МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 34348— 2017 (ISO 27893:2011)

Вакуумная техника

ВАКУУММЕТРЫ

Оценивание неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном

(ISO 27893:2011, MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «Вакуумматш» (АО «Вакуумматш») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 249 «Вакуумная техника»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2017 г. № 52)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004 -97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004 -97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 октября 2018 г. № 790-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34348—2017 (ISO 27893:2011) введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2019 г.

5 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ISO 27893:2011 «Вакуумная техника. Вакуумметры. Оценивание неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном» («Vacuum technology — Vacuum gauges — Evaluation of the uncertainties of results of calibrations by direct comparison with a reference gauge», MOD). При этом потребности национальных экономик стран, указанных выше, и/или особенности межгосударственной стандартизации учтены в дополнительных терминологических статьях, которые выделены путем заключения в рамки из тонких линий, а информация с объяснением причин включения этих положений приведена в указанном пункте в виде примечания

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «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, 2011 — Все права сохраняются
© Стандартинформ, оформление, 2018

В Российской Федерации 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 Термины и определения 1
3 Условные обозначения 2
4 Базовая концепция и модель 3
5 Расчет неопределенности при аддитивной модели 4
6 Расчет неопределенности при мультипликативной модели 7
7 Комбинирование аддитивной и мультипликативной модели для погрешности показаний 9
8 Представление неопределенностей 10
Библиография 12

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Вакуумная техника

ВАКУУММЕТРЫ

Оценивание неопределенностей результатов калибровки при непосредственном сличении с эталоном

Vacuum technology. Vacuum gauges. Evaluation of the uncertainties of results of calibrations by direct comparison with a reference gauge

Дата введения — 2019—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вакуумметры и устанавливает общие правила оценивания и представления неопределенности измерений, которые следует соблюдать в процессе калибровки вакуумметров методом непосредственного сличения с эталоном в соответствии с [1].

Настоящий стандарт описывает методы единообразного представления неопределенностей в сертификатах о калибровке вакуумметров. Неопределенность, представленная в соответствии с данными рекомендациями, является передаваемой в том смысле, что неопределенность, оцененная для конкретного результата, может быть использована как составляющая неопределенности другого измерения или калибровки, в которых использован первый результат.

Настоящий стандарт определяет две модели измерения, которых достаточно для охвата большинства практических случаев. Однако возможно, что представленные модели могут быть неприменимы к разрабатываемым вакуумметрам.

Неопределенность измерений, которая должна указываться в сертификате о калибровке, определяется из неопределенностей входных и влияющих величин. Основные величины, которые могут повлиять на результат калибровки, приведены в настоящем стандарте, но полный перечень возможных величин, которые могут оказывать влияние на конечный результат, выходит за рамки настоящего стандарта.

Примечание — Предполагается, что в дальнейшем технические спецификации будут касаться калибровки конкретных типов вакуумметров.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по [1], [2]*, [3], [4], а также следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 **скорректированное показание** (corrected reading): Значение показания после введения поправки на систематическую погрешность.

Примечание — Для значений, приведенных в сертификате о калибровке эталона.

2.2 **долговременная нестабильность** (long-term instability): Возможное изменение значения, установленного при калибровке, в течение длительного периода времени (например, изменение в результате транспортировки устройства).

Примечание — Долговременная нестабильность отличается от воспроизводимости [3].

* В Российской Федерации действует ГОСТ Р 54500.3—2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008.

Издание официальное

2.3 **модель** (model): Математическая модель, установленная в соответствии с [2].

2.4 **сдвиг нуля** (offset): Погрешность вакуумметра в контрольной точке, когда установленное значение измеряемой величины равно нулю [3].

Примечание — Показание, когда значение давления (абсолютного или дифференциального) равно нулю или давление значительно ниже нижнего предела измерения вакуумметра.

2.5 **измерение сдвига нуля** (deviation of offset): Возможная разница между сдвигом нуля при его определении и выполнении измерений давления.

2.6 **исходный эталон** (reference gauge): Эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (имеющийся в распоряжении в данном месте или организации), передающий единицу величины или шкалу измерений подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

Примечание — Эталоны, стоящие в калибровочной иерархии ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами.

2.7 **давление при калибровке** (calibration pressure): Давление, определяемое вакуумметром, по скорректированным показаниям эталона с учетом всех поправок.

Примечание — Если известны скорректированные показания к калибруемому вакуумметру, то требуется провести необходимые корректировки.

2.8

неопределенность (измерения) (uncertainty (of measurement)): Неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации.

2.9

суммарная стандартная неопределенность (combined standard uncertainty): Стандартная неопределенность результата измерения, полученного из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню взвешенной суммы дисперсий или ковариаций этих величин, весовые коэффициенты при которых определяются зависимостью изменения результата измерения от измерений этих величин.

