

СОГЛАСОВАНО

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



А.Н. Щипунов

01 2025 г.

**Государственная система обеспечения единства измерений**

**Комплекты калибровочных мер Э9-209**

**МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

**МП 113-24-002**

р.п. Менделеево  
2025 г.

## 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящая методика поверки распространяется на комплекты калибровочных мер Э9-209 (далее – Э9-209), изготавливаемые обществом с ограниченной ответственностью «Микроволновые технологии», и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок.

1.2 Первичной поверке подлежат Э9-209 до ввода в эксплуатацию. Периодической поверке подлежат Э9-209, находящиеся в эксплуатации, на хранении и после ремонта.

1.3 Применяемые при поверке эталоны и средства измерений должны обеспечивать прослеживаемость к ГЭТ 219-2024 «Государственный первичный эталон единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц» (далее – ГЭТ 219) в соответствии с Приказом Росстандарта №1796 от 05.08.2024 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц».

1.4 Поверка Э9-209 может осуществляться только аккредитованным на проведение поверки лицом в соответствии с его областью аккредитации, в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации.

1.5 При проведении поверки необходимо руководствоваться настоящей методикой и эксплуатационной документацией на Э9-209 и на используемое при поверке оборудование. Методика поверки реализуется посредством методов прямых и косвенных измерений.

1.6 Настоящая методика поверки применяется для поверки Э9-209, используемых в качестве рабочего эталона (разряды для рабочих эталонов в государственной поверочной схеме не указаны) единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц, утвержденной Приказом Росстандарта №1796 от 05 августа 2024.

1.7 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в приложении А.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

2.1 При проведении поверки Э9-209 должны быть выполнены операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	да	да	7
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	да	да	8
Определение длин мер и отклонения действительного значения длины мер от номинального значения	да	да	9.1
Определение размеров сечений волноводных трактов	да	да	9.2
Определение модуля коэффициента отражения короткозамыкателя	да	да	9.3

Продолжение таблицы 1

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Определение диапазона рабочих частот	да	да	9.4
Определение характеристик, передаваемых анализаторам цепей векторным, и типов поддерживаемых калибровок	да	да	9.5
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	да	да	10

2.2 Допускается проведение поверки каждой модификации по отдельности, поверки меньшего числа измеряемых величин: мер Э9-209/ХХ-2 и Э9-209/ХХ-4. Соответствующая запись должна быть сделана в свидетельстве о поверке на основании заявления владельца.

2.3 При получении отрицательных результатов по любому пункту таблицы 1 поверяемый Э9-209 бракуется.

### 3 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки должны соблюдаться нормальные условия:

- температура окружающего воздуха, °С от плюс 15 до плюс 25;
- относительная влажность окружающего воздуха, % не более 80;
- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.) от 84,0 до 106,7 (от 630 до 800).

### 4 ТРЕБОВАНИЯ К СПЕЦИАЛИСТАМ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИМ ПОВЕРКУ

4.1 Поверка должна осуществляться лицами со средним или высшим техническим образованием, аттестованными в качестве поверителей в области радиотехнических измерений в установленном порядке.

4.2 Перед проведением поверки поверитель должен ознакомиться с документом РЭ «Комплекты калибровочных мер Э9-209. Руководство по эксплуатации» (далее – РЭ).

4.3 Поверка осуществляется одним специалистом.

### 5 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ ПОВЕРКИ

5.1 Рекомендуемые средства поверки, в том числе рабочие эталоны и средства измерений, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Контроль условий поверки	Средство измерений температуры окружающей среды в диапазоне от +15 °С до +25 °С с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,5$ °С. Средство измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 30 % до 80 % с абсолютной погрешностью не более $\pm 3,0$ %. Средство измерений атмосферного давления с диапазоном измерений от 840 до 1060 гПа.	Измеритель влажности и температуры ИВТМ-7, рег. № 15500-07.
9.1 Определение длин мер и отклонения действительного значения длины мер от номинального значения	Микрометр, диапазон измерений от 0,5 до 25 мм, пределы допускаемой погрешности $\pm 3$ мкм.	Микрометр цифровой серии 293, рег. № 30740-12

