

УТВЕРЖДЕНА
приказом Федерального агентства
по техническому регулированию
и метрологии
от «21» июля 2023 г. № 1489

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА
ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 0,1 ДО 178,4 ГГц**

1. Область применения

1.1. Государственная поверочная схема для средств измерений комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,1 до 178,4 ГГц (далее – ГПС) распространяется на средства измерений комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,1 до 178,4 ГГц и устанавливает назначение государственного первичного эталона единиц комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,1 до 178,4 ГГц (далее – ГПЭ), комплекс технических средств, входящих в его состав, основные метрологические характеристики и порядок передачи единиц комплексной диэлектрической проницаемости от ГПЭ с помощью рабочих эталонов средствам измерений с указанием погрешностей, неопределенностей и методов передачи.

1.2. Графическая часть ГПС представлена в приложении А к ГПС.

2. Государственный первичный эталон

2.1. ГПЭ предназначен для воспроизведения и хранения единиц комплексной диэлектрической проницаемости (относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь) и передачи их с помощью рабочих эталонов методом прямых измерений средствами измерений, применяемым с целью обеспечения единства измерений диэлектрических параметров материалов.

2.2. ГПЭ состоит из комплекса следующих технических средств:

2.2.1 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 0,1 до 4 ГГц, включающая в себя измеритель модуля коэффициента передачи и отражения, векторный анализатор цепей и набор измерительных резонаторов;

2.2.2 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц, включающая в себя анализатор цепей скалярный и набор измерительных резонаторов;

2.2.3 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 18 до 40 ГГц, включающая в себя анализатор цепей скалярный и набор измерительных резонаторов;

2.2.4 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 37,5 до 53,57 ГГц, включающая в себя измеритель модуля коэффициента передачи и отражения, элементы СВЧ тракта, умножитель частоты и набор измерительных резонаторов;

2.2.5 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 53,57 до 78,33 ГГц, включающая

в себя измеритель модуля коэффициента передачи и отражения, элементы СВЧ тракта, умножитель частоты и набор измерительных резонаторов;

2.2.6 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 78,33 до 118,1 ГГц, включающая в себя измеритель модуля коэффициента передачи и отражения, элементы СВЧ тракта, поляризационный аттенюатор, умножитель частоты и открытый двухзеркальный резонатор;

2.2.7 эталонная установка для воспроизведения, хранения и передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 118,1 до 178,4 ГГц, включающая в себя измеритель модуля коэффициента передачи и отражения, элементы СВЧ тракта, поляризационный аттенюатор, умножитель частоты и открытый двухзеркальный резонатор;

2.2.8 комплект оборудования для воспроизведения единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температур от 77 до 373 К;

2.2.9 эталонные меры относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, являющиеся возобновляемой частью эталона;

2.2.10 средства измерений линейных размеров.

2.3. Диапазон значений относительной диэлектрической проницаемости ε , воспроизводимых ГПЭ в дискретных точках диапазона, составляет:

- 1) от 1,2 до 20 в диапазоне частот от 0,1 до 4 ГГц;
- 2) от 1,2 до 500 в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц;
- 3) от 1,2 до 130 в диапазоне частот от 18 до 78,33 ГГц;
- 4) от 1,2 до 40 в диапазоне частот от 78,33 до 178,4 ГГц.

2.4. Диапазон значений тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$, воспроизводимых ГПЭ в дискретных точках диапазона, составляет:

- 1) от $5 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ в диапазоне частот от 0,1 до 1 ГГц;
- 2) от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-1}$ в диапазоне частот от 1 до 18 ГГц;
- 3) от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ в диапазоне частот от 18 до 78,33 ГГц;
- 4) от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$ в диапазоне частот от 78,33 до 178,4 ГГц.

2.5. ГПЭ обеспечивает воспроизведение и передачу единицы относительной диэлектрической проницаемости ε в зависимости от номинального значения единицы и частоты:

- 1) со средним квадратическим отклонением результата измерений S_0 (при одиннадцати независимых измерениях) от $5 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-3}$;
- 2) неисключенной систематической погрешностью Θ_0 (при доверительной вероятности $P=0,99$) от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$;
- 3) стандартной неопределённостью, оцениваемой по типу А, U_{A0} (при одиннадцати независимых измерениях) от $5 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^{-3}$;
- 4) стандартной неопределённостью, оцениваемой по типу В, U_{B0} от $4 \cdot 10^{-5}$ до $4 \cdot 10^{-3}$.

2.6. ГПЭ обеспечивает воспроизведение и передачу единицы тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ в зависимости от номинального значения единицы и диапазона частот:

- 1) со средним квадратическим отклонением результата измерений S_0 (при одиннадцати независимых измерениях) от $1 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{-2}$;
- 2) неисключенной систематической погрешностью Θ_0 (при доверительной вероятности $P=0,99$) от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^{-1}$;
- 3) относительной стандартной неопределённостью, оцениваемой по типу А, U_{A0} (при одиннадцати независимых измерениях) от $1 \cdot 10^{-2}$ до $5 \cdot 10^{-2}$;
- 4) относительной стандартной неопределённостью, оцениваемой по типу В, U_{B0} от $4 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-1}$.

2.7. Для обеспечения воспроизведения единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с указанной точностью должны быть соблюдены правила содержания и применения ГПЭ, утвержденные в установленном порядке руководителем государственного научного метрологического института, содержащего и применяющего ГПЭ.

2.8. ГПЭ применяют для передачи единиц относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь рабочим эталонам 1-го разряда методом прямых измерений.

Соотношение доверительных границ относительных погрешностей должно быть не более 1/1,3 по относительной диэлектрической проницаемости и не более 1/1 по тангенсу угла диэлектрических потерь.

3. Рабочие эталоны

3.1. Рабочие эталоны 1-го разряда

3.1.1. В качестве рабочих эталонов 1-го разряда используют:

- 1) меры (стандартные образцы) комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,1 до 18 ГГц со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 1,2 до 500 и тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-1}$;
- 2) меры (стандартные образцы) комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 18 до 78,33 ГГц со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 1,2 до 130 и тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-3}$;
- 3) меры (стандартные образцы) комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 78,33 до 178,4 ГГц со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 1,2 до 40 и тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$;
- 4) рабочие эталоны комплексной диэлектрической проницаемости тонколистовых материалов в диапазоне частот от 4 до 18 ГГц со значениями

относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 20 и тангенса угла диэлектрических потерь от $3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-2}$;

5) рабочие эталоны комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 4 до 18 ГГц при температурах от 77 до 673 К со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 100 и тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-2}$.

3.1.2. Относительная доверительная погрешность δ_0 рабочих эталонов 1-го разряда (при доверительной вероятности 0,95) составляет:

1) мер (стандартных образцов) комплексной диэлектрической проницаемости от 0,2 % до 2,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 5 % до 30 % для тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 0,1 до 18 ГГц;

2) мер (стандартных образцов) комплексной диэлектрической проницаемости от 0,2 % до 2,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 5 % до 30 % для тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 18 до 78,33 ГГц;

3) мер (стандартных образцов) комплексной диэлектрической проницаемости от 0,2 % до 2,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 5 % до 40 % для тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 78,33 до 178,4 ГГц;

4) рабочих эталонов комплексной диэлектрической проницаемости тонколистовых материалов от 0,3 % до 2,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 5 % до 30 % для тангенса угла диэлектрических потерь;

5) рабочих эталонов комплексной диэлектрической проницаемости в интервале температур от 77 до 673 К от 0,2 % до 3,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 5 % до 30 % для тангенса угла диэлектрических потерь.

3.1.3. Рабочие эталоны 1-го разряда применяют для поверки рабочих эталонов 2-го разряда и средств измерений методом прямых измерений.

3.1.4. Соотношение доверительных границ относительных погрешностей рабочих эталонов 1-го и 2-го разряда должно быть не более 1/1,6 по относительной диэлектрической проницаемости и тангенсу угла диэлектрических потерь. Соотношение доверительных границ относительных погрешностей рабочих эталонов 1-го и пределов допускаемой относительной погрешности средств измерений должно быть не более 1/2,5 по относительной диэлектрической проницаемости и не более 1/1,5 по тангенсу угла диэлектрических потерь.

3.2. Рабочие эталоны 2-го разряда

3.2.1. В качестве рабочих эталонов 2-го разряда используют:

1) меры (стандартные образцы) комплексной диэлектрической проницаемости тонколистовых материалов в диапазоне частот от 4 до 18 ГГц со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 20 и тангенса угла диэлектрических потерь от $3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-2}$;

2) меры (стандартные образцы) комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 4 до 18 ГГц при температурах от 77 до 673 К со значениями относительной диэлектрической проницаемости от 2 до 100 и тангенса угла диэлектрических потерь от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-2}$.

3.2.2. Относительная доверительная погрешность δ_0 рабочих эталонов 2-го разряда (при доверительной вероятности 0,95) составляет:

1) мер (стандартных образцов) комплексной диэлектрической проницаемости тонколистовых материалов от 0,5 % до 5,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 7 % до 50 % для тангенса угла диэлектрических потерь;

2) мер (стандартных образцов) комплексной диэлектрической проницаемости в интервале температур от 77 до 673 К от 0,5 % до 5,0 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 7 % до 50 % для тангенса угла диэлектрических потерь.

3.2.3. Рабочие эталоны 2-го разряда применяют для поверки средств измерений методом прямых измерений.

3.2.4. Соотношение доверительных границ относительных погрешностей рабочих эталонов 2-го разряда и пределов допускаемой относительной погрешности средств измерений должно быть не более $1/3$ по относительной диэлектрической проницаемости и не более $1/2$ по тангенсу угла диэлектрических потерь.

4. Средства измерений

4.1. В качестве средств измерений в диапазоне частот от 0,1 до 178,4 ГГц используют измерители и установки для измерения диэлектрических параметров материалов, установки для измерений диэлектрических параметров материалов в интервале температур от 77 до 673 К.

4.2. Пределы допускаемой относительной погрешности средств измерений Δ_0 составляют от 0,5 % до 15 % для относительной диэлектрической проницаемости и от 10 % до 100 % для тангенса угла диэлектрических потерь.

Приложение А
(обязательное)

Государственная поверочная схема для средств измерений комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 0,1 до 178,4 ГГц

