

**УТВЕРЖДАЮ**

**Первый заместитель генерального директора -  
заместитель по научной работе**

**ФГУП «ВНИИФТРИ»**



**А.Н. Щипунов**

\_\_\_\_\_ 2017 г.

## **Инструкция**

**Комплекс автоматизированный  
измерительно-вычислительный  
ТМСА 1.0-50.0 Б 088**

**Методика поверки**

**165-17-12 МП**

2017 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| 1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ.....  | 3  |
| 2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ.....   | 3  |
| 3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ.....   | 4  |
| 4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ.....  | 4  |
| 5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....  | 4  |
| 6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ.....  | 4  |
| 7 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ПОВЕРКИ.....  | 5  |
| 8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.....   | 5  |
| 8.1 Внешний осмотр.....   | 5  |
| 8.2 Опробование.....  | 5  |
| 8.3 Определение метрологических характеристик.....  | 6  |
| 8.3.1 Определение погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля..... | 6  |
| 8.3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности и абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм направленности.....       | 13 |
| 8.3.3 Определение погрешности измерений коэффициента усиления антенн.....   | 15 |
| 8.3.4 Определение погрешности измерений поляризационных диаграмм.....   | 16 |
| 8.3.5 Определение диапазона рабочих частот.....   | 16 |
| 8.3.6 Определение размеров рабочей области сканирования.....  | 16 |
| 8.3.7 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности.....  | 16 |
| 9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ.....   | 17 |

## 1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок комплекса автоматизированного измерительно-вычислительного ТМСА 1.0-50.0 Б 088, изготовленного ООО «НПП «ТРИМ СШП Измерительные системы», г. Санкт-Петербург, заводской № 088 (далее – комплекс).

Первичная поверка комплекса проводится при вводе его в эксплуатацию и после ремонта.

Периодическая поверка комплекса проводится в ходе его эксплуатации и хранения.

1.2 Комплекс предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенн.

1.3 Поверка комплекса проводится не реже одного раза в 24 (двадцать четыре) месяца.

## 2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки комплекса должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

| Наименование операции  | Пункт МП | Проведение операций при |                       |
|--|----------|-------------------------|-----------------------|
|  |          | первичной поверке       | периодической поверке |
| 1 Внешний осмотр   | 8.1      | +                       | +                     |
| 2 Опробование  | 8.2      | +                       | +                     |
| 3 Определение метрологических характеристик  | 8.3      | +                       | +                     |
| 3.1 Определение погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля | 8.3.1    | +                       | +                     |
| 3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм и абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм                                     | 8.3.2    | +                       | -                     |
| 3.3 Определение погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения  | 8.3.3    | +                       | -                     |
| 3.4 Определение погрешности измерений поляризационных диаграмм   | 8.3.4    | +                       | -                     |
| 3.5 Определение диапазона рабочих частот   | 8.3.5    | +                       | -                     |
| 3.6 Определение размеров рабочей области сканирования  | 8.3.6    | +                       | -                     |
| 3.7 Определение сектора углов измеряемых диаграмм направленности   | 8.3.7    | +                       | -                     |

### 3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки комплекса должны быть применены средства измерений, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства измерений для поверки комплекса

| Пункт МП                | Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, и (или) метрологические и основные технические характеристики средства поверки |
|-------------------------|---|
| 8.3.1 - 8.3.5,<br>8.3.7 | Аттенюатор ступенчатый программируемый 84908М, диапазон частот от 0 до 50 ГГц, диапазон вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ  |
| 8.3.1 - 8.3.4,<br>8.3.7 | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85056А, диапазон частот от 45 МГц до 50 ГГц  |
| 8.3.1 - 8.3.7           | Система лазерная координатно-измерительная Leica AT401, диапазон измерений расстояний от 1,5 до 60000 мм, предел допускаемой основной абсолютной погрешности объемных измерений $\pm 15$ мкм + 6 мкм/м  |

3.2 Допускается использовать аналогичные средства поверки, которые обеспечат измерения соответствующих параметров с требуемой точностью.

3.3 Средства поверки должны быть исправны, поверены и иметь свидетельства о поверке.

### 4 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ПОВЕРИТЕЛЕЙ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами с высшим и средним техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в соответствии с ГОСТ Р 56069-2014, и имеющими квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документом «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 Б 088. Руководство по эксплуатации. ТМСА 088. 050. 00Б РЭ».

### 5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1 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.

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

### 6 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

6.1 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 окружающей среды, °С             | 20                  | $\pm 5$  |
| Относительная влажность воздуха, %           | от 30 до 80         | –  |
| Атмосферное давление, кПа                    | от 84 до 106,7      | –  |
| Напряжение питающей сети переменного тока, В | 220                 | $\pm 22$                                       |
| Частота питающей сети, Гц                    | 50                  | $\pm 1$  |

## 7 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ПОВЕРКИ

7.1 Проверить наличие эксплуатационной документации и срок действия свидетельств о поверке на средства поверки.

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

## 8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

### 8.1 Внешний осмотр

8.1.1 При проведении внешнего осмотра комплекса проверить:

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

- состояние органов управления;

8.1.2 Проверку комплектности комплекса проводить сличением действительной комплектности с данными, приведенными в разделе «Комплект поставки» документа «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 1.0-50.0 Б 088. Паспорт. ТМСА 088. 050. 00Б ПС» (далее – ПС).

8.1.3 Проверку маркировки производить путем внешнего осмотра и сличением с данными, приведенными в ПС.

8.1.4 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплектность и маркировка комплекса соответствует ПС;
- наружная поверхность комплекса не имеет механических повреждений и других дефектов;

- управляющие и питающие кабели 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.

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

### 8.2 Опробование

8.2.1 Идентификация программного обеспечения (далее – ПО)

8.2.1.1 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 7 на экране монитора ПК наблюдать иконку программы *FrequencyMeas*, *NFCalc*, *AmrView*.

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

8.2.1.2 Выбрать в папке TRIM файл *FrequencyMeas.exe*, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт «Свойства». Открыть вкладку «Хеш-суммы файлов». Наблюдать контрольную сумму файла *FrequencyMeas.exe* по алгоритму MD5. Открыть вкладку «О программе». Наблюдать значение версии файла *FrequencyMeas.exe*. Результаты наблюдения зафиксировать в рабочем журнале.

8.2.1.3 Повторить операции п. 8.2.1.2 для программ *NFCalc.exe* и *AmrView.exe*.

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

8.2.1.5 Результаты идентификации ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

Таблица 3 - Идентификационные данные ПО

| Идентификационные данные (признаки)                             | Значение   |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Идентификационное наименование ПО                      | FrequencyMeas.exe                                      | NFCalc.exe   |
| Номер версии (идентификационный номер) ПО                       | 6.0.0.0  | 3.20.1   | 3.16.60612   |
| Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) | 776C8FC8E058E725<br>27CC58A6A8D62804<br>(алгоритм MD5) | 90F2307A43D11220<br>7504337B9CCA9F24<br>(алгоритм MD5) | FAF113F3C83206EB<br>863D69624F5D3FC0<br>(алгоритм MD5) |

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

#### 8.2.2 Проверка работоспособности

##### 8.2.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.2.2.2 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программного продукта для измерений в ближней зоне «*FrequencyMeas*».

##### 8.2.2.3 Проверить работоспособность всех приводов четырехкоординатного Т-сканера:

- при перемещении по оси 0x;
- при перемещении по оси 0y;
- при перемещении по оси 0z;
- при вращении каретки зонда в плоскости поляризации.

8.2.2.4 Соединить при помощи переключки соединитель кабеля «вход антенны-зонда» и соединитель кабеля «выход испытываемой антенны». В соответствии с эксплуатационной документацией произвести коммутацию СВЧ-опто и Опто-СВЧ преобразователей, подготовить к работе векторный анализатор электрических цепей (далее – анализатор) из состава комплекса, перевести его в режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи. Установить следующие настройки анализатора:

- полоса анализа от 1 до 50 ГГц;
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (мВт).

