

УДК 681.121.84

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ГАЗА

Даев Ж.А.¹, Латышев Л.Н.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет, г.Уфа
e-mail: ¹zhand@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы построения информационно-измерительных систем измерения больших потоков газа. Предлагается структура системы, которая обеспечивает инвариантность относительно многих возмущений в процессе измерения расхода и количества газа. Исследована чувствительность измерительных каналов системы измерения расхода, и даны рекомендации по выбору преобразователя перепада давления.

Ключевые слова: измерения, расход газа, перепад давления, чувствительность, ИИС

В газовой промышленности одной из важных задач на производстве является измерение и учет количества транспортируемого природного и нефтяного попутного газов. Одним из самых распространенных методов измерения расхода и количества газа является метод переменного перепада давления. Данные расходомеры надежны, потому что у них простая конструкция; с их помощью можно измерять практически любой расход, а самое главное достоинство – они не требуют поверочных образцовых установок.

Тем не менее, и эти расходомеры не лишены недостатков. Точность измерения расхода и правильная работа расходомера зависит от так называемого коэффициента истечения, который представляет собой отношение действительного значения расхода к теоретическому значению. При действии различных возмущающих воздействий данный коэффициент меняет свое значение во время эксплуатации и приводит к увеличению погрешности измерения расхода. Возмущающими воздействиями, которые влияют на значение коэффициента истечения, являются: изменение геометрических размеров диафрагмы, вызванные гидроударами в трубопроводе; неизбежное притупление входной острой кромки; шероховатость измерительного трубопровода; расстояния между местными сопротивлениями в измерительном трубопроводе и т.д.

Уравнение расхода для расходомеров с сужающими устройствами [1] выглядит следующим образом:

$$Q = CE\varepsilon F_0 \sqrt{2 \Delta p / \rho},$$

где ε – коэффициент расширения, учитывающий увеличение удельного объема

для газа; $F_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ – площадь отверстия сужающего устройства; ρ – плотность;

Δp – перепад, создаваемый сужающим устройством; $E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$ – коэффициент скорости входа, учитывающий влияние начальной скорости потока на образование коэффициента расхода α ; C – коэффициент истечения. Произведение $C \cdot E = \alpha$ называют коэффициентом расхода.

В работах [2, 3] предложена инвариантная информационно-измерительная система (ИИС) измерения расхода и количества газа, которая исключает коэффициент истечения из уравнения расхода и позволяет увеличить точность измерения расхода газа. Структура системы представлена на рис. 1.

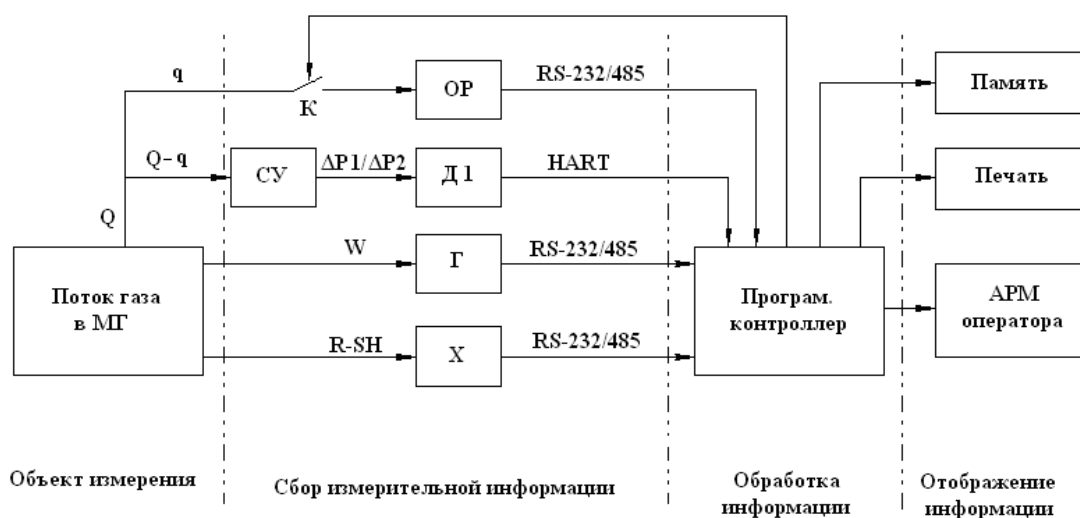


Рис. 1. Структура информационно-измерительной системы измерения расхода газа

В состав инвариантной ИИС входит измерительный трубопровод, в котором устанавливается сужающее устройство СУ. Перепад давления на сужающем устройстве измеряется датчиком перепада давления Д1. Также в системе имеется байпас малого диаметра, на котором установлен образцовый расходомер ОР. Процесс измерения состоит из двух тактов. В первом такте измеряется расход газа по величине перепада давления $\Delta p1$ при закрытом кране К (К разомкнуто). Весь газ с расходом Q проходит через сужающее устройство. Во втором такте кран К открывается и часть газа q проходит через образцовый расходомер ОР. На выходе датчика перепада давления формируется величина $\Delta p2$, пропорциональная разности расходов $Q - q$.

Затем кран К закрывается, а значения величин q и Δp_2 запоминаются в программируемом контроллере, который реализует расчет расхода по следующей формуле

$$Q = \frac{q\sqrt{\Delta p_1}}{\sqrt{\Delta p_1} - \sqrt{\Delta p_2}} = \frac{q}{1 - \sqrt{\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}}} \quad (1)$$

Уравнение (1) инвариантно относительно коэффициента истечения, что позволяет не учитывать влияние возмущающих воздействий, таких как притупление входной кромки, шероховатость внутренней поверхности измерительного трубопровода, нарушение профиля потока. Образцовый расходомер подключается периодически, в интервале времени между его включениями коэффициент истечения считается постоянным. Закрытием и открытием крана К управляет программируемый контроллер. Кран автоматически открывается через определенный интервал времени. В контроллер передаются данные о содержании сероводорода и меркаптанов в природном газе. Обработанная информация также отображается в виде ежедневных рапортов и выводится на экран АРМ оператора. Отличительной особенностью данной ИИС является меньшее количество дорогостоящих элементов и отсутствие необходимости ручного ввода данных, что исключает возможность появления субъективных погрешностей оператора.

При разработке данной ИИС возникает задача выбора преобразователя перепада давления по его пределам измерений, поэтому важно знать, как распределяются скорости газа в основном и байпасном измерительных трубопроводах. Помимо распределения скоростей, важно знать чувствительность системы, т.е. исследовать вопрос влияния общего потока на выходной информативный сигнал, что позволяет найти оптимальное соотношение между диаметрами основного и байпасного трубопроводов.

Для решения первой задачи используется методика расчета, которая описана в [4]. После того как кран К на рис. 1 будет открыт, потоки в измерительных трубопроводах будут описаны следующей системой:

$$\begin{cases} Q = Q_1 + q \\ K_1 Q_1^2 = K_2 q^2, \end{cases} \quad (2)$$

где Q_1 и q – расходы в основном и байпасном трубопроводах при открытом кране, соответственно. Коэффициенты K_1 и K_2 называются коэффициентами сопротивления трубопроводов. Для турбулентного течения они определяются в общем виде следующим уравнением:

$$K = \left(\zeta + \lambda \frac{L}{D} \right) \frac{8}{\pi^2 D^4},$$

где ζ – коэффициент местных сопротивлений на трубопроводе, определяемый по [5]; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; L – длина, а D – диаметр трубопровода.

Решая систему уравнений (2), получим следующие формулы для расходов в трубопроводах:

$$\begin{cases} Q_1 = \left(1 - \frac{1 - \sqrt{\xi}}{1 - \xi}\right) Q; \\ q = \frac{1 - \sqrt{\xi}}{1 - \xi} Q, \end{cases}$$

где $\xi = \frac{K_2}{K_1}$ – отношение коэффициентов сопротивлений трубопроводов.

Зная диаметры измерительных трубопроводов, из последней системы можно легко найти скорости газа.

Структурной схеме ИИС, изображенной на рис. 1 соответствует параллельное соединение трубопроводов. При таком соединении потери давления равны между собой [4]. Поэтому скорости в основном трубопроводе и байпасе не сильно отличаются друг от друга. Сказанное поясним рис. 2, на котором изображены графики распределения скоростей. Скорости рассчитаны для диаметров $D=700$ мм и $D=300$ мм при следующих условиях: плотность газа при стандартных условиях $0,8$ кг/м³, давление в трубе $7,0$ МПа, температура газа 25 °С.

Таким образом, получив соотношение скоростей в основном и байпасном трубопроводах, можно подобрать верхний предел измерений для преобразователя давления.

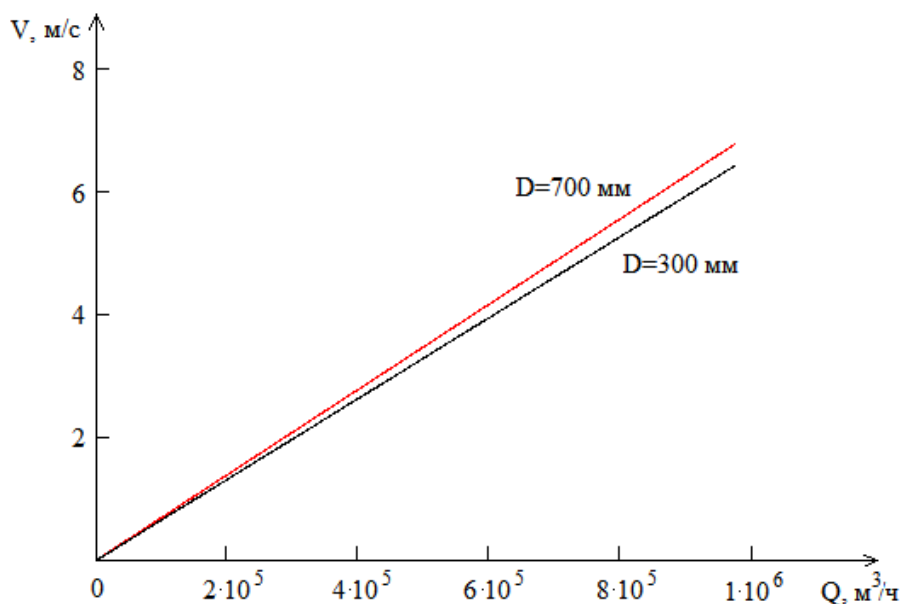


Рис. 2. Распределение скоростей в основном и байпасном измерительных трубопроводах системы

Оценка чувствительности предлагаемой системы измерения расхода и количества газа является основной задачей в рамках данной статьи. Функция преобразования системы согласно принципиальной схеме на рис. 1 будет следующей из (1):

$$y = \left(\frac{Q - q}{Q} \right)^2, \quad (3)$$

где $y = \frac{\Delta p_2}{\Delta p_1}$ – величина, которая формируется на выходе системы под воздействием протекающего потока газа.

Функция зависит от двух переменных, которые участвуют в процессе вычисления расхода газа. Как известно, под чувствительностью средства измерения понимают отношение изменения выходной величины к вызывающему его изменению входной величины. Рассчитаем и исследуем чувствительность системы как производную от функции преобразования.

Производная (3) по расходу выражается следующей формулой:

$$S_Q = 2 \left(\frac{Q - q}{Q} \right) \frac{q}{Q}. \quad (4)$$

В ряде случаев для характеристики чувствительности удобно использовать относительную чувствительность:

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x / x},$$

где Δy – изменение выходной величины, $\Delta x / x$ – относительное изменение входной величины. Относительная чувствительность для (3) будет получена умножением формулы (4) на величину Q :

$$S = 2 \left(\frac{Q - q}{Q} \right) \frac{q}{Q}. \quad (5)$$

Для наглядности приведем графики изменения абсолютной и относительной чувствительностей ИИС. Понятно, что чувствительность системы будет зависеть от величины расхода в байпасе при изменении измеряемого расхода в трубопроводе.

На рис. 3 представлен график изменения абсолютной чувствительности для различных значений величины q .

Из графика на рис. 3 видно, что абсолютная чувствительность резко меняется при изменении величины q – при увеличении расхода q увеличивается величина зоны нечувствительности ИИС.

На рис. 4 представлен график изменения относительной чувствительности.

Из графика на рис. 4 также видно, что ИИС работает эффективнее при больших расходах и при больших перепадах во время второго такта, потому что чувствительность системы увеличивается с ростом величины q .

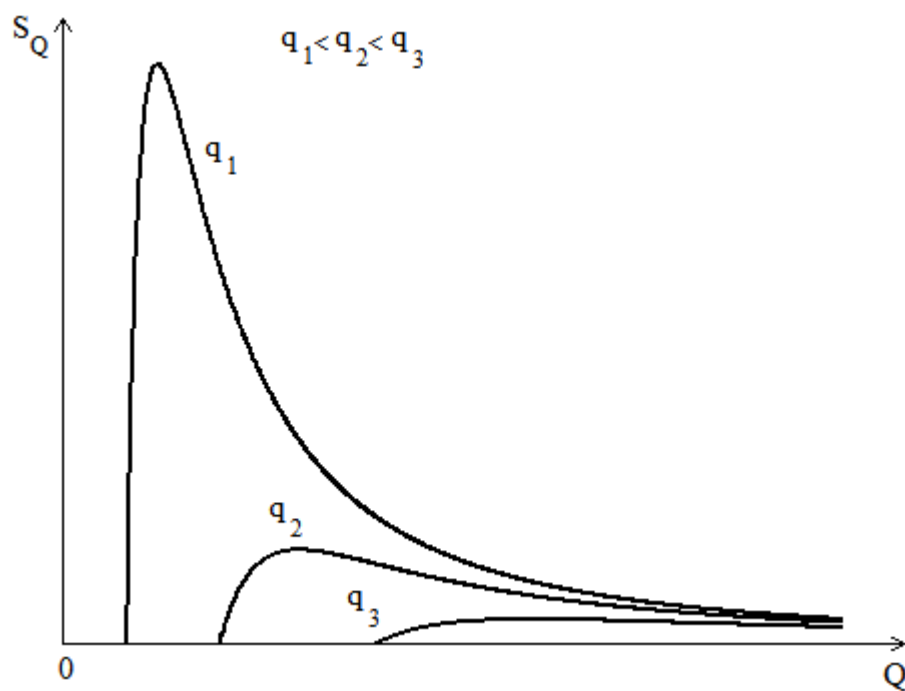


Рис. 3. График изменения абсолютной чувствительности

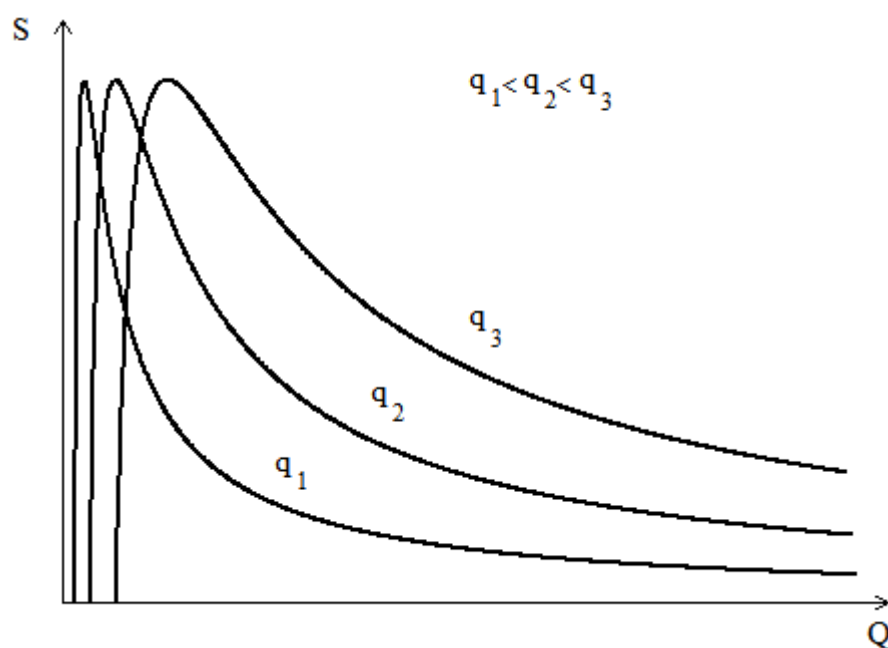


Рис. 4. График изменения относительной чувствительности

Теперь, используя полученное уравнение для относительной чувствительности, попробуем оценить оптимальное соотношение между диаметрами основного и дополнительного трубопроводов.

Учтем также тот факт, что скорости в основном и байпасном трубопроводах мало отличаются друг от друга, а разница расходов обусловлена отличием поперечных сечений. Выразим расходы основного и дополнительного трубопроводов следующими уравнениями:

$$Q_1 = v\pi D^2/4,$$

$$q = v\pi d^2/4,$$

где v – скорость в основном и дополнительном трубопроводах; D и d – диаметры трубопроводов, соответственно.

Подставляя последние два уравнения в (5) получим следующую формулу для оценки чувствительности ИИС:

$$S = 2 \left(1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right) \left(\frac{d}{D} \right)^2. \quad (6)$$

Построим график изменения чувствительности по уравнению (6).

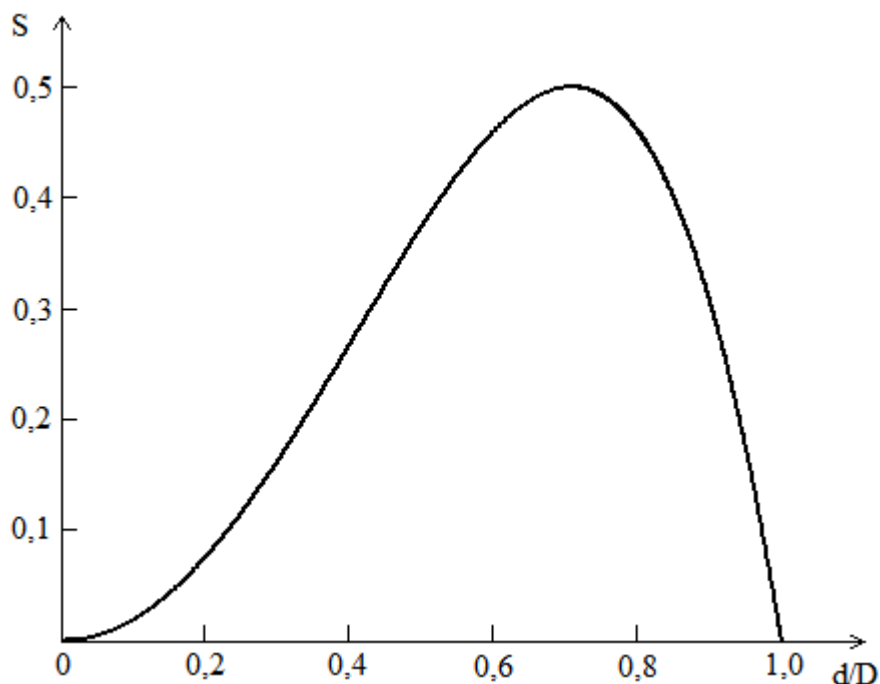


Рис. 5. График изменения чувствительности для различных отношений диаметров основного и байпасного трубопроводов

Из графика на рис. 5 можно определить оптимальную чувствительность ИИС, которую можно выбирать из условия, что отношение диаметров должно быть $\frac{d}{D} \rightarrow 0,75$. Также следует заметить, что чем меньше отношение и больше давление, тем меньше отличаются скорости в измерительных трубопроводах.

Заключение

В статье представлен вариант инвариантной информационно-измерительной системы измерения расхода и количества газа. Дан анализ чувствительности ИИС, свидетельствующий об эффективности применения системы для измерения расходов на газопроводах с большим диаметром и при больших значениях расхода газа. Найдено оптимальное соотношение диаметров основного и байпасного измерительных участков трубопровода.

Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. СПб.: Политехника, 2002. 410 с.
2. Латышев Л.Н., Даев Ж.А. Метод повышения точности измерения расхода газа // Датчики и системы. 2010. № 1. С. 31 - 34.
3. Латышев Л.Н., Даев Ж.А. Система измерения расхода газа, исключая влияние коэффициента истечения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2010. № 9. С. 55 - 60.
4. Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. М.: Машиностроение, 1982. 422 с.
5. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.

RESEARCH THE SENSITIVITY OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEM FOR GAS FLOW MEASUREMENT

Zh.A. Dayev¹, L.N. Latyshev

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

e-mail: