

ООО «РАДИОЛАЙН»



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «РАДИОЛАЙН»



А.В. Кривов

« 17 » ср 2017 г.

**Автоматизированный измерительно-
вычислительный комплекс для
измерения отражающей способности
материалов РЛТГ.425820.013**

Руководство по эксплуатации

РЛТГ.425820.013РЭ

Содержание

1 Вводная часть	3
2 Операции поверки	3
3 Средства поверки	3
4 Требования к квалификации поверителей	4
5 Требования безопасности	4
6 Условия поверки	4
7 Подготовка к проведению поверки	4
8 Проведение поверки	5
8.1 Внешний осмотр	5
8.2 Опробование	5
8.3 Определение метрологических характеристик	6
9 Оформление результатов поверки	15

1 ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

1.1 Настоящая методика поверки (далее – МП) устанавливает методы и средства первичной и периодической поверок автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса для измерения отражающей способности материалов РЛТГ.425820.013, заводской № 1650001 (далее – комплекс), изготовленного ООО «РАДИОЛАЙН», г. Москва.

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 измерения радиотехнических отражающих свойств материалов в свободном пространстве.

1.5 Поверка комплекса проводится не реже одного раза в 12 (двенадцать) месяцев 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
Внешний осмотр	8.1	+	+
Опробование	8.2	+	+
Определение метрологических характеристик	8.3	+	+
3.1 Определение диапазона рабочих частот и динамического диапазона	8.3.1	+	+
3.2 Определение относительных уровней побочных переотражений при бистатической схеме	8.3.2	+	+
3.3 Определение погрешности измерений модулей коэффициентов отражения	8.3.3	+	+

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	ПЭВМ HP Z1 из состава комплекса
8.3.1	не используются
8.3.2	не используются

8.3.3	Аттенюатор ступенчатый программируемый Agilent 84908М, регистрационный № 60239-15, диапазон частот от 0 до 50 ГГц, диапазон вводимых ослаблений от 0 до 65 дБ с шагом 5 дБ.
-------	---

3.2 Могут применяться другие средства измерений и вспомогательное оборудование аналогичного назначения, обеспечивающие определение характеристик испытуемого комплекса 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 и имеющими квалификационную группу электробезопасности не ниже третьей.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен предварительно ознакомиться с документом «Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для измерения отражающей способности материалов. Руководство по эксплуатации. РЛТГ.425820.013 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

Наименование параметра	Значение параметра
Температура окружающего воздуха, °С	от 15 до 25
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	от 84 до 106,7 (от 630 до 800)
Относительная влажность воздуха, %	от 30 до 80
Напряжение сети электропитания переменного тока, В	220±11
Частота сети электропитания переменного тока, 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 «Комплектность» документа «Автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс для измерения отражающей способности материалов. Паспорт. РЛТГ.425820.013 ПС (далее – ПС).

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

8.1.4 Проверить наличие свидетельства о поверке на ВАЦ ZVA40 из состава комплекса.

8.1.5 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;

- ВАЦ ZVA40 из состава комплекса поверен и имеет свидетельство о поверке.

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

8.2 Опробование

8.2.1 Идентификация соответствия программного обеспечения (далее – ПО)

8.2.1.1 Включить персональный компьютер (далее – ПК).

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

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

8.2.1.4 Повторить операции п. 8.2.1.3 для файла *RCCalc.exe*.

8.2.1.5 Сравнить полученные контрольные суммы и версии с их значениями, записанными в таблице 4. Результат сравнения зафиксировать в рабочем журнале.

Таблица 4 - Идентификационные данные ПО

Идентификационные данные (признаки)	Значение	
Идентификационное наименование ПО	MaterialMeasurement.exe	RCCalc.exe
Номер версии (идентификационный номер) ПО	1.0.0	1.0.0
Цифровой идентификатор ПО (контрольная)	3CC9B42FA11A660B211024DCABC6C29E3	4DE49DE2A72635C58FFD17EE0FF78C09

сумма исполняемого кода)		
--------------------------------	--	--

8.2.1.6 Результаты идентификации соответствия ПО считать положительными, если полученные идентификационные данные ПО соответствуют значениям, приведенным в таблице 4.

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

8.2.2 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.2.3 Проверить работоспособность аппаратуры комплекса путем проверки отсутствия сообщений об ошибках и неисправностях при загрузке программных продуктов «Material Measurement.exe» и «RCCalc.exe».

8.2.4 Установить на ПОЗИЦИОНЕР 1 (левая ось) и ПОЗИЦИОНЕР 2 (правая ось) антенны П6-123 из состава комплекса.

8.2.5 Установить на стол для образцов металлическую пластину с размерами сторон 500x500x30 мм.

8.2.6 При помощи программного обеспечения комплекса установить антенну 1 в положение +20°, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.2.7 При помощи программного обеспечения комплекса провести измерения комплексного коэффициента передачи в диапазоне частот 0,9 – 12 ГГц и сохранить результаты.

8.2.8 При помощи программного обеспечения комплекса установить антенну 1 под углом 0° к нормали на металлическую пластину, антенну 2 под углом 70° к нормали.

8.2.9 При помощи программного обеспечения комплекса провести измерения комплексного коэффициента отражения в диапазоне частот 0,9 – 12 ГГц и сохранить результаты. Измерение проводить по порту ВАЦ, соответствующему антенне 1.

8.2.10 Результаты испытаний считать положительными, если аппаратура комплекса работоспособна и позволяет при помощи программного обеспечения:

- изменять угол к нормали на металлическую пластину;
- проводить измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения;
- сохранять результаты измерений.

8.3 Определение метрологических характеристик

8.3.1 Определение диапазона рабочих частот и динамического диапазона

8.3.1.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.1.2 Установить на позиционеры 1 и 2 антенны согласно таблице 4. Сориентировать антенны для излучения и приема на согласованной поляризации электромагнитного поля. Измерения проводить в произвольной очередности для всех частотных диапазонов.

Таблица 4 – Порядок использования антенн

Номер измерений	Позиционер 1	Позиционер 2	Диапазон частот, ГГц	Размер пластины, мм
1	A-Info LB-460-NF	A-Info LB-460-NF	от 0,4 до 1,5	500x500x30
2	П6-223	П6-223	от 1,5 до 4	
3	П6-123	П6-123	от 4 до 8	
4	П6-127	П6-127	от 8 до 18	
5	П6-128	П6-128	от 18 до 26	
6	П6-132	П6-132	от 26 до 40	

8.3.1.3 Подключить к порту 2 ВАЦ малошумящий усилитель (МШУ) из состава комплекса.

8.3.1.4 Установить на стол для образцов металлическую пластину с размерами сторон согласно таблице 4.

8.3.1.5 Установить антенну 1 в положение $+20^\circ$, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.1.6 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.1.7 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент передачи $S_{21M}(f)$.

8.3.1.8 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{11} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.1.9 Установить антенну 1 (левая ось) в положение 0° к нормали на металлическую пластину, антенну 2 (правая ось) в положение 70° к нормали на металлическую пластину.

8.3.1.10 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент отражения $S_{11M}(f)$.

8.3.1.11 Убрать металлическую пластину и накрыть стол радиопоглощающим материалом из состава комплекса.

8.3.1.12 Зафиксировать комплексный коэффициент отражения $S_{11\phi}(f)$.

8.3.1.13 Установить антенну 1 в положение $+20^\circ$, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.1.14 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.1.15 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент передачи $S_{21\phi}(f)$.

8.3.1.16 Выждать 30 минут и зафиксировать комплексный коэффициент передачи $S'_{21\phi}(f)$.

8.3.1.17 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{11} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.1.18 Зафиксировать комплексный коэффициент отражения $S'_{11\phi}(f)$.