Продолжение таблицы 2

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
9.2 Определение модуля коэффициента отражения короткозамыкателя	Установка для измерений комплексных коэффициентов отражений и комплексных коэффициентов передачи в волноводных трактах $35,0 \times 15,0$ ; $23,0 \times 10,0$ ; $16,0 \times 8,0$ ; $11,0 \times 5,5$ ; $7,2 \times 3,4$ ; $5,2 \times 2,6$ ; $3,6 \times 1,8$ ; $2,4 \times 1,2$ ; $1,6 \times 0,8$ мм, соответствующая требованиям вторичного эталона в соответствии с Приказом Росстандарта №1796 от 05.08.2024, состоящая из компаратора и комплектов мер: нагрузки волноводные с номинальными значениями модуля коэффициента отражения 0,02 (КСВН 1,05), 0,33 (КСВН 2,0) и 1,0 (нагрузка короткого замыкания); меры модуля коэффициента передачи $ S_{ij} =1$ .	Государственный первичный эталон единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц, рег. № ГЭТ219-2024
9.3 Определение размеров сечений волноводных трактов		
9.4 Определение диапазона рабочих частот		
9.5 Определение характеристик, передаваемых анализаторам цепей векторным, и типов поддерживаемых калибровок		

Примечание – Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.

## 6 ТРЕБОВАНИЯ (УСЛОВИЯ) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

6.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования безопасности, регламентируемые правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, утвержденными приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 № 903н, а также требования безопасности, приведённые в эксплуатационной документации на Э9-209 и средства поверки.

6.2 Размещение и подключение измерительных приборов разрешается производить только при выключенном питании, вспомогательное оборудование должно быть надежно заземлено в соответствии с эксплуатационной документацией.

## 7 ВНЕШНИЙ ОСМОТР СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

7.1 Внешний осмотр Э9-209 провести визуально без вскрытия, при этом необходимо проверить:

- комплектность, маркировку на соответствие РЭ;
- отсутствие видимых повреждений, влияющих на работоспособность Э9-209.

7.2 Результаты внешнего осмотра считать положительными, если:

- комплект поставки соответствует РЭ;
- маркировка соответствует РЭ;
- отсутствуют видимые повреждения, влияющие на работоспособность Э9-209.

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

## 8 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ И ОПРОБОВАНИЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Проверить соблюдение условий проведения поверки на соответствие разделу 3 данной методики поверки.

8.2 Выдержать Э9-209 в рабочих условиях эксплуатации не менее 2 часов.

8.3 Подготовить к работе установку для измерений комплексных коэффициентов

отражений и комплексных коэффициентов передачи из состава ГЭТ 219 (далее – Установка) в соответствии с эксплуатационной документацией на неё.

8.4 Открыть футляр, снять защитные колпачки с соединителей мер, которые будут использоваться при поверке.

## 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

### 9.1 Определение длин мер и отклонения действительного значения длины мер от номинального значения

9.1.1 С помощью микрометра цифрового серии 293 измерить толщину отрезков линий  $\lambda/8$ ,  $3\lambda/8$ ,  $\lambda/4$  из состава Э9-209.

Результаты измерений зафиксировать в протоколе.

9.1.2 Рассчитать отклонение действительных значений длин мер от номинальных значений, как разницу между номинальным и измеренным значениями длины меры.

9.1.3 Результаты зафиксировать в протоколе.

9.1.4 Результаты считать положительными, если измеренные значения длины мер и отклонение действительных значений длин мер от номинальных значений соответствуют приведенным в таблице 3.

Таблица 3 – Метрологические характеристики Э9-209

Модификация	Диапазон рабочих частот, ГГц	Сечение волноводного тракта, мм	Номинальные длины мер, мм			$\Delta l$ , мм
			$\lambda/8$	$\lambda/4$	$3\lambda/8$	
Э9-209/35	от 5,64 до 8,15	35,0×15,0	7,065	14,130	21,195	
Э9-209/23	от 8,15 до 12,05	23,0×10,0	5,020	10,040	15,060	
Э9-209/16	от 12,05 до 17,44	16,0×8,0	3,385	6,775	10,16	
Э9-209/11	от 17,44 до 25,95	11,0×5,5	2,290	4,590	6,880	
Э9-209/7.2	от 25,95 до 37,50	7,2×3,4	1,615	3,225	4,845	$\pm 0,03$
Э9-209/5.2	от 37,50 до 53,57	5,2×2,6	1,090	2,185	3,275	
Э9-209/3.6	от 53,57 до 78,33	3,6×1,8	0,755	1,510	2,265	
Э9-209/2.4	от 78,33 до 118,1	2,4×1,2	0,510	1,025	1,535	
Э9-209/1.6	от 118,1 до 178,4	1,6×0,8	2,360	0,680	1,690	

