

УДК 53.082.36

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ГАЗОВ
МЕТОДОМ ЭФФУЗИОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ**

**DETERMINATION OF GAS DENSITY
BY THE METHOD OF EFFUSION DETECTION**

В.А. Митягин, С.Ю. Жигулин, Л.В. Илясов

**АО «ВНИИ НП», г. Москва, Российская Федерация
Тверской государственный технический университет,
г. Тверь, Российская Федерация**

Valerij A. Mityagin, Stanislav Yu. Zhigulin, Leonid V. Ilyasov

**VNIINP JSC, Moscow, Russian Federation
Tver State Technical University, Tver, Russian Federation**

e-mail: mityaginva@vniinp.ru

Аннотация. Измерение плотности газов в настоящее время осуществляется в таких важных отраслях промышленности, как нефте- и газодобыча, нефтепереработка, нефтехимия, химия, металлургия и другие. При этом для лабораторного контроля в основном используются пикнометрический (весовой) и эффузионный (основанный на эффекте истечения газа из турбулентного дросселя) методы анализа плотности газа

Рассмотрены варианты измерения плотности газов. Показано, что для измерения плотности газов может быть использован эффузионный анализатор с убывающим давлением истечения, в котором для измерения давления используется высокоточный пьезорезистивный преобразователь давления, а для обработки его сигнала – компьютер, который позволяет с помощью специально разработанной программы обеспечить возможность практически полной автоматизации процесса измерения и расчета

плотности газов. Важной особенностью анализатора является то, что он не требует специальной калибровки, так как измерение плотности газа осуществляется относительно осушенного воздуха.

Abstract. Measurement of gas density is currently carried out in such important industries as oil and gas production, oil refining, petrochemistry, chemistry, metallurgy and others. In addition, for laboratory control, pycnometric (weight) and effusion (based on the effect of gas outflow from the turbulent choke) are mainly used to analyze the density of the gas.

Variants of measurement of density of gases are considered. It is shown that an effusion analyzer with decreasing flow pressure can be used to measure the density of gases, in which a high – precision piezoresistive pressure transducer is used to measure the pressure, and a computer can be used to process its signal, which allows, with the help of a specially developed program, to provide the possibility of almost complete automation of the process of measuring and calculating the density of gases. An important feature of the analyzer is that it does not require special calibration, since the gas density measurement is carried out relative to the dried air.

Ключевые слова: плотность газов, эффузионный анализатор, пьезорезистивный преобразователь давления, компьютерный анализ

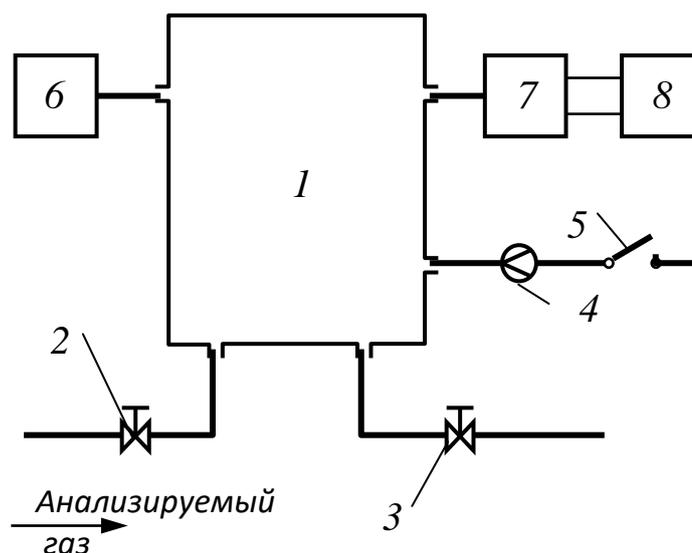
Key words: gas density, effusion analysis, piezoresistive pressure transducer, computer analyzer

Измерение плотности газов в настоящее время осуществляется в таких важных отраслях промышленности, как нефте- и газодобыча, нефтепереработка, нефтехимия, химия, металлургия и другие. При этом для лабораторного контроля в основном используются пикнометрический (весовой) и эффузионный (основанный на эффекте истечения газа из турбулентного дросселя) методы анализа плотности газа [1].