8.3.1.19 Определить динамический диапазон комплекса при измерении коэффициента отражения в диапазоне частот в следующем порядке:

- из результатов измерений комплексного коэффициента отражения $S_{11M}(f)$ комплексно вычесть $S_{11\phi}(f)$:

$$\begin{aligned} S'_{11M}(f) &= S_{11M}(f) - S_{11\Phi}(f) \\ S''_{11\Phi}(f) &= S'_{11\Phi}(f) - S_{11\Phi}(f) \end{aligned} \quad (1)$$

- б) на массивы $S'_{11M}(f)$ и $S_{11\Phi}(f)$ наложить одинаковые оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) $\eta(x)$ с коэффициентом прямоугольности 0,2:

$$\begin{aligned} S''_{11M}(f) &= \eta(x) \cdot S'_{11M}(f) \\ S''_{11\Phi}(f) &= \eta(x) \cdot S''_{11\Phi}(f) \end{aligned} \quad (2)$$

оконная функция рассчитывается по следующей формуле (3):

$$\eta(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{r} [x - r/2]\right) \right\}, & 0 \leq x < r/2 \\ 1, & r/2 \leq x < 1 - r/2 \\ \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos\left(\frac{2\pi}{r} [x - 1 + r/2]\right) \right\}, & 1 - r/2 \leq x \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

где r – коэффициент прямоугольности;

$x = nf$ – нормированные и равномерно распределенные отсчеты по частоте ($0 \leq x \leq 1$).

- в) перейти во временную область путем выполнения обратного преобразования Фурье над массивами $S''_{11M}(f)$ и $S''_{11\Phi}(f)$;
- г) во временной области на участки, содержащие отклик от пластины и радиопоглощающего материала, наложить оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) с одинаковыми размерами 0,4...0,5 метров и положением, коэффициент прямоугольности выбрать равным 0,4;
- д) перейти в частотную область путем выполнения прямого преобразования Фурье над оконными функциями пластины $S_{11MO}(t)$ и радиопоглощающего материала $S_{11\Phi O}(t)$;
- е) определить динамический диапазон комплекса при измерении коэффициента отражения [дБ] в диапазоне частот по формуле (4):

$$D(f) = 20 \lg \left| \frac{\text{БПФ}(S_{11MO}(t))}{\text{БПФ}(S_{11\Phi O}(t))} \right| \quad (4)$$

8.3.1.20 Определить динамический диапазон комплекса при измерении коэффициента передачи в диапазоне частот аналогично п. 5.1.16, но вместо $S_{11M}(f)$, $S_{11\Phi}(f)$ и $S'_{11\Phi}(f)$ использовать $S_{21M}(f)$, $S_{21\Phi}(f)$ и $S'_{21\Phi}(f)$.

8.3.1.21 Повторить операции пп. 5.1.2 - 5.1.17 для всех частотных диапазонов, приведенных в таблице 4.

8.3.1.22 При определении динамического диапазона исключить значения на краях диапазонов частот в размере 10 % от крайних частот.

8.3.1.23 Результаты проверки считать положительными, если динамический диапазон измерений модулей коэффициентов отражения и передачи в диапазоне рабочих частот составляет:

- от 0,4 до 1,5 ГГц включ., не менее 36 дБ;
- св. 1,5 до 4 ГГц включ., не менее 51 дБ;
- св. 4 до 8 ГГц включ., не менее 47 дБ;
- св. 8 до 18 ГГц включ., не менее 50 дБ;
- св. 18 до 26 ГГц включ., не менее 49 дБ;
- св. 26 до 40 ГГц включ., не менее 46 дБ.

8.3.2 Определение относительных уровней побочных переотражений

8.3.2.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.2.2 Установить на позиционеры 1 и 2 антенны согласно таблице 4. Сориентировать антенны для излучения и приема на согласованной поляризации электромагнитного поля. Измерения проводить в произвольной очередности для всех частотных диапазонов.

8.3.2.3 Установить на стол для образцов металлическую пластину согласно таблице 4.

8.3.2.4 Подключить к порту 2 ВАЦ малошумящий усилитель из состава комплекса.

8.3.2.5 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей 4;
- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.2.6 Установить антенну 1 в положение $+20^\circ$, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу $\phi = 40^\circ$ между антеннами (рисунок 1).

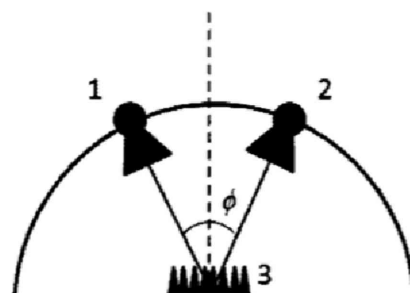


Рисунок 1 – Измерение уровней переотражений: 1 – антенна 1, 2 – антенна 2, 3 – радиопоглощающий материал

8.3.2.7 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент передачи $S_{21МП}(f)$.

8.3.2.8 Убрать металлическую пластину и накрыть стол для образцов радиопоглощающим материалом из состава комплекса.

8.3.2.9 Зафиксировать комплексный коэффициент передачи $S_{21\phi\Pi}^{i=1}(f)$.

8.3.2.10 Установить антенну 1 в положение $+21^\circ$, антенну 2 в положение -21° к нормали.

8.3.2.11 Зафиксировать комплексный коэффициент передачи $S_{21\phi\Pi}^{i+1}(f)$.

8.3.2.12 Провести измерения для диапазона углов антенн к нормали $\pm 20^\circ \dots \pm 30^\circ$ с шагом 1° .

8.3.2.13 Определить относительный уровень переотражений в диапазоне частот в следующем порядке:

- а) из результатов измерений комплексного коэффициента передачи $S_{21МП}(f)$ комплексно вычесть $S_{21\phi\Pi}^{i=1}(f)$:

$$S_{21МП}^i(f) = S_{21МП}(f) - S_{21\phi\Pi}^{i=1}(f) \quad (5)$$

- б) на массивы $S'_{21МП}(f)$ и $S'_{21ФП}(f)$ наложить одинаковые оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) $\eta(x)$ с коэффициентом прямоугольности 0,2:

$$\begin{aligned} S''_{21МП}(f) &= \eta(x) \cdot S'_{21МП}(f) \\ S''_{21ФП}(f) &= \eta(x) \cdot S'_{21ФП}(f) \end{aligned} \quad (6)$$

- в) перейти во временную область путем выполнения обратного преобразования Фурье над массивами $S''_{21МП}(f)$ и $S''_{21ФП}(f)$;
- г) во временной области на участки, содержащие отклик от пластины и радиопоглощающего материала, наложить оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) с одинаковыми размерами 0,4...0,5 метров и положением, коэффициент прямоугольности выбрать равным 0,4;
- д) перейти в частотную область путем выполнения прямого преобразования Фурье над оконными функциями пластины $S''_{21МП}(t)$ и радиопоглощающего материала $S''_{21ФП}(t)$;
- е) определить величину флуктуаций коэффициента передачи по формуле:

$$\Delta(f) = \left| \max_i \{БПФ(S''_{ФП}(t))\} - \min_i \{БПФ(S''_{МП}(t))\} \right| \quad (7)$$

- ж) определить относительный уровень переотражений [дБ] в диапазоне частот по формуле:

$$УП(f) = 20 \lg \left(\frac{\Delta(f)}{|БПФ(S''_{21МП}(t))|} \right) \quad (8)$$

8.3.2.14 Повторить пп. 8.3.2.2 – 8.3.2.13 для всех диапазонов частот из таблицы 4.

8.3.2.15 При определении относительных уровней переотражений исключить значения на краях диапазонов частот в размере 10 % от крайних частот.

8.3.2.16 Результаты проверки относительных уровней побочных переотражений при бистатической схеме считать положительными, если значения находятся в пределах, указанных в таблице 5.

Таблица 5 – Пределы относительных уровней побочных переотражений при бистатической схеме

Диапазон частот, ГГц	Уровень, дБ
от 0,4 до 1,5 включ.	минус 20
св. 1,5 до 4 включ.	минус 18
св. 4 до 8 включ.	минус 25
св. 8 до 18 включ.	минус 36
св. 18 до 26 включ.	минус 40
св. 26 до 40 включ.	минус 41

8.3.3 Определение погрешности измерений модулей коэффициентов отражения

8.3.3.1 Подготовить комплекс к работе в соответствии с РЭ.

8.3.3.2 Установить на позиционеры 1 и 2 антенны согласно таблице 4. Сориентировать антенны для излучения и приема на согласованной поляризации электромагнитного поля. Измерения проводить в произвольной очередности для всех частотных диапазонов.