Примечание.  $\Delta l$  – пределы допускаемого отклонения действительного значения длины меры от номинального значения

### 9.2 Определение размеров сечений волноводных трактов

9.2.1 Определить размеры сечений волноводных трактов методом косвенных измерений одновременно с проведением измерений по пп. 9.5.1, 9.5.2.

9.2.2 Размеры сечений волноводных трактов мер из состава Э9-209 соответствуют значениям приведенным в таблице 3, если результаты измерений соответствуют пп. 9.5.4.1, 9.5.4.3.

9.2.3 Результаты измерений зафиксировать в протоколе.

9.2.4 Результаты считать положительными, если размеры сечений волноводных трактов мер из состава Э9-209 соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.

### 9.3 Определение диапазона рабочих частот

9.3.1 Определение диапазона рабочих частот проводить одновременно с п. 9.5.1 в диапазонах рабочих частот, приведенных в таблице 3.

9.3.2 Результаты считать положительными, в диапазонах рабочих частот, приведенных в таблице 3, параметры передаваемые анализаторам цепей векторным соответствуют п. 9.5.4.1.

### 9.4 Определение модуля коэффициента отражения короткозамыкателей

9.4.1 Определение модуля коэффициента отражения (далее – модуль КО)

короткозамыкателя выполнить методом прямых измерений с помощью Установки в следующей последовательности.

9.4.1.1 Подготовить Установку в соответствии с эксплуатационной документацией.

9.4.1.2 Установить диапазон рабочих частот поверяемой модификации Э9-209, в соответствии с таблицей 3.

9.4.1.3 Подключить короткозамыкатель из состава Э9-209 и провести измерение модуля КО в диапазоне рабочих частот. Результаты измерений сохранить в файле формата .s1p, а в протоколе зафиксировать минимальное значение.

9.4.1.4 Подключить к порту Установки отрезок линий  $\lambda/8$  и короткозамыкатель, провести измерение модуля КО в диапазоне рабочих частот. Результаты измерений сохранить в файле формата .s1p. Повторить измерения с отрезками линий  $\lambda/4$  и  $3\lambda/8$ .

9.4.1.5 При поверке в качестве рабочего эталона повторить измерения п. 9.4.1.3, используя согласованную нагрузку (из состава Э9-209 или ГЭТ 219), и п. 9.4.1.4, подключая нагруженные на согласованную нагрузку отрезки линий, а из полученных результатов в программном обеспечении ГЭТ 219 рассчитать коэффициенты передачи и отражения отрезков линий с сохранением .s2p файла.

9.4.2 Результаты считать положительными, если значения модуля коэффициента отражения короткозамыкателей не менее 0,97 в диапазоне рабочих частот Э9-209.

## 9.5 Определение характеристик, передаваемых анализаторам цепей векторным и типов поддерживаемых калибровок

9.5.1 Определение доверительных границ абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ii}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента отражения  $|S_{ii}|$  в диапазоне значений от 0 до 1 и доверительных границ абсолютной погрешности  $\Delta\Phi_{ii}$  измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения (далее – фаза КО) в диапазоне значений модуля  $|S_{ii}|$  от 0,03 до 1 выполнить методом прямых измерений в следующей последовательности.

9.5.1.1 Установить на Установке полосу фильтра промежуточной частоты 100 Гц, добавить трассу для измерения  $S_{11}$  и графическое окно для измерения фазы  $S_{11}$ . Измерения проводить в диапазоне частот в соответствии с таблицей 4 с интервалом 100 МГц, включая граничные частоты. Установить количество усреднений  $N=10$ .

9.5.1.2 Выполнить TRL калибровку с применением Э9-209 в соответствии с документом «Комплект калибровочных мер Э9-209. Руководство по эксплуатации».

9.5.1.3 Присоединить к Установке нагрузку с номинальными значениями КСВН 1,05 из состава ГЭТ 219.

