



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 ССР ПО СТАНДАРТАМ  
Москва

**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 Государствен-  
ного комитета СССР по стандартам от 31 марта 1986 г. № 845**

## 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

с 01.01.87

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

Настоящий стандарт устанавливает методики выполнения измерений относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  твердых диэлектриков: с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  от 1,5 до 200 и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$  в диапазоне частот  $9 \cdot 10^9$ — $10^{10}$  Гц при использовании метода «вариации длины резонатора»;

с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  от 2 до 40 и тангенсом угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  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»;

$\pm 1\%$  для  $\epsilon$  от 1,5 до 5;

$\pm 2\%$  для  $\epsilon$  от 5 до 20;

$\pm 3\%$  для  $\epsilon$  более 20;

$\pm (15 + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\operatorname{tg} \delta})\%$  — для  $\operatorname{tg} \delta$ ;

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

при использовании метода «вариации частоты и типов колебаний»:  $\pm 0,3 \sqrt{\epsilon} \%$  — для  $\epsilon$ ;

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

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

★

## 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 ЧЗ-54 с преобразователем ЯЗЧ-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 ДЗ-33А с погрешностью измерения, не превышающей  $\pm 0,1$  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  $\epsilon$  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  $\epsilon$  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  $H_{10p}$ , 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  $\epsilon$  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  $E_{\text{мо}}$ , где индексы  $m$  и  $l$  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  $\epsilon$  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  $\pm 2$  °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  $\chi$  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)  $\alpha_1$ ;

затем от точки первого резонанса поршень перемещают дальше вверх до получения второго резонанса и измеряют  $l_2$  и  $\alpha_2$ ;

вычисляют постоянную связи резонатора  $\chi$

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

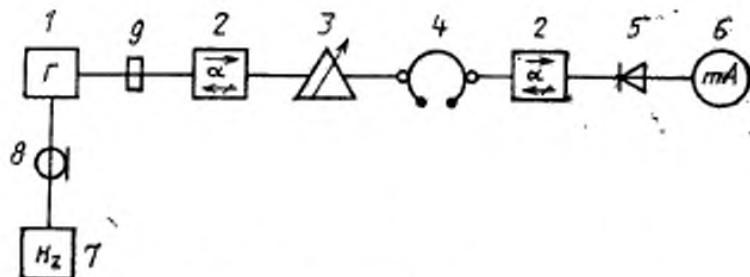
где  $M = 0,186 \left( \frac{\lambda_a}{R} \right)^2$ ;

$\lambda_a = 2(l_2 - l_1)$  — 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  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\tan \delta$  образцов методом «вариации длины резонатора»

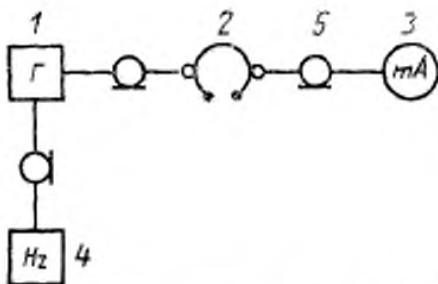


1 — генератор СВЧ типа Г4—83; 2 — ферритовый вентиль типа 36—44; 3 — волноводный поляризационный вттенюатор типа Д3—33А; 4 — измерительная ячейка типа ОР-2М; 5 — детекторная головка типа 37—6; 6 — микроамперметр типа М96 (10 мА); 7 — электронно-счетный частотомер типа Ч3—54 с преобразователем типа ЯЗЧ-87; 8 — коаксиальный проводник; 9 — волновод.

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  $\epsilon$  и тангенса угла  
диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  образцов  
методом «вариации частоты  
и типов колебаний»



1—избор генераторов СВЧ типа Г4-78—Г4-83;  
2—измерительная ячейка типа ИЯМТ-1К или  
ИЯМТ-2К; 3—анализатор спектра типа С4-60  
или микрометр типа М96; 4—электронно-  
счетный частотомер типа Ч3-54 с преобразова-  
телем типа ЯЗЧ-87; 5—коаксиальный проводник

Черт. 2

Приложение. При измерении относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  от 2 до 4 в установку включают ячейку ИЯМТ-1К, относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  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  $\epsilon$  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  $l_e$  с погрешностью  $\pm 0,01$  мм;

вычисляют смещение  $\bar{L}$  по формуле

$$\bar{L} = l_0 - l_e. \quad (2)$$

П р и м е ч а н и е. Измерения проводят не менее шести раз, поворачивая после каждого измерения образец вокруг оси на  $60^\circ$ ;

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  $A_e$  с погрешностью  $\pm 0,1$  дБ;

вычисляют ослабление, вносимое образцом диэлектрика в измерительный тракт по формуле

$$A - A_0 - A_e. \quad (3)$$

П р и м е ч а н и е. Измерения проводят не менее шести раз, вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений.

6.3. При выполнении измерений относительной диэлектрической проницаемости в 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 ячейки не менее  $4 \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup> (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.

Приложение. Если в диапазоне частот генератора резонанса нет, применяют генератор следующего диапазона:

определяют резонансную частоту  $f_0$ , по частотомеру, влавив перестраивая частоту генератора в области резонанса, с погрешностью  $\pm 0,5$  МГц;

измерения проводят не менее трех раз;

вычисляют среднее арифметическое, округляя результат до  $\pm 0,5$  МГц;

рассчитывают  $\varepsilon_1$  по формуле (4), полагая  $B_n = B_1$

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

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  $\varepsilon$ , рассчитывают последующие дискретные частоты диапазона измерительной ячейки, на которых возможно измерение, по формуле

$$f_{\varepsilon_n} = \frac{C \cdot B_n}{\pi D V^{\frac{1}{2}}}, \quad (5)$$

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  $\pm 0,5$  МГц;

вычисляют среднее арифметическое из результатов измерений; рассчитывают  $\varepsilon_n$  по формуле (4).

Приложение:

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  $\varepsilon$  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  $\varepsilon = \varepsilon_{\min} + \Delta\varepsilon$ , где  $\varepsilon_{\min}$  — 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  $E_{010}, f_{\varepsilon_n}$  (аналогично указанному в п. 6.3);

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

определяют частотную ширину резонансной кривой

$$\Delta f = |f_1 - f_2|; \quad (6)$$

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

расчитывают нагруженную добротность ячейки по формуле

$$Q_{\epsilon_n} = \frac{\bar{f}_{\epsilon_n}}{\bar{\Delta f}}, \quad (7)$$

а тангенс угла диэлектрических потерь по формуле

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{1,3Q_{\epsilon_n}} - \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{1}{\epsilon} \frac{f_0}{f_e}}, \quad (8)$$

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  $\epsilon$  вычисляют с точностью до трех значащих цифр по формуле

$$\epsilon = \left( \frac{\lambda}{\lambda_{kp}} \right)^2 + \left( \frac{x\lambda}{2\pi d} \right)^2, \quad (9)$$

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

$R$  — радиус резонатора, мм;

$\lambda$  — длина волны на частоте измерения, мм;

$d$  — толщина образца диэлектрика, мм;

$x$  — безразмерная величина, определяемая уровнем

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

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

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

$\lambda_s$  — 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

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

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

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

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.

$\eta$  вычисляют с точностью до двух-трех значащих цифр по формуле

$$\eta = \frac{1 + \frac{P_{\text{топ}}^e}{P_{\text{топ}}} + \frac{P_{\text{бок}}^e}{P_{\text{бок}}} + \chi}{2 + \frac{P_{\text{бок}}}{P_{\text{топ}}} + \chi}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{топ}}^e$  — потери в торцевой стенке, к которой примыкает образец диэлектрика;

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

$P_{\text{бок}}^e$  — потери в боковой стенке резонатора с образцом диэлектрика;

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

$\chi$  — постоянная связь резонатора (см. п. 5.1).

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

$$\frac{P_{\text{топ}}^e}{P_{\text{топ}}} = \frac{n^2(1 + \operatorname{tg}^2 x)}{n^2 + \operatorname{tg}^2 \chi}; \quad (14)$$

$$\frac{P_{\text{бок}}^e}{P_{\text{топ}}} = \frac{l_c \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{kp}} \right)^2}{R}; \quad (15)$$

$$\frac{P_{\text{бок}}}{P_{\text{топ}}} = \frac{l_0 \left( \frac{\lambda_0}{\lambda_{kp}} \right)^2}{R}, \quad (16)$$

где  $R$  — радиус резонатора, мм;

$l_r$  — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика, мм.

П р и м е ч а н и я:

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  $X=0$ .