2.10

расширенная неопределенность (expanded uncertainty): Величина, определяющая интервал вокруг результата измерения, который, как ожидается, содержит в себе большую часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

3 Условные обозначения

UUC — калибруемый вакуумметр;

e — относительная погрешность;

p_{UUC} — показание давления калибруемого вакуумметра с поправкой на известное отклонение, Па;

$p_{ind,UUC}$ — показание давления калибруемого устройства без поправки на известное отклонение, Па;

p_{std} — показание эталона с поправкой на известное отклонение, Па;

$p_{ind,std}$ — показание давления исходного эталона без поправки на известное отклонение, Па;

r_{UUC} — величина (калибровочный коэффициент), определяемая при калибровке в условиях мультипликативной модели;

r_{std} — величина (калибровочный коэффициент), определяемая при калибровке эталона;

u — стандартная неопределенность;

U — расширенная неопределенность;

x_{UUC} — показания калибруемого вакуумметра;

x_{std} — скорректированное показание исходного эталона;

x_i — оценка входных величин и поправок;

X_j — входные величины и поправки метода калибровки или условий измерения;

Δp — абсолютная погрешность, Па;

δp_i — отклонение давления, Па;

δx_i — отклонение в x;

δp_m — поправочный коэффициент;

σ_{eff} — эффективный коэффициент согласования вращающегося шарика вязкостного вакуумметра.

4 Базовая концепция и модель

4.1 Общие требования

При калибровке вакуумметра скорректированное показание исходного эталона выражается в соответствии с международной системой единиц физических величин. Все вакуумметры должны быть откалиброваны в соответствии с [1] и настоящим стандартом. Пользователь откалиброванного вакуумметра получает значение измеряемой величины непосредственно в единицах давления.

Значение давления, получаемое из скорректированного показания выходного сигнала исходного эталона, может использоваться для определения давления на входе калибруемого вакуумметра (UUC). Это сокращенно называют значением давления калибровки. Часто скорректированное показание исходного эталона идентично точному измерению давления и применимо ко всем каналам калибруемого вакуумметра.

Значение давления калибровки может использоваться для определения абсолютной погрешности Δp калибруемого вакуумметра. В этом случае аддитивная модель дает адекватное описание измерения.

Значение давления калибровки может также использоваться для определения калибровочного коэффициента, коэффициента чувствительности, эффективного коэффициента согласования или постоянной вакуумметра, в этом случае мультипликативная модель дает адекватное описание измерения.

Предположительно в обеих моделях все входные величины некоррелированные.

4.2 Аддитивная модель измерения

В аддитивной модели разность между показанием калибруемого вакуумметра p_{ind} и истинным значением давления калибровки, выраженным в соответствии с международной системой единиц физических величин, принимается в качестве измеряемой величины Δp. Давление калибровки устанавливается значением давления исходного эталона p_{std} и поправочным коэффициентом δp_m, в зависимости от метода калибровки, с учетом таких факторов, как коррекция высоты, тепловая транспирация и неравномерность распределения давления. Таким образом, общую аддитивную модель вычисляют по формуле

$$\Delta p = p_{UUC} - (p_{std} + \delta p_m). \quad (1)$$

Первый член относится к калибруемому вакуумметру, второй — к исходному эталону, а третий — к методу калибровки. Сумма последних двух слагаемых дает действительное значение давления калибровки. Все величины должны выражаться в единицах давления, Па.

Далее каждый из этих членов выражается через другую модель, которая учитывает поправки, обусловленные сдвигом нуля, температурными поправками, отклонением показаний от значения в соответствии с сертификатом о калибровке и т. д.

4.3 Мультипликативная модель измерения

В мультипликативной модели измерения отношение показания калибруемого вакуумметра x_{UUC} и значения давления исходного эталона p_{std} принимаются в качестве измеряемой величины r_{UUC}. Общую мультипликативную модель вычисляют по формуле

$$r_{UUC} = \frac{x_{UUC}}{p_{std}} \prod_i X_i. \quad (2)$$

В числителе — показание калибруемого вакуумметра, в знаменателе — показание давления исходного эталона, а произведение — входные величины, которые зависят от метода и условий калибровки.

Последний член можно определить с помощью рассматриваемых нами вакуумметров, например ток эмиссии в ионизационном датчике с горячим катодом. x_{UUC} может быть выражен любой приемлемой

единицей измерения, например единицей измерения давления, напряжения или силы тока. X_i может быть выражено любой значимой физической единицей измерения или же без указания размерности.

Каждый из этих членов выражается через другие модели, в результате чего возникает необходимость внесения поправок из-за сдвига нуля, температурных поправок, отклонений показаний в соответствии с сертификатом о калибровке и т. д.

