

УТВЕРЖДАЮ

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



*[Handwritten signature]*  
21 » 01

А.Н. Щипунов

2016 г.

## Инструкция

**Комплекс автоматизированный  
измерительно-вычислительный ТМСА 8.0-18.0 Б 054**

**Методика поверки**

**165-16-01 МП**

*н.р. 63703-16*

2016 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.....   | 5  |
| 7 ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ПОВЕРКИ .....  | 5  |
| 8 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ.....  | 5  |
| 8.1 Внешний осмотр.....  | 5  |
| 8.2 Опробование .....  | 6  |
| 8.3 Определение метрологических характеристик .....  | 7  |
| 8.3.1 Определение погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля..... | 7  |
| 8.3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности .....  | 12 |
| 8.3.3 Определение погрешности измерений коэффициента усиления антенн.....  | 13 |
| 8.3.4 Определение диапазона рабочих частот .....   | 14 |
| 8.3.5 Определение размеров рабочей области сканирования .....  | 14 |
| 8.3.6 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности .....  | 14 |
| 9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ .....   | 14 |

## 1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок комплекса автоматизированного измерительно-вычислительного ТМСА 8.0-18.0 Б 054, заводской № 054 (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 и после каждого ремонта.

## 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 погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля | 8.3.1    | +                       | +                     |
| 3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудной диаграммы направленности  | 8.3.2    | +                       | -                     |
| 3.3 Определение погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения   | 8.3.3    | +                       | -                     |
| 3.4 Определение диапазона рабочих частот  | 8.3.4    | +                       | -                     |
| 3.5 Определение размеров рабочей области сканирования   | 8.3.5    | +                       | -                     |
| 3.6 Определение сектора углов измеряемых диаграмм направленности  | 8.3.6    | +                       | -                     |

### 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    | Аттенюатор ступенчатый программируемый Agilent 84908M, диапазон частот от 0 до 50 ГГц, диапазон вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ  |
| 8.3.2    | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85052B, диапазон частот от 45  |
| 8.3.3    | МГц до 26,5 ГГц   |
| 8.3.4    | Система лазерная координатно-измерительная API OMNITRAC, диапазон измерений   |
| 8.3.6    | расстояний от 0 до 40 м, предел допускаемой погрешности измерений расстояний 25 мкм (для расстояния $L < 10$ м), $2,5L$ мкм (для $L > 10$ м)  |
| 8.3.5    | Система лазерная координатно-измерительная API OMNITRAC   |

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, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в порядке, установленном в ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений», и имеющим квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документом «Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный ТМСА 8.0-18.0 Б 054. Руководство по эксплуатации. ТМСА 054. 018. 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                  | ± 5  |
| Относительная влажность воздуха, %           | от 40 до 80         | –  |
| Атмосферное давление, кПа                    | от 84 до 106,7      | –  |
| Напряжение питающей сети переменного тока, В | 220                 | ± 22   |
| Частота питающей сети, Гц                    | 50                  | ± 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 8.0-18.0 Б 054. Паспорт. ТМСА 054. 018. 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 *Vector*.

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 *NFMeas.exe*, нажать на правую кнопку мыши на файле и выбрать пункт «**Свойства**». Открыть вкладку «**Хеш-суммы файлов**». Наблюдать контрольную сумму файла *NFMeas.exe* по алгоритму MD5. Открыть вкладку «**О программе**». Наблюдать значение версии файла *NFMeas.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                               | NFMeas.exe                           | NFCalc.exe                           | AmrView.exe                              |
| Номер версии (идентификационный номер) ПО                       | 5.1.0.0                              | 3.20.1                               | 3.16.60612                               |
| Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) | 9DEC2037710B6AB<br>99B82F25F1200E053 | 90F2307A43D112207<br>504337B9CCA9F24 | FAF113F3C83206E<br>B863D69624F5D3F<br>C0 |

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 «NFMeas».

#### 8.2.2.3 Проверить работоспособность всех приводов четырехкоординатного T-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 перемычки соединитель кабеля «вход антенны-зонда» и соединитель кабеля «выход испытываемой антенны». В соответствии с эксплуатационной документацией подготовить к работе векторный анализатор цепей из состава комплекса, перевести его в режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи. Установить следующие настройки ВАЦ:

- полоса анализа от 8 до 18 ГГц;
- ширина полосы пропускания 1 МГц;
- уровень мощности выходного колебания 0 дБ (мВт).

