ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 71601— 2024

ДИЭЛЕКТРИКИ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ

Метод определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 2,5 до 3,5 ГГц

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Российский научно-исследовательский институт «Электронстандарт» (АО «РНИИ «Электронстандарт»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 303 «Электронная компонентная база, материалы и оборудование»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2024 г. № 1194-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДИЭЛЕКТРИКИ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ

Метод определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 2,5 до 3,5 ГГц

Inorganic dielectrics. Method for determining the relative permittivity and the tangent of the dielectric loss angle in the frequency range from 2.5 to 3.5 GHz

Дата введения — 2025—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на твердые неорганические диэлектрики с относительной диэлектрической проницаемостью (далее — диэлектрическая проницаемость) ε от 2 до 50 и тангенсом угла диэлектрических потерь tg δ от $5 \cdot 10^{-2}$ до $1 \cdot 10^{-4}$ и устанавливает резонансный метод определения ε и tg δ этих материалов в диапазоне частот от 2,5 до 3,5 ГГц.

Метод испытаний, приведенный в данном стандарте, применим в интервале температур от минус 60 °С до плюс 500 °С.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.010 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.1.030 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление

ГОСТ 12.2.032 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

ГОСТ 12.2.033 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования

ГОСТ 12.2.061 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам

ГОСТ 12.3.019 Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности

ГОСТ 166 (ИСО 3599—76) Штангенциркули. Технические условия

ГОСТ 6507 Микрометры. Технические условия

ГОСТ 16962 Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 70658 Керамика вакуумплотная. Термины и определения

ГОСТ Р 71073 Материалы стеклокристаллические. Термины и определения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам

Издание официальное

ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 70658 и ГОСТ Р 71073.

4 Принцип и условия измерения

4.1 Резонансный метод основан на определении изменений резонансной частоты (для ε) и полосы пропускания (для tg δ) измерительного резонатора при помещении в него образца диэлектрика.

4.2 Испытание образцов проводят в нормальных климатических условиях, установленных ГОСТ 16962, а также при температурах от 20 °С до 500 °С и от минус 60 °С до плюс 20 °С.

5 Требования к образцам

5.1 Образцы для испытания должны иметь форму и размеры, приведенные на рисунках 1 и 2 и в таблицах 1 и 2.

Примечание — В технически обоснованных случаях допускается применение образцов с длиной, отличной от приведенной на рисунках 1 и 2 и в таблицах 1 и 2.

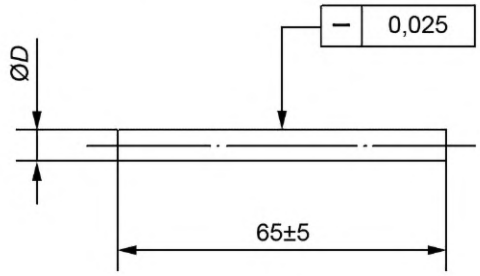


Рисунок 1

Таблица 1

В миллиметрах

ε	*D*	
	Номинал	Предельное отклонение
До 20	3,5 4,0 4,5	*h* 9
Св. 20 до 50	2,0 2,5 3,0	

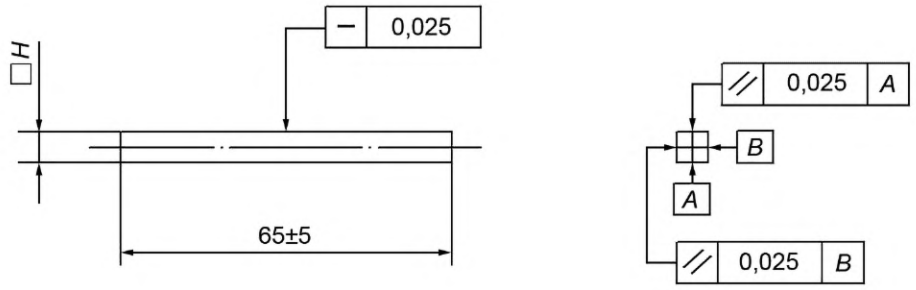


Рисунок 2

Таблица 2

В миллиметрах

ε	D	
	Номинал	Предельное отклонение
До 20	3,5 4,0 4,5	*h*9
Св. 20 до 50	2,0 2,5 3,0	

5.2 Размеры образца (*D* или *H*) измеряют в трех точках.

При расчете берут среднее арифметическое всех измерений. Образцы из диэлектрика могут иметь круглую и прямоугольную формы.

5.3 Испытание проводят не менее чем на трех образцах.

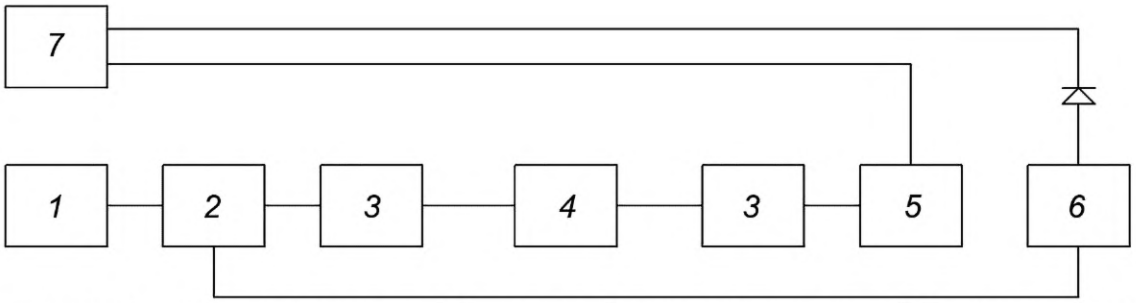
6 Требования к средствам измерения и вспомогательному оборудованию

6.1 Измерения следует проводить на установке, электрическая структурная схема которой приведена на рисунке 3.

6.2 Основные элементы установки, приведенной на рисунке 3, должны удовлетворять следующим требованиям:

- генератор СВЧ, перекрывающий диапазон частот от 2 до 3,5 ГГц, с выходной мощностью 20 МВт, обеспечивающий свипирование частоты;
- индикатор. Чувствительность усилителя по вертикали не хуже 70 мкВ/см с полосой пропускания от 20 Гц до 5 кГц и неравномерностью частотной характеристики не более 3 дБ;
- волномер резонансного типа с возбуждаемым колебанием вида Н011, перекрывающий диапазон собственных частот от 2,5 до 3,5 ГГц. Нагруженная добротность — 20 000—30 000 с абсолютной погрешностью измерения 0,05 %;
- резонатор измерительный, работающий на колебаниях типа E_{010}, с добротностью не хуже 10^4. Резонатор должен иметь хорошую проводимость и устойчивость при работе в интервале температур от минус 60 °С до плюс 500 °С (серебро);
- ответвитель направленный с переходным ослаблением 15—20 дБ;
- камера тепла (холода), позволяющая проводить смену испытуемых образцов в процессе нагрева (охлаждения). Скорость подъема (понижения) температуры должна быть в пределах 3—5 °С/мин.

Измерение температуры проводится термопарами с погрешностью измерения ±1 °С.



1 — генератор; *2* — ответвитель направленный, *3* — вентили; *4* — резонатор измерительный; *5* — головка детекторная; *6* — волномер; *7* — индикатор

Рисунок 3 — Электрическая структурная схема

6.3 Для измерения образцов применяют:
- микрометр с ценой деления 0,01 мм — по ГОСТ 6507;
- штангенциркуль с отсчетом по нониусу 0,1 мм — по ГОСТ 166.

7 Подготовка к измерению

7.1 Включают установку, руководствуясь инструкцией по эксплуатации на установку.
7.2 Прогревают установку в течение 10 мин.
7.3 Получают четкое изображение резонансной кривой на экране электронно-лучевой трубки индикатора 2 в соответствии с рисунком 4.

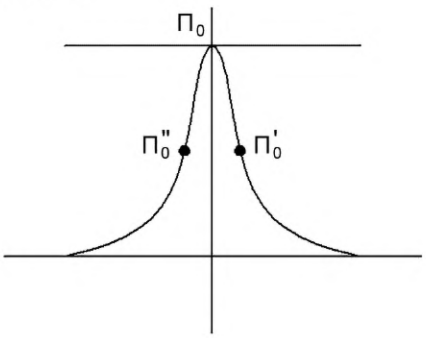


Рисунок 4 — Резонансная кривая измерительного резонатора без образца

7.4 Настраивают волномер *3* на резонансную частоту измерительного резонатора f_0, при этом сигнал от волномера (метка) должен совместиться с вершиной резонансной кривой.

8 Проведение измерения

8.1 Проведение измерения при температуре плюс 20 °С

8.1.1 Устанавливают образец диэлектрика в отверстие измерительного резонатора.
8.1.2 Получают на экране индикатора четкое изображение резонансной кривой в соответствии с рисунком 5.

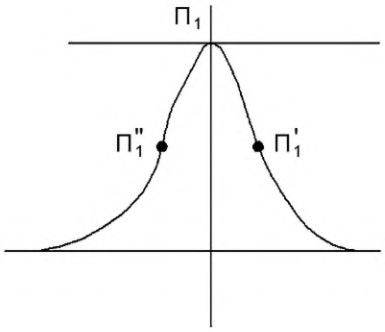


Рисунок 5 — Резонансная кривая измерительного резонатора с образцом

8.1.3 Настраивают волномер на резонансную частоту резонатора с образцом f_1.

Устанавливая метку на вершину резонансной кривой, а затем справа и слева на уровне половины ординаты в соответствии с рисунком 5 фиксируют число делений, соответствующих этим положениям метки, по шкале волномера ($П_1$, $П_1'$, $П_1''$).

8.1.4 Повторяют измерение по 8.1.3 для резонатора без образца, фиксируя число делений волномера, соответствующих тем же положениям метки на резонансной кривой ($П_0$, $П_0'$, $П_0''$) в соответствии с рисунком 4.

8.2 Проведение измерения в интервале температур от минус 60 °С до плюс 20 °С

8.2.1 Устанавливают образец диэлектрика в измерительный резонатор.

8.2.2 Помещают измерительный резонатор в камеру холода.

8.2.3 Снижают температуру до заданной и удерживают в течение 5 мин.

8.2.4 Проводят измерения при заданной температуре в соответствии с 8.1.2—8.1.4.

8.3 Проведение измерения в интервале температур от 20 °С до 500 °С

8.3.1 Устанавливают образец диэлектрика в измерительный резонатор.

8.3.2 Помещают измерительный резонатор в камеру тепла.

8.3.3 Повышают температуру достаточно и выдерживают в течение 5 мин.

8.3.4 Проводят измерения при заданной температуре в соответствии с 8.1.2—8.1.4.

9 Обработка результатов

9.1 Диэлектрическую проницаемость ε и тангенс угла диэлектрических потерь tg δ вычисляют по формулам:

$$\varepsilon = 1 + 0{,}538\left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_0 - f_1}{f_0}\right), \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{0{,}269}{E}\left(\frac{R}{\tau}\right)^2 \cdot \left(\frac{1}{Q_1} - \frac{1}{Q_0}\right), \quad (2)$$

где R — радиус измерительного резонатора, мм;

r — радиус образца круглого сечения или эквивалентной окружности образца прямоугольного сечения, мм;

f_0, f_1 — частоты, соответствующие числу делений $П_0$ и $П_1$ волномера, определенные по градуировочной кривой для резонатора без образца и с образцом, МГц;

Q_0, Q_1 — добротности резонатора без образца и с образцом, вычисляемые по формулам:

$$Q_0 = \frac{f_0}{\Delta f_0}, \quad (3)$$

$$Q_1 = \frac{f_1}{\Delta f_1}, \quad (4)$$

где Δf_0, Δf_1 — полосы пропускания резонатора без образца и с образцом, МГц, вычисляемые по формулам:

$$\Delta f_0 = (П_0' - П_0'')C, \quad (5)$$

$$\Delta f_1 = (П_1' - П_1'')C, \quad (6)$$

где C — цена деления волномера по градуировочной кривой в рабочем интервале частот.

9.2 Упрощенное определение диэлектрической проницаемости образцов круглого сечения проводят по таблицам А.1 — А.6.

9.3 Диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь образцов определяют как среднее арифметическое параллельных измерений.

9.4 Расчет температурного коэффициента диэлектрической проницаемости ТКЕ, 1/°С, может быть проведен по формуле

$$ТКЕ = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1 \cdot \Delta t}, \quad (7)$$

где ε_1 — диэлектрическая проницаемость при температуре t_1;

ε_2 — диэлектрическая проницаемость при температуре t_2;

Δt — температурный интервал определения ТКЕ, равный $t_2 - t_1$.

9.5 Погрешность измерения на установке составляет для ε — 2 %, для tg δ — 12 %.

10 Требования безопасности

10.1 Для обеспечения безопасности при работе на установке для определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь предусматривают меры безопасности.

10.1.1 Для предупреждения поражения электрическим током:

- надежное заземление всех металлических частей установки, которые могут оказаться под напряжением;
- защиту изоляций наружной электропроводки от металлических и термических повреждений;
- ограждение всех доступных для прикосновения токоведущих частей установки;
- снабжение камеры тепла блокировочным устройством, автоматически размыкающим электрическую цепь нагревателя в случае проникновения внутрь камеры.

10.1.2 Для предупреждения термических ожогов необходимо предусмотреть надежную теплоизоляцию камеры тепла (холода).

Температура наружных стенок камеры должна быть не ниже 15 °С и не выше 40 °С.

10.1.3 При использовании для охлаждения камеры жидкого азота необходимо соблюдение мер безопасности при работе со сжиженными газами.

10.1.4 Для предупреждения пожароопасности в процессе проведения испытаний необходимо предусмотреть оснащение помещения первичными средствами пожаротушения (огнетушитель).

10.2 Контроль параметров опасности необходимо проводить следующими методами и средствами:

- контроль сопротивления заземления — с помощью омметра любого типа;
- контроль сопротивлений изоляции электрооборудования — с помощью мегомметра типа М-110ГМ.

10.3 Общие требования взрывобезопасности и пожарной безопасности рабочих помещений при проведении измерений должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.004, ГОСТ 12.1.010.

10.4 Защитное заземление и зануление приборов и оборудования должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.030.

10.5 При выполнении измерений следует соблюдать требования безопасности, установленные ГОСТ 12.1.019 и ГОСТ 12.3.019.

10.6 Рабочее место персонала, проводящего измерения должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032, ГОСТ 12.2.033, ГОСТ 12.2.061.

На рабочем месте необходимо предусмотреть общий выключатель, с помощью которого возможно одновременное отключение от сети испытательного оборудования и средств измерения.

Приложение А
(обязательное)

Значения диэлектрической проницаемости для образцов круглого сечения

Таблица А.1 — Значение ε для образцов диаметром 2 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
2450	8,0	3100	10,1
2460	8,1	3110	10,2
2480	8,2	3120	10,3
2490	8,3	3130	10,4
2500	8,4	3150	10,5
2510	8,5	3160	10,6
2525	8,6	3170	10,7
2540	8,7	3180	10,8
2550	8,8	3190	10,9
2560	8,9	3200	11,0
2580	9,0	3210	11,1
2590	9,1	3220	11,2
3000	9,2	3240	11,3
3010	9,3	3250	11,4
3020	9,4	3260	11,5
3030	9,5	3270	11,6
3040	9,6	3290	11,7
3050	9,7	3300	11,8
3060	9,8	3310	11,9
3070	9,9	3320	12,0
3080	10,0	—	—

