

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

МАТЕРИАЛЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ТАНГЕНСА УГЛА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц

ГОСТ 22372—77

Издание официальное

Цена 5 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
Москва

gost.e-ecolog.ru

УДК .621.315.61.019.3 : 006.354 Группа Э19

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ СОЮЗА ССР

МАТЕРИАЛЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц

Dielectric materials. Methods of determination of permittivity and powerfactor with in a frequency range of 100 to $5 \cdot 10^6$ Hz

ГОСТ 22372—77

Взамен
ГОСТ 9141—65,
ГОСТ 13671—68

Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 18 февраля 1977 г. № 424 срок действия установлен

с 01.01 1978 г.
до 01.01 1983 г.

Несоблюдение стандарта преследуется по закону

Настоящий стандарт распространяется на диэлектрические материалы и устанавливает методы определения относительной диэлектрической проницаемости (диэлектрической проницаемости) ε и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц.

Методы испытаний, приведенные в настоящем стандарте, применимы в интервале температур от минус 60 до плюс 250°С.

Стандарт не распространяется на диэлектрические материалы в виде пленок толщиной менее 0,015 см.

Стандарт соответствует рекомендациям СЭВ по стандартизации РС 604—70 и РС 3277—71 за исключением диапазона частот.

1. МЕТОДЫ ОТБОРА ОБРАЗЦОВ

1.1. Порядок отбора, способ обработки и число образцов для испытаний твердых диэлектрических материалов должны быть указаны в стандартах или другой нормативно-технической документации на испытуемый материал. При отсутствии таких указаний число образцов должно быть не менее трех.

1.2. Образцы для испытаний твердых диэлектрических материалов должны быть изготовлены в виде круглых, квадратных пластин или цилиндрических трубок.

1.3. Поверхность образца должна быть ровной, гладкой, без трещин, складок, вмятин, царапин, посторонних включений и других дефектов. При необходимости поверхность образца должна

Издание официальное Перепечатка воспрещена

Переиздание. Ноябрь 1978 г.

быть очищена растворителем, не влияющим на свойства материала.

1.4. Толщина и площадь испытуемых образцов должны быть такими, чтобы емкость конденсатора, полученная после нанесения электродов на испытуемый образец, была достаточной для определения диэлектрической проницаемости с погрешностью в пределах ±4%. При этом диаметр или ширина плоского образца должны быть от 2,5 до 15 см, а длина трубчатого образца — от 10 до 30 см. Во всех случаях отношение диаметра образца к его толщине должно быть не менее 10.

Для материалов с большой ($\varepsilon > 30$) диэлектрической проницаемостью допустимы образцы меньшего диаметра, но не менее 1 см.

1.5. Толщина образца должна определяться как среднеарифметическое результатов измерений его не менее чем в пяти точках, равномерно расположенных по поверхности образца. Погрешность измерения толщины t в каждой точке должна быть в пределах $\pm(0{,}01t+0{,}0002)$ см. Каждое из измеренных значений толщины не должно отличаться от среднеарифметического более чем на 5% при толщинах меньше 0,05 см и на 2% при толщине 0,05 см и более.

1.6. Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь материала должно проводиться на одном и том же образце.

1.7. Число испытываемых проб, объем пробы, необходимый для проведения одного испытания для жидкого диэлектрического материала, должны выбираться в соответствии с ГОСТ 6581—75.

2. АППАРАТУРА

2.1. Измерение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора должно проводиться на установках и приборах, удовлетворяющих следующим требованиям:

а) измерительная установка, состоящая из источника напряжения, измерительного устройства и индикатора, должна обеспечивать проведение измерений в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц или на фиксированных частотах в этом диапазоне;

б) напряжение измерительной цепи должно иметь синусоидальную форму с постоянной амплитудой, а ее значение должно быть указано в стандартах или другой нормативно-технической документации на материал и в любом случае не должна превышать напряжение ионизации. Колебания напряжения должны быть в пределах ±3%, а стабильность частоты напряжения должна быть такой, чтобы ее уход за время измерения был не более 1% измеряемой частоты. Основная погрешность установки частоты должна быть в пределах ±1%;

в) индикатор, используемый в качестве указателя равновесия моста, должен быть достаточно селективным, чтобы исключить влияние искажения формы кривой питающего напряжения. Ослабление второй гармоники по отношению к основной должно быть не менее 35 дБ;

г) основная погрешность прибора (установки), применяемого для измерения емкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ конденсатора в диапазоне емкостей от 20 до 1000 пФ, должна быть в пределах: $\pm(0{,}01\ C+1)$ пФ при измерении C;
$\pm(0{,}05\ \operatorname{tg}\delta+0{,}0002)$ при измерении $\operatorname{tg}\delta$.

2.2. Установка для температурных измерений, в которую кроме приборов для определения ε, $\operatorname{tg}\delta$ и измерительной ячейки входят измерительная камера с системами нагрева, охлаждения, терморегулирования и приборов для измерения температуры, должна удовлетворять следующим требованиям:

а) объем измерительной камеры должен быть достаточным для размещения измерительной ячейки и обеспечивать возможность смены образца;

б) металлические элементы камеры должны быть стойкими к повышенной температуре и окислению, а также достаточно прочными. Наиболее приемлемыми для этой цели являются нержавеющая сталь и латунь;

в) конструкция камеры не должна ухудшать электрические свойства измерительной ячейки, собственная емкость измерительной ячейки должна быть минимальной и не меняться в процессе измерения;

г) измерительная камера должна обеспечивать равномерное распределение температуры по всему объему. Перепад температур в месте расположения образца не должен превышать 2°С. При необходимости конструкция камеры должна предусматривать принудительное перемешивание воздуха;

д) измерительная ячейка и образец не должны подвергаться прямому облучению от нагревательных элементов;

е) система терморегулирования должна обеспечивать равномерное изменение температуры в камере со скоростью от 1 до 15°С в минуту или поддержание температуры на постоянном уровне. Колебания температуры при ступенчатом нагреве в месте расположения образца во время измерения должны быть в пределах ± 1°С;

ж) измерение температуры должно проводиться термопарами или другими устройствами, обеспечивающими погрешность измерения в пределах ± 1°С. Термопары должны располагаться в максимальной близости от образца и не должны влиять на результаты измерений. В камере, рассчитанной на одновременное испытание нескольких образцов, термопары должны располагаться возле каждого образца;

з) при низких температурах необходимо предусматривать меры, исключающие конденсацию влаги на поверхности образца, электродах и изоляции (например, обдув парами жидкого азота).

2.3. Перечень измерительной аппаратуры приведен в справочном приложении.

3. ПОДГОТОВКА К ИСПЫТАНИЯМ

3.1. Нормализация и кондиционирование образцов проводятся в соответствии с требованиями, указанными в стандартах или другой нормативно-технической документации на материалы. При отсутствии таких указаний нормализация твердых образцов должна проводиться в нормальных климатических условиях по ГОСТ 6433.1—71 в течение 48 ч, а жидких — по ГОСТ 6581—75.

3.2. Электродные системы

3.2.1. При измерении допускается применять двухэлектродную или трехэлектродную систему в зависимости от применяемых средств измерений.

3.2.2. Трехэлектродную систему применяют для измерения во всем диапазоне частот. В трехэлектродной системе (табл. 1) используют потенциальный электрод *1*, измерительный электрод *2* и охранный электрод (охранное кольцо) *3*.

Диаметр измерительного электрода, который рекомендуется выбирать из ряда: 1; 2,5; 5; 7,5; 10 см, должен быть указан в стандартах или другой нормативно-технической документации на материал. Диаметр потенциального электрода должен быть не менее внешнего диаметра охранного электрода. Ширина охранного электрода должна быть не менее двойной толщины образца, а зазор между измерительным и охранным электродами g должен быть наименьшим. Рекомендуемая ширина охранного электрода — не менее 1 см, а ширина зазора — не более 0,2 см.

Для трубчатых образцов ширина потенциального электрода должна быть от 7,5 до 30 см, ширина охранного электрода — не менее 1 см. Площадь измерительного электрода должна соответствовать площади круглого электрода, вычисленной из приведенного выше ряда.

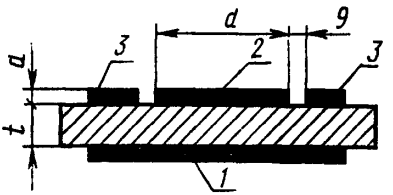
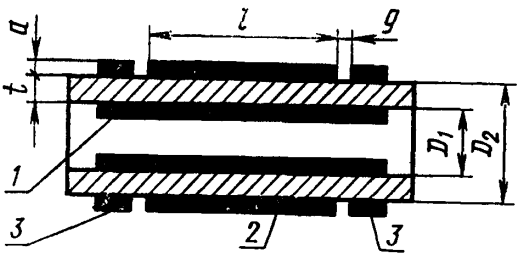
Формулы для определения емкости трехэлектродной системы в вакууме C_0, необходимые для вычисления диэлектрической проницаемости, приведены в табл. 1 и на черт. 1.

3.2.3. Двухэлектродную систему рекомендуется использовать, если приборы не позволяют подключение охранного электрода и поверхностной проводимостью образца можно пренебречь.

Таблица 1

Формулы для вычисления C_0 при измерениях с применением трехэлектродной системы

Размеры в см

Расположение электродов и образца	Межэлектродная емкость в вакууме C_0, пФ
Круглые электроды 	$C_0 = 0{,}0695 \frac{(d + B \cdot g)^2}{t}$
Цилиндрические электроды 	$C_0 = \frac{0{,}2416\ (l + B \cdot g)}{\lg \frac{D_2}{D_1}}$

$$B = 1 - 2{,}932 \frac{t}{g} \lg \operatorname{ch}\left(0{,}7854 \cdot \frac{g}{t}\right), \text{ если } a \ll t;$$

$$B = 1, \text{ если } a > t.$$

Размеры электродов выбираются в соответствии с п. 3.2.2. В двухэлектродной системе (табл. 2) электроды могут быть меньше образца или доходить до края образца.