Исследованиями, выполненными авторами, установлено [2], что эффузионный метод анализа обеспечивает возможность практически полной автоматизации процесса измерения плотности газов. В работе [3] показано, что для этого целесообразно использовать одну из разновидностей разработанных анализаторов (эффузиометров), которая реализуется с использованием процесса истечения газа из турбулентного дросселя при убывающем давлении истечения.

Измерение плотности газов анализатором с убывающим давлением истечения, обобщённая схема которого приведена на рисунке 1, осуществляется следующим образом.

Измерительная камера заполняется анализируемым газом, а затем с помощью устройств создания избыточного давления газ сжимается до давления P_0 . Давление в камере непрерывно измеряется датчиком давления, выходной сигнал которого поступает в устройство отсчёта времени. После соединения выхода диафрагмы пневмотумблером с атмосферой начинается истечение газа из названного дросселя. Когда в момент времени t_1 давление в камере достигает заранее принятого значения P_1 , начинается отсчёт времени отсчётным устройством, а когда в момент времени t_2 давление достигает заранее принятого значения P_2 , отсчёт времени прекращается. В результате определяется значение интервала времени $t_2 - t_1 = \tau_a$ истечения анализируемого газа через диафрагму. Аналогичным образом осуществляется измерение интервала времени истечения осушённого воздуха τ_e между этими же двумя заранее принятыми значениями давлений P_1 и P_2 . По результатам измерения интервалов времени τ_a и τ_e осуществляется определение относительной плотности анализируемого газа по воздуху.



1 – измерительная камера; 2, 3 – вентили; 4 – миниатюрная диафрагма (турбулентный дроссель); 5 – пневмотумблер; 6 – устройство для сжатия газа; 7 – датчик давления; 8 – устройство отсчёта времени

Рисунок 1. Обобщённая схема эффузионного анализатора плотности газов

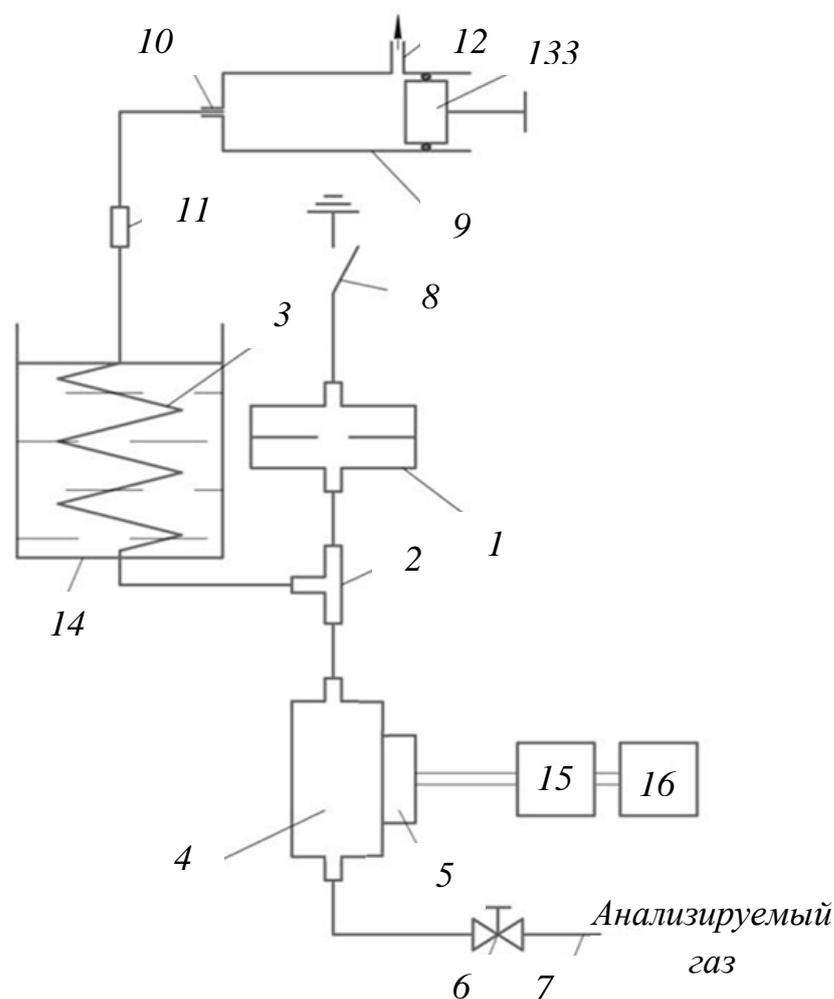
Установлено, что зависимость между отношением времён истечения анализируемого и эталонного газов (осушенного воздуха) τ_a и τ_b и отношением их плотностей при нестационарных условиях истечения имеет сложный нелинейный характер. Однако, при условии стабилизации температур анализируемого и эталонного газов во время истечения (обеспечивается размещением камеры для сжатия газа в ёмкости с охлаждающей жидкостью) и равенстве коэффициентов расхода диафрагмы для эталонного и анализируемого газов (за счёт тщательного подбора и изготовления диафрагмы), описание работы эффузионного анализатора плотности газов с убывающим давлением истечения упрощается до известного [3] для стандартных эффузиометров выражения:

$$\rho_{на} = \rho_{нс} \frac{\tau_a}{\tau_b}. \quad (1)$$

Известен ряд реализаций эффузионных анализаторов плотности газов с убывающим давлением. Так, в работах [2, 3] описан анализатор с ртутным

манометром и с электроконтактным манометром. В работе [3] обоснована возможность для определения начального и конечного давлений истечения использовать современные пьезорезистивные датчики давления, имеющие достаточно высокий класс точности, и описана возможность обработки сигнала датчика давления с помощью компьютера.

Схема анализатора, реализующего такую возможность, представлена на рисунке 2.



1 – миниатюрная диафрагма; 2 – тройник; 3 – камера для сжатия анализируемого газа; 4 – измерительная камера датчика давления; 5 – датчик давления; 6 – вентиль; 7 – линия анализируемого газа; 8 – пневмотумблер; 9 – шприц; 10 – выходной канал шприца; 11 – входной канал камеры для сжатия анализируемого газа; 12 – штуцер; 13 – поршень; 14 – ёмкость с охлаждающей жидкостью; 15 – АЦП (аналого-цифровой преобразователь); 16 – ПК (компьютер)

Рисунок 2. Схема эффузионного анализатора плотности газов с убывающим давлением истечения

Данный анализатор плотности содержит миниатюрную диафрагму, связанную через тройник с камерой для сжатия газов, размещённой в ёмкости с охлаждающей жидкостью, и выходом измерительной камеры пьезорезистивного датчика давления. Входной штуцер измерительной камеры датчика давления соединён через вентиль с линией анализируемого газа. Анализатор содержит также пневмотумблер, подключённый к выходу миниатюрной диафрагмы, устройство для сжатия газов (например шприц), выходной канал которого соединён с входным каналом камеры для сжатия газов, а корпус устройства для сжатия газов снабжён штуцером, местоположение которого обеспечивает возможность образования из устройства для сжатия газов проточной камеры, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и компьютер (ПК).

Анализатор плотности газов работает следующим образом. После включения в работу пьезорезистивного преобразователя выход миниатюрной диафрагмы с помощью пневмотумблера соединяют с атмосферой. При этом поршень шприца устанавливается в крайнее правое положение (позиция 13 на рисунке 2). Далее открывается вентиль и начинается промывка анализируемым газом измерительной камеры датчика давления, камеры для сжатия газов и шприца, а также миниатюрной диафрагмы. Промывка длится 1,0–1,5 мин. Затем с помощью пневмотумблера миниатюрная диафрагма отключается от атмосферы. На этом заканчивается режим работы анализатора «Подготовка».

После перемещения поршня шприца влево (см. рисунок 2) газ сжимается до некоторого давления, и его температура несколько увеличивается. Через некоторый промежуток времени, когда температура газа принимает постоянное значение, например, равное температуре охлаждающей жидкости, в измерительной камере датчика давления и камере для сжатия газов устанавливается постоянное давление. Затем с помощью пневмотумблера миниатюрная диафрагма сообщается с атмосферой, и анализируемый газ начинает истекать через эту диафрагму в

атмосферу (режим работы «Анализ»). При этом давление, а следовательно, и электрический сигнал датчика давления начинают постепенно уменьшаться. Сигнал с датчика давления после предварительного усиления поступает на вход АЦП. После преобразования в АЦП сигнал с его выхода передаётся на компьютер. По окончании истечения газа данные о его давлении в определённые моменты времени в процессе истечения сохраняются для дальнейшей обработки и расчёта плотности.

Далее все описанные операции повторяются для эталонного газа – осушенного воздуха.

Для повышения точности измерения в пределах одного анализа определяется ряд значений времён истечения анализируемого газа $\tau_{a1}, \tau_{a2}, \dots, \tau_{ai}$ и осушенного воздуха $\tau_{в1}, \tau_{в2}, \dots, \tau_{ви}$, соответствующих нескольким разностям минимального и максимального давлений в измерительной камере датчика давления: P_{11} и P_{21}, P_{12} и P_{22}, \dots, P_{1i} и P_{2i} . Пример выбора минимальных и максимальных давлений в измерительной камере датчика давления приведён на рисунке 3.

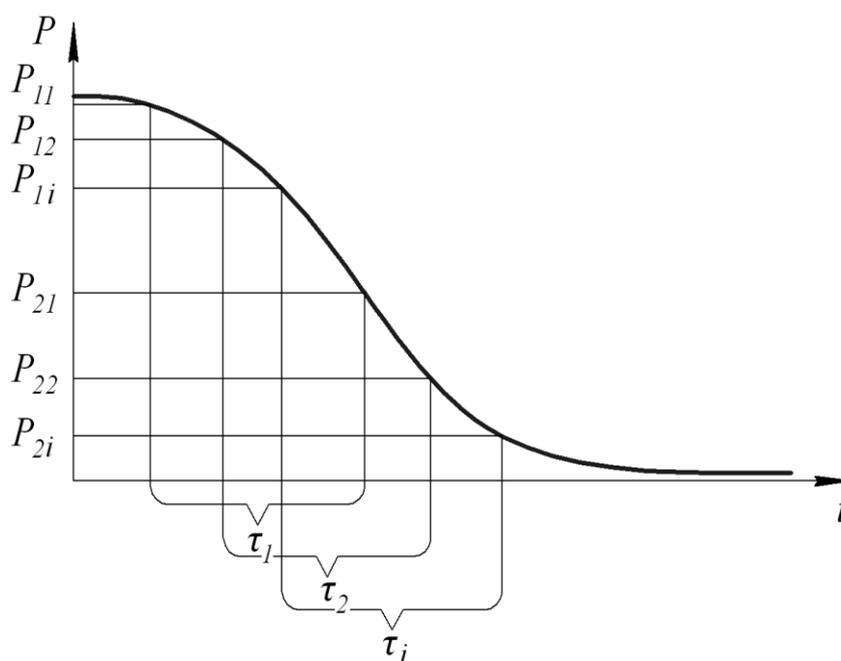


Рисунок 3. Примеры выбора начального и конечного давлений для измерения плотности газов методом эффузионного детектирования

На основании данных, содержащих сведения о зависимости давления в измерительной камере от времени в процессе истечения анализируемого и эталонного газов формуле (1), ведётся дальнейший расчёт плотности анализируемого газа по последовательно для всех выбранных разностей минимального и максимального давлений в измерительной камере датчика давления. При этом получают ряд значений плотности анализируемого газа $\rho_{na1}, \rho_{na2}, \dots, \rho_{nai}$:

$$\rho_{na1} = \rho_{не} \cdot \left(\frac{\tau_{a1}}{\tau_{e1}} \right)^2, \quad \rho_{na2} = \rho_{не} \cdot \left(\frac{\tau_{a2}}{\tau_{e2}} \right)^2, \quad \rho_{nai} = \rho_{не} \cdot \left(\frac{\tau_{ai}}{\tau_{ei}} \right)^2, \quad (2)$$

где $\rho_{na1}, \rho_{na2}, \rho_{nai}$ – плотности анализируемого газа в нормальных условиях, соответствующие разностям минимального и максимального давлений в измерительной камере датчика давления P_{11} и P_{21}, P_{12} и P_{22}, P_{1i} и P_{2i} ;

$\rho_{не}$ – плотность эталонного газа в нормальных условиях;

$\tau_{a1}, \tau_{a2}, \tau_{ai}$ – интервалы времени истечения анализируемого газа, соответствующие разностям минимального и максимального давлений в измерительной камере датчика давления P_{11} и P_{21}, P_{12} и P_{22}, P_{1i} и P_{2i} ;

$\tau_{e1}, \tau_{e2}, \tau_{ei}$ – интервалы времени истечения осушенного воздуха, соответствующие разностям минимального и максимального давлений в измерительной камере датчика давления P_{11} и P_{21}, P_{12} и P_{22}, P_{1i} и P_{2i} ;

Результирующее значение плотности $\tilde{\rho}_{na}$ рассчитывается как среднее арифметическое всех полученных значений плотности:

$$\tilde{\rho}_{na} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{nai}. \quad (3)$$

Результаты экспериментальных исследований разработанного компьютерного эффузионного анализатора плотности газов с убывающим давлением истечения свидетельствуют о том, что он способен обеспечить измерение плотности газов с относительной погрешностью $\pm 0,2-0,5$ % при времени измерения, не превышающем 10–15 мин, причём имеется возможность дальнейшего повышения точности измерения путём

использования более совершенной элементной базы (более точных пьезорезистивных преобразователей и АЦП более высокой разрядности), чем та, которая использовалась в процессе проведения испытаний.

Вывод

Такой анализатор не нуждается в специальной калибровке, так как измерение плотности им осуществляется относительно плотности осушенного воздуха, причём измерение осуществляется в полуавтоматическом режиме, что позволяет существенно упростить и ускорить процесс анализа.

Список используемых источников

1. Кивилис С.С. Плотномеры. М.: Энергия, 1980. 280 с.
2. Пат. 44388 РФ, МПК G 01 N 9/32. Анализатор плотности газов / Л.В. Илясов, А.В. Буянов. 2004131298/22, Заявлено 27.10.2004; Опубл.10.03.2005. Бюл. № 7.
3. Жигулин С.Ю., Илясов Л.В. Тенденции развития эффузионного лабораторного контроля плотности газов // Вестник Тверского государственного технического университета. 2014. № 1 (25). С. 87-92.

References

1. Kivilis S.S. *Plotnometry* [Density Meter]. Moscow, Energy Publ., 1980. 280 p. [in Russian].
2. Ilyasov L.V., Buyanov A.V.. *Analizator plotnosti gazov* [Gas density analyzer]. Patent RF, No. 44388, 2005. [in Russian].
3. Zhigulin S.Yu., Ilyasov L.V. *Tendentsii razvitiya effuzionnogo laboratornogo kontrolya plotnosti gazov* [Trends in the Development of Effusion Laboratory Control of Gas Density]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Tver State Technical University*, 2014, No. 1 (25), pp. 87-92. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Митягин Валерий Александрович, доктор технических наук, профессор, Ученый секретарь АО «ВНИИ НП», г. Москва, Российская Федерация

Valerij A. Mityagin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Scientific Secretary of JSC «VNIINP», Moscow, Russian Federation

e-mail: mityaginva@vniinp.ru

Жигулин Станислав Юрьевич, научный сотрудник кафедры «Автоматизация технологических процессов», Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Российская Федерация

Stanislav Yu. Zhigulin, researcher of Automation of Technological Processes Department, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

Илясов Леонид Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация технологических процессов», Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Российская Федерация

Leonid V. Ilyasov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Automation of Technological Processes Department, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation