ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72109— 2025 (ИСО 27894:2009)

Вакуумная техника

ВАКУУММЕТРЫ

Технические требования для ионизационных вакуумметров с горячим катодом

(ISO 27894:2009, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Вакууммаш» (АО «Вакууммаш») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 249 «Вакуумная техника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 июня 2025 г. № 515-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 27894:2009 «Вакуумная техника. Вакуумметры. Технические требования для ионизационных вакуумметров с горячим катодом» (ISO 27894:2009 «Vacuum technology. Vacuum gauges. Specifications for hot cathode ionization gauges», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, ссылок), а также включения дополнительных положений, которые выделены в тексте курсивом.

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА

5 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

© ISO, 2009
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Обозначения 5
5 Принцип работы ионизационного вакуумметра с горячим катодом 5
6 Технические требования ионизационных вакуумметров с горячим катодом, предоставляемые изготовителем 5
7 Дополнительные технические требования для ионизационного вакуумметра с горячим катодом, предоставляемые изготовителем 8
8 Факторы, влияющие на неопределенность измерений, производимых ионизационными вакуумметрами с горячим катодом 10
Приложение А (справочное) Типичный вакуумметр Байярда-Альперта со стеклянным корпусом измерительного преобразователя давления 13
Приложение В (справочное) Стандартная электрическая схема вакуумметра Байярда-Альперта . . . 14
Приложение С (справочное) Возможные неисправности при использовании ионизационных вакуумметров 15
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 16
Библиография 17

Введение

Ионизационные вакуумметры обычно используются при измерении высокого и сверхвысокого вакуума. Ионный ток, протекающий в этом вакуумметре, пропорционален плотности газа соответственно давлению, при известной температуре в высоком и сверхвысоком вакууме. Ионизация частиц нейтрального газа осуществляется быстрыми электронами. Эти электроны создаются самоподдерживающимся разрядом либо эмиссионным катодом. В коммерческих ионизационных вакуумметрах этот эмиссионный катод обеспечивается нагретой проволокой (горячим катодом), эмитирующим электроны путем термоэлектронной эмиссии.

Ионизационные вакуумметры с самоподдерживающимся разрядом, создаваемым скрещенными электрическим и магнитным полями (магниторазрядные), имеют нелинейную зависимость ионного тока от плотности (давления) газа, трудоемки для калибровки. По этой причине ионизационные вакуумметры с горячими катодами, имеющие линейную зависимость ионного тока от плотности (давления) газа, используются в основном в качестве эталонов для передачи единицы давления в область измерений высокого и сверхвысокого вакуума.

Для передачи единицы давления и надежного измерения высокого и сверхвысокого вакуумного давления ионизационным вакуумметром должны быть указаны параметры и неопределенности, которые описаны в настоящем стандарте. Настоящий стандарт дополняет [1] при использовании ионизационных вакуумметров в качестве эталонов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вакуумная техника

ВАКУУММЕТРЫ

Технические требования для ионизационных вакуумметров с горячим катодом

Vacuum technology. Vacuum gauges.
Specifications for hot cathode ionization gauges

Дата введения — 2025—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на ионизационные вакуумметры с горячим катодом и устанавливает параметры, предоставляемые изготовителями, и неопределенности измерений, которые следует учитывать при эксплуатации этих вакуумметров.

Настоящий стандарт:

- уточняет некоторые термины и определения, приведенные в *ГОСТ 5197,* [2];
- приводит информацию для соответствующих лабораторий с целью проведения правильной калибровки (поверки) вакуумметров, предназначенных для измерений высокого и сверхвысокого вакуума, поскольку ионизационные вакуумметры с горячим катодом (далее вакуумметры) зачастую используются в качестве эталонов. Эта информация представляет собой совокупность соответствующих параметров и характеристик и приводится в руководствах по эксплуатации для пользователей, использующих ионизационные вакуумметры для измерения давления высокого и сверхвысокого вакуума;
- приводит перечень неопределенностей, имеющих значение при измерении давления ионизационными вакуумметрами, и предоставляет рекомендации по их оцениванию. Этот перечень не является исчерпывающим для некоторых современных вакуумметров и вакуумметров, которые будут разработаны;
- дополняет ГОСТ 34348, [1] в области использования ионизационных вакуумметров в качестве эталонов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 2.118 Единая система конструкторской документации. Техническое предложение

ГОСТ 5197 Вакуумная техника. Термины и определения

ГОСТ 34100.3/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ 34348 (ISO 27893:2011) Вакуумная техника. Вакуумметры. Оценка неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном

ГОСТ Р 2.601 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы

ГОСТ Р 52931 Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия

Издание официальное

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 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 [2], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 Термины компонентов

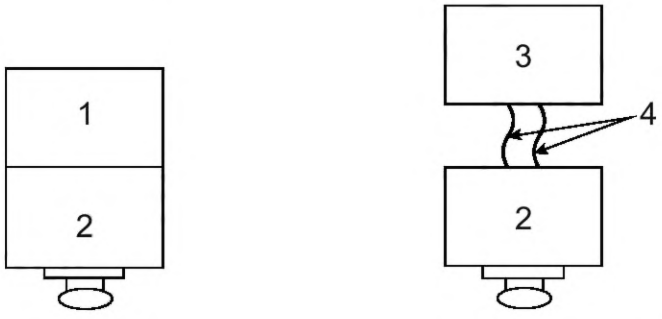
3.1.1 **измерительный преобразователь давления, измерительная трубка** (gauge head, gauge tube): Часть вакуумметра, которая содержит чувствительный к давлению элемент и которая непосредственно присоединяется к вакуумной системе.

Примечание — Измерительный преобразователь давления ионизационного вакуумметра с горячим катодом имеет свою электронную систему, которая обычно содержит, по меньшей мере, катод или нить накала, анод (сетка), ионный коллектор и соответствующие электрические вакуумные вводы, показан на рисунке А.1 (приложение А).

3.1.2 **измерительный блок, блок управления** (control unit, controller): Часть ионизационного вакуумметра, которая содержит все электрические цепи, необходимые для подачи питания к измерительному преобразователю давления, для контроля и измерения тока или напряжения, а в некоторых случаях — для подачи питания при дегазации элементов преобразователя давления. Стандартная электрическая схема вакуумметра показана на рисунке В.1 (приложение В).

Примечание — Настоящее определение заменяет определение «блок управления манометра» («gauge control unit»), установленное в [2].

3.1.3 **интегрированный тип, активный тип вакуумметра, тип измерительного преобразователя** (integrated type, active gauge type, transmitter type): Вакуумметр, в котором измерительный преобразователь давления и блок управления представляют собой единое оборудование, которое можно разъединить для обезгаживания (см. рисунок 1 a)).



a) Интегрированный тип b) Разделенный тип

1, 3 — блок управления; *2* — измерительный преобразователь давления; *4* — кабель

Рисунок 1 — Вакуумметры: интегрированный и разделенный типы

3.1.4 **разделенный тип, инертный тип вакуумметра** (separated type, passive gauge type): Вакуумметр, в котором измерительный преобразователь давления и блок управления вакуумметра представляют собой отдельные части оборудования, соединенные кабелем (см. рисунок 1 b)).

3.1.5 **одиночный вакуумметр** (single gauge): Один вакуумметр, представляющий собой единое оборудование (см. рисунок 2 a)).

3.1.6 **комбинированный вакуумметр** (combined gauge): Более одного вакуумметра в одной единице оборудования (см. рисунок 2 b)).



a) Один вакуумметр в корпусе (одиночный вакуумметр)

b) Два вакуумметра в корпусе (комбинированный вакуумметр)

1 — измерительный преобразователь давления; *2* — измерительный преобразователь давления (вакуумметр 1); *3* — измерительный преобразователь давления (вакуумметр 2)

Рисунок 2 — Вакуумметры: одиночный и комбинированный вакуумметры

3.1.7 **корпус** (envelope): Металлическая или стеклянная стенка, которая огораживает рабочие элементы вакуумметра.

3.2 Термины физических параметров

3.2.1 **чувствительность, коэффициент чувствительности, *S*** (sensitivity, sensitivity coefficient): Величина, задаваемая по формуле

$$S=\frac{I_c-I_{c0}}{I_e(p-p_0)}, \quad (1)$$

где I_e — ток эмиссии;

I_c — ионный ток, измеряемый при давлении p;

I_{c0} — ионный ток, измеряемый при давлении p_0;

p — давление;

p_0 — остаточное давление.

Примечание — Настоящее определение заменяет определение «коэффициент ионизационного вакуумметра» (ionization gauge coefficient), приведенное в [2]. Кроме того, ранее данная величина упоминалась как «постоянная вакуумметра» (gauge constant).

3.2.2 **чувствительность к ионизации, S_+** (ionization sensitivity): Величина, задаваемая по формуле

$$S_+ = SI_e = \frac{I_c - I_{c0}}{p - p_0}, \quad (2)$$

где I_e — ток эмиссии;

I_c — ионный ток, измеряемый при давлении p;

I_{c0} — ионный ток, измеряемый при давлении p_0;

p — давление;

p_0 — остаточное давление;

S — чувствительность (см. 3.2.1).

Примечание — Настоящее определение заменяет определение «коэффициент чувствительности» (sensitivity coefficient), являющийся синонимом «чувствительности» (sensitivity), приведенное в [2].

3.2.3 **коэффициент относительной чувствительности, r_x** (relative sensitivity factor): Величина, задаваемая по формуле в соответствии с [2]

$$r_x = \frac{S_x}{S_{N_2}}, \quad (3)$$

где S_x — чувствительность для заданного вида газа «x»;

S_{N_2} — чувствительность к азоту для одного и того же вакуумметра, при одинаковом давлении и одинаковых рабочих условиях.

Примечание — Показание давления p_{ind}, которое является верным для азота, должно быть поделено на коэффициент относительной чувствительности r_x заданного вида газа для получения правильного давления p_x газа, при измерении давления этого газа.

$$p_x = \frac{p_{ind}}{r_x}. \quad (4)$$

3.2.4 **поправочный коэффициент, f_c** (correction factor): Коэффициент, на который необходимо умножить показание давления вакуумметра, чтобы получить правильное давление в соответствии с калибровкой

$$p = f_c \cdot p_{ind}. \quad (5)$$

Примечание — При калибровке значение f_c определяется его отношением значения давления эталона p_{std} и показания давления калибруемого вакуумметра p_{UUC} по формуле

$$f_c = \frac{p_{std}}{p_{UUC}}, \quad (6)$$

причем f_c может зависеть от давления.

3.2.5 **относительный поправочный коэффициент, $f_{c\ x/N_2}$** (relative correction factor): Величина, задаваемая по формуле

$$f_{c\ x/N_2} = \frac{f_{c\ x}}{f_{c\ N_2}}, \quad (7)$$

где $f_{c\ x}$ — поправочный коэффициент для заданного вида газа «x»;

$f_{c N_2}$ — поправочный коэффициент для азота для одного и того же вакуумметра при одинаковом давлении и одинаковых рабочих условиях.

Примечания

1 Показание давления p_{ind} вакуумметра, которое является верным для азота, следует умножить на относительный поправочный коэффициент вида газа, чтобы получить верное давление газа, при измерении давления данного газа

$$p = f_{c\ x/N_2} \cdot p_{ind}. \quad (8)$$

2 $f_{c\ x/N_2}$ может зависеть от давления.

3.2.6 **время прогрева** (warm-up time): Время, после которого показание ионизационного вакуумметра стабильно в пределах заданного значения (например, 2 %) при постоянном давлении после включения вакуумметра.

Примечание — После времени прогрева при постоянном давлении в показании вакуумметра не должно быть никаких изменений.

3.2.7 **остаточный ток** (residual current): Наименьший ток коллектора ионов, который можно получить при использовании вакуумметра в его нормальных рабочих условиях и при нулевом или незначительном давлении, более низком по сравнению с нижним пределом измерения вакуумметра.

Примечание — Остаточный ток можно измерить в обезгаженной сверхвысоковакуумной системе с помощью ионизационного вакуумметра в обезгаженном и дегазированном состоянии. Остаточное давление определяется как ионный ток, получаемый при возвращении вакуумной системы к нормальной комнатной температуре менее 30 °С, через 48 ч после прекращения обезгаживания. Остаточный ток в основном состоит из рентгеновского излучения, обратного рентгеновского излучения, воздействия электронно-стимулированной десорбции, дегазации и токов утечки из других потенциалов.

3.2.8 **эквивалентное давление остаточного тока** (residual current-equivalent pressure): Эквивалентное давления азота к остаточному току (см. 3.2.7).

Примечание — Единица измерения, принятая для эквивалентного давления остаточного тока, Па.

3.2.9 **внутренний объем** (internal volume): Объем внутри измерительного преобразователя давления до плоскости уплотнителя без учета объема электродов, выходящих за пределы плоскости уплотнителя.

Примечание — Внутренний объем — это объем измерительного преобразователя давления, подверженного воздействию вакуумной системы. В случаях, когда объемы электрода превышают объем ниже плоскости уплотнителя, внутренний объем может быть отрицательным.

4 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения:
f_c — поправочный коэффициент –1;
p — давление, Па;
p_0 — остаточное давление, Па;
p_{ind} — показание давления исходного эталона, Па;
p_{std} — давление эталона, Па;
p_{UUC} — показание давления калибруемого вакуумметра, Па;
r_x — коэффициент относительной чувствительности –1;
Ie — ток эмиссии, А;
I_c — ионный ток при давлении p, А;
I_{c0} — ионный ток при давлении p_0, А;
S — коэффициент чувствительности, $Па^{-1}$;
S_+ — ионизационная чувствительность, $А \cdot Па^{-1}$.

5 Принцип работы ионизационного вакуумметра с горячим катодом

Электроны, эмитируемые катодом, ускоряются анодным (сетчатым) потенциалом и ионизируют молекулы газа, находящиеся на их пути. Ионизированные молекулы газа собираются ионным коллектором, таким образом возникает ионный ток. Ионный ток I_c пропорционален плотности газа или давлению p при постоянной температуре T, вычисляют по формуле

$$I_c = I_e \sigma \Delta l \frac{p}{kT}, \quad (9)$$

где I_e — ток эмиссии;
σ — площадь поперечного сечения ионизации;
Δl — средняя длина пробега электрона;
k — постоянная Больмана.

В конструкции измерительного преобразователя давления могут быть дополнительные электроды для различных целей. Количество электродов, их конфигурация и форма зависят от конкретного типа ионизационного вакуумметра с горячим катодом.

6 Технические требования ионизационных вакуумметров с горячим катодом, предоставляемые изготовителем

Изготовитель должен указать характеристики и технические требования, приведенные в 6.1—6.20, чтобы пользователи вакуумметров могли оценивать диапазон и/или величину неопределенности измерений давления.

6.1 Тип вакуумметра

Тип вакуумметра, например ионизационный вакуумметр, вакуумметр Байярда-Альперта; необходимо указывать только несколько общих типов.

Для комбинированных вакуумметров указывают все типы вакуумметров, включая тип неионизационных вакуумметров.

6.2 Экран и выходной сигнал измерения

Выходные сигналы на экране вакуумметра отображают в единице измерения — Па, допускаются другие единицы измерения.

Если вакуумметр или блок управления имеют выходные сигналы измерения, не давления, а, например напряжения, то применение этой величины для выражения давления следует приводить с помощью формулы, таблицы или графика.

6.3 Диапазон измерений

Диапазон измерений в основном зависит от принятой неопределенности измерения. По этой причине изготовитель должен определить пределы неопределенности измерений. Диапазон измерения — это область значений давления, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности и/или неопределенности ионизационного вакуумметра. Диапазон измерений и показаний ионизационного вакуумметра выражают в Па. Эквивалентное давление допускается выражать в других единицах измерения.

6.4 Неопределенность измерения или погрешность

Общую относительную неопределенность измерения (погрешность) вакуумметра указывают в процентах от показаний и/или от верхнего предела измерений ионизационного вакуумметра для диапазона измерений по 6.3. Относительную неопределенность эталона указывают в соответствии с ГОСТ 34100.3, а также задают с константой и величиной, зависящей, например от давления, по формуле

$$\frac{u(p)}{p} = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{p} + 0{,}15 \qquad (10)$$

6.5 Установка на камеру

Положение установки (горизонтальное, вертикальное, любое), тип присоединительного фланца, тип и материал уплотнения, а также присоединительный размер измерительного преобразователя давления, например фланец Conflat, KF/NW, уплотнительное кольцо O-ring и т. д.

6.6 Тип корпуса

Тип корпуса, например стеклянный, металлический, в виде трубки и т. д.

6.7 Наибольшая температура обезгаживания

Наибольшие температуры для измерительного преобразователя давления и кабелей. Если блок управления интегрированного вакуумметра является съемным, то это должны указывать, кроме того, необходимо указывать наибольшую температуру обезгаживания для измерительного преобразователя давления или для блока управления.

6.8 Материал нити накала и ток эмиссии

Указывают количество и материал нити (нитей) накала. Если нить накала рассчитана на постоянное нахождение в одном диапазоне давления, то указывают ток эмиссии, включая его возможные колебания и дрейф. Когда ток эмиссии изменяется в зависимости от диапазона, то указывают точку переключения давления. Могут быть различные точки переключения для увеличения и уменьшения давления. Обе точки должны быть указаны. Если ток эмиссии непрерывно изменяется с ионным током и соответственно давлением, это указывают, а также указывают и диапазон тока эмиссии.

Примечание — Как правило, ток эмиссии измеряют от анода до земли или от анода до катода нити накала. Ток эмиссии регулируют блоком управления. Ток эмиссии обычно находится между 0,1 мА и 10 мА. Количество эмитируемых электронов обычно пропорционально току эмиссии. Стабильность и возмущение эмитируемых электронов, а следовательно ток эмиссии имеют очень важное значение для точного измерения давления с использованием ионизационных вакуумметров с горячим катодом.

6.9 Электрическое рабочее состояние

Указывают все потенциалы, относящиеся к потенциалу земли внутри измерительного преобразователя давления. Пользователю полезно знать энергию электронов для оценивания относительной

чувствительности и относительных поправочных коэффициентов для разных видов газа, поскольку вероятность ионизации существенно зависит от энергии электронов.

Примечания

1 Анодный потенциал от земли обычно находится между плюс 150 В и плюс 200 В постоянного тока. Электроны, эмитируемые горячей нитью накала (катодом), притягиваются к положительному аноду. Однако многие электроны несколько раз проходят мимо относительно открытого анода (сетки), прежде чем окончательно удариться об него.

2 Потенциал нити накала от земли обычно находится между плюс 10 В и плюс 50 В постоянного тока. В некоторых вакуумметрах применяют напряжение переменного тока к нити накала.

3 Потенциал ионного коллектора — это уровень земли, и он привлекает положительные ионы. Коллектор обычно изготавливают из вольфрамового материала шпилечного типа. Положительные ионы, воздействующие на коллектор, учитывают ионный ток.

6.10 Интерфейс

Способ связи с компьютером, например RS-232, RS-485, GPIB, Ethernet, USB, Fieldbus (например, Profibus, DeviceNet).

6.11 Совместимость измерительного преобразователя давления и блока управления

Тип и модель измерительного преобразователя давления, совместимые с блоком управления.

6.12 Размеры измерительного преобразователя давления и блока управления

На схематических чертежах размеры измерительного преобразователя давления и блока управления указывают в единицах международной системы единиц физических величин. Размер указывают в виде ширины, глубины и высоты (Ш × Г × В), допускаются другие единицы измерения (например, дюйм).

6.13 Номинальные рабочие условия

Для получения надежных результатов измерений давления указывают диапазон температуры и влажности, при которых ионизационный вакуумметр может работать.

6.14 Стойкость к механическим воздействиям изделия

6.14.1 Измерительный преобразователь давления ионизационного вакуумметра с горячим катодом запрещается эксплуатировать в условиях тряски, вибраций, в ходе движения на всех видах транспорта.

6.14.2 Стойкость измерительного блока ионизационного вакуумметра с горячим катодом к механическим воздействиям в соответствии с ГОСТ Р 52931 подразделяют на исполнения: виброустойчивое, вибропрочное, удароустойчивое и ударопрочное.

6.15 Электрические характеристики питания

6.15.1 Напряжение (переменный или постоянный ток), ток и частота *питания измерительного преобразователя давления ионизационного вакуумметра.*

6.15.2 Напряжение (переменный или постоянный ток), ток и частота питания измерительного блока ионизационного вакуумметра.

6.16 Длина кабеля

Наибольшая длина кабеля между измерительным преобразователем давления и блоком управления. Более длинный кабель чувствителен к электромагнитным помехам.

6.17 Возможность замены нити накала

Замена нити накала или, например самого измерительного преобразователя давления.

6.18 Задаваемые значения давления

Необходимо определить задаваемые значения давления независимо от того, имеются ли настройки давления для управления другим устройством или нет.

Примечание — Используются для получения задаваемых значений давлений в вакуумных системах и переключений диапазонов измерений ионизационного вакуумметра и режимов работы другого оборудования в условиях длительного времени работы вакуумных систем.

6.19 Давление отключения

Значение давления, при котором необходимо произвести аварийное отключение ионизационного вакуумметра для предотвращения его выхода из строя.

6.20 Давление переключения

При использовании комбинированных вакуумметров указывают (для переключения диапазонов измерений) значения давлений переключения между различными вакуумметрами.

7 Дополнительные технические требования для ионизационного вакуумметра с горячим катодом, предоставляемые изготовителем

7.1 Повторяемость и воспроизводимость (долговременная стабильность)

Повторяемость или воспроизводимость (долговременная стабильность) выражают в процентах от показаний и/или от верхнего предела измерений ионизационного вакуумметра в течение определенного периода (например, один час, две недели, один месяц, один год). Для таких измерений необходимо использовать чистые газы при стабильном или повторяемом давлении, а вакуумметр должен работать в нормальных условиях. Стандартные значения указывает изготовитель. Изготовитель решает, насколько это измерение экономически целесообразно, учитывая тип вакуумметра и предполагаемую область его применения. Если возможно, то изготовитель должен пытаться получить данную информацию от своих ключевых клиентов, необходимую для улучшения качества выпускаемых ионизационных вакуумметров.

Примечание — Повторяемость и воспроизводимость (долговременная стабильность) сильно зависят от пользователя и области применения.

7.2 Диапазон показаний

Область значений шкалы ионизационного вакуумметра, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Примечание — Диапазон измерения в соответствии с 6.3 равен или менее диапазона показаний.

7.3 Материал измерительного преобразователя давления

7.3.1 Материал корпуса, сетки (анода) и коллектора

7.3.2 При запросе измерительного преобразователя ионизационного вакуумметра, предназначенного для измерений давлений специфических газов и сред (например, водорода), производителю (продавцу) необходимо указывать информацию о возможности использования преобразователя с требуемым специфическим газом или средой.

7.4 Степень защищенности от воздействия внешних факторов и от возникновения взрыва

7.4.1 При запросе ионизационного вакуумметра, предназначенного для эксплуатации в окружающей среде взрывоопасных либо коррозионно-активных газов, производителю необходимо указывать информацию о возможности использования вакуумметра в запрошенной окружающей среде.

7.4.2 По защищенности от воздействия внешних факторов и от возникновения взрыва измерительные преобразователи давления вакуумметров в соответствии с ГОСТ Р 52931 подразделяют на исполнения: обыкновенное, пылезащищенное, влагозащищенное, взрывозащищенное, защищенное от агрессивной среды и других внешних воздействий.

7.4.3 По защищенности от воздействия внешних факторов и от возникновения взрыва измерительные блоки вакуумметров в соответствии с ГОСТ Р 52931 подразделяют на исполнения: обыкновенное, пылезащищенное, влагозащищенное, взрывозащищенное, защищенное от агрессивной среды и других внешних воздействий.

7.4.4 Допускается изготавливать вакуумметры в исполнениях, сочетающих защиту нескольких видов.

7.4.5 Допускается изготавливать вакуумметры, в которых измерительные преобразователи давления и измерительные блоки имеют различные исполнения.

7.5 Способ дегазации

Для точного измерения давления большинство вакуумметров часто дегазируют для удаления загрязнений с электродов и корпуса измерительного преобразователя давления. Указывают способ дегазации, такой как электронная бомбардировка или омический нагрев. Время дегазации часто регулируется в блоках управления. Некоторые специальные блоки управления автоматически возвращаются в режим измерения после дегазации. Рекомендуется указывать временной интервал и функцию автоматического возврата, если он есть, и наибольшее давление дегазации, чтобы избежать повреждения катода (нити накала).

7.6 Мощность дегазации

Мощность дегазации обычно не регулируется в блоке управления. Указывают мощность дегазации (например, напряжение и ток) независимо от того, регулируется ли она.

7.7 Коэффициент относительной чувствительности для других видов газа, кроме азота

Коэффициент относительной чувствительности (см. 3.2.3) или относительный поправочный коэффициент (см. 3.2.5) — в таблице или графике (в зависимости от давления) для различных видов газа.

7.8 Коэффициент типичной чувствительности для азота

Типичное значение коэффициента чувствительности для азота, поскольку коэффициент может распространяться на всю произведенную партию. Чувствительность зависит, помимо прочих факторов, от геометрии электродов измерительного преобразователя давления, выражают в обратных Па по формуле (1).

Примечание — Для интегрированного типа вакуумметра отображение давления обеспечивается электроникой, и чувствительность, как правило, можно не указывать.

7.9 Внутренний объем

Внутренний объем (по 3.2.9) необходим для калибровки с использованием систем со статическим расширением и для оценки общего дополнительного объема для калибровочной (измерительной) камеры согласно [1].

7.10 Условия хранения и транспортировки

Необходимо указывать условия хранения и транспортировки, чтобы избежать повреждения вакуумметра, например газовую среду, чистоту, температуру, относительную влажность, вибрацию, удары и т. д.

7.11 Фотографии

Чтобы иметь четкий обзор и детализацию, рекомендуется предоставлять фотографии измерительного преобразователя давления, передней и задней панелей блока управления.

7.12 Эквивалентное давление остаточного тока

Эквивалентное давление остаточного тока в соответствии с 3.2.8 выражают в Па, допускаются другие единицы измерения.

7.13 Протокол осмотра, сертификат о калибровке

К вакуумметру прикладывают протокол осмотра, повышающий уверенность пользователя при считывании показания вакуумметра, а также сертификат о калибровке или *свидетельство о поверке* (при наличии), в которых содержится информация о прослеживаемости к соответствующему национальному эталону низких абсолютных давлений и вакуума.

7.14 Требования к эксплуатационной документации, техническому предложению, форме запроса изделия

7.14.1 Эксплуатационная документация на ионизационные вакуумметры должна быть выполнена в соответствии с ГОСТ Р 2.601.

В эксплуатационной документации на ионизационные вакуумметры должна быть приведена информация в объеме, не менее данному, согласно разделу 6.

7.14.2 Техническое предложение на ионизационные вакуумметры должно соответствовать ГОСТ 2.118.

7.14.3 Форма запроса ионизационных вакуумметров должна включать в себя информацию, не менее отраженной в разделе 6.

8 Факторы, влияющие на неопределенность измерений, производимых ионизационными вакуумметрами с горячим катодом

8.1 Ток эмиссии

На полный ионный ток влияет ток эмиссии в соответствии с формулами (1) и (2). Для оценивания неопределенности учитывают нестабильность тока эмиссии по [3] и распределение его плотности по [4]. Коэффициент чувствительности зависит от тока эмиссии. Вакуумметр с автоматическим управлением тока эмиссии имеет разные коэффициенты чувствительности при более низких и более высоких давлениях.

Примечание — Современные вакуумметры или блоки управления автоматически используют соответствующий ток эмиссии при расчете давления. В этих случаях невозможно отдельно оценивать влияние тока эмиссии.

8.2 Остаточный ток

Рентгеновское излучение, обратное рентгеновское излучение, воздействие электронно-стимулированной десорбции являются основными причинами остаточного тока и сильно зависят от условий эксплуатации и поверхности электродов ионизационного вакуумметра. При загрязнении измерительного преобразователя давления и вакуумной системы возникают дополнительные токи утечки. Кроме того, дегазация вызывает серьезное повышение давления в измерительном преобразователе давления. Чтобы избежать этих влияний, вакуумметр должен содержаться в чистоте. Для измерения сверхвысокого вакуума и очень высокого вакуума (менее 10^{-8} Па) необходима процедура дегазации. Остаточный ток следует измерять перед практическим измерением очень высокого или сверхвысокого вакуума несмотря на то, что измерение представляет трудность. Стандартное значение, включая его изменение, указывает изготовитель для оценивания неопределенности.

8.3 Разрешение выходного сигнала

Характеристика ионизационного вакуумметра, выражаемая наименьшей разницей между величинами выходного сигнала (давления), которая фиксируется ионизационным вакуумметром раздельно.

Примечание — Для аналоговых дисплеев, особенно с логарифмической шкалой, их оценивание зачастую представляет трудность.

8.4 Разброс выходного сигнала и повторяемость

Для оценки неопределенности следует учитывать разброс выходного сигнала ионного тока и его повторяемость. Разброс можно измерять повторными наблюдениями при постоянном давлении.

8.5 Нелинейность коэффициента чувствительности

Линейность коэффициента чувствительности (формула (2)) часто теряется при высоком давлении, а также иногда и при низких давлениях. Линейность (зависимость давления) также зависит от условий эксплуатации, таких как потенциал анода, ток эмиссии и вид газа.

8.6 Условия окружающей среды

На точное измерение ионизационного вакуумметра могут влиять условия окружающей среды, например температура по [5], [6], сила ветра, магнитные и электрические поля и ионизирующее излучение.

Ионный ток пропорционален плотности газа, а не давлению. Изменение температуры во время калибровки необходимо корректировать для оценивания давления по [5], [6]. Следует учитывать влияние температуры дегазации вакуумметра и изменение температуры в измерительном преобразователе

давления, вызванное ветром. Необходимо устранить магнитные и электрические поля, влияющие на траекторию образовавшихся электронов и ионов, а также излучение, которое создает дополнительную ионизацию.

8.7 Повторное использование, очищение

В технологических газах электроды, особенно горячий катод, загрязняются отложениями. Отложения на горячем катоде сильно изменяют характеристики эмиссии и могут необратимо повредить катод. Например, замечено, что при колебании давления кислородсодержащие газовые смеси могут растворять тонкие провода коллектора. Как правило, такие процессы позволяют производить точное измерение давления с помощью ионизационных вакуумметров с горячим катодом только в течение ограниченного промежутка времени. При необходимости правильного считывания давления вакуумметры, насколько это возможно, должны быть защищены от этих технологических газов и/или очищаться, или часто заменяться. Необходимо удалять (счищать) пыль или загрязнения с соединительного фланца, так как давление в измерительном преобразователе давления сильно зависит от их дегазации.

8.8 Воспроизводимость (долговременная стабильность), включая стабильность при транспортировке

Электроды в ионизационных вакуумметрах не являются жесткими. Поверхность электродов изменяется с учетом условий окружающей среды. Для количественного измерения учитывают воспроизводимость (долговременная стабильность) и устойчивость при транспортировании. Только в особых условиях, когда вакуумметры со специально подготовленными поверхностями работают только в чистых условиях, всегда находятся в условиях вакуума и транспортируются с осторожностью, воспроизводимость (долговременная стабильность) может составлять 1 % (показание или чувствительность относительной неопределенности эталона). Для коммерчески доступных вакуумметров высокого качества, работающих в особо чистых условиях и транспортируемых с осторожностью, можно ожидать значение от 2 % до 5 %. Для обычных вакуумметров нормального качества воспроизводимость (долгосрочная стабильность) обычно составляет от 10 % до 15 %; для простых вакуумметров, используемых в более грубых условиях, вполне допустимо от 30 % до 50 % ([7]—[13]).

8.9 Состав газа

Коэффициент чувствительности ионизационного вакуумметра с горячим катодом зависит от вида газа. Разные типы вакуумметров показывают разную относительную чувствительность, как и индивидуальные вакуумметры того же типа, причем разброс меньше, чем у разных типов вакуумметров. Поэтому вакуумметр должен быть откалиброван относительно измеряемых видов газа. Коррекцию (или компенсацию) с использованием коэффициента относительной чувствительности или относительного поправочного коэффициента, приведенных в инструкциях изготовителя или в [14]—[16], учитывают со стандартной неопределенностью не менее 10 %.

8.10 Влияние откачки

При измерении давления вакуумной системы с очень малой скоростью откачки учитывают влияние собственной откачки ионизационным вакуумметром с горячим катодом. Как правило, скорость откачки ионизационных вакуумметров с горячим катодом колеблется от 0,01 до 0,1 л/с ([17]—[19]).

8.11 Влияние тепловыделения

Между вакуумной системой (камерой) и измерительным преобразователем давления существует разность давлений вследствие влияния тепловыделения. Это влияние обычно включают в коэффициент чувствительности при калибровке. Если температура отличается от температуры во время калибровки или теплопроводность от вакуумметра к вакуумной системе отличается, то необходимо компенсировать изменение этого влияния по [6].

8.12 Расположение вакуумметра

8.12.1 Для точного измерения некоторые вакуумметры могут иметь разные коэффициенты чувствительности *в зависимости от положения измерительного преобразователя давления (вертикальное, горизонтальное, под углом) при измерении.*

8.12.2 Информация о разных коэффициентах чувствительности ионизационных вакуумметров в зависимости от положения измерительного преобразователя давления должна быть отражена в эксплуатационной документации, а также предоставляться производителем вакуумметра по запросу.

8.13 Корпус

На коэффициент чувствительности вакуумметра влияет распределение потенциала вокруг электродов, на коэффициент чувствительности вакуумметров открытого типа влияет диаметр корпуса измерительного преобразователя давления по [20].

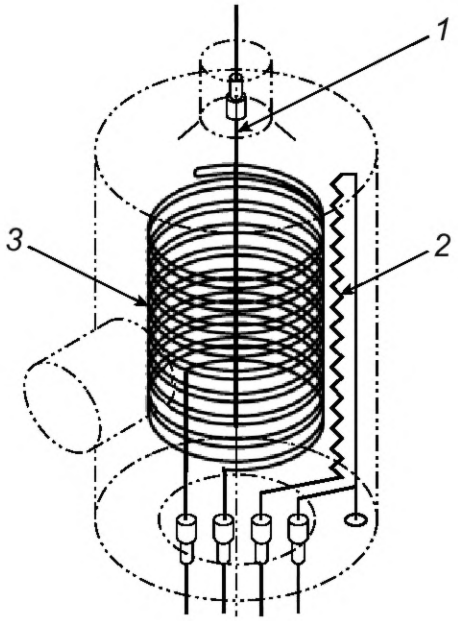
Если измерительный преобразователь давления стеклянный, то на распределение потенциала вокруг электрода влияет заряд внутри корпуса, что приводит к гистерезису показаний давления.

8.14 Возможные неисправности в процессе использования

Возможные неисправности в процессе эксплуатации ионизированных вакуумметров с горячим катодом приведены в приложении С.

Приложение А
(справочное)

Типичный вакуумметр Байярда-Альперта со стеклянным корпусом измерительного преобразователя давления

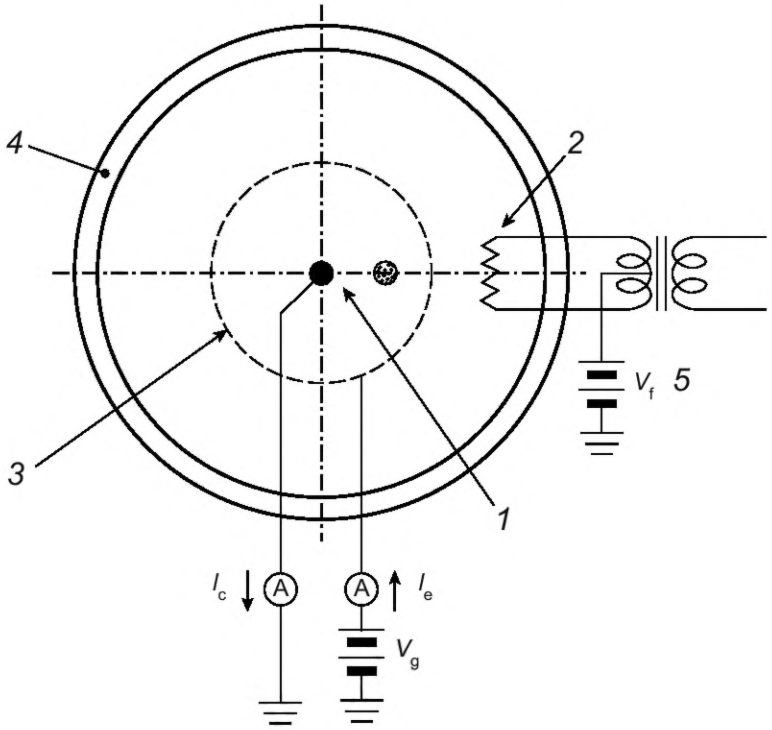


1 — ионный коллектор; *2* — катод (нить накала); *3* — анод (сетка)

Рисунок А.1 — Вакуумметр Байярда-Альперта

Приложение В
(справочное)

Стандартная электрическая схема вакуумметра Байярда-Альперта



1 — ионный коллектор; *2* — катод (нить накала); *3* — анод (сетка); *4* — корпус; *5* — блок питания

Рисунок В.1 — Электрическая схема Байярда-Альперта

Приложение С
(справочное)

Возможные неисправности при использовании ионизационных вакуумметров

С.1 Вибрация и ударная нагрузка

Коллектор обычно имеет шпилечный тип, изготовленный из вольфрама. Его можно легко повредить из-за вибрации или внешнего воздействия. Это также относится и к другим деталям, таким как нить накала или другие электроды.

С.2 Магнитное поле

У вакуумметров с металлическим корпусом измерительная головка должна быть защищена от электромагнитного поля. Электромагнитное поле оказывает влияние на точность измерения ионизационного тока.

С.3 Перекрестные помехи

Измерительные преобразователи давления должны быть размещены в вакуумной системе (камере), так чтобы предотвратить возникновение взаимных ионных помех. Если в вакуумной системе (камере) несколько вакуумметров вступят в противодействие друг с другом, то это вызовет помехи между ними, так называемый эффект перекрестных помех. Если в вакуумной системе установлено много измерительных преобразователей давления, то это повысит температуру внутри системы (камеры).

С.4 Обезгаживание прогревом

Измерительный преобразователь давления и его корпус необходимо обезгаживать совместно с обезгаживанием вакуумной системы (камеры) прогревом для того, чтобы удалить влагу и загрязнение из измерительного преобразователя давления.

Примечание — Обезгаживание прогревом может вызывать чрезмерное повышение температуры, которое легко приводит к необратимому повреждению измерительного преобразователя давления или кабелей.

С.5 Дегазация

В типовых вакуумметрах время дегазации фиксируется. Однако в некоторых вакуумметрах время дегазации регулируется с помощью блоков управления. Чтобы обеспечить точность измерения давления, большинство вакуумметров необходимо дегазировать для удаления загрязнений из измерительного преобразователя давления. Наименьшее рекомендуемое время ожидания с момента начала и окончания дегазации не менее 15 мин для получения точного измерения.

С.6 Чувствительность (коэффициент чувствительности)

Чувствительность к газу зависит от рабочих параметров, видов газов, геометрии электродов и условий окружающей среды, тока электронной эмиссии и т. д.

С.7 Корпус

Повреждения сетки, катода (нити накала) и коллектора в стеклянном корпусе можно визуально проверить. Однако такой корпус легко разрушается и вызывает повреждение вакуумной системы (камеры) и представляет опасность для персонала. С ним следует обращаться с осторожностью. Металлический корпус предотвращает повреждение сетки и катода (нити накала) во время монтажа и исключает риск поломки стекла. Наличие повреждений можно проверить путем проведения испытаний на сопротивление. Корпус открытого типа требует относительно небольшой дегазации.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 34100.3—2017 (ISO /IEC Guide 98-3:2008)	IDT	ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»
ГОСТ 34348—2017 (ISO 27893:2011)	MOD	ISO 27893:2011 «Вакуумная техника. Вакуумметры. Оценивание неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичный стандарт;
- MOD — модифицированный стандарт.

Библиография

[1] ИСО 3567:2011 Вакуумметры. Калибровка прямым сравнением с эталонным вакуумметром
ISO 3567:2011 (Vacuum gauges — Calibration by direct comparison with a reference gauge)

[2] ИСО 3529-3:2014 Вакуумная техника. Словарь. Часть 3: Вакуумметры для измерения общего парциального давления
ISO 3529-3:2014 (Vacuum technology — Vocabulary — Part 3: Total and partial pressure vacuum gauges)

[3] ABBOTT P.J., LOONEY J.P. Influence of the filament potential wave form on the sensitivity of glassenvelope B-A gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1994. — 12. — pp. 2911—2916

[4] ARNOLD P.C., BILLS D.G. Causes of unstable and non-reproducible sensitivities in Bayard-Alpert ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1984. — 2. — pp. 159—162

[5] JOUSTEN K. Temperature corrections for the calibration of vacuum gauges//*Vacuum* 1998. — 49. — pp. 81—87

[6] ABBOTT P.J., LOONEY J.P., MOHAN P. The effect of ambient temperature on the sensitivity of hot cathode ionization gauges//*Vacuum* — 2005. — 77. — pp. 217—222

[7] POULTER K.F., SUTTON C.M. Long-term behavior of ionization gauges//*Vacuum* 1981. — 31. — pp. 147—150

[8] SCHMIDT K., BERGNER U. Stabilität von Hochvakuum-Meßröhren [Stability of high-vacuum measuring tubes] // *Vakuum Forsch. Prax* — 1996. — 3. — pp. 177—182

[9] FILIPPELLI A.R., ABBOTT P.J. Long-term stability of Bayard-Alpert gauge performance: Results obtained from repeated calibrations against the National Institute of Standards and Technology primary vacuum standard//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1995. — 13. — pp. 2582—2586

[10] WOOD S.D., TILFORD C.R. Long-term stability of two types of hot cathode ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1985. — 3. — pp. 542—545

[11] TILFORD C.R. Sensitivity of hot cathode ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1985. — 3. — pp. 546—550

[12] ARNOLD P.C., BORICHEVSKY S.C. Non-stable behavior of widely used ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1994. — 12. — pp. 568—573

[13] TILFORD C.R., FILIPPELLI A.R., ABBOTT P.J. Comments on the stability of Bayard-Alpert ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. — A* 1995. — 13. — pp. 485—487

[14] SUMMERS, R.L. *Empirical observations on the sensitivity of hot-cathode ionization-type vacuum gauges*//NASA Technical Note, NASA TN D-5285. — 1969

[15] NAKAO F. Determination of the ionization gauge sensitivity using the relative ionization cross-section//*Vacuum* 1975. — 25. — pp. 431—435

[16] HOLANDA R. Investigation of the sensitivity of ionization-type vacuum gauges//*J. Vac. Sci. Technol.* — 1973. — 10. — pp. 1133—1139

[17] PEACOCK R.N., PEACOCK N.T., HAUSCHULZ D.S. Comparison of hot cathode and cold cathode ionization gauges//*J. Vac. Sci. Technol. A.* — 1991. — 9. — pp. 1977—1985

[18] BERMAN A. *Total pressure measurements in vacuum technology*. // Academic Press. — New York. — 1985. — pp. 338—354

[19] LI D., JOUSTEN K. Comparison of some metrological characteristics of hot- and cold-cathode ionization gauges// *Vacuum.* — 2003. — 70. — pp. 531—541

[20] SUGINUMA S., HIRATA M. Dependence of sensitivity coefficient of a nude-type Bayard-Alpert gauge on the diameter of an envelope//*Vacuum.* — 1999. — 53. — pp. 177—180

УДК 621.3:006:354 ОКС 23.160

Ключевые слова: вакуумный ионизационный вакуумметр, катод, поверка, чувствительность, погрешность, давление, дегазация, преобразователь давления

Редактор *Н.А. Аргунова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.А. Налейкиной*

Сдано в набор 04.06.2025. Подписано в печать 16.06.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,37.

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