

УТВЕРЖДЕНА
приказом Федерального агентства
по техническому регулированию
и метрологии
от «07» ноября 2022 г. № 2801

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА ДЛЯ СРЕДСТВ
ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ
ШУМОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ
ОТ 0,002 ДО 178,3 ГГц**

1. Область применения

1.1. Настоящая государственная поверочная схема распространяется на средства измерений спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения (далее – СПМШ) в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц и устанавливает порядок передачи единицы СПМШ – Вт/Гц от государственного первичного эталона при помощи вторичных и рабочих эталонов 1-го и 2-го разрядов средствам измерений с указанием погрешностей и основных методов передачи единицы (поверки и калибровки).

Графическая часть государственной поверочной схемы для средств измерений спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц представлена в приложении А.

2. Сокращения и обозначения

ВЭТ – вторичный эталон

ГПЭ – государственный первичный эталон

ГШ ВТ – высокотемпературный генератор шума

ГШ НТ – низкотемпературный генератор шума

КВ – коаксиальный волновод

КСВН – коэффициент стоячей волны по напряжению

НСП – неисключенная систематическая погрешность

ПВ – прямоугольный волновод

СКО – среднеквадратическое отклонение

СПМШ – спектральная плотность мощности шумового радиоизлучения

3. Эталоны

3.1. Первичный эталон

3.1.1. Первичный эталон состоит из комплекса следующих технических средств, вспомогательных устройств и специальных инженерных сооружений:

1) Тепловые низкотемпературные генераторы шума в волноводных трактах сечений 23×10 , 16×8 , $11 \times 5,5$, $7,2 \times 3,4$, $5,2 \times 2,6$, $3,6 \times 1,8$, $2,4 \times 1,2$, $1,6 \times 0,8$ мм и в коаксиальных трактах 7/3,04 мм, 3,5/1,52 мм.

2) Компарировующие установки в волноводных трактах: ЭУ 12,05 – 17,44 ГГц, ЭУ 17,44 – 25,95 ГГц, ЭУ 25,95 – 37,5 ГГц, ЭУ 37,5 – 53,57 ГГц, ЭУ 53,57 – 78,33 ГГц, ЭУ 78,33 – 118,1 ГГц, ЭУ 118,1 – 178,3 ГГц и в коаксиальных трактах: ЭУ 0,002 – 0,2 ГГц, ЭУ 0,2 – 1,0 ГГц, ЭУ 1,0 – 12,1 ГГц, ЭУ 1 – 26,5 ГГц.

3) Вспомогательные средства измерений и оборудование, необходимые для контроля стабильности эталона и при передаче единицы, перечисленные в приложении к паспорту первичного эталона.

3.1.2. Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение номинальной избыточной спектральной плотности мощности шумового радиоизлучения от $1,07 \cdot 10^{-21}$ до $2,12 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц, что соответствует воспроизведению единицы

эквивалентной шумовой температуры в диапазоне значений от 77,4 до 153,5 К. Диапазон значений эквивалентной шумовой температуры в диапазоне частот от 0,002 до 178,3 ГГц, в котором воспроизводится шкала единицы, составляет от 77,4 до 20000 К.

3.1.3. Государственный первичный эталон воспроизводит единицу и шкалу единицы эквивалентной шумовой температуры со средним квадратическим отклонением (СКО) результата измерений при 5 независимых наблюдениях и неисключенной систематической погрешностью (НСП) приведенными в таблице 1:

Таблица 1

Метрологические характеристики ГПЭ

Диапазон частот, ГГц	СКО, К	НСП воспроизведения единицы, К	НСП воспроизведения шкалы в диапазоне значений	
			от 77,4 до 153,5 К, К	от 153,5 до 20000 К, %
0,002 – 12,05	0,04	0,2-0,3	0,3-0,4	0,5-0,7
1,00 – 26,50	0,10	0,1-0,3	0,2-0,7	0,3-0,7
12,05 – 37,50	0,06	0,3	0,5	0,8
37,50 – 53,57	0,6	0,6	1,4	1,5
53,57 – 78,33	0,5	0,7	2,0	1,9
78,33 – 118,10	0,7	1,0	2,0-3,0	1,8
118,1 – 178,3	0,7	1,0	3,0-4,0	2,2

3.1.4. Неопределенность измерений при воспроизведении единицы: стандартная неопределенность, оцененная по типу А от 0,04 до 0,7 К; стандартная неопределенность, оцененная по типу В от 0,1 до 1,3 К; расширенная неопределенность от 0,21 до 2,95 К при коэффициенте охвата $k = 2$.

