ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТАНГЕНС УГЛА ПОТЕРЬ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ 10^3—10^{10} Гц

ГОСТ 8.544—86

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН Государственным комитетом СССР по стандартам

ИСПОЛНИТЕЛИ

В. А. Валенкевич (руководитель темы); **С. К. Артамонова; Т. В. Отрошок**

ВНЕСЕН Государственным комитетом СССР по стандартам

Член Госстандарта **Л. К. Исаев**

УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1986 г. № 845

УДК 389.14(083.96):006.354 Группа Т86.8

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

Государственная система обеспечения единства измерений

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТАНГЕНС УГЛА ПОТЕРЬ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Методика выполнения измерений в диапазоне частот 10^9—10^{10} Гц

State system for ensuring the uniformity of measurements Relative dielectric permittivity and the loss tangent of solid dielectrics Procedure of measure — ments from 10^9 to 10^{10} Hz

ОКСТУ 0008

ГОСТ 8.544—86

Взамен ГОСТ 12723—67, МИ 367—83

Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1986 г. № 845 срок введения установлен

с 01.01.87

Настоящий стандарт устанавливает методики выполнения измерений относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ твердых диэлектриков:

с относительной диэлектрической проницаемостью ε от 1,5 до 200 и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ от $1\cdot10^{-4}$ до $1\cdot10^{-2}$ в диапазоне частот $9\cdot10^9$ — 10^{10} Гц при использовании метода «вариации длины резонатора»;

с относительной диэлектрической проницаемостью ε от 2 до 40 и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ от $5\cdot10^{-5}$ до $1\cdot10^{-3}$ в диапазоне частот 10^9 — 10^{10} Гц при использовании метода «вариации частоты и типов колебаний».

Относительные погрешности измерения при доверительной вероятности 0,99 не должны превышать:

при использовании метода «вариации длины резонатора»;

±1 % для ε от 1,5 до 5;

±2 % для ε от 5 до 20;

±3 % для ε более 20;

$$\pm\left(15+\frac{2\cdot10^{-3}}{\operatorname{tg}\delta}\right)\% \text{ — для } \operatorname{tg}\delta;$$

произведение $\varepsilon\cdot\operatorname{tg}\delta$ — не более 0,2;

при использовании метода «вариации частоты и типов колебаний»: $\pm0{,}3\sqrt{\varepsilon}\,\%$ — для ε;

$$\pm\left(20+\frac{10^{-3}}{\operatorname{tg}\delta}\right)\% \text{ — для } \operatorname{tg}\delta.$$

Издание официальное ★ Перепечатка воспрещена

© Издательство стандартов, 1986

1. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

1.1. При выполнении измерений должны быть применены следующие средства измерений:

генераторы СВЧ типов Г4—78, Г4—79, Г4—80, Г4—81, Г4—82, Г4—83, с диапазоном частот от 1,1 до 10,5 ГГц и нестабильностью частоты выходного сигнала за любые 15 мин работы, не превышающей $3 \cdot 10^{-4}$;

частотомер электронно-счетный типа Ч3—54 с преобразователем Я3Ч-57 с диапазоном измеряемых частот 0,7—12 ГГц и относительной погрешностью измерения частоты синусоидальных сигналов, не превышающей $\pm 5 \cdot 10^{-7}$;

аттенюатор волноводный поляризационный типа Д3—33А с погрешностью измерения, не превышающей ±0,1 дБ;

детекторная головка типа Э7—6, КСВН не более 1,5;

ферритовые вентили типа Э6—44, КСВН не более 1,5;

микроамперметр типа М95 по ГОСТ 8711—60, класса точности 1,5;

анализатор спектра типа СЧ-27 с диапазоном частот 0,01—39,6 ГГц;

измерительные ячейки;

типа ОР-2М (справочное приложение 1);

типов ИЯМТ-1К, ИЯМТ-2К (справочное приложение 2);

прижимное устройство (справочное приложение 3).

Примечание. Допускается применять средства измерений, точность которых не менее указанной в стандарте.

2. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Измерения относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ образцов, имеющих форму диска, следует выполнять методом «вариации длины резонатора» или методом «вариации частоты и типов колебаний».

2.2. Метод «вариации длины резонатора»

2.2.1. Метод определения относительной диэлектрической проницаемости ε основан на измерении разности резонансных длин резонатора до и после помещения в резонатор образца диэлектрика при фиксированной частоте измерения. Для измерений должен быть применен круглый цилиндрический резонатор, в котором возбуждается магнитный тип колебаний H_{01p}, где p — число полуволн, укладывающихся по длине резонатора, и оно может меняться от 2 до 5.

2.2.2. Метод определения тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ основан на измерении изменения интенсивности сигнала, проходящего через резонатор, при помещении в него образца диэлектрика.

2.3. Метод «вариации частоты и типов колебаний»

2.3.1. Метод измерения относительной диэлектрической проницаемости ε основан на сравнении спектра резонансных частот резонатора до и после помещения образца диэлектрика. Для измерений должен быть применен цилиндрический резонатор, в котором возбуждается электрический тип колебаний E_{mn0}, где индексы m и n определяют азимутальное и радиальное распределение полей.

2.3.2. Метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ основан на сравнении нагруженных добротностей пустого резонатора и резонатора с образцом диэлектрика.

3. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ должны быть соблюдены следующие требования безопасности:

к измерениям допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электро- и СВЧ-радиоизмерительными приборами;

корпуса всех приборов, используемых при измерениях, должны быть заземлены;

в помещении, где проводят измерения, не должно быть газов и паров веществ, вызывающих коррозию металлических деталей;

отсоединять шины заземления, подключать или отключать межблочные и соединительные кабели следует только при выключенных приборах.

4. УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. При выполнении измерений должны быть соблюдены следующие условия:

температура окружающей среды, °С	10—35
относительная влажность воздуха, %	80
атмосферное давление, кПа (мм рт. ст)	84—106,7 (630—800).

Изменение температуры в помещении за время измерений не должно превышать ± 2 °С.

5. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. При подготовке к выполнению измерений методом «вариации длины резонатора» должны быть проведены следующие работы:

собирают измерительную установку по схеме, приведенной на черт. 1;

все приборы, входящие в состав установки, подготавливают к работе в соответствии с технической документацией (далее — ТД) на них;

образцы твердых диэлектриков подготавливают к измерениям в соответствии с обязательным приложением 4;

генератор СВЧ настраивают на выбранную частоту диапазона, контроль частоты осуществляют по частотомеру;

измеряют постоянную связи χ резонатора, входящего в состав измерительной ячейки ОР-2М;

поршень опускают вниз до упора и, плавно перемещая его вверх настраивают резонатор в резонанс, по лимбу микрометрической головки поршня с погрешностью $\pm 0{,}1$ мм измеряют резонансную длину резонатора l_1 и снимают показания миллиамперметра (индикатора выходного уровня) α_1;

затем от точки первого резонанса поршень перемещают дальше вверх до получения второго резонанса и измеряют l_2 и α_2;

вычисляют постоянную связи резонатора χ

$$\chi = \frac{M}{\sqrt{\frac{\alpha_1}{\alpha_2} - 1}} - 2(M+1), \qquad (1)$$

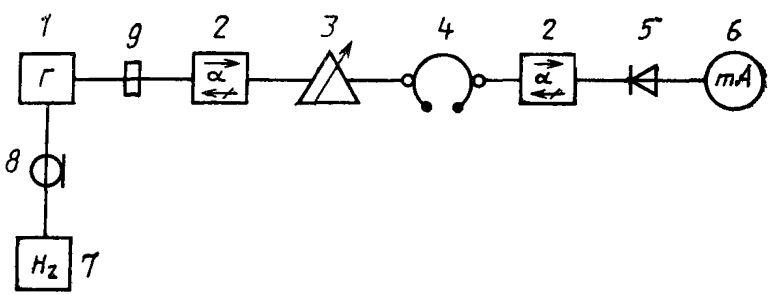
где $M = 0{,}186 \left(\frac{\lambda_в}{R}\right)^3$;

$\lambda_в = 2(l_2 - l_1)$ — длина волны в резонаторе, мм;

R — радиус резонатора, мм.

Примечание. Изменение частоты генератора за время измерений не должно превышать 100 кГц.

Схема установки для измерения относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ образцов методом «вариации длины резонатора»



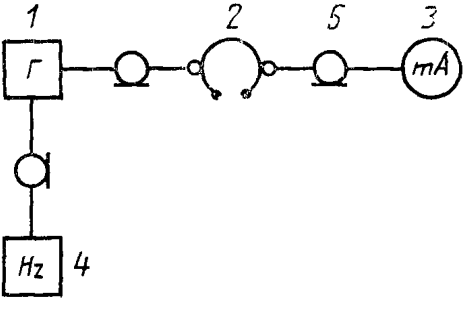
1—генератор СВЧ типа Г4—83; *2*—ферритовый вентиль типа Э6—44; *3*—волноводный поляризационный аттенюатор типа Д3—33А; *4*—измерительная ячейка типа ОР-2М; *5*—детекторная головка типа Э7——6; *6*—микроамперметр типа М95 (10 мкА); 7—электронно-счетный частотомер типа Ч3—54 с преобразователем типа ЯЗЧ-87; *8*—коаксиальный проводник; *9*—волновод

Черт. 1

5.2. При подготовке к выполнению измерений методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть проведены следующие работы:

собирают измерительную установку по схеме, приведенной на черт. 2.

Схема установки для измерения относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь tg δ образцов методом «вариации частоты и типов колебаний»



1—набор генераторов СВЧ типа Г4—78 — Г4—83; *2*—измерительная ячейка типа ИЯМТ-1К или ИЯМТ-2К; *3*—анализатор спектра типа С4—60 или микроамперметр типа М95; *4*—электронно-счетный частотомер типа Ч3—54 с преобразователем типа ЯЗЧ-87; *5*—коаксиальный проводник

Черт. 2

Примечание. При измерении относительной диэлектрической проницаемости ε от 2 до 4 в установку включают ячейку ИЯМТ-1К, относительной диэлектрической проницаемости ε от 4 до 40 — ячейку ИЯМТ-2К;

все приборы, входящие в состав установки, подготавливают к работе в соответствии с ТД на них;

образцы твердого диэлектрика подготавливают к измерениям в соответствии с обязательным приложением 5.

6. ВЫПОЛНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости ε методом «вариации длины резонатора» должны быть выполнены следующие операции:

настраивают резонатор в резонанс (объем резонатора максимален);

измеряют резонансную длину резонатора без образца l_0 с погрешностью $\pm 0{,}01$ мм;

помещают в резонатор образец диэлектрика;

перемещают поршень резонатора плавно до настройки в резонанс;

измеряют резонансную длину резонатора с образцом l_ε с погрешностью $\pm 0{,}01$ мм;

вычисляют смещение $\overline{L}$ по формуле

$$\overline{L}=l_0-l_\varepsilon . \qquad (2)$$

Примечание Измерения проводят не менее шести раз, поворачивия после каждого измерения образец вокруг оси на 60 °,

вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений

6.2. При выполнении измерений тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ должны быть выполнены следующие операции:

настраивают резонатор в резонанс;

устанавливают при помощи аттенюатора уровень сигнала на индикаторе выходного уровня; показания индикатора должны составлять не менее 50 % его шкалы;

отсчитывают введенное затухание A_0 по шкале аттенюатора с погрешностью $\pm 0{,}1$ дБ;

помещают в резонатор образец диэлектрика;

настраивают резонатор в резонанс, плавно перемещая поршень;

уменьшают ослабление, введенное аттенюатором, до тех пор, пока показания индикатора не станут такими же, как до введения образца;

отсчитывают показания аттенюатора A_ε с погрешностью $\pm 0{,}1$ дБ;

вычисляют ослабление, вносимое образцом диэлектрика в измерительный тракт по формуле

$$A=A_0-A_\varepsilon . \qquad (3)$$

Примечание Измерения проводят не менее шести раз, вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений

6.3. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости ε методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть выполнены следующие операции:

помещают образец диэлектрика в измерительную ячейку, наложив на торцевые поверхности ячейки электроды из фольги, резиновые прокладки, крышки;

устанавливают ячейку на платформу прижимного устройства и создают давление на крышку ячеики не менее $4 \cdot 10^4$ Н/м^2 (20 делений шкалы индикатора прижимного устройства);

включают ячейку в измерительную установку, подключив гене-

ратор, позволяющий проводить измерения на нижней частоте диапазона измерительной ячейки;

перестраивают частоту генератора, начиная с нижних частот до получения сигнала на индикаторе выходного уровня.

Примечание. Если в диапазоне частот генератора резонанса нет, применяют генератор следующего диапазона·

определяют резонансную частоту f_{ε_1} по частотомеру, плавно перестраивая частоту генератора в области резонанса, с погрешностью ±0,5 МГц;

измерения проводят не менее трех раз;

вычисляют среднее арифметическое, округляя результат до ±0,5 МГц:

рассчитывают ε_1 по формуле (4), полагая $B_n = B_1$

$$\varepsilon_n = \left(\frac{B_n f_0}{B_1 f_{\varepsilon_n}} \right)^2 \quad n = 1,2\ldots, \tag{4}$$

где f_0 — резонансная частота пустой измерительной ячейки, соответствующая типу колебаний E_{010}, приведена в нормативно-технической документации на измерительную ячейку;

B_n — значения корней функции Бесселя на соответствующих типах колебаний приведены в справочном приложении 6;

зная относительную диэлектрическую проницаемость ε, рассчитывают последующие дискретные частоты диапазона измерительной ячейки, на которых возможно измерение, по формуле

$$f_{\varepsilon_n} = \frac{C \cdot B_n}{\pi D \sqrt{\varepsilon}}, \tag{5}$$

где C — скорость света, мм/с;

D — диаметр измерительной ячейки, мм, приведен в нормативно-технической документации на измерительную ячейку;

определяют резонансные частоты f, перестраивая частоту генератора в области резонанса, с погрешностью ±0,5 МГц;

вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений;

рассчитывают ε_n по формуле (4).

Примечания:

1. Измерения следует проводить только на тех частотах, в окрестности которых в пределах 20—30 МГц отсутствуют другие резонансы.

2. Если значение относительной диэлектрической проницаемости ε перед началом измерений ориентировочно известно с погрешностью $\Delta\varepsilon$, диапазон перестройки частоты следует ограничить снизу частотой, рассчитанной по формуле (5), при $B_n = B_1$ и $\varepsilon = \varepsilon_{\text{изв}} + \varepsilon_\Delta$, где $\varepsilon_{\text{изв}}$ — известное значение относительной диэлектрической проницаемости материала образца.

6.4. При выполнении измерений тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ методом «вариации частоты и типов колебаний» должны быть выполнены следующие операции:

измеряют резонансные частоты, соответствующие типам колебаний E_{mn0}, f_n (аналогично указанному в п. 6.3);

изменяя частоту генератора в большую и меньшую стороны от f_{ε_n}, определяют частоты f_1 и f_2, при которых уровень сигнала по индикатору выходного уровня составляет половину уровня при частоте f_{ε_n},

определяют частотную ширину резонансной кривой

$$\Delta f = |f_1 - f_2|; \tag{6}$$

измерения проводят не менее трех раз, вычисляя среднее арифметическое значение резонансной частоты $\overline{f}_{\varepsilon_n}$ и ширины резонансной кривой $\overline{\Delta f}$, округляя результат до $\pm 0{,}5$ МГц;

рассчитывают нагруженную добротность ячейки по формуле

$$Q_{\varepsilon_n} = \frac{\overline{f}_{\varepsilon_n}}{\overline{\Delta f}}, \tag{7}$$

а тангенс угла диэлектрических потерь по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{1{,}3 Q_{\varepsilon_n}} - \frac{1}{Q_0}\sqrt{\frac{1}{\varepsilon}\,\frac{f_0}{f_\varepsilon}}, \tag{8}$$

где Q_0 — нагруженная добротность пустого резонатора приводится в нормативно-технической документации на ячейку;

1,3 — коэффициент добротности, определяется как отношение нагруженных добротностей резонатора, заполненного диэлектриком, с металлическими крышками и электродами из фольги.

7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. При использовании метода «вариации длины резонатора» относительную диэлектрическую проницаемость ε вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формуле

$$\varepsilon = \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2 + \left(\frac{x\lambda}{2\pi d}\right)^2, \tag{9}$$

где $\lambda_{кр} = 1{,}640 \cdot R$ — критическая длина волны, мм;

R — радиус резонатора, мм;

λ — длина волны на частоте измерения, мм;

d — толщина образца диэлектрика, мм;

x — безразмерная величина, определяемая уровнем

$$\frac{\operatorname{tg} x}{x} = \frac{\operatorname{tg}\beta_0(L+d)}{\beta_0 d}, \tag{10}$$

где L — смещение, измеренное в п. 6.1, мм;

$\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_в}$ — фазовая постоянная, мм$^{-1}$;

$\lambda_в$ — длина волны в резонаторе, измеренная по п. 5.1, мм.

7.2. При использовании метода «вариации длины резонатора»

тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ вычисляют с точностью до двух значащих цифр по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = K_A\left(10^{\frac{A}{20}} - \eta\right), \tag{11}$$

где A — ослабление, вносимое образцом диэлектрика, измеренное по п. 6.2, дБ;

$$K_A = \frac{\varphi(x)}{\varepsilon} \cdot \frac{l_0}{d} \cdot \frac{1}{Q_0}, \tag{12}$$

где $$\varphi(x) = \frac{n^2 + \operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x - \frac{\operatorname{tg} x}{x}};$$

$$n^2 = \left(\frac{x}{\beta_0 d}\right)^2;$$

l_0 — резонансная длина резонатора без образца, мм;

Q_0 — нагруженная добротность резонатора без образца диэлектрика;

d — толщина образца диэлектрика, мм.

η вычисляют с точностью до двух-трех значащих цифр по формуле

$$\eta = \frac{1 + \frac{P^{\varepsilon}_{\text{тор}}}{P_{\text{тор}}} + \frac{P^{\varepsilon}_{\text{бок}}}{P_{\text{бок}}} + \chi}{2 + \frac{P_{\text{бок}}}{P_{\text{тор}}} + \chi}, \tag{13}$$

где $P^{\varepsilon}_{\text{тор}}$ — потери в торцевой стенке, к которой примыкает образец диэлектрика;

$P_{\text{тор}}$ — потери в противоположной торцевой стенке;

$P^{\varepsilon}_{\text{бок}}$ — потери в боковой стенке резонатора с образцом диэлектрика;

$P_{\text{бок}}$ — потери в боковой стенке резонатора без образца диэлектрика;

χ — постоянная связи резонатора (см. п. 5.1).

Отношение потерь вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формулам:

$$\frac{P^{\varepsilon}_{\text{тор}}}{P_{\text{тор}}} = \frac{n^2(1 + \operatorname{tg}^2 x)}{n^2 + \operatorname{tg}^2 \chi}; \tag{14}$$

$$\frac{P^{\varepsilon}_{\text{бок}}}{P_{\text{тор}}} = \frac{l_{\varepsilon}}{R}\left(\frac{\lambda_{\text{в}}}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2; \tag{15}$$

$$\frac{P_{\text{бок}}}{P_{\text{тор}}} = \frac{l_0}{R}\left(\frac{\lambda_{\text{в}}}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2, \tag{16}$$

где R — радиус резонатора, мм;

l_ε — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика, мм.

Примечания.

1. Радиус резонатора R и нагруженная добротность Q_0 должны быть указаны в нормативно-технической документации.

2. При оценочных измерениях тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ можно принять $\eta=1$.

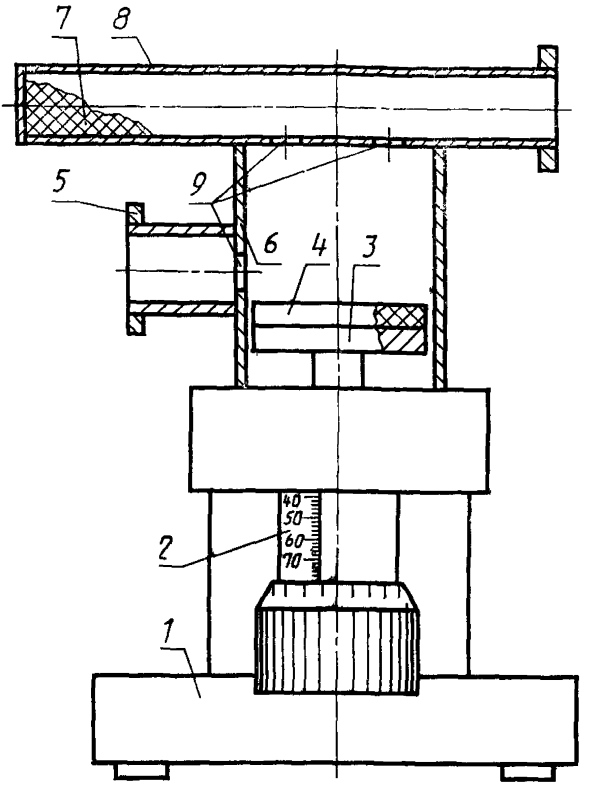
3. При измерениях тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta>0{,}001$ потери на связь можно не учитывать, т. е. при расчетах принимать $X=0$.

Программа расчета относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ на ЭВМ приведена в справочном приложении 7.

7.3. При использовании метода «вариации частоты и типов колебаний» относительную диэлектрическую проницаемость ε вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формуле (4) и тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ с точностью до двух значащих цифр по формуле (8).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

Измерительная ячейка типа ОР-2М



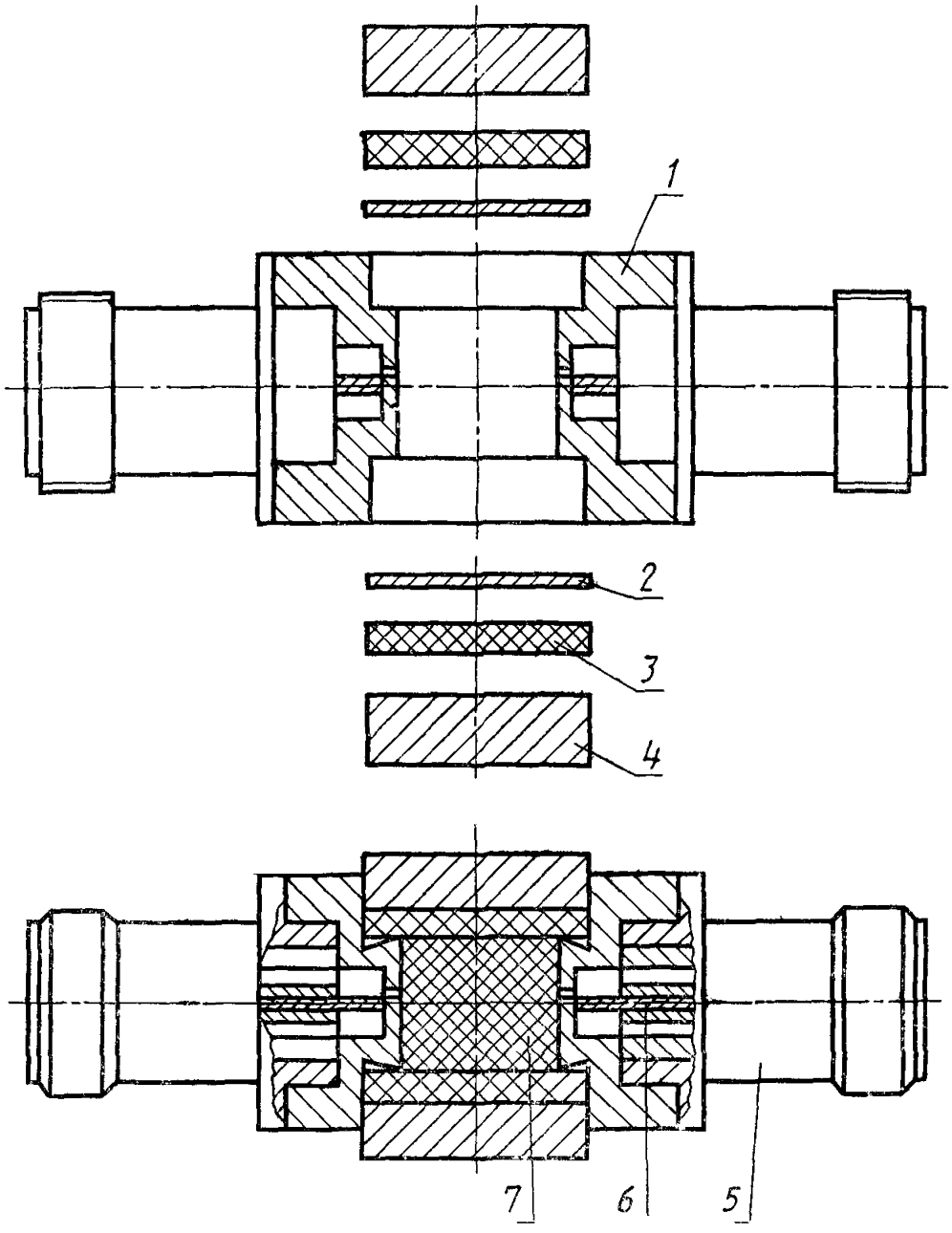
1—основание; *2*—микрометрическая головка; *3*—поршень; *4*—образец диэлектрика; *5*—фланец; *6*—резонатор; *7*—поглотитель; *8*—волновод; *9*—отверстия связи

Диапазон измеряемых значений относительной диэлектрической проницаемости ε от 1,5 до 200, тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ от $1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-2}$;

произведение $\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$ не более 0,2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

Измерительная ячейка типа ИЯМТ



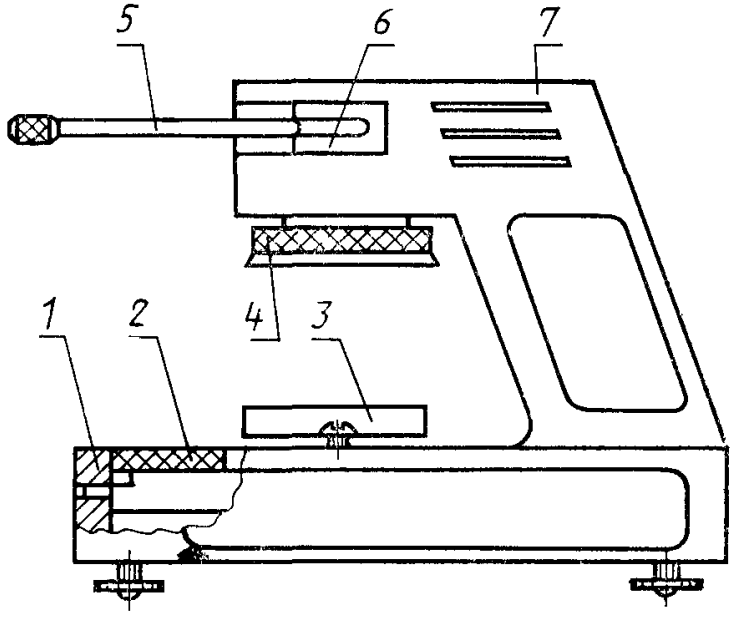
1—корпус ячейки *2*—электрод из фольги, *3*—резиновая прокладка; *4*—крышка, *5*—коаксиальный разъем; *6*—возбуждающий элемент; *7*—образец диэлектрика

Технические характеристики ячеек ИЯМТ

Тип ячейки	Размеры ячейки, мм		Диапазон измеряемых относительных диэлектрических проницаемостей
	Диаметр	Высота	
ИЯМТ-1К	50	10	От 2 до 4
ИЯМТ-2К	14	10	От 4 до 40

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

Прижимное устройство



1—основание; *2*—часовой индикатор; *3*—платформа; *4*—плавающая прижимная платформа; *5*—ручка управления; *6*—винтовая пара; *7*—корпус

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Обязательное

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»

1. Образец диэлектрика должен быть выполнен в форме диска диаметром $50^{-0,025}_{-0,050}$ мм (см. чертеж).

2. Отклонение от параллельности торцов образца не более 0,03 мм, отклонение от перпендикулярности боковой поверхности к торцу не более 0,05 мм.

3. Высоту образца d вычисляют по формуле

$$d=0,5m\frac{\lambda}{\sqrt{\varepsilon-\frac{\lambda}{1\cdot 64\cdot R}}}$$

где λ — длина волны на частоте измерения, мм;
R — радиус резонатора, мм;
m — целое число, равное 1, 2, 3 ....

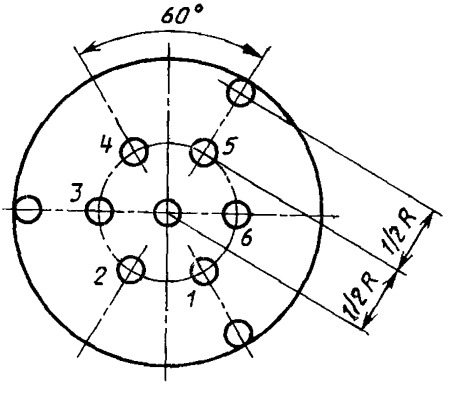
Высоту образца можно округлить до целого числа, но не более чем на $\pm\frac{0,1d}{m}$

Предпочтительнее для измерений использовать образцы диэлектриков с таким значением d, чтобы $m=1$.

Примечания:

1. Предварительное измерение можно проводить на образцах толщиной 1—2 мм.

2. Высоту образца измеряют в десяти точках, указанных на чертеже с погрешностью не более ±0,01 мм. Вычисляют среднее арифметическое значение этих измерений.



4. Обработка образцов не должна изменять свойств материала. Способ обработки должен быть указан в НТД на материал.

5. Нормализация и кондиционирование образцов — по ГОСТ 6433.1—71.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Обязательное

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ЧАСТОТЫ И ТИПОВ КОЛЕБАНИЙ»

1. Образец твердого диэлектрика должен быть выполнен в форме диска с размерами, указанными в таблице.

Тип ячейки	Относительная диэлектрическая проницаемость образца ε	Размеры образца, мм	
		Диаметр	Высота
ИЯМТ-1К	От 2 до 4	$50^{-0,025}_{-0,050}$	$10_{-0,12}$
ИЯМТ-2К	От 4 до 40	$14^{-0,016}_{-0,033}$	$10_{-0,12}$

2. Отклонение от параллельности торцев образца — не более 0,03 мм, отклонение от перпендикулярности боковой поверхности к торцу — не более 0,03 мм, микронеровности на торцевой поверхности образца — не более 0,5 мкм.

3. Высоту образца измеряют не менее чем в десяти точках, равномерно распределенных по поверхности образца.

4. Диаметр образца измеряют не менее чем в шести направлениях, расположенных под одинаковыми углами по отношению друг к другу.

5. Обработка образцов не должна изменять свойств материала. Способ обработки должен быть указан в нормативно-технической документации на материал.

6. Нормализация и кондиционирование образцов по ГОСТ 6433.1—71.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
Справочное

Значения корней функции Бесселя

Корень функции Бесселя	Тип колебаний	Численное значение корня
B_1	E_{010}	2,40483
B_2	E_{110}	3,83171
B_3	E_{210}	5,13562
B_4	E_{020}	5,52008
B_5	E_{310}	6,38016
B_6	E_{120}	7,01559
B_7	E_{410}	7,58834
B_8	E_{220}	8,41724
B_9	E_{030}	8,65373
B_{10}	E_{510}	8,77142
B_{11}	E_{320}	9,76102
B_{12}	E_{130}	10,1735

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ε И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ tg δ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»

```
      DIMENSION E (2Ø), TGD (2Ø)
      INTEGER QØ
      P=3 1415927 * 2
      READ (5,91) R, AL1, AL2, QØ
   91 FORMAT (3F7 2,15)
      PRINT 92, R, AL1, AL2, QØ
   92 FORMAT (2X, 2HR=, F6 2,5 H AL1=, F6 2,5 H AL2=, F6 2,4 H QØ=, 15)
      PRINT 93
   93 FORMAT (2X, 3Ø (2H**))
    1 READ (5,94, END=77777) D, ALØ, ALE, BLØ, ANØ, ANE, EMAX
   94 FORMAT (7F9 3)
      PRINT 95, D, ALØ, ALE, BLB, ANØ, ANE, EMAX
   95 FORMAT (2X, 3H D=,F7 3,5H ALØ=,F7 3,5 H ALE=,F7 3,5 H BLB=,
     F7 3,  * 5H ANØ=, F7 3,5 H ANE=,F7.3,6 H EMAX=, F5.1)
      PRINT 96
   96 FORMAT (2X, 25 (2H— —) )
      AL=ALØ—ALE
      BØ=P/BLB
      CPL=1 64 * R
      AM=Ø 186* (BLB/R)** 3
      AK=AM/(SQRT (AL1/AL2)—1)—2.*(AM+1.)
      P2=ALE/R* (BLB/CPL)**2
      R3=ALØ/R* (BLB/CPL)**2
      BL=BLB/SQRT (1+(BLB/CPL)**2)
      Z=P*Ø 25
      Y=BØ* (AL+D)
      Y=SIN (Y)/(BØ*D*COS (Y))
      M=Ø
    2 M=M+1
      IF (M LE 5Ø) GO TO 3
      PRINT 97
   97 FORMAT (2X, 13HEPS LT EPSMAX)
      GO TO 1
    3 Z=Z+P/2
      X1=Z
      Y1=(SIN (X1)/COS (X1))/X1
      IF (Y1 LE Y) GO TO 5
    4 Y2=Y1
      X2=X1
      X1=X2—1 E—1
      Y1=(SIN (X1)/COS (X1))/X1
      IF (Y1 LE Y) GO TO 6
      GO TO 4
    5 X2=X1+1 E—1
      Y2=(SIN (X2)/COS (X2))/X2
      IF (Y2 GT Y) GO TO 6
      X1=X2
      Y1=Y2
```

```
      GO TO 5
    6 DO 8 I=1,2Ø
      X=(X1+X2)*Ø5
      YY=(SIN (X)/COS (X))/X
      IF (YY.GT Y) GO TO 7
      Y1=YY
      X1=X
      GO TO 8
    7 Y2=YY
      X2=X
    8 CONTINUE
      E (M)=(BL/CPL)**2+(X*BL/(P*D))**2
      AN2=(X/(BØ D))**2
      TG2=(SIN (X)/COS    (X))**2
      AF=(AN2+TG2)/(1.+TG2—YY)
      P1=AN2*(1.+TG2)/(AN2+TG2)
      AF=(1.+P1+P2+AK)/(2.+P3+AK)
      AN=ANØ—ANE
      TGD (M)=AF*ALØ* (1Ø** (AN/2Ø.)—AP)/(E(M)*D*QØ)
      IF (E (M) LT.EMAX) GO TO 2
      M=M—1
      PRINT 98, (E (I), I=1, M)
      PRINT 99, (TGD (I), I=1, M)
   98 FORMAT (6X, 5HE (I)=, 1ØF1Ø.4, (/1ØF1Ø.4))
   99 FORMAT (6X, 7HTGD (I)=, 1P1ØE1Ø.2, (1P1ØE1Ø.2))
      PRINT 93
      GO TO 1
77777 CONTINUE
      STOP
      END
```

1. Описание задачи

Предложенная программа вычисляет значения относительной диэлектрической проницаемости ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ твердых диэлектриков по формулам настоящего стандарта (пп. 7.1, 7.2). Для решения трансцендентного уравнения

$$\frac{\operatorname{tg} x}{x} = \frac{\operatorname{tg}\beta_0(L-d)}{\beta_0 d}$$

используется градиентный метод.

2. Описание программы

Программа написана на алгоритмическом языке ФОРТРАН и реализована на ЕС ЭВМ.

В программе используются следующие стандартные функции:

SQRT — вычислить корень квадратный вещественного аргумента;

SIN — вычислить синус угла (вещественный аргумент в радианах);

COS — вычислить косинус угла (вещественный аргумент в радианах).

За один проход программа обсчитывает одно измерение. Трансляция и редакция программы осуществляются за 11, 16 с, обработка одного измерения осуществляется за 0,78 с.

3. Сообщения об ошибках

Программа сообщений об ошибках не вырабатывает.

4. Входные данные

Входные данные вводятся по форматам, указанным в программе
На входе задаются
R — радиус резонатора R, мм,
AL1, AL2 — показания индикатора α_1 и α_2 (см п 5 1 настоящего стандарта),
Q∅ — нагруженная добротность резонатора без образца диэлектрика Q_0,
D — толщина образца диэлектрика d, мм (см обязательное приложение 4),
AL∅ — резонансная длина резонатора без образца диэлектрика l_0, мм (см п 6 1),
ALE — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика l_ε, мм (см п 6 1),
BLB — длина волны в резонаторе $\lambda_в$, мм (см п 5.1);
AN∅, ANE — ослабление, введенное аттенюатором до и после помещения образца диэлектрика в резонатор A_0, A_ε, дБ (см п 6 2),
EMAX — предполагаемая максимальная относительная диэлектрическая проницаемость ε образца диэлектрика

1-я карта вводит величины R, AL1, AL2 по формату 7 2, величину Q∅ — по формату 15 Число карт, следующих за первой, равно числу измерений
2-я карта и следующие за ней вводят величины D, AL∅, ALE, BLB, AN∅, ANE, EMAX по формату F 9 3
См пример распечатки входных данных программы

5. Карты управления

Для работы программы необходимо составить следующее задание, выполняющее трансляцию с языка ФОРТРАН, редакцию и вычисление

```
// имя задания JOB параметры
// EXEC FORTHCLG
// FORT SYSIN DD *
                    текст программы
/*
// GO SYSIN DD*
                    исходные данные
/*
//
```

6. Входные данные

В результате работы программы на печать выводятся все входные величины и результаты расчета
E (I) — относительная диэлектрическая проницаемость ε образца;
TGD (I) — тангенс угла диэлектрических потерь tg δ образца
См пример распечатки выходных данных программы

Примечания
1 Если высота образца выбрана так, что $m=1$ (см обязательное приложение 4), то на печать выводится один результат
2 При $m=2, 3$ на печать выводится m результатов, действительным из которых является последний

Пример распечатки входных данных программы

```
Ø25 Ø9+ 1ØØ ØØ+ Ø8ØØ Ø3ØØØ
+ØØ12 3ØØ+ ØØ76.42Ø+ØØ63 277+ ØØ5Ø 98Ø+ ØØ15 6ØØ+ ØØ12 2ØØ+ ØØØ3 ØØØ
+ØØØ5 26Ø+ ØØ76 42Ø+ ØØ56 224+ ØØ5Ø 98Ø+ ØØ15 6ØØ+ ØØØ8 5ØØ+ ØØØ1Ø ØØØ
+ØØØ3 599+ØØ76 39Ø+ ØØ54 6Ø3+ ØØ5Ø 99Ø+ ØØØ9 8ØØ+ ØØØ1Ø 2ØØ+ ØØØ2Ø ØØØ
```

Пример распечатки выходных данных программы

```
R=25 Ø9 AL1=1ØØ ØØ AL2=8ØØØØ=3ØØØ

D=12 3ØØ ALØ=76 42Ø ALE=63 277 BLB=5Ø 98Ø ANØ=15 6ØØ ANE=
12.2ØØ EMAX=3Ø
— — — — — — — — — — — — — — — — — —
E (I)=2 2868
TGD (I)=2Ø5E—Ø4

D=5.26Ø ALØ=76 42Ø ALE=56 224 BLB=5Ø 98Ø ANØ=15 6ØØ ANE=
8 5ØØ EMAX=1ØØ
— — — — — — — — — — — — — — — — — —
E (I)=9 75Ø7
TGD (I)=1 54E—Ø3

D=3 599 ALØ=76 39Ø ALE=54 6Ø3 BLB=5Ø 99Ø ANØ=9 8ØØ ANE=1Ø
2ØØ EMAX=2ØØ
— — — — — — — — — — — — — — — — — —
E (I)=19.2822
TGD (I)=7.49E—Ø5
```

Редактор *М В Глушкова*
Технический редактор *Л Я Митрофанова*
Корректор *Н. Н Чехолина*

Сдано в наб 16 04 86 Подп в печ 09 07 86 1 5 п л 1 5 усл кр отт 1 24 уч изд л
Тираж 16000 Цена 5 коп

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 123840, Москва, ГСП,
Новопресненский пер 3
Калужская типография стандартов ул Московская 256 Зак 1183

Цена 5 коп.

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Величина	Единица: Наименование	Обозначение: международное	Обозначение: русское
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица: Наименование	Обозначение: международное	Обозначение: русское	Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
Частота	герц	Hz	Гц	$с^{-1}$
Сила	ньютон	N	Н	м кг $с^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$м^{-1}$ кг $с^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$м^2$ кг $с^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$м^2$ кг $с^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	с А
Электрическое напряжение	вольт	V	В	м кг $с^{-3}$ $А^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^4$ $А^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	м кг $с^{-3}$ $А^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$м^{-2}$ $кг^{-1}$ $с^3$ $А^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	кг $с^{-2}$ $А^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$м^2$ кг $с^{-2}$ $А^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$м^{-2}$ кд ср
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	$с^{-1}$
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грэй	Gy	Гр	$м^2$ $с^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$м^2$ $с^{-2}$

gost.e-ecolog.ru