

УДК 681.121.84

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ГАЗОВОГО ПОТОКА В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ

Фарзане Эльдар Надирович

д.т.н., ведущий научный сотрудник

Садег Чяд Зярах Алрадхи

докторант

Азербайджанский Государственный Университет

Нефти и Промышленности

Аннотация: рассматриваются методы, позволяющие осуществлять оперативное измерение плотности газового потока с переменными параметрами, которые могут найти применение в любых отраслях народного хозяйства, где необходимо проведение операций контроля расхода газа и особенно при проведении коммерческих приемо-сдаточных действий. Показаны структуры систем измерения плотности газового потока и приведены аналитические выражения для определения плотности газа в рабочих и стандартных условиях.

Показано, что в предлагаемых методах измерения плотности газа, за счет использования дозатора фиксированного объема и проведения операции выпуска газа в атмосферу, определяют плотность газа в рабочих и стандартных условиях без знания значения коэффициента сжимаемости газа.

Ключевые слова: природный газ, расход, сужающее устройство, плотность газа, газ-носитель, нейтральная колонка, дозатор.

GAS FLOW DENSITY MEASUREMENT SYSTEMS UNDER WORKING CONDITIONS

Farzane Eldar Nadirovich

Sadeg Chad Zyarah Alradhi

Abstract: methods are considered that allow for the rapid measurement of gas flow density with variable parameters, which can be used in any sectors of the economy where it is necessary to carry out gas flow control operations, and especially when carrying out commercial acceptance and delivery operations. The

structures of systems for measuring the density of a gas flow are shown and analytical expressions are given for determining the density of a gas under operating and standard conditions.

It is shown that in the proposed methods for measuring the density of gas, by using a fixed-volume dispenser and carrying out the operation of releasing gas into the atmosphere, the density of the gas is determined under operating and standard conditions without knowing the value of the gas compressibility coefficient.

Key words: natural gas, flow rate, narrowing device, gas density, carrier gas, neutral column, dispenser.

Измерение расхода газа в газовой промышленности, на замерных узлах газотранспортных предприятий, узлах коммерческого учета поставляемого газа, участках первичной переработки газа и других объектах, где необходимо проведение измерения объемного или массового расхода газа, является одной из важнейших задач современной рыночной экономики.

Во всех перечисленных объектах контроля расхода газа существует необходимость измерения (вычисления) плотности газа в рабочих или стандартных условиях.

Расходомеры с сужающими устройствами (СУ) для измерения расхода газовых потоков используются на большинстве предприятий, связанных с газодобычей, газотранспортом и газопереработкой. Уравнение для вычисления объемного расхода газа Q_o записывается в виде [1, с. 5]:

$$Q_o = C\sqrt{\Delta p/\rho}, \quad (1)$$

где C – коэффициент, учитывающий форму СУ, поправку на сжимаемость газа, площадь отверстия СУ; Δp – перепад давления на СУ; ρ – плотность газа в рабочих условиях.

Плотность, входящая в формулу (1) при измерении расхода газа, определяется расчетным путем с учетом компонентного состава газовой смеси и температуры и давления в рабочих условиях [2, с. 2]:

$$\rho = \rho_s \frac{PT_s}{P_sTZ}, \quad (2)$$

где ρ – плотность газовой среды в рабочих условиях; ρ_s – плотность газа при стандартных условиях; T_s – температура при стандартных условиях ($T_s = 293,15^\circ \text{ K}$); P_s – давление при стандартных условиях ($P_s = 101325 \text{ Па}$); T и P – соответственно, температура и давление в рабочих условиях; Z – коэффициент сжимаемости газа.

Плотность ρ_s может быть определена по компонентному составу газа [2, с. 2]. Коэффициент сжимаемости газа определяют по плотности газа в стандартных условиях по температуре и по давлению в рабочих условиях [3, с. 2].

Таким образом, измеряя температуру T и давление P газовой среды определяют плотность ρ в рабочих условиях.

Так как, ρ_s не остается постоянной величиной, а, следовательно изменяется и коэффициент сжимаемости газа Z , то это приводит к значительным погрешностям в определении плотности газа в рабочих условиях ρ , что в свою очередь существенно снижает точность измерения расхода.

Плотность газа в стандартных условиях определяют лабораторным способом путем отбора пробы газа из газопровода, и ежесуточно производят вычисление расхода с учетом действительных параметров газа. Принципиальным недостатком такого метода определения расхода и плотности газа в рабочих условиях является то, что он не может быть применен в автоматизированных системах, где требуется получение без запаздывания непрерывных данных о действительном расходе газа.

В настоящей статье рассматриваются две перспективные, с нашей точки зрения, структуры оперативного измерения плотности природного газа в рабочих и стандартных условиях.

Рассмотрим метод измерения плотности газового потока в автоматическом режиме.

Структурная схема предлагаемой измерительной системы представлена на рисунке 1 [4].

Система содержит клапаны 1, 3 и 6, дозатор 2, нейтральную колонку 4, сужающее устройство 5, дифманометр 7, специализированное управляющее вычислительное устройство 8, устройство вывода 9.

Работа системы осуществляется следующим образом.

При открытом клапане 1 (рис.1), закрытом клапане 3 и открытом клапане 6 поток газа из рабочего трубопровода поступает в дозатор 2 при температуре и давлении газа в рабочем трубопроводе, а газ-носитель (например, гелий или воздух) с постоянным объемным расходом через клапан 6 подается в нейтральную колонку 4.

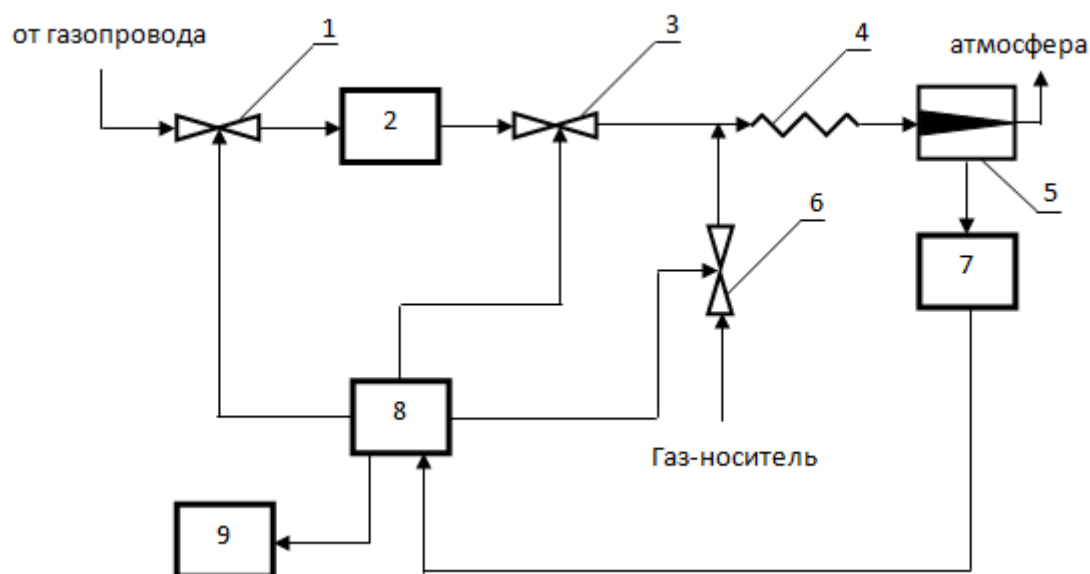


Рис. 1. Структурная схема системы измерения плотности газа

Пройдя нейтральную колонку 4, газ-носитель поступает на сужающее устройство 5. Величина перепада давления на сужающем устройстве 5, измеренная дифманометром 7, поступает на вход управляющего вычислительного устройства 8. На выходах устройства 8, периодически вырабатываются сигналы, которые закрывают клапаны 1 и 6 и открывают клапан 3. При открытом клапане 3 и закрытом – 6 в нейтральную колонку 4 из дозатора 2 поступает только измеряемый газ, который в нейтральной колонке расширяется до атмосферного давления. По окончании расширения газа в нейтральной колонке на выходах устройства 8 опять вырабатываются сигналы, которые открывают клапаны 1 и 7 и закрывают клапан 3. При закрытом клапане 3 и открытом – 6 в нейтральную колонку 4 снова подается газ-носитель, который полностью выдавливает из нее измеряемый газ. Пройдя нейтральную колонку 4, проталкиваемый газом-носителем измеряемый газ поступает на сужающее устройство 5. Величина перепада давления на сужающем устройстве 5, измеренная дифманометром 7, поступает на вход управляющего вычислительного устройства 8.

В устройстве 8 происходит обработка результатов измерения и определяется плотность газа в рабочих условиях. Результаты измерений фиксируются устройством вывода 9.

Описываемый метод может быть иллюстрирован (рис. 2) следующим образом.

Информационный сигнал, образующийся на диафрагме 5, при прохождении через нее измеряемого газа в потоке газа-носителя, и измеренный дифманометром 7, поступает на вход устройства 8, для последующей его обработки.

Сигнал U_0 соответствует прохождению через диафрагму чистого газа-носителя. При вводе дозы измеряемого газа на диафрагме образуется сигнал трапецеидальной формы. Интервалы $(\tau_2 - \tau_1)$ и $(\tau_4 - \tau_3)$ соответствуют переднему и заднему фронтам трапецеидального импульса, а на интервале $(\tau_3 - \tau_2)$ форма импульса всегда будет представлять прямоугольник. Прямоугольная форма импульса на интервале $(\tau_3 - \tau_2)$ означает, что в течении этого интервала времени через сужающее устройство протекает чистый анализируемый газ. Величина сигнала ΔU_M будет пропорциональна разности плотностей измеряемого газа ρ_g и газа-носителя ρ_{g-n} [5, с. 12], в данном случае при атмосферном давлении и температуре, то есть

$$\Delta U_M = k(\rho_g - \rho_{g-n}), \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

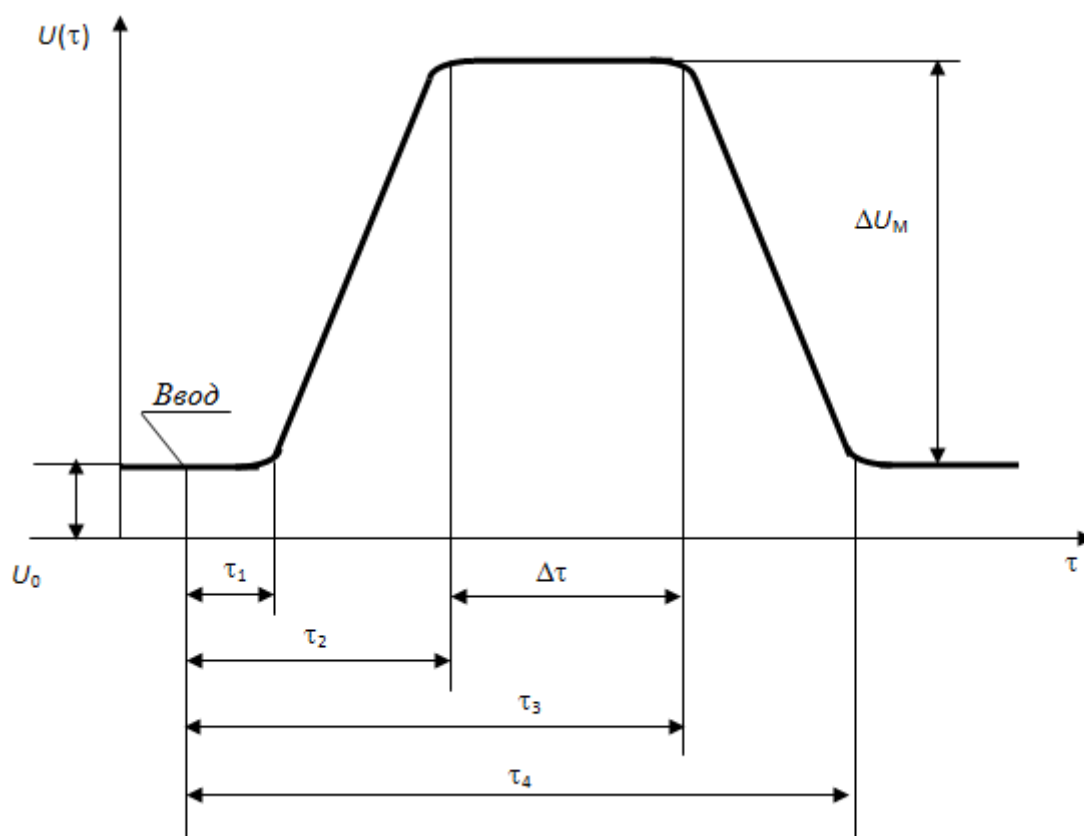


Рис. 2. Информационный сигнал, образующийся на диафрагме

Зная состав газа-носителя, который является постоянным, то есть, зная его плотность ρ_{g-n} , из выражения (3) определяют плотность газа ρ_g .

Интегрируя на интервале времени $(\tau_1 - \tau_4)$ выходной сигнал $U(\tau)$ получим площадь импульса F из выражения:

$$F = \int_{\tau_1}^{\tau_2} U(\tau) d\tau . \quad (4)$$

Площадь импульса F из [5, с. 12] в общем виде определяется как:

$$F = f_1(\Delta U_M, V) , \quad (5)$$

где V – объем измеряемого газа.

Из (5) с учетом выражений (3) и (4) определяют объем газа V .

По найденным значениям плотности газа ρ_g и его объема V , определяют массу газа m по формуле: $m = \rho_g V$

Разделив массу газа m на известный объем газа в дозаторе V_d при давлении и температуре объекта измерения, определяют плотность измеряемого газа ρ_{gR} в рабочих условиях:

$$\rho_{gR} = m/V_d \quad (6)$$

Таким образом, по измерениям амплитуды и площади сигнала определяют плотность газа в рабочих условиях по выражению (6).

Описываемая система позволяет также определить плотность газа в стандартных условиях.

Из графиков зависимостей коэффициента сжимаемости Z от давления и температуры, приведенных в [3, с. 4] следует, что при давлениях газа близких к атмосферному давлению коэффициент сжимаемости равен единице. Найденная из выражения (3) плотность газа ρ_g это плотность газа при атмосферном давлении и температуре окружающей среды, так как сброс газа осуществляется в атмосферу, а, следовательно, коэффициент сжимаемости Z может быть принят равным единице, то есть $Z = 1$.

Подставляя в выражение (2) найденную плотность газа ρ_g и измеренные значения атмосферного давления и температуры, определяют плотность газа в стандартных условиях.

Представленный метод позволяет автоматически непосредственно на потоке определять плотность газа в рабочих условиях без определения значения коэффициента сжимаемости газа, а также плотность газа в стандартных условиях.

Рассмотрим еще одну структуру системы измерения плотности природного газа (рис. 3), которая, как и предыдущая, может осуществлять

измерение плотности газового потока в рабочих и стандартных условиях, но не требует использования газа-носителя.

Система содержит управляемые клапаны 1 и 3, дозатор 2, отводной трубопровод 4 (AB), объемный расходомер 5, термометр 6, манометр 7, сужающее устройство 8, дифманометр 9, измеритель времени 10, специализированное управляющее вычислительное устройство 11, устройство вывода 12.

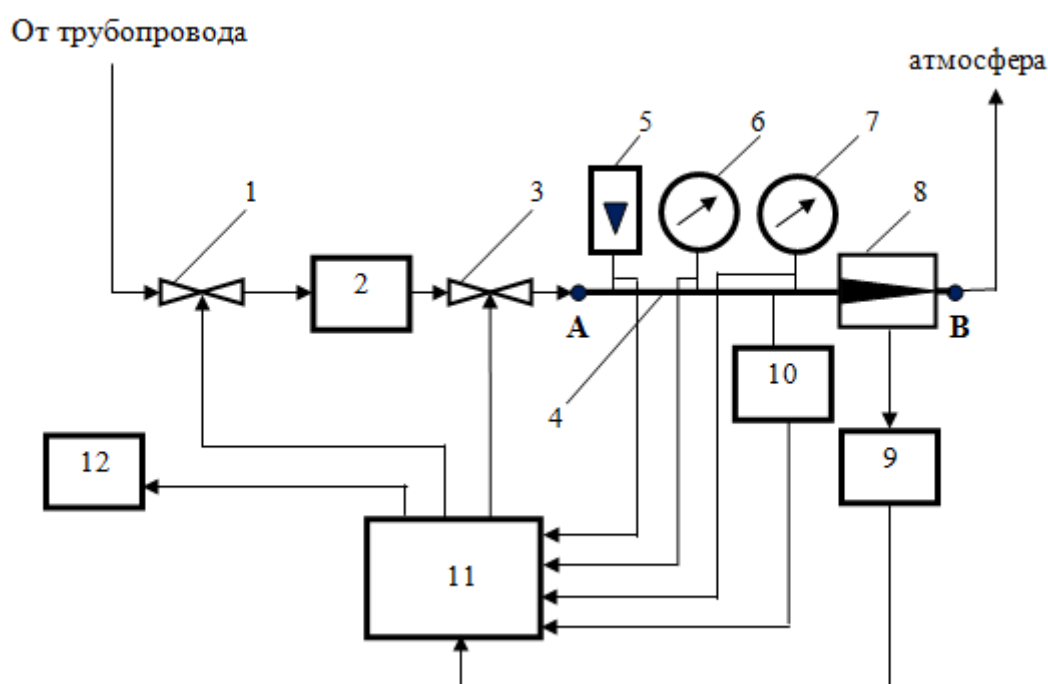


Рис. 3. Структура системы измерения плотности газа

Работа системы осуществляется следующим образом.

На выходах устройства 11, вырабатываются сигналы, управляющие клапанами 1 и 3, которые открывают клапан 1 и закрывают клапан 3. Незначительная доля потока газа из трубопровода при открытом клапане 1 поступает в дозатор 2, который заполняется газом при температуре и давлении объекта измерения. После заполнения дозатора измеряемым газом, клапан 1 закрывается, а клапан 3 открывается и из дозатора 2 через открытый клапан 3 газ поступает в отводной трубопровод 4 (AB). Трубопровод 4 одним концом через клапан 3 соединен с дозатором 2, а через другой его конец осуществляется сброс доли газа в атмосферу.

Величины объемного расхода газа Q_{gob} , температуры T_b и давления P_b в отводном трубопроводе 4, измеренные объемным измерителем расхода 5,

термометром 6 и манометром 7, соответственно, и величина перепада давления Δp_b на сужающем устройстве 8, измеренная дифманометром 9, поступают на входы вычислительного устройства 11. Измеритель времени 10 фиксирует время прохождения доли газа из дозатора 2 через трубопровод 4. Результат измерения времени также поступает на вход устройства 11.

В устройстве 11 происходит обработка результатов измерений, и определяются искомые расход и плотность газового потока в рабочих условиях, которые регистрируются устройством вывода 12.

Следующими математическими выкладками проиллюстрируем предлагаемый метод измерения плотности газа.

В период отвода незначительной части газа через отводной трубопровод объемный расход газа через него Q_{gob} определяется подобно выражению (1) как:

$$Q_{gob} = C_b \sqrt{\Delta p_b / \rho_b}, \quad (7)$$

где Δp_b – перепад давления на сужающем устройстве 8; ρ_b – плотность газа в рабочих условиях в отводном трубопроводе; C_b – постоянный коэффициент, зависящий от диаметра и коэффициента расхода сужающего устройства 8.

Из (7) легко определить плотность газа ρ_b , так как объемный расход и перепад давления на сужающем устройстве 8 измеряются объемным измерителем расхода 5 и дифманометром 9, соответственно.

Так как, один конец отводной трубы 4 (В) связан с атмосферой, и через отводную трубу отводится незначительная доля газа, то давление газа в отводной трубе будет сравнимо с атмосферным давлением, а, следовательно, коэффициент сжимаемости газа Z_b может быть принят равным единице, то есть $Z_b = 1$.

Используя выражение (2) для определения плотности газа, и подставляя в него найденную плотность ρ_b из (7), после преобразований, получим выражение для определения плотности газа в стандартных условиях ρ_s :

$$\rho_s = C_b^2 \frac{\Delta p_b P_s T_b}{Q_{gob}^2 P_b T_s}. \quad (8)$$

Объем газа в отводном трубопроводе V_b находится путем интегрирования на интервале времени $(0 - \tau)$ объемного расхода газа при его отводе. По найденным значениям плотности газа ρ_b и его объема V_b , определяют массу газа m подобно, как описано в предыдущей структуре.

Зная массу газа m и разделив ее на известный объем газа дозатора V_d при давлении и температуре объекта измерения, определяют плотность измеряемого газа ρ_{gR} в рабочих условиях согласно выражению (6).

Заключение.

1. Рассмотренные две структуры систем определения плотности природного газа позволяют автоматически непосредственно на потоке определять плотность газового потока в рабочих условиях без определения значения коэффициента сжимаемости газа.

2. Структуры, представленные на рисунках 1 и 3, позволяют осуществлять измерение плотности газового потока в стандартных условиях, без проведения длительных и трудоемких лабораторных исследований.

3. Структура на рис.1 требует использования дополнительного оборудования, обеспечивающего подачу газа-носителя в расширительную измерительную колонку.

Список литературы

1. ГОСТ 8.586.5-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью сужающих устройств. М., Изд. стандартов, 2005, 88 с.

2. ГОСТ 8.563.1 – 97. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. – М.: Издательство стандартов, 1998. 62 с.

3. ГОСТ 30319.2 – 96. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. – М.: Издательство стандартов, 1997. 53 с.

4. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Фарзани Э.Н. Способ измерения плотности газа. Патент Азербайджанской республики I 20100044.

5. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-заде А.Ю. Автоматизация аналитического контроля газов и жидкостей с помощью детекторов. – М.: НИИТЭХИМ, 1981. 75 с.

© Э.Н. Фарзани, Садег Чяд Зярах Алрадхи, 2022