

	Рекомендация КОOMET	COOMET R/F/XX:202Y
	Преобразователи расхода, расходомеры и счетчики жидкости объемные и массовые. Методика калибровки	
Утверждена на _____ заседании Комитета КОOMET (_____)		

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая рекомендация распространяется на преобразователи расхода, расходомеры и счетчики жидкости объемные и массовые и устанавливает методику их калибровки методом непосредственного сличения с применением национальных эталонов единиц величин. Рекомендация разработана с учетом требований стандарта ISO/IEC 17025:2017, рекомендации COOMET R/GM/31:2016.

Метрологическими характеристиками преобразователей расхода, расходомеров и счетчиков жидкости объемных и массовых, действительные значения которых подлежат определению в процессе калибровки являются: относительное отклонение при измерении массы жидкости в потоке, относительное отклонение при измерении объема жидкости в потоке, относительное отклонение при измерении массового расхода жидкости и относительное отклонение при измерении объема жидкости в потоке, относительное отклонение при измерении объемного расхода жидкости.

2. ССЫЛКИ

В настоящей рекомендации использованы ссылки на следующие документы и публикации¹ КОOMET:

JCGM 200:2012 «International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM3)» (Международный словарь по метрологии Основные и общие понятия и соответствующие термины);

ISO/IEC 17025:2017 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий»;

Рекомендация COOMET R/GM/15:2020 «Порядок оформления сертификатов калибровки, выдаваемых национальными метрологическими институтами и назначенными институтами в рамках CIPM MRA»;

Рекомендация COOMET R/GM/21:2011 «Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерения». Общие принципы»;

Рекомендация COOMET R/GM/31:2016 «Методики калибровки средств измерений. Общие требования».

3. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

3.1. В настоящей рекомендации применяются термины и определения по JCGM 200:2012, а также нижеследующие:

¹ При использовании настоящей рекомендации целесообразно проверить год утверждения ссылочных публикаций на сайте www.coomet.org (раздел "Публикации КОOMET") или портале www.coomet.net (раздел "Публикации").

Договоренность о взаимном признании национальных эталонов, сертификатов калибровки и измерений, выдаваемых национальными метрологическими институтами (далее – Договоренность CIPM MRA) – техническое соглашение, подписываемое директорами национальных метрологических институтов, с целью установления степени эквивалентности национальных измерительных эталонов и обеспечения взаимного признания сертификатов калибровки и измерений.

3.2. В настоящей рекомендации применены следующие сокращения:

КР – калибруемый преобразователь расхода, расходомер или счетчик жидкости объемный или массовый;

НЭТ – национальный эталон единиц величин;

МК – методика калибровки;

СИ – средство измерений.

3.3. В настоящей рекомендации применены следующие обозначения:

$\delta(M)$ – относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, %;

i – индекс измерения;

j – индекс точки расхода;

M – масса жидкости в потоке по показаниям КР, кг;

$M_{\text{НЭТ}}$ – масса жидкости в потоке по показаниям НЭТ, кг;

$\overline{\delta(M)}$ – среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, %;

n – индекс количества измерений;

$u_A(\delta(M))$ – стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, оцениваемая по типу А, %;

$u_B(\delta(M_{\text{cal}}))$ – стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массы жидкости в потоке, оцениваемая по типу В, %;

$u_c(M_{\text{НЭТ}})$ – суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массы жидкости в потоке НЭТ, %;

$u_B(M_{\text{НЭТ пер}})$ – стандартная неопределенность передачи единицы массы жидкости в потоке от НЭТ, %;

$u_c(\delta(M))$ – суммарная стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, %;

$u_A(\delta(M))_{j\max}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, оцениваемое по типу А, среди всех точек расхода, %;

$u_B(\delta(M))_{j\max}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности калибровки, обусловленной характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массы жидкости в потоке, оцениваемое по типу В, среди всех точек расхода, %;

$U(\delta(M))$ – расширенная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке для уровня доверия 0,95, %;

$\delta(V)$ – относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, %;

V – объем жидкости в потоке по показаниям КР, дм³;

$V_{\text{НЭТ}}$ – объем жидкости в потоке по показаниям НЭТ, дм³;

$\overline{\delta(V)}$ – среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, %;

$u_A(\delta(V))$ – стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, оцениваемая по типу А, %;

$u_B(\delta(V_{cal}))$ – стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объема жидкости в потоке, оцениваемая по типу В, %;

$u_c(V_{НЭТ})$ – суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объема жидкости в потоке НЭТ, %;

$u_B(V_{НЭТ ПЕР})$ – стандартная неопределенность передачи единицы объема жидкости в потоке от НЭТ, %;

$u_c(\delta(V))$ – суммарная стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, %;

$u_A(\delta(V))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, оцениваемое по типу А, среди всех точек расхода, %;

$u_B(\delta(V))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности калибровки, обусловленной характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объема жидкости в потоке, оцениваемой по типу В, среди всех точек расхода, %;

$U(\delta(V))$ – расширенная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке для уровня доверия 0,95, %;

$\delta(Q_M)$ – относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, %;

Q_M – массовый расход жидкости по показаниям КР, т/ч;

$Q_{МНЭТ}$ – массовый расход жидкости по показаниям НЭТ, т/ч;

$\overline{\delta(Q_M)}$ – среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, %;

$u_A(\delta(Q_M))$ – стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, оцениваемая по типу А, %;

$u_B(\delta(Q_{Mcal}))$ – стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массового расхода жидкости, оцениваемая по типу В, %;

$u_c(Q_{М НЭТ})$ – суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массового расхода жидкости НЭТ, %;

$u_B(Q_{М НЭТ ПЕР})$ – стандартная неопределенность передачи единицы массового расхода жидкости от НЭТ, %;

$u_c(\delta(Q_M))$ – суммарная стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, %;

$u_A(\delta(Q_M))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, оцениваемое по типу А, среди всех точек расхода, %;

$u_B(\delta(Q_M))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массового расхода жидкости, оцениваемое по типу В, среди всех точек расхода, %;

$U(\delta(Q_M))$ – расширенная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости для уровня доверия 0,95, %;

$\delta(Q_V)$ – относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, %;

Q_V – объемный расход жидкости по показаниям КР, м³/ч;

$Q_{VНЭТ}$ – объемный расход жидкости по показаниям НЭТ, м³/ч;

$\overline{\delta(Q_V)}$ – среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, %;

$u_A(\delta(Q_V))$ – стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, оцениваемая по типу А, %;

$u_B(\delta(Q_{Vcal}))$ – стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объемного расхода жидкости, оцениваемая по типу В, %;

$u_c(Q_{VНЭТ})$ – суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объемного расхода жидкости НЭТ;

$u_B(Q_{VНЭТ ПЕР})$ – стандартная неопределенность передачи единицы объемного расхода жидкости от НЭТ, %;

$u_c(\delta(Q_V))$ – суммарная стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, %;

$u_A(\delta(Q_V))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, оцениваемое по типу А, среди всех точек расхода, %;

$u_B(\delta(Q_V))_{jmax}$ – наибольшее значение стандартной неопределенности калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объемного расхода жидкости, оцениваемое по типу В, среди всех точек расхода, %;

$U(\delta(Q_V))$ – расширенная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости для уровня доверия 0,95, %.

4. ОПЕРАЦИИ КАЛИБРОВКИ

При проведении калибровки выполняют следующие операции:

- подготовка к калибровке (раздел 10);
- проведение калибровки (раздел 11);
- обработка результатов измерений (раздел 12);
- оформление результатов калибровки (раздел 13).

5. СРЕДСТВА КАЛИБРОВКИ

При проведении калибровки применяют НЭТ, а также средства измерений температуры и влажности окружающего воздуха, атмосферного давления и температуры измеряемой среды, применяемые при эксплуатации НЭТ.

6. ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

При проведении калибровки исполнители должны соответствовать следующим требованиям:

- обладать навыками работы на НЭТ;
- быть ознакомленными с требованиями данной рекомендации;
- быть ознакомленными с эксплуатационными документами на КР;
- проходить инструктаж по технике безопасности в установленном порядке.

7. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении калибровки соблюдают следующие требования безопасности:

- правил безопасности при эксплуатации НЭТ и КР, приведенных в их эксплуатационных документах;
- правил по охране труда, действующих на месте проведения калибровки.

8. УСЛОВИЯ КАЛИБРОВКИ

При проведении калибровки соблюдают следующие условия:

Измеряемая среда – вода с параметрами:

- температура, °С от плюс 15 до плюс 25;

В гидравлическом тракте во время проведения измерений не допускается появления нерастворенного воздуха и появления эффекта кавитации.

Окружающая среда – воздух с параметрами:

- температура, °С от плюс 15 до плюс 25;
- относительная влажность, % от 30 до 80;
- атмосферное давление, кПа от 96 до 104.

9. ОБРАЩЕНИЕ С ОБЪЕКТОМ КАЛИБРОВКИ

Процедуры обращения с КР выполняются в соответствии с эксплуатационными документами на КР.

10. ПОДГОТОВКА К КАЛИБРОВКЕ

При подготовке к калибровке выполняют следующие работы:

- проверяют выполнение требований разделов 5–9 настоящей рекомендации;
- НЭТ и КР выдерживают при температуре окружающего воздуха, указанной в разделе 8, не менее двух часов, если иное время не указано в эксплуатационных документах на НЭТ и КР;
- подготавливают к работе НЭТ и КР в соответствии с их эксплуатационными документами;
- устанавливают КР в измерительную линию НЭТ в соответствии с эксплуатационными документами КР и НЭТ;
- проверяют герметичность соединений в соответствии с эксплуатационными документами КР и НЭТ;
- выдерживают во включенном состоянии КР не менее 30 минут, если иное время не указано в эксплуатационных документах на КР.

11. ПРОВЕДЕНИЕ КАЛИБРОВКИ

11.1. Внешний осмотр

При внешнем осмотре определяют соответствие следующим требованиям:

- надписи и обозначения (маркировка) на КР должны соответствовать эксплуатационным документам;
- комплектность КР должна соответствовать эксплуатационным документам;

– на КР не должно быть механических повреждений и дефектов, препятствующих его применению.

Результат внешнего осмотра считают положительным, если надписи и обозначения (маркировка), нанесенная на КР, а также комплектность КР соответствуют данным эксплуатационных документов КР, отсутствуют механические повреждения и дефекты, препятствующие применению КР.

Результат внешнего осмотра считают отрицательным, если надписи или обозначения (маркировка), нанесенная на КР, или комплектность КР не соответствует данным эксплуатационных документов, или определено наличие механических повреждений и дефектов, препятствующих применению КР.

При отрицательном результате внешнего осмотра в случае несоответствия надписей и обозначения (маркировки) на КР эксплуатационным документам КР и (или) в случае наличия на КР механических повреждений и дефектов, препятствующих его применению, дальнейшую калибровку КР прекращают.

При отрицательном результате внешнего осмотра в случае несоответствия комплектности КР, данным, указанным в эксплуатационных документах КР, по согласованию с заказчиком (владельцем) продолжают или прекращают дальнейшую калибровку КР. В случае продолжения дальнейшей калибровки КР в протоколе калибровки или сертификате калибровке делают запись об отрицательном результате внешнего осмотра с указанием причины.

11.2. Опробование

При опробовании осуществляют воспроизведение расхода измеряемой среды НЭТ. Значение расхода измеряемой среды на НЭТ увеличивают до наибольшего заявленного значения расхода КР с последующей его фиксацией, а затем уменьшают до наименьшего заявленного значения расхода КР с последующей его фиксацией.

Результат опробования считают положительным, если при увеличении и уменьшении расхода показания на КР изменяются соответствующим образом (увеличиваются и уменьшаются).

Результат опробования считают отрицательным, если при увеличении и уменьшении расхода показания на КР не изменяются соответствующим образом (увеличиваются и уменьшаются).

При отрицательном результате опробования дальнейшую калибровку КР прекращают.

11.3. Подтверждение соответствия программного обеспечения

Подтверждение соответствия программного обеспечения при наличии программного обеспечения в КР.

При проведении операции подтверждения соответствия программного обеспечения осуществляют определение идентификационных данных КР в соответствии с эксплуатационными документами КР.