Если электроды одинаковы и меньше чем образец, то они должны отстоять от края не менее чем на двойную толщину образца. При этом несоосность электродов не должна превышать 1% диаметра измерительного электрода.

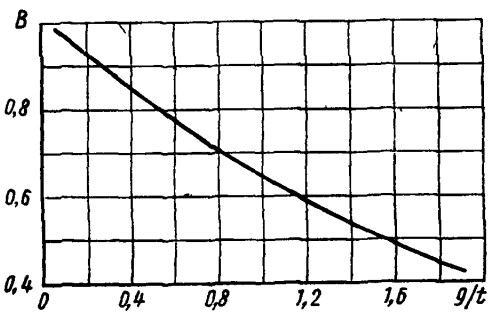
Если электроды неодинаковы, то диаметр большего электрода должен превышать диаметр меньшего по крайней мере на двойную толщину образца.

При вычислении диэлектрической проницаемости необходимо учитывать краевую емкость C_e и емкость по отношению к земле C_z. Емкость образца C_x определяют по формуле

$$C_x = C'_x - (C_e + C_z), \quad (1)$$

где C'_x — измеренное значение емкости.

Значения поправочного коэффициента B в зависимости от отношения $\frac{g}{t}$



Черт. 1

Истинное значение тангенса угла диэлектрических потерь tgδ образца вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{C'_x}{C_x}\operatorname{tg}\delta', \quad (2)$$

где $\operatorname{tg}\delta'$ — измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь.

Формулы для вычисления C_0 и C_e приведены в табл. 2 и на черт. 2. Значение емкости C_z должно определяться измерением.

3.3. Материалы электродов

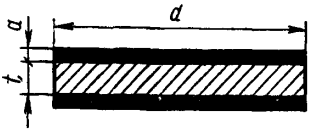
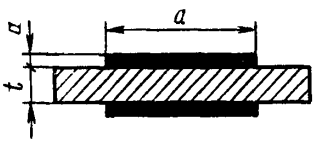
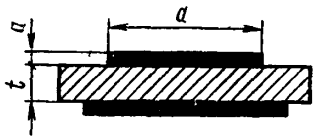
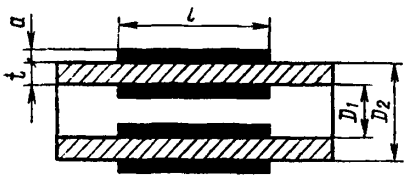
3.3.1. Электроды для твердых образцов должны изготовляться:

а) из металлической фольги (из олова, свинца — по ГОСТ 18394—73 или из сплавов этих металлов толщиной до 50 мкм, алюминия — по ГОСТ 618—73 толщиной до 15 мкм или отожженного алюминия толщиной до 30 мкм). Электроды притираются к образцу с помощью тонкого слоя конденсаторного вазелина — по ГОСТ 5774—76, конденсаторного масла — по ГОСТ 5775—68, кремнийорганической жидкости по ГОСТ 10916—74 или другого аналогичного материала, обладающего малыми диэлектрическими потерями (tgδ не более $3 \cdot 10^{-4}$);

Таблица 2

Формулы для вычисления C_0 и C_e при измерениях с применением двухэлектродной системы

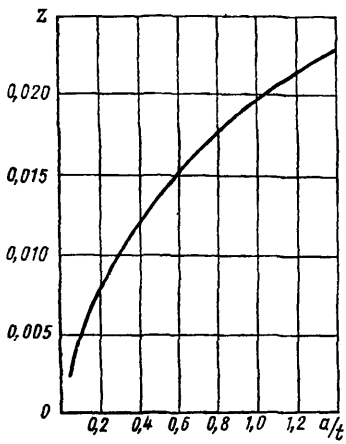
Размеры в см

Расположение электродов и образцов	Межэлектродная емкость в вакууме C_0, пФ	Краевая емкость C_e, пФ
Круглые электроды 	$C_0=0{,}0695\frac{d^2}{t}$	Для $a<t$ $C_e=\pi d(0{,}029-0{,}058\lg t)$; для $a\approx t$ $C_e=\pi d(0{,}0326\lg\frac{d}{t}+z+0{,}0031)$, где $z=0{,}0326[(1+\frac{a}{t})\lg(1+\frac{a}{t})-\frac{a}{t}\lg\frac{a}{t}]$;
Круглые электроды 	$C_0=0{,}0695\frac{d^2}{t}$	для $a<t$ $C_e=\pi d(0{,}019\varepsilon_r'-0{,}058\lg t+0{,}010)$
		для $a<t$ $C_e=\pi d(0{,}041\varepsilon_r'-0{,}077\lg t+0{,}045)$
Цилиндрические электроды 	$C_0=\frac{0{,}2416\cdot l}{\lg\frac{D_2}{D_1}}$	$\frac{t}{D_1}<0{,}1$ $a<t$ $C_e=\pi(D_1+t)(0{,}019\varepsilon_r'-0{,}058\lg t+0{,}010)$

Примечание. ε_r' — задаваемая диэлектрическая проницаемость образца.

C_e — емкость, учитывающая неоднородность электрического поля на концах пластин конденсатора.

Зависимость поправки Z для краевой емкости (табл. 2) от отношения $\frac{a}{t}$



Черт. 2

б) в виде слоя серебра, цинка или алюминия, нанесенного на поверхность образца вжиганием, катодным распылением или испарением в вакууме. Края таких электродов должны быть точно определены, а покрытие должно быть плотным, равномерным и без просветов. Электроды, нанесенные вжиганием, могут быть применимы для материалов, выдерживающих температуру отжига (керамика, слюда, стекло). Электроды, нанесенные распылением металла в вакууме, могут применяться при испытании материалов, не изменяющих своих свойств в вакууме, и могут наноситься на образец до кондиционирования;

в) в виде токопроводящей резины с учетом ее нагревостойкости и морозостойкости. Такие электроды целесообразно применять в тех случаях, когда недопустимо какое-либо влияние электродов или способа их нанесения на свойства материала, а также при необходимости сокращения времени испытаний или при измерениях осведомительного характера. Размеры электродов при этом должны контролироваться особенно тщательно;

г) в виде токопроводящих покрытий, изготовленных из различных видов паст и лаков, содержащих, например, серебро. Некоторые из этих видов покрытий, обладающие пористостью, позволяющей проникать влаге, могут наноситься на образец до кондиционирования.

При нанесении электродов необходимо следить за тем, чтобы их края были ровными.

Недопустимо применение лаков и паст, содержащих растворитель, влияющий на свойства измеряемого материала;

д) в виде металлических нажимных электродов из стали по ГОСТ 5632—72, цветных или благородных металлов, устойчивых против коррозии и не окисляющихся после выдержки при повышенной температуре. Шероховатость рабочих поверхностей электродов должна быть не хуже 10-го класса по ГОСТ 2789—73.

3.3.2. При выборе того или иного типа электродов необходимо учитывать то, что их нанесение не должно изменять физико-химических и электрических свойств испытуемых материалов.

При нанесении электродов необходимо предохранять поверхность образца от загрязнений.

3.3.3. Сопротивление между крайними точками электрода (п. 3.3.1 *б, в, г*), измеренное цилиндрическими щупами диаметром 1,5—2 мм со сферическим концом, должно быть не более 0,1 Ом.

3.3.4. Линейные размеры любых электродов, определяющие их площадь, должны быть измерены с погрешностью в пределах $\pm(0{,}005\,L+0{,}01)$ см, где L — линейный размер электрода.

3.3.5. Электроды для испытания жидких диэлектрических материалов должны изготовляться по ГОСТ 6581—75.

3.4. Виды электродов

3.4.1. Образец может быть снабжен электродами, нанесенными или приложенными к его поверхности.

Материал электрода выбирается в соответствии с п. 3.3, а размеры электродов — *в соответствии с п. 3.2.*

3.4.2. При измерениях на частотах до 1 МГц включительно электродные устройства (системы проводников, осуществляющих связь испытуемого образца с прибором) могут выполняться в виде рычажных, винтовых и пружинных устройств, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

а) сопротивление подводящих проводов и их контактов с электродами и измерительными приборами в сумме не должно превышать 0,03 Ом на постоянном токе;

б) давление электрода на образец должно быть 10 ± 2 кН/м^2;

в) тангенс угла диэлектрических потерь электродного устройства не должен превышать 0,0001.

3.4.3. При частотах свыше 0,1 МГц рекомендуется измерительная ячейка с микрометрическим винтом или аналогичным устройством, схематическое изображение которой приведено на черт. 3.

При частотах свыше 1 МГц применение этой ячейки обязательно.

Измерительная ячейка с микрометрическим винтом должна отвечать следующим требованиям:

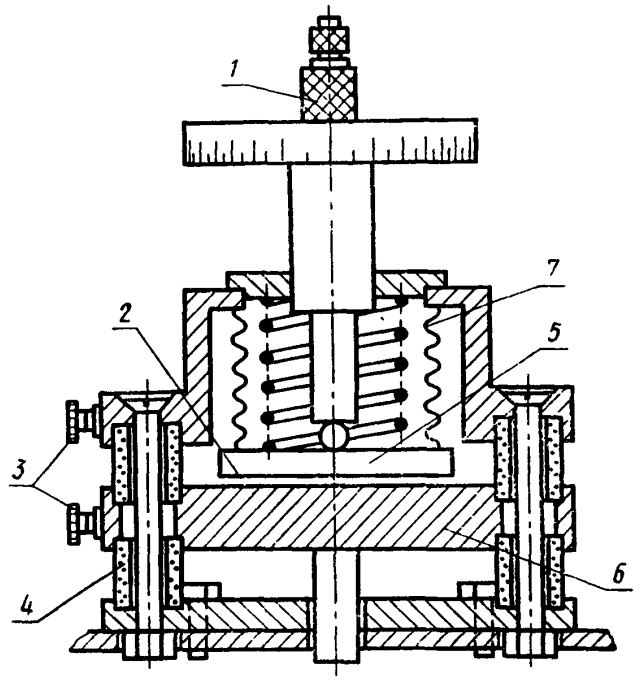
а) погрешность отсчета и установления расстояний между электродами l'' должна быть в пределах $\pm(0{,}01l''+0{,}00025)$ см;

б) диаметр электродов должен выбираться в соответствии с п. 3.2. Наиболее удобен диаметр 5 см. При этом максимальная емкость конденсаторов, получаемая сближением электродов, должна быть не менее 600 пФ;

в) рабочие поверхности электродов должны быть притерты друг к другу и иметь шероховатость не хуже 10-го класса по ГОСТ 2789—73;

г) несоосность электродов не должна быть более 0,01 см. При измерении образец помещают между электродами измерительной ячейки и подвижный электрод опускают до тех пор, пока образец

Измерительная ячейка



Черт. 3

1—микрометрическая головка; *2*—пространство для образца; *3*—металлические клеммы; *4*—плавленый кварц; *5*—подвижный электрод; *6*—неподвижный электрод; *7*—металлический сильфон

не будет зажат между пластинами. По микрометру отсчитывают расстояние между электродами. При наличии нанесенных на образец электродов их толщина вычитается из отсчитанного по микрометру расстояния.

При втором измерении образец вынимают и устанавливают такое расстояние между электродами t'', чтобы емкость измерительной ячейки осталась такой же, как при измерении с образцом.

3.4.4. Измерение на образцах с небольшой поверхностной проводимостью можно проводить без нанесения электродов, используя систему бесконтактных электродов, имеющих зазор, наполненный воздухом или жидкостью по одной или обе стороны образца.

Этот метод, в основном, используется для измерения диэлектрической проницаемости.

В случае использования системы, заполненной воздухом, изменением расстояния между электродами подбирается одинаковая

емкость системы при измерении с образцом и без него. При этом можно использовать охранный электрод.

При использовании метода погружения подбирается жидкость, диэлектрическая проницаемость которой близка или равняется диэлектрической проницаемости образца, а тангенс угла диэлектрических потерь пренебрежимо мал. В этом случае результат измерения практически не зависит от толщины образца.

Если применяются две жидкости, толщина образца из формулы для определения ε исключается.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

4.1. Определение емкости и тангенса угла диэлектрических потерь конденсатора на установках или приборах, удовлетворяющих требованиям п. 2.1, проводится в соответствии с правилами работы на них, утвержденными в установленном порядке.

4.2. Испытания образцов должны проводиться при температуре окружающей среды 15—35°С и относительной влажности воздуха 45—80%, если в стандартах или другой нормативно-технической документации на материал не указаны другие условия испытаний.

4.3. Если измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь проводят при высоких или низких температурах, то метод подъема или понижения температуры (непрерывный или ступенчатый) должен быть указан в стандартах или другой нормативно-технической документации на материал.

4.4. При непрерывном изменении температуры образца максимальная скорость подъема (понижения) температуры не должна превышать 2°С в минуту.

4.5. При ступенчатом методе повышения (понижения) температуры максимальная скорость изменения температуры в камере не должна превышать 15°С в минуту. Жидкость выдерживают 20 мин при заданной температуре, а образцы твердых диэлектрических материалов по 10 мин на каждый миллиметр толщины образца, если другое время выдержки образца на каждой ступени не указано в стандарте или другой нормативно-технической документации на материал.

Примечание. В образцах под действием температуры могут происходить структурные изменения, влияющие на результаты испытаний, поэтому после окончания измерений в условиях повышенной (пониженной) температуры рекомендуется производить дополнительные измерения при исходной температуре, чтобы определить, не вызвало ли действие высоких (низких) температур изменений в образце.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

5.1. Относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрического материала ε определяется как отношение емкости C_x конденсатора, в котором пространство между и вокруг электродов полностью заполнено испытываемым диэлектрическим материалом, к емкости таким же образом расположенных электродов в вакууме C_0.

$$\varepsilon = \frac{C_x}{C_0}. \qquad (3)$$

При определении относительной диэлектрической проницаемости диэлектрического материала по формуле (3) можно заменить с практически достаточной точностью межэлектродную емкость, в вакууме C_0 межэлектродной емкостью в воздухе $C_в$, так как относительная диэлектрическая проницаемость сухого воздуха при нормальных атмосферных условиях близка к единице ($\varepsilon_в = 1{,}00053$).

