

УТВЕРЖДАЮ

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

ФГУП «ВНИИФТРИ»



А.Н. Шипунов

2018 г.

Инструкция

**Автоматизированный
измерительно-вычислительный комплекс АИВК
БКВП. 411739.057-01**

Методика поверки

133-18-15 МП

2018 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 диапазона рабочих частот | 16 |
| 8.3.5 Определение размеров рабочей области сканирования | 16 |
| 8.3.6 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 автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса АИВК БКВП. 411739.057-01, изготовленного АО «НПП «Пульсар», г. Москва, заводской № 001 (далее – комплекс).

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

1.3 Периодическая поверка комплекса проводится в ходе его эксплуатации и хранения.

1.4 Комплекс предназначен для измерений радиотехнических характеристик антенн.

1.5 Периодическая поверка комплекса проводится не реже одного раза в 24 (двадцать четыре) месяца.

1.6 Не допускается проведение поверки отдельных измерительных каналов или отдельных автономных блоков или меньшего числа измеряемых величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений.

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 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 - 8.3.4, 8.3.6 | 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, 8.3.6 | Набор мер коэффициентов передачи и отражения 85056А, диапазон частот от 45 МГц до 50 ГГц |
| 8.3.1 - 8.3.6 | Система лазерная координатно-измерительная Leica AT401, диапазон измерений расстояний от 1,5 до 60000 мм, предел допускаемой основной абсолютной погрешности объемных измерений ± 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 «Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс АИВК БКВП.411739.057-01. Руководство по эксплуатации. БКВП.411739.057-01 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 30 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 «Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс АИВК БКВП. 411739.057-01. Паспорт. БКВП.411739.057-01 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 ***RL-BEAM-DA, RL-BEAM-DTV***.

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

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

8.2.1.3 Повторить операции п. 8.2.1.2 для программы ***RL-BEAM-DTV.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 | RL-BEAM-DA.exe | RL-BEAM-DTV.exe |
| Номер версии (идентификационный номер) ПО | 1.0.1.7 | 1.0.0.0 |
| Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода) | 4B72F2003896C9E9CA0284 AB6E3D7CF7 (алгоритм MD5) | 2B0190B565885E7CA545 7DF602327087 (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 «**RL-BEAM-DA**».

8.2.2.3 Проверить работоспособность всех приводов сканера:

- при перемещении по оси 0x;
- при перемещении по оси 0y.

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 электрических цепей (далее – анализатор) из состава комплекса, перевести его в режим измерений модуля комплексного коэффициента передачи. Установить следующие настройки анализатора:

- полоса анализа от 8,2 до 12,4 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 сканер обеспечивает перемещение антенны-зонда по осям 0x, 0y, 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 δ_A , дБ, определить по формулам (1) – (4):

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

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

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

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

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

θ_{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 Δ_ϕ , °, определить по формулам (5) – (8):

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

$$S_{\Sigma\phi} = \sqrt{\left(\frac{\theta_{\phi1}^2 + \theta_{\phi2}^2 + \theta_{\phi3}^2}{3} \right) + S_\phi^2}, \quad (6)$$

$$K_\phi = \frac{tS_\phi + 1.1\sqrt{\theta_{\phi1}^2 + \theta_{\phi2}^2 + \theta_{\phi3}^2}}{S_\phi + \sqrt{\frac{\theta_{\phi1}^2 + \theta_{\phi2}^2 + \theta_{\phi3}^2}{3}}}, \quad (7)$$

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

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;

S_ϕ – среднее квадратическое отклонение результатов измерений фазового распределения, рад;

ϕ – 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 8,2; 10,3; 12,4 ГГц.

На частотах от 8,2 до 10,3 ГГц ограничиться формулами (9) и (10):

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

$$\Delta_\phi = \frac{180}{\pi} 1.1 \sqrt{\theta_{\phi1}^2 + \theta_{\phi2}^2 + \theta_{\phi3}^2}. \quad (10)$$

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 комплекте с штатными радиочастотными кабелями, СВЧ-опто и Опто-СВЧ преобразователями и аттенюатором в диапазоне частот от 8,2 до 10,4 ГГц в соответствии с технической документацией на него.

Установить следующие настройки анализатора:

- полоса анализа от 8,2 до 10,4 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 $|S12(f_i)|$, дБ. Зафиксировать верхнюю границу АЧХ шума N, дБ.

Увеличивая мощность сигнала с порта генератора анализатора, зафиксировать опорный уровень, при котором обеспечивается условие $|S12(f_i)| \geq (N + 60)$, 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 $|S12(f_i)|$, дБ, и действительным значением ослабления аттенюатора $L(f_i)$, дБ, записанным в его технической документации (свидетельстве о поверке), по формуле (11):

$$\theta_{A1}(f_i) = |S12(f_i)| - L(f_i), \quad (11)$$

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 (12):

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

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 θ_{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, 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 8,2 до 10,4 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):

$$\theta_{\phi 1}^{(N)} = \max \{ \theta_{\phi 1}^{(N)}(f_i) \}. \quad (15)$$

Результаты поверки записать в таблицу 5.

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

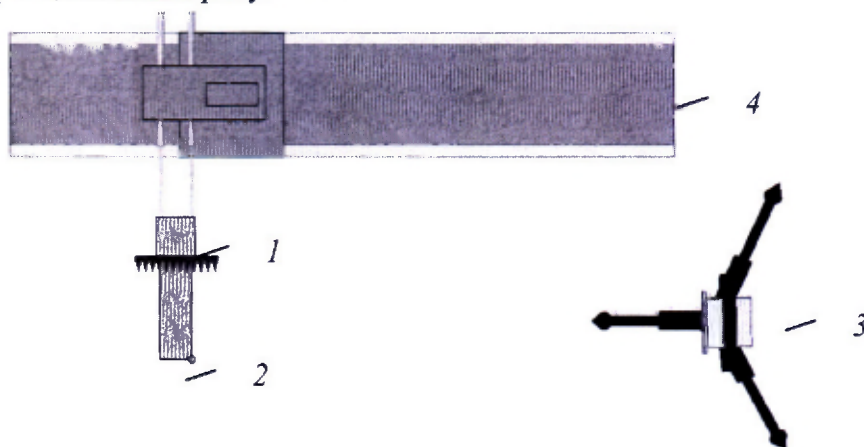
| Ослабление аттенюатора L, дБ | Относительный уровень амплитудного распределения M, дБ | Погрешность измерений $\theta_{\phi 1}$, градус |
|---------------------------------|---|---|
| 10 | -10 | |
| 20 | -20 | |
| 30 | -30 | |
| 40 | -40 | |
| 50 | -50 | |

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 «RL-BEAM-DA» 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 λ_{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 «RL-BEAM-DA» 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 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 (16):

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

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

λ - длина волны, соответствующая частотам, указанным в п. 5.1.1, м.

За погрешность измерений фазы θ_{φ_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 8,2 до 12,4 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 «RL-BEAM-DA» 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 П6-140.

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

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

Расстояние между раскрывами антенны П6-140 и антенны-зонда установить равным в пределах 3λ , где λ – максимальная длина волны измеряемого поддиапазона частот.

Запустить программу измерений в частотной области.

В соответствии с РЭ на комплекс установить полосу частот анализатора от 8,2 до 12,4 ГГц, ширину полосы пропускания 100 Гц, шаг перестройки по частоте 2,1 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 500×800 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, входящую в комплект поставки комплекса. На частоте 12,4 ГГц рассчитать амплитудные A_j и фазовые φ_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 изме-

рений амплитудного распределения электромагнитного поля при динамическом диапазоне измерений амплитудного распределения не менее 60 дБ и кроссполаризационной развязке антенны-зонда не менее 20 дБ находятся в следующих пределах для относительных уровней амплитудного распределения:

| | |
|--------|-----------|
| -10 дБ | ±0,6 дБ; |
| -20 дБ | ±1,0 дБ; |
| -30 дБ | ±1,3 дБ; |
| -40 дБ | ±1,5 дБ; |
| -50 дБ | ± 3,0 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 | ±3°; |
| -20 дБ | ±4°; |
| -30 дБ | ±4°; |
| -40 дБ | ±5°; |
| -50 дБ | ±13°. |

В противном случае результаты проверки считать отрицательными и последующие операции проверки 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, равного $\pm 65^\circ$, 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 λ_{\max} – длина волны, соответствующая частотам 8,2; 10,3 и 12,4 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):

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

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);

φ_0 – фаза сигнала ($\varphi_0 = 0$ рад);

$N(M) = \left\lceil \frac{L_x(L_y)}{\Delta x(\Delta y)} \right\rceil$ - 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):

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

$$F_\varphi(u, v) = \arg[\mathfrak{F}(J(x_2, y_2))] \quad (21)$$

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):

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

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

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

σ_A - среднее квадратическое отклонение результатов измерений амплитудного распределения

$$\sigma_A = 10^{\frac{\Delta_A}{20}} / 2,45;$$

σ_φ - 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):

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

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

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

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

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

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

8.3.2.5 Результаты поверки 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 | ±0,6 дБ; |
| -20 дБ | ±1,2 дБ; |
| -30 дБ | ±1,4 дБ; |
| -40 дБ | ±2,0 дБ; |
| -50 дБ | ±3,6 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 | ±3°; |
| -20 дБ | ±5°; |
| -30 дБ | ±6°; |
| -40 дБ | ±10°; |
| -50 дБ | ±18°. |

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 δ , дБ, рассчитать по формуле (29):

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

где δ_1 – погрешность измерений АДН до уровней минус 10 дБ, $\delta_1 = 0,072$;

δ_2 – погрешность коэффициента усиления эталонной антенны, $\delta_2 = 0,12; 0,2; 0,41; 0,6$;

δ_3 – погрешность за счет рассогласования.

За погрешность δ_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 | ±0,8 дБ; |
| 0,8 дБ | ±1,1 дБ; |
| 1,5 дБ | ±1,8 дБ; |
| 2,0 дБ | ±2,3 дБ. |

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

8.3.4 Определение диапазона рабочих частот

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

8.3.4.2 Результаты поверки считать положительными, если в диапазоне частот от 8,2 до 12,4 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 8,2 до 12,4 ГГц.

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

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 настоящей МП.

8.3.5.2 Результаты поверки считать положительными, если размеры рабочей области сканирования комплекса (длина × высота) не менее 2,9×2,9 м.

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

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 -65° до 65°, если при заданных в п. 8.3.2 условиях моделирования (секторы углов Θ и φ) рассчитанная погрешность измерений относительных уровней АДН не превышает установленных в п. 8.3.2 значений.

В противном случае результаты поверки считать отрицательными и последующие операции 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

Начальник лаборатории № 133
ФГУП «ВНИИФТРИ»

М.С. Шкуркин

Инженер лаборатории № 133
ФГУП «ВНИИФТРИ»

К.И. Курбатов