{I \cdot \Delta x} \right) \right| - \text{полярный угол, градус;}$$

i и I – номер пространственного отсчёта и их общее количество, соответственно;
 Δx – шаг между пространственными отсчётами, м.

10.3.2.3 Выполнить преобразование Фурье от «реального» пространственного распределения ЭМП, определяемого как поэлементное произведение модели $E_M(x_i)$ и соответствующего её размерам отрезка измеренного сечения амплитудно-фазового распределения $E_0(x_i)$, по формуле (11):

$$D(\varphi_i) = \text{DFT}^+ \left\{ \frac{E_M(x_i) E_0(x_i)}{\sum_i E_M(x_i)} \right\} \quad (11)$$

$$E_0(x_i) = 10^{A(x_i)/20} \exp \left[\sqrt{-1} \pi \Phi(x_i) / 180 \right]$$

10.3.2.4 Рассчитать погрешность из-за неравномерности амплитудно-фазового распределения ЭМП как отношение максимумов диаграмм направленности «реального» $D(\varphi_i)$ и идеального $D_M(\varphi_i)$ АФР измеряемой антенны, приведённых к максимумам диаграммы направленности «реального» и идеального АФР эталонной антенны. При этом в качестве характеристики эталонной антенны ТМА ххх Э принимаются результаты вычислений на отрезке сечения АФР, длина которого соответствует длине апертуры (из двух габаритов принимать наименьшее значение) эталонной антенны для соответствующего диапазона частот. Расчёты выполнять по формуле (12).

$$\delta E = \sqrt{\frac{\max_i |D(\varphi_i)| \cdot \max_i |D_M^{\text{ЭА}}(\varphi_i)|}{\max_i |D^{\text{ЭА}}(\varphi_i)| \cdot \max_i |D_M(\varphi_i)|}} - 1. \quad (12)$$

10.3.2.5 Повторить вычисления пп. 10.3.2.1-10.3.2.4 для вертикального и горизонтального сечений измеренного распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне $A(y_i)$ и $\Phi(y_i)$ на каждой частоте. В качестве итогового значения δE_M принять усреднённое значение для вертикального и горизонтального измеренных сечений распределения амплитуды и фазы в рабочей зоне для возможных значений протяженности апертуры l для каждого частотного поддиапазона и облучателя радиоколлиматора.

10.3.3 Расчёт погрешности измерений КУ

10.3.3.1 Определение доверительных границ погрешности измерений КУ при доверительной вероятности 0,95 проводить на основе частных составляющих суммарной погрешности по формуле (13):

$$\delta G = \pm 10 \lg \left(1 + 1,1 \sqrt{\theta_1^2 + \theta_2^2 + \theta_3^2 + \theta_4^2 + \theta_5^2} \right), \quad (13)$$

где $\theta_1 = 10^{0,1\Delta G} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной погрешностью измерений КУ измерительных антенн, определяемой в п.10.3.1;

$\theta_2 = 10^{0,1C_{30дБ}} - 1$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной инструментальной погрешностью приемного устройства $C_{30дБ}$ [дБ], определяемой в п. 10.2 для уровня минус 20 дБ;

$\theta_3 = \delta E$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неравномерностью амплитудно-фазового распределения ЭМП в пределах апертуры испытываемой антенны;

$\theta_4 = \left(\frac{K-1}{K+1} \right)^2$ – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной рассогласованием СВЧ тракта (где $K=1,5$);

θ_5 – границы частной составляющей суммарной погрешности, обусловленной неточной юстировкой и другими факторами, принимаются равными 0,05.

10.3.3.2 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений КУ при доверительной вероятности 0,95 в диапазоне рабочих частот от 1 до 50 ГГц, находятся в пределах, приведенных в таблице 1.

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

10.4.1 Определение погрешности измерений КУ антенн при доверительной вероятности 0,95 производится при выполнении пп. 10.1, 10.2 и 10.3.1.

10.4.2 Результаты периодической поверки считать положительными, если результаты выполнения операций поверки, изложенных в пп. 10.1, 10.2 и 10.3.1 положительные.

10.5 Определение абсолютной погрешности установки приращения углового положения по осям вращения ОПУ при доверительной вероятности 0,95

10.5.1 Определение абсолютной погрешности установки угловых положений и положения на оси слайда ОПУ проводить с помощью теодолита ТО-02 в соответствии с его РЭ.

10.5.2 Установить ОПУ в положение по углу азимута 0,00 градусов. Выбрать метку для теодолита ТО-02, зафиксировать начальные показания угла и принять их за 0,00 градусов.

10.5.3 Вращая ОПУ по азимуту в пределах от минус 180 до плюс 180 градусов с шагом 45 градусов (не более), для каждого углового положения $\alpha_{ОПУ}$ зафиксировать показания теодолита ТО-02 $\alpha_{ТО}$.

10.5.4 Для каждого углового положения вычислить с учетом знака абсолютную погрешность установки угла поворота ОПУ по формуле (14):

$$\Delta\alpha = \alpha_{ОПУ} - \alpha_{ТО}, \quad (14)$$

где $\alpha_{ОПУ}$ – угол, установленный на ЖК-дисплее теодолита ТО-02, в градусах;

$\alpha_{ТО}$ – угол, измеренный теодолитом ТО-02, в градусах.

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

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

10.5.7 Повторить операции пп.10.5.1-10.5.6 поочередно для осей вращения ОПУ по элевации (углу места) и угла крена (поляризации) в соответствующих секторах углов.

10.5.8 Результаты поверки считать положительными, если значения абсолютной погрешности установки углового положения ОПУ по осям азимута, элевации (углу места) и углу крена (поляризации) находятся в пределах $\pm 0,017$ градуса.

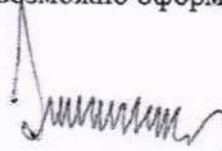
11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

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

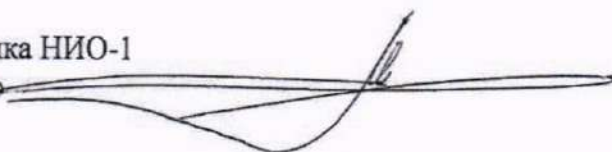
11.3 Обязательное оформление протокола не требуется. По заявлению владельца комплекса или лица, представившего его на поверку, возможно оформление протокола поверки.

Начальник НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский

Заместитель начальника НИО-1
ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.В. Титаренко