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

8.2.2.5 Результаты поверки считать положительными, если четырехкоординатный Т-сканер обеспечивает перемещение антенны-зонда по осям 0x, 0y, 0z и в плоскости поляризации, на экране анализатора наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений, а также отсутствует программная или аппаратная сигнализация о неисправностях комплекса.

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

### 8.3 Определение метрологических характеристик

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

8.3.1.1 Погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля  $\delta_A$ , дБ, определить по формулам (1) – (4):

$$\delta_A = 20 \lg(1 + KS_z), \quad (1)$$

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

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

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

где  $\theta_{A1}$  - погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи анализатором из состава комплекса;

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

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

$A$  - результат измерений амплитудного распределения;

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

$t$  - коэффициент Стьюдента для заданного числа реализаций измерений амплитудного распределения.

Абсолютную погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля  $\Delta_{\phi}$ , °, определить по формулам (5) - (8):

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

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

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

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

где  $\theta_{\phi 1}$  - погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи векторным анализатором цепей из состава комплекса, рад;

$\theta_{\phi 2}$  - погрешность измерений фазы, обусловленная неточностью позиционирования антенны-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.

Погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и абсолютные погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля определить

при относительных уровнях амплитудного распределения от минус 10 до минус 50 дБ с интервалом 10 дБ. Динамический диапазон измерений амплитудного распределения при этом должен составлять не менее 60 дБ. Под динамическим диапазоном измерений амплитудного распределения понимать отношение максимального уровня амплитудного распределения к среднему уровню измеряемых радишумов.

Погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и относительные погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля определить на частотах 1; 25; 50 ГГц.

На частотах от 1 до 25 ГГц ограничиться формулами (9) и (10):

$$\delta_A = \pm 20 \lg(1 + |\theta_{A1}| + |\theta_{A2}|); \quad (9)$$

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

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

8.3.1.2 Погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи векторным анализатором цепей из состава комплекса определить при помощи аттенюатора Agilent 84908M.

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

Провести полную двухпортовую калибровку анализатора из состава комплекса в комплексе с штатными радиочастотными кабелями, СВЧ-опто и Опто-СВЧ преобразователями и аттенюатором в диапазоне частот от 1 до 26 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Установить следующие настройки анализатора:

- полоса анализа от 1 до 26 ГГц;
- ширина полосы пропускания 500 Гц;
- режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи S21;
- количество точек 3601.

Без подачи мощности с порта генератора векторного анализатора цепей 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  $|S_{12}(f_i)| \geq (N + 60)$ , дБ.

Изменяя ослабление аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 10 дБ, провести измерения модуля комплексного коэффициента передачи.

Погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи на каждой частоте  $f_i$ , указанной в п. 8.3.1.1, 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 (11):

$$\theta_{A1}(f_i) = |S_{12}(f_i)| - L(f_i), \quad (11)$$

За погрешность  $\theta_{A1}$  для каждого номинала ослабления, соответствующего относительному уровню амплитудного распределения электромагнитного поля  $M$ , принять максимальное



значение погрешности измерений  $\theta_{A1}(f_i)$  соответствующего номинала ослабления аттенюатора в установленной полосе частот в линейном масштабе (12):

$$\theta_{A1}^{(M)} = \max \left\{ 10^{\frac{\theta_{A1}^{(M)}(f_i)}{20}} \right\}. \quad (12)$$

Аналогичные измерения и расчеты выполнить в диапазоне частот от 26 до 50 ГГц с применением высокочастотных кабельных сборок из состава комплекса.

Результаты поверки записать в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты оценки погрешности измерений модуля комплексного коэффициента передачи анализатором из состава комплекса

| Ослабление аттенюатора L, дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ | Погрешность измерений $\theta_{A1}$ , дБ |
|------------------------------|--|--|
| 10                           | -10  |  |
| 20                           | -20  |  |
| 30                           | -30  |  |
| 40                           | -40  |  |
| 50                           | -50  |  |

8.3.1.3 Погрешность измерений, обусловленную неидеальной поляризационной развязкой антенн-зондов из состава комплекса, определить по формуле (13):

$$\theta_{A2} = (1 + 10^{0.1KPP})^2 - 1, \quad (13)$$

где  $KPP$  - минимальный уровень кроссполяризационной развязки антенн-зондов из состава комплекса, принимаемый равным -20 дБ.

8.3.1.4 Погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи векторным анализатором цепей из состава комплекса определить с помощью набора мер коэффициентов передачи и отражения 85056А и аттенюатора Agilent 84908М.

В измерительный тракт комплекса внести аттенюатор и меру фазового сдвига из состава набора 85056А таким образом, чтобы они соединяли разъемы радиочастотных кабелей для подключения испытываемой антенны и антенны-зонда. Ослабление аттенюатора установить равным 0 дБ.

Провести полную двухпортовую калибровку анализатора из состава комплекса в комплекте с штатными радиочастотными кабелями, аттенюатором, СВЧ-опто и Опто-СВЧ и мерой в диапазоне частот от 1 до 26 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Изменяя ослабление аттенюатора от 0 до 50 дБ с шагом 10 дБ, провести измерения фазы комплексного коэффициента передачи при следующих настройках анализатора:

- полоса анализа от 1 до 26 ГГц;
- ширина полосы пропускания 500 Гц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (мВт);
- режим измерений фазы комплексного коэффициента передачи S21;
- количество точек 3601.

Погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи на каждой частоте  $f_i$ , указанной в п. 8.3.1.1, 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 (14):

$$\theta_{\phi 1}^{(N)}(f_i) = \arg(S12(f_i)) - \Phi^{(N)}(f_i), \quad (14)$$

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 (15):

$$\theta_{\phi_1}^{(N)} = \max\{\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i)\}. \quad (15)$$

Провести аналогичные измерения и расчеты для полосы частот от 26 до 50 ГГц с применением высокочастотных кабельных сборок из состава комплекса.

Результаты поверки записать в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты оценки погрешности измерений фазы комплексного коэффициента передачи анализатором из состава комплекса

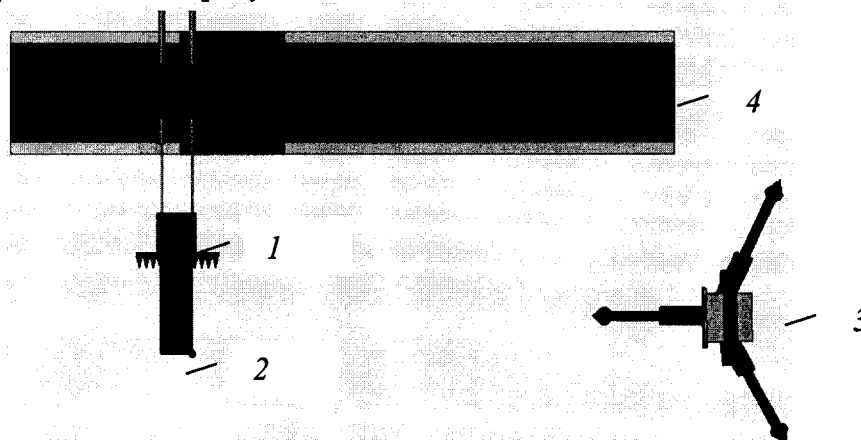
| Ослабление аттенюатора L, дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ | Погрешность измерений $\theta_{\phi_1}$ , градус |
|------------------------------|--|--|
| 10                           | -10  |  |
| 20                           | -20  |  |
| 30                           | -30  |  |
| 40                           | -40  |  |
| 50                           | -50  |  |

8.3.1.5 Погрешность измерений фазы, обусловленную неточностью позиционирования антенны-зонда в плоскости сканирования, определить с помощью системы лазерной координатно-измерительной Leica AT401.

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

Подготовить систему лазерную координатно-измерительную Leica AT401 к измерению в соответствии с эксплуатационной документацией на нее.

Оптический отражатель из состава системы лазерной координатно-измерительной Leica AT401 закрепить на антенну-зонд, установленную на сканере из состава комплекса, в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.



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

Рисунок 1 – Схема измерений характеристик позиционирования сканера

С помощью программы ручного управления сканером (рис. 2) в соответствующей вкладке программного продукта для измерений в ближней зоне «FrequencyMeas» переместить антенну-зонд в крайнее центральное левое положение. Зафиксировать показания Leica AT401.

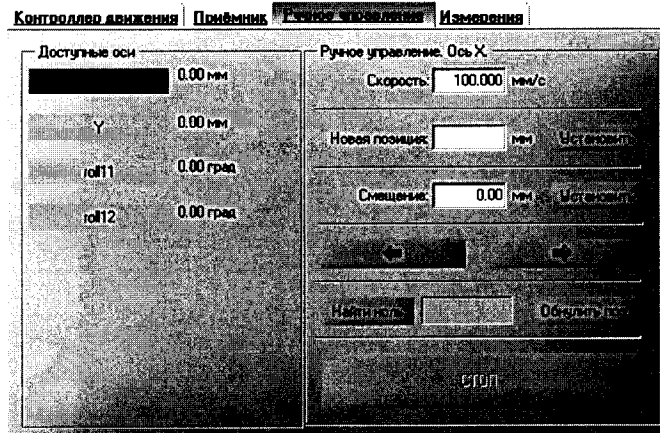


Рисунок 2 – Меню программы для ручного управления движением сканера

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 лазерной координатно-измерительной Leica AT401.

С помощью программы ручного управления сканером (рисунок 2) в соответствующей вкладке программного продукта для измерений в ближней зоне «NFMeas» переместить антенну-зонд в крайнее центральное нижнее положение. Зафиксировать показания Leica AT401.

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 лазерной координатно-измерительной Leica AT401.

Рассчитать погрешность позиционирования антенны-зонда как разность между координатами вертикальной плоскости измерений системы лазерной координатно-измерительной Leica AT401 и измеренными координатами положения антенны-зонда  $\Delta z$ , м.

Погрешность измерений фазы  $\Delta\varphi(f_i)$ , рад, обусловленную неточностью позиционирования антенны-зонда в плоскости сканирования, для каждого номинала частоты, указанного в п. 8.3.1.1, оценить по формуле (16):

$$\Delta\varphi(f_i) = k \cdot \Delta z, \quad (16)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$  - волновое число,  $1/\text{м}$ ;

$\lambda$  - длина волны, соответствующая частотам, указанным в п. 5.1.1, м.

За погрешность измерений фазы  $\theta_{\varphi 2}$  для каждого номинала частоты, указанного в п. 8.3.1.1, принять среднее квадратическое значение погрешности, определенное по формуле (17):

$$\theta_{\varphi 2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{M-1} (\Delta\varphi(f_i))^2}{M}}, \quad (17)$$

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

Размеры рабочей области сканирования по осям  $Ox$  и  $Oy$  рассчитать как разность между показаниями системы лазерной координатно-измерительной Leica AT401 в момент срабатывания механического ограничителя сканера и ее показаниями при установке антенны-зонда в крайние положения.

8.3.1.6 Погрешность измерений фазы, обусловленную случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса определить с помощью набора меры отражения из состава мер коэффициентов передачи и отражения 85056А.

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

Провести однопортовую калибровку анализатора из состава комплекса в диапазоне частот от 26 до 50 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Провести измерения фазы комплексного коэффициента отражения при следующих настройках анализатора:

- полоса анализа от 26 до 50 ГГц;
- ширина полосы пропускания 500 Гц;
- уровень мощности выходного колебания -10 дБ (мВт);
- режим измерений фазы комплексного коэффициента отражения S11.

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

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

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 50 ГГц.

8.3.1.7 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 ТМА 1-50 Э из состава комплекса.

Антенну ТМА 1-50 Э 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 ТМА 1-50 Э в положение, соответствующее вертикальной поляризации.

Расстояние между раскрывами антенны ТМА 1-50 Э и антенны-зонда установить равным в пределах  $3\lambda$ , где  $\lambda$  – максимальная длина волны измеряемого поддиапазона частот.

Запустить программу измерений в частотной области.

