



DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-147-154
УДК 62-932.2

Научная статья

Обеспечение работоспособности акустических расходомеров вне пределов оптимальных значений расхода жидкости

М.В. Лапин, А.О. Гринин, К.В. Шкарин, К. Сури

Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6

История статьи:

Поступила в редакцию: 19 апреля 2019

Доработана: 20 июня 2019

Принята к публикации: 28 июня 2019

Ключевые слова:

акустический расходомер; погрешность прибора; нерасчетный режим; расширение диапазона измерений

Статья посвящена проблеме измерения расхода жидкости с помощью акустических приборов. Производители расходомеров устанавливают допустимый диапазон измерений (номинальный), в пределах которого погрешность измерения является минимальной, поэтому для подобных устройств диапазон измерений ограничен, а погрешность измерений при работе на нерасчетных режимах является неприемлемой. Основной задачей исследования является расширение диапазона измерения расхода акустических счетчиков жидкости, а также повышение точности измерения. В.А. Фафурин и М.К. Галеев в своей работе «Расчет корректирующего коэффициента ультразвукового расходомера» уже рассматривали проблему измерения расхода акустических приборов. В их исследовании был представлен метод расчета корректирующего коэффициента, который зависел от режима потока в трубе. Однако данная технология применима для труб, в которых не происходит изменение режима потока. В данной же статье авторы предлагают использовать коэффициент, имеющий функциональную зависимость от величины расхода, полученную эмпирическим путем. В статье описаны этапы проведения исследования: методика поверки прибора, способы анализа и обработки данных поверки при помощи ЭВМ, алгоритм внедрения системы измерения в энергоустановки, проверка работоспособности системы. Представленная в статье система позволяет расширить диапазон измерения акустических расходомеров и повысить точность измерения. Предложенная модель будет полезна для предприятий.

Введение

Почти все применяемые на практике акустические расходомеры работают в ультразвуковом диапазоне частот и поэтому называются ультразвуковыми.

Лапин Михаил Владимирович – студент 2 курса магистратуры, направление «Энергетическое машиностроение», Инженерная академия; alo14@yandex.ru
Гринин Андрей Олегович – студент 2 курса магистратуры, направление «Энергетическое машиностроение», Инженерная академия.

Шкарин Кирилл Владимирович – ассистент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии.

Сури Камбиз – ассистент департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии.

© Лапин М.В., Гринин А.О., Шкарин К.В., Сури К., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Ультразвуковой расходомер – это устройство, прямым назначением которого является измерение акустических эффектов, возникающих при движении вещества, расход которого необходимо измерить [1].

После сборки счетчика-расходомера производитель проводит ряд стендовых испытаний при различных расходах и давлении рабочего тела в магистрале. Результаты стендовых испытаний заносят в технический паспорт датчика. После этого его можно использовать как в промышленной отрасли и частном секторе, так и в научной области. Однако даже если калибровка расходомера проводилась изготовителем, то с целью по-

вышения точности и достоверности результатов измерения следует дополнительно проводить калибровку счетчика-расходомера непосредственно после окончательного его монтажа в магистрали установки [2]. Некоторые счетчики-расходомеры способны оптимально работать при определенных расчетных режимах расхода рабочего тела, установленных производителем. Поэтому при очень малых или при очень больших расходах присутствует большая погрешность измерений [3; 4].

Значение ЭВМ весьма существенно не только для повышения точности измерения расхода, но и для облегчения эксплуатации приборов и сокращения обслуживающего ее персонала [5].

Целью данного исследования является разработка системы, позволяющей повысить точность измерения и расширить границы оптимальной работы счетчика-расходомера. В статье рассмотрен метод поверки акустического счетчика-расходомера АС-001-15 производства ОАО «Завод «Старорусприбор»».

1. Схема и принцип действия расходомера

Счетчик содержит проточную часть (1) и электронный блок (2) (рис. 1). Проточная часть выполнена в виде полого цилиндра особой конструкции, внутри которого установлены пьезодатчики (4), одновременно выполняющие роль излучателей и приемников ультразвуковых волн и системы зеркал (5), направляющих ультразвуковую волну под определенным углом к направлению движения среды. Электронный блок (2) соединен при помощи стоек (3) с проточной частью (1).