8.3.3.3 Установить на стол для образцов металлическую пластину согласно таблице 4.

8.3.3.4 Подключить к порту 2 ВАЦ малошумящий усилитель из состава комплекса.

8.3.3.5 Подключить в СВЧ тракт комплекса программируемый аттенюатор 84908М.

8.3.3.6 Установить антенну 1 в положение $+20^\circ$, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.3.7 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 31.

8.3.3.8 Зафиксировать измеряемые коэффициенты передачи $A_{x\text{dB}}(nf)$ [дБ] поочередно для ослаблений программируемого аттенюатора $x\text{dB} = 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40$ дБ.

8.3.3.9 Инструментальную погрешность измерений для каждого номинального ослабления в рабочем диапазоне частот рассчитать по формуле (9):

$$\Delta_{x\text{dB}}(nf) = [A_{x\text{dB}}(nf) - A_{0\text{dB}}(nf)] + x, \text{ дБ}, \quad (9)$$

где $A_{x\text{dB}}(nf)$ - результаты измерений $A_{-5\text{dB}}(nf), A_{-10\text{dB}}(nf) \dots A_{-50\text{dB}}(nf)$, дБ;

x - номиналы вводимых аттенюатором 84908М ослаблений (5, 10...40), дБ.

В качестве инструментальной погрешности $\bar{\Delta}_{x\text{dB}}$ для каждого номинального ослабления принять среднее значение модуля в диапазоне частот:

$$\bar{\Delta}_{x\text{dB}} = \frac{1}{n} \sum_n |\Delta_{x\text{dB}}(nf)|, \quad (10)$$

8.3.3.10 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 31.
- количество усреднений – 100.

8.3.3.11 Установить антенну 1 в положение $+70^\circ$, антенну 2 в положение -70° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 140° между антеннами.

8.3.3.12 Установить антенну 1 в положение $+20^\circ$, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.3.13 Зафиксировать комплексный коэффициент передачи $S_{21\text{MP}}^{i=1}(f)$.

8.3.3.14 Повторить пп. 8.3.3.11 – 8.3.3.13 три раза.

8.3.3.15 Рассчитать составляющую погрешности, обусловленную рассогласованием подвижных частей СВЧ тракта для диапазона частот по формуле (11):

$$\delta_p(f) = \left| \frac{t \cdot \text{CKO}(S_{21\text{MP}}^i(f))}{S_{21\text{MP}}^{i=1}(f)} \right|^2, \quad (11)$$

где $\text{CKO}(S_{21\text{MP}}^i(f))$ - среднеквадратическое отклонение результатов измерений коэффициента передачи;

$t = 3,18$ – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95.

8.3.3.16 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.3.17 Установить антенну 1 в положение +20°, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.3.18 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент передачи $S_{21M}(f)$.

8.3.3.19 Антенну 1 установить в положение 0° к нормали на металлическую пластину, антенну 2 в положение 70° к нормали.

8.3.3.20 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{11} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.3.21 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент отражения $S_{11M}(f)$.

8.3.3.22 Убрать металлическую пластину и накрыть стол для образцов радиопоглощающим материалом из состава комплекса.

8.3.3.23 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент отражения $S_{11\phi}(f)$.

8.3.3.24 Установить антенну 1 в положение +20°, антенну 2 в положение -20° к нормали на металлическую пластину, что соответствует углу 40° между антеннами.

8.3.3.25 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{21} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.3.26 Зафиксировать измеряемый комплексный коэффициент передачи $S_{21\phi}(f)$.

8.3.3.27 Выждать 30 минут и зафиксировать комплексный коэффициент передачи $S'_{21\phi}(f)$.

8.3.3.28 Антенну 1 установить в положение 0° к нормали на металлическую пластину, антенну 2 в положение 70° к нормали.

8.3.3.29 Установить следующие параметры обзора ВАЦ:

- режим измерений S_{11} ;
- диапазон частот согласно используемой комбинации антенн в соответствии с таблицей

4;

- выходная мощность плюс 10 дБм;
- ширина полосы фильтра ПЧ 10 Гц;
- количество частотных точек – не менее 3001.

8.3.3.30 Зафиксировать комплексный коэффициент отражения $S'_{11\phi}(f)$.

8.3.3.31 Определить составляющую погрешности, обусловленную рассогласованием СВЧ тракта комплекса во времени при измерении коэффициента передачи в следующем порядке:

- а) над полученными массивами провести следующие преобразования:

$$\begin{aligned} S'_{21M}(f) &= S_{21M}(f) - S_{21\phi}(f) \\ S''_{21\phi}(f) &= S'_{21\phi}(f) - S_{21\phi}(f) \end{aligned} \quad (12)$$

- б) на массивы $S'_{21M}(f)$ и $S''_{21\phi}(f)$ наложить одинаковые оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) $\eta(x)$ с коэффициентом прямоугольности 0,2:

$$\begin{aligned} S''_{21M}(f) &= \eta(x) \cdot S'_{21M}(f) \\ S''_{21\Phi}(f) &= \eta(x) \cdot S'_{21\Phi}(f) \end{aligned} \quad (13)$$

- в) перейти во временную область путем выполнения обратного преобразования Фурье над массивами $S''_{21M}(f)$ и $S''_{21\Phi}(f)$;
- г) во временной области на участки, содержащие отклик от пластины и радиопоглощающего материала, наложить оконные функции Тьюки (косинусное окно с плоской вершиной) с одинаковыми размерами 0,4...0,5 метров и положением, коэффициент прямоугольности выбрать равным 0,4;
- д) перейти в частотную область путем выполнения прямого преобразования Фурье над оконными функциями пластины $S''_{21M}(t)$ и радиопоглощающего материала $S''_{21\Phi}(t)$;
- е) определить величину рассогласования тракта во времени при измерении коэффициента передачи по формуле (14):

$$\delta_{21}(f) = 20 \lg \left| \frac{\text{БПФ}(S''_{21\Phi}(t))}{\text{БПФ}(S''_{21M}(t))} \right| \quad (14)$$

8.3.3.32 Определить величину рассогласования тракта во времени при измерении коэффициента отражения $\delta_{11}(f)$ аналогично п. 8.3.3.31, но с использованием $S'_{11M}(f)$, $S'_{11\Phi}(f)$ и $S'_{11\Phi}(f)$.

8.3.3.33 Рассчитать суммарную погрешность измерений модуля коэффициента отражения (МКО) при бистатической (коэффициент передачи) схеме измерения в диапазоне частот по формуле (15):

$$\Delta_{21} = \pm 10 \lg \left(1 + k \sqrt{\delta_{21}^2 + \delta_{\text{ВП}}^2 + \delta_p^2 + A_i^2} \right), \quad (15)$$

где $\delta_{21} = \left[1 + 10^{0,05(\max(\delta_{21}(f)))} \right]^2 - 1$ - составляющая погрешности, обусловленная рассогласованием СВЧ тракта во времени (определяется в п. 8.3.3.32);

$\delta_{\text{ВП}} = \left[1 + 10^{0,05(\max(\text{ВП}(f)) - \text{МКО})} \right]^2 - 1$ - составляющая погрешности, обусловленная побочными переотражениями от элементов измерительного стенда (определяется в п. 8.3.2.13);

$\text{МКО} = 0, -5, -10 \dots -40$ дБ;

$\delta_p = \max(\delta_p(f))$ - составляющая погрешности, обусловленная рассогласованием подвижных частей СВЧ трактов (определяется в п. 8.3.3.15);

$A_i = 10^{0,1 \Delta_{\text{нл}}} - 1$ - составляющая погрешности, обусловленная нелинейностью амплитудной характеристики ВАЦ (определяется в п. 8.3.3.9 для всех ослаблений аттенюатора), где i - номер ослабления;

$k = 1,1$ - коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95.

