

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Научная статья

УДК 681.122.36

<https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp104-110>

Компенсированный объемный счетчик газа

Виктор Гаврилович Петько, Ильмира Агзамовна Рахимжанова, Алексей Сергеевич Байков, Владислав Анатольевич Пушко, Владимир Валерьевич Пугачев

Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия

e-mail: pvv056@list.ru

Аннотация. В статье приводится описание конструкции и принципа действия объемных счетчиков газа, которые по сравнению с серийно выпускаемыми счетчиками имеют в два раза меньшее число камер, а именно две против четырех в серийно выпускаемых счетчиках. Это достигается за счет того, что для переключения полостей с приема на отдачу газа используется переключатель релейного действия, обеспечивающий практически мгновенное переключение, что исключает перерыв в подаче газа потребителю и во время переключения прямое, минуя камеры прохождение газа из подающей магистрали в приемную. Релейность переключателя обеспечивается использованием для удержания его ползунка в крайних положениях постоянных магнитов. Показано, что серийно выпускаемые счетчики газа имеют биметаллический корректор показаний в условиях эксплуатации с переменной температурой окружающей среды и связанной с ней температурой газа, но не имеют коррекции показаний при изменении давления газа. Погрешность показаний из-за отсутствия такой коррекции может достигать 6 % и более. Предлагаемый счетчик газа оснащен корректором на основе использования анероидной гофрированной трубки, заполненной газом при нормальной температуре и давлении. При этом обеспечивается коррекция показаний, как по температуре, так и по давлению газа, что в итоге повышает точность измерения расхода газа в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: камера, переключатель, мембрана, температурный корректор, гофр

Для цитирования: Петько В. Г., Рахимжанова И. А., Байков А. С., Пушко В. А., Пугачев В. В. Компенсированный объемный счетчик газа. 2026. № 1. С. 104–110. <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp104-110>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Compensated volumetric gas meter

Viktor G. Petko, Ilmira A. Rakhimzhanova, Alexey S. Baykov, Vladislav A. Pushko, Vladimir V. Pugachev
Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

e-mail: pvv056@list.ru

Abstract. The article describes the design and operating principle of volumetric gas meters, which, compared to commercially produced meters, have half the number of chambers, namely two versus four in commercially produced meters. This is achieved due to the fact that to switch the cavities from receiving to releasing gas, a relay-action switch is used, which provides almost instantaneous switching, which eliminates interruptions in the gas supply to the consumer and during switching there is a direct passage of gas from the supply line to the receiving line, bypassing the chambers. The relay of the switch is ensured by using permanent magnets to hold its slider in the extreme positions. It is shown that commercially produced gas meters have a bimetallic reading corrector under operating conditions with variable ambient temperature and the associated gas temperature, but do not have reading correction when the gas pressure changes. The error in readings due to the lack of such correction can reach 6 percent or more. The proposed gas meter is equipped with a corrector based on the use of an aneroid corrugated tube filled with gas at normal temperature and pressure. At the same time, the readings are corrected for both temperature and gas pressure, which ultimately increases the accuracy of gas flow measurement under real operating conditions.

Keywords: chamber, switch, membrane, temperature corrector, corrugation

For citation: Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Baykov A. S., Pushko V. A., Pugachev V. V. Compensated volumetric gas meter. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2026;(1):104–110. (In Russ.). <https://doi.org/10.28983/asj.y2026i1pp104-110>.





Введение. Для учета потребления газа в жилых домах частного сектора преимущественно в сельской местности, а иногда и в автономно расположенных производственных объектах широко используются объемные счетчики газа, не требующие для своего функционирования источников электрической энергии, способные работать на открытом воздухе, в том числе при отрицательной температуре окружающего воздуха [1, 3, 7]. Вариантом конструктивного исполнения вышеописанного счетчика газа является техническое решение, включающее в себя две камеры, каждая из которых разделена на одинаковые объемы эластичной мембраной [4]. При работе счетчика происходит попеременное переключение заполняемых газом камер с выходного на входной патрубки. Результатом такого процесса становится заполнение фиксированным объемом газа одной из камер, при этом вторая заполненная ранее камера отдает газ потребителю. Число циклов переключения фиксируется с помощью механического счетчика, которое и является показателем объема потребленного газа [2].

В связи с тем, что переключение полостей происходит за время, сопоставимое со временем их заполнения и опорожнения, осуществляется закрытие выходных отверстий обеих полостей для исключения непосредственного прохождения газа к потребителю. И только после этого выходы открываются в обратном направлении. Чтобы поступление газа потребителю во время переключения не прерывалось, каждая из полостей дублируется полостями, циклы наполнения и опорожнения которых сдвинуты на четверть периода. Благодаря этому происходит двукратное увеличение габаритных размеров и количества конструктивных элементов счетчика и, как следствие, повышение стоимости и эксплуатационной надежности счетчика в целом.

Материалы и методы. С целью повышения эффективности такого вида устройств нами разработана конструкция объемного счетчика газа, количество камер в котором уменьшено в два раза (патент РФ № 2779382 [5]). Сущность конструкции и принцип ее действия поясняются чертежом (рисунок 1 – вид спереди, рисунок 2 – вид на переключатель сверху).

В холодное время года при пониженной температуре газа его массовый расход при том же самом объеме потребления больше, что существенно снижает прибыль поставщика газа. Поэтому для компенсации погрешности при понижении температуры пропорционально уменьшению температуры уменьшается и степень заполнения полостей. В данном счетчике газа это достигается тем, что при охлаждении расстояния от свободных концов биметаллических пластин 6 и 7 до диска 3 увеличивается. При этом уменьшается степень заполнения полостей, а следовательно, увеличивается показание счетчика. Обратный процесс происходит при понижении температуры. Конструктивное исполнение пластин выполнено таким образом, что исключено изменение массового расхода газа вследствие динамики как объемов его потребления, так и варьирования температуры окружающей среды.

В то же время за счет мгновенного переключения полостей с заполнения на опорожнение практически исключается прохождение газа напрямую из магистрали потребителю (минуя полости). Благодаря этому конструкция предлагаемого объемного счетчика газа исключает применение дублирующих камер. Это приводит к уменьшению габаритных размеров конструкции в целом, снижению количества подвижных частей, а также происходит упрощение кинематической схемы. В итоге снижается себестоимость конструкции и повышается ее надежность.

Тем не менее, описанный выше счетчик оснащен системой коррекции показаний при температуре газа, отличной от расчетной температуры. Однако масса газа, содержащаяся в заданном его объеме, зависит не только от температуры, но и от давления. Согласно проведенным нами расчетам в диапазоне возможного изменения температуры газа при отсутствии корректора погрешность может составлять $\pm 7\%$, а погрешность от изменения составляет $\pm 6\%$. Отсюда следует, что счетчик нуждается и в системе коррекции показаний при изменении давления газа. Оно может быть вызвано изменением атмосферного давления, изменением давления в газораспределительной сети, а также эксплуатацией счетчика в местности с различным повышением над уровнем моря. С учетом этого нами усовершенствована конструкция рассмотренного выше счетчика, обладающего коррекцией показаний как в зависимости от изменения температуры, так и от изменения давления газа [6].

Сущность такого счетчика поясняется чертежом (рисунок 3).

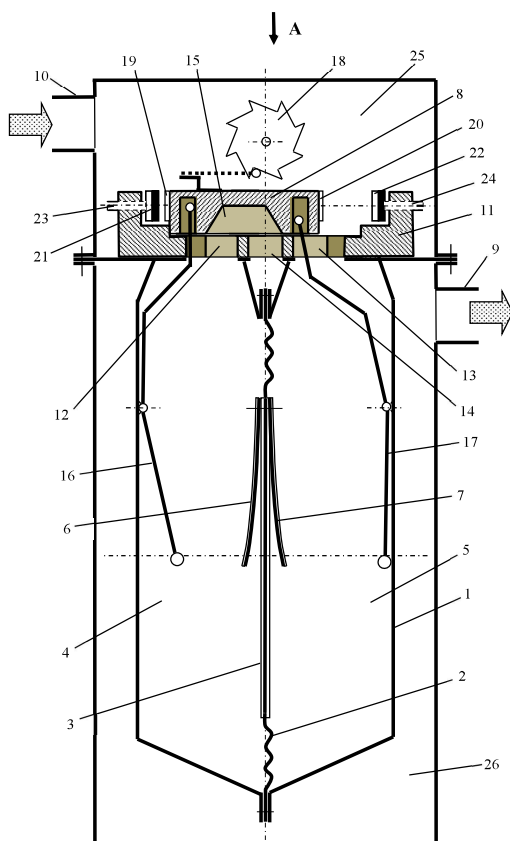


Рисунок 1 – Принципиальная схема счетчика газа: 1 – камера; 2 – эластичная мембрана; 3 – жесткий диск; 4 – первая полость; 5 – вторая полость; 6, 7 – биметаллические пластины; 8 – ползунок переключателя полостей; 9 – выходной патрубок; 10 – входной патрубок; 11 – седло переключателя; 12, 13 – крайние окна седла; 14 – среднее окно седла; 15 – канал ползунка; 16, 17 – пружинящие рычаги; 18 – храповое колесо; 19, 20 – ферромагнитные пластины; 21, 22 – постоянные магниты; 23, 24 – винты калибровки счетчика; 25 – отсек приема газа; 26 – отсек расхода газа

Figure 1 – Schematic diagram of the gas meter: 1 – chamber; 2 – elastic membrane; 3 – hard disk; 4 – first cavity; 5 – second cavity; 6, 7 – bimetallic plates; 8 – cavity switch slider; 9 – outlet pipe; 10 – inlet pipe; 11 – switch seat; 12, 13 – outer seat windows; 14 – middle seat window; 15 – slider channel; 16, 17 – spring levers; 18 – ratchet wheel; 19, 20 – ferromagnetic plates; 21, 22 – permanent magnets; 23, 24 – meter calibration screws; 25 – gas intake compartment; 26 – gas flow compartment

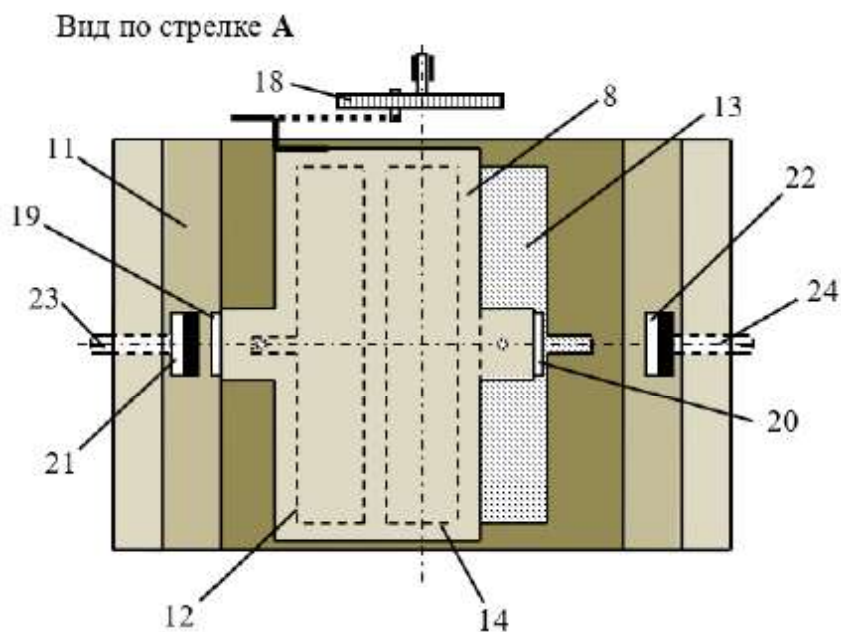


Рисунок 2 – Переключатель полостей (нумерация позиций по рисунку 1)

Figure 2 – Cavity switch (position numbering as in Figure 1)



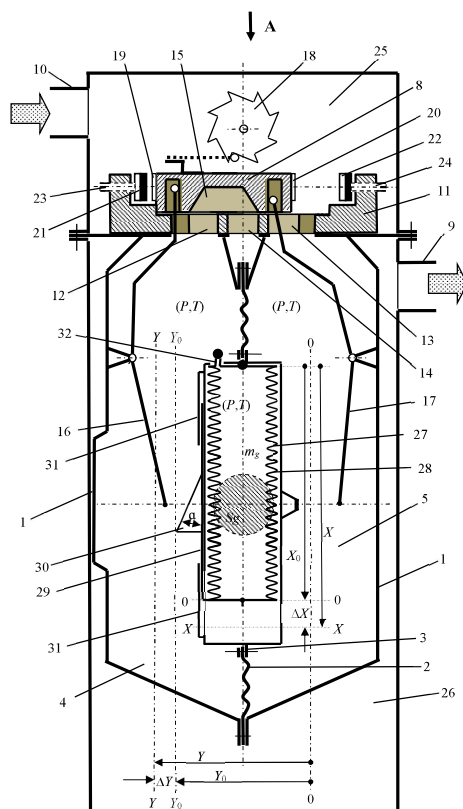


Рисунок 3 – Принципиальная схема счетчика с компенсацией показаний по температуре и давлению:
 1 – камера; 2 – эластичная мембрана; 3 – жесткий диск; 4 – первая полость; 5 – вторая полость;
 6, 7 – биметаллические пластины; 8 – ползунок переключателя полостей; 9 – выходной патрубок;
 10 – входной патрубок; 11 – седло переключателя; 12, 13 – крайние окна седла; 14 – среднее окно седла;
 15 – канал ползунка; 16, 17 – пружинящие рычаги; 18 – храповое колесо; 19, 20 – ферромагнитные пластины;
 21, 22 – постоянные магниты; 23, 24 – винты калибровки счетчика; 25 – отсек приема газа;
 26 – отсек расхода газа; 27 – цилиндрический контейнер; 28 – анероидная гофрированная трубка;
 29 – жесткий поводок; 30 – треугольная пластина; 31 – направляющие; 32 – отверстие

Figure 3 – Schematic diagram of the meter with compensation of readings by temperature and pressure:
 1 – chamber; 2 – elastic membrane; 3 – hard disk; 4 – first cavity; 5 – second cavity; 6, 7 – bimetallic plates;
 8 – cavity switch slider; 9 – outlet pipe; 10 – inlet pipe; 11 – switch seat; 12, 13 – extreme windows of the seat;
 14 – middle window of the seat; 15 – slider channel; 16, 17 – spring levers; 18 – ratchet wheel; 19, 20 – ferromagnetic plates;
 21, 22 – permanent magnets; 23, 24 – meter calibration screws; 25 – gas intake compartment;
 26 – gas flow compartment; 27 – cylindrical container; 28 – aneroid corrugated tube; 29 – rigid leash;
 30 – triangular plate; 31 – guides; 32 – hole

Устроен и работает счетчик в основном аналогично рассмотренному выше счетчику. Отличие заключается лишь в том, что жесткий диск, размещенный в центральной части мембраны 2 (см. рисунок 3), выполнен в виде цилиндрического контейнера 27. Ось контейнера совпадает с вертикальной осью симметрии мембраны. Внутри контейнера подвешен в вертикальном положении корректор в виде анероидной гофрированной трубки 28 [10]. Нижний торец трубки с помощью жесткого поводка 29 связан с размещенной на внешней поверхности контейнера треугольной пластиной 30. Она может перемещаться вдоль контейнера в направляющих 31. При этом пластина ориентирована таким образом, что ее плоскость совпадает с плоскостью поворота рычагов 16 и 17. Один из катетов пластины скользит по внешней поверхности контейнера, а прилегающий к этому катету острый угол пластины, направлен вверх. Полость гофра для выравнивания давления внутри и снаружи гофра соединена с полостью 4 через отверстие 32 малого диаметра (1...2 мм). В свободном состоянии при равенстве давлений внутри и снаружи гофра (отверстие 32 открыто) под действием веса гофра и пластины гофр должен занимать не менее 80 % длины контейнера. При этом середина стороны пластины, прилегающая к плоскости контейнера, должна лежать на осевой линии диска 3. В таком положении пластины и гофра полости 4 и 5, а, следовательно, и полость гофра заполняются газом при нормальном давлении



($P_0 = 101325$ Па) и нормальной температуре ($T_0 = 273,16$ К). Отверстие 32 надежно закрывается (например, пайкой).

Результаты исследований. Как для потребителей, так и для поставщиков энергетическая ценность газа определяется его теплотворной способностью, т.е. тем, сколько джоулей тепловой энергии можно получить, сжигая 1 кг его массы [9]. В то же время при взаимных расчетах часто используются показания объемных счетчиков газа. Однако согласно уравнению Клайперона-Менделеева [8]:

$$PV/T = mR \text{ или } V = mRZ, \quad (1)$$

где V – объем газа, м³; P – давление газа, Па; T – температура газа, К; Z – обобщенный возмущающий фактор, $Z = P/T$, Па/К; R – газовая постоянная, равная 286,69 Дж/(кг·К); m – масса газа, кг,

Связь между объемом и массой газа не однозначна. Поэтому в условиях работы счетчиков при изменяющихся температуре и давлении газа использование корректоров показаний, как по температуре, так и по давлению является неременным условием. Покажем, что в счетчике, конструкция которого описана выше, это условие выполняется.

Предположим, что в исходном состоянии через счетчик проходит газ, давление и температура которого имеют нормальные значения (P_0 и T_0). Предположим также, что при этом в результате магнитного взаимодействия магнита 22 и ферромагнитной пластины 20 ползунок 8 переключателя удерживается в крайнем левом положении (см. рисунок 3). Мембрана, как это изображено на рисунке, находится в крайнем правом положении (положение 0-0). При данном положении переключателя и мембраны в открытом состоянии будет окно 13, и газ свободно будет поступать из емкости 25 в полость 5. В результате действия давления газа мембрана переместится справа налево, что приведет к вытеснению газа из полости 4 в емкость 26 и его поступлению потребителю. При перемещении мембраны наступит момент, когда произойдет соприкосновение ребра пластины 30 и нижнего конца рычага 16, что спровоцирует деформацию рычага. При этом взаимодействии и по мере перемещения мембраны увеличится сила, действующая на ползунок 8 со стороны верхнего конца рычага 16. При заполнении полости 5 заранее установленным фиксированным объемом V_0 газа (мембрана в этот момент займет положение Y_0 - Y_0) потребителю из полости 4 будет передана расчетная масса газа

$$m_p = \frac{P_0 V_0}{T_0 R} = \frac{P_0 Y_0 S_m}{T_0 R}, \quad (2)$$

где S_m – площадь мембраны, м²; Y_0 – номинальный ход мембраны, м.

Переход ползуна 8 из одного крайнего положения в другое происходит, например, при превышении силы взаимодействия пластины 20 и магнита 22 над силой воздействия рычага 16 на ползунок 8. При этом начнется процесс заполнения газом полости 4 через открытое окно 12 и опорожнение полости 5 через окна 13 и 14. Аналогичным способом произойдет перемещение ползуна в противоположную сторону и завершится один полный цикл работы счетчика газа, при котором храповое колесо 18, отвечающее за отсчет объема проходящего газа, повернется на один зубец, что соответствует объему газа, прошедшего через счетчик, равного $2m_p$.

Поскольку в принятом исходном состоянии давление и температура газа внутри и снаружи гофра одинаковы, длина X_0 гофра не изменяется.

При отклонении температуры и давления газа от нормальных значений изменится при том же самом объеме потребления массовый расход газа. Это приведет к появлению погрешности измерения. Поэтому для компенсации погрешности необходимо, чтобы пропорционально Z осуществлялось изменение степени заполнения полостей 4 и 5.

В соответствии с уравнением Клайперона-Менделеева ($PV/T = mR = \text{const}$) для рабочих полостей счетчика имеем

$$\frac{P_0 Y_0 S_m}{T_0} = m_p R = \frac{P Y S_m}{T}. \quad (3)$$



Откуда

$$Y = \frac{P_0 Y_0 T}{T_0 P}. \quad (4)$$

Прирост хода мембраны

$$\Delta Y = \frac{P_0 Y_0 T}{T_0 P} - Y_0 = Y_0 \left(\frac{P_0 T}{T_0 P} - 1 \right). \quad (5)$$

Аналогично для полости гофра при весьма малой его жесткости

$$\Delta X = \frac{P_0 X_0 T}{T_0 P} - X_0 = X_0 \left(\frac{P_0 T}{T_0 P} - 1 \right). \quad (6)$$

Таким образом, если угол α наклона ребра пластины будет равен $\arctg(\Delta Y/\Delta X)$, перемещение гофра, а следовательно, и пластины 30 на величину ΔX будет приводить к соответствующему перемещению мембраны на величину ΔY . При изменении параметра Z изменятся ход мембраны и за счет этого изменятся объем порции газа, заполняющего полости, а масса газа будет оставаться постоянной, равной расчетной для счетчика определенных размеров величине m_p . При этом для обеспечения заданного порядка функционирования длина гофра X_0 должна быть значительно больше хода мембраны Y_0 , чтобы избежать проскальзывания пластины при контакте с рычагом 16, а точнее, угол трения контактируемых поверхностей должен быть больше угла α .

В зависимости от диапазонов изменения давления и температуры в местах, в которых предполагается эксплуатация подлежащего изготовлению счетчика, определяются и размеры катетов пластины. Так для катета, противоположного углу α ,

$$\Delta X_{\max} = \frac{P_0 Y_0}{T_0} \left(\frac{T_{\max}}{P_{\min}} - \frac{T_{\min}}{P_{\max}} \right), \quad (7)$$

откуда

$$\Delta X_{\max} = \Delta X_{\max} / \operatorname{tg} \alpha. \quad (8)$$

Настройка точности показаний данного объемного счетчика газа осуществляется точно таким же образом, как и в счетчике с компенсацией показаний по температуре, рассмотренном выше.

Заключение. Таким образом, рассмотренные объемные счетчики газа не нуждаются в установке дублирующих камер. Это практически в два раза уменьшает их габаритные размеры, количество подвижных деталей, упрощается кинематика. В результате снижается стоимость и повышается надежность. В счетчике с анероидом кроме того исключается погрешность показаний, вызываемая изменением давления газа, которая как показывают расчеты, может составлять не менее 6 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деревянченко И. Л., Бурмака А. А. Электробытовые счетчики газа // Газовая промышленность. 2003. № 8. С. 48–49.
2. Ефремова Т. В., Камьянова М. С. Исследование влияния расхода газа на потери давления в мембранных счетчиках // Евразийский союз ученых. 2018. № 3–2(48). С. 17–20.
3. Кузь Н. В. Устройство для компенсации влияния температуры природного газа на точность его учета бытовыми счетчиками газа // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Серия: Приборостроение. 2012. № 44. С. 80–86.
4. Паспорт 8181.00.000 ПС, СЧЕТЧИК ГАЗА ДИАФРАГМЕННЫЙ С ТЕРМОКОМПЕНСАТОРОМ СГД-3Т // Открытое акционерное общество «Минский механический завод имени С.И. Вавилова – управляющая компания холдинга «БелОМО». Счетчик внесен в государственные реестры: Республики Беларусь (регистрационный № РБ 03 07 3632 14); Российской Федерации (регистрационный № 39093-13).
5. Патент № 2779382 С1 Российская Федерация, МПК G01F 1/00. Объемный счетчик газа: заявл. 28.05.2021; опубл. 06.09.2022 / В. Г. Петько, И. А. Рахимжанова, М. Б. Фомин [и др.]; заявитель Федеральное государственное



бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет».

6. Патент № 2826232 C1 Российская Федерация, МПК G01F 1/50, G01F 15/02. Компенсированный объемный счетчик газа: № 2024117303: заявл. 24.06.2024: опубл. 06.09.2024 / В. Г. Петько, И. А. Рахимжанова, В. А. Шахов [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный аграрный университет».

7. Патент на полезную модель № 5867 U1 Российская Федерация, МПК G01F 25/00. Устройство измерения эталонного объема и вычисления расхода газа для установок поверки счетчиков газа: № 96118660/20: заявл. 18.09.1996: опубл. 16.01.1998 / Ю. Г. Курманов, Т. К. Резванов.

8. Уравнение Клайперона-Менделеева. Режим доступа: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/10/uravnenie-klapejronamendeleeva> (дата обращения 29.10.2024).

9. Цыбульский О. А. Разработка камерного пульсирующего счетчика газа // Законодательная и прикладная метрология. 2015. № 4(137). С. 40–44.

10. Чувствительные элементы аэродинамических приборов. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2137793> (дата обращения 29.10.2024).

REFERENCES

1. Derevyanchenko I. L., Burmaka A. A. Household electric gas meters. *Gas Industry*. 2003;(8):48–49. (In Russ.).
2. Efremova T. V., Kamyanova M. S. Study of the influence of gas flow rate on pressure losses in diaphragm meters. *Eurasian Union of Scientists*. 2018;3–2(48):17–20. (In Russ.).
3. Kuz N. V. Device for compensating for the influence of natural gas temperature on the accuracy of its metering by household gas meters. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”*. Series: Instrument Making. 2012;(44):80–86. (In Russ.).
4. Passport 8181.00.000 PS, Diaphragm gas meter with thermo-compensator SGD-3T // Open Joint-Stock Company “Minsk Mechanical Plant named after S.I. Vavilov – Management Company of the BelOMO Holding”. The meter is included in the state registers: of the Republic of Belarus (registration No. RB 03 07 3632 14); the Russian Federation (registration No. 39093-13). (In Russ.).
5. Patent No. 2779382 C1 Russian Federation, IPC G01F 1/00. Volumetric gas meter: declared. 05/28/2021: published. 06.09.2022 / V. G. Petko, I. A. Rakhimzhanova, M. B. Fomin et al.; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Orenburg State Agrarian University”. (In Russ.).
6. Patent No. 2826232 C1 Russian Federation, IPC G01F 1/50, G01F 15/02. Compensated volumetric gas meter: No. 2024117303: declared 24.06.2024: published 06.09.2024 / V. G. Petko, I. A. Rakhimzhanova, V. A. Shakhov et al.; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Orenburg State Agrarian University”. (In Russ.).
7. Utility Model Patent No. 5867 U1 Russian Federation, IPC G01F 25/00. Device for measuring reference volume and calculating gas flow rate for gas meter verification installations: No. 96118660/20: declared 18.09.1996: published 16.01.1998 / Yu. G. Kurmanov, T. K. Rezvanov. (In Russ.).
8. The Clapeyron-Mendeleev Equation. (In Russ.). Available at: <https://wika.tutoronline.ru/fizika/class/10/uravnenie-klapejronamendeleeva> (accessed 29.10.2024).
9. Tsybulsky O. A. Development of a chamber pulsating gas meter. *Legislative and Applied Metrology*. 2015;4(137):40–44. (In Russ.).
10. Sensitive elements of aerodynamic instruments. (In Russ.). Available at: <https://studfile.net/preview/2137793> (accessed October 29, 2024).

Статья поступила в редакцию 04.12.2024; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 20.03.2025.

The article was submitted 04.12.2024; approved after reviewing 27.02.2025; accepted for publication 20.03.2025.