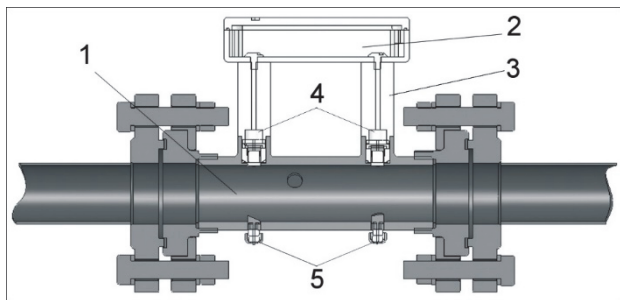


Рис. 1. Принципиальная схема счетчика-расходомера ФС-0012-15

[Figure 1. Layout diagram of acoustic flow meter FS-0012-15]

Работа счетчика основана на измерении разности времени прохождения импульсов ультразвукового сигнала по направлению движения потока рабочего тела и против его потока в трубопрово-

де [6]. Сигналы от пьезодатчиков поступают в вычислитель счетчика, который пересчитывает эти сигналы в объемный расход. При определении расхода учитывают количество импульсов, поступающих от пьезодатчиков, и их вес (цену).

Идея системы исходит из время-импульсного принципа действия акустического счетчика-расходомера. В вычислителе счетчика производится расчет мгновенного объемного расхода по формуле

$$Q = n \cdot K, \quad (1)$$

где Q – расход жидкости; n – количество импульсов, поданных преобразователем в секунду; K – цена (вес) импульса.

2. Постановка проблемы

При проведении эксперимента было установлено, что в зависимости от режима движения потока в трубопроводе меняется как количество импульсов, так и цена одного импульса [7]. Количество импульсов в секунду изменяется прямо пропорционально расходу жидкости. Очевидно, что погрешность расчета расхода пропорциональна не точности определения корректирующего коэффициента [8]. Отсюда можно предположить, что возникновение погрешностей при работе на нерасчетных режимах является следствием того, что расходомер запрограммирован на расчет расхода, учитывающий только одно определенное значение цены импульса K . Это объясняется тем, что в вычислителе отсутствуют устройства для сравнения количества импульсов, поданных преобразователем, а также не установлены диапазоны цены импульса, зависящие от режима потока жидкости. Устранить данный недостаток позволяет специальное ПО на базе программы SCADA-ZetView.

Для работы системы счетчик должен иметь выход на компьютер. В данном случае расходомер имеет выход на компьютер через встроенный интерфейс RS-485. Во время работы пьезодатчики счетчика-расходомера подают сигналы на АЦП-модуль, которые регистрируются на компьютере. Полученное компьютером значение является текущим количеством импульсов n , подаваемых счетчиком за единицу времени. Для правильной работы счетчика необходимо также знать значение цены импульса K , зависящей от режима потока жидкости. Данные значения могут быть получены только по результатам проведения поверки.

3. Методика поверки

Для проверки данного предположения был выбран метод поверки с помощью массового расхода [9]. С целью минимизации погрешностей при измерении массы и времени были приняты минимальная масса жидкости, равная 4 кг, и интервал времени поверки – 3 минуты, а также усредненные значения количества импульсов n , подаваемых счетчиком за единицу времени. Для определения цены импульса была использована программа, состоящая из следующих компонентов:

- счетчика количества импульсов за определенный промежуток времени;
- счетчика текущего количества импульсов, подаваемых счетчиком за секунду;
- счетчика среднего значения количества импульсов, подаваемых счетчиком за секунду;
- секундомера с погрешностью $\pm 0,05$ с.

Для повышения точности измерения и высокой стабильности в счетчиках малых диаметров – Ду 15, 25, 32, 40 используется так называемое осевое зондирование с практически полным «озвучиванием» всего сечения потока (достигается использованием акустического луча диаметром близким к диаметру измерительного участка счетчика), что позволяет осуществить полное усреднение эпюры скоростей потока воды, и, как следствие, для этих счетчиков предъявляются менее жесткие требования к прямым участкам трубопроводов [6]. Поэтому при проведении эксперимента эпюра распределения скоростей в трубопроводе не учитывается в связи с малым диаметром трубопровода (15 мм).

1. Средства поверки:

- персональная ЭВМ, соответствующая минимальным системным требованиям, с собранной схемой на базе программы ZetView [10];
- АЦП модуль;
- поверочная емкость объемом до 5 л;
- электронные весы с погрешностью $\pm 0,001$ кг.

2. Условия поверки:

- установившийся режим движения потока в трубопроводе [11; 12];
- изменения расхода в процессе поверки не должно превышать ± 5 % от установившегося значения;
- отсутствие внешних электрических и магнитных полей, влияющих на работу счетчика.

3. Подготовка к поверке:

- подготовка к работе проверяемых счетчиков и измерительного оборудования;
- проверка правильности собранной схемы поверки счетчика;

- проверка герметичности установки;
- после установки и подачи давления счетчик перед поверкой следует выдержать в течении 5 минут [6].

За эталонное значение принят расход, рассчитанный при помощи поверки.

4. Обработка и анализ данных поверки

Во время проведения поверки одновременно с наполнением поверочной емкости начинают работу счетчик суммы импульсов и счетчик среднего значения количества импульсов, подаваемых счетчиком за 1 секунду. С помощью секундомера отсчитывается время проведения поверки. По истечении времени подача жидкости в емкость поверки прекращается, вместе с этим одновременно счетчик количества импульсов и счетчик среднего значения количества импульсов, подаваемых счетчиком за 1 секунду, останавливаются. Результаты заносятся в протокол измерений и обрабатываются (таблица). После этого строятся графики зависимости цены импульса от расхода измеряемой жидкости (рис. 2) и зависимости погрешностей измерений счетчика и измерений, сделанных расчетным методом относительно эталонного расхода (рис. 3).

Из результатов эксперимента следует подтверждение предположения о зависимости цены импульса от расхода измеряемой жидкости. Результаты эксперимента принято считать удовлетворительными при погрешности ± 2 %. В ходе проведения эксперимента максимальное отклонение расчетного расхода от экспериментального не превысило 1 %. Появление двусторонних случайных погрешностей часто связывают с воздействием большого числа факторов на процесс измерений, влияние каждого из которых не является существенным по сравнению с остальными факторами [13].

После того, как зависимость цены импульса от величины расхода была доказана, необходимо было создать метод расчета расхода, опираясь на результаты поверки. Используя полученную зависимость, возможно минимизировать погрешности расхода жидкости. Из графика (рис. 2.) видно, что значение цены импульса зависит от значения расхода, а следовательно, и от количества импульсов в секунду, согласно (1). Также из графика на рис. 2. видно, что при расходе от 134 л/ч и выше значения находятся в пределах требуемой точности измерения (1 %), поэтому было принято упрощение, что на этом участке изменение цены импульса не происходит.

Протокол измерений
[Table. Test log]

№ [No.]	$m_{\text{экс}} \text{ г}$ [$m_{\text{exgr}} \text{ gr}$]	$T, \text{ с}$ [$T, \text{ s}$]	$N_{\text{имп}}$ [N_{imp}]	$n_{\text{экс, имп/с}}$ [$n_{\text{exgr, imp/s}}$]	$K, \text{ мл/имп}$ [$K, \text{ ml/imp}$]	$Q_{\text{экс}} \text{ л/ч}$ [$Q_{\text{exgr}} \text{ L/h}$]	$Q_{\text{рас}} \text{ л/ч}$ [$Q_{\text{calc}} \text{ L/h}$]	$Q_{\text{пок.сч}} \text{ л/ч}$ [$Q_{\text{fmet}} \text{ L/h}$]	$\Delta p, \%$ [$\Delta \text{calc}, \%$]	$\Delta c, \%$ [$\Delta \text{fmet}, \%$]
1	4016	240	903	3,8	4,447	60,2	60,8	53,0	1,00	12,02
2	5403	180	1302	7,2	4,150	108,1	107,6	99,5	0,46	7,92
3	7978	180	2013	11,1	3,963	159,6	158,4	151,5	0,75	5,05
4	10539	180	2655	14,7	3,969	210,8	210,1	203,0	0,34	3,69
5	13117	180	3277	18,2	4,003	262,3	262,3	253,0	0,03	3,56
6	15511	180	3887	21,7	3,990	310,2	311,7	300,5	0,49	3,13
7	17950	180	4574	25,4	3,924	359,0	358,8	348,5	0,04	2,92
8	20797	180	5271	29,3	3,946	415,9	416,2	403,0	0,06	3,11
9	23207	180	5900	32,8	3,933	464,1	464,5	450,0	0,07	3,05