8.3.3.34 Рассчитать суммарную погрешность измерений МКО при моностатической (коэффициент отражения) схеме измерения в диапазоне частот по формуле (16):

$$\Delta_{11} = \pm 10 \lg \left(1 + k \sqrt{\delta_{11}^2 + A_i^2} \right), \quad (16)$$

где $\delta_{11} = \left[1 + 10^{0,05(\max(\delta_{11}(f)) - \text{МКО})} \right]^2 - 1$ - составляющая погрешности, обусловленная рассогласованием СВЧ тракта во времени (определяется в п. 8.3.3.32);

$A_i = 10^{0,1\Delta_{\text{дБ}}} - 1$ - составляющая погрешности, обусловленная нелинейностью амплитудной характеристики ВАЦ (определяется в п. 8.3.3.9 для всех ослаблений аттенюатора), где i – номер ослабления.

8.3.3.35 Повторить операции пп. 8.3.3.2 – 8.3.3.4 для всех частотных диапазонов, приведенных в таблице 4.

8.3.3.36 При расчете составляющих суммарных погрешностей исключить из расчетов значения на краях диапазонов частот в размере 10 % от крайних частот.

8.3.3.37 Результаты проверки относительной погрешности измерений МКО считать положительными, если значения находятся в пределах, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Пределы погрешностей измерений МКО в диапазоне частот

Диапазон частот	МКО, дБ	При бистатической схеме, дБ	При моностатической схеме, дБ
от 0,4 до 0,7 ГГц включ.	0	±0,8	±0,2
	-5	±1,4	±0,2
	-10	±2,3	±0,3
	-15	±3,7	±0,5
	-20	-	±0,9
	-25	-	±1,5
	-30	-	±2,5
	-35	-	±4,1
св. 0,7 до 1,5 ГГц включ.	0	±0,7	±0,2
	-5	±1,2	±0,2
	-10	±2,1	±0,3
	-15	±3,4	±0,3
	-20	-	±0,5
	-25	-	±0,8
	-30	-	±1,9
	-35	-	±3,0
св. 1,5 до 4 ГГц включ.	0	±1,1	±0,2
	-5	±1,9	±0,2
	-10	±3,1	±0,3
	-15	±4,4	±0,3
	-20	-	±0,5
	-25	-	±0,7
	-30	-	±1,0
	-35	-	±1,8
	-40	-	±3,0
св. 4 до 8 ГГц включ.	0	±0,5	±0,1
	-5	±0,9	±0,2
	-10	±1,5	±0,2
	-15	±2,7	±0,3
	-20	±4,2	±0,6
	-25	-	±1,0
	-30	-	±1,7
	-35	-	±2,8
	-40	-	±4,2
св. 8 до 18 ГГц включ.	0	±0,2	±0,1
	-5	±0,3	±0,2
	-10	±0,5	±0,3
	-15	±0,8	±0,3

	-20	$\pm 1,4$	$\pm 0,5$
	-25	$\pm 2,3$	$\pm 0,8$
	-30	$\pm 3,9$	$\pm 1,3$
	-35	-	$\pm 2,2$
	-40	-	$\pm 3,4$
св. 18 до 26 ГГц включ.	0	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$
	-5	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
	-10	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
	-15	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$
	-20	$\pm 0,7$	$\pm 0,5$
	-25	$\pm 1,2$	$\pm 0,7$
	-30	$\pm 2,1$	$\pm 1,3$
	-35	$\pm 3,8$	$\pm 2,1$
	-40	-	$\pm 3,2$
св. 26 до 40 ГГц включ.	0	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
	-5	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
	-10	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$
	-15	$\pm 0,5$	$\pm 0,5$
	-20	$\pm 0,8$	$\pm 0,9$
	-25	$\pm 1,4$	$\pm 1,6$
	-30	$\pm 2,6$	$\pm 2,6$
	-35	$\pm 3,9$	$\pm 4,2$

8.3.3.38 Результаты расчета суммарных относительных погрешностей МКО при бистатической и моностатической схеме измерений в диапазонах частот оформить протоколом.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

9.2 На комплекс, признанный годным, выдается Свидетельство о поверке установленной формы.

9.3 Комплекс, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается и на него выдается «Извещение о непригодности к применению» с указанием причин непригодности.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

Начальник лаборатории № 160
ФГУП «ВНИИФТРИ»

О.В. Каминский

А.В. Титаренко