Примером r_{UUC} являются:

a) f_c^{-1} — величина, обратная поправочному коэффициенту без указания размерности, где $x_{UUC} = p_{UUC}$ и $X_i = 1$;

b) S — чувствительность по аналоговому выходу сигнала V_{UUC} мембранно-емкостного датчика, где $x_{UUC} = V_{UUC}$;

c) S — чувствительность по аналоговому выходу сигнала V_{UUC} теплового датчика, где $x_{UUC} = V_{UUC}$;

d) σ_{eff} — эффективный коэффициент согласования вращающегося шарика вязкостного вакуумметра, где $x_{UUC} = p_{UUC}$, при введении $\sigma_{eff} = 1$ в контроллер;

e) S — чувствительность ионизационного вакуумметра Байярда-Альперта с горячим катодом, где $x_{UUC} = I_{UUC}$ — положительный ионный ток коллектора, а $X_1 = 1/I_e$ (I_e — ток эмиссии).

4.4 Сочетание двух моделей

Некоторые входные величины в каждой модели можно вычислить с помощью любой из двух моделей. Например, p_{std} и соответствующую неопределенность можно вычислить, используя мультипликативную модель.

$$p_{std} = \frac{x_{std}}{r_{std}}. \tag{3}$$

Результат может использоваться в формуле (1), если r_{std} указан в сертификате о калибровке, или применить формулу (2) (например, чувствительность выходного сигнала), где r_{UUC} заменен на r_{std}.

Не рекомендуется сочетать аддитивную и мультипликативную модели в одной формуле. Расчеты сложных коэффициентов влияния не рассматриваются в настоящем стандарте, эту задачу следует оставить на усмотрение специалистов. Однако распространенным случаем комбинирования этих двух моделей является относительная погрешность e. Относительная погрешность e представлена как

$$e = \frac{p_{UUC} - (p_{std} + \delta p_m)}{(p_{std} + \delta p_m)} = \frac{p_{UUC}}{(p_{std} + \delta p_m)} - 1 \tag{4}$$

или, если $\delta p_m = 0$,

$$e = \frac{p_{UUC} - p_{std}}{p_{std}} = \frac{p_{UUC}}{p_{std}} - 1. \tag{5}$$

Обозначения p_{UUC}, p_{std} и δp_m представлены в разделе 3, а вычисление относительной погрешности e в разделе 7.

5 Расчет неопределенности при аддитивной модели

5.1 Суммарная неопределенность — Аддитивная модель

Суммарную стандартную неопределенность $u(\Delta p)$ для аддитивной модели вычисляют по формуле

$$u(\Delta p) = \sqrt{u(p_{UUC})^2 + u(p_{std})^2 + u(\delta p_m)^2}, \tag{6}$$

где $u(p_{UUC})$ — стандартная неопределенность скорректированного показания калибруемого вакуумметра UUC;

$u(p_{std})$ — стандартная неопределенность показания исходного эталона;

$u(\delta p_m)$ — стандартная неопределенность отклонений эталона, обусловленная методом калибровки.

5.2 Составляющие неопределенности, обусловленные эталоном

Давление, измеряемое эталоном p_{std}, вычисляют по формуле

$$p_{std} = p_{ind,std} - p_{offs,std} + \delta p_{drft,std} + \delta p_{cal,std} + \delta p_{f\,std} + \delta p_{T,std} + \delta p_{els,std}, \tag{7}$$

где $p_{ind,std}$ — показание исходного эталона;

$p_{offs,std}$ — сдвиг нуля исходного эталона (без учета дрейфа показаний);

$\delta p_{drft,std}$ — дрейф показаний исходного эталона (в большинстве случаев, $\delta p_{drft,std} = 0$);

$\delta p_{cal,std}$ — поправка в соответствии с сертификатом о калибровке исходного эталона;

$\delta p_{t,std}$ — отклонение, обусловленное долговременной нестабильностью (в большинстве случаев, $\delta p_{t,std} = 0$);

$\delta p_{T,std}$ — отклонение, обусловленное температурой в калибровочной лаборатории;

$\delta p_{els,std}$ — отклонение, обусловленное другими воздействиями, например, наклоном калибруемого вакуумметра (в большинстве случаев, $\delta p_{els,std} = 0$).

Все величины формулы (7) относятся к исходному эталону.

Примечание — Если сдвиг нуля компенсируется в самом исходном эталоне, то $p_{offs,std} = 0$.

Стандартную неопределенность измерения давления калибровки исходного эталона $u(p_{std})$ вычисляют по формуле

$$u(p_{std}) = \sqrt{u(p_{ind,std})^2 + u(p_{offs,std})^2 + u(\delta p_{drft,std})^2 + u(\delta p_{cal,std})^2 + u(\delta p_{t,std})^2 + u(\delta p_{T,std})^2 + u(\delta p_{els,std})^2}, \quad (8)$$

где $u(p_{ind,std})$ — неопределенность, возникающая в результате разброса измеренных значений, в том числе вследствие преобразования в цифровую форму, дисперсии разрешения и т.д.;

$u(p_{offs,std})$ — неопределенность, обусловленная сдвигом нуля [без учета дрейфа показаний $u(\delta p_{drft,std})$];

$u(\delta p_{drft,std})$ — неопределенность, обусловленная дрейфом показаний калибровки или других систематических зависимостей, например частотной зависимости вакуумметра с вращающимся шариком,

$u(\delta p_{cal,std})$ — неопределенность исходного эталона в соответствии с сертификатом о калибровке;

$u(\delta p_{t,std})$ — составляющая неопределенности, возникающая в результате долговременной нестабильности;

$u(\delta p_{T,std})$ — составляющая неопределенности, возникающая в результате воздействия температуры в условиях калибровочной лаборатории;

$u(\delta p_{els,std})$ — неопределенность, возникающая в результате конкретных условий в калибровочной лаборатории, например различные положения при установке встраиваемых приборов.

Для $p_{ind,std}$ вакуумметра, которое не было получено в результате повторных наблюдений, расчет $u(p_{ind,std})$ проводят на основе всей доступной информации о возможной вариативности (включая составляющую неопределенности, возникающую вследствие преобразования в цифровую форму, воспроизводимости и т. д.)

Если температура калибровки отличается от температуры, указанной в сертификате о калибровке исходного эталона, то необходимо учитывать $u(\delta p_{T,std})$.

5.3 Составляющие неопределенности, обусловленные калибруемым вакуумметром

Давление, измеряемое калибруемым вакуумметром p_{UUC}, вычисляют по формуле

$$p_{UUC} = p_{ind,UUC} - p_{offs,UUC} + \delta p_{drft,UUC} + \delta p_{els,UUC}, \quad (9)$$

где $p_{ind,UUC}$ — показание давления калибруемого вакуумметра;

$p_{offs,UUC}$ — сдвиг нуля калибруемого вакуумметра;

$\delta p_{drft,UUC}$ — дрейф показаний (в большинстве случаев $\delta p_{drft,UUC} = 0$);

$\delta p_{els,UUC}$ — отклонение, обусловленное другими воздействиями, например наклоном калибруемого вакуумметра (в большинстве случаев $\delta p_{els,UUC} = 0$).

Стандартную неопределенность измерения давления с помощью калибруемого вакуумметра $u(p_{UUC})$ вычисляют по формуле

$$u(p_{UUC}) = \sqrt{u(p_{ind,UUC})^2 + u(p_{offs,UUC})^2 + u(\delta p_{drft,UUC})^2 + u(\delta p_{els,UUC})^2}, \quad (10)$$

где $u(p_{ind,UUC})$ — неопределенность, возникающая в результате разброса измеренных значений калибруемого вакуумметра, в том числе вследствие преобразования в цифровую форму, дисперсии разрешения и т. д.;

$u(p_{offs,UUC})$ — неопределенность, обусловленная сдвигом нуля калибруемого вакуумметра (без учета дрейфа показаний);

$u(\delta p_{drft,UUC})$ — неопределенность, обусловленная дрейфом показаний калибруемого вакуумметра или других систематических зависимостей;

$u(\delta p_{els,UUC})$ — другие составляющие неопределенности, которые также связаны с элементом калибровки, например влияние температуры.

Для $p_{ind,UUC}$ калибруемого вакуумметра, которое не было получено в результате повторных наблюдений, расчет $u(p_{ind,UUC})$ проводят, используя всю доступную информацию о возможной вариативности (включая составляющую неопределенности, возникающую вследствие преобразования в цифровую форму, воспроизводимости и т. д.)

Если вышеуказанные зависимости или значения неизвестны или их невозможно рассчитать в калибровочной лаборатории, или отсутствуют спецификации изготовителя, то необходимо провести не менее двух повторных измерений в разные дни. Составляющую неопределенности значений объекта калибровки $u(p_{ind,UUC})$ вычисляют по формуле

$$u(p_{ind,UUC}) = u(p_{rep,UUC}), \quad (11)$$

где $u(p_{rep,UUC})$ — воспроизводимость (стандартное отклонение) не менее чем из трех значений измерений, определенных для одной точки давления, или в более широком диапазоне.

5.4 Составляющие неопределенности, обусловленные методами и условиями калибровки

Сумму отклонений давлений, обусловленную методом калибровки δp_m, вычисляют по формуле

$$\delta p_m = \delta p_{T,m} + \delta p_{cf,m} + \delta p_{t,m}, \quad (12)$$

где $\delta p_{T,m}$ — отклонение давления, вызванное разными температурами на соединительных фланцах;

$\delta p_{cf,m}$ — отклонение давления на соединительных фланцах вследствие перепадов высот, десорбции, негерметичности, режима течения газа, быстроты откачки, например в случае магниторазрядных вакуумметров с холодным катодом;

$\delta p_{t,m}$ — отклонения, обусловленные методом измерения, например изменения давления, связанные со временем, когда показания исходного эталона и объекта калибровки считываются не одновременно.

Стандартную неопределенность метода калибровки $u(\delta pm)$ вычисляют по формуле

$$u(\delta p_m) = \sqrt{u(\delta p_{T,m})^2 + u(\delta p_{cf,m})^2 + u(\delta p_{t,m})^2}, \quad (13)$$

где $u(\delta p_{T,m})$ — составляющая неопределенности отклонений давлений на соединительных фланцах вследствие разницы температур;

$u(\delta p_{cf,m})$ — составляющая неопределенности отклонений давлений на соединительных фланцах вследствие десорбции, негерметичности, режима течения газа, быстроты откачки;

$u(\delta p_{t,m})$ — составляющая неопределенности, обусловленная методом измерения.

5.5 Коэффициент охвата

Расширенную неопределенность $U(\Delta p)$ вычисляют по формуле

$$U(\Delta p) = k\, u(\Delta p), \quad (14)$$

где k — коэффициент охвата;

$u(\Delta p)$ — стандартная неопределенность.

Коэффициент охвата выбирают на основании степени доверия, необходимой для применения, k выбирают в диапазоне от 2 (уровень доверия приблизительно 95 %) до 3 (уровень доверия приблизительно 99 %).

Если между заказчиком и калибровочной лабораторией не указано иное, то $k = 2$.

6 Расчет неопределенности при мультипликативной модели

6.1 Суммарная неопределенность — Мультипликативная модель

Суммарную неопределенность в мультипликативной модели лучше всего выражать как относительную неопределенность $\frac{u(r_{UUC})}{r_{UUC}}$, и ее вычисляют по формуле

$$\frac{u(r_{UUC})}{r_{UUC}} = \sqrt{\left(\frac{u(x_{UUC})}{x_{UUC}}\right)^2 + \left(\frac{u(p_{std})}{p_{std}}\right)^2 + \sum_i \left(\frac{u(X_i)}{X_i}\right)^2}, \quad (15)$$

где x_{UUC} — показание калибруемого вакуумметра;

p_{std} — значение давления исходного эталона;

X_i — значения поправок в зависимости от метода и условий калибровки.

6.2 Составляющие неопределенности, обусловленные эталоном

Измерение давления исходным эталоном p_{std} при аддитивной модели и соответствующей суммарной неопределенности приводится в разделе 5.2.

Применяя формулу (3)

$$\frac{u(p_{std})}{p_{std}} = \sqrt{\left(\frac{u(x_{std})}{x_{std}}\right)^2 + \left(\frac{u(r_{std})}{r_{std}}\right)^2}, \quad (16)$$

где x_{std} — скорректированные показания исходного эталона (давление, напряжение, сила тока и т. д.);

r_{std} — калибровочный коэффициент исходного эталона.

Скорректированные показания исходного эталона x_{std} вычисляют по формуле

$$x_{std} = x_{ind,std} - x_{offs,std} + \delta x_{drft,std} + \delta x_{T,std} + \delta x_{els,std}, \quad (17)$$

где $x_{ind,std}$ — показания исходного эталона (давление, напряжение, сила тока и т. д.);

$x_{offs,std}$ — сдвиг нуля исходного эталона;

$\delta x_{drft,std}$ — дрейф показаний исходного эталона (в большинстве случаев $\delta x_{drft,std} = 0$);

$\delta x_{T,std}$ — отклонение, обусловленное температурой в калибровочной лаборатории;

$\delta x_{els,std}$ — отклонение, обусловленное другими воздействиями, например наклоном калибруемого вакуумметра (в большинстве случаев $\delta x_{els,std} = 0$).

Все величины в формулах (16) и (17) относятся к исходному эталону.

Стандартную неопределенность измерения показаний исходного эталона $u(x_{std})$ вычисляют по формуле

$$u(x_{std}) = \sqrt{u(x_{ind,std})^2 + u(x_{offs,std})^2 + u(\delta x_{drft,std})^2 + u(\delta x_{T,std})^2 + u(\delta x_{els,std})^2}, \quad (18)$$

где $u(x_{ind,std})$ — неопределенность, возникающая в результате разброса измеренных значений, в том числе обусловленная преобразованием в цифровую форму, дисперсией разрешения и т. д.,

$u(x_{offs,std})$ — неопределенность, обусловленная сдвигом нуля исходного эталона;

$u(\delta x_{drft,std})$ — неопределенность, обусловленная дрейфом показаний исходного эталона или других систематических зависимостей;

$u(\delta x_{T,std})$ — составляющая неопределенности, возникающая в результате воздействия температуры в условиях калибровочной лаборатории;

$u(\delta x_{els,std})$ — другие составляющие неопределенности, которые так же связаны с элементом калибровки, например влияние температуры.

Калибровочный коэффициент исходного эталона r_{std} определяют из значения $r_{cert,std}$, указанного в сертификате о калибровке и дополнительного допуска на долговременный дрейф $\delta r_{t,std}$ $r_{cert,std}$.

$$r_{std} = r_{cert,std}\,(1 + \delta r_{t,std}). \quad (19)$$

Обычно $\delta r_{t,std} = 0$, но $u(\delta r_{t,std}) \neq 0$.

Неопределенность $\frac{u(r_{std})}{r_{std}}$ вычисляют по формуле

$$\frac{u(r_{std})}{r_{std}} = \sqrt{\left(\frac{u(r_{cert,std})}{r_{cert,std}}\right)^2 + \left(\frac{u(\delta r_{f,std})}{r_{cert,std}}\right)^2}. \quad (20)$$

6.3 Составляющие неопределенности, обусловленные калибруемым вакуумметром

Показания калибруемого вакуумметра x_{UUC} в единицах давления вычисляют по формуле

$$x_{UUC} = x_{ind,UUC} - x_{offs,UUC} + \delta x_{drft,UUC} + \delta x_{els,UUC}, \quad (21)$$

где $x_{ind,UUC}$ — показания калибруемого вакуумметра (давление, напряжение, сила тока и т. д.);

$x_{offs,UUC}$ — сдвиг нуля калибруемого вакуумметра;

$\delta x_{drft,UUC}$ — дрейф показаний калибруемого вакуумметра (в большинстве случаев $\delta x_{drft,UUC} = 0$);

$\delta x_{els,UUC}$ — отклонение, обусловленное другими воздействиями, например наклоном калибруемого вакуумметра (в большинстве случаев $\delta x_{els,UUC} = 0$).

Все величины формулы (21) относятся к калибруемому вакуумметру.

Стандартную неопределенность измерения давления с помощью калибруемого вакуумметра $u(x_{UUC})$ вычисляют по формуле

$$u(x_{UUC}) = \sqrt{u(x_{ind,UUC})^2 + u(x_{offs,UUC})^2 + u(\delta x_{drft,UUC})^2 + u(\delta x_{els,UUC})^2}, \quad (22)$$

где $u(x_{ind,UUC})$ — неопределенность, возникающая в результате разброса измеренных значений калибруемого вакуумметра, в том числе вследствие преобразования в цифровую форму, дисперсии разрешения и т. д.;

$u(x_{offs,UUC})$ — неопределенность, обусловленная сдвигом нуля калибруемого вакуумметра;

$u(\delta x_{drft,UUC})$ — неопределенность, обусловленная дрейфом показаний или других систематических зависимостей, например вследствие частой зависимости вязкостного вакуумметра с вращающимся шариком;

$u(\delta x_{els.UUC})$ — другие составляющие неопределенности, которые также связаны с элементом калибровки, например влияние температуры.

Если при измерении не выполняют повторные наблюдения, то оценку соответствующей неопределенности выполняют на основе всей доступной информации о возможной вариативности (с учетом неопределенности, связанной с преобразованием в цифровую форму, воспроизводимостью и т. д.). Если вышеуказанные зависимости или значения неизвестны или их невозможно рассчитать в калибровочной лаборатории, или отсутствуют спецификации изготовителя, то необходимо провести не менее двух повторных измерений в разные дни. Составляющую неопределенности значений калибруемого вакуумметра $u(x_{ind,UUC})$ вычисляют по формуле

$$u(x_{ind,UUC}) = u(x_{rep,UUC}), \quad (23)$$

где $u(x_{rep,UUC})$ — воспроизводимость (стандартное отклонение) значений измерения для одной точки давления.

6.4 Составляющие неопределенности, обусловленные методами и условиями калибровки

6.4.1 Поправочные коэффициенты X_i определяют в зависимости от метода калибровки (например, соотношение давлений между фланцами) или условий калибровки (например, тока эмиссии ионизационного вакуумметра). Последние значения может указывать изготовитель (часто номинальные значения) или X_i измеряют во время калибровки.

Целесообразно различать неопределенности X_i для различных случаев.

6.4.2 Поправочные коэффициенты X_i для r, обусловленные методом калибровки, могут быть результатом таких факторов, как:

a) разные температуры на соединительных фланцах;

b) разное давление на соединительных фланцах вследствие перепадов высот, десорбции, негерметичности, режима течения газа, быстроты откачки, например в случае магниторазрядных вакуумметров с холодным катодом;

c) изменение давления, связанное со временем, когда показания эталона и объекта калибровки считываются не одновременно.

6.4.3 Если значения X_i для условий измерения указывает изготовитель (например, номинальное значение тока эмиссии), то неопределенность $u(X_i)$ тоже следует указывать, но если такой информации нет, то ее расчет проводят на основе всей доступной информации о возможной вариабельности.