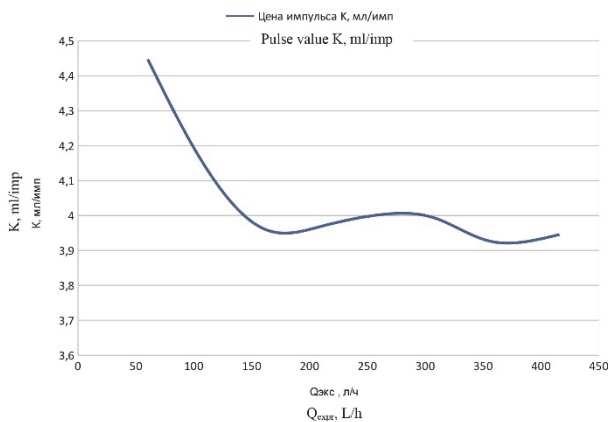


Рис. 2. Зависимость цены импульса K от расхода измеряемой жидкости $Q_{\text{экс}}$
[Figure 2. Dependence of the pulse value K on the liquid flow Q_{exgr}]

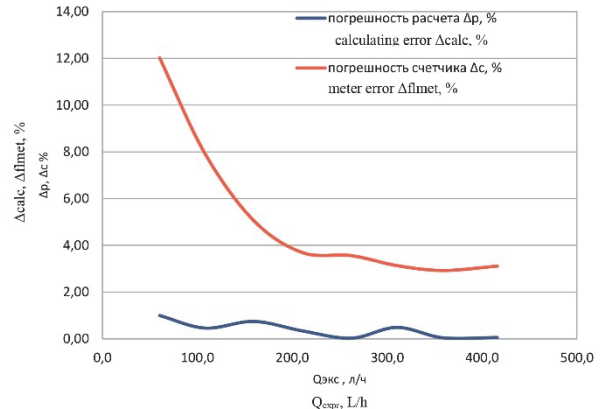


Рис. 3. Зависимость погрешностей измерений от расхода жидкости
[Figure 3. Dependence of the measuring accuracy on the liquid flow]

5. Определение функциональной зависимости

Для создания рабочей программы в конструкторском приложении ZetView необходимо представить график в виде математической зависимости. Поэтому были рассмотрены три варианта описания графика функции:

- множество линейных функций;
- полиномиальная функция 6-го порядка;
- комбинация линейной и квадратичной функций.

Исходя из анализа описанных выше вариантов, наиболее оптимальной была выбрана комбинация линейной и квадратичной функций, так как при одинаковой погрешности всех трех функций данный метод имел наименьшее количество гра-

ничных условий, что максимально упрощало расчет в пределах допустимой погрешности.

Для нахождения переменных, входящих в функцию, был применен метод решения систем уравнений при помощи обратной матрицы. Для этого, основываясь на данных из таблицы результатов поверки, были составлены матрицы уравнений A , матрицы свободных членов B и матрицы неизвестных членов X . Перемножая обратную матрицу A на матрицу B , была получена матрица значений, которые подставляются в формулу расчета расхода.

В ходе вычислений были получены следующие зависимости:

- для изменения цены импульса в диапазоне от 7,2 до 9,4 имп/с:

$$K = 0,0066 \cdot n_{\text{ЭКС}}^2 - 0,1688 \cdot n_{\text{ЭКС}} + 5,0223; \quad (2)$$

– для изменения цены импульса в диапазоне от 0 до 7,2 имп/с:

$$K = -0,0875 \cdot n_{\text{ЭКС}} + 4,78; \quad (3)$$

– для изменения цены импульса в диапазоне свыше 9,4 имп/с:

$$K = 3,961 \text{ мл/имп.}$$

Таким образом, каждому участку графика соответствует своя зависимость. Результат моделирования представлен на рис. 5.

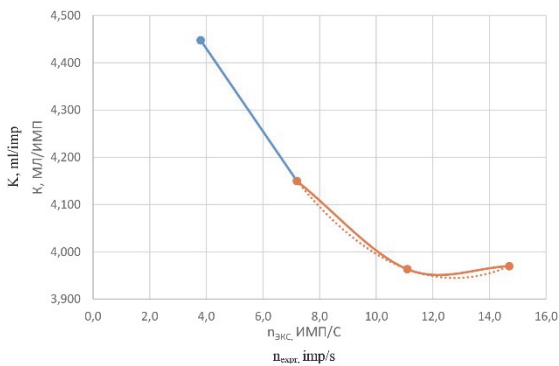


Рис. 4. Комбинация линейной и квадратичной функций [Figure 4. Combined line function and quadratic function]

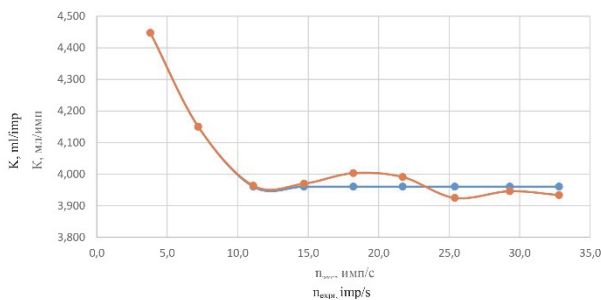


Рис. 5. Результат моделирования [Figure 5. Simulation data]

Из полученных зависимостей (2) и (3) были составлены условия расчета цены импульса K и расхода Q , после чего был выполнен расчет с применением данной модели. В результате были построены графики зависимости погрешностей измерений счетчика, показаний, сделанных расчетным методом, и показаний, выполненных с помощью модели относительно эталонного расхода для наглядного их сравнения (рис. 6.). Как видно из графика на рис. 6. погрешность расчета при помощи модели соответствует допустимым зна-

чениям и не превышает 1 %, что свидетельствует о работоспособности модели.

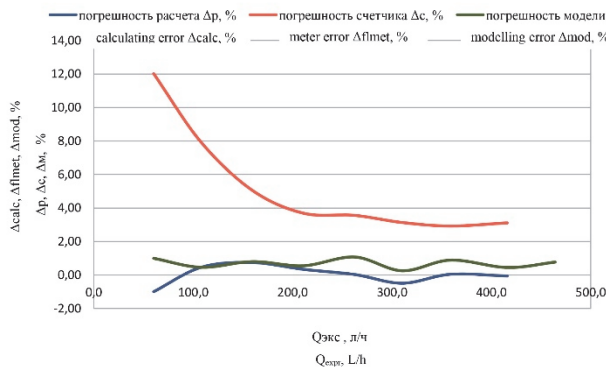


Рис. 6. Сравнение погрешностей счетчика, расчета и модели [Figure 6. Comparative analysis of the measuring accuracy of the meter, calculation and mathematical model]

6. Проверка работоспособности системы

Для подтверждения полученных данных был проведен эксперимент, порядок проведения которого описан в разделе «Методика поверки». Однако в уже имеющуюся программу поверки в среде ZetView были добавлены компоненты, которые позволили вносить необходимую коррекцию при измерении расхода в реальном времени. Пример рабочих элементов приложения для одного из участков диапазона измерения показан на рис. 8.

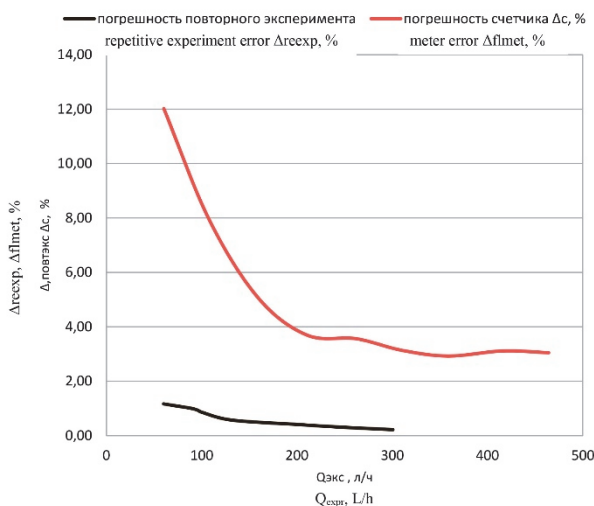


Рис. 7. Сравнение погрешностей счетчика и разработанной системы [Figure 7. Comparative analysis of the measuring accuracy of acoustic meter and created system]

По результатам проведенных экспериментов были получены данные, которые позволили опре-

делить отклонение значений расхода с учетом примененной рабочей программы от эталонных значений в реальном времени.

После этого были построены графики зависимости погрешностей измерений счетчика и

измерений, сделанных расчетным методом при помощи модели относительно эталонного расхода. Как видно из графика, представленного на рис. 7, отклонение расчетного расхода от экспериментального не превысило 1 %.

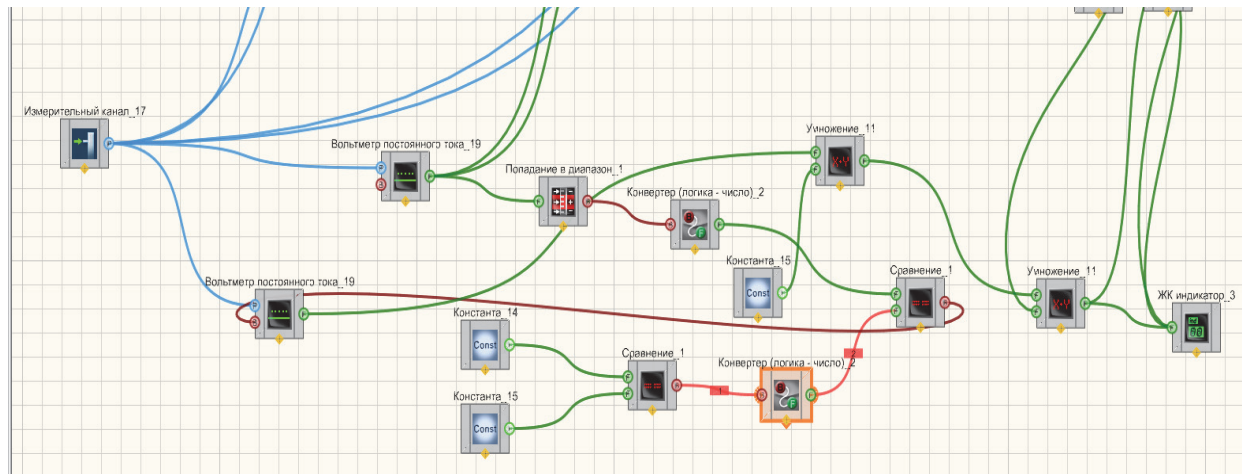


Рис. 8. Рабочие элементы участка диапазона измерения
[**Figure 8.** Elements of the measurement range]

Заключение

В ходе проведения экспериментального исследования были достигнуты следующие результаты:

- 1) подтверждена поставленная в начале эксперимента теория;
- 2) проведен сбор статистических данных об отклонениях измерений счетчика-расходомера при различных режимах потока;
- 3) проведен сбор статистических данных значений цены импульса K с целью формирования диапазонов для работы счетчика-расходомера при различных режимах потока;
- 4) разработаны алгоритмы коррекции измерения расхода;
- 5) подтверждена работоспособность системы.

Можно с уверенностью заявить, что данная разработка позволяет расширить диапазон оптимальных значений расхода для акустических расходомеров, а также минимизировать погрешности измерения во время работы в любом диапазоне, заявленном производителем в паспорте прибора.