Таблица А.2 — Значение ε для образцов диаметром 2,5 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
3310	8,0	4100	10,1
3330	8,1	4120	10,2
3350	8,2	4140	10,3
3370	8,3	4160	10,4
3390	8,4	4170	10,5
3410	8,5	4190	10,6
3420	8,6	4210	10,7
3440	8,7	4230	10,8
3460	8,8	4250	10,9
3480	8,9	4260	11,0
3500	9,0	4280	11,1
3520	9,1	4300	11,2
3540	9,2	4320	11,3
3560	9,3	4340	11,4
3580	9,4	4350	11,5
4000	9,5	4370	11,6
4010	9,6	4390	11,7
4020	9,7	4410	11,8
4040	9,8	4430	11,9
4060	9,9	4450	12,0
4075	10,0	—	—

Таблица А.3 — Значение ε для образцов диаметром 3 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
4280	8,0	5240	10,1
4320	8,1	5270	10,2
4330	8,2	5300	10,3
4350	8,3	5320	10,4
4370	8,4	5340	10,5
4400	8,5	5370	10,6
4430	8,6	5400	10,7
4475	8,7	5430	10,8
4500	8,8	5450	10,9
4510	8,9	5480	11,0
4540	9,0	5500	11,1
4575	9,1	5520	11,2
5000	9,2	5550	11,3
5030	9,3	5590	11,4
5070	9,4	6010	11,5
5090	9,5	6040	11,6
5100	9,6	6060	11,7
5125	9,7	6080	11,8
5150	9,8	6100	11,9
5175	9,9	6120	12,0
5220	10,0	—	—

Таблица А.4 — Значение ε для образцов диаметром 3,5 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
5350	8,0	6520	10,1
5390	8,1	6560	10,2
5420	8,2	7000	10,3
5450	8,3	7050	10,4
5500	8,4	7080	10,5
5540	8,5	7110	10,6
5560	8,6	7160	10,7
6000	8,7	7190	10,8
6040	8,8	7240	10,9
6080	8,9	7280	11,0
6100	9,0	7320	11,1
6130	9,1	7350	11,2
6170	9,2	7400	11,3
6200	9,3	7450	11,4
6250	9,4	7500	11,5
6280	9,5	7550	11,6
6320	9,6	7590	11,7
6350	9,7	8030	11,8
6400	9,8	8070	11,9
6450	9,9	8120	12,0
6490	10,0	—	—

Таблица А.5 — Значение ε для образцов диаметром 4 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
6550	8,0	8500	10,1
6590	8,1	8560	10,2
7050	8,2	9020	10,3
7100	8,3	9090	10,4
7150	8,4	9150	10,5
7200	8,5	9200	10,6
7250	8,6	9250	10,7
7300	8,7	9310	10,8
7360	8,8	9370	10,9
7410	8,9	9430	11,0
7490	9,0	9500	11,1
7530	9,1	9550	11,2
7590	9,2	10 000	11,3
8050	9,3	10 060	11,4
8100	9,4	10 130	11,5
8160	9,5	10 180	11,6
8220	9,6	10 240	11,7
8270	9,7	10 300	11,8
8330	9,8	10 350	11,9
8390	9,9	10 410	12,0
8450	10,0	—	—

Таблица А.6 — Значение ε для образцов диаметром 4,5 мм

Показания волномера	ε	Показания волномера	ε
8370	8,0	11 120	10,1
8440	8,1	11 220	10,2
8520	8,2	11 300	10,3
8590	8,3	11 370	10,4
9050	8,4	11 450	10,5
9140	8,5	11 540	10,6
9210	8,6	12 020	10,7
9280	8,7	12 100	10,8
9360	8,8	12 180	10,9
9440	8,9	12 250	11,0
9510	9,0	12 340	11,1
9590	9,1	12 410	11,2
10 060	9,2	12 500	11,3
10 130	9,3	13 000	11,4
10 200	9,4	13 070	11,5
10 280	9,5	13 150	11,6
10 350	9,6	13 230	11,7
10 440	9,7	12 320	11,8
10 500	9,8	13 400	11,9
10 570	9,9	13 490	12,0
11 050	10,0	—	—

УДК 621.315.61:006.354 ОКС 81.040

Ключевые слова: неорганические диэлектрики, резонансный метод определения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 12.09.2024. Подписано в печать 23.09.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч-изд. л. 1,49.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru