

УТВЕРЖДАЮ

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



А.Н. Щипунов

9 » 10 _____ 2015 г.

Инструкция

**Комплекс автоматизированный
измерительно-вычислительный ТМСА 1-18 Б 064**

Методика поверки

651-15-39 МП

н.р. 63108-16

2015 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 | 11 |
| 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 1-18 Б 064, заводской № 064 (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 1-18 Б 064. Руководство по эксплуатации».

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 1-18 Б 064. Паспорт» (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 *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 программы *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 | AmrView.exe |
| Номер версии (идентификационный номер) ПО | 4.4.0.0 | 3.16.60612 |
| Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) | 0B301E77140E473CECB611 89555ECEC9 | FAF113F3C83206EB863D696 24F5D3FC0 |

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 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 1 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 Δ_A , дБ, определить по формуле:

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

где $\theta_{A 1}$ - погрешность измерений модуля комплексного коэффициента передачи векторным анализатором цепей из состава комплекса;

$\theta_{A 2}$ - погрешность измерений, обусловленная неидеальной поляризационной развязкой антенн-зондов из состава комплекса.

Погрешность измерений фазового распределения электромагнитного поля Δ_ϕ , °, определить по формуле:

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

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.

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 10 дБ.

Погрешности измерений амплитудного распределения электромагнитного поля и погрешности измерений фазового распределения электромагнитного поля определить на частотах 1; 2; 4; 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 1 до 18 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Установить следующие настройки векторного анализатора цепей:

- полоса анализа от 1 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 $(N+10)$ дБ, что соответствует соотношениям сигнал/шум на входе приемного канала ВАЦ 10 дБ.

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

| | | Погрешность измерений |
|---------------------------------|---|-----------------------|
| Ослабление аттенюатора L , дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M , дБ | с/ш=10 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, аттенуатором и мерой в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

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

- полоса анализа от 1 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 θ_{ϕ_1} для каждого номинала относительного уровня фазового распределения электромагнитного поля принять максимальное значение погрешности измерений $\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i)$ соответствующего номинала ослабления аттенуатора в установленной полосе частот:

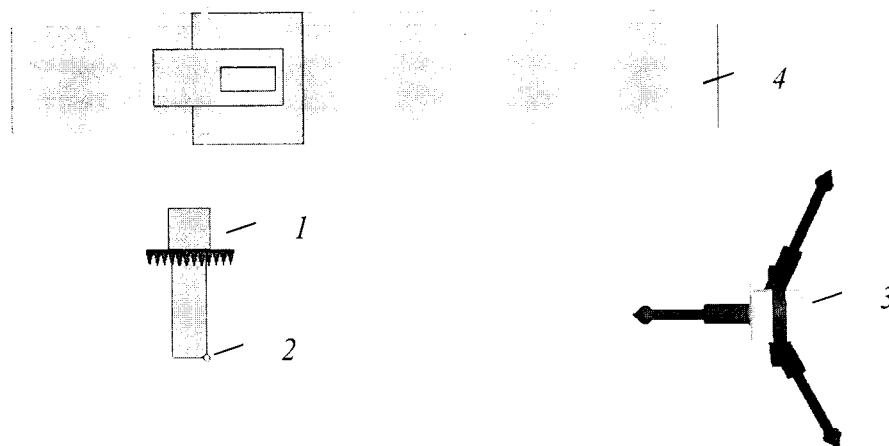
$$\theta_{\phi_1}^{(N)} = \max\{\theta_{\phi_1}^{(N)}(f_i)\}. \quad (7)$$

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 «FrequencyMeas» переместить антенну-зонд в крайнее центральное левое положение. Зафиксировать показания API OMNITRAC.

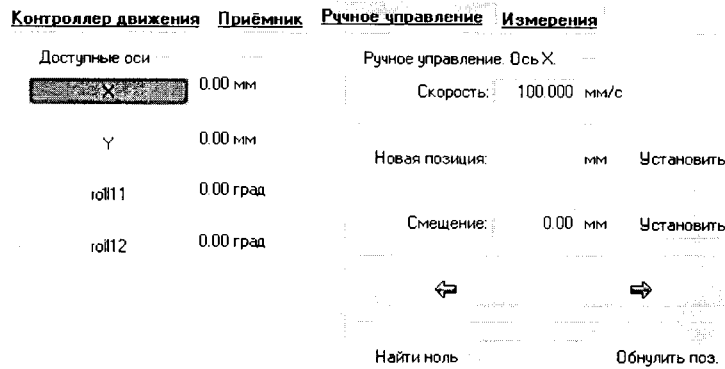


Рисунок 2 – Меню программы для ручного управления движением сканера

Перемещая антенну-зонд с установленным оптическим отражателем вдоль оси Ox в пределах рабочей зоны сканера с шагом $\lambda_{min}/2$, где λ_{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 «FrequencyMeas» 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 Δz , 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:

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

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

λ - длина волны, соответствующая частотам, указанным в п. 8.3.1.1, 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 (8):

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

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 за-

мыкал соединитель радиочастотного кабеля для подключения антенны-зонда.

Провести однопортовую калибровку векторного анализатора цепей из состава комплекса в диапазоне частот от 12 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 12 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 «FrequencyMeas» переместить антенну-зонд в крайнее нижнее положение.

Перемещая антенну-зонд с установленным оптическим отражателем вдоль оси x_0y 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 10 дБ и кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 25 дБ находятся в следующих пределах для относительных уровней амплитудного распределения:

| | |
|---------------|---------------|
| – минус 10 дБ | $\pm 0,2$ дБ; |
| – минус 20 дБ | $\pm 0,2$ дБ; |
| – минус 30 дБ | $\pm 0,3$ дБ; |
| – минус 40 дБ | $\pm 0,7$ дБ; |
| – минус 50 дБ | $\pm 1,2$ дБ; |

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

| | |
|---------------|-----------------|
| – минус 10 дБ | $\pm 4^\circ$; |
| – минус 20 дБ | $\pm 4^\circ$; |
| – минус 30 дБ | $\pm 4^\circ$; |
| – минус 40 дБ | $\pm 6^\circ$; |
| – минус 50 дБ | $\pm 8^\circ$; |

при погрешности установки пространственного положения зонда в плоскости сканирования не более:

| | |
|--|----------------|
| - при размерах зоны сканирования (длина \times высота) 8 \times 5 м | $\pm 0,15$ мм; |
| - при размерах зоны сканирования (длина \times высота) 9 \times 7 м | $\pm 0,35$ мм; |
| - при размерах зоны сканирования (длина \times высота) 10 \times 9 м | $\pm 0,5$ мм. |

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 70^0 , 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, $a = b \geq 5\lambda_{\max}$, где λ_{\max} – длина волны, соответствующая частотам 1; 12 и 18 ГГц;

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

θ, φ – сектор углов восстановленной ДН в соответствующих плоскостях, $\theta = \varphi = 70^0$.

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

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

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

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);

φ_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:

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

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

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

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 10 дБ:

$$\delta A = \operatorname{Norm}(0, \sigma_A^2), \quad (13)$$

$$\Delta \varphi = \operatorname{Norm}(0, \sigma_\varphi^2),$$

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

σ_A – среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного распределения

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

σ_φ – среднее квадратическое отклонение результатов измерений фазового распределения

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

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

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

Аналогичным образом провести расчет «возмущенных» ДН 9 раз. При каждой последующей реализации воспроизводить новые случайные величины по законам (13).

8.3.2.4 Погрешность измерений относительных уровней АДН оценить следующим обра-

зом.

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

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

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

Рассчитать погрешность измерений уровней АДН по формуле:

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

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 10 дБ, кроссполяризационной развязке антенны-зонда не менее 25 дБ, динамическом диапазоне измеренного амплитудного распределения антенны не менее 50 дБ), дБ, находятся в пределах:

| | |
|---------------|-----------|
| – минус 10 дБ | ± 0,5 дБ; |
| – минус 20 дБ | ± 0,5 дБ; |
| – минус 30 дБ | ± 0,8 дБ; |
| – минус 40 дБ | ± 1,4 дБ; |
| – минус 50 дБ | ± 2,0 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 δ , дБ, рассчитать по формуле:

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

где δ_1 – погрешность измерений АДН до уровней минус 10 дБ;

δ_2 – погрешность коэффициента усиления эталонной антенны;

δ_3 – погрешность за счет рассогласования.

Погрешность за счет рассогласования вычислить по формулам:

$$\delta_3' = \frac{(1 - |\Gamma_3|^2)(1 + |\Gamma_{II}| \cdot |\Gamma_K|)^2}{(1 - |\Gamma_3|^2)(1 - |\Gamma_{II}| \cdot |\Gamma_3|)^2} - 1, \quad (18)$$

$$\delta_3 = \frac{(1 - |\Gamma_3|^2)(1 - |\Gamma_{II}| \cdot |\Gamma_K|)^2}{(1 - |\Gamma_3|^2)(1 + |\Gamma_{II}| \cdot |\Gamma_3|)^2} - 1,$$

где Γ_3 , Γ_{II} , Γ_K – коэффициенты отражения входов эталонной, испытываемой антенн, входа векторного анализатора цепей из состава комплекса.

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

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

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 входа векторного анализатора цепей – 1,2.

8.3.3.3 Результаты поверки считать положительными, если погрешность измерений коэффициента усиления антенны методом замещения при коэффициенте стоячей волны по напряжению испытываемой антенны не более 2 и погрешности измерений коэффициента усиления эталонной антенны, 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 1 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 1 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 10,0 × 9,0 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 70° до 70°, если при заданных в п. 8.3.2 условиях моделирования (секторы углов Θ и φ) рассчитанная погрешность измерений уровней боковых лепестков 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