В зависимости от условий калибровки неопределенность $u(X_i)$ во время измерения обычно вычисляют по формуле

$$u(X_i) = \sqrt{u\left(X_{i,\mathrm{ind}}\right)^2 + u\left(X_{i,\mathrm{cal}}\right)^2 + u\left(X_{i,\mathrm{offs}}\right)^2 + u\left(X_{i,\mathrm{drft}}\right)^2 + u\left(X_{i,\mathrm{els}}\right)^2}, \quad (24)$$

где $u(X_{i,\mathrm{ind}})$ — неопределенность, возникающая в результате разброса измеренных значений X_i, в том числе вследствие преобразования в цифровую форму, дисперсии разрешения и т. д., например в случае эмиссии тока — стандартное отклонение тока;

$u(X_{i,\mathrm{cal}})$ — неопределенность X_i, в соответствии с сертификатом о калибровке и другими факторами, такими как долговременная нестабильность средства измерения X_i, например в случае эмиссии тока — неопределенность амперметра;

$u(X_{i,\mathrm{offs}})$ — неопределенность, обусловленная сдвигом нуля средства измерения X_i, например неопределенность амперметра при измерении тока эмиссии;

$u(X_{i,\mathrm{drft}})$ — неопределенность, обусловленная дрейфом показаний средства измерения X_i, или других систематических зависимостей, например контроля отклонения тока эмиссии;

$u(X_{i,\mathrm{els}})$ — другие составляющие неопределенности, которые также связаны с элементом калибровки, например влияние температуры.

Примечание — Если $X_i = Q^{-1}$ (например, $Q = I_e$, ток эмиссии ионизационных вакуумметров), относительную неопределенность вычисляют по формуле

$$\frac{u(X_i)}{X_i} \approx \frac{u\left(Q^{-1}\right)}{Q^{-1}} \approx \frac{u(Q)}{Q}.$$

Последнее соотношение легче рассчитать.

6.5 Коэффициент охвата

Расширенную неопределенность $U(\Delta p)$ вычисляют по формуле

$$U(\Delta p) = k\, u(\Delta p), \quad (25)$$

где k — коэффициент охвата;

$u(\Delta p)$ — стандартная неопределенность.

Коэффициент охвата выбирают на основании степени доверия (уровня доверия), необходимой для применения, k выбирают в диапазоне от 2 (уровень доверия приблизительно 95 %) до 3 (уровень доверия приблизительно 99 %).

Если между заказчиком и калибровочной лабораторией не согласовано иное, то $k = 2$.

7 Комбинирование аддитивной и мультипликативной модели для погрешности показаний

Относительную погрешность показаний e вычисляют по формуле (4), по которой можно вычислить неопределенность $u(e)$ [2]

$$u(e) = \frac{p_{\mathrm{UUC}}}{p_{\mathrm{std}} + \delta p_m} \sqrt{\left(\frac{u\left(p_{\mathrm{UUC}}\right)}{p_{\mathrm{UUC}}}\right)^2 + \left(\frac{u\left(p_{\mathrm{std}}\right)}{p_{\mathrm{std}} + \delta p_m}\right)^2 + \left(\frac{u\left(\delta p_m\right)}{p_{\mathrm{std}} + \delta p_m}\right)^2} \quad (26)$$

$u(p_{\mathrm{std}})$, $u(p_{\mathrm{UUC}})$ и $u(\delta p_m)$ вычисляют в соответствии с разделами 5.2, 5.3, 5.4 соответственно.

Если p_{std} необходимо вычислить по формуле (3), то $u(p_{\mathrm{std}})$ вычисляют по формуле (16).

Если $\delta p_m = 0$ [формула (5)], то $u(\delta p_m) \neq 0$.

$$u(e) = \frac{p_{UUC}}{p_{std}} \sqrt{\left(\frac{u(p_{UUC})}{p_{UUC}}\right)^2 + \left(\frac{u(p_{std})}{p_{std}}\right)^2 + \left(\frac{u(\delta p_m)}{p_{std}}\right)^2} \quad (27)$$

Если $\delta p_m = 0$ [формула (5)], то $u(\delta p_m) = 0$.

$$u(e) = \frac{p_{UUC}}{p_{std}} \sqrt{\left(\frac{u(p_{UUC})}{p_{UUC}}\right)^2 + \left(\frac{u(p_{std})}{p_{std}}\right)^2}. \quad (28)$$

Если $0{,}95 < p_{UUC}/p_{std} < 1{,}05$, то рекомендуется округлить $p_{ind}/p_{std} \approx 1$, поскольку значения неопределенности приводят только в виде двух цифр.

Примечание — Неопределенность $u(e)$, как и сама e, являются относительными величинами, для которых p_{std} (а не p_{UUC}) выступает в качестве опорного значения.

8 Представление неопределенностей

8.1 Бюджет неопределенности

В документах по обеспечению качества результатов измерения рекомендуется использовать сводную таблицу, являющуюся бюджетом неопределенности, для четкого представления заинтересованного пользователя.

Бюджет для аддитивной модели должен содержать строки и столбцы в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 — Сводная таблица для аддитивной модели

Параметр	Значение параметра	Стандартная неопределенность	Распределение вероятностей	Коэффициент влияния	Вклады в суммарную неопределенность	Относительный индекс, %
p_{UUC}	Величина	$u(p_{UUC})$	—[a]	1	$u(p_{UUC})$	$[u(p_{UUC})/u(\Delta p)]^2 \times 100$
p_{std}	Величина	$u(p_{std})$	—[a]	1	$u(p_{std})$	$[u(p_{std})/u(\Delta p)]^2 \times 100$
δp_m	Величина	$u(\delta p_m)$	—[a]	1	$u(\delta p_m)$	$[u(\delta p_m)/u(\Delta p)]^2 \times 100$
Δp	Величина	—	—	—	$u(\Delta p)$	100 %
Примечание — См. формулу (6).						
[a] Распределение вероятностей (нормальное, прямоугольное, треугольное и т. п.) зависит от частного случая и определено в [2].						

Для отдельных членов в формулах (7), (9), (12) рекомендуется ввести дополнительные строки.

Бюджет для мультипликативной модели должен содержать строки и столбцы в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 — Сводная таблица для мультипликативной модели

Параметр	Значение параметра	Стандартная неопределенность	Распределение вероятностей	Относительная стандартная неопределенность	Относительный индекс, %
x_{UUC}	Величина	$u(x_{UUC})$	—[a]	$u(x_{UUC})/x_{UUC}$	$\{[u(x_{UUC})/x_{UUC}]/[u(r_{UUC})/r_{UUC}]\}^2 \times 100$
p_{std}	Величина	$u(p_{std})$	—[a]	$u(p_{std})/p_{std}$	$\{[u(p_{std})/p_{std}]/[u(r_{UUC})/r_{UUC}]\}^2 \times 100$
X_1	Величина	$u(X_1)$	—[a]	$u(X_1)/X_1$	$\{[u(X_1)/X_1]/[u(r_{UUC})/r_{UUC}]\}^2 \times 100$
X_2	Величина	$u(X_2)$	—[a]	$u(X_2)/X_2$	$\{[u(X_2)/X_2]/[u(r_{UUC})/r_{UUC}]\}^2 \times 100$
...	Величина	...	—[a]	...	...

Окончание таблицы 2

Параметр	Значение параметра	Стандартная неопределенность	Распределение вероятностей	Относительная стандартная неопределенность	Относительный индекс, %
X_n	Величина	$u(X_n)$	—[a]	$u(X_2)/X_2$	$\{[u(X_2)/X_2]/[u(r_{UUC})/r_{UUC}]\}^2 \times 100$
r_{UUC}	Величина	$u(r_{UUC})$	—	$u(r_{UUC})/r_{UUC}$	100 %
Примечание — См. формулу (15).					
[a] Распределение вероятностей (нормальное, прямоугольное, треугольное и т. п.) зависит от частного случая и определено в [2].					

Для отдельных членов в формулах (16), (17), (21) рекомендуется ввести дополнительные строки.

Документация по качеству должна содержать несколько таблиц для ряда значений, охватывающих весь диапазон давлений и вакуумметров, измеряемых в калибровочной лаборатории.

8.2 Сертификат о калибровке

В сертификате о калибровке необходимо указывать модель измеряемой величины или предоставлять разъяснение относительно измеряемой величины. Причина в том, что поправка и коэффициенты чувствительности можно легко спутать с их противоположностями, а погрешности показаний с их обратными величинами.

Для каждого установленного при калибровке значения Δp, r или e необходимо указывать соответствующую расширенную неопределенность U в соответствии с [1]. В тех случаях, когда измеряемая величина $y(\Delta p, r$ или $e)$ и ее неопределенность не зависят существенно от величины давления, необходимо указывать их средние значения для более широкого диапазона давлений.

Достаточно одного значения неопределенности этой величины, например $[y \pm U(y)]$.

Необходимо убедиться в том, что это единственное значение $U(y)$ учитывает разброс результатов y_i в рассматриваемом диапазоне. Это значит, что 95 % измеренных значений y_i при $k = 2$ должны находиться в пределах U.

Если заказчик и калибровочная лаборатория согласовали, что в перечне калибруемых точек всего диапазона для простоты необходимо указывать только одно значение неопределенности, то это значение должно представлять собой наибольшее возможное значение неопределенности в этом диапазоне.

Пользователю рекомендуется предоставлять сертификат о калибровке с формулой, с помощью которой он сможет вычислить давление на основании данных вакуумметра и данных, приведенных в сертификате о калибровке.

Числовое значение неопределенности измерений необходимо округлять до двух значащих цифр (не более). Числовое значение результата итогового измерения необходимо округлять до наименьшей значащей цифры в значении расширенной неопределенности, в которой выражается результат измерения.

Библиография

[1]	ISO 3567:2011	Вакуумметры. Калибровка прямым сравнением с эталонным вакуумметром
[2]	ISO/IEC Guide 98-3	Неопределенность измерения. Часть 3: Руководство по выражению неопределенности в измерении (GUM:1995 Государственная система обеспечения единства измерений)
[3]	ISO/IEC Guide 99-2007	Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM)
[4]	РМГ 29-2013	Метрология. Основные термины и определения

УДК 621:006:524 МКС 23.160 ОКП 36 4800 MOD

Ключевые слова: вакуумметр; неопределенность; поверка; модель; исходный эталон; погрешность, давление; сертификат

БЗ 11—2017/249

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 17.10.2018. Подписано в печать 25.10.2018. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 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