В соответствии с РЭ на комплекс установить полосу частот анализатора от 26 до 50 ГГц, ширину полосы пропускания 100 Гц, шаг перестройки по частоте 5 ГГц, уровень мощности выходного сигнала анализатора 0 дБ (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 × 300 мм.

Нажать кнопку «НАЧАТЬ ИЗМЕРЕНИЯ».

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

Запустить программу расчета характеристик антенн по данным в ближнем поле *nfcalc.exe*, входящую в комплект поставки комплекса. На частоте 50 ГГц рассчитать амплитудные  $A_j$  и фазовые  $\varphi_j$  распределения, а также среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного и фазового распределений по формулам (4) и (8).

8.3.1.8 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля при динамическом диапазоне измерений амплитудного распределения не менее 60 дБ и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ находятся в следующих пределах для относительных уровней амплитудного распределения:

|        |           |
|--------|-----------|
| -10 дБ | ±0,3 дБ;  |
| -20 дБ | ±0,3 дБ;  |
| -30 дБ | ±0,4 дБ;  |
| -40 дБ | ±0,7 дБ;  |
| -50 дБ | ± 1,1 дБ, |

а значения абсолютной погрешности измерений фазового распределения электромагнитного

поля при динамическом диапазоне измерений амплитудного распределения не менее 60 дБ находятся в следующих пределах при относительном уровне амплитудного распределения:

|        |       |
|--------|-------|
| -10 дБ | ±13°; |
| -20 дБ | ±13°; |
| -30 дБ | ±13°; |
| -40 дБ | ±14°; |
| -50 дБ | ±18°. |

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

### 8.3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности и абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм направленности

8.3.2.1 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности (АДН) и фазовых диаграмм направленности (ФДН) осуществить методом математического моделирования с учетом результатов, полученных в п. 8.3.1 настоящего документа, путем сравнения невозмущенных амплитудных диаграмм направленности, определенных для антенн с равномерным синфазным распределением токов на апертуре, и тех же диаграмм направленности, но с учетом погрешности измерений амплитудного и фазового распределений (АФР).

8.3.2.2 Невозмущенную диаграмму направленности оценить следующим образом.

Размеры плоскости сканирования выбрать из критерия максимального сектора углов восстанавливаемой ДН, равно  $\pm 65^\circ$ , по формулам (18):

$$\begin{aligned} L_x &= a + 2R \cdot \operatorname{tg} \theta, \\ L_y &= b + 2R \cdot \operatorname{tg} \varphi, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $L_x, L_y$  – размеры плоскости сканирования в соответствующих плоскостях, м;

$a, b$  – размеры раскрыва в соответствующих плоскостях, м,  $a = b \geq 5\lambda_{\max}$ , где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, соответствующая частотам 1; 25 и 50 ГГц;

$R$  – измерительное расстояние,  $R = 3 \lambda_{\max}$ , м;

$\Theta = 2,27$  рад..

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

Для частоты 1 ГГц пересчитать АФР в раскрыве антенны в АФР на плоскости сканирования по формуле (19):

$$J(x_2, y_2) = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[ \frac{A_0(x, y) \exp[j(\varphi_0(x, y))]}{\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + R^2}} \cdot \exp[-j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + R^2}] \right] \right], \quad (19)$$

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);

$\varphi_0$  – фаза сигнала ( $\varphi_0 = 0$  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 нормированную амплитудную диаграмму направленности и фазовую диаграмму направленности по формулам (20) и (21):

$$F_A(u, v) = \sqrt{1-u^2-v^2} \frac{|\Im(J(x_2, y_2))|}{\operatorname{MAX}(|\Im(J(x_2, y_2))|)}, \quad (20)$$

$$F_\varphi(u, v) = \arg[\Im(J(x_2, y_2))] \quad (21)$$

где  $|\dots|$  – модуль комплексной величины;

$\mathfrak{F}(\dots)$  - оператор двумерного дискретного преобразования Фурье;

MAX – максимальное значение амплитудной диаграммы направленности;

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;

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

8.3.2.3 Амплитудную диаграмму антенны и ФДН с учетом погрешности измерений АФР оценить следующим образом.

Значения погрешности измерений амплитудного и фазового распределений для каждого относительного уровня амплитудного распределения  $M$  задавать программно с учетом оценки погрешности измерений АФР, полученных в п. 8.3.1, по формулам (22) и (23):

$$\delta A = \text{Norm}(0, \sigma^2_A), \quad (22)$$

$$\Delta \varphi = \text{Norm}(0, \sigma^2_\varphi), \quad (23)$$

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

$$\sigma_\varphi = \Delta_\varphi / 2,45.$$

Рассчитать амплитудное и фазовое распределения ЭМП на плоскости сканирования с учетом погрешности их измерений по формуле (24):

$$J^*(x_2, y_2) = |J(x_2, y_2)| (1 + \delta A) \exp(j(\arg(J(x_2, y_2)) + \Delta \varphi)). \quad (24)$$

Аналогичным образом провести расчет «возмущенных» ДН 7 раз. При каждой последующей реализации воспроизводить новые случайные величины по законам (21).

8.3.2.4 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 (25) и (26):

$$\sigma F_A = \sum_{i=1}^k \sqrt{\frac{\left(\frac{(F_A^*)_i - F_A}{(F_A^*)_i}\right)^2}{k-1}}, \quad (25)$$

$$\sigma F_\Phi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k ((F_\Phi^*)_i - F_\Phi)^2}{k-1}} \quad (26)$$

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

Рассчитать погрешность измерений уровней АДН и ФДН по формулам (27) и (28):

$$\delta F_A = \pm 20 \lg(1 + 2,45 \sigma F_A); \quad (27)$$

$$\Delta F_\Phi = \pm \frac{180}{\pi} 2,45 \cdot \sigma F_\Phi. \quad (28)$$

Аналогичные расчеты провести для номиналов частот, указанных в п. 8.3.2.2.

8.3.2.5 Результаты проверки считать положительными, если значения погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности до уровней (при кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ, динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 60 дБ), не превышают пределов:

|        |          |
|--------|----------|
| -10 дБ | ±0,3 дБ; |
| -20 дБ | ±0,4 дБ; |
| -30 дБ | ±0,6 дБ; |
| -40 дБ | ±1,0 дБ; |
| -50 дБ | ±1,7 дБ, |

и значения абсолютной погрешности измерений фазовых диаграмм направленности (при кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ, динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 60 дБ) при относительных уровнях амплитудных диаграмм, не превышают пределов:

|        |       |
|--------|-------|
| -10 дБ | ±13°; |
| -20 дБ | ±13°; |
| -30 дБ | ±14°; |
| -40 дБ | ±16°; |
| -50 дБ | ±21°. |

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

### 8.3.3 Определение погрешности измерений коэффициента усиления антенн

8.3.3.1 Погрешность измерений коэффициента усиления определить расчетным путем при использовании результатов измерений, полученных в п. 8.3.2 настоящей МП.

Погрешность измерений коэффициента усиления  $\delta$ , дБ, рассчитать по формуле (29):

$$\delta = \pm 10 \lg \left( 1 + 1,1 \cdot \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2} \right), \quad (29)$$

где  $\delta_1$  – погрешность измерений АДН до уровней минус 10 дБ,  $\delta_1=0,072$ ;

$\delta_2$  – погрешность коэффициента усиления эталонной антенны,  $\delta_2=0,12; 0,2; 0,41; 0,6$ ;

$\delta_3$  – погрешность за счет рассогласования.

За погрешность  $\delta_3$  принять максимальное из двух значений, рассчитанных по формулам (30) и (31):

$$\delta_3' = \frac{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 + |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{К}}|)^2}{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 - |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{Э}}|)^2} - 1, \quad (30)$$

$$\delta_3 = \frac{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 - |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{К}}|)^2}{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 + |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{Э}}|)^2} - 1, \quad (31)$$

где  $\Gamma_{\text{Э}}$ ,  $\Gamma_{\text{И}}$ ,  $\Gamma_{\text{К}}$  – коэффициенты отражения входов эталонной, испытываемой антенн, входа анализатора из состава комплекса.

Модуль коэффициента отражения связан с коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН) соотношением (32):

$$|\Gamma| = \frac{K - 1}{K + 1}. \quad (32)$$

8.3.3.2 При расчетах погрешности за счет рассогласования значение КСВН эталонной антенны, используемой при проведении измерений, не должно превышать 1,2, испытываемой антенны – 2,0, КСВН входа векторного анализатора цепей – 1,2.

8.3.3.3 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения при КСВН испытываемой антенны не более 2 и погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны, дБ:

|        |          |
|--------|----------|
| 0,5 дБ | ±0,7 дБ; |
| 0,8 дБ | ±1,0 дБ; |
| 1,5 дБ | ±1,7 дБ; |
| 2,0 дБ | ±2,2 дБ. |

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

### 8.3.4 Определение погрешности измерений поляризационных диаграмм

8.3.4.1 Определение погрешности измерений поляризационных диаграмм проводить расчетным путем при использовании результатов расчетов, полученных в п. 8.3.2 настоящего документа.

Погрешность измерений относительных уровней поляризационных диаграмм  $\delta_{ПХ}$  (дБ), рассчитать по формуле (33):

$$\delta_{ПХ} = \pm 20 \lg \left( 1 + 1,1 \cdot \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} \right), \quad (33)$$

где  $\delta_1$  – погрешность измерений амплитудных диаграмм на уровнях, соответствующих уровню поляризационной диаграммы, рассчитываемая по формуле (27);

$\delta_2$  – погрешность из-за неполной кроссполяризационной развязки зонда, оцениваемая по формуле (34):

$$\delta_2 = \frac{1 - 10^{0,05(K_H - K_3)}}{1 + 10^{0,05(K_H - K_3)}}, \quad (34)$$

где  $K_H, K_3$  - коэффициент эллиптичности испытываемой антенны и зонда.

Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений поляризационных диаграмм не превышают допустимых пределов при следующих относительных уровнях:

|        |          |
|--------|----------|
| -10 дБ | ±0,3 дБ; |
| -20 дБ | ±0,4 дБ; |
| -30 дБ | ±0,7 дБ; |
| -40 дБ | ±1,3 дБ. |

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

### 8.3.5 Определение диапазона рабочих частот

8.3.5.1 Проверку диапазона рабочих частот проводить по результатам определения погрешности измерений амплитудного и фазового распределений.

8.3.5.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 1 до 50 ГГц значения погрешности измерений амплитудного и фазового распределений не превышают установленных значений (см. п. 8.3.1). В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 1 до 50 ГГц.

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

### 8.3.6 Определение размеров рабочей области сканирования

8.3.6.1 Определение размеров рабочей области сканирования осуществить по результатам измерений, выполненных в соответствии с п. 8.3.1.5 настоящей МП.

8.3.6.2 Результаты поверки считать положительными, если размеры рабочей области сканирования комплекса (длина × высота) не менее  $5,7 \times 5,65$  м.

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

### 8.3.7 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности

8.3.7.1 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности осуществить по результатам определения погрешности измерений по п.8.3.2.

8.3.7.2 Результаты поверки считать положительными и сектор углов восстанавливаемой амплитудной диаграммы направленности в азимутальной и угломестной плоскостях составляет от  $-65^\circ$  до  $65^\circ$ , если при заданных в п. 8.3.2 условиях моделирования (секторы углов  $\Theta$  и  $\varphi$ ) рассчитанная погрешность измерений относительных уровней АДН не превышает установленных в п. 8.3.2 значений.

В противном случае результаты поверки считать отрицательными и последующие опе-



рации поверки не проводить, комплекс бракуется и подлежит ремонту.

## **9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ**

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

9.2 Результаты поверки удостоверяются свидетельством о поверке в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 02 июля 2015 г. № 1815.

9.3 Если по результатам поверки комплекс признан непригодным к применению, свидетельство о поверке аннулируется и выписывается извещение о непригодности к применению в соответствии с Приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 02 июля 2015 г. № 1815.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский