

Подготовка и проведение работ по повышению разряда эталонной проливной установки в соответствии с государственно-поверочной схемой

К. А. Шакалов^{1}, Н. А. Вихарева¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: k.a.shakalov@gmail.com

Аннотация. Был проведен первичный анализ и исследование факторов, приводящих к увеличению погрешности эталонных проливных установок, в том числе основного вклада погрешности эталонных расходомеров. Исследуется влияния геометрических характеристик измерительного участка, местных гидравлических сопротивлений, а также места расположения эталонных расходомеров на параметры объемного расхода жидкости. За счет учета исследуемых факторов проведены работы по изменению конструкции и компонентного состава, которые позволят повысить разряд эталонной проливной установки в соответствии с государственной поверочной схемой.

Ключевые слова: точность, эталонная проливная установка, эталонные расходомеры

Preparation and performance of work to increase the accuracy of the reference torrential installation in accordance with the state verification scheme

K. A. Shakalov^{1}, N. A. Vikhareva¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: k.a.shakalov@gmail.com

Abstract. Carrying out primary analysis and studies of factors leading to an increase in the error of reference flowing installations, including the main contribution of the error of reference flow meters. The influence of the geometric characteristics of the measuring section, of local hydraulic resistances, as well as the influence of the location of reference flow meters on the parameters of the volumetric flow rate of the liquid are investigated. By taking into account the factors under study, prepare work to change the design and component composition, which will increase the accuracy of the standard torrential installation in accordance with the state verification scheme.

Keywords: accuracy, reference pouring installation, reference flowmeters

Введение

Во всем мире водные компании используют несколько расходомеров для измерения количества распределяемой воды. Это оборудование очень важно для водоучетных организаций, так как важные улучшения производятся в соответствии с данными, предоставляемыми доступными мерами. Данные, предоставляемые этими устройствами, также влияют на несколько показателей эффективности, касающихся управления системой, таких как недоходная вода (NRW) и водный баланс. NRW – это объем очищенной воды, который не покупается.

Водные балансы являются важными инструментами для обнаружения утечек в процессах снабжения и распределения. Оба этих инструмента требуют точных измерений [1, 2].

Измерения расхода можно соотнести с эффективностью системы. Обычно системы частично приводятся в действие под действием силы тяжести и перепадов давления, для чего требуется насосная станция. Если точность измерения гарантирована, можно достичь более высокого уровня энергоэффективности, что позволяет планировать рабочий период по более низким тарифам на электроэнергию в зависимости от способности регулирования и потребности в воде ниже по течению.

Таким образом, правильное измерение с помощью расходомеров является чрезвычайно важным фактором с точки зрения точности и управления гидравлической системой. Среди других областей измеренные значения расхода являются одним из ключевых вопросов для обнаружения утечек в трубопроводных системах. Таким образом, для любого управляющего гидравлической системой точность измерения расхода оказывает существенное влияние как на планирование, так и на инвестиционные решения. Даже при соблюдении всех ограничений, налагаемых производителями, в системе могут быть выявлены несоответствия. Эти нарушения неоднократно указывали на возникновение утечек в трубопроводных системах. Этот вывод поднимает новую проблему, которая еще не была четко определена.

Следовательно, это исследование имеет целью проанализировать различные переменные, а именно геометрию расположение участков трубопровода и то, как это может повлиять на расход жидкости и точности измерений расходомеров. Цель данного исследования состоит в том, чтобы оценить, как вертикальные или горизонтальные кривые, расширения и сокращения, помимо других геометрических форм, могут влиять на поток и, следовательно, на измерения. Для достижения этой цели было определено влияние нескольких возмущений с использованием электромагнитного расходомера и ультразвуковой доплеровской velocиметрии (УДВ) и результаты сопоставлены с рассчитанными профилями скорости. Численная модель была откалибрована и проверена с использованием тех же условий, что и экспериментальная установка. Численное моделирование показало хорошее приближение к измерениям скорости для двух различных геометрий. Для оценки точности численных результатов было проведено несколько экспериментальных тестов.

Методы и материалы

Для средств измерений массы и объёма жидкости в потоке применяется государственная поверочная схема (ГПС), в соответствии с приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 256 от 07.02.2018 «Государственная поверочная схема для средств измерений массы и объёма жидкости в потоке, объёма жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объёмного расходов жидкости». ГПС состоит из: государственного первичного эталона, вторичного эталона и рабочего эталона 1-го разряда [6-9].

Расходомеры являются одним из наиболее важных и используемых устройств для точного измерения объемного расхода. В настоящее время существует несколько типов расходомеров, но наиболее важными для измерения расхода являются электромагнитные и ультразвуковые. Они характеризуются высокой точностью и самоконтролем. Электромагнитные расходомеры возмущаются только существующими частицами, которые могут изменять магнитные свойства каждой жидкости. Такие свойства как температура, вязкость и плотность жидкости, не влияют на измерения. Однако, стационарный режим является необходимым условием для обеспечения точности измерений [10].

Эти расходомеры имеют два разных элемента: первичный и преобразователь (рис. 1). Первичный элемент соответствует полой круглой трубе с витками по длине и устанавливается в трубопроводе. Поток, проходящий через секцию, создает электромагнитное поле, пропорциональное объемному расходу. Преобразователь – это элемент, который создает магнитное поле, считывает напряжение, отображает данные и генерирует выходные данные. Преобразователь отображает объемный расход и количество пропущенного объема жидкости.



Рис. 1. Составные части электромагнитных расходомеров:
а – первичный элемент; б – преобразователь

Согласно некоторым производителям, электромагнитные расходомеры обеспечивают погрешность не более 0,2 % при скорости потока выше 1 м/с и соблюдении требований к установке. Точность электромагнитных расходомеров зависит от скорости.

Для измерения объемного расхода в электромагнитных расходомерах применяется принцип Фарадея. В 1831 г. Майкл Фарадей обнаружил, что при движении проводника в магнитном поле, индуцируется электрический ток, пропорциональный силе магнитного поля, а также скорости [3, 4]. Если проводником является вода, то поток, проходящий через магнитное поле, индуцирует электрический ток, пропорциональный скорости потока. На рис. 2 представлен принцип работы электромагнитного расходомера.

Путем обработки данных электрический ток U_E , индуцируемый каналом потока, прямо пропорционален значению объемного расхода Q . Индуцируемый потоком электрический ток учитывается только в поперечном сечении, определяемом электродами, перпендикулярными потоку. Другими словами, для измерения

объемного расхода имеет значение только параллельная составляющая скорости. Это означает, что трехмерная природа потока игнорируется.

Профиль скорости потока неодинаков во всем сечении. По этой причине, чтобы предотвратить завышенную или заниженную оценку скорости потока, поставщики этого оборудования используют весовой коэффициент W . На рис. 3 представлено распределение весового коэффициента в поперечном сечении.