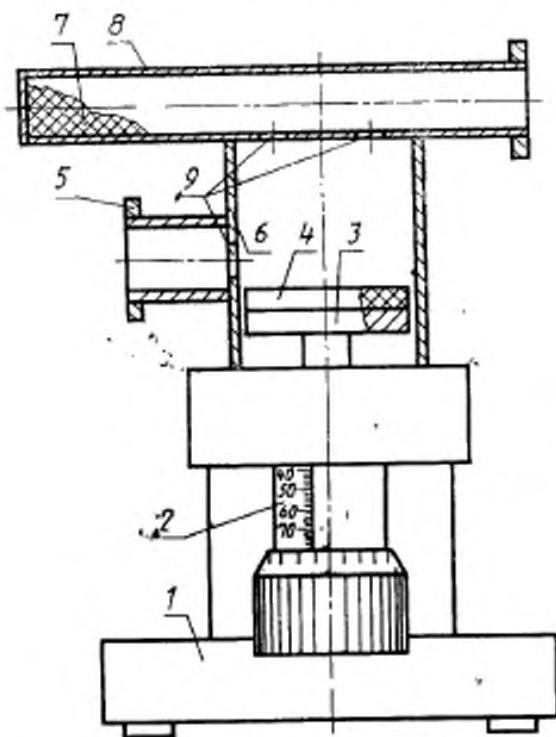
Программа расчета относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  на ЭВМ приведена в справочном приложении 7.

7.3. При использовании метода «вариации частоты и типов колебаний» относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  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

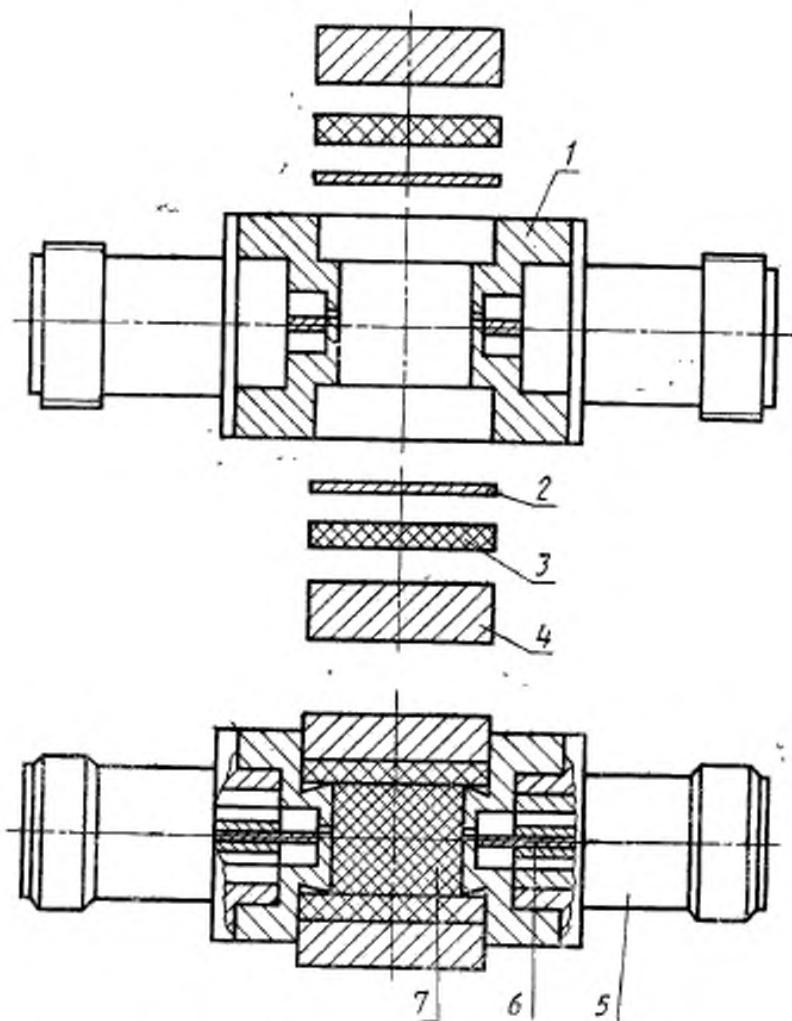
Измерительная ячейка типа ОР-2М



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  $\epsilon$  от 1,5 до 200, тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-2}$ , произведение  $\epsilon \cdot \operatorname{tg} \delta$  не более 0,2.

Измерительная ячейка типа ИЯМТ

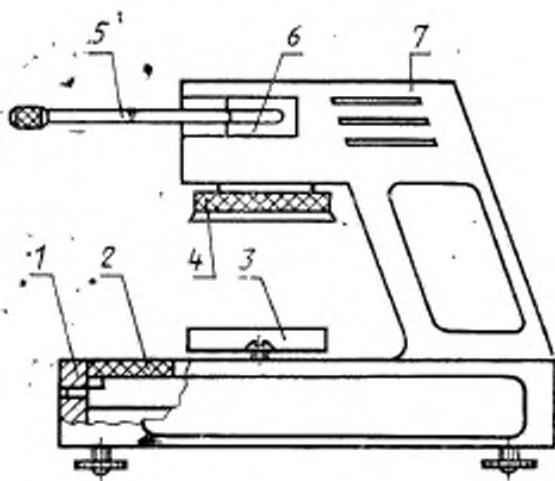


1—корпус ячейки; 2—электрод из фольги; 3—резиновая прокладка; 4—крышка;  
5—жаростойкий разъем; 6—возбуждающий элемент; 7—образец диэлектрика

## 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

Прижимное устройство



1—основание; 2—часовой индикатор; 3—платформа; 4—плавающий прижимной платформа; 5—ручка управления; 6—автоматический вентиль; 7—корпус

ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦОВ ДИЭЛЕКТРИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»

1. Образец диэлектрика должен быть выполнен в форме диска диаметром  $50 \pm 0,05$  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

$$d = 0,5m \sqrt{\frac{\lambda}{\epsilon - 1.64 \cdot R}},$$

где  $\lambda$  — длина волны на частоте измерения, мм;

$R$  — радиус резонатора, мм;

$m$  — целое число, равное 1, 2, 3 ... .

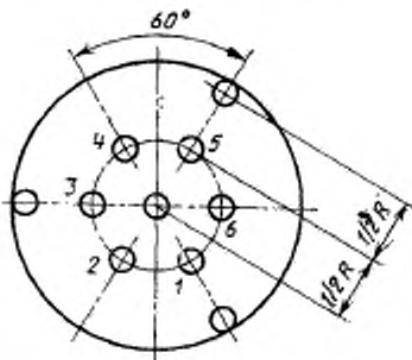
Высоту образца можно округлить до целого числа, но не более чем на  $0,1d$   
 $\pm \frac{m}{m}$ .

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

П р и м е ч а н и я:

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

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



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

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

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 $\epsilon$	Размеры образца, мм	
		Диаметр	Высота
ИЯМТ-1К	От 2 до 4	50 <sub>-0,025</sub> —0,050	10 <sub>-0,12</sub>
ИЯМТ-2К	От 4 до 40	14 <sub>-0,016</sub> —0,033	10 <sub>-0,12</sub>

2. Отклонение от параллельности торцов 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 расположенных 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 свойства 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  
СправочноеПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
ПРОНИЦАЕМОСТИ  $\epsilon$  И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ  $\operatorname{tg} \delta$   
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА «ВАРИАЦИИ ДЛИНЫ РЕЗОНАТОРА»

```

DIMENSION E (20), TGD (20)
INTEGER QZ
P=3.1415927 * 2.
READ (5,91) R, AL1, AL2, QZ
91 FORMAT (3F7.2,15)
PRINT 92, R, AL1, AL2, QZ
92 FORMAT (2X, 2HR =, F6.2,5 H AL1 =, F6.2,5 H AL2 =, F6.2,4 H QZ =, 15)
PRINT 93
93 FORMAT (2X, 3B (2H**))
1 READ (5,94, END=77777) D, ALZ, ALE, BLZ, ANB, ANE, EMAX
94 FORMAT (7F9.3)
PRINT 95, D, ALZ, ALE, BLB, ANB, ANE, EMAX
95 FORMAT (2X, 3H D =, F7.3,5H ALZ =, F7.3,5 H ALE =, F7.3,5 H BLB =,
F7.3, 5H ANB =, F7.3,5 H ANE =, F7.3,6 H EMAX =, F5.1)
PRINT 96
96 FORMAT (2X, 25 (2H— — ) )
AL=ALZ ALE
BZ=P/BLB
CPL=1.64 * R
AM=0.186 * (BLB/R)** 3
AK=AM/(SQRT (AL1/AL2)-1)-2. * (AM+1.)
P2=ALE/R** (BLB/CPL)** 2
R3=ALZ/R** (BLB/CPL)** 2
BL=BLB/SQRT (1+(BLB/CPL)** 2)
Z=P** 0.25
Y=B** (AL+D)
Y=SIN (Y)/(BZ*D*COS (Y))
M=0
2 M=M+1
IF (M.LE.5Z) 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 DC 8 1=1,2B
X=(X1+X2)**0.5
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/(B*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=AN-ANE
TGD (M)=AF*ALZ*(18** (AN/20)-AP)/(E(M)*D*Q)
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) -, 10F12.4, (/10F12.4))
99 FORMAT (6X, 7HTGD (I) -, 1P12E12.2, (:P12E12.2))
PRINT 93
GO TO 1
7777 CONTINUE
STOP
END

```

### 1. Описание задачи

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

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

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 реадкация 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;

$AL_1, AL_2$  — показания индикатора  $a_1$  и  $a_2$  (см. п. 5.1 настоящего стандарта);

$Q_0$  — нагруженная добротность резонатора без образца диэлектрика  $Q_0$ ;

$D$  — толщина образца диэлектрика  $d$ , мм (см. обязательное приложение 4);

$AL_0$  — резонансная длина резонатора без образца диэлектрика  $l_0$ , мм (см. п. 6.1);

$ALE$  — резонансная длина резонатора с образцом диэлектрика  $l_e$ , мм (см. п. 6.1);

$BLB$  — длина волны в резонаторе  $\lambda_{BLB}$ , мм (см. п. 5.1);

$AN_0, AN_e$  — ослабление, изведенное аттенюатором до и после помещения образца диэлектрика в резонатор  $A_0, A_e$ , дБ (см. п. 6.2);

$EMAX$  — предполагаемая максимальная относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  образца диэлектрика.

1-я карта вводят величины  $R, AL_1, AL_2$  по формату 7.2, величину  $Q_0$  по формату 15. Число карт, следующих за первой, равно числу измерений.

2-я карта и следующие за ней вводят величины  $D, AL_0, ALE, BLB, AN_0, AN_e, EMAX$  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  $\epsilon$  образца;

$TGD(I)$  — тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$  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  $m=2, 3 \dots$  на печать выводится  $m$  результатов, действительным из которых является последний.

## Пример распечатки входных данных программы

925.69 + 191.86 + 288.93/101  
 + 8012.31/1 + 1876.42/1 + 8063.277 + 285.98/1 + 1115.69/1 + 1112.28/1 + 1183.91/1  
 + 1115.26/1 + 11176.42/1 + 11156.224 + 11158.98/1 + 1115.68/1 + 11128.50/1 + 2818.19/1  
 + 11113.599 + 11176.39/1 + 11154.623 + 11156.99/1 + 11180.81/1 + 11117.28/1 + 11126.11/1

## Пример распечатки выходных данных программы

R=25.89 AL1=178.18 AL2=577.04 - 311.17  
 D=12.3% ALB=76.42% ALE=63.277 BLB=51.98% ANZ=15.6% ANE=12.2% EMAX=3%  
 E (1)=2.2868  
 TGD (1)=2.85E-24  
 D=5.26% ALB=76.42% ALE=56.224 BLB=52.98% ANZ=15.6% ANE=8.5% EMAX=17%  
 E (1)=9.75/7  
 TGD (1)=1.54E-23  
 D=3.599 ALB=76.39% ALE=54.693 BLB=50.99% ANZ=9.8% ANE=10.2% EMAX=28%  
 E (1)=19.2822  
 TGD (1)=7.49E-25

Редактор М. В. Глушкиков  
 Технический редактор Л. Я. Митрофанова  
 Корректор Н. Н. Чеколина

Сдано в наб. 16.04.86 Подп. в печ. 09.07.86 1,5 п. л. 1,6 усл. кр-отт 1,24 уч-зда л.  
 Тираж 16000 Цена 5 коп.

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов, 121819, Москва, ГСП,  
 Новопресненский пер. 3,  
 Калужская типография стандартов, ул. Малокаменка, 256. Зак. 1183