5.2. Диэлектрическая проницаемость твердых образцов определяется по формуле (3) и формулам табл. 1, 2 и 3. Емкость образца C_x при использовании двухэлектродной системы определяется по формуле (1).

Тангенс угла диэлектрических потерь определяется по формуле (2).

Для трехэлектродной системы величины C_x и $\operatorname{tg}\delta$ равны их измеренным значениям.

5.3. В случае использования микрометрических электродов (п. 3.4.3) при применении контактных методов измерения диэлектрическая проницаемость ε твердых образцов определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{t'}{t''}, \qquad (4)$$

где t' — толщина образца;

t'' — расстояние между пластинами конденсатора без образца (п. 3.4.3).

Примечание. В этом случае диаметр образца должен быть больше диаметра электрода не менее чем на двойную толщину образца.

5.4. Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ для плоских образцов вычисляют:

при измерениях на приборах или установках, приспособленных для непосредственного измерения тангенса угла диэлектрических потерь, по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{C_1}{C_x}(\operatorname{tg}\delta_1 - \operatorname{tg}\delta_2), \qquad (5)$$

где $tg\delta_1$ — тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора с образцом;

$tg\delta_2$ — тангенс угла диэлектрических потерь конденсатора без образца;

C_1 — полная емкость конденсатора с образцом, пФ;

C_x — емкость образца, пФ, определяемая по формуле

$$C_x = 0{,}0695\frac{d^2}{l''}, \qquad (6)$$

где d — диаметр электрода;

при измерении на приборах или установках, приспособленных для определения добротности измеряемой цепи (резонансные методы), по формуле

$$tg\,\delta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1 \cdot Q_2} \cdot \frac{C_{рез}}{C_x}, \qquad (7)$$

где Q_1 — добротность контура, когда между пластинами конденсатора находится образец;

Q_2 — добротность контура, когда образец удален;

$C_{рез}$ — полная емкость контура, пФ, равная емкости эталонного конденсатора настроенного прибора, когда измеряемый конденсатор отключен;

C_x — емкость испытуемого образца, определяемая по формуле (6).

5.5. Формулы для вычисления диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь с использованием бесконтактных электродов (п. 3.4.4) приведены в табл. 3.

5.6. Диэлектрическую проницаемость ε для жидких диэлектрических материалов определяют по формулам:

а) для трехзажимных ячеек

$$\varepsilon = \frac{C_1}{C_0}, \qquad (8)$$

где C_1 — емкость измерительной ячейки, пФ, заполненной испытываемым жидким диэлектриком;

C_0 — емкость измерительной ячейки с воздухом, пФ;

б) для двухзажимных ячеек

$$\varepsilon = \frac{C_1 - C_п}{C_0 - C_п}, \qquad (9)$$

где $C_п$ — постоянная ячейка, пФ, определяемая по формуле (10).

Таблица 3

Формулы для вычисления диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь при измерениях с применением бесконтактных электродов

Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь tg δ
1. Микрометрические электроды в воздухе (с охранным кольцом)	
$\varepsilon_x = \dfrac{1}{1-\dfrac{\Delta C}{C_t}\cdot\dfrac{t_0}{t}}$ или, если выравнивается на новую величину t'_0, $\Delta C=0$; $\varepsilon_x = \dfrac{t}{t-(t_0-t_0')}$	$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_c + M\varepsilon_x \Delta \operatorname{tg}\delta$
2. Электроды в форме плит—измерение в жидкости	
$\varepsilon_x = \dfrac{\varepsilon_t}{1+\operatorname{tg}^2\delta_x}\times\left[\dfrac{(C_t+\Delta C)\cdot(1+\operatorname{tg}^2\delta_c)}{C_t+M[C_t-(C_t+\Delta C)\cdot(1+\operatorname{tg}^2\delta_c)]}\right]$	$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_c + \Delta\operatorname{tg}\delta M\times\left[\dfrac{(C_t+\Delta C)(1+\operatorname{tg}^2\delta_c)}{C_t+M[C_t-(C_t+\Delta C)(1+\operatorname{tg}^2\delta_c)]}\right]$
Если $\operatorname{tg}\delta_x < 0{,}1$, то применимы формулы	
$\varepsilon_x = \dfrac{\varepsilon_t}{1-\dfrac{\Delta C}{\varepsilon_t C_0+\Delta C}\cdot\dfrac{t_0}{t}}$	$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_c + M\dfrac{\varepsilon_x}{\varepsilon_t}\Delta\operatorname{tg}\delta$
3. Цилиндрические электроды—измерение в жидкости	
$(\operatorname{tg}\delta_x < 0{,}1)$ $\varepsilon_x = \dfrac{\varepsilon_t}{1-\dfrac{\Delta C}{C_1}\cdot\dfrac{\lg\dfrac{d_3}{d_0}}{\lg\dfrac{d_2}{d_1}}}$	$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_c + \Delta\operatorname{tg}\delta\times\times\dfrac{\varepsilon_x}{\varepsilon_t}\cdot\left[\dfrac{\lg\dfrac{d_3}{d_0}}{\lg\dfrac{d_2}{d_1}}-1\right]$
4. Электроды в форме плит—метод двух жидкостей	
$(\operatorname{tg}\delta_x < 0{,}1)$ $\varepsilon_x = \varepsilon_{f_1} + \dfrac{\Delta C_1\cdot C_2(\varepsilon_{f_2}-\varepsilon_{f_1})}{\Delta C_1\cdot C_2-\Delta C_2\cdot C_1}$	$\operatorname{tg}\delta_x = \operatorname{tg}\delta_c + M\dfrac{\varepsilon_x}{\varepsilon}\cdot\Delta\operatorname{tg}\delta$

Примечание. ΔC — изменение емкости системы при вложении образца (положительное, если емкость увеличивается); C_1 — емкость системы с образцом; $\Delta \operatorname{tg} \delta$ — увеличение тангенса угла диэлектрических потерь системы после вложения образца; $\operatorname{tg} \delta_c$ — тангенс угла диэлектрических потерь системы с образцом; t_0—расстояние между плитами; t—средняя толщина образца $M=\frac{t_0-t}{t}$; $C_f=\varepsilon_f \cdot C_0$ — емкость системы только с жидкостью; ε_f — диэлектрическая проницаемость жидкости при температуре измерения (для воздуха $\varepsilon_в=1{,}00$); C_0 — емкость системы в вакууме для данного расположения электродов, пФ; $C_0=0{,}08854\frac{A}{t_0}$ где A — площадь образца, см² (или площадь электрода, если размеры образца такие же, как размеры электрода или больше); d_0 — внешний диаметр внутреннего электрода, d_1 — внутренний диаметр образца; d_2 — внешний диаметр образца; d_3 — внутренний диаметр внешнего электрода. При методе двух жидкостей индексы 1 и 2 приходятся соответственно на первую и вторую жидкость.

$$C_п=\frac{C_0 \cdot \varepsilon_к - C_к}{\varepsilon_к - 1}, \tag{10}$$

где $C_к$ — емкость измерительной ячейки, пФ, заполненной жидкостью с заранее известным значением $\varepsilon_к$ (так называемой градуировочной или калибровочной жидкостью).

5.7. Тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ для жидких диэлектрических материалов вычисляют по формулам:

а) для трехзажимных ячеек

$$\operatorname{tg}\delta=\operatorname{tg}\delta_1-\frac{C_0}{C_1}\operatorname{tg}\delta_0; \tag{11}$$

б) для двухзажимных ячеек

$$\operatorname{tg}\delta=\frac{C_1}{C_1-C_п}\left(\operatorname{tg}\delta_1-\frac{C_0}{C_1}\operatorname{tg}\delta_0\right), \tag{12}$$

где C_0 и $\operatorname{tg}\delta_0$ — емкость, пФ, и тангенс угла диэлектрических потерь измерительной ячейки соответственно;

C_1 и $\operatorname{tg}\delta_1$ — емкость, пФ, и тангенс угла диэлектрических потерь измерительной ячейки, заполненной испытуемым жидким диэлектриком соответственно.

5.8. Погрешность вычисленного значения диэлектрической проницаемости должна быть в пределах $\pm 4\%$.

5.9. Погрешность вычисленного значения тангенса угла диэлектрических потерь должна быть в пределах $\pm(0{,}07\operatorname{tg}\delta+0{,}0002)$.

5.10. Из значений, полученных при измерении, определяется стандартное отклонение S по формуле

$$S=\sqrt{\frac{\Sigma\Delta_i^2}{n-1}}, \tag{13}$$

где $\Delta_i=\overline{\varepsilon}-\varepsilon_i$ или $\Delta_i=\overline{\operatorname{tg}\delta}-\operatorname{tg}\delta_i$;

n — число измерений;

ε_i, $tg\delta_i$ — измеренные значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь соответственно;

$\bar{\varepsilon}$, $\bar{tg\delta}$ — среднеарифметические значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь соответственно.

5.11. Результаты каждого испытания должны быть оформлены протоколом, в котором указывают:

а) описание испытуемого материала (его наименование и марку, предприятие-изготовитель, внешний вид и т. п.);

б) форму, размеры и обработку образцов;

в) число образцов, подвергнутых испытанию;

г) материал, форму и размеры электродов;

д) время кондиционирования образца и условия окружающей среды при кондиционировании и во время испытаний;

е) тип применяемой аппаратуры и частоту, на которой проводилось испытание;

ж) метод измерения;

з) тангенс угла диэлектрических потерь и диэлектрическую проницаемость (среднеарифметическое значение, допускаемое отклонение и число измерений);

и) дату проведения испытания;

к) обозначение настоящего стандарта.

6. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1. Аппаратура, применяемая для измерения электрических параметров диэлектрического материала, должна соответствовать требованиям безопасности, установленным в ГОСТ 22261—76.

6.2. Для предупреждения поражения электрическим током необходимо предусмотреть:

надежное заземление установок (приборов);

надежную изоляцию наружной электропроводки;

ограждение всех доступных для прикосновения токоведущих частей установок.

6.3. На каждом испытательном участке должна быть инструкция по технике безопасности и журнал проведения инструктажа, утвержденные в установленном порядке.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Справочное

Рекомендуемая аппаратура для измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь

Тип прибора	Диапазон частот, кГц	Рекомендуемые пределы измерений	Основные погрешности измерений
Диэлькометр «Тангенс-2М»	10^2—10^4	$\operatorname{tg}\delta$—(0,5 · 10^{-4}—1)	$\operatorname{tg}\delta$—$\pm\left(5+\frac{0{,}003}{\operatorname{tg}\delta}\right)$ % ε—(0,02—2) %
Мост Р-589	1	C—(0,01 пФ—10 мкФ) $\operatorname{tg}\delta$—(3 · 10^{-4}—0,1)	C—$\pm\left(0{,}1+\frac{2}{C_x}\right)$ % $\operatorname{tg}\delta$—$\pm$ (0,02 $\operatorname{tg}\delta$ + +3 · 10^{-4})
Куметр Е4—7	50—35 · 10^3	C—(25—459) пФ	Определяются измеряемыми значениями
Куметр Е4—10	1—100	C—(80—110000) пФ	$\pm$ (1;2) %
Мост Е7—4	01 и 1	C—(10—10^8) пФ $\operatorname{tg}\delta$—(0,005—0,1)	C—$\pm\left(2+\frac{30}{C}\right)$ % $\operatorname{tg}\delta\pm$ (5 · 10^3+0,1)
Измеритель емкости цифровой Е-8—4	1	C—(0,03—15,999 · 10^6) пФ $\operatorname{tg}\delta$—(5 · 10^{-4}—999 · 10^{-4})	C—0,001C+0,02 пФ + +1 ед. счета $\operatorname{tg}\delta$—$\pm$ (0,02 $\operatorname{tg}\delta$ +5 · 10^{-4})
Диэлькометр «Январь»	0,00001—0,1	C—(0,01—400) пФ $\operatorname{tg}\delta$ (10^{-4}—1)	C—(0,1—2,0) % $\operatorname{tg}\delta$—от 5 до 20% в зависимости от измеряемого значения

Группа Э19

Изменение № 1 ГОСТ 22372—77 Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц

Постановлениями Государственного комитета СССР по стандартам от 22.02.83 № 887, 904 срок введения установлен

с 01.07.83

Под обозначением стандарта на обложке и первой странице указать обозначение: **(СТ СЭВ 3164—81 и СТ СЭВ 3166—81).**

Вводная часть. Первый абзац дополнить словами: «(с 1985 г. от 15 до $300 \cdot 10^6$ Гц)»; последний абзац изложить в новой редакции: «Стандарт соответствует СТ СЭВ 3164—81 и СТ СЭВ 3166—81 (см. справочное приложение 2)».

Пункты 1.4, 1.5, 2.2 (е, ж), 5.8, 5.9. Заменить слова: «в пределах» на «не более».

Пункт 2.1 (*б, г*). Заменить слова: «должны быть в пределах» на «не должны превышать»; «должна быть в пределах» на «не должна превышать».

Пункт 3.3.4. Заменить слова: «в пределах» на «не превышающей».

Пункт 6.1. Заменить ссылку: ГОСТ 9763—67 на ГОСТ 22261—82.

Приложение. Графа «Тип прибора». Заменить слово: «Январь» на «Янтарь».

Стандарт дополнить приложением — 2:

«ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ О СООТВЕТСТВИИ ГОСТ 22372—77 СТ СЭВ 3164—81 и СТ СЭВ 3166—81

Разд. I ГОСТ 22372—77 соответствует разд. III и пп. 4.4.1—4.4.4 СТ СЭВ 3164—81 и п. 1.2 СТ СЭВ 3166—81.

Разд. II ГОСТ 22372—77, п. 2.1 соответствует пп. 4.1; 4.1.1—4.1.4 СТ СЭВ 3164—81 и п. 1.4 СТ СЭВ 3166—81.

Разд. III ГОСТ 22372—77 соответствует пп. 4.2; 4.2.1—4.2.3; 4.3; 4.3.1—4.3.10 СТ СЭВ 3164—81 и п. 1.5 СТ СЭВ 3166—81.

Разд. IV ГОСТ 22372—77 соответствует пп. 4.4.4; 4.4.5 СТ СЭВ 3164—81 и п. 1.6 СТ СЭВ 3166—81.

Разд. V ГОСТ 22372—77 соответствует пп. 4.2.4; 5; 6 СТ СЭВ 3164—81 и п. 1.7 СТ СЭВ 3166—81».

(ИУС № 6 1983 г.)

gost.e-ecolog.ru