3.1.5. Государственный первичный эталон применяют для передачи единицы СПМШ вторичным эталонам, рабочим эталонам 1-го и 2-го разрядов методом прямых измерений.

3.2. Вторичные эталоны

3.2.1. К вторичным эталонам относятся эталоны-копии и эталоны сравнения. Эталоны-копии применяют для передачи размера единицы СПМШ в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц рабочим эталонам 1-го разряда методом сравнения при помощи компараторов. В качестве эталонов-копий применяют генераторы шума низкотемпературные (далее — ГШ НТ) с характеристиками точности при передаче размера единицы, указанными в таблице 2, где S_{Σ} , К, — суммарное СКО (u_c — суммарная стандартная неопределенность) результатов измерений, обусловленное влиянием случайных погрешностей и НСП первичного эталона.

3.2.2. Эталоны сравнения предназначены для международных сличений национальных эталонов. В качестве эталонов сравнения применяют генераторы шума высокотемпературные (далее — ГШ ВТ) с метрологическими характеристиками, указанными в таблице 3, где $U_0(0,95)$, %, — расширенная неопределенность при сличениях.

Таблица 2

Метрологические характеристики ГШ НТ: эталоны-копии

Диапазон частот, ГГц	Линия передачи		Эквивалентная шумовая температура, К	КСВН, не более	Характеристики точности S_{Σ} (u_c), К
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	7/3,04	77 – 82	1,1	0,5
1,0 – 18,0		3,5/1,52; 7/3,04	78 – 90	1,2	0,2 ÷ 0,5
18,0 – 26,5		3,5/1,52	85 – 90	1,3	0,6
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	80 – 86	1,2	0,5 ÷ 0,7

Таблица 3

Метрологические характеристики ГШ ВТ: эталоны сравнения

Диапазон частот, ГГц	Линия передачи		Избыточная СПМШ, отн.ед.	КСВН, не более	Характеристики точности U_0 , %
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	7/3,04	3 – 70	1,2	0,8 ÷ 1,6
1,0 – 18,0		3,5/1,52; 7/3,04		1,3	0,7 ÷ 1,6
18,0 – 26,5		3,5/1,52; 7/3,04		1,3	1,5
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	50 – 70	1,2 – 1,3	1,4 ÷ 1,8

3.2.3. Передача размера единицы СПМШ осуществляется с помощью применяемых компараторов (радиометрических приемников) с погрешностью передачи единицы $S_{\Sigma} = 0,12 \div 0,9$ К.

3.2.4. Соотношение пределов допускаемых погрешностей государственного первичного эталона (ГПЭ) и вторичных эталонов (ВЭТ) должны быть не более 1/2.

4. Рабочие эталоны 1-го разряда

4.1. В качестве рабочих эталонов 1-го разряда применяют ГШ НТ и ГШ ВТ. Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда и рабочих средств измерений повышенной точности в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц; рабочих средств измерений в диапазоне частот выше 37,5 ГГц.

4.2. Передача размера единицы СПМШ осуществляется с помощью применяемых компараторов (радиометрических приемников) ГШ ВТ с погрешностью передачи единицы $S_{\Sigma} = 0,5 \div 1,1$ % в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц и $S_{\Sigma} = 2,6 \div 4,8$ % в диапазоне частот от 37,5 до 178,3 ГГц; ГШ НТ с погрешностью передачи единицы $S_{\Sigma} = 0,15 \div 1,0$ К в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц и $S_{\Sigma} = 4 \div 5$ К в диапазоне частот от 37,5 до 178,3 ГГц.

4.3. Соотношение пределов допускаемых погрешностей ГПЭ и рабочих эталонов 1-го разряда должно быть не более 1/3.

4.4. Характеристики точности рабочих эталонов 1-го разряда, ГШ НТ, указаны в таблице 4, где S_{Σ} , К, – суммарное СКО (u_c – суммарная стандартная неопределенность) результатов измерений, обусловленное влиянием случайных погрешностей и НСП эталонов-копий.

Таблица 4

Метрологические характеристики ГШ НТ: рабочие эталоны 1-го разряда

Диапазон частот, ГГц	Линия передачи		Эквивалентная шумовая температура, К	КСВН, не более	Характеристики точности S_{Σ} (u_c), К
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	3,5/1,52; 7/3,04	77 – 82	1,1	0,3
1,0 – 18,0		3,5/1,52; 7/3,04	78 – 90	1,2	0,3 ÷ 0,4
18,0 – 26,5		3,5/1,52	85 – 90	1,3	0,7
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	80 – 86	1,2	0,5 ÷ 0,6
37,5 – 78,33		5,2 × 2,6; 3,6 × 1,8	86 – 100	1,3	1,2 ÷ 2
78,33 – 178,3		2,4 × 1,2; 1,6 × 0,8	90 – 160	1,3	2 ÷ 4

4.5. Характеристики точности рабочих эталонов 1-го разряда, ГШ ВТ, указаны в таблице 5, где $S_{\Sigma 0}$, %, – суммарное СКО (u_{c0} – суммарная стандартная неопределенность) результатов измерений, обусловленное влиянием случайных погрешностей и НСП: эталонов-копий в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц; первичного эталона в диапазоне частот выше 37,5 ГГц.

Таблица 5

Метрологические характеристики ГШ ВТ: рабочие эталоны 1-го разряда

Диапазон частот, ГГц	Линия передачи		Избыточная СПМШ, отн.ед.	КСВН, не более	Характеристики точности $S_{\Sigma 0}$ (u_{c0}), %
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	7/3,04	3 – 70	1,2	0,5
1,0 – 18,0		3,5/1,52; 7/3,04		1,3	0,4 ÷ 0,7
18,0 – 26,5		3,5/1,52		1,3	0,8
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	50 – 70	1,2 – 1,3	0,7 ÷ 0,8
37,5 – 78,33	ПВ	5,2 × 2,6; 3,6 × 1,8	40 – 64	1,4	4,0 ÷ 7,0
78,33 – 178,3		2,4 × 1,2; 1,6 × 0,8	10 – 40	1,5	5,0 ÷ 8,0

5. Рабочие эталоны 2-го разряда

5.1. В качестве рабочих эталонов 2-го разряда применяют ГШ ВТ (полупроводниковые и газоразрядные) и ГШ НТ с метрологическими характеристиками, указанными в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Метрологические характеристики ГШ НТ: рабочие эталоны 2-го разряда

Диапазон частот, ГГц	Линии передачи		Эквивалентная шумовая температура, К	КСВН, не более	Пределы допускаемых абсолютных погрешностей Δ , К
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	3,5/1,52;	78 – 82	1,2	2,0 – 3,0
1,0 – 18,0		7/3,04	78 – 90	1,2 – 1,3	1,0 ÷ 2,0
18,0 – 26,5		3,5/1,52	80 – 90	1,2 – 1,3	2,0 – 3,0
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	78 – 86	1,2	1,0 – 3,0

Таблица 7

Метрологические характеристики ГШ ВТ: рабочие эталоны 2-го разряда

Диапазон частот, ГГц	Линии передачи		Избыточная СПМШ, отн. ед.	КСВН, не более	Пределы допускаемых относительных погрешностей Δ_0 , %
	Тип	Сечение, мм			
0,002 – 1,0	КВ	3,5/1,52;	3 – 70	1,2	1,0 – 2,0
1,0 – 18,0		7/3,04		1,3	1 ÷ 2
18,0 – 26,5		3,5/1,52		1,3	3,0
12,05 – 37,5	ПВ	16×8; 11×5,5; 7,2×3,4	50 – 70	1,2	2,0 ÷ 3,0

5.2. Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки средств измерений сравнением при помощи компаратора (радиометрического приемника) с погрешностью передачи единицы $S_{\xi\Sigma} = 0,5 \div 5,0$ % для ГШ ВТ и $S_{\xi\Sigma} = 0,2 \div 2,5$ К для ГШ НТ.

5.3. Соотношения пределов допускаемых погрешностей ГПЭ и рабочих эталонов 2-го разряда должны быть не более 1/3.

6. Средства измерений

6.1. В качестве средств измерений применяют ГШ НТ и ГШ ВТ.

6.2. Передача размера единицы СПМШ осуществляется с помощью применяемых компараторов (радиометрических приемников) с погрешностью передачи единицы $S_{\xi\Sigma} = 0,5 \div 5,0$ % для высокотемпературных генераторов шума и $S_{\xi\Sigma} = 0,2 \div 2,5$ К для низкотемпературных генераторов шума в диапазоне частот 0,002 – 37,5 ГГц. В диапазоне частот от 37,5 до 178,3 ГГц для ГШ ВТ $S_{\xi\Sigma} = 2,6 \div 4,8$ % и $S_{\xi\Sigma} = 4 \div 5$ К для ГШ НТ.

6.3. Соотношения пределов допускаемых погрешностей рабочих эталонов 1-го разряда и поверяемых по ним средств измерений должны быть не более 1/3.

6.4. Соотношения пределов допускаемых погрешностей рабочих эталонов 2-го разряда и поверяемых по ним средств измерений должны быть не более 1/3.

6.5. Метрологические характеристики средств измерений приведены в таблице 8.

Таблица 8

Метрологические характеристики средств измерений

Диапазон частот, ГГц	Линии передачи		Пределы допускаемых погрешностей при поверке			
	Тип	Сечение, мм	по рабочим эталонам 1-го разряда		по рабочим эталонам 2-го разряда	
			ГШ НТ Δ , К	ГШ ВТ Δ_0 , %	ГШ НТ Δ , К	ГШ ВТ Δ_0 , %
0,002 – 1,0	КВ	7/3,04; 3,5/1,52; 2,4/1,04 16/6,95 ¹⁾ ; 16/4,6 ¹⁾	4 – 5	3 – 5	6 – 20	5 – 20
1,0 – 2,0		7/3,04; 3,5/1,52; 2,4/1,04 16/6,95 ¹⁾ ; 16/4,6 ¹⁾	2	2 – 3	4 – 20	4 – 20
2,0 – 4,0		7/3,04; 3,5/1,52; 16/6,95 ¹⁾	2	2 – 3	4 – 20	3 – 20
4,0 – 8,15		7/3,04; 3,5/1,52, 2,4/1,04	2	2 – 4	4 – 20	4 – 20
8,15 – 12,42		7/3,04; 3,5/1,52, 2,4/1,04	2 – 3	2 – 4	4 – 20	4 – 20
12,05 – 18,0		7/3,04; 3,5/1,52, 2,4/1,04	2 – 4	2 – 4	4 – 20	4 – 20
18,0 – 26,5		3,5/1,52, 2,4/1,04	3 – 5	3 – 5	5 – 20	5 – 20
26,5 – 50,0		2,4/1,04	3 – 5	3 – 5	5 – 20	5 – 20
12,05 – 17,44	ПВ	16 × 8	3	3 – 5	5 – 20	6 – 20
17,44 – 37,5		11 × 5,5; 7,2 × 3,4	3 – 5	4 – 6	5 – 20	6 – 20
37,5 – 78,33		5,2 × 2,6; 3,6 × 1,8	8 – 20	7 – 20	-	-
78,33 – 178,3		2,4 × 1,2; 1,6 × 0,8	10 – 20	8 – 20	-	-

¹⁾ Сечение применяют только для ГШ ВТ