

СОГЛАСОВАНО

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



_____ А.Н. Щипунов

_____ 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/XX-2 и Э9-209/XX-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 ± 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 35,0×15,0; 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 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			Δl , 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	±0,03
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	
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. Δl – 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 .slp, 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 .slp. 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 (*.slp) 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:

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

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

$|S_{ii}|_{\text{изм}}$ – 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.

Зафиксировать 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 зафиксировать 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$ (КЗ)
35,0×15,0; 23,0×10,0	$\pm 0,006 \cdot [1+ S_{ii}] + 2 \cdot \sigma(S_{ii})$	0,006	0,008	0,016
16,0×8,0; 11,0×5,5; 7,2×3,4	$\pm 0,007 \cdot [1+ S_{ii}] + 2 \cdot \sigma(S_{ii})$	0,007	0,010	0,019
5,2×2,6; 3,6×1,8	$\pm 0,008 \cdot [1+ S_{ii}] + 2 \cdot \sigma(S_{ii})$	0,008	0,011	0,022
2,4×1,2; 1,6×0,8	$\pm 0,011 \cdot [1+ S_{ii}] + 2 \cdot \sigma(S_{ii})$	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$ (КЗ)
35,0×15,0; 23,0×10,0	$\pm [1,0 + (180/\pi) \cdot \arcsin(\Delta S_{ii} / S_{ii})]$	$\pm 19^\circ$	$\pm 2,4^\circ$	$\pm 1,9^\circ$
16,0×8,0; 11,0×5,5; 7,2×3,4		$\pm 22^\circ$	$\pm 2,6^\circ$	$\pm 2,1^\circ$
5,2×2,6; 3,6×1,8		$\pm 25^\circ$	$\pm 2,9^\circ$	$\pm 2,2^\circ$
2,4×1,2; 1,6×0,8		$\pm 35^\circ$	$\pm 3,6^\circ$	$\pm 2,7^\circ$

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 следующей 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 T 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 T , определяемые по формуле:

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

T – 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 $\Delta|S_{ji}|$ измерений ($P=0,95$) модуля коэффициента передачи $|S_{ji}|$ (далее – модуль КП) согласованных четырехполосников и доверительных границ абсолютной погрешности $\Delta\varphi_{ij}$ 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 φ_{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 φ_{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 35,0×15,0; 23,0×10,0;
 $\pm(0,007 [1+|S_{ii}|]+2 \cdot \sigma(|S_{ii}|))$ для волноводных трактов с сечениями 16,0×8,0; 11,0×5,5;
 7,2×3,4;

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

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

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 35,0×15,0; 23,0×10,0; 16,0×8,0; 11,0×5,5;

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

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 находятся 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 35,0×15,0 мм, 23,0×10,0 мм;

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

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

$\pm 0,060$ в трактах 2,4×1,2, 1,6×0,8 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»

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

Начальник лаборатории 113
НИО-1 ФГУП «ВНИИФТРИ»



О.В. Каминский

И.П. Чирков

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

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 .slp и .s2p.