

ЭТАЛОНЫ

Обзорная статья
УДК 006.91:681.2.089:53.089.68
<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-7-20>



Совершенствование государственной поверочной схемы для средств измерений расхода и количества жидкости

Р. А. Корнеев  

ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», Казань, Россия
[✉ rak_1985@mail.ru](mailto:rak_1985@mail.ru)

Аннотация: В статье представлены исторические и метрологические аспекты развития системы метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Обоснована целесообразность метода косвенных измерений при передаче единиц расхода и количества жидкости для установок поверочных с весовыми устройствами с учетом источников неопределенности, обусловленных динамическими влияющими факторами на метрологические характеристики поверочных установок с весовыми устройствами, наряду с методами непосредственного сличения и сличения при помощи эталона сравнения. Разъяснены методологические подходы, используемые при наличии воздействий на статическую модель измерений расхода и количества жидкости, обусловленные динамическими изменениями основных параметров потока жидкости (колебаний расхода, температуры, давления жидкости в напорном трубопроводе) и гидродинамическими особенностями при истечении потока жидкости из среза сопла переключателя потока (формирование равномерного профиля скорости и степень заполнения жидкостью среза сопла).

Ключевые слова: государственная поверочная схема, метод косвенных измерений, установка поверочная с весовыми устройствами, динамические влияющие факторы

Ссылка при цитировании: Корнеев Р. А. Совершенствование государственной поверочной схемы для средств измерений расхода и количества жидкости // Эталоны. Стандартные образцы. 2023. Т. 19, № 3. С. 7–20. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-7-20>

Статья поступила в редакцию 27.03.2023; одобрена после рецензирования 19.04.2023; принята к публикации 25.04.2023.

MEASUREMENT STANDARDS

Review Article

Improvement of the State Verification Schedule for Flow and Quantity Measuring Instruments

Roman A. Korneev  

VNIIR – Affiliated Branch of D. I. Mendeleyev Institute for Metrology, Kazan, Russia

 rak_1985@mail.ru

Abstract: The article describes the historical and metrological aspects of the development of a system of metrological support of means and systems for measuring the flow and amount of liquid in the field of state regulation of ensuring the uniformity of measurements. The expediency of the method of indirect measurements in the transfer of units of flow and the amount of liquid for verification installations with weighing devices is substantiated, taking into account the sources of uncertainty due to dynamic influencing factors on the metrological characteristics of verification installations with weighing devices along with the methods of direct comparison and comparison using a comparison standard. The methodological approaches used in the presence of impacts on the static model of measuring the flow rate and amount of liquid due to dynamic changes in the main parameters of the liquid flow (fluctuations in the flow rate, temperature, pressure of the liquid in the pressure pipeline) and hydrodynamic features when the liquid flow flows out of the nozzle of the flow switch nozzle (formation a uniform velocity profile, and the degree of liquid filling of the nozzle exit).

Keywords: state verification schedule, method of indirect measurements, verification installation with weighing devices, dynamic influencing factors

For citation: Korneev R. A. Improvement of the state verification schedule for flow and quantity measuring instruments. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2023;19(3):7–20. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2023-19-3-7-20>

The article was submitted 27.03.2023; approved after reviewing 19.04.2023; accepted for publication 25.04.2023.

Введение

Энергоносители (вода, нефть и продукты ее переработки) являются ценным финансовым активом экономики Российской Федерации, требуют коммерческого учета, контроля состояния при транспортировке и хранении. Данное обстоятельство является катализатором для технологического развития концернов, технопарков, занимающихся изготовлением, гарантийным и техническим обслуживанием, поверкой и калибровкой средств измерений расхода и количества жидкости (далее – СИ). Метрологическое обеспечение СИ для коммерческого учета и хранения энергоресурсов регламентируется Федеральным законом от 26.06.2008 № 102-ФЗ, который устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации, а также защищает права и законные интересы граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений. В ситуации, когда речь идет о существенных денежных суммах, об убытках или

прибыли участников рынка, обеспечение единства измерений играет решающую роль.

Развитие науки и техники, внедрение инновационных технических решений, повышение эффективности производства и производительности труда позволило изготовителям из России представить потребителям СИ с пределами допускаемой относительной погрешности, равными $\pm 0,1\%$. Совершенствование системы метрологического обеспечения СИ относится к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники (утвержденным Указом Президента от 07.07.2011 № 899) – Технологии создания энергосберегающих систем транспортировки, распределения и использования энергии.

Цель работы – рассмотреть исторические и метрологические аспекты развития системы метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Обосновать

целесообразность и разъяснить подходы метода косвенных измерений при передаче единиц расхода и количества жидкости от эталонов, заимствованных из других поверочных схем, установкам поверочным с весовыми устройствами.

Хронологический (исторический) экскурс

Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии создан в 1966 г. как Казанский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений. Во исполнение Указа Президента от 11.03.2019 № 96 «О реорганизации федеральных государственных унитарных предприятий», распоряжения Правительства от 17.04.2019 № 766-р и приказа Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.05.2019 № 1191 21.01.2020 завершена процедура реорганизации ФГУП «ВНИИР» в форме присоединения к ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург). Приказом ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» от 16.01.2020 № 10к создан Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии – филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева» (далее – институт).

В область деятельности института входит обеспечение единства измерений и прослеживаемости расхода и количества жидкости, газа, газожидкостных потоков, уровня и вместимости. В рамках практической реализации положений Федерального закона от 26.05.2008 № 102-ФЗ с последующими изменениями на институт возложены функции обеспечения единства измерений в области товарно-учетных операций, измерений расхода, объема и массы добываемого, транспортируемого и перерабатываемого углеводородного сырья, а также других сырьевых и энергетических ресурсов.

Институт ведет разработку, совершенствование государственных первичных (специальных) эталонов единиц величин, передачу единиц величин от государственных первичных эталонов средствам измерений расхода и количества жидкости и газа в соответствии с государственными поверочными схемами, сличения государственных первичных (специальных) эталонов с эталонами других стран.

Понимание современных тенденций в вопросах совершенствования системы метрологического обеспечения СИ невозможно без хронологического (исторического) экскурса. Данное направление в различные периоды с 1976 по 2019 гг. развивалось сотрудниками института: Г. Д. Хомяковым [1–3], А. Г. Сафиным, Г. И. Реутом,

Н. В. Комиссаровым, В. А. Фафуриным. В настоящее время данную тематику продолжают развивать начальник научно-исследовательского отдела Р. А. Корнеев и ученый-хранитель Государственного первичного специального эталона единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63 А. Р. Тухватуллин [3–7].

Совершенствование системы метрологического обеспечения СИ проводилось в соответствии с законодательством Союза Советских Социалистических Республик, а впоследствии приемником – Российской Федерацией. Согласно законодательству после создания и утверждения Государственного первичного эталона утверждается и вводится в действие Государственная поверочная схема. Работы по созданию Государственного первичного эталона для СИ были начаты институтом в 1967 г. По результатам выполненных научно-технических исследований в 1974 г. проведена процедура утверждения Государственного первичного эталона единицы объемного расхода жидкости ГЭТ 64–74 с диапазоном расхода от 10^{-2} до $6,5 \cdot 10^{-2}$ м³/с (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $2 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $7 \cdot 10^{-4}$, расширенная неопределенность измерений (U), не превышающая 0,1 %, при доверительной вероятности $P=0,95$). Принцип действия создания вынужденного течения жидкости в ГЭТ 64–74 базировался на формировании постоянного статического напора жидкости в измерительной линии. Для реализации этого технического решения вода забиралась насосами из бака-хранилища и поступала в резервуар (напорный бак с постоянным уровнем воды [2]), располагавшийся на фиксированной высоте относительно уровня земли. В резервуаре поддерживался постоянный уровень воды при помощи водосливной магистрали, через которую излишек воды возвращался обратно в бак-хранилище. Напорный поток воды проходил через измерительную линию, поверяемое СИ и направлялся переключателем потока в мерные баки (см. рис. 1а). По истечении интервала времени измерений переключатель потока направлял воду в бак-хранилище. Реализованный в ГЭТ 64–74 принцип создания вынужденного течения воды обеспечивал высокую стабильность расхода в напорном трубопроводе и измерительной линии. Однако величина избыточного давления воды в напорном трубопроводе была ограничена высотой гидрометрического столба жидкости.

Одновременно с ГЭТ 64–74 был создан и утвержден ГЭТ 63–74 с диапазоном расхода от 15 до 35 кг/с (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0),

не превышающее $2 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $7 \cdot 10^{-4}$, расширенная неопределенность измерений (U), не превышающая 0,1 %, при доверительной вероятности $P=0,95$). В ГЭТ 63–74 был реализован градиентный метод создания напорного течения воды в трубопроводе и измерительной линии насосами (см. рис. 16). Величина избыточного давления определялась расходно-напорными характеристиками насосов. Однако, в случае градиентного метода создания напорного течения в трубопроводе и измерительной линии возникают значительные колебания расхода и давления жидкости, амплитуда и частота которых определяется, главным образом, конструкцией насоса и режимом его работы.

Основная цель создания Государственных первичных эталонов – это обеспечение единства измерений. В соответствии с законодательством, после утверждения ГЭТ 64–74 и ГЭТ 63–74 в 1976 г. были введены в действие соответствующие государственные поверочные схемы ГОСТ 8.145–75 и ГОСТ 8.142–75 (см. рис. 2). Данные общесоюзные поверочные схемы устанавливали назначение ГЭТ 64–74 и ГЭТ 63–74 и порядок передачи единиц расхода жидкости от них СИ с диапазонами объемного расхода от $3 \cdot 10^{-6}$ до $10 \text{ м}^3/\text{с}$ и массового расхода от $1 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{с}$.

Активное развитие парка средств измерений, увеличение диапазона расходов привело к тому, что в феврале 1980 г. был утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР Государственный

специальный эталон единицы объемного расхода воды ГЭТ 119–79 с диапазоном расхода от $2,8 \cdot 10^{-4}$ до $2,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $3 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $5 \cdot 10^{-4}$), в котором вынужденное напорное течение воды осуществлялось градиентным методом (насосами). В 1981 г. была введена в действие соответствующая государственная поверочная схема ГОСТ 8.374–80 для СИ объемного расхода с диапазоном расхода от $2,8 \cdot 10^{-8}$ до $2,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

Последующие этапы совершенствования Государственных первичных эталонов обусловлены увеличением диапазона расходов, повышением точности воспроизведения единиц величин, а также возможностью воспроизведения других единиц величин – объема и массы жидкости в потоке. Таким образом, 04.03.2011 был утвержден Государственный первичный специальный эталон единицы объемного и массового расхода воды ГЭТ 119-2010 с диапазоном расхода от 0,01 до $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ (т/ч) (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $1 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $2 \cdot 10^{-4}$), в котором вынужденное напорное течение воды осуществлялось градиентным методом (насосами) [17]. Приказом Росстандарта от 22.11.2013 № 1690-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 8.374-2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 01.07.2015,



а



б

Рис. 1. Внешний вид Государственного первичного эталона единицы объемного расхода жидкости ГЭТ 64 (а) и Государственный первичный эталон единиц массового расхода жидкости ГЭТ 63 (б)

Fig. 1. Appearance of the State Primary Standard of Units of Liquid Volume Flow Rate GET 64 (a) and State Primary Standard of Units of Mass Flow Rate of Liquid GET 63 (b)

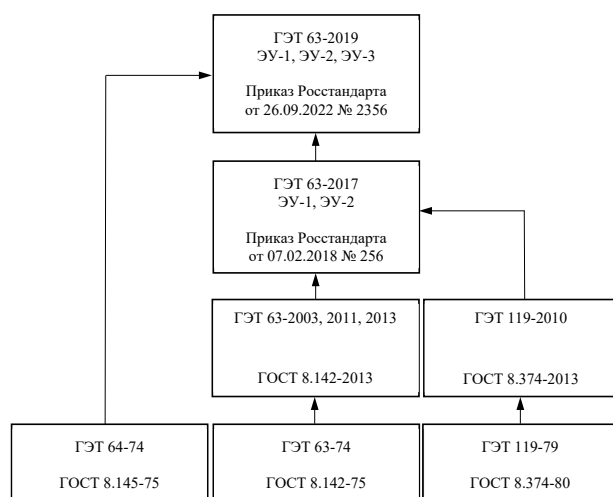


Рис. 2. Хронологическое древо создания эталонных установок (ЭУ) ГЭТ

Fig. 2. Chronological scheme of creation of reference installations (RIs) GET

который распространялся на государственную поверочную схему для СИ объемного и массового расходов воды с диапазоном расхода от 0,01 до 450 м³/ч (т/ч) и устанавливал порядок передачи единиц объемного и массового расходов (объема и массы) воды от ГЭТ 119-2010 СИ с помощью вторичных и рабочих эталонов с указанием погрешности и основных методов поверки.

