

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-18-25

УДК 006.9

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА И ОБЪЕМА ГАЗА
ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ В ТРУБОПРОВОДЕ****APPLICATION OF THE METHOD OF MEASURING THE FLOW AND VOLUME
OF GAS BY THE THERMOANEMOMETRIC METHOD IN THE PIPELINE**

Николаева Евгения Александровна¹,
канд. физ.-мат. наук, заведующая кафедрой, e-mail: nikolaevaeva@yandex.ru
Evgenia A. Nikolaeva¹, C. Sc. in Physics and Mathematics, Head of Department
Николаев Алексей Владимирович²,
главный метролог, e-mail: nikolaevav@sibgenco.ru
Aleksey V. Nikolaev², Chief Metrologist,

¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

²Сибирский инженерно-аналитический центр, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Станционная, 17

²Siberian engineering and analytical center, 17 street Stantsionnaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация:

Точное определение количества газа, поступившего на промышленное предприятие (потребитель) – это важная функция организации, использующей газ при производстве своей продукции. Точный учет количества газа может значительно влиять на экономическую эффективность деятельности предприятия. Учитывать расход газа необходимо для правильного ведения финансовых операций между поставщиком и потребителем, а также для осуществления контроля за режимами работы предприятия, составления и анализа баланса.

Для расчета расхода газа используют ряд приборов и сложных методик расчета его конечной величины, связанных с измерением расхода газа при разных значениях влияющих факторов (температуры, плотности, давления газа). Измерение расхода газа проводится с применением различных методик измерения, таких как метод переменного перепада давления с помощью сужающих устройств, ультразвуковой метод, вихретоковый метод, ротационный метод и термоанемометрический метод.

Важный вопрос учета количества используемого газа — это достоверность измерения объема газа и сведение баланса режимов газоснабжения и газопотребления. Приборы учета газа, которые используются на предприятии, должны обладать наименьшей погрешностью измерений в различных диапазонах, надежностью работы.

В данной работе рассматривается применение термоанемометрического метода измерения расхода газа и расчет метрологических характеристик измерений.

Ключевые слова: Метрологические характеристики, термоанемометрический метод, относительная погрешность, абсолютная погрешность, методика.

Информация о статье: поступило в редакцию 14.04.2021

Abstract:

Accurate determination of the amount of gas supplied to an industrial enterprise (consumer) is an important function of the organization that uses gas in the production of its products. Accurate gas metering can significantly affect the economic efficiency of an enterprise. It is necessary to take into account the gas consumption for the correct conducting of financial transactions between the supplier and the consumer, as well as for monitoring the operating modes of the enterprise, drawing up and analyzing the balance.

To calculate the gas flow rate, a number of instruments and complex methods for calculating its final value are used, which are associated with measuring the gas flow rate at different values of influencing factors (temperature, density, gas pressure). Gas flow measurement is carried out using a variety of measurement

techniques, such as variable differential pressure using orifice devices, ultrasonic method, eddy current method, rotary method and hot-wire method.

An important issue in accounting for the amount of gas used is the reliability of measuring the volume of gas and balancing the modes of gas supply and gas consumption. Gas metering devices that are used at the enterprise should have the smallest measurement error in various ranges and demonstrate reliable operation.

This paper considers application of the hot-wire method for measuring the gas flow rate and the calculation of metrological characteristics of measurements.

Keywords: Metrological characteristics, thermoanemometric method, relative error, absolute error, method.

Article info: received April 14, 2021

Актуальность работы (The urgency of the discussed issue). В настоящее время в целях коммерческого учета газа на промышленных предприятиях используется в большинстве случаев метод перепада давления с использованием сужающих устройств [1, 2]. Данный метод обладает узким динамическим диапазоном, который связан с квадратичной зависимостью между перепадом и расходом давления газа на сужающем устройстве [3-5].

Цель работы (The main aim of the study). В данной работе рассматривается методика, описывающая алгоритм измерений объемного расхода природного газа системой измерений количества газа на промышленных предприятиях, приведенного к стандартным условиям, термоанемометрическим методом. Термоанемометрический метод обладает рядом достоинств: высокая точность, возможность измерения скоростей потоков при их быстром изменении [6-8].

Методы исследования (The methods used in the study). Изложенная методика измерений определяет основные требования к средствам измерений [9-11], условиям выполнения измерений и оценке неопределенности измерений и разработана в соответствии с ГОСТ Р 8.563-2009, ГОСТ 2939-63, ГОСТ 15528-86, ГОСТ 8.417-2002, ГОСТ Р 8.563-2009, РМГ 29-2013.

При соблюдении технологических условий согласно требованиям постановления правительства №1847 относительная погрешность измерений должна быть в пределах 2,5%-4 %.

Границы допускаемой относительной погрешности измерений скорости газа, приведенной к стандартным условиям при температурной компенсации, вычисляются по формуле (в %):

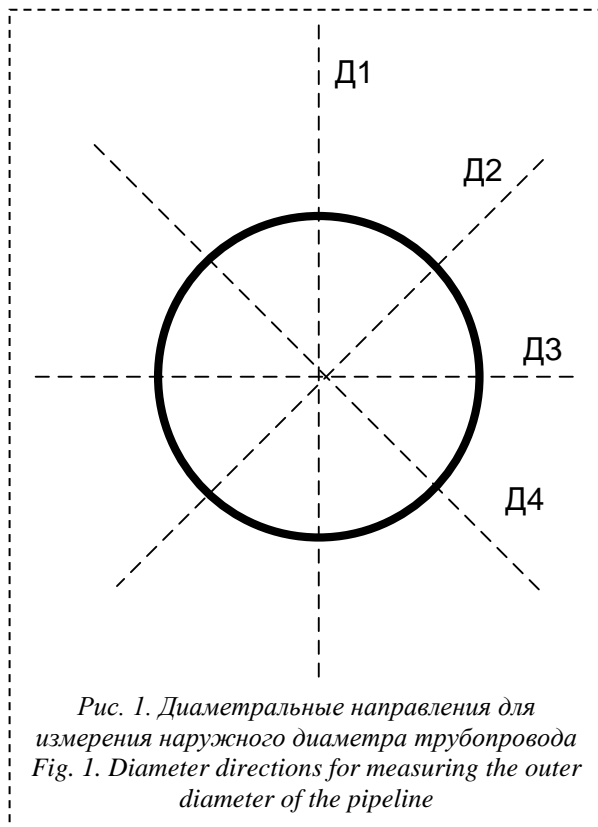
$$\pm \left(1 + 0,025 \cdot |t - 25| + \frac{10}{V_c} + \frac{0,13 \cdot |t - 25|}{V_c} \right),$$

где V_c – скорость газа, t – температура газа. Диапазон измерений скорости газа – от 0,1 до 79 м/с, диапазон изменений температуры – от минус 40°C до плюс 125°C.

Определение физических свойств газа проводится в аккредитованной физико-химической лаборатории на основании действующих нормативных документов.

Таблица. 1. Условные обозначения
 Table 1. Designations

	Величина	Единица измерения
DN	Номинальный диаметр	1
D	Внутренний диаметр измерительного трубопровода	мм
Q	Объемный расход газа	м ³ /ч
V	Объем газа	м ³
P	Абсолютное давление	МПа
t	Температура	°C
T	Термодинамическая температура	°K
x_i	Молярная доля i -го компонента смеси	1
K	Коэффициент сжимаемости	1
δ	Относительная погрешность	%
γ	Приведенная погрешность	%
Δ	Абсолютная погрешность	м ³ /ч



измерений в диаметральном направлении в сечениях установки счетчика, перпендикулярных оси трубопровода.

Для расчета среднего значения толщины стенки трубопровода используют формулу:

$$\bar{h} = \frac{1}{16} \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^8 h_{ij},$$

где h_{ij} – среднее значение толщины стенки трубопровода в i -ой точке j -го сечения, полученное в результате трех измерений.

Для приведения к стандартным условиям результатов измерения диаметров трубопровода, как внутреннего, так и наружного, используют следующую формулу:

$$D_{20} = \frac{D}{1 + \alpha_t(t - 20)},$$

где α_t – коэффициент линейного расширения; t – температура окружающей среды при измерении диаметра, °С.

Погрешность средств измерений при определении наружного диаметра трубопровода и толщины стенки выбирают из условия:

$$\sqrt{\left(\frac{D^*}{DN}\right)^2 \cdot \delta_{D^*}^2 + 4 \cdot \left(\frac{h}{DN}\right)^2 \cdot \delta_h^2} \leq 0,1\%,$$

где D^* – диаметр наружного сечения трубопровода, мм; h – толщина стенки трубопровода, мм; δ_{D^*} – относительная погрешность средств измерений применяемых при определении наружного диаметра трубопровода, δ_h – относительная погрешность при определении толщины стенки трубопровода.

По результатам измерений и расчетов, получают геометрические характеристики измерений трубопровода [12, 13].

Относительная погрешность измерения диаметра не должна превышать 0,1% (согласно ГОСТ 8.586.5-2005).

Внутренний диаметр трубопровода определяют путем его вычисления по результатам измерений толщины стенки и наружного диаметра трубопровода.

Среднее значение наружного диаметра трубопровода рассчитывают как среднее арифметическое измерений наружного диаметра в диаметральном направлении в сечениях установки расходомера счетчика, перпендикулярных оси трубопровода.

Для расчета среднего наружного диаметра используют формулу:

$$\bar{D}^* = \frac{1}{8} \cdot \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^4 D_{ij}^*,$$

где D_{ij}^* – среднее значение наружного диаметра в i -ом диаметральном направлении j -го сечения, полученное в результате трех измерений.

Толщина стенки трубы рассчитывается как среднее арифметическое результатов

Измерения объемного расхода Q_c (м³/ч) и объема газа W_c (м³) выполняются по измеренному значению скорости, приведенной к стандартным условиям, и диаметру сечения трубопровода:

$$Q_c = 3600 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot Q_{mc}, \quad (1)$$

где D – внутренний диаметр трубопровода в месте установки счетчика, м; Q_{mc} – скорость газа, м/с; $\pi \approx 3,1415926535$ – математическая постоянная.

Объем газа определяют путем интегрирования функции Q_c по времени τ по формуле:

$$W_c = \int Q_c d\tau \approx \Delta\tau \sum_{i=1}^n Q_{ci}, \quad (2)$$

где $\Delta\tau \rightarrow 0$ – некоторый интервал времени.

Измерение скорости газа проводится в одной точке поперечного сечения трубопровода, соответствующей среднеосевой скорости. Измерение скорости газа основано на термоанемометрическом принципе действия. Один из стержней модуля термопреобразователей измеряет температуру газа в трубопроводе, на другом с помощью электрического тока поддерживается температура на несколько десятков градусов выше, чем температура газа в трубопроводе. При течении газа в трубопроводе более нагретый стержень охлаждается потоком газа. Скорость охлаждения стержня зависит от скорости газа в трубопроводе и свойств газа. Сила тока, необходимая для поддержания постоянной разности температур между стержнями модуля термопреобразователей, пропорциональна массовой скорости (массовому расходу) газа в трубопроводе.

Порядок выполнения и обработки результатов измерений. Расчет расхода (объема) газа, проводится по (1) и (2) согласно полученных результатов измерений скорости потока газа, приведенного к стандартным условиям.

Контроль точности результатов измерений. Средства измерений должны иметь действующие результаты поверки и эксплуатироваться в соответствии с требованиями технической документации.

Расчет неопределенностей результатов измерений. Расчет метрологических характеристик может быть выполнен непосредственно специалистом или с использованием ПК.

Относительная расширенная неопределенность расхода газа в условиях эксплуатации – это ее наибольшее значение, которая рассчитывается по формуле:

$$U'_y = 2u'_y$$

u'_y – относительная стандартная неопределенность результатов измерений величины y , коэффициент охвата $k=2$.

Основная составляющая относительной стандартной неопределенности результата измерений величины y рассчитывается:

- если известна основная абсолютная погрешность Δ_{oy} , то

$$u'_{oy} = 50 \cdot \frac{\Delta_{oy}}{y}$$

- если известна основная относительная погрешность δ_{oy} , то

$$u'_{oy} = 0,5 \cdot \delta_{oy}$$

- если известна основная приведенная погрешность γ_o и нормировка выполнена по верхнему пределу измерений, уе:

$$u'_{oy} = 0,5 \cdot \gamma_o \cdot \frac{y_e}{y}$$

Таблица. 2. Расчет погрешности измерений расхода газа
Table 2. Calculation of the gas flow rate measurement error

Нормализованная скорость (по паспорту на расходомер от 0 до 79 м/с)	Температура газа	Расход газа, при стандартных условиях	Значение относительной погрешности измерений расхода газа (без учета погрешности измерения площади сечения)	Значение относительной погрешности измерений расхода газа (с учетом погрешности измерения площади)
м/с	°С	м ³ /ч	%	%
10	-40	636,1725124	4,470	4,471
30	-40	1908,517537	3,240	3,242
50	-40	3180,862562	2,994	2,996
70	-40	4453,207587	2,889	2,890
10	-35	636,1725124	4,280	4,281
30	-35	1908,517537	3,093	3,095
50	-35	3180,862562	2,856	2,858
70	-35	4453,207587	2,754	2,756
10	-30	636,1725124	4,090	4,091
30	-30	1908,517537	2,947	2,948
50	-30	3180,862562	2,718	2,720
70	-30	4453,207587	2,620	2,622
10	-25	636,1725124	3,900	3,901
30	-25	1908,517537	2,800	2,802
50	-25	3180,862562	2,580	2,582
70	-25	4453,207587	2,486	2,488
10	-20	636,1725124	3,710	3,711
30	-20	1908,517537	2,653	2,655
50	-20	3180,862562	2,442	2,444
70	-20	4453,207587	2,351	2,354
10	-15	636,1725124	3,520	3,521
30	-15	1908,517537	2,507	2,509
50	-15	3180,862562	2,304	2,306
70	-15	4453,207587	2,217	2,219
10	-10	636,1725124	3,330	3,332
30	-10	1908,517537	2,360	2,362
50	-10	3180,862562	2,166	2,168
70	-10	4453,207587	2,083	2,085
10	-5	636,1725124	3,140	3,142
30	-5	1908,517537	2,213	2,216
50	-5	3180,862562	2,028	2,030
70	-5	4453,207587	1,949	1,951
10	0	636,1725124	2,950	2,952
30	0	1908,517537	2,067	2,069
50	0	3180,862562	1,890	1,893
70	0	4453,207587	1,814	1,817
10	25	636,1725124	2,000	2,002
30	25	1908,517537	1,333	1,337
50	25	3180,862562	1,200	1,204
70	25	4453,207587	1,143	1,147
10	50	636,1725124	2,950	2,952
30	50	1908,517537	2,067	2,069
50	50	3180,862562	1,890	1,893
70	50	4453,207587	1,814	1,817

составляющую стандартной неопределенности измерений величины y :

$$u'_{DU} = \frac{100}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta_{ПД}}{y} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta x_n}$$

$$u'_{DU} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \delta_{ПД} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta x_n}$$

$$u'_{DU} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \gamma_{ПД} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta x_n} \cdot \frac{y_в - y_n}{y}$$

$\delta_{ПД}$ – дополнительная относительная погрешность при изменении влияющей величины на Δx_n ; $\Delta_{ПД}$ – модуль дополнительной абсолютной погрешности при изменении влияющей величины на Δx_n ; $\gamma_{ПД}$ – значение дополнительной приведенной погрешности при отклонении значения влияющей величины на Δx_n ; Δx – отклонение значения внешней влияющей величины от нормального значения [12-15].

Относительная суммарная стандартная неопределенность измерений расхода газа, рассчитывается:

$$u'_{Qc} = [u'_{Vc}{}^2 + 2u'_D{}^2]^{0.5}$$

u'_{Vc} – относительная стандартная неопределенность измерений скорости газа; u'_D – относительная стандартной неопределенности измерений диаметра трубопровода в месте установки счетчика.

Результаты (The results). Расчеты погрешности измерений расхода газа представлены в таблице 2. В расчетах, приведенных в таблице 2, диаметр трубопровода – 150 мм, площадь его сечения (по номинальному диаметру) – 0,01767 мм².

Таким образом, описанная методика позволяет производить измерение расхода природного газа системой измерений на промышленных предприятиях, с помощью термоанемометрического метода. Описанный алгоритм позволяет произвести необходимые расчеты и вычислить значение относительной и абсолютной погрешности измерений расхода газа в различных условиях и таким образом установить возможность применения описанного метода в условиях коммерческого учета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схиртладзе, А.Г. Метрология, стандартизация и технические измерения / А.Г. Схиртладзе, Я.М. Радкевич. – Старый Оскол: ТНТ, 2010. – 420 с.
2. Филиола, Р.С. Теория и планирование механических измерений / Р.С. Филиола, Д.Э. Бизли. – Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2016. – 744 с.
3. Николаева, Е.А. Алгоритм расчета неопределенности при проведении калибровки средств измерений / Е.А. Николаева, А.В. Николаев. // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2017. – №5. – С. 162-167.
4. Николаева, Е.А. Способы расчета неопределенности при проведении калибровки средств измерений различными методами / Е.А. Николаева, А.В. Николаев. // Вестник КузГТУ. – Кемерово, 2018. – №2. – С. 113-120.
5. Крюков, О.В. Организация технологических процедур измерения расхода газа на базе метрологических центров // Химическая техника. 2018. – № 3. – С. 27-29.
6. Белик, А.Г. Дискретные измерения расхода жидкости и газа при переменных перепадах давления / А.Г. Белик, В.Н. Цыганенко // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2016. – Т. 6. – № 2. – С. 358-361.
7. Валиев, Э.Р. Исследование динамических характеристик систем измерения расхода природного газа на базе стандартной диафрагмы в условиях эксплуатации / Э.Р. Валиев, Н.А. Николаев // Вестник Казанского технологического университета. 2012. – Т. 15. – № 9. – С. 246-248.
8. Шарифуллин, В.Н. Математический метод уточнения результатов прямых и косвенных измерений расходов газов и жидкостей в технологических системах // Промышленная энергетика. 2019. – № 2. – С.

36-40.

9. Dobrovolskii, V.I. Investigation of metrological characteristics of silver-silver chloride electrodes of GET 54-2011, the state primary standard for the ph activity of hydrogen ions in aqueous solutions / V.I. Dobrovolskii, S.V. Prokunin, I.V. Morozov, A.A. Glazdov // «Measurement techniques» Springer, T 59 № 9. P. 1013-1016.

10. Голубев, С.С. Стратегия обеспечения единства измерений в российской федерации до 2025 года ведет российскую метрологию по инновационному пути // Законодательная и прикладная метрология. – 2017. – № 4. – С. 5-8.

11. Крюков, О.В. Особенности поверки средств измерений расхода природного газа в рабочих условиях в уральском метрологическом центре // Химическая техника. 2018. – № 2. – С. 29-33.

12. Владимирова, Т.М. Оценка неопределенности в измерении расхода природного газа / В сборнике: Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.М. Шляндина. 2018. – С. 197-200

13. Лихачева, Д.А. Теоретическое сравнение и практические преимущества при прямом и косвенном измерении массы различными методами измерения (вихревой, кориолисовый, термоанемометрический) / Д.А. Лихачева, Ю.П. Худорошкова, П.С. Крутяев // В сборнике: Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли. / Материалы Международной научно-практической конференции. – Альметьевский государственный нефтяной институт. – 2018. – С. 152-156.

14. Vinge, A.F. National primary standard for the units of relative humidity of gases, molar (volume) fraction of moisture, and dew/frost point temperature, GET 151-2014 / A.F. Vinge, M.A. Vinge, V.N. Egorov, O.A. Podmurnaya // «Measurement techniques» Springer, T 59 № 9. P. 1-8.

15. Aslanyan. A.E. National primary standard for hardness according to the martens scales and indentation scales, GET 211-2014/A.E. Aslanyan, E.G. Aslanyan, S.M. Gavrilkin, A.S. Doinikov, I.N. Temnitskii, A.N. Shchipunov // «Measurement techniques» Springer. T 59 № 6. P. 555-559.

REFERENCES

1. Skhirtladze, A.G. Metrologiya, standartizatsiya i tekhnicheskiye izmereniya / A.G. Skhirtladze, Ya.M. Radkevich. - Staryy Oskol: TNT, 2010 – 420 p.

2. Filiola, R.S. Teoriya i planirovaniye mekhanicheskikh izmereniy / R.S. Fi-liola, D.E. Bizli. – Izhevsk: Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika, 2016. – 744 p.

3. Nikolaeva E.A. Algorithm of uncertainty calculation at calibration of measuring instruments/E.A. Nikolaeva, A.V. Nikolaiev//Journal KuzSTU. – 2017. – № 5. – P. 162-167.

4. Nikolaeva E.A. Methods of Calculation of Non-Distribution during Measurement of Measuring Instruments by Various Methods / E.A. Nikolaeva, A.V. Nikolaiev//Journal KuzSTU. – 2018. – № 2. – P. 113-120.

5. Krutov, O.V. Organizatsiya tekhnologicheskikh protsedur izmereniya raskhoda gaza na baze metrologicheskikh tsentrov // Khimicheskaya tekhnika. 2018. – № 3. – P. 27-29.

6. Belik, A.G. Diskretnyye izmereniya raskhoda zhidkosti i gaza pri peremennykh perepadakh davleniya / A.G. Belik, V.N. Tsyganenko // DSPA: Voprosy primeneniya tsifrovoy obrabotki signalov. 2016. – T. 6. – № 2. – P. 358-361.

7. Valiyev, E.R. Issledovaniye dinamicheskikh kharakteristik sistem izmereniya raskhoda prirodnogo gaza na baze standartnoy diafragmy v usloviyakh ekspluatatsii / E.R. Valiyev, N.A. Nikolayev // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012. – T. 15. – № 9. – P. 246-248.

8. Sharifullin, V.N. Matematicheskiy metod utochneniya rezul'tatov pryamykh i kosvennykh izmereniy raskhodov gazov i zhidkostey v tekhnologicheskikh sistemakh // Pro-myshlennaya energetika. 2019. – № 2. – P. 36-40.

9. Dobrovolskii, V.I. Investigation of metrological characteristics of silver-silver chloride electrodes of GET 54-2011, the state primary standard for the ph activity of hydrogen ions in aqueous solutions / V.I. Dobrovolskii, S.V. Prokunin, I.V. Morozov, A.A. Glazdov // «Measurement techniques» Springer, T 59 № 9. – P. 1013-1016.

10. Golubev, S.S. Strategiya obespecheniya yedinstva izmereniy v rossiyskoy fe-deratsii do 2025 goda vedet rossiyskuyu metrologiyu po innovatsionnomu puti // Zako-nodatel'naya i prikladnaya metrologiya. – 2017. – № 4. – P. 5-8.

11. Kryukov, O.V. Osobennosti poverki sredstv izmereniy raskhoda prirodnogo gaza v rabochikh usloviyakh v ural'skom metrologicheskom tsentre // Khimicheskaya tekhnika. 2018. – № 2. – P. 29-33.

12. Vladimirova, T.M. Otsenka neopredelennosti v izmerenii raskhoda prirodnogo gaza / V sbornike: Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya V.M. Shlyandina. 2018. –

Р. 197-200.

13. Likhacheva, D.A. Teoreticheskoye sravneniye i prakticheskiye preimushchestva pri pryamom i kosvennom izmerenii massy razlichnymi metodami izmereniya (vikhrevoy, koriolisovyy, termoanemometricheskiy) / D.A. Likhacheva, Yu.P. Khudoroshkova, P.S. Krutyayev // V sbornike: Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoy otrasli. / Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. - Al'met'yevskiy gosudarstvennyy neftyanoy institut. - 2018. - P. 152-156.

14. Vinge, A.F. National primary standard for the units of relative humidity of gases, molar (volume) fraction of moisture, and dew/frost point temperature, GET 151-2014 / A.F. Vinge, M.A. Vinge, V.N. Egorov, O.A. Podmurnaya // «Measurement techniques» Springer, T 59 № 9. P. 1-8.

15. Aslanyan, A.E. National primary standard for hardness according to the martens scales and indentation scales, GET 211-2014/A.E. Aslanyan, E.G. Aslanyan, S.M. Gavrilkin, A.S. Doinikov, I.N. Temnitskii, A.N. Shchipunov // «Measurement techniques» Springer. T 59 № 6. P. 555-559.

Библиографическое описание статьи

Николаева Е.А., Николаев А.В. Применение методики измерений расхода и объема газа термоанемометрическим методом в трубопроводе // Вестник Кузбасского государственного технического университета. - 2021. - № 3 (145). - С. 18-25.

Reference to article

Nikolaeva E.A., Nikolaev A.V. Application of the method of measuring the flow and volume of gas by the thermoanemometric method in the pipeline. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 18-25.