

Ж. А. Даев

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА
ЖИДКОСТИ И ГАЗА ПЕРЕМЕННОГО ПЕРЕПАДА
ДАВЛЕНИЯ: ОБЗОР И АНАЛИЗ ДОСТИЖЕНИЙ
ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ**

Z. A. Daev

**MEASUREMENT SYSTEMS OF THE FLOW RATE
AND QUANTITY OF FLUID OF VARIABLE
DIFFERENTIAL PRESSURE: THE REVIEW AND ANALYSIS
OF ACHIEVEMENTS IN THE LAST DECADES**

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Измерение расхода и количества веществ является одним из способов достижения энергетической эффективности в различных отраслях промышленности. Среди большого количества методов измерения расхода и количества энергоресурсов особое место занимают системы измерения расхода на базе переменного перепада давления. Цель работы – обзор последних достижений в области повышения точности и эффективности этих систем и их анализ, который позволил бы сосредоточить внимание заинтересованных лиц на существующих проблемах метода. **Материалы и методы.** В рамках выполнения работы проведен анализ количественного распределения рассматриваемого метода и измерительных систем на его основе, рассмотрены и проанализирован рынок распределения расходомерных систем за последние два десятилетия. **Результаты.** В работе показано, что доля распространения традиционных технологий измерения расхода занимает половину всего парка расходомерных средств и систем, а величина распределения рассматриваемых измерительных систем остается наиболее высокой и востребованной. В статье показаны основные направления в рамках, которых ведутся исследования по улучшению и повышению эффективности метода. **Выводы.** Проведенный анализ показывает, что методы повышения точности и надежности функционирования исследуемых измерительных систем можно рассмотреть путем разделения на аппаратные способы повышения эффективности и алгоритмические, которые уточняют модель, в соответствии с которой ведется процесс выполнения измерений расхода и количества веществ.

A b s t r a c t. Background. Measurement of flow rate and the quantity of substances is one way to achieve energy efficiency in the various industries. Variable differential pressure flow measurement systems are very special type of the instrumentation among the large number of flow measurement techniques and systems. The purpose of this article is to provide an overview of the latest achievements in the field of improving accuracy and efficiency of these systems and make their analysis, which would allow focusing of stakeholders on the existing method problems. **Materials and methods.** As a part of the work was made an analysis of the quantitative distribution of the method and measurement systems based on variable pressure

drop, examined and studied the proportion of the flow distribution systems market over the past two decades. **Results.** The paper shows that the share of the spread of traditional flow measurement technologies takes half the market of the flow measurement equipment. The value of the distribution of the considered measuring systems remains the most popular and high. The article shows the main areas within which research is underway to improve the method. **Conclusions.** This analysis shows that the improving methods of the accuracy and reliability of functioning of these measurement systems are possible to consider by separation on ways to improve hardware and on algorithmic ways to increase efficiency.

К л ю ч е в ы е с л о в а: расход, расходомеры, переменный перепад, измерительная система, жидкость, газ, точность.

К e y w o r d s: flow, flowmeters, differential pressure, measurement system, liquid, gas, accuracy.

Введение

Рациональное и правильное использование водных и энергетических ресурсов является одной из главных целей нынешнего времени с учетом их возрастающего потребления за последние десятилетия. Одним из главных и успешных инструментов в достижении этой цели является развитие методов и методик повышения точности и надежности средств и систем измерения расхода и количества веществ. В качестве доказательства этому можно сослаться на работы [1, 2], в которых приводятся результаты исследований о достижении значительной экономии в денежных средствах при уменьшении погрешности измерения расхода жидкостей и газов на 0,01 %.

Существует большое многообразие методов измерения расхода и количества жидкостей и газов. В соответствии с работой [3] методы измерения расхода и количества условно делят на традиционные и инновационные. К традиционным средствам измерений относятся расходомеры переменного перепада давления, тахометрические (турбинные) средства измерения, объемно-вытеснительные и меточные приборы, а также приборы, реализующие измерение расхода по принципу «площадь – скорость». Всем этим приборам присущи следующие общие отличительные признаки [3, 4]:

1. Технология измерения была изобретена задолго до 1950 г.
2. Технология измерения не сильно изменялась с точки зрения разработки новых продуктов на рынке.
3. Количество преимуществ данной группы приборов увеличивается незначительно по сравнению с приборами на базе новых технологий.
4. Затраты на обслуживание и поддержание в работоспособном состоянии довольно высокие по сравнению с приборами на базе новых технологий.

Одним из главных представителей традиционных методов измерения расхода и количества веществ является метод переменного перепада давления. Несмотря на то, что перечисленные признаки не всегда являются сильной стороной систем, построенных по методу переменного перепада давления, данный метод все еще остается популярным на большом числе различных производств. Поэтому целью данной статьи является анализ применения данного метода в промышленности, обзор и оценка последних достижений, которые ведут к совершенствованию метода за последние 20 лет.

Обзор достижений улучшения метода

В соответствии с данными опросов [3], которые проводились компаниями *Flow Research* и *Ducker Worldwide*, самым распространенным методом измерения расхода и количества жидкостей и газов является метод переменного перепада давления. В рамках данной работы было опрошено и исследовано большое количество самых передовых компаний мира на всех континентах (около 300 компаний). Также в соответствии с работой [4] доля систем измерения и приборов, основанных на традиционных технологиях измерения расхода веществ, составляет около 50 % всего мирового парка расходомерных систем. В работе [3] говорится, что по ре-

зультатам опроса системы измерения, основанные на переменном перепаде давления, составляют почти одну треть (27,2 %) всех методов измерения расхода. Также согласно работе [3] величина распределения расходомеров переменного перепада давления в географическом масштабе составляет следующее: системы рассматриваемого типа в Северной Америке составляют 38 % среди всех остальных измерительных технологий, в Азии эта цифра достигает 26 %, а в Европе – 15 %.

Относительно распространения на производствах особенно широкое применение метод получил в газовой промышленности, на отдельных производствах химической промышленности.

Все это является свидетельством того, что метод переменного перепада давления является доминирующим способом измерения расхода, особенно при измерении больших потоков вещества на трубах большого диаметра в соответствии с рекомендацией [5].

Широкому и успешному распространению метода переменного перепада давления способствовало отсутствие необходимости в дорогостоящем поверочном оборудовании и развитие вычислительной техники и информационных технологий, которые значительно повысили точность результатов измерений, автоматизировали процесс обработки данных и сделали удобным восприятие результатов измерений.

В нынешнее время улучшение и развитие данного метода привело к разработке различных конструкций быстросъемных сужающих устройств (СУ), а развитие информационных технологий и методов обработки результатов измерений с помощью микропроцессорных систем сделали возможным разработку многопараметрических преобразователей, которые позволили объединить первичный преобразователь расхода с вторичными средствами измерений в единый объединенный комплекс.

Одним из методов повышения точности рассматриваемых систем является повышение точности измерительных преобразователей физических величин, входящих в состав систем в качестве каналов и элементов. Значительное повышение классов точности преобразователей перепада давления, давления и температуры, несомненно, приведет к повышению точности всей системы измерения расхода и количества веществ.

Помимо конструктивных решений и модернизации главных составных элементов систем измерения расхода и количества веществ, которые не претерпели значительных изменений за последние годы, существенно улучшались способы определения и методы уточнения различных коэффициентов, входящих в состав функции преобразования, что способствовало уменьшению погрешности воспроизводимого расхода вещества.

Одним из важных параметров, который лежит в основе метода, является так называемый коэффициент истечения СУ, представляющий собой отношение действительного значения расхода вещества, который протекает через СУ, к соответствующему ему значению, рассчитанному согласно теоретической модели расхода вещества через это же устройство:

$$C = \frac{4Q_m \sqrt{1-\beta^4}}{\epsilon \pi d^2 \sqrt{2\Delta p \rho}}, \quad (1)$$

где Q_m – массовый расход вещества; β – относительный диаметр СУ; d – диаметр СУ; Δp – измеряемый перепад давления на СУ; ρ – плотность вещества при рабочих условиях; ϵ – поправочный множитель на расширение, который для жидкостей принимается равным единице.

Так, были проведены эксперименты, которые позволили получить новые коэффициенты расширения и истечения, входящие в состав уравнения (1). Результаты экспериментов и оценка погрешностей новых коэффициентов приводится в работах [6, 7]. Новые коэффициенты истечения и расширения по Ридер – Харрису и Галлахеру, полученные взамен ранее действовавших коэффициентов по Штольцу согласно работе [8], легли в основу методики выполнения измерений в соответствии с нормативами [9, 10].

Но несмотря на существующее удовлетворяющее многих положение относительно получаемых результатов измерений с помощью метода, ведутся попытки развивать дальше метод альтернативными путями, повышая его точность.

В соответствии с работами [11, 12] предлагается пересмотреть концепцию вычисления коэффициентов истечения сужающих устройств, отказавшись от зависимости от числа Рей-

нольдса. В работе [11] предлагается альтернативное уравнение, зависящее только от перепада давления, для данного коэффициента, который непрерывно измеряется системой. Это позволит отказаться от определения коэффициента истечения методом многочисленных итераций, что значительно ускорит процесс вычисления, значительно сократит память программ, реализующих алгоритм измерения расхода, упростит восприятие данных параметров. Предлагаемое уравнение для коэффициента выглядит следующим образом:

$$C = a_1 + a_2\beta^{3,75} + a_3\beta^4 + a_4\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^{1,25} + a_5\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^{2,25}, \quad (2)$$

где $a_1 = 0,59865$, $a_2 = 0,81891$, $a_3 = -0,86143$, $a_4 = 0,25169$, $a_5 = -2,2216$; Δp – перепад давления на диафрагме; p – абсолютное давление газа до сужающего устройства. Поэтому уравнение (2) является более удобным и простым для восприятия по сравнению с принятыми в нормативных документах [9, 10].

Помимо исследований по уточнению самих коэффициентов истечения и расширения СУ, недавно были проведены эксперименты по оценке влияния температуры и различных возмущающих воздействий потока на процесс измерения расхода [13].

Результаты работы [13] показали, что температура в диапазоне от 20 до 85 °С абсолютно не оказывает влияния на исходные коэффициенты истечения, тем самым исключается возможность влияния этой величины на коэффициент истечения.

В рамках данных работ проводились исследования по влиянию профиля набегающего потока газа на сужающее устройство. В ходе экспериментов сравнивались значения коэффициентов истечения по Штольцу и Ридер – Харрису и Галлахеру при различных возмущающих воздействиях, которые показали, что в широком диапазоне чисел Рейнольдса коэффициент истечения, положенный в основу [9, 10], совпал с коэффициентами возмущенного потока с нестандартным сужающим устройств. Это является еще одной причиной продолжать работы по уточнению коэффициентов истечения.

Не остаются в стороне и работы по изучению участков стабилизации для расходомеров, обусловленные структурой потока и влиянием шероховатости трубопроводов. Результаты этих исследований отражаются как в работах [6, 13], так и в работах типа [14, 15].

Одним из направлений совершенствования метода является также защита от недостоверных измерений и искажений измеряемой информации. В этом направлении ведутся работы по созданию манифольдов и вентильных блоков, исключающих умышленное искажение данных. К примеру, в работе [16] докладывается о разработке безвентильных блоков, которые обеспечивают строгое выполнение порядка включения либо отключения вентилей для отбора давления до и после сужающего устройства в одно действие.

Все это показывает, что наиболее традиционный и апробированный метод измерения расхода и количества жидкостей и газов не исчерпал возможностей по повышению точности и надежности. Активно ведутся исследования, способствующие улучшению метода как на уровне моделирования величин, входящих в функцию преобразования системы, так и на уровне повышения надежности аппаратной части.

Заключение

Таким образом, в работе проделан обзор и анализ значимых достижений в области повышения точности измерительных систем расхода и количества веществ методом переменного перепада давления, представлены и проанализированы последние попытки по улучшению коэффициентов истечения сужающих устройств, применяемых в качестве первичных преобразователей расхода. В статье приводятся данные о величине распределения расходомерных систем на основе данного метода в мире, говорящие об их подавляющем применении в различных отраслях промышленности, что является главной основой для продолжения исследований по повышению точности и информационной надежности метода переменного перепада давления. Учитывая, что рассматриваемые системы является комбинацией различных преобразователей физических величин, каждая из которых представляет собой отдельную область развития измерительной техники и приборостроения, их повышение точности и надежности

приведет к развитию самих расходомеров. Поэтому главным направлением исследований в этой области видится повышение информационной надежности моделей, описывающих процессы, протекающие в первичных преобразователях расхода.

Библиографический список

1. Morrow, T. B. Orifice meter expansion factor tests in 4-in. and 6-in. meter tubes. Topical report GRI-04/0042 / T. B. Morrow // SwRI project no. 18.06584. – San-Antonio (TX), 2004.
2. Пистун, Е. П. Учет и экономия природного газа / Е. П. Пистун, Р. Я. Дубиль // Коммерческий учет энергоносителей. – СПб. : Политехника, 1999. – С. 19–28.
3. Yoder, J. Go New-Tech or Stick with DP meters? Differential pressure flow users face the dilemma / J. Yoder // Control Magazine. – 2001. – Vol. 1. – P. 1–6.
4. Yoder, J. Measuring a 1 % gain in a 4,5 billion dollars market / J. Yoder // Flow Control. – 2008. – Vol. 6. – P. 42–45.
5. МИ 3082-2007. Выбор методов и средств измерений расхода и количества потребляемого природного газа в зависимости от условий эксплуатации на узлах учета. Рекомендации ФГУП ВНИИР. – Казань : ВНИИР, 2007. – 39 с.
6. Пистун, Е. П. Уточнение коэффициента истечения стандартных диафрагм расходомеров переменного перепада давления / Е. П. Пистун, Л. В. Лесовой // Датчики и системы. – 2005. – № 5. – С. 14–16.
7. Daev, Zh. A. A Comparative Analysis of the Discharge Coefficients of Variable Pressure-Drop Flowmeters / Zh. A. Daev // Measurement Techniques. – 2015. – Vol. 58. – С. 323–326.
8. Stolz, J. A Universal Equation for the Calculation of Discharge Coefficient of Orifice Plates / J. Stolz // Flow Measurement of Fluids, North-Holland, Amsterdam. – 1978. – P. 519–534.
9. ISO 5167: 2003. Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full. 536/ISO. – Guide, 2003.
10. ГОСТ 8.586.2–2005. ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Ч. 2. Диафрагмы. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 2007. – 37 с.
11. Cristancho, D. E. An alternative formulation of the standard orifice equation for natural gas / D. E. Cristancho, K. R. Hall, L. A. Coy, G. A. Iglesias-Silva // Flow Measurement and Instrumentation. – 2010. – Vol. 21. – P. 299–301.
12. A formulation for the flow rate of a fluid passing through an orifice plate from the First Law of Thermodynamic / M. A. Gomez-Osorio, D. O. Ortiz-Vega, I. D. Mantilla, H. Y. Acosta, J. C. Holste, K. R. Hall, G. A. Iglesias-Silva // Flow Measurement and Instrumentation. – 2013. – Vol. 33. – P. 197–201.
13. Buker, O. Reynolds number dependence of an orifice plate / O. Buker, P. Lau, K. Tawackolian // Flow Measurement and Instrumentation. – 2013. – Vol. 30. – P. 123–132.
14. Nadeem, M. Turbulent boundary layers over sparsely-spaced rod-roughened walls / M. Nadeem, H. J. Lee, J. Lee, H. J. Sung // International Journal of Head and Fluid Flow. – 2015. – Vol. 56. – P. 16–27.
15. De Marchis, M. Numerical observations of turbulence structure modification in channel flow over 2D and 3D rough walls / M. De Marchis, B. Milici, E. Napoli // International Journal of Head and Fluid Flow. – 2015. – Vol. 56. – P. 108–123.
16. Пистун, Е. П. Применение безвентильных блоков подсоединения дифманометров для устранения возможности искажения результатов измерений при учете энергоносителей / Е. П. Пистун, Р. Я. Дубиль // Коммерческий учет энергоносителей. – СПб. : Политехника, 2001. – С. 350–354.

Даев Жанат Арикулович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра технических
и естественно-научных дисциплин,
Казахско-Русский международный университет
(Республика Казахстан, г. Актобе, ул. Айтеке би, 52)
E-mail: zhand@yandex.ru

Daev Zhanat Arikulovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of technical and natural sciences,
Kazakh-Russian International University
(52 Aiteke bi street, Aktobe, Republic of Kazakhstan)

УДК 681.121.85

Даев, Ж. А.

Измерительные системы расхода и количества жидкости и газа переменного перепада давления: обзор и анализ достижений за последние десятилетия / Ж. А. Даев // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2017. – № 2 (20). – С. 19–24.