Наряду с этим 27.01.2014 был утвержден Государственный первичный эталон ГЭТ 63–2013 для воспроизведения и хранения единиц массового и объемного расхода протекающей жидкости с диапазоном от 2,5 до 500 т/ч (м³/ч) (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $0,8 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $1,8 \cdot 10^{-4}$, расширенная неопределенность измерений (U), не превышающая $3,65 \cdot 10^{-4}\%$, при доверительной вероятности $P=0,95$), в котором вынужденное напорное течение воды в трубопроводе и измерительной линии осуществлялось насосной группой. Неоднократное переутверждение ГЭТ-63 было выполнено в 2003 и 2010 гг. (см. рис. 2). После утверждения ГЭТ 63–2013 01.06.2014 был введен в действие приказом Росстандарта от 02.04.2014 № 302-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 8.142-2013 для СИ с диапазоном расхода от 2,5 до 4500 т/ч и от 2,5 до 15000 м³/ч, и устанавливала порядок передачи единиц массового и объемного расходов жидкости от государственного первичного эталона вторичным и рабочим эталонам, а также СИ с указанием погрешностей и основных методов передачи единиц.

Стоит обратить внимание на исторический факт, что в общесоюзных поверочных схемах (ГОСТ 8.145–75, ГОСТ 8.142–75, ГОСТ 8.374–80) передача единиц величин расхода жидкости от государственных первичных эталонов СИ осуществлялась при непосредственном сличении или от эталонов и СИ, заимствованных из других поверочных схем, – методом косвенных измерений. Данное обстоятельство привело к тому, что для получения коммерческого преимущества в период первого десятилетия нового столетия изготовители поверочных установок вывели на рынок РФ поверочные установки с метрологическими характеристиками, рассчитанными методом косвенных измерений, превосходящими метрологические характеристики национальных эталонов. Однако метрологические характеристики данных поверочных установок с весовыми устройствами не находили удовлетворительного согласования с метрологическими характеристиками, определенными сличением при помощи эталона сравнения [1]. Результатом этого являлись конфликтные ситуации между производителями СИ и Государственными региональными центрами метрологии, а также нарушения нормативных документов в области коммерческого учета энергоносителей.

Для урегулирования конфликтных ситуаций и исключения их возникновения в будущем была разработана унифицированная Государственная поверочная схема, чтобы осуществлять передачу единиц величин расхода жидкости при непосредственном сличении или сличением при помощи эталона сравнения, т. е. проведение сличений рабочих эталонов единицы объемного (массового) расхода с использованием мер сравнения. Данный метод широко используется в международной метрологической практике, в том числе при сличении национальных эталонов единиц расхода и количества жидкости [8].

Другим недостатком в области обеспечения единства измерений в период первого десятилетия нового столетия было существование большого количества Государственных первичных эталонов (см. рис. 2) и соответствующих Государственных поверочных схем, что приводило к появлению большого количества вопросов у организаций-держателей эталонов единиц расходов и количества жидкостей. Кроме этого, проект государственной поверочной схемы, подготовленный в соответствии с требованиями Государственной системы обеспечения единства измерений, требовал в соответствии с пунктом 4.4 Р 50.2.078-2011 большого комплекта документов к первичному эталону, представляемого в Росстандарт для его утверждения. При первичной аттестации эталонов, согласно пункту 5.3 Постановления

Правительства от 23.09.2010 № 734, держатель эталона должен организовать проведение его поверки, которую выполняет в соответствии с Государственной поверочной схемой. Следовательно, у организаций-держателей эталонов возникал логический вопрос о выборе той или иной Государственной поверочной схемы. С аналогичной проблемой сталкивались разработчики локальных поверочных схем, ведь согласно пункту 1.2.4 ГОСТ 8.061–80 «...локальные поверочные схемы не должны противоречить Государственным поверочным схемам для средств измерений тех же физических величин».

Исторический экскурс развития эталонной базы измерений расхода и количества жидкости позволил установить значительные сходства между Государственными первичными эталонами как по диапазонам воспроизводимых расходов, так по принципу действия и метрологическим характеристикам. С учетом вышесказанного, а также с учетом мировых трендов было принято решение объединить эталоны в единый Государственный первичный эталон (комплекс эталонных установок). Такой шаг позволил провести унификацию Государственной поверочной схемы с целью создания обобщенной поверочной схемы, действующей взамен государственных поверочных схем, указанных на рис. 2.

С целью унификации Государственной поверочной схемы приказом Росстандарта от 26.07.2018 № 430-ст с 01.08.2018 на территории РФ отменено действие межгосударственных стандартов:

ГОСТ 8.142-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений массового и объемного расхода (массы и объема) жидкости»;

ГОСТ 8.145–75 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода жидкости в диапазоне $3 \cdot 10^{-6} \div 10 \text{ м}^3/\text{с}$ »;

ГОСТ 8.374-2013 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расхода (объема и массы) воды».

Решение об унификации Государственной поверочной схемы было принято научно-технической комиссией по метрологии и измерительной технике в 2016 г. Одно из ключевых решений по унификации Государственной поверочной схемы предложили сотрудники института, разработав новый документ, объединивший достоинства и устранивший недостатки существующих стандартов [4]. Проект нового документа прошел публичное обсуждение, в котором принимали участие специалисты

из Государственных научно-исследовательских метрологических институтов, Государственных региональных центров метрологии, представители нефтегазодобывающей отрасли, ведущих изготовителей СИ и поверочных установок. Итогом обсуждений стал приказ Росстандарта от 07.02.2018 № 256 о введении в действие Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости. Данную Государственную поверочную схему в части 1 и 2 возглавил Государственный первичный специальный эталон единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63–2017.