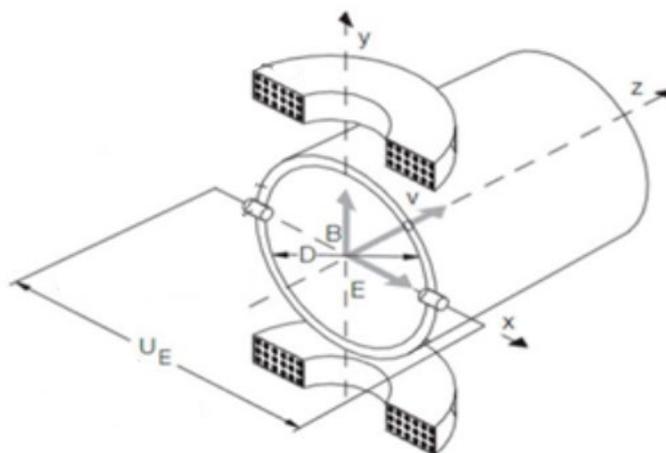


Рис. 2. Принцип действия электромагнитного расходомера

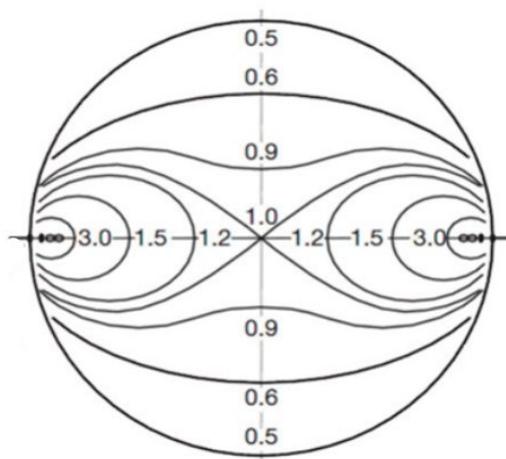


Рис. 3. Распределение весового коэффициента W в плоскости электрода

На рис. 3 каждая точка в поперечном сечении имеет разные весовые коэффициенты. Сумма произведения скорости и соответствующего весового коэффициента соответствует электрическому току, который пропорционален объемному расходу. Хотя это хороший метод для определения объемного расхода в однородном постоянном магнитном поле вдоль симметричных профилей скорости, но эта формулировка не дает хороших результатов для несимметричных профилей скорости. В этих случаях одни значения будут переоценены, а другие недооценены, что приведет к неточному определению объемного расхода. Чтобы из-

бежать этого, поставщики оборудования считают, что магнитная индукция поля B обратно пропорциональна весовому коэффициенту W .

Работе электромагнитных расходомеров мешают только наличия частиц, которые могут изменить магнитные свойства жидкости. Таким образом, необходимо гарантировать наличие линейных путей потока, чтобы гарантировать точность измерения. Поэтому необходимо соблюдать минимальные требования к установке для каждой геометрии, указанные каждым производителем. На рис. 4 представлены требования к установке, предъявляемые поставщиками для наиболее распространенных геометрий.



Рис. 4. Требования к установке для различных схем расположения труб.

Результаты

На рис. 5 представлена схема насосной станции, где перекачивается почти 90 % всего объема воды. Поток поступает по приводной трубе, т. е. справа налево на рис. 5б, и следует через насос по вертикальной трубе в верхней части приводной трубы. После этого поток достигает напорной трубы под углом 30° вбок, пройдя два изгиба по 90° .

Предполагалось, что проблемы, обнаруженные на месте, связаны с расходомерами на насосной станции. При прохождении потока через насос можно пре-

небредь возмущениями вверх по течению, т. е. учитывать только возмущения, вызванные насосом. Таким образом, поскольку давление измеряется сразу после насоса, то геометрия, используемая для моделирования возмущений, представлена на рис. 6.

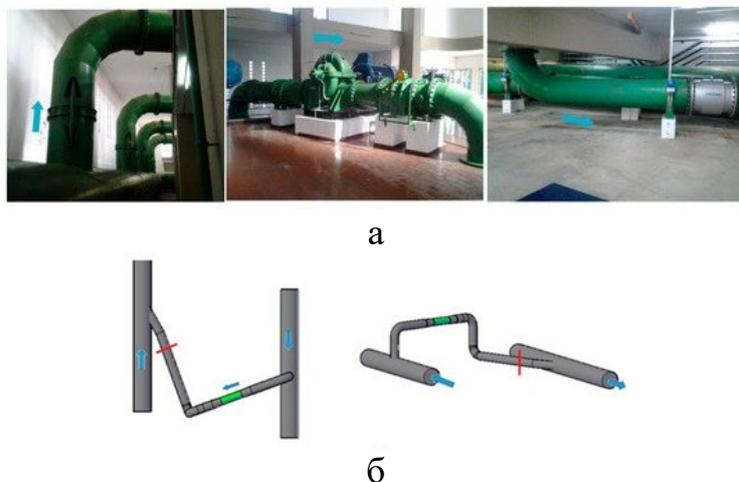


Рис. 5. Схема насосной станции:

а – фотографии различных частей гидросистемы; б – геометрия моделирования – расположение насоса обозначено зеленым участком трубы, расходомер обозначен красной линией, направление потока обозначено синей стрелкой (вид сверху слева и трехмерный вид справа)

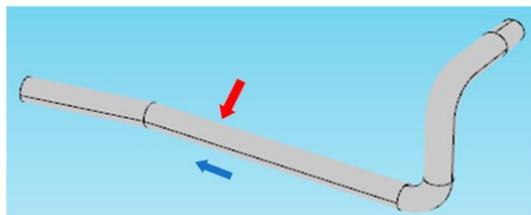


Рис. 6. Геометрия моделирования компоновки системы – с секцией расходомера, обозначенной верхней стрелкой, и направлением потока, обозначенное нижней стрелкой

Моделирование выполнялось путем определения геометрии, после чего необходимо было определить характеристики жидкости (т.е. воды) и граничные условия. Наконец, были выбраны определения сетки. На рис. 7 представлены скорости линий тока и распределение скоростей в поперечном сечении расходомера соответственно. В секции расходомера линии тока кажутся параллельными друг другу.

Скорость существенно изменяется в пределах поперечного сечения от нуля у стенки до более 1,7 м/с в правой нижней части, где скорость достигает наибольшего значения. Такое поведение не ожидалось, поскольку поток проходит через два девяносто градусных участка после насоса, поэтому было бы разумно ожи-

дать, что на практике вызванными возмущениями можно будет пренебречь, согласно опыту производителей. Тем не менее, важно не забывать, что вторая кривая представляет собой поворот вокруг оси z . Следовательно, несимметричная скорость обусловлена существующей геометрией (рис. 7, б).

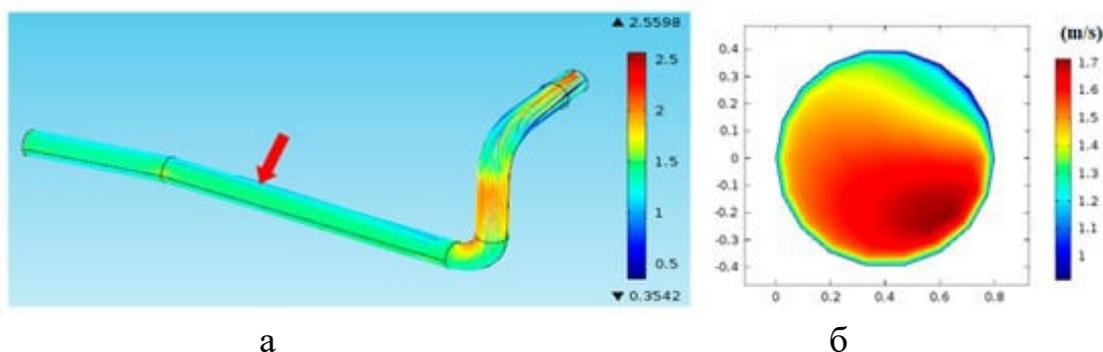


Рис. 7. Моделирование линий тока вдоль гидравлического контура для компоновки ответвления трубопровода (участок расходомера обозначен стрелкой), м/с (а); Распределение скорости в поперечном сечении расходомера (б)

Для каждой точки, предусмотренной численной моделью, оценивался соответствующий весовой коэффициент. Скорость, измеренная расходомером, рассчитывалась путем деления произведения скорости на весовые коэффициенты на сумму всех весовых коэффициентов. Ошибка, связанная с расходомером, составила около 0,71 %. Ошибка, рассчитанная производителем по водным балансам, была близка к 1 %. Поскольку ошибки одинаковы, модель считается проверенной, а результаты точными.

Чтобы получить решение с меньшей погрешностью, можно применить три различных процедуры: изменить геометрию, но сохранить значения объемного расхода и давления; изменить условия на входе и выходе с сохранением геометрии и с использованием обоих решений. Выбранная процедура была первой, так как требуемый объемный расход и требуемое давление ниже по потоку остаются прежними.

Предыдущие результаты показали, что существующей компоновки недостаточно для обеспечения эффектов рассеяния и однородности потока. По этой причине была добавлена новая труба длиной 20 м, чтобы сделать возможным полное рассеивание помех. Учитывая расходомер в том же месте, что и в предыдущем моделировании (т. е. расходомер, расположенный между 24 м прямой трубы вверх по течению и 4 м вниз по течению), новая предлагаемая геометрия соответствует рис. 8.

Для тех же граничных условий и характеристик сетки полученные линии тока представлены на рис. 9,а, а также распределение скорости по плоскости электродов на рис.9,б.

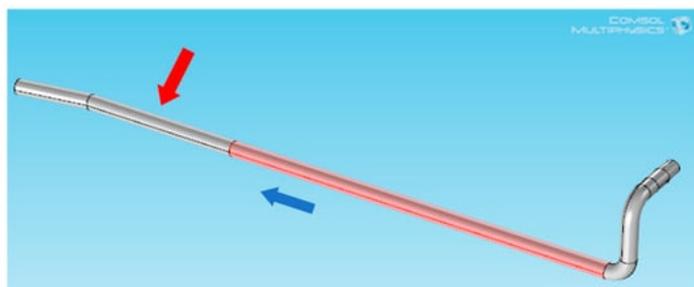


Рис. 8. Предлагаемая геометрия моделирования компоновки системы: секция расходомера обозначена верхней стрелкой; направление потока обозначено нижней стрелкой

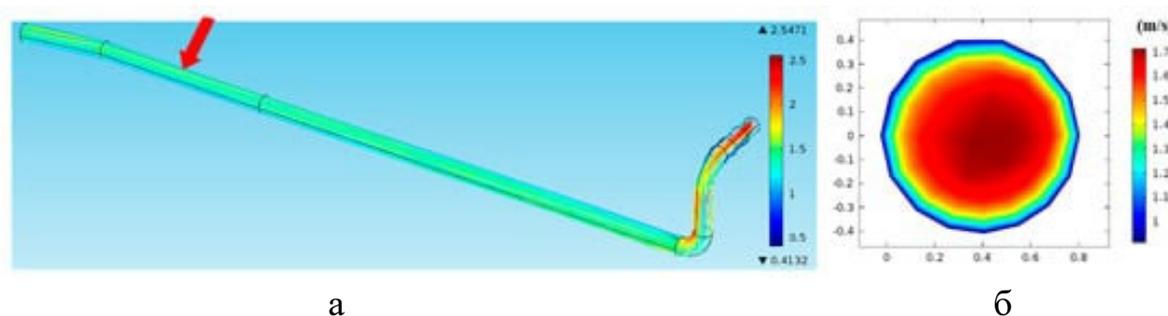


Рис. 9. Моделирование линий тока вдоль гидравлического контура для предлагаемой схемы системы (секция расходомера обозначена красной стрелкой), в м/с (а); распределение скоростей в поперечном сечении электродов для предложенной геометрии (б)

Этот профиль представляет незначительные возмущения по сравнению с профилем, показанным на рис. 7,б. Однако распределение скоростей не является точно симметричным. Возмущение все еще заметно за несколько метров до последней сингулярности. Для этого значения объемного расхода и давления погрешность, связанная с этим моделированием, составляет 0,37 %, что ближе к эталонному значению, которое поставщики расходомеров гарантируют для скорости потока выше 1 м/с (т.е. 0,2 %).

Заключение

Проблема измерения оказывает существенное влияние на правильное управление технической, гидравлической и экономической эффективностью предприятий водоснабжения [5]. Поскольку гидравлические контуры обычно имеют два расходомера, то возможен водный баланс. Эти балансы являются важными инструментами для обнаружения утечек в процессах снабжения и распределения.

Процедура, использованная для анализа связанных погрешностей, оказалась достаточной, чтобы показать хорошие результаты для экспериментов и тематического исследования. Тем не менее, необходимо изучить больше сценариев, чтобы оценить, можно ли применять разработанную процедуру в каждом случае.

Что касается результатов моделирования, то модель представила погрешность, очень похожую на полученную в проведенных экспериментальных тестах. Согласно полученным результатам, полученные значения погрешности весьма значительны для оборудования высокой точностью. Следовательно, погрешности, связанные с установкой и геометрией, очень важно контролировать, что в свою очередь не всегда делается инженерами, ответственными за проектирование, или бригадами, ответственными за установку этого оборудования. Если эти факторы не учтены должным образом, то измерение расхода будет неточным.

Что касается предлагаемого решения, то геометрия для минимизации ошибок монтажа невозможна, так как объект уже построен в соответствии с условиями производителя. Этого можно было бы избежать, если бы для оценки неопределенности измерений расхода применялись четко определенные автоматические инструменты. Используя предложенные модели, можно получить более быструю аппроксимацию погрешности для определенного типа геометрии, объемного расхода и давления.

Кроме того, это исследование предназначено для оценки того, что требования к установке, предложенные производителями, недостаточны для устранения таких неопределенностей. Таким образом, целесообразно подчеркнуть важность измерения расхода воды для водохозяйственных предприятий с точки зрения более эффективного и рационального использования и управления водными ресурсами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Frenzel, F.; Grothey, H.; Habersetzer, C.; Hiatt, M.; Hogrefe, W.; Kirchner, M.; Lütkepohl, G.; Marchewka, W.; Mecke, U.; Ohm, M.; et al. *Industrial Flow Measurement Basics and Practice*; ABB Automation Products GmbH: Gottingen, Germany, 2011. – 251 p.
2. Sheng, H.; Lihui, P.; Nakazato, H. Computational fluid dynamics based sound path optimization for ultrasonic flow meter. *Chin. J. Sci. Instrum.* 2009, 30, 852–856 с.
3. РЭ «Установка поверочная расходомерная УПР-180 «Энергия-Новосибирск»: руководство по эксплуатации; введен 03.07.2016. – Новосибирск: Центр стандартизации и метрологии, 2016. – 31 с.
4. Lysak, P.D.; Jenkins, D.M.; Capone, D.E.; Brown, W.L. Analytical model of an ultrasonic cross-correlation flow meter, part 1: Stochastic modeling of turbulence. *Flow Meas. Instrum.* 2008, 19, 41–46 с.
5. Об обеспечении единства измерений от 26.06.2008 №102-ФЗ (ред. от 13.07.2015), 2008 г. – 19 с.
6. Государственная поверочная схема для средств измерений массы и объема жидкости в потоке, объема жидкости и вместимости при статических измерениях, массового и объемного расходов жидкости : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 256 от 07.02.2018 г. – 22 с.
7. 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

Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 11.02.2020 № 456. – 24 с.

8. План разработки (пересмотра) и утверждения государственных поверочных схем на 2019 год : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2819 от 29.12.2019 г. – 30 с.

9. Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Постановление Правительства РФ № 734 от 23 сентября 2010 г. – 6 с.

10. МА 2-15001–2021. Рабочий эталон единицы объема жидкости в потоке 2 разряда в диапазоне значений от 0,002 до 180 м³, единицы объемного расхода жидкости 2 разряда в диапазоне значений от 0,08 до 180 м³: методика; введен 29.01.3021. – Казань: ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», 2021. – 56 с.

© *К. А. Шакалов, Н. А. Вихарева, 2022*