DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-2-86-94
УДК 681.121

С.С. Лебедев, Л.Н. Латышев (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОГРУЖНЫХ ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ ПРИ КОММЕРЧЕСКОМ УЧЕТЕ РАСХОДА ГАЗА

Sergey S. Lebedkov, Lev N. Latyshev (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

SUBMERSIBLE VORTEX FLOWMETERS APPLICATION FOR COMMERCIAL ACCOUNT OF GAS CONSUMPTION

Введение

С целью обеспечения точности измерений в коммерческих узлах учета газа требуется замена устаревших устройств современными с компьютерным интерфейсом, а также удобными для монтажа и эксплуатации.

Цели и задачи

Обеспечение точности результатов измерения газа с помощью погружных вихревых расходомеров на основе анализа погрешностей измерения расхода вихревых расходомером и разработки инвариантной информационно-измерительной системы с переменной структурой, позволяющей уменьшить погрешность при измерении расхода и количества газа.

Результаты

Предложена информационно-измерительная система измерения расхода с переменной структурой, что определяет её инвариантность к возмущающим воздействиям и значительно уменьшает погрешность при измерении расхода и количества газа. Разработан алгоритм вычисления расхода, позволяющий добиться повышения точности измерения расхода за счет исключения мультипликативной составляющей погрешности вихревого расходомера.

Даны рекомендации по уменьшению погрешности при измерении расхода вихревым расходомером.

Background

To ensure the accuracy of measurements in commercial gas metering units, it is necessary to replace obsolete devices by modern computer interfaces, as well as convenient for installation and operation.

Aims and Objectives

Ensuring the accuracy of gas measurement results by means of submersible vortex flowmeters based on the analysis of errors in the flow measurement of a vortex flowmeter and the development of an invariant information-measuring system with a variable structure that makes it possible to reduce the error in measuring the flow and quantity of gas.

Results

An information-measuring system for measuring flow with a variable structure is proposed, variable structure determines its invariance to disturbing influences and significantly reduces the error in measuring the flow and quantity of gas. An algorithm for calculating flow is developed, this algorithm makes it possible to improve the flow measurement accuracy by eliminating the multiplicative component of the vortex flowmeter error.

Recommendations are given to reduce the error when measuring by flow vortex flowmeter.

Ключевые слова: погружной вихревой расходомер, инвариантная система, мультипликативная погрешность, функция преобразования

Key words: submersible vortex flowmeter, invariant system, multiplicative error, conversion function

Введение

В системах технологического контроля и учета различных сред получили широкое распространение расходомеры различных типов [1]. Анализ показывает, что весьма перспективными являются вихревые расходомеры, которые используют в своей работе эффект дорожки Кармана [2].

Погружные расходомеры по принципу действия не отличаются от обычных вихревых расходомеров: тело обтекания расположено в сенсоре, погруженном в трубопровод. В таком случае измеряется скорость среды в точке измерения, т.е. не выполняется интеграция по сечению потока, поэтому точность существенно зависит от распределения скоростей потока по сечению, выбранной точки измерения и от ориентации тела обтекания в пространстве [3]. При погружном характере монтажа вихревых расходомеров возникают погрешности, связанные с неточностью или ошибками при данной операции. В связи с этим актуальным является вопрос о повышении точности измерения расхода вихревыми расходомерами.

Основная часть

В рекомендации ФР.1.29.2003.00885 «ГСИ. Расход и количество газа. Методика выполнения измерений расходомерами газа вихревыми» приведено: «уравнение измерения расхода газа с помощью вихревого расходомера:

$$Q = K_M K_{IP} K_T K_E f \frac{P \cdot T_C}{P_C T K}, \quad (1)$$

где K_M - поправочный коэффициент влияния неперпендикулярности характерного размера тела обтекания и оси трубопровода;

$K_{IP} = K_Q F h$ - коэффициент преобразования расходомера;

K_Q - поправочный коэффициент преобразователя расходомера;

F - площадь поперечного сечения проточного тракта расходомера;

h - диаметр характерного тела, за которым образуются вихри Кармана;

K_T - поправочный коэффициент изменения размеров элементов конструкции расходомера, вызванных отклонением температуры от 20 °C;

$K_E = 1 + \frac{C}{T} f^2$ - поправочный коэффициент влияния расширения газа за телом обтекания (коэффициент расширения);

f - частота вихреобразования;

C - условно-постоянная величина, учитывающая конструктивные особенности расходомера и параметры среды;

P , T и K - давление, температура и коэффициент сжимаемости газа;

$P_C = 101325$ Па и $T_C = 293,15$ К - стандартные условия.» [4,5].

Погрешность определения количества газа, приведенного к стандартным условиям, оценивают расчетным путем. При этом принимают упрощающие допущения о малости погрешностей величин, из которых формируется погрешность результата измерений, а также о нормальном законе распределения каждой из этих погрешностей и об их независимости друг от друга.

Общая относительная погрешность измерения расхода γ_Q будет равна среднему квадратическому относительных погрешностей входящих в нее параметров:

$$\gamma_Q = \sqrt{\gamma_{\text{КМ}}^2 + \gamma_{\text{КПР}}^2 + \gamma_{\text{КТ}}^2 + \gamma_{\text{КЕ}}^2 + \gamma_f^2 + \gamma_P^2 + \gamma_T^2 + \gamma_K^2}, \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{КМ}}$ - погрешность, вызванная ошибками монтажа тела обтекания;

$\gamma_{\text{КПР}}$ - погрешность коэффициента преобразования;

$\gamma_{\text{КТ}}$ - погрешность поправочного коэффициента на изменение размеров элементов конструкции расходомера, вызванных отклонением температуры от 20 °С;

$\gamma_{\text{КЕ}}$ - погрешность поправочного коэффициента на влияние расширения газа за телом обтекания;

γ_f - погрешность вычисления частоты;

γ_P - погрешность измерения абсолютного давления;

γ_T - погрешность измерения температуры;

γ_K - погрешность расчета коэффициента сжимаемости.

Погрешность монтажа вихревых расходомеров $\gamma_{\text{КМ}}$ возникает из-за неточностей или ошибок при выполнении данной операции. К ним можно отнести:

- а) неперпендикулярность высоты основания тела обтекания и оси трубопровода;
- б) неперпендикулярность ширины тела обтекания и оси трубопровода;
- в) смещение оси тела обтекания преобразователя расхода относительно оси симметрии поперечного сечения трубопровода [6].

Существует несколько составляющих погрешности ориентации и точности изготовления тела обтекания.

1) Если во всем диапазоне скоростей обтекания срыв вихревой формации с поверхности тела обтекания происходил на острых гранях основания, то характерный размер тела обтекания, определяющий частоту вихреобразования, равен d . Если ось симметрии не совпадает с направлением вектора скорости жидкости V , то размер d изменится до d' (рисунок 1).

Рисунок 1. Сечение тела обтекания

Относительное изменение характерного размера тела обтекания преобразователя $\Delta d_1\%$ будет равно:

$$\Delta d_1\% = \frac{d - d'}{d} = (1 - \cos(\alpha)) \cdot 100\%, \quad (3)$$

где α - угол между осью трубопровода и осью поперечного сечения тела обтекания.

Результаты расчета данной погрешности приведены в таблице 1, графические зависимости погрешности от угла α приведены на рисунке 2.

Таблица 1. Погрешность, вызванная неперпендикулярностью характерного размера тела обтекания и оси трубопровода

α , град.	1	2	3	4	5	10
$\Delta d_1\%$	0,015	0,061	0,137	0,244	0,381	1,519

Рисунок 2. Погрешность от неперпендикулярности размера d и оси трубопровода

Если принять предельную величину погрешности неперпендикулярности, выраженную в градусах дуги, равной $\alpha = \pm 10^\circ$, то погрешность измерения расхода будет $\Delta d_1 \% = 1,519 \%$.

2) Наклон тела обтекания в продольном направлении (вдоль образующей внешней поверхности трубопровода) приводит к перекосу обтекающего преобразователя потока. В результате этого нормальная составляющая скорости потока V_n , определяющая частоту вихреобразования, не соответствует реальной скорости потока жидкости в трубопроводе (рисунок 3).

Составляющая V_n будет меньше скорости потока V и определится по формуле

$$\Delta v_1 \% = \frac{V - V_n}{d} \cdot 100 \% = (1 - \cos(\beta)) \cdot 100 \% . (4)$$

Численно данная погрешность аналогична рассмотренной выше. При допустимой ошибке монтажа $\beta = \pm 10^\circ$ погрешность измерения расхода, вызванная неперпендикулярностью ширины тела обтекания и оси трубопровода, по данным таблицы 1 составит $\Delta v \% = 1,519 \%$.

3) Смещение оси тела обтекания преобразователя расхода относительно оси поперечного сечения трубопровода приводит к изменению площади свободного поперечного сечения трубопровода, под которым понимается площадь трубопровода, за вычетом площади продольного сечения тела обтекания в самой широкой его части и выступающих внутрь трубопровода деталей преобразователя:

$$S_{CB} = S_{РАБ} = S - S_d, \quad (5)$$

где S - площадь сечения трубопровода, определенная расчетом или измерениями;

S_d - поперечная площадь тела обтекания и деталей внутри трубы по плоскости, проходящей через наиболее широкую их часть.

Для определения влияния данной погрешности на характеристики прибора провели расчет для трубопроводов с условными внутренними диаметрами 80, 100, 150 и 200 мм и смещения оси тела обтекания на

1,2, 3, 4, 5 мм относительно оси симметрии сечения трубы (рисунок 3).

Рисунок 3. Погрешность от смещения осей тела обтекания и сечения трубопровода

Как видно из рисунка 3, чем больше условный проход трубопровода, тем ниже погрешность, причем при смещении 5 мм и диаметре трубопровода 200 мм погрешность близка к 0. Так как рассматривается погружной расходомер, применяемый при больших диаметрах (700 мм), то в данном случае погрешность $\Delta t \%$ можно принять равной 0.

В итоге, погрешность монтажа γ_{KM} определяется как среднее квадратическое трех составляющих:

$$\gamma_{KM} = \{\Delta d_1^2 + \Delta v^2 + \Delta t^2\}^{0,5}, \quad (5)$$

$$\gamma_{KM} = \{1,519^2 + 1,519^2 + 0^2\}^{0,5} = 2,148.$$

Остальные составляющие погрешности определяются, исходя из ГОСТов [5] и технической документации средства измерения [7]:

$$\gamma_Q = \sqrt{\gamma_{KM}^2 + \gamma_{Кпр}^2 + \gamma_{КТ}^2 + \gamma_{К\epsilon}^2 + \gamma_f^2 + \gamma_P^2 + \gamma_T^2 + \gamma_K^2};$$

$$\gamma_Q \approx 2,22 \%.$$

Таким образом, погрешность, рассчитанная по данной формуле, составляет около 2,22 %. Причем наибольшей ее составляющей является погрешность, вызванная ошибками монтажа тела обтекания, вследствие чего возникает задача минимизировать влияние этой составляющей погрешности на результат измерения.

Для решения данной проблемы была поставлена задача построения инвариантной измерительной системы на основе вихревого расходомера, позволяющей корректировать показания расходомера большого диаметра и устранять влияние неинформативных факторов. Под инвариантной понимается система, обеспечивающая независимость показаний измеряемого параметра, в данном случае расхода, от приложенных к ней внешних воздействий и погрешностей, связанных с неточностью или ошибками при монтаже вихревых расходомеров. Необходимое условие, накладываемое на структуру системы для выполнения условий инвариантности, сформулировано в 1955 г. Б.Н. Петровым в виде так называемого принципа двухканальности [8]. Исходя из данного условия, в предложенной системе для измерения расхода газа параллельно основному трубопроводу установлен байпасный измерительный трубопровод, на котором установлен образцовый ультразвуковой расходомер, при этом периодическое подключение ультразвукового расходомера позволяет при необходимости осуществлять калибровку вихревого расходомера.

Описание предложенной системы, представленной на рисунке 4, содержится в патенте РФ № 2641505: «Система состоит из основного измерительного трубопровода с вихревым расходомером 1 и байпасного измерительного трубопровода меньшего диаметра с установленным на нем образцовым расходомером 2 ультразвукового типа. На байпасном трубопроводе имеется кран 3, который осуществляет подключение байпасного трубопровода. Вихревой расходомер 1 соединен с преобразователем 4, преобразующим частоту вихрей в кодовую комбинацию. Ультразвуковой расходомер 2 в свою очередь подключен к преобразователю 5. Каналы измерения температуры и давления реализованы преобразователями 6 и 7. Преобразователи 4, 5, 6 и 7 подключены к программируемому контроллеру 8 по стандартному интерфейсу и протоколу. Контроллер 8 выполняет алгоритм вычисления расхода и количества газа и соединен с запоминающим устройством 9 для хранения информации и с дисплеем оператора 10 для визуального отображения

полученных результатов. При этом контроллер 8 еще соединен и с краном 3 для программного управления подключением байпасного трубопровода.» [9].

- 1 - вихревой расходомер;
- 2 - ультразвуковой расходомер;
- 3 - кран;
- 4, 5 - преобразователи сигнала в код;
- 6 - преобразователь давления;
- 7 - преобразователь температуры;
- 8 - контроллер; 9 - память;
- 10 - дисплей оператора

Рисунок 4. Структура информационно-измерительной системы

Система работает в два цикла.

В первом цикле клапан 3 закрыт, и весь поток проходит через вихревой преобразователь 1. Частота f_1 , соответствующая заданному расходу, снимается через преобразователь 4 и сохраняется в памяти 9. Затем во втором цикле контроллер 8 выдает сигнал для открытия клапана 3, а часть потока газа проходит через байпасный трубопровод. Во время второго цикла система создает избыточную информацию, включая ультразвуковой расходомер. Расходомер 2 измеряет скорость потока q , которая преобразуется в код с помощью преобразователя 5. Частота f_2 , которая пропорциональна скорости потока $Q - q$, измеряется преобразователем 4.

Периодичность смены циклов зависит от частоты изменения измеренных параметров измеряемой среды и подключается не чаще одного раза в день. В трубопроводе постоянно происходит измерение давления и температуры преобразователями 6 и 7 соответственно. После обработки в блоке управления вся информация о расходе и количестве газа отображается на экране оператора 10 [10].

Как было сказано выше, уравнение измерения расхода газа для вихревого расходомера выглядит следующим образом:

$$Q = K_M K_{IP} K_T K_E f \frac{P \cdot T_C}{P_C T K}.$$

Коэффициенты K_M, K_{IP}, K_T, K_E для каждого конкретного расходомера при конкретных условиях являются постоянными, и расход Q зависит только от частоты f . Однако при изменении параметров измеряемой среды изменятся такие показатели, как коэффициент сжимаемости газа; коэффициент сужения за телом обтекания; коэффициент, характеризующий отличие давления в измерительном сечении от давления в расчетном сечении. Это в свою очередь приведет к изменению коэффициентов K_{IP}, K_T, K_E , из-за чего возникнет мультипликативная составляющая погрешности, что приведет к снижению точности измерений [11].

Для нахождения функции преобразования, согласно которой должен выполняться алгоритм измерения расхода, решим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} Q = K_M K_{IP} K_T K_E f_1 \frac{P \cdot T_C}{P_C T K} \\ Q - q = K_M K_{IP} K_T K_E f_2 \frac{P \cdot T_C}{P_C T K} \end{cases} \quad (6)$$

Возьмем отношение двух уравнений системы и решим ее относительно расхода Q . Коэффициенты преобразователя расходомера K_{IP} , температурные поправочные коэффициенты K_T , коэффициенты расширения K_E , коэффициент неперпендикулярности те-

ла обтекания и оси трубопровода K_M и параметры среды исключаются из функции преобразования системы, потому что носят постоянный характер в обоих тактах измерения расхода. Решение системы будет представлено следующей формулой:

$$Q = \frac{q}{1 - \frac{f_2}{f_1}}, \quad (7)$$

где Q - расход, измеряемый вихревым преобразователем;

q - расход, измеряемый ультразвуковым расходомером;

f_1 - частота, снимаемая, пропорциональная расходу Q ;

f_2 - частота, снимаемая, пропорциональная расходу $Q - q$.

Погрешность определения расхода системы найдем из уравнения (1). Применяя известные методы, погрешность можно выразить следующим образом:

$$\gamma_Q = \sqrt{\gamma_q^2 + \left(\frac{Q}{q} - 1\right)^2 \cdot (\gamma_{f_2}^2 + \gamma_{f_1}^2)}, \quad (8)$$

где γ_Q - погрешность измерения расхода газа;

γ_q - погрешность образцового расходомера;

γ_f - погрешность измерения частоты в двух различных тактах.

На рисунке 5 показано изменение погрешности в зависимости от величины отношения расходов в основном и байпасном трубопроводах.

Погрешность информационно-измерительной системы оценивается при следующих условиях:

- погрешность образцового расходомера $\gamma_q = 0,1 \%$, $\gamma_q = 0,15 \%$ и $\gamma_q = 0,2 \%$;
- погрешность измерения частоты принимается равной отношению значения младшего разряда к максимальному значению частоты при 10 кГц, т.е. $\gamma_f = 0,01 \%$.

Из рисунка 5 видно, что погрешность информационно-измерительной системы растет пропорционально отношению расхо-

дов в основном и байпасном трубопроводах, а также что она зависит от погрешности образцового расходомера.

Погрешность измерения расхода системой не превышает 0,35 %, это говорит о том, что погрешность измерения уменьшается в 3 раза по сравнению с одноканальными расходомерами.

Рисунок 5. Погрешность определения расхода в зависимости от γ_q

В качестве образцового расходомера выбран ультразвуковой расходомер газа FLOWSIC 600. Он представляет собой расходомер объемного расхода газа, который может работать как при высоких давлениях, так и при атмосферных. Поэтому он может калиброваться с помощью воздуха при атмосферном давлении, тем самым снижая затраты на калибровку на 90 %. Данный расходомер измеряет расход газа с точностью $\gamma_q = 0,2$ %. Согласно Руководству по эксплуатации FLOWSIC 600 [12], данный прибор выпускается для трубопроводов диаметрами: 80, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600 мм. На рисунке 6 приведен график зависимости погрешности информационно-измерительной системы от диаметра байпасного трубопровода.

Диаметр основного измерительного трубопровода D равен 700 мм.

Из рисунка 6 видно, что погрешность информационно-измерительной системы уменьшается с увеличением диаметра байпасного трубопровода и по своему значению приближается к погрешности образцового измерительного прибора.

Рисунок 6. Погрешность определения расхода в зависимости от диаметра байпасного трубопровода (при $\gamma_q = 0,2$ %)

Использование предлагаемого алгоритма вычисления расхода позволяет добиться повышения точности измерения расхода за счет исключения мультипликативной составляющей погрешности вихревого расходомера.

Выводы

Предложена инвариантная информационно-измерительная система для измерения расхода и количества газа на основе вихревого расходомера, обеспечивающая независимость показаний измеряемого параметра, в данном случае расхода, от приложенных к ней внешних воздействий и погрешностей, связанных с неточностью или ошибками при монтаже вихревых расходомеров.

Применение подобной системы позволяет повысить достоверность измерения параметров при автоматическом управлении технологическими процессами [13].

Список литературы

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счётчики количества. СПб.: Машиностроение, 2004. 701 с.
2. Dayev Zh.A., Latyshev L.N. Application of the Multichanneling Principle for Solution of the Problems Related to Increase of Substance Flowmeter Accura-

References

1. Kremlevskii P.P. *Raskhodometry i schetchiki kolichestva* [Flowmeters and Quantity Counters]. Saint-Petersburg, Mashinostroenie Publ., 2004. 701 p. [in Russian].
2. Dayev Zh.A., Latyshev L.N. Application of the

cy // Flow Measurement and Instrumentation. 2017. Vol. 56. P. 18-22.

3. Лебедев С.С., Латышев Л.Н. Анализ видов погрешностей вихревых расходомеров // Сб. науч. тр. III Междунар. (VI Всеросс.) науч.-техн. конф. Уфа, 2017. С. 109-113.

4. Расход и количество газа. Методика выполнения измерений ФР.1.29.2003.00885. Казань: ВНИИР, 2003. 23 с.

5. ГОСТ 2939-63. Газы. Условия для определения объема. М., 1988. 3 с.

6. Алашкевич Ю.Д., Лурье М.С., Лурье О.М. Достоверность мониторинга оборотных вод целлюлозно-бумажного производства с помощью погружных вихревых расходомеров // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 185-191.

7. Преобразователи расхода вихревые ИРВИС-K300: Руководство по эксплуатации ИРВС 9100.0000.00 РЭ2 [Электронный ресурс]. URL: <http://docplayer.ru/43351628-Preobrazovateli-rashoda-vihrevye-irvis-k300.html> (дата обращения: 01.12.2017).

8. Петров Б.Н., Викторов В.А. Принцип инвариантности в измерительной технике. М.: Наука, 1976. 243 с.

9. Пат. 2641505 РФ, МПК G 01 F 1/00, G 01 F 1/32, G 01 F 1/66. Информационно-измерительная система для измерения расхода и количества газа / Л.Н. Латышев, С.С. Лебедев. 2017106422; Заявлено 27.02.17; Опубл. 17.01.18, Бюл. 2.

10. Латышев Л.Н., Лебедев С.С. Инвариантная информационно-измерительная система для измерения расхода и количества газа // Датчики и системы. 2017. № 12. С. 20-23.

11. Даев Ж.А., Латышев Л.Н. Разработка алгоритма вычисления расхода газа для измерительно-вычислительного комплекса с вихревым преобразователем // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2012. № 2. С. 32-42. URL: http://ogbus.ru/authors/Daev/Daev_4.pdf (дата обращения: 01.12.17).

12. Руководство по эксплуатации FLOWSIC 600 [Электронный ресурс]. URL: http://www.flowsic600.ru/files/OI_FLOWSIC600_ru_8011937.pdf (дата обращения: 01.12.2017).

13. Муртазин Т.М., Шарипова Г.И., Сулейманов И.Н. Обеспечение достоверности измерения параметров при автоматическом управлении технологическими процессами // Сб. тр. V Всеросс. заоч. науч.-практ. конф. Уфа, 2017. С. 56-59.

Multichanneling Principle for Solution of the Problems Related to Increase of Substance Flowmeter Accuracy. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2017, Vol. 56, pp. 18-22.

3. Lebed'kov S.S., Latyshev L.N. Analiz vidov pogreshnostei vikhrevykh raskhodomerov [Analysis of the Types of Errors of Vortex Flowmeters]. *Sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoi (VI Vserossiiskoi) nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Collection of Scientific Works of the III International (VI All-Russian) Scientific and Technical Conference]. Ufa, 2017, pp. 109-113. [in Russian].

4. *Raskhod i kolichestvo gaza. Metodika vypolneniya izmerenii FR.1.29.2003.00885* [Consumption and quantity of gas. Measurement procedure FR.1.29.2003.00885]. Kazan, VNIIR, 2003. 23 p. [in Russian].

5. *GOST 2939-63. Gazy. Usloviya dlya opredeleniya ob'ema* [State Standard 2939-63. Gases. Conditions for Volume Determining]. Moscow, 1988. 3 p. [in Russian].

6. Alashkevich Yu.D., Lur'e M.S., Lur'e O.M. Dostovernost' monitoringa oborotnykh vod tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva s pomoshch'yu погружных вихревых расходомеров [Reliability of Monitoring the Circulating Waters of Pulp and Paper Production with the Help of Immersion Vortex Flowmeters]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya - Chemistry of Plant Raw Materials*, 2017, No. 3, pp. 185-191. [in Russian].

7. Преобразователи расхода вихревые ИРВИС-K300: Руководство по эксплуатации ИРВС 9100.0000.00 РЕ2 [Vortex Flow Rate Converters ИРВИС-K300: Operating Manual of ИРВС 9100.0000.00 РЕ2]. [Electronic Resource]. URL: <http://docplayer.ru/43351628-Preobrazovateli-rashoda-vihrevye-irvis-k300.html> (accessed 01.12.2017). [in Russian].

8. Petrov B.N., Viktorov V.A. *Printsip invariantnosti v izmeritel'noi tekhnike* [The Principle of Invariance in Measuring Technology]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 243 p. [in Russian].

9. Latyshev L.N. Lebed'kov S.S. *Informatsionno-izmeritel'naya sistema dlya izmereniya raskhoda i kolichestva gaza* [Information-Measuring System for Gas Flow and Quantity Measuring]. Patent RF, No. 2641505, 2018. [in Russian].

10. Latyshev L.N., Lebed'kov S.S. Invariantnaya informatsionno-izmeritel'naya sistema dlya izmereniya raskhoda i kolichestva gaza [Invariant Information-Measuring System for Gas Flow and Quantity Measuring]. *Datchiki i sistemy - Sensors and Systems*, 2017, No. 12, pp. 20-23. [in Russian].

11. Daev Zh.A., Latyshev L.N. Razrabotka algoritma vychisleniya raskhoda gaza dlya izmeritel'no-vychislitel'nogo kompleksa s vikhrevym preobrazovatelem [Development of Algorithm for Calculation of Gas Flow Rate for Measurement System with a Vortex Transducer]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2012, No. 2, pp. 32-42. URL: http://ogbus.ru/authors/Daev/Daev_4.pdf (accessed 01.12.17). [in Russian].

12. Rukovodstvo po ekspluatatsii FLOWSIC 600

[Operating Manual FLOWSIC 600]. [Electronic Resource]. URL: http://www.flowsic600.ru/files/OI_FLOWSIC600_ru_8011937.pdf (accessed 01.12.2017). [in Russian].

13. Murtazin T.M., Sharipova G.I., Suleimanov I.N. Obespechenie dostovernosti izmereniya parametrov pri avtomaticheskom upravlenii tekhnologicheskimi protsessami [Maintenance of Reliability of Measurement of Parameters at Automatic Control of Technological Processes]. *Sbornik trudov V Vserossiiskoi zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Collection of Works of V All-Russia Corresponding Scientific and Practical Conference]. Ufa, 2017, pp. 56-59. [in Russian].

Авторы

• Лебедьков Сергей Сергеевич
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Автоматизация
технологических процессов и производств»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: 2571958@mail.ru

• Латышев Лев Николаевич, канд. техн. наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Автоматизация
технологических процессов и производств»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1
e-mail: ln11@yandex.ru

The Authors

• Lebedkov Sergey S.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Automation
of Technological Processes and Production
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: 2571958@mail.ru

• Latyshev Lev N., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Automation of Technological
Processes and Production Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: ln11@yandex.ru