Список литературы

1. Ультразвуковые расходомеры. URL: <http://npropramen.ru/>

2. Digulescu A., Petrut T., Candel I., Bunea F., Dunca G., Bucur D., Ioana C., Serbanescu A. On the vortex parameter estimation using wide band signals in active acoustic systems // 2014 IEEE Oceans Conference, Taipei. doi: 10.1109/OCEANS-TAIPEI.2014.6964552

3. Zhang L., Meng T., Wang C., Hu H.M., Qin C.L. Probe installation effects on the accuracy of feed thru ultrasonic flowmeters // Chinese Journal of Scientific Instrument. 2012. Vol. 33. No. 10. Pp. 2307–2314.

4. Zheng D., Zhang P., Xu T. Effect of installation position of ultrasonic flowmeter probe on flow measurement // Journal of Mechanical Engineering. 2011. Vol. 47. No. 12. Pp. 13–18.

5. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: кн. 2 / под общ. ред. Е.А. Шорникова. 4-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1989. 701 с.

6. Ca2.833.021 РЭ. Счетчик акустический AC-001: руководство по эксплуатации. С. 10. URL: <http://www.staroruspribor.ru/files/catalog/gallery/700/782/17.pdf>

7. Zhang P.-Y., Zheng D.-D., Xu T.-S., Zhang L.-X., Hu H.-M. Study on the influence of ultrasonic probes on flow field and measurement performance of ultrasonic flowmeter // Journal of Experiments in Fluid Mechanics. 2011. Vol. 25. No. 3. Pp. 60–65.

8. Фафурин В.А., Галеев М.К. Расчет корректирующего коэффициента ультразвукового расходомера // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 23. С. 152–156.

9. Биргер Г.И. Некоторые вопросы градуировки ультразвуковых расходомеров // Измерительная техника. 1962. № 10. С. 53–55.

10. ЗТМС.05000-01 34 РО. SCADA ZETView: руководство пользователя. ЗАО «ЭТМС», 2013. С. 22.

11. Счетчик акустический АС-001. Методика поверки ЦПП9-0.00.00ИМ. С. 8. URL: <http://www.staroruspribor.ru/files/catalog/gallery/700/782/16.pdf>

12. Бирюков Б.В., Данилов М.А., Кивилис С.С. Средства испытания расходомеров. М.: Энергоатомиздат, 1983. 112 с.

13. Бессонов А.А., Свердлов Л.З. Методы статистического анализа погрешностей устройств автоматики. Л.: Энергия, 1974. 144 с.

Для цитирования

Лапин М.В., Гринин А.О., Шкарин К.В., Сури К. Обеспечение работоспособности акустических расходомеров вне пределов оптимальных значений расхода жидкости // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2019. Т. 20. № 2. С. 147–154. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-147-154>

Research paper

Acoustic flow meter performance assurance outside the limits of measurement

Mikhail V. Lapin, Andrey O. Grinin, Kirill V. Shkarin, Kambiz Soury

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Mikluho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: April 19, 2019

Revised: June 20, 2019

Accepted: June 28, 2019

Keywords:

acoustic flow meter; measuring accuracy, outside of design conditions; measuring span enhancement

Article is dedicated to liquid flow measuring by acoustic flow meters. Manufacturers establish the allowable measurement range (nominal), within which the measurement error is minimal, that's why their measuring span is limited, and the measurement error when operating in off-design modes is unacceptable. The basic task of this research is to expand the range of flow measurements of acoustic liquid meters. V.A. Fafurin and M.K. Galeev in their work "Calculation of the correction coefficient of the ultrasonic flow meter" have already considered the problem of measuring the flow rate of acoustic devices. In their study was presented a method for calculating the correction coefficient, which depended on the flow regime in the pipe. But this technology is applicable for change-less flow regime pipes. In this article, the authors propose to use a coefficient that has a functional dependence on the magnitude of the flow, obtained empirically. The article describes the stages of the study: the method of calibration of the device, methods of analysis and processing of verification data by PC, the algorithm of measurement system implementation in power engineering equipment, system performance check. The system presented in the article allows to expand the range. The proposed model will be useful for enterprises.

References

1. Ultrasonic flow meters. <http://npopramen.ru/>
2. Digulescu A, Petrut T, Candel I, Bunea F, Dunca G, Bucur D, Ioana C, Serbanescu A. On the vortex parameter estimation using wide band signals in active acoustic systems. *IEEE Oceans Conference, Taipei, 2014*. Available from: doi: 10.1109/OCEANS-TAIEI.2014.6964552.

Mikhail V. Lapin – 2nd year master's student at the Department of Mechanical and Instrumental Engineering, Academy of Engineering; alo14@yandex.ru

Andrey O. Grinin – 2nd year master's student at the Department of Mechanical and Instrumental Engineering, Academy of Engineering.

Kirill V. Shkarin – assistant at the Department of Mechanical and Instrumental Engineering, Academy of Engineering.

Kambiz Soury – assistant at the Department of Mechanical and Instrumental Engineering, Academy of Engineering.

3. Zhang L, Meng T, Wang C, Hu HM, Qin CL. Probe installation effects on the accuracy of feed thru ultrasonic flowmeters. *Chinese Journal of Scientific Instrument*. 2012;33(10): 2307–2314.

4. Zheng D, Zhang P, Xu T. Effect of installation position of ultrasonic flowmeter probe on flow measurement. *Journal of Mechanical Engineering*. 2011;47(12): 13–18.

5. Kremlevskiy PP. *Raskhodometry i schyotchiki kolichestva veschestv: spravochnik: kn. 2. 4-e izd. [Flowmeters and counters of substances: directory: book 2. 4th ed]*. Leningrad: Mashinostroenie Publ., Leningradskoe otdelenie; 1989. (In Russ.)

6. Ca2.833.021 RE. Schyotchik akusticheskij AC-001: rukovodstvo po ekspluatacii [*Acoustic meter AC-001: manu-*

a/]. p. 10. Available from: <http://www.staroruspribor.ru/files/catalog/gallery/700/782/17.pdf>. (In Russ.)

7. Zhang P-Y, Zheng D-D, Xu T-S, Zhang L-X, Hu H-M. Study on the influence of ultrasonic probes on flow field and measurement performance of ultrasonic flowmeter. *Journal of Experiments in Fluid Mechanics*. 2011;25(3): 60–65.

8. Fafurin VA, Galeev MK. Raschet korrekturnykh koeffitsientov ultrazvukovogo raskhodomera [Calculation of the correction coefficient of the ultrasonic flow meter]. *Vestnik Kazanskogo technologicheskogo universiteta*. 2011;(23): 152–156. (In Russ.)

9. Birger GI. Nekotorye voprosy graduirovki ultrazvukovykh raskhodomerov [Questions on graduation of ultrasonic flow meters]. *Measuring equipment*. 1962;(10): 53–55. (In Russ.)

10. ZTMS.05000-01 34 RO. *SCADA ZETView: rukovodstvo pol'zovatelya* [SCADA ZETView: Manual]. ETMS Company; 2013. p. 22. (In Russ.)

11. *Schyotchik akusticheskij AC-001. Metodika poverki TsPP9-0.00.00IM* [Acoustic meter AC-001. Calibration procedure TsPP9-0.00.00IM]. p. 8. Available from: <http://www.staroruspribor.ru/> (In Russ.)

12. Biryukov BV, Danilov MA, Kivilis SS. *Sredstva ispytaniya raskhodomerov* [Means Test Meters]. Moscow: Energoatomizdat Publ.; 1983. (In Russ.)

13. Bessonov AA, Sverdlov LZ. *Metody statisticheskogo analiza pogreshnostej ustroystv avtomatiki* [Methods of statistical analysis of the automation devices errors]. Leningrad: Energiya Publ.; 1974.

For citation

Lapin MV, Grinin AO, Shkarin KV, Soury K. Acoustic flow meter performance assurance outside the limits of measurement. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(2): 147–154. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-147-154>. (In Russ.)