На экране векторного анализатора цепей 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 T-сканер обеспечивает перемещение антенны-зонда по осям  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  и в плоскости поляризации, на экране векторного анализатора цепей наблюдается результат измерений частотной зависимости модуля коэффициента передачи без резких изменений, а также отсутствует программная или аппаратная сигнализация о неисправностях комплекса.

### 8.3 Определение метрологических характеристик

#### 8.3.1 Определение погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля

8.3.1.1 Относительную погрешность измерений амплитудного распределения электромагнитного поля  $\Delta_A$ , дБ, определить по формуле:

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

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

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

Погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля  $\Delta_\phi$ , °, определить по формуле:

$$\Delta_\phi = \frac{180}{\pi} 1.1 \sqrt{\theta_{\phi1}^2 + \theta_{\phi2}^2 + \theta_{\phi3}^2}, \quad (2)$$

где  $\theta_{\phi1}$  - погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи векторным анализатором цепей из состава комплекса, рад;

$\theta_{\phi2}$  - погрешность измерений фазы, обусловленная неточностью позиционирования антенны-зонда в плоскости сканирования, рад;

$\theta_{\phi3}$  - погрешность измерений фазы, обусловленная случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса, рад.

Погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля определить при относительных уровнях амплитудного распределения от минус 10 до минус 50 дБ с интервалом 10 дБ при соотношениях сигнал/шум на входе приемного канала ВАЦ не менее 30 дБ и не менее 10 дБ.

Погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля определить на частотах 8; 12; 18 ГГц.

Частные составляющие погрешности измерений (слагаемые в выражениях (1) и (2)) 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 векторного анализатора цепей из состава комплекса в комплекте с штатными радиочастотными кабелями и аттенюатором в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Установить следующие настройки векторного анализатора цепей:

- полоса анализа от 8 до 18 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, а также нижний предел измерений модуля коэффициента передачи на уровне (N+10) и (N+30), дБ, что соответствует соотношениям сигнал/шум на входе приемного канала ВАЦ 10 и 30 дБ, соответственно.

Увеличивая мощность сигнала с порта генератора векторного анализатора цепей, зафиксировать опорный уровень, при котором обеспечивается условие  $|S_{12}(f_i)| \geq (N + 60)$  и  $|S_{12}(f_i)| \geq (N + 90)$ , дБ.

Изменяя ослабление аттенюатора от 10 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 разницу (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):

$$\theta_{A1}(f_i) = |S_{12}(f_i)| - L(f_i), \quad (3)$$

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:

$$\theta_{A1}^{(M)} = \max \left\{ 10^{\frac{\theta_{A1}^{(M)}(f_i)}{20}} \right\}. \quad (4)$$

Результаты поверки записать в таблицу.

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

| Ослабление аттенюатора L, дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ | Погрешность измерений |           |
|------------------------------|--|-----------------------|-----------|
|                              |  | с/ш=10 дБ             | с/ш=30 дБ |
| 10                           | минус 10   |                       |           |
| 20                           | минус 20   |                       |           |
| 30                           | минус 30   |                       |           |
| 40                           | минус 40   |                       |           |
| 50                           | минус 50   |                       |           |

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

$$\theta_{A2} = (1 + 10^{0.1KPP})^2 - 1, \quad (5)$$

где  $KPP$  - минимальный уровень кроссполяризационной развязки антенн-зондов из состава комплекса, принимаемый равным минус 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 85052В и аттенюатора Agilent 84908М.



В измерительный тракт комплекса внести аттенюатор и меру фазового сдвига из состава набора 85052В таким образом, чтобы они соединял разъемы радиочастотных кабелей для подключения испытываемой антенны и антенны-зонда. Ослабление аттенюатора установить равным 0 дБ.

Провести полную двухпортовую калибровку векторного анализатора цепей из состава комплекса в комплекте с штатными радиочастотными кабелями, аттенюатором и мерой в диапазоне частот от 8 до 18 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 векторного анализатора цепей:

- полоса анализа от 8 до 18 ГГц;
- ширина полосы пропускания 500 Гц;
- уровень мощности выходного колебания 10 дБ (мВт);
- режим измерений фазы комплексного коэффициента передачи S21.

Погрешность измерений фазы комплексного коэффициента передачи на каждой частоте  $f_i$ , указанной в п. 8.3.1.1, рассчитать как разницу 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:

$$\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i) = \arg(S12(f_i)) - \Phi^{(N)}(f_i), \quad (6)$$

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:

$$\theta_{\phi_1}^{(N)} = \max\{\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i)\}. \quad (7)$$

Результаты поверки записать в таблицу.

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

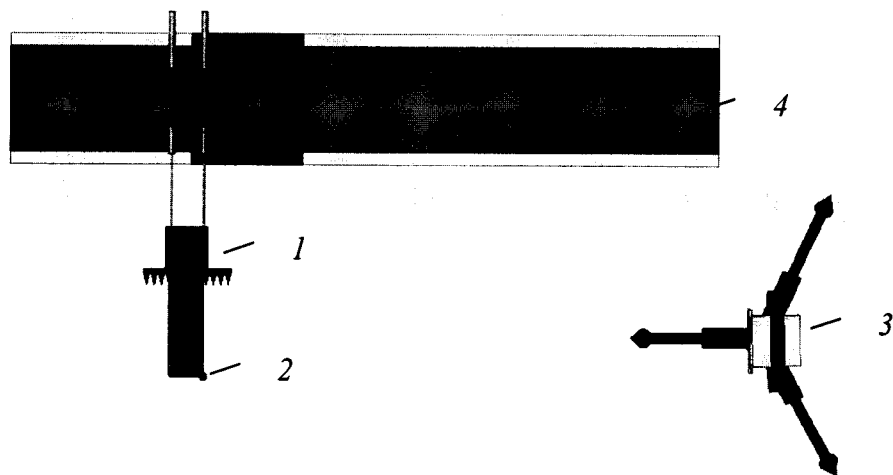
| Ослабление аттенюатора L, дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ | Погрешность измерений |           |
|------------------------------|--|-----------------------|-----------|
|                              |  | с/ш=10 дБ             | с/ш=30 дБ |
| 10                           | минус 10   |                       |           |
| 20                           | минус 20   |                       |           |
| 30                           | минус 30   |                       |           |
| 40                           | минус 40   |                       |           |
| 50                           | минус 50   |                       |           |

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

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

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

Оптический отражатель из состава системы лазерной координатно-измерительной API OMNITRAC 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 API OMNITRAC; 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 «NFMeas» переместить антенну-зонд в крайнее центральное левое положение. Зафиксировать показания API OMNITRAC.

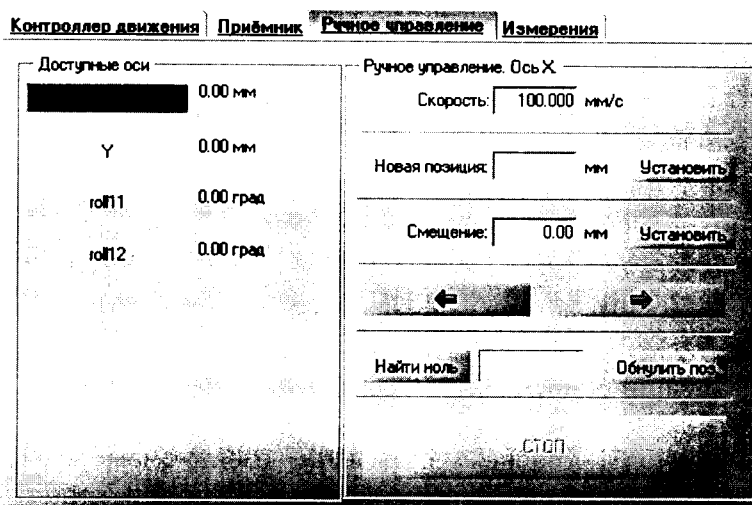


Рисунок 2 – Меню программы для ручного управления движением сканера

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 API OMNITRAC.

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 API OMNITRAC.

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 API OMNITRAC.

Рассчитать погрешность позиционирования антенны-зонда как разницу между координатами вертикальной плоскости измерений системы лазерной координатно-измерительной API OMNITRAC 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 (8):

$$\Delta\varphi(f_i) = k \cdot \Delta z, \quad (8)$$

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

$\lambda$  - длина волны, соответствующая частотам, указанным в п. 8.3.1.1, м.

За погрешность измерений фазы  $\theta_{\phi 2}$  для каждого номинала частоты, указанного в п. 8.3.1.1, принять среднее квадратическое значение погрешности, определенное по формуле (8):

$$\theta_{\phi 2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{M-1} (\Delta\varphi(f_i))^2}{M}}, \quad (9)$$

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

Размеры рабочей области сканирования по осям  $Ox$  и  $Oy$  рассчитать как разницу между показаниями системы лазерной координатно-измерительной API OMNITRAC 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 85052В.

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

Провести однопортовую калибровку векторного анализатора цепей из состава комплекса в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Провести измерения фазы комплексного коэффициента отражения при следующих настройках векторного анализатора цепей:

- полоса анализа от 8 до 18 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 (рисунок 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 векторного анализатора цепей.

За оценку погрешности измерений фазы, обусловленную случайными перегибами радиочастотного тракта комплекса, принять разницу между максимальным и минимальным значением измеренной фазы комплексного коэффициента отражения на частоте 18 ГГц.

8.3.1.7 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля при соотношении сигнал/шум на входе приемного канала векторного анализатора цепей не менее 30 дБ (10 дБ) и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ находятся в следующих пределах для относительных уровней амплитудного распределения:

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| - минус 10 дБ | $\pm 0,3 (\pm 0,3)$ ; |
| - минус 20 дБ | $\pm 0,3 (\pm 0,3)$ ; |
| - минус 30 дБ | $\pm 0,3 (\pm 0,4)$ ; |
| - минус 40 дБ | $\pm 0,4 (\pm 0,8)$ ; |
| - минус 50 дБ | $\pm 1,0 (\pm 2,2)$ , |

а значения погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля при соотношении сигнал/шум на входе приемного канала векторного анализатора цепей не менее 30 дБ (10 дБ) находятся в следующих пределах при относительном уровне амплитудного распределения:

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| - минус 10 дБ | $\pm 3^\circ (\pm 3^\circ)$ ; |
|---------------|-------------------------------|

|               |                               |
|---------------|-------------------------------|
| – минус 20 дБ | $\pm 3^\circ(\pm 3^\circ)$ ;  |
| – минус 30 дБ | $\pm 3^\circ(\pm 4^\circ)$ ;  |
| – минус 40 дБ | $\pm 3^\circ(\pm 6^\circ)$ ;  |
| – минус 50 дБ | $\pm 6^\circ(\pm 17^\circ)$ . |

### 8.3.2 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности

8.3.2.1 Определение погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности (АДН) 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, равного  $60^\circ$ , по формулам (10):

$$\begin{aligned} L_x &= a + 2R \cdot \operatorname{tg} \theta, \\ L_y &= b + 2R \cdot \operatorname{tg} \varphi, \end{aligned} \quad (10)$$

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

$a, b$  – размеры раскрыва в соответствующих плоскостях, м,  $a = b \geq 2\lambda_{\max}$ , где  $\lambda_{\max}$  – длина волны, соответствующая частотам 8; 12 и 18 ГГц;

$R$  – измерительное расстояние,  $R = (3 - 8) \lambda_{\max}$ , м;

$\theta, \varphi$  – сектор углов восстановленной ДН в соответствующих плоскостях,  $\theta = \varphi = 60^\circ$ .

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

Для частоты 1 ГГц пересчитать АФР в раскрыве антенны в АФР на плоскости сканирования по формуле (11):

$$J(x_2, y_2) = \left[ \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left[ \frac{A_0(x, y) \exp[j(\varphi_0(x, y))]}{\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + R^2}} \cdot \exp[-j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 + R^2}] \right] \right], \quad (11)$$

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 по формуле (12):

$$F_A(u, v) = \sqrt{1-u^2-v^2} \frac{|\mathfrak{Z}(J(x_2, y_2))|}{\operatorname{MAX}(|\mathfrak{Z}(J(x_2, y_2))|)}, \quad (12)$$

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

$\mathfrak{Z}(\dots)$  – оператор двумерного дискретного преобразования Фурье;

$\operatorname{MAX}$  – максимальное значение амплитудной диаграммы направленности;

$u = \sin \theta \cdot \cos \varphi, v = \sin \theta \cdot \sin \varphi$  – пространственные координаты.

8.3.2.3 Амплитудную диаграмму антенны 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, для условия соотношения сигнал/шум 30 дБ:

$$\delta A = \text{Norm}(0, \sigma^2_A), \quad (13)$$

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

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

$\sigma_A$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного распределения

$$\sigma_A = 10^{\frac{\Delta_A}{20}} / 2,26;$$

$\sigma_\varphi$  – среднее квадратическое отклонение результатов измерений фазового распределения

$$\sigma_A = \Delta_\varphi / 2,26.$$

Рассчитать амплитудное и фазовое распределения ЭМП на плоскости сканирования с учетом погрешности их измерений по формуле (14):

$$J^*(x_2, y_2) = |J(x_2, y_2)|(1 + \delta A) \exp(j(\arg(J(x_2, y_2)) + \Delta\varphi)). \quad (14)$$

Аналогичным образом провести расчет «возмущенных» ДН 9 раз на частотах 1; 12; 18 ГГц. При каждой последующей реализации воспроизводить новые случайные величины по законам (13).

8.3.2.4 Погрешность измерений относительных уровней боковых лепестков АДН оценить следующим образом.

Среднее квадратическое отклонение результатов измерений уровней АДН в двух главных сечениях при  $\varphi=0$  и  $\varphi=\pi/2$  рассчитать по формуле (15):

$$\delta F_A = \sum_{i=1}^k \sqrt{\frac{\left(\frac{(F_A^*)_i - F_A}{(F_A^*)_i}\right)^2}{k-1}}, \quad (15)$$

где  $k$  – число реализаций моделирования,  $k=9$ .

Рассчитать погрешность измерений уровней АДН на указанных частотах по формуле (16):

$$\Delta F_A = \pm 20 \lg(1 + 2,26 \delta F_A). \quad (16)$$

8.3.2.5 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений относительных уровней амплитудных диаграмм направленности до уровней (при соотношении сигнал/шум на входе приемного канала векторного анализатора цепей не менее 30 дБ, кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ, динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 50 дБ), дБ, находятся в пределах:

|               |           |
|---------------|-----------|
| – минус 10 дБ | ± 0,4 дБ; |
| – минус 20 дБ | ± 0,5 дБ; |
| – минус 30 дБ | ± 0,8 дБ; |
| – минус 40 дБ | ± 1,2 дБ; |
| – минус 50 дБ | ± 1,7 дБ. |

### 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 настоящего документа.

Погрешность измерений коэффициента усиления  $\delta$ , дБ, рассчитать по формуле (17):

$$\delta = \pm 10 \lg\left(1 + 1,1 \cdot \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2}\right), \quad (17)$$

где  $\delta_1$  – погрешность измерений АДН до уровней минус 10 дБ;

$\delta_2$  – погрешность коэффициента усиления эталонной антенны;

$\delta_3$  – погрешность за счет рассогласования.

Погрешность за счет рассогласования вычислить по формулам (18):

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

$$\delta_3 = \frac{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 - |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{К}}|)^2}{(1 - |\Gamma_{\text{Э}}|^2)(1 + |\Gamma_{\text{И}}| \cdot |\Gamma_{\text{Э}}|)^2} - 1,$$
(18)

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

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

$$|\Gamma| = \frac{K - 1}{K + 1}.$$
(19)

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

8.3.3.3 Результаты поверки считать положительными, если значения погрешности измерений коэффициента усиления антенны методом замещения при коэффициенте стоячей волны по напряжению испытываемой антенны не более 2 и погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны, находятся в следующих пределах, дБ:

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

### 8.3.4 Определение диапазона рабочих частот

8.3.4.1 Проверку диапазона рабочих частот проводить по результатам проверки погрешности измерений амплитудного и фазового распределений.

8.3.4.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 8 до 18 ГГц значения погрешности измерений коэффициента усиления не превышают установленных значений (см. п. 8.3.1). В этом случае диапазон частот комплекса составляет от 8 до 18 ГГц.

### 8.3.5 Определение размеров рабочей области сканирования

8.3.5.1 Определение размеров рабочей области сканирования осуществить по результатам измерений, выполненных в соответствии с п. 8.3.1.5 настоящего документа.

8.3.5.2 Результаты поверки считать положительными, если размеры рабочей области сканирования комплекса (длина × высота) не менее 4,0 × 2,0 м.

### 8.3.6 Определение сектора углов восстанавливаемых диаграмм направленности

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

8.3.6.2 Результаты поверки считать положительными и сектор углов восстанавливаемой амплитудной диаграммы направленности в азимутальной и угломестной плоскостях составляет от минус 60° до 60°, если при заданных в п. 8.3.2 условиях моделирования (секторы углов  $\Theta$  и  $\varphi$ ) рассчитанная погрешность измерений уровней АДН не превышает установленных в п. 8.3.2 значений.

## 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