Измерить значения модуля КО и фазы КО. Загрузить файл (\*.s1p) с действительными значениями модуля и фазы коэффициента отражения в память программного обеспечения АЦВ и с помощью маркеров определить максимальное отклонение  $\Delta|S_{ii}|$ ,  $\Delta\Phi_{ii}$  между измеряемыми данными и данными трассы памяти в линейном масштабе по формулам:

$$\Delta|S_{ii}| = |S_{ii}|_{изм} - |S_{ii}|_{ном}$$
$$\Delta\Phi_{ii} = \Phi_{ii\text{ изм}} - \Phi_{ii\text{ ном}}$$

где  $|S_{ii}|_{ном}$  – действительное значение модуля КО нагрузки из состава ГЭТ 219;

$|S_{ii}|_{изм}$  – измеренное значение модуля КО нагрузки, после калибровки, выполненной с применением поверяемого Э9-209;

$\Phi_{ii\text{ ном}}$  – действительное значение фазы КО нагрузки из состава ГЭТ 219;

$\Phi_{ii\text{ изм}}$  – измеренное значение фазы КО нагрузки, после калибровки, выполненной с применением поверяемого Э9-209.

Задокументировать максимальные значения  $\Delta|S_{ii}|$ ,  $\Delta\Phi_{ii}$  в протоколе.

9.5.1.4 С помощью маркерной статистики измерить среднее квадратическое отклонение  $\sigma(|S_{ii}|)$  и задокументировать в протоколе.

9.5.1.5 Выполнить измерения для нагрузки с номинальным значением КСВН 2,0 и короткозамыкателя из состава Установки.

9.5.1.6 Выполнить проверку соответствия полученных значений абсолютной погрешности

измерений модуля КО нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава ГЭТ 219 доверительным границам абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля КО в диапазоне значений от 0 до 1 по формуле:

$$|\Delta S_{ii}^{\text{МАКС}}| \leq \sqrt{(t_{\Sigma} S_{\Sigma})^2 + (t_{\Sigma} S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}})^2},$$

где  $t_{\Sigma} S_{\Sigma}$  – доверительные границы абсолютной погрешности  $|\Delta S_{ii}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля КО  $|S_{ii}|$  в диапазоне значений от 0 до 1, приведенные в таблице 4;

$t_{\Sigma} S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}}$  – доверительные границы абсолютной погрешности ( $P=0,95$ ) модуля КО нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава ГЭТ 219.

Таблица 4 – Доверительные границы  $t_{\Sigma} S_{\Sigma}$  абсолютной погрешности  $|\Delta S_{ii}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля КО  $|S_{ii}|$  в диапазоне значений от 0 до 1

Сечения	Значения модуля коэффициента отражения			
	от 0 до 1	$ S_{ii} =0,03$ (КСВН 1,05)	$ S_{ii} =0,33$ (КСВН 2)	$ S_{ii} =1$ (К3)
$35,0 \times 15,0; 23,0 \times 10,0$	$\pm 0,006 \cdot [1 +  S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} )$	0,006	0,008	0,016
$16,0 \times 8,0; 11,0 \times 5,5; 7,2 \times 3,4$	$\pm 0,007 \cdot [1 +  S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} )$	0,007	0,010	0,019
$5,2 \times 2,6; 3,6 \times 1,8$	$\pm 0,008 \cdot [1 +  S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} )$	0,008	0,011	0,022
$2,4 \times 1,2; 1,6 \times 0,8$	$\pm 0,011 \cdot [1 +  S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} )$	0,011	0,015	0,030

$\sigma(|S_{ii}|)$  – среднее квадратическое отклонение измерений по п. 4.7.1 (при  $\sigma(|S_{ii}|) < 0,0005$  допускается не учитывать).

9.5.1.7 Выполнить проверку соответствия полученных значений абсолютной погрешности измерений фазы КО нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава ГЭТ 219 доверительным границам абсолютной погрешности  $\Delta \varphi(S_{ii}^{\text{МАКС}})$  измерений ( $P=0,95$ ) фазы КО по формуле:

$$|\Delta(\varphi_{ii}^{\text{МАКС}})| \leq 2 \cdot \sqrt{(t_{\Sigma} S_{\Sigma})^2 + (t_{\Sigma} S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}})^2},$$

где  $t_{\Sigma} S_{\Sigma}$  – доверительные границы абсолютной погрешности  $\Delta(\varphi_{ii})$  измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения  $|\varphi_{ii}|$ , приведенные в таблице 5;

$t_{\Sigma} S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}}$  – доверительные границы абсолютной погрешности ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава ГЭТ 219.

Таблица 5 – Доверительные границы  $t_{\Sigma} S_{\Sigma}$  абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) фазы КО  $\Delta(\varphi_{ii})$

Сечения	Значения модуля коэффициента отражения			
	от 0,03 до 1	$ S_{ii} =0,03$ (КСВН 1,05)	$ S_{ii} =0,33$ (КСВН 2,0)	$ S_{ii} =1$ (К3)
$35,0 \times 15,0; 23,0 \times 10,0$	$\pm 19^{\circ}$	$\pm 2,4^{\circ}$	$\pm 1,9^{\circ}$	
$16,0 \times 8,0; 11,0 \times 5,5; 7,2 \times 3,4$	$\pm [1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ii} / S_{ii} )]$	$\pm 22^{\circ}$	$\pm 2,6^{\circ}$	$\pm 2,1^{\circ}$
$5,2 \times 2,6; 3,6 \times 1,8$		$\pm 25^{\circ}$	$\pm 2,9^{\circ}$	$\pm 2,2^{\circ}$
$2,4 \times 1,2; 1,6 \times 0,8$		$\pm 35^{\circ}$	$\pm 3,6^{\circ}$	$\pm 2,7^{\circ}$

9.5.2 Определение доверительных границ составляющей абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т по МИ 3411-2013 проводить методом прямых измерений с помощью меры в виде отрезка прямоугольного волновода. Измерения проводить в диапазоне частот прямоугольного волновода с шагом 100 МГц, включая граничные частоты, в следующий последовательности.

9.5.2.1 Выполнить двухпортовую калибровку с использованием поверяемого Э9-209.

9.5.2.2 Подключить меру коэффициента передачи в виде отрезка волновода

соответствующего сечения из состава ГЭТ 219 между двумя портами. Провести измерения модуля коэффициента передачи  $|S_{ij}|$  в логарифмическом масштабе (дБ) при двух направлениях зондирования. С помощью маркерной статистики измерить среднее квадратическое отклонение  $\sigma(|S_{ij}|)$  и зафиксировать в рабочем журнале.

9.5.2.3 Загрузить файл (\*.s2p) с действительными значениями меры в память программного обеспечения анализатора цепей векторного и состава Установки и с помощью маркеров определить максимальное отклонение  $T^{\text{МАКС}}$  между измеряемыми данными и данными трассы памяти в логарифмическом масштабе.

9.5.2.4 Зафиксировать измеренные значения в протоколе.

9.5.2.5 Для результатов измерений выполнить проверку соответствия полученных значений трекинга передачи  $T^{\text{МАКС}}$  доверительным границам составляющей абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т по МИ 3411-2013 по формуле:

$$T^{\text{МАКС}} \leq \sqrt{(t_{\Sigma}S_{\Sigma}(T))^2 + (t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}})^2},$$

где  $t_{\Sigma}S_{\Sigma}$  – доверительные границы составляющей абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т, определяемые по формуле:

$$t_{\Sigma}S_{\Sigma}(T) = T + 2 \cdot \sigma(|S_{ij}|);$$

Т – трекинга передачи:

$\pm 0,05$  дБ для волноводных трактов с сечениями  $35,0 \times 15,0$ ;  $23,0 \times 10,0$ ;  $16,0 \times 8,0$ ;  $11,0 \times 5,5$ ;

$\pm 0,10$  дБ для волноводных трактов с сечениями  $7,2 \times 3,4$ ;  $5,2 \times 2,6$ ;  $3,6 \times 1,8$ ;  $2,4 \times 1,2$ ;  $1,6 \times 0,8$ ;

$t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}}$  – доверительные границы абсолютной погрешности ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи отрезка из состава ГЭТ 219;

$\sigma(|S_{ij}|)$  – среднее квадратическое отклонение измерений по п. 9.5.2.2 (при  $\sigma(|S_{ij}|) < 0,005$  дБ допускается не учитывать).

9.5.3 Определение доверительных границ абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ij}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи  $|S_{ij}|$  (далее – модуль КП) согласованных четырехполюсников и доверительных границ абсолютной погрешности  $\Delta\Phi_{ij}$  измерений фазы КП выполнить расчетным методом на основании результатов измерений п. 9.5.2.

9.5.3.1 Выполнить проверку соответствия полученных значений абсолютной погрешности измерений модуля коэффициента передачи  $|S_{ij}|$  отрезка из состава ГЭТ 219 доверительным границам абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ij}|$  измерений ( $P=0,95$ ) по формуле:

$$\Delta|S_{ij}^{\text{МАКС}}| \leq \sqrt{(t_{\Sigma}S_{\Sigma})^2 + (t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}})^2},$$

где  $t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}}$  – доверительные границы абсолютной погрешности ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи отрезка и аттенюатора из состава ГЭТ 219;

$t_{\Sigma}S_{\Sigma}$  – доверительные границы абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ij}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи  $|S_{ij}|$  в диапазоне значений от 0 до 1, определяемые по формуле:

$$t_{\Sigma}S_{\Sigma}(\Delta|S_{ij}|) = T + L + 2 \cdot \sigma(|S_{ij}|);$$

$\sigma(|S_{ij}|)$  – среднее квадратическое отклонение измерений по п. 9.5.2 (при  $\sigma(|S_{ij}|) < 0,005$  дБ допускается не учитывать).

9.5.3.2 Выполнить проверку соответствия полученных значений абсолютной погрешности измерений фазы коэффициента передачи отрезка и аттенюатора из состава ГЭТ 219 доверительным границам абсолютной погрешности  $\Delta(\varphi_{ij}^{\text{МАКС}})$  измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения  $\varphi_{ij}$  по формуле:

$$\Delta(\varphi_{ij}^{\text{МАКС}}) \leq \sqrt{(t_{\Sigma}S_{\Sigma})^2 + (t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}})^2},$$

где  $t_{\Sigma}S_{\Sigma}$  – доверительные границы абсолютной погрешности  $\Delta(\varphi_{ij})$  измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента передачи отрезка  $\varphi_{ij}$ , определяемые по формуле:

$$t_{\Sigma}S_{\Sigma} = [1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ii}|/|S_{ii}|)];$$

$t_{\Sigma}S_{\Sigma}^{\text{ЭТ}}$  – доверительные границы абсолютной погрешности ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента передачи отрезка из состава ГЭТ 219.

9.5.4 Результаты считать положительными, если анализаторам цепей векторным передаются следующие характеристики.

9.5.4.1 Доверительные границы абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ii}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента отражения  $|S_{ii}|$  в диапазоне значений от 0 до 1 по п. 9.5.1 нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава Установки находятся в интервале значений:

$\pm(0,006 [1+|S_{ii}|] + 2 \cdot \sigma(|S_{ii}|))$  для волноводных трактов с сечениями  $35,0 \times 15,0; 23,0 \times 10,0;$

$\pm(0,007 [1+|S_{ii}|] + 2 \cdot \sigma(|S_{ii}|))$  для волноводных трактов с сечениями  $16,0 \times 8,0; 11,0 \times 5,5;$   
 $7,2 \times 3,4;$

$\pm(0,008 [1+|S_{ii}|] + 2 \cdot \sigma(|S_{ii}|))$  для волноводных трактов с сечениями  $5,2 \times 2,6; 3,6 \times 1,8;$

$\pm(0,011 [1+|S_{ii}|] + 2 \cdot \sigma(|S_{ii}|))$  для волноводных трактов с сечениями  $2,4 \times 1,2; 1,6 \times 0,8.$

9.5.4.2 Доверительные границы абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения в диапазоне значений модуля  $|S_{ii}|$  от 0,03 до 1 по п. 9.5.1 нагрузок с номинальными значениями КСВН 1,05, 2,0 и короткозамыкателя из состава Установки находятся в интервале значений  $\pm[1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ii}|/|S_{ii}|)].$

9.5.4.3 Доверительные границы составляющей абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т по МИ 3411-2013 находится в интервале значений:

$\pm 0,05$  дБ для волноводных трактов с сечениями  $35,0 \times 15,0; 23,0 \times 10,0; 16,0 \times 8,0; 11,0 \times 5,5;$

$\pm 0,10$  дБ для волноводных трактов с сечениями  $7,2 \times 3,4; 5,2 \times 2,6; 3,6 \times 1,8; 2,4 \times 1,2; 1,6 \times 0,8.$

9.5.4.4 Доверительные границы абсолютной погрешности  $\Delta|S_{ji}|$  измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи  $|S_{ji}|$  согласованных четырехполюсников в диапазоне нормируемых значений погрешности из-за нелинейности L приемников векторных анализаторов цепей по п. 9.5.3 находится в интервале значений  $\pm(T+L+2 \cdot \sigma(|S_{ji}|)).$

9.5.4.5 Доверительные границы допускаемой абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента передачи  $|S_{ji}|$  по п. 9.5.3 отрезка волновода из состава Установки находятся в интервале значений  $\pm[0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta|S_{ji}|/8,6)].$

## 10 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ

10.1 Проверить результаты поверки на соответствие обязательным требованиям предъявляемым к средствам измерений, применяемым в качестве рабочего эталона (разряды для рабочих эталонов в государственной поверочной схеме не указаны) единиц комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в соответствии с Приказом Росстандарта №1796 от 05 августа 2024 «Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений для средств измерений комплексного коэффициента отражения и комплексного коэффициента передачи в волноводных трактах в диапазоне частот от 2,14 до 178,4 ГГц».

10.2 Результат считать положительным, если в ходе поверки получены положительные результаты по п. 9.5, которые удовлетворяют требованиям:

- доверительные границы погрешности модуля коэффициента отражения рабочих эталонов при доверительной вероятности 0,95 находятся в пределах:

$\pm 0,025$  в трактах  $35,0 \times 15,0$  мм,  $23,0 \times 10,0$  мм;

$\pm 0,030$  в трактах  $16,0 \times 8,0, 11,0 \times 5,5, 7,2 \times 3,4$  мм;

$\pm 0,041$  в трактах  $5,2 \times 2,6, 3,6 \times 1,8$  мм;

$\pm 0,060$  в трактах  $2,4 \times 1,2, 1,6 \times 0,8$  мм

- доверительные границы погрешности модуля коэффициента передачи 0 дБ рабочих эталонов при доверительной вероятности 0,95 находятся в пределах  $\pm 1,15.$

## 11 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

11.1 Э9-209 признается годным, если в ходе поверки все результаты поверки положительные.

11.2 Сведения о результатах поверки передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

11.3 При положительных результатах поверки по заявлению владельца Э9-209 или лица, предъявившего его на поверку, выдается свидетельство о поверке.

11.4 При выполнении сокращенной поверки (на основании решения или заявки на проведение поверки, эксплуатирующей организации) в свидетельстве о поверке указывать диапазон частот на котором выполнена поверка.

11.5 Э9-209, имеющий отрицательные результаты поверки, в обращение не допускается. На него выдается извещение о непригодности к применению с указанием причин забракования по установленной форме.

Начальник НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

О.В. Каминский

Начальник центра - заместитель начальника  
НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

И.П. Чирков

Начальник лаборатории 113  
НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»

В.А. Семенов

Таблица А.1 – Метрологические характеристики комплектов калибровочных мер Э9-209, определяемые при проведении поверки

Наименование характеристики	Пределы допускаемой абсолютной (относительной, приведенной) погрешности/доверительные границы абсолютной (относительной, приведенной) погрешности		
	при применении в качестве рабочего средства измерений	при применении в качестве рабочего эталона	
Сечения волноводных трактов			
Э9-209/35	35,0×15,0	35,0×15,0	
Э9-209/23	23,0×10,0	23,0×10,0	
Э9-209/16	16,0×8,0	16,0×8,0	
Э9-209/11	11,0×5,5	11,0×5,5	
Э9-209/7,2	7,2×3,4	7,2×3,4	
Э9-209/5,2	5,2×2,6	5,2×2,6	
Э9-209/3,6	3,6×1,8	3,6×1,8	
Э9-209/2,4	2,4×1,2	2,4×1,2	
Э9-209/1,6	1,6×0,8	1,6×0,8	
Диапазон рабочих частот, ГГц			
Э9-209/35	от 5,64 до 8,15	от 5,64 до 8,15	
Э9-209/23	от 8,15 до 12,05	от 8,15 до 12,05	
Э9-209/16	от 12,05 до 17,44	от 12,05 до 17,44	
Э9-209/11	от 17,44 до 25,95	от 17,44 до 25,95	
Э9-209/7,2	от 25,95 до 37,50	от 25,95 до 37,50	
Э9-209/5,2	от 37,50 до 53,57	от 37,50 до 53,57	
Э9-209/3,6	от 53,57 до 78,33	от 53,57 до 78,33	
Э9-209/2,4	от 78,33 до 118,1	от 78,33 до 118,1	
Э9-209/1,6	от 118,1 до 178,4	от 118,1 до 178,4	
Номинальные длины мер для сечений, мм	$\lambda/8$	$\lambda/4$	$3\lambda/8$
35,0×15,0	7,065	14,130	21,195
23,0×10,0	5,020	10,040	15,060
16,0×8,0	3,385	6,775	10,160
11,0×5,5	2,290	4,590	6,880
7,2×3,4	1,615	3,225	4,845
5,2×2,6	1,090	2,185	3,275
3,6×1,8	0,755	1,510	2,265
2,4×1,2	0,510	1,025	1,535
1,6×0,8	2,360	0,680	1,690
Пределы допускаемого отклонения действительного значения длины меры от номинального значения, мм	$\pm 0,03$		–
Модуль коэффициента отражения короткозамыкателя, не менее	0,97		–

Продолжение таблицы А1

Наименование характеристики	Пределы допускаемой абсолютной (относительной, приведенной) погрешности/доверительные границы абсолютной (относительной, приведенной) погрешности	
	при применении в качестве рабочего средства измерений	при применении в качестве рабочего эталона
Характеристики, передаваемые анализаторам цепей векторным:		
– доверительные границы абсолютной погрешности $\Delta S_{ii} $ измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента отражения $ S_{ii} $ в диапазоне значений от 0 до 1, для сечений, отн. ед.:		
35,0×15,0, 23,0×10,0, 16,0×8,0, 11,0×5,5, 7,2×3,4, 5,2×2,6, 3,6×1,8, 2,4×1,2, 1,6×0,8	$\pm(0,006 \cdot [1+ S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} )*)$ $\pm(0,007 \cdot [1+ S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} ))$ $\pm(0,008 \cdot [1+ S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} ))$ $\pm(0,011 \cdot [1+ S_{ii} ] + 2 \cdot \sigma( S_{ii} ))$	$\pm 0,025$ $\pm 0,030$ $\pm 0,041$ $\pm 0,060$
– доверительные границы абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента отражения в диапазоне значений модуля $ S_{ii} $ от 0,03 до 1, градус	$\pm[1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ii} / S_{ii} )]$	$\pm(3,5 \div 14,0)$
– доверительные границы составляющей абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи из-за трекинга передачи Т по МИ 3411-2013, для сечений, дБ:		
35,0×15,0, 23,0×10,0, 16,0×8,0, 11,0×5,5, 7,2×3,4, 5,2×2,6, 3,6×1,8, 2,4×1,2, 1,6×0,8	$\pm 0,05$ $\pm 0,10$	– –
– доверительные границы абсолютной погрешности $\Delta S_{ji} $ измерений ( $P=0,95$ ) модуля коэффициента передачи $ S_{ji} $ согласованных четырехполюсников в диапазоне нормируемых значений погрешности из-за нелинейности $L$ приемников векторных анализаторов цепей, дБ	$\pm(T+L+2 \cdot \sigma( S_{ji} )**)$	$\pm 1,15$
– доверительные границы допускаемой абсолютной погрешности измерений ( $P=0,95$ ) фазы коэффициента передачи $ S_{ji} $ , градус	$\pm[0,5 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ji} /8,6)]$	$\pm(0,6 \div 7,7)$
$\sigma( S_{ii} )*$ – среднее квадратическое отклонение случайной погрешности измерений $ S_{ii} $ . $\sigma( S_{ji} )**$ – среднее квадратическое отклонение случайной погрешности измерений $ S_{ji} $ .		

При применении в качестве рабочего эталона Э9-209 в протоколе поверки приводятся действительные значения метрологических характеристик входящих в состав мер с указанием доверительных границ погрешности. В приложении к протоколу допускается формировать файлы форматов .s1р и .s2р.