Результат подтверждения соответствия программного обеспечения считают положительными, если полученные идентификационные данные программного обеспечения КР (идентификационное наименование программного обеспечения (при наличии), номер версии (идентификационный номер программного обеспечения) (при наличии), цифровой идентификатор программного обеспечения (при наличии)) соответствуют идентификационным данным, указанным в соответствующем разделе эксплуатационных документов на КР.

Результат подтверждения соответствия программного обеспечения считают отрицательными, если полученные идентификационные данные программного обеспечения КР (идентификационное наименование программного обеспечения (при наличии), номер версии (идентификационный номер программного обеспечения) (при наличии), цифровой идентификатор программного обеспечения (при наличии)) не соответствуют

идентификационным данным, указанным в соответствующем разделе эксплуатационных документов на КР.

При отрицательном результате подтверждения соответствия программного обеспечения по согласованию с заказчиком (владельцем) продолжают или прекращают дальнейшую калибровку КР. В случае продолжения дальнейшей калибровки КР в протоколе калибровки или сертификате калибровке делают запись об отрицательном результате проверки соответствия программного обеспечения.

11.4. Определение метрологических характеристик

Калибровку проводят не менее, чем на трех равноудаленных точках расхода рабочего диапазона КР, включая наименьшее и наибольшее значения заявленного рабочего диапазона КР. Значения расходов устанавливают с допуском плюс 5 % от наименьшего значения рабочего диапазона КР, с допуском минус 5 % от наибольшего значения рабочего диапазона КР и с допуском $\pm 5\%$ в остальных точках расхода.

Рабочий диапазон КР определяется заказчиком (владельцем) КР в соответствии с его заявлением или в соответствии с эксплуатационными документами КР.

Допускается увеличивать количество точек расхода в рабочем диапазоне КР по письменной заявке заказчика (владельца).

В каждой точке расхода проводят не менее 5 измерений (рекомендованное количество измерений не менее 11) и при этом регистрируют массу и (или) объем жидкости в потоке, время измерений, температуру и давление измеряемой среды, количество импульсов или частоту последовательности импульсов с КР (при наличии частотно-импульсного выходного сигнала) или среднее значение силы тока за время измерений (при наличии токового выходного сигнала).

Время измерений определяется в соответствии с эксплуатационными документами НЭТ.

12. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

12.1. Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы массы жидкости в потоке КР

Относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке при i -ом измерении, $\delta(M)_{ji}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta(M)_{ji} = \left(\frac{M_{ji} - M_{НЭТji}}{M_{НЭТji}} \right) \cdot 100. \quad (1)$$

Среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке, $\overline{\delta(M)}_j$, %, вычисляют по формуле

$$\overline{\delta(M)}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta(M)_{ji}. \quad (2)$$

Стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке расхода, оцениваемую по типу А, $u_A(\delta(M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_A(\delta(M))_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta(M)_{ji} - \overline{\delta(M)}_j)^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (3)$$

Примечание:

Результат калибровки представляет собой оценку относительного отклонения показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке расхода, и соответствующую неопределенность этого отклонения. Относительное отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке может быть учтено в виде поправки при использовании данного КР или включено в бюджет измерений с применением данного КР.

Стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке расхода, $u_B(\delta(M_{cal}))_j$, оцениваемая по типу В, %, определяется по формуле (4) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массы жидкости в потоке НЭТ включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы массы жидкости в потоке от НЭТ или по формуле (5) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массы жидкости в потоке НЭТ не включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы массы жидкости в потоке от НЭТ:

$$u_B(\delta(M_{cal}))_j = u_c(M_{НЭТ})_j, \quad (4)$$

$$u_B(\delta(M_{cal}))_j = \sqrt{u_c(M_{НЭТ})_j^2 + u_B(M_{НЭТ ПЕР})_j^2}. \quad (5)$$

Суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке расхода, $u_c(\delta(M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_c(\delta(M))_j = \sqrt{u_A(\delta(M))_j^2 + u_B(\delta(M_{cal}))_j^2}. \quad (6)$$

Расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке в j -ой точке расхода для уровня доверия 0,95, $U(\delta(M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$U(\delta(M))_j = 2 \cdot u_c(\delta(M))_j. \quad (7)$$

При согласовании с владельцем КР допускается вычислять суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, $u_c(\delta(M))$, %, и расширенную неопределенность измерений единицы массы жидкости в потоке КР для уровня доверия 0,95, $U(\delta(M))$, %, во всем диапазоне измерений КР по формулам:

$$u_c(\delta(M)) = \sqrt{u_A(\delta(M))_{jmax}^2 + u_B(\delta(M_{cal}))_{jmax}^2}, \quad (8)$$

$$U(\delta(M)) = 2 \cdot u_c(\delta(M)). \quad (9)$$

12.2. Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы объема жидкости в потоке КР

Отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке при i -ом измерении, $\delta(V)_{ji}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta(V)_{ji} = \left(\frac{V_{ji} - V_{НЭТji}}{V_{НЭТji}} \right) \cdot 100. \quad (10)$$

Объем жидкости в потоке по показаниям НЭТ определяют для условий измерений, соответствующих условиям измерений КР.

Среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке, $\overline{\delta(V)}_j$, %, вычисляют по формуле

$$\overline{\delta(V)}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta(V)_{ji}. \quad (11)$$

Стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке расхода, оцениваемую по типу А, $u_A(\delta(V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_A(\delta(V))_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta(V)_{ji} - \overline{\delta(V)_j})^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (12)$$

Примечание:

Результат калибровки представляет собой оценку относительного отклонения показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке расхода, и соответствующую неопределенность этого отклонения. Относительное отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке может быть учтено в виде поправки при использовании данного КР или включено в бюджет измерений с применением данного КР.

Стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке расхода, $u_B(\delta(V_{cal}))_j$, оцениваемая по типу В, %, определяется по формуле (13) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объема жидкости в потоке НЭТ включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы объема жидкости в потоке от НЭТ или по формуле (14) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объема жидкости в потоке НЭТ не включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы объема жидкости в потоке от НЭТ:

$$u_B(\delta(V_{cal}))_j = u_C(V_{НЭТ})_j, \quad (13)$$

$$u_B(\delta(V_{cal}))_j = \sqrt{u_C(V_{НЭТ})_j^2 + u_B(V_{НЭТ ПЕР})_j^2}. \quad (14)$$

Суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке расхода, $u_C(\delta(V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_C(\delta(V))_j = \sqrt{u_A(\delta(V))_j^2 + u_B(\delta(V_{cal}))_j^2}. \quad (15)$$

Расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке в j -ой точке расхода для уровня доверия 0,95, $U(\delta(V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$U(\delta(V))_j = 2 \cdot u_C(\delta(V))_j. \quad (16)$$

При согласовании с владельцем КР допускается вычислять суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке, $u_C(\delta(V))$, %, и расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объема жидкости в потоке для уровня доверия 0,95, $U(\delta(V))$, %, во всем диапазоне измерений КР по формулам:

$$u_C(\delta(V)) = \sqrt{u_A(\delta(V))_{jmax}^2 + u_B(\delta(V_{cal}))_{jmax}^2}, \quad (17)$$

$$U(\delta(V)) = 2 \cdot u_C(\delta(V)). \quad (18)$$

12.3. Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы массового расхода жидкости КР

Отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости в j -ой точке при i -ом измерении, $\delta(Q_M)_{ji}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta(Q_M)_{ji} = \left(\frac{Q_{Mji} - Q_{МНЭТji}}{Q_{МНЭТji}} \right) \cdot 100. \quad (19)$$

Среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче

единицы массового расхода жидкости в j -ой точке, $\overline{\delta(Q_M)}_j$, %, вычисляются по формуле

$$\overline{\delta(Q_M)}_j = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta(Q_M)_{ji}. \quad (20)$$

Стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости в j -ой точке расхода, оцениваемую по типу А, $u_A(\delta(Q_M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_A(\delta(Q_M))_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta(Q_M)_{ji} - \overline{\delta(Q_M)}_j)^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (21)$$

Примечание:

Результат калибровки представляет собой оценку относительного отклонения показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости в j -ой точке расхода, и соответствующую неопределенность этого отклонения. Относительное отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости может быть учтено в виде поправки при использовании данного КР или включено в бюджет измерений с применением данного КР.

Стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массового расхода жидкости в j -ой точке расхода, $u_B(\delta(Q_{Mcal}))_j$, %, определяется по формуле (22) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массового расхода жидкости НЭТ включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы массового расхода жидкости от НЭТ или по формуле (23) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы массового расхода жидкости НЭТ не включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы массового расхода жидкости от НЭТ:

$$u_B(\delta(Q_{Mcal}))_j = u_c(Q_{MНЭТ})_j, \quad (22)$$

$$u_B(\delta(Q_{Mcal}))_j = \sqrt{u_c(Q_{MНЭТ})_j^2 + u_B(Q_{MНЭТ ПЕР})_j^2}. \quad (23)$$

Суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости в j -ой точке расхода, $u_c(\delta(Q_M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_c(\delta(Q_M))_j = \sqrt{u_A(\delta(Q_M))_j^2 + u_B(\delta(Q_{Mcal}))_j^2}. \quad (24)$$

Расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости в j -ой точке расхода для уровня доверия 0,95, $U(\delta(Q_M))_j$, %, вычисляют по формуле

$$U(\delta(Q_M))_j = 2 \cdot u_c(\delta(Q_M))_j. \quad (25)$$

При согласовании с владельцем КР допускается вычислять суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости, $u_c(\delta(Q_M))$, %, и расширенную неопределенность измерений оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы массового расхода жидкости для уровня доверия 0,95, $U(\delta(Q_M))$, %, во всем диапазоне измерений КР по формулам:

$$u_c(\delta(Q_M)) = \sqrt{u_A(\delta(Q_M))_{jmax}^2 + u_B(\delta(Q_{Mcal}))_{jmax}^2}, \quad (26)$$

$$U(\delta(Q_M)) = 2 \cdot u_c(\delta(Q_M)). \quad (27)$$

12.4. Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы объемного расхода жидкости КР

Отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке при i -ом измерении, $\delta(Q_V)_{ji}$, %, вычисляют по формуле

$$\delta(Q_V)_{ji} = \left(\frac{Q_{Vji} - Q_{VНЭТji}}{Q_{VНЭТji}} \right) \cdot 100. \quad (28)$$

Объемный расход жидкости по показаниям НЭТ определяют для условий измерений, соответствующих условиям измерений КР.

Среднее арифметическое отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке, $\overline{\delta(Q_V)_j}$, %, вычисляют по формуле

$$\overline{\delta(Q_V)_j} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta(Q_V)_{ji}. \quad (29)$$

Стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j точке расхода, оцениваемую по типу А, $u_A(\delta(Q_V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_A(\delta(Q_V))_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta(Q_V)_{ji} - \overline{\delta(Q_V)_j})^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (30)$$

Примечание:

Результат калибровки представляет собой оценку относительного отклонения показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке расхода, и соответствующую неопределенность этого отклонения. Относительное отклонение показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости может быть учтено в виде поправки при использовании данного КР или включено в бюджет измерений с применением данного КР.

Стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке расхода, $u_B(\delta(Q_{Vcal}))_j$, оцениваемая по типу В, %, определяется по формуле (31) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объемного расхода жидкости НЭТ включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы объемного расхода жидкости от НЭТ или по формуле (32) если суммарная стандартная неопределенность воспроизведения единицы объемного расхода жидкости НЭТ не включает в себя стандартную неопределенность передачи единицы объемного расхода жидкости от НЭТ:

$$u_B(\delta(Q_{Vcal}))_j = u_c(Q_{VНЭТ})_j, \quad (31)$$

$$u_B(\delta(Q_{Vcal}))_j = \sqrt{u_c(Q_{VНЭТ})_j^2 + u_B(Q_{VНЭТ пер})_j^2}. \quad (32)$$

Суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке расхода, $u_c(\delta(Q_V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$u_c(\delta(Q_V))_j = \sqrt{u_A(\delta(Q_V))_j^2 + u_B(\delta(Q_{Vcal}))_j^2}. \quad (33)$$

Расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости в j -ой точке расхода для уровня доверия 0,95, $U(\delta(Q_V))_j$, %, вычисляют по формуле

$$U(\delta(Q_V))_j = 2 \cdot u_c(\delta(Q_V))_j. \quad (34)$$

При согласовании с владельцем КР допускается вычислять суммарную стандартную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости, $u_c(\delta(Q_V))$, %, и расширенную неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единицы объемного расхода жидкости для уровня доверия 0,95, $U(\delta(Q_V))$, %, во всем диапазоне измерений КР по формулам:

$$u_c(\delta(Q_V)) = \sqrt{u_A(\delta(Q_V))_{jmax}^2 + u_B(\delta(Q_{Vcal}))_{jmax}^2}, \quad (35)$$

$$U(\delta(Q_V)) = 2 \cdot u_c(\delta(Q_V)). \quad (36)$$

13. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ

Результаты калибровки регистрируются в протоколе калибровки, являющимся, приложением к сертификату калибровки, или в сертификате калибровки.

Рекомендованная форма протокола калибровки приведена в Приложении А.

Результатами калибровки КР являются: значения расходов, на которых проводилась калибровка, значения среднего арифметического отклонения показаний КР от показаний НЭТ на каждом значении расхода и расширенная неопределенность на каждом значении расхода или во всем диапазоне расходов.

Сертификат калибровки, выдаваемый национальными метрологическими институтами, подписавшими Договоренность CIPM MRA, оформляют в соответствии с рекомендацией COOMET R/GM/15:2020.

Приложение А
(рекомендуемое)
Форма протокола калибровки

Лист _ Листов _

ПРОТОКОЛ КАЛИБРОВКИ № _____

Место проведения калибровки: _____.

Дата калибровки: _____.

Наименование средства измерений: _____.

Заводской № средства измерений _____.

Наименование методики калибровки: _____.

Наименование заказчика: _____.

Адрес заказчика: _____.

Наименование лаборатории: _____.

Адрес лаборатории: _____.

Место проведения калибровки: _____.

Средства калибровки: _____.

Условия калибровки:

- измеряемая среда: вода;
- температура окружающей среды (воздуха): _____;
- относительная влажность окружающей среды (воздуха): _____;
- атмосферное давление: _____.

Результаты калибровки:

1. Внешний осмотр: _____.

2. Опробование: _____.

3. Подтверждение соответствия программного обеспечения: _____.

4. Определение метрологических характеристик:

Примененные сокращения:

КР	– калибруемый преобразователь расхода, расходомер или счетчик жидкости объемный или массовый;
НЭТ	– национальный эталон единиц величин;
<i>i</i>	– индекс измерения;
<i>j</i>	– индекс точки расхода;
<i>n</i>	– индекс количества измерений;
<i>T</i>	– время измерений, с;
$t_{\text{жид.}}$	– температура измеряемой среды, °С;
$P_{\text{жид.}}$	– давление измеряемой среды, кПа;
<i>M</i>	– масса жидкости в потоке по показаниям КР, кг;
$M_{\text{НЭТ}}$	– масса жидкости в потоке по показаниям НЭТ, кг;

$$\delta(M), \delta(V), \\ \delta(Q_M), \delta(Q_V)$$

$$\frac{\overline{\delta(M)}, \overline{\delta(V)}}{\overline{\delta(Q_M)}, \overline{\delta(Q_V)}}$$

$$u_A(\delta(M)), u_A(\delta(V)), \\ u_A(\delta(Q_M)), u_A(\delta(Q_V))$$

$$u_B(\delta(M_{cal}), u_B(\delta(V_{cal})) \\ u_B(\delta(Q_{M cal}), u_B(\delta(Q_{V cal}))$$

$$U(\delta(M)), U(\delta(V)), \\ U(\delta(Q_M)), U(\delta(Q_V))$$

$$V \\ V_{НЭТ} \\ Q_M \\ Q_{МНЭТ} \\ Q_V \\ Q_{VНЭТ}$$

- относительное отклонение показания КР от показания НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, объема жидкости в потоке, массового расхода жидкости и объемного расхода жидкости соответственно, %;
- среднее арифметическое отклонение показания КР от показаний НЭТ при передаче единицы массы жидкости в потоке, объема жидкости в потоке, массового расхода жидкости и объемного расхода жидкости соответственно, %;
- стандартная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единиц массы жидкости в потоке, объема жидкости в потоке, массового расхода жидкости и объемного расхода жидкости соответственно, оцениваемая по типу А, %;
- стандартная неопределенность калибровки, обусловленная характером работы НЭТ при воспроизведении единицы массы жидкости в потоке, объема жидкости в потоке, массового расхода жидкости и объемного расхода жидкости соответственно, оцениваемая по типу В, %;
- расширенная неопределенность оценки отклонений показаний КР от показаний НЭТ при передаче единиц массы жидкости в потоке, объема жидкости в потоке, массового расхода жидкости и объемного расхода жидкости соответственно для уровня доверия 0,95, %;
- объем жидкости в потоке по показаниям КР, дм³;
- объем жидкости в потоке по показаниям НЭТ, дм³;
- массовый расход жидкости по показаниям КР, т/ч;
- массовый расход жидкости по показаниям НЭТ, т/ч;
- объемный расход жидкости по показаниям КР, м³/ч;
- объемный расход жидкости по показаниям НЭТ, м³/ч.

Таблица 1 – Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы массы жидкости в потоке КР

№ изм.	Точка расхода, т/ч	T_{ji} , с	$t_{\text{жид.}ji}$, °С	$P_{\text{жид.}ji}$, кПа	M_{ji} , кг	$M_{\text{НЭТ } ji}$, кг	$\delta(M)_{ji}$, %	$\overline{\delta(M)}_j$, %	$u_A(\delta(M))_{j'}$, %	$u_B(\delta(M_{\text{cal}}))_j$, %	$U(\delta(M))_j$, %
1											
:											
<i>n</i>											
...
1											
:											
<i>n</i>											

Таблица 2 – Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы объема жидкости в потоке КР

№ изм.	Точка расхода, м³/ч	T_{ji} , с	$t_{\text{жид.}ji}$, °С	$P_{\text{жид.}ji}$, кПа	V_{ji} , дм³	$V_{\text{НЭТ } ji}$, дм³	$\delta(V)_{ji}$, %	$\overline{\delta(V)}_j$, %	$u_A(\delta(V))_{j'}$, %	$u_B(\delta(V_{\text{cal}}))_j$, %	$U(\delta(V))_j$, %
1											
:											
<i>n</i>											
...
1											
:											
<i>n</i>											

Таблица 3 – Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы массового расхода жидкости КР

№ изм.	Точка расхода, т/ч	T_{ji} , с	$t_{жид. ji}$, °С	$P_{жид. ji}$, кПа	$Q_{M ji}$, т/ч	$Q_{M НЭТ ji}$, т/ч	$\delta(Q_M)_{ji}$, %	$\overline{\delta(Q_M)}_{j'}$, %	$u_A(\delta(Q_M))_{j'}$, %	$u_B(\delta(Q_M cal))_{j'}$, %	$U(\delta(Q_M))_{j'}$, %
1											
:											
<i>n</i>											
...
1											
:											
<i>n</i>											

Таблица 4 – Обработка результатов измерений и вычисление расширенной неопределенности измерений единицы объемного расхода жидкости КР

№ изм.	Точка расхода, м³/ч	T_{ji} , с	$t_{жид. ji}$, °С	$P_{жид. ji}$, кПа	$Q_V ji'$, м³/ч	$Q_V НЭТ ji'$, м³/ч	$\delta(Q_V)_{ji}$, %	$\overline{\delta(Q_V)}_{j'}$, %	$u_A(\delta(Q_V))_{j'}$, %	$u_B(\delta(Q_V cal))_{j'}$, %	$U(\delta(Q_V))_{j'}$, %
1											
:											
<i>n</i>											
...
1											
:											
<i>n</i>											

Примечание: в таблицы 1 – 4 настоящего приложения могут быть добавлены столбцы со значениями количества импульсов или частоты последовательности импульсов с КР (при наличии частотно-импульсного выходного сигнала) или среднего значение силы тока за время измерений (при наличии токового выходного сигнала).

Подпись лица, выполнившего калибровку

Ф.И.О.

Должность

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

Рекомендация _____

1. Координатор разработки: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева»;
2. Тема КОOMET: не открывалась;
3. Рекомендация утверждена на ___ заседании Комитета КОOMET;
4. Сведения о применении публикации странами-участницами КОOMET:

Российская Федерация