ГЭТ 63–2017 предназначался для воспроизведения и хранения единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости и передачи их вторичным эталонам, рабочим эталонам 1-го, 2-го и 3-го разрядов и средствам измерений в целях обеспечения единства измерений массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости. В состав ГЭТ 63–2017 вошли две эталонные установки ЭУ-1 и ЭУ-2 с диапазонами значений расхода от 2,5 до 500 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) и 0,01 до 50 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) соответственно (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $0,62 \cdot 10^{-4}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $2,9 \cdot 10^{-2}$, расширенная неопределенность измерений (U), не превышающая $3,3 \cdot 10^{-4}\%$, при доверительной вероятности $P=0,95$). Передача единиц количества и расхода жидкости от ГЭТ 63–2017 вторичным эталонам, рабочим эталонам 1-го, 2-го и 3-го разрядов и средствам измерений осуществлялась методами непосредственного сличения или сличения при помощи эталона сравнения.

Необходимость дальнейшего совершенствования метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости в настоящее время обусловлена стремительным темпом развития таких отраслей экономики страны, как топливно-энергетический комплекс, металлургия, химическая и пищевая промышленность, а также жилищно-коммунальное хозяйство. Потребности перечисленных отраслей экономики Российской Федерации стимулируют появление на рынке высокоточных средств измерений расхода и количества жидкости, количество которых превышает 10 000 единиц. В Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений зарегистрировано порядка 500 типов СИ, предназначенных для измерений расхода и количества жидкости с диапазоном от $0,1 \cdot 10^{-2}$ до 2000 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) с пределами

допускаемой относительной погрешности, равными $\pm (0,05-0,25)\%$. Такое количество СИ способствует развитию и совершенствованию эталонной базы РФ. На период времени планируемого совершенствования ГЭТ 63–2017 в России существовало более 29 вторичных эталонов и более 300 рабочих эталонов 1-го, 2-го и 3-го разрядов, которые воспроизводили единицы расхода и количества жидкости с диапазоном расхода от $5 \cdot 10^{-3}$ до 2000 т/ч.

Отсутствие на тот момент отлаженной системы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкости в потоке при значениях расхода более 500 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) вынуждало держателей высокоточных средств измерений осуществлять их поверку (калибровку) на зарубежных эталонах либо осуществлять поверку (калибровку) в нижней части диапазона измеряемых расходов и в дальнейшем распространять полученные результаты на весь диапазон измеряемых расходов. Прослеживаемость средств к Государственному первичному специальному эталону единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63–2017 можно было осуществлять эталонными установками ЭУ-1 и ЭУ-2 только с диапазоном расходов от 0,01 до 500 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$).

Для сохранения позиций РФ в мировом метрологическом сообществе, в первую очередь в группе промышленно развитых стран, и расширения сети отечественных научных организаций как уполномоченных институтов, обладающих эталонной аппаратурой высокого уровня, 07.12.2019 приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 3394 утвержден Государственный первичный специальный эталон единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63–2019 (далее – ГЭТ 63–2019), в состав которого включена эталонная установка ЭУ-3, обеспечивающая воспроизведение единиц расхода с диапазоном от 5 до 2000 т/ч ($\text{м}^3/\text{ч}$) (от 1,39 до 556 кг/с) (среднее квадратическое отклонение результата измерений (S_0), не превышающее $1 \cdot 10^{-2}$, неисключенная систематическая погрешность (Θ_0), не превышающая $3 \cdot 10^{-2}$, расширенная неопределенность измерений (U), не превышающая 0,036 %, при доверительной вероятности $P=0,95$).

В настоящее время на территории РФ с 01.10.2022 введена в действие Государственная поверочная схема для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости, утвержденная приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.09.2022

№ 2356 (далее – ГПС). Данную ГПС в части 1 и 2 возглавляет ГЭТ 63–2019 (рис. 2).

Особенности передачи единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости методом косвенных измерений

В ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» поступает большое количество запросов, касающихся разъяснений возможности признания установок поверочных рабочими эталонами согласно ГПС, на основании результатов поверок, проведенных по методикам поверки, утвержденным в установленном порядке при испытаниях в целях утверждения типа.

Попытаемся более подробно разобраться в порядке передачи единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости.

В соответствии с ч. 1 ст. 12 Федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» при утверждении типа средств измерений устанавливаются показатели точности, интервал между поверками средств измерений, а также методика поверки данного типа средств измерений.

В соответствии с п. 2 Положения об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденного постановлением Правительства РФ от 23.11.2010 № 734, документом, устанавливающим порядок передачи единицы величины от государственного первичного эталона единицы величины эталонам единицы величины, имеющим более низкие показатели точности, и средствам измерений, является государственная поверочная схема.

Согласно п. 12 Положения об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденного постановлением Правительства от 23.11.2010 № 734, оценка соответствия эталонов единиц величин обязательным требованиям к этим эталонам, осуществляется в формах первичной и периодической аттестации. Для средств измерений утвержденного типа, применяемых в качестве эталонов единиц величин, вместо первичной аттестации и периодической аттестации выполняется поверка в соответствии с установленными для них методиками поверки средств измерений с учетом требований поверочных схем.

В соответствии с ч. 1 ГПС ГЭТ 63–2019 применяют для передачи единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости вторичным эталонам, рабочим эталонам 1-го, 2-го и 3-го

разрядов методами непосредственного сличения или сличения при помощи эталона сравнения.

В целях обеспечения единообразия использования косвенных методов измерений при передаче единиц величин в соответствии с ГПС, а также на основании рекомендаций Научно-технической комиссии по метрологии и измерительной технике Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии специалистами института разработана, апробирована и публично обсуждена методика передачи единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости методом косвенных измерений – МИ 3665–2022.

В соответствии с п. 5.1.2.1 ГПС передача единиц величин установкам поверочным с весовыми устройствами (рабочим эталонам 1-го, 2-го и 3-го разрядов) от эталонов, заимствованных из других государственных поверочных схем, осуществляется методом косвенных измерений в соответствии с МИ 3665–2022.

МИ 3665–2022 базируется на программе исследования метрологических характеристик Государственного первичного специального эталона единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости ГЭТ 63–2019 [9], положениях документов, в которых изложены общепринятые способы выражения точности эталонов, общие технических и метрологических требования к эталонам (ГОСТ 8.381–2009), принципы построения методик и требования к уравнениям измерений (ГОСТ 8.909–2016), которые одинаково применимы не только к вторичным эталонам, а также и к рабочим эталонам 1-го, 2-го и 3-го разрядов, ГОСТ Р 8.885–2015, и требования к проверке защиты программного обеспечения (ГОСТ Р 8.654–2015). Кроме этого, учитывались рекомендации международного стандарта ISO 4185:1980 и опыт эксплуатации национальных эталонов, а также действующие в настоящее время в РФ методики калибровки установок. Помимо этого, были учтены экспериментальные и численные исследования Engel R. и Baade H. [10–12], T. Shimada [13], Фафурина В., Корнеева Р. и др. [14, 15].

Подробный реалистический анализ статической модели измерений (1–4) в [10–12] показал, что из-за динамических воздействий на единицы величин данную модель необходимо преобразовать в более всеобъемлющую динамичную модель измерений. При разработке МИ 3665–2022 был охвачен весь комплекс влияющих факторов (как статических, так и динамических).

Принцип действия установок поверочных с весовыми устройствами (далее – установок) базируется на гравиметрическом методе определения конечной

массы (объема) жидкости, содержащейся в весовом устройстве, отнесенной к времени заполнения весового устройства потоком жидкости, который направляется с помощью переключателя потока. В данных установках реализуется метод статического взвешивания.

Расчет массового (т/ч) и объемного (м³/ч) расходов жидкости, массы (т) и объема (м³) жидкости в потоке осуществляются согласно уравнениям измерений:

$$Q_M = \frac{M_{\text{вы}}}{\tau} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{жа}}}}, \quad (1)$$

$$Q_V = \frac{M_{\text{вы}}}{\tau \cdot \rho_{\text{ж}}} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{жа}}}}, \quad (2)$$

$$M_{\text{изм}} = M_{\text{вы}} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{жа}}}}, \quad (3)$$

$$V = \frac{M_{\text{вы}}}{\rho_{\text{ж}}} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{жа}}}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{вы}}$ – масса жидкости по показаниям весового устройства без учета поправки на плавучесть воздуха, кг; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; ρ_r – плотность эталонных гирь, кг/м³; $\rho_{\text{жа}}$ – плотность жидкости при атмосферном давлении, кг/м³; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости при избыточном давлении в трубопроводе, кг/м³; $M_{\text{изм}}$ – масса по показаниям измерительного канала массы жидкости, с учетом поправки на плавучесть воздуха, кг; τ – интервал времени измерений, с.

Плотность воды при атмосферном давлении и избыточном давлении в трубопроводе определяют косвенным методом как функциональные зависимости вида $\rho_{\text{жа}} = f(T)$ и $\rho_{\text{ж}} = f(T, P)$, где T – температура (°C) и P – избыточное давление воды соответственно. Данная функция составляется на основе лабораторного анализа воды в рабочем диапазоне температуры с равномерным шагом приращения 0,1 °C.

Плотность воздуха определяют косвенным методом как функциональную зависимость вида $\rho_a = f(h_a, T_a, P_a)$, где h_a , T_a и P_a – относительная влажность (%), температура (°C) и барометрическое давление (гПа) воздуха соответственно. Данная функция определена

гравиметрическим методом с использованием формулы состояния CIPM-2017 [16]:

$$\rho_a = \frac{0,34848 \cdot P_a - 0,009024 \cdot h_a \cdot e^{0,0612 \cdot T_a}}{273,15 + T_a}. \quad (5)$$

Согласно уравнению измерений (1), основными источниками неопределенности установки как части статической модели измерений [10] являются: измерительный канал массы жидкости, измерительный канал интервалов времени, измерительный канал плотности воздуха и измерительный канал плотности жидкости. Каждая единица измерений, входящих в уравнение (1), представляет единицу международной системы единиц SI [10] и прослеживается к соответствующему Государственному первичному эталону.

Исследования [9–15], выполненные зарубежными и отечественными исследователями, показали, что существенными источниками неопределенности измерений расхода жидкости являются динамические воздействия. Поэлементный подход прослеживаемости единиц количества и расхода жидкости соответствующим единицам международной системы SI, с учетом динамических факторов, позволил установить действительные метрологические характеристики поверочной установки. Установлено, что метрологические характеристики, определенные согласно рекомендациям, изложенным в ISO 4185, не соответствуют метрологическим характеристикам поверочных установок, определенным методом сличения при помощи эталона сравнения.

Основным отличием положений МИ 3665–2022 от положений международного стандарта ISO 4185 является комплексная всесторонняя оценка динамических факторов, влияющих на метрологические характеристики установки. В первую очередь, в МИ 3665–2022 учтены источники неопределенности, обусловленные колебаниями расхода, температуры и давления жидкости в напорном трубопроводе. В МИ 3665–2022 также учтены источники неопределенности, обусловленные степенью заполнения среза сопла дивертора жидкостью и профилем скорости потока жидкости в срезе сопла дивертора. Только в этом случае метрологические характеристики установки, определенные методом косвенных измерений, удовлетворительно согласуются с метрологическими характеристиками, определенными методом сличения при помощи эталона сравнения. В то время как при оценке метрологических характеристик большинства установок, эксплуатируемых в Российской Федерации, учитывается только разновременность срабатывания переключателя потока.

Согласно вышеизложенному, основными источниками неопределенности измерений установки как всеобъемлющей динамической системы измерений [10, 14, 15] являются:

- Измерительный канал массы жидкости:
 - весовое устройство;
 - динамические факторы;
 - колебания расхода жидкости;
 - степень заполнения среза сопла дивертора жидкостью;
 - профиль скорости потока жидкости в срезе сопла дивертора;
 - эффект временной задержки сигналов «старт» и «стоп» между измерительным контроллером установки и исследуемым расходомером;
 - неравномерность движения дивертора при прямом и обратном ходах;
 - разновременность и прямого и обратного ходов;
 - разбрызгивание жидкости при переключениях;
 - утечка жидкости (перетекания, протечки).
- Измерительный канал интервалов времени измерений:
 - формирование интервала времени измерений.
- Измерительный канал плотности воздуха:
 - температура окружающего воздуха;
 - относительная влажность окружающего воздуха;
 - атмосферное давление.
- Измерительный канал плотности жидкости:
 - температура жидкости;
 - абсолютное давление жидкости.

Описанные источники неопределенности характерны для установок, находящихся в эксплуатации на территории Российской Федерации, подлежащих первичной и периодической аттестации. Для минимизации основных источников неопределенности необходимо внедрять в конструкцию установки систем стабилизации расхода жидкости и термостабилизации жидкости. Требуется исправление геометрии проточной части сопла переключателя потока. Данные изменения в конструкции эксплуатируемых установок не вызывают интереса у изготовителей и владельцев, так как требуют больших экономических (финансовых) затрат. Соответственно, возникает необходимость в оценке основных источников неопределенности, обусловленных динамическими факторами, для определения действительных метрологических характеристик установки.

Апробация МИ 3665–2022 выполнена на 7 различных установках, имеющих индивидуальные метрологические, технические и режимные характеристики. Разработанная МИ 3665–2022а позволяет определить метрологические

характеристики установки при первичной поверке (при условии, что первичная поверка методом косвенных измерений выполнена совместно с методом сличения при помощи эталона сравнения) и при периодической поверке (только метод косвенных измерений, без метода сличения при помощи эталона сравнения).

Для обеспечения возможности применения МИ 3665–2022 в процессе поверки установок необходимо внести изменения в сведения об установках, опубликованных в разделе «Утвержденные типы средств измерений» Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, в части методики поверки в соответствии с порядком, изложенным в документе «Об утверждении порядка установления и изменения интервала между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методикам поверки средств измерений», утвержденным Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 № 2907.

В соответствии с ГПС у поверочных установок должны быть нормированы доверительные границы суммарной погрешности, в случае отсутствия данных характеристик необходимо внести изменения в описание типа в соответствии с Порядком, изложенным в документе, утвержденном Приказом Минпромторга России от 28.08.2020 № 2905.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Установку можно признать в качестве рабочего эталона по ГПС на основании результатов поверки по МИ 3665–2022 при условии, что в методику поверки внесены соответствующие изменения и у установки поверочной нормированы доверительные границы суммарной погрешности.

2. В случае несоответствия методики поверки поверочной установки требованию подпункта 5.1.2.1 ГПС и если у установки не нормированы доверительные границы суммарной погрешности, установка может быть поверена по действующей методике поверки, но только как

средство измерений без указания соответствия определенному разряду по ГПС.

3. В случае отсутствия возможности внесения изменений в методику поверки, а также изменений, влияющих на метрологические характеристики (нормирования доверительных границ суммарной погрешности) установки, существует возможность провести первичную аттестацию в качестве эталона единиц величин в соответствии с Положением об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 23.09.2010 № 734 и Приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.02.2020 № 456.

Заключение

Рассмотрены исторические и метрологические аспекты развития системы метрологического обеспечения при передаче единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости СИ от ГЭТ 63–2019 в РФ. Разъяснены методологические подходы, используемые при наличии воздействий на статическую модель измерений расхода и количества жидкости, обусловленные динамическими изменениями основных параметров потока жидкости и гидродинамическими особенностями при истечении потока жидкости из среза сопла переключателя потока.

Благодарности: Это исследование не получало финансовой поддержки в виде гранта от какой-либо организации государственного, коммерческого или некоммерческого сектора.

Acknowledgments: This research did not receive financial support in the form of a grant from any governmental, for-profit, or non-profit organizations.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тайбинский А. С., Фишман И. И., Хомяков Г. Д. Роль и место ФГУП «ВНИИР» в обеспечении единства измерений жидкостей и газов // Приборы. 2016. № 8 (194). С. 8–14.
2. Напорный бак постоянного уровня / А. А. Когогин [и др.]. Патент на изобретение RU2429452 C1, 20.09.2011. Заявка № 2009148841/28 от 28.12.2009.
3. Государственный первичный специальный эталон единицы объемного и массового расхода воды ГЭТ 119-2010 / А. А. Когогин [и др.] // Мир измерений. 2011. № 8. С. 32–35.
4. Атаева А. И., Тухватуллин А. Р., Тухватуллин Р. Р. Эталон и государственные поверочные схемы для средств измерения объема и массы жидкости, объемного и массового расходов жидкости. Унификация государственных поверочных схем // Приборы. 2016. № 12 (198). С. 34–37.

5. Проблемы аттестации эталонов единиц массового и объемного расходов жидкости / Р. А. Корнеев [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2013. № 2. С. 3–6.
6. Корнеев Р. А., Тухватуллин А. Р. Обеспечение прослеживаемости средств измерений расхода и количества протекающей жидкости к государственным первичным эталонам // Приборы. 2015. № 4 (178). С. 40–43.
7. Государственная поверочная схема для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости / Атаева А. И. [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. 2018. № 5 (156). С. 17–20.
8. Final report on supplementary comparison of national standards for liquid flow COOMET.M.FF-S2 (COOMET Project 406/UA/07) / Frahm E. [et al.] // Metrologia. 2020. Vol. 57(1 A). P. 07023. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/57/1A/07023>
9. Tuhvatullin A. R., Shchelchikov A. V., Fafurin V. A. GET 63–2019: State primary special standard of units of mass and volume of liquid in a flow and of mass and volume flow rates of a liquid // Measurement Techniques. 2021. Vol. 64(2). P. 79–85. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01900-w>
10. Engel R., Baade H-J. Impacts upon the measurement uncertainty of liquid-flow facilities originating from random-like variations of the flow parameters // 8th International symposium on fluid flow measurement, 20–22 June, 2012. Colorado, USA. Springs, 2012.
11. Engel R., Baade H-J. Model-based fluid diverter analysis for improved uncertainty determination in liquid flow calibration facilities, exemplified with PTB's «Hydrodynamic Test Field» // 14th International flow measurement conference FLOMEKO 2007, 18–21 September 2007. At: Johannesburg, South Africa, 2007. <https://doi.org/10.13140/2.1.2746.9603>
12. Engel R., Baade H-J. Model-based flow diverter analysis for an improved uncertainty determination in liquid flow calibration facilities // Measurement Science and Technology. 2010. Vol. 21, № 2. P. 025401. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/21/2/025401>
13. Development of a new diverter system for liquid flow calibration facilities / T. Shimada [et al.] // Flow Measurement and Instrumentation. 2003. Vol. 14, № 3. P. 89–96. [https://doi.org/10.1016/S0955-5986\(03\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(03)00016-5)
14. Assessment of influence of flow diverter on the metrological characteristics of calibration devices used for the units of mass and unit of volume of a liquid in a flow and of mass and volume discharges of liquid / R. A. Korneev [et al.] // Measurement Techniques. 2019. Vol. 62, № 4. P. 347–353. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01628-8>
15. Measurement uncertainties estimation introduced by the diverter into the budget of standard uncertainties / R. A. Korneev [et al.] // 18th International flow measurement conference FLOMEKO 2019, 26–28 June 2019. Lisbon, 2019. P. 161254.
16. Revised formula for the density of moist air (CIPM-1987) / A. Picard [et al.] // Metrologia. 2008. Vol. 45. P. 149–155. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/2/004>
17. Государственный первичный специальный эталон единицы объемного и массового расхода воды ГЭТ 119-2010 / В. Г. Соловьев [и др.] // Мир измерений. 2011. № 8. С. 32–35.

REFERENCES

1. Taibinskii A. S., Fishman I. I., Khomiakov G. D. The role and place of FSUE «VNIIR» in ensuring the uniformity of measurements of liquids and gases. *Pribory*. 2016;8(194):8–14. (In Russ.).
2. Kogogin A. A., Fishman I. I., Varsegov V. L., Komissarov N. V., Malyshev S. L., Petrov V. N. et al. Constant level pressure tank. Patent RU2429452 C1, 20.09.2011. (In Russ.).
3. Kogogin A. A., Fishman I. I., Varsegov V. L., Komissarov N. V., Malyshev S. L., Petrov V. N. et al. State primary special standard of the unit of volumetric and mass flow of water GET 119-2010. *Mir Izmerenij*. 2011;(8):32–35.
4. Ataeva A. I., Tuhvatullin A. R., Tuhvatullin R. R. Standards and state verification schemes for measuring instruments for volume and mass of liquid, volumetric and mass flow rates of liquid. Unification of state verification schemes. *Pribory*. 2016;12(198):34–37.
5. Korneev R. A., Kolodnikov A. V., Nigmatullin R. R., Tuhvatullin A. R. Problems of unit standards qualification of mass and volumetric flow rate. *Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*. 2013;2:3–6.
6. Korneev R. A., Tuhvatullin A. R. Ensuring the traceability of means of measuring the flow rate and the amount of flowing liquid to state primary standards. *Pribory*. 2015;4(178):40–43.
7. Ataeva A. I., Korneev R. A., Tuhvatullin A. R., Nigmatullin R. R. State verification scheme for measuring instruments of mass and volume of liquid in a stream, volume of liquid and capacity in static measurements, mass and volumetric flow rates of liquid. *Zakonodatel'naja i Prikladnaja Metrologija*. 2018;5(156):17–20.
8. Frahm E., Mickan B., Gulyuk V., Reut G., Zigmantas G., Benkova, M. et al. Final report on supplementary comparison of national standards for liquid flow COOMET.M.FF-S2 (COOMET Project 406/UA/07). *Metrologia*. 2020;57(1A):07023. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/57/1A/07023>
9. Tuhvatullin A. R., Shchelchikov A. V., Fafurin V. A. GET 63–2019: State primary special standard of units of mass and volume of liquid in a flow and of mass and volume flow rates of a liquid. *Measurement Techniques*. 2021;64(2):79–85. <https://doi.org/10.1007/s11018-021-01900-w>
10. Engel R., Baade H-J. Impacts upon the measurement uncertainty of liquid-flow facilities originating from random-like variations of the flow parameters. In: *8th International symposium on fluid flow measurement*, 20–22 June, 2012. Colorado, USA. Springs, 2012.
11. Engel R., Baade H-J. Model-based fluid diverter analysis for improved uncertainty determination in liquid flow calibration facilities, exemplified with PTB's «Hydrodynamic Test Field». In: *14th International flow measurement conference FLOMEKO 2007*, 18–21 September 2007. At: Johannesburg, South Africa, 2007. <https://doi.org/10.13140/2.1.2746.9603>

12. Engel R., Baade H.-J. Model-based flow diverter analysis for an improved uncertainty determination in liquid flow calibration facilities. *Measurement Science and Technology*. 2010;21(2): 025401. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/21/2/025401>
13. Shimada T., Oda S., Terao Y., Takamoto M. Development of a new diverter system for liquid flow calibration facilities. *Flow Measurement and Instrumentation*. 2003;14(3):89–96. [https://doi.org/10.1016/S0955-5986\(03\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(03)00016-5)
14. Korneev R. A., Tukhvatullin A. R., Fafurin V. A., Shchelchikov A. V. Assessment of influence of flow diverter on the metrological characteristics of calibration devices used for the units of mass and unit of volume of a liquid in a flow and of mass and volume discharges of liquid. *Measurement Techniques*. 2019;62(4):347–353. <https://doi.org/10.1007/s11018-019-01628-8>
15. Korneev R. A., Tukhvatullin A. R., Fafurin V. A., Shchelchikov A. V., Ataeva A. I. Measurement uncertainties estimation introduced by the diverter into the budget of standard uncertainties. In: *18th International flow measurement conference FLOMEKO 2019*, 26–28 June 2019. Lisbon, 2019. P. 161254.
16. Picard A., Davis R., Gläser M., Fujii K. Revised formula for the density of moist air (CIPM-1987). *Metrologia*. 2008;45:149–155. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/45/2/004>
17. Solovov V. G., Fishman I. I., Khomiakov G. D., Tukhvatullin A. R. State primary special standard of the unit of volumetric and mass flow of water GET 119-2010. Mir izmerenii. 2011;(8): 32–35.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

ISO 4185:1980 Measurement of liquid flow in closed conduits – Weighing method. Available at: <https://www.iso.org/standard/9959.html>
 ГОСТ 8.061–80 Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение = State system for ensuring the uniformity of measurements. Verification schedules. Scope and layout. ИПК Издательство стандартов, 2002. 11 с.

ГОСТ 8.142–75 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода жидкости в диапазоне от 1×10 в ст. минус 3 до 2×10 в ст. 3 кг/с = State system for ensuring the uniformity of measurements. State primary standard and all-union verification schedule for means measuring mass flow of liquid within the range of 1×10 in minus 3 degree up to 2×10 in 3 degree kg/s . М.: Издательство стандартов, 1975. 8 с.

ГОСТ 8.142–2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений массового и объемного расхода (массы и объема) жидкости = State system for insuring the uniformity of measurements. The national traceability chain for instruments measuring the mass and volumetric (the mass and the volume) flow of liquid. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

ГОСТ 8.145–75 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода жидкости в диапазоне от 3×10 в ст. минус 6 до 10 куб.м/с = State system for ensuring the uniformity of measurements. State primary standard and all-union verification schedule for means measuring volumetric flow of liquids within the range of 3×10 in minus 6 degree up to $10 \text{ m}^3/\text{sec}$. М.: Издательство стандартов, 1975.

ГОСТ 8.374–80 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода воды в диапазоне от $2,8 \times 10$ в ст. минус 8 до $2,8 \times 10$ в ст. минус 2 м куб.л/с = State system for ensuring the uniformity of measurements. State special standard and all-union verification schedule for means measuring volumetric flow of water within the range of $2,8 \times 10$ in minus 8 degree up to $2,8 \times 10$ in minus 2 degree m^3/sec . М.: Издательство стандартов, 1980. 7 с.

ГОСТ 8.374–2013 Государственная поверочная схема для средств измерений объемного и массового расхода (объема и массы) воды = State system for insuring the uniformity of measurements. State verification schedule for instruments measuring the volumetric and mass flow (volume and mass) of water. М.: Стандартинформ, 2014. 6 с.

ГОСТ 8.381–2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения точности = State system for ensuring the uniformity of measurements. Standards. Ways for expressing the accuracy. М.: Стандартинформ, 2019. 22 с.

ГОСТ Р 8.654–2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения = State system for ensuring the uniformity of measurements. Requirements for software of measuring instruments. Main principles. М.: Стандартинформ, 2019. 14 с.

ГОСТ Р 8.885–2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Основные положения = State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement standards. Basic principles. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

ГОСТ 8.909–2016 Государственная система обеспечения единства измерений. Вторичные эталоны единиц массового и объемного расходов, массы и объема жидкости. Основные метрологические и технические требования = State system for insuring the uniformity of measurements. Secondary standards of units of mass and volumetric flow rate, mass and volume of fluid. General metrological and technical requirements. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.

ГЭТ 63 Государственный первичный специальный эталон единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости / институт-хранитель ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» // Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений: официальный сайт. URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/12/items/1365156>

ГЭТ 64 Государственного первичного эталона единицы объемного расхода жидкости / институт-хранитель ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» // ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» : официальный сайт.

URL: <https://vniir.org/standards/get-63-2019/>

МИ 3665–2022 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Установки поверочные. Методика поверки.

Р 50.2.078-2011 Порядок подготовки к утверждению государственных первичных эталонов единиц величин = State system for ensuring the uniformity of measurements. Procedure of preparation for approval of state primary standards of measurement units. М.: Стандартинформ, 2012. 23 с.

Об обеспечении единства измерений: Федер. закон Рос. Федерации от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собрания Рос. Федерации 11 июня 2008 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 18 июня 2008 г. (в редакции от 11 июня 2021 г. № 170-ФЗ) // Официальный интернет-портал правовой информации [сайт].

URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102122832>

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерений, массового и объемного расходов жидкости : Приказ Росстандарта от 7 февраля 2018 № 256 // ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» : официальный сайт.

URL: <https://gost.ru/portal/gost/home/activity/documents/orders#/order/44963>

Об отмене действия межгосударственных стандартов на территории Российской Федерации : Приказ Росстандарта от 26 июля 2018 № 430-ст // Юридическая информационная система «Легалакт – законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации»: официальный сайт. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosstandarta-ot-26072018-n-430-st-ob-otmene-deistviya/>

Об утверждении требований к содержанию и построению государственных поверочных схем и локальных поверочных схем, в том числе к их разработке, утверждению и изменению, требований к оформлению материалов первичной аттестации и периодической аттестации эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, формы свидетельства об аттестации эталона единицы величины, требований к оформлению правил содержания и применения эталона единицы величины, формы извещения о непригодности эталона единицы величины к его применению : Приказ Минпромторга России от 11 февраля 2020 № 456 // Официальный интернет-портал правовой информации: официальный сайт. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202008250060>

Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений (В редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 21.10.2019 № 1355) : Постановление Правительства Российской Федерации от 23 ноября 2010 № 734 // Правительство Российской Федерации: официальный сайт.

URL: <http://government.ru/docs/all/74069/>

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.04.2019 № 766-р // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : официальный сайт. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201904190005>

Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 № 899 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : официальный сайт.

URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102149065>

Об утверждении перечней правовых актов и их отдельных частей (положений), содержащих обязательные требования, соблюдение которых оценивается при проведении мероприятий по контролю в рамках осуществления федерального государственного метрологического надзора и государственного контроля (надзора) за соблюдением обязательных требований национальных стандартов и технических регламентов: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 мая 2019 № 1191.

О введении в действие межгосударственного стандарта : Приказ Росстандарта от 22 ноября 2013 № 1690-ст // Юридическая информационная система «Легалакт – законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации»: официальный сайт. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosstandarta-ot-22112013-n-1690-st-o-vvedenii-v/>

Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости : Приказ Росстандарта от 26 сентября 2022 № 2356 // АО «Кодекс»: официальный сайт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/351933636>

Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения : Приказ Минпромторга России от 28 августа 2020 № 2905 // Официальный интернет-портал правовой информации: официальный сайт.

URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011230062>

Об утверждении порядка установления и изменения интервала между поверками средств измерений, порядка установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них, требований к методикам поверки средств измерений : Приказ Минпромторга Российской Федерации от 28 августа 2020 № 2907 // Официальный интернет-портал правовой информации: официальный сайт. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010260016>

Об утверждении государственного первичного специального эталона единиц массы и объема жидкости в потоке, массового и объемного расходов жидкости : Приказ Росстандарта от 7 декабря 2019 № 3394 // КонсультантПлюс: официальный сайт. URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=575861#3xuKoeT4EQ6UsBSr>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Корнеев Роман Александрович – начальник научно-исследовательского отдела метрологического обеспечения средств и систем измерений расхода и количества жидкости, ВНИИР – филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»
Россия, 420088, Республика Татарстан, г. Казань, ул. 2-я Азинская, д. 7а
e-mail: rak_1985@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2078-6850>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Roman A. Korneev – Head of the Research Department of Metrological Support of Means and Systems for Measuring the Flow and Quantity of Liquid, VNIIR – Affiliated Branch of D. I. Mendeleyev Institute for Metrology
7a st. 2nd Azinskaya, Kazan, 420088, Russia
e-mail: rak_1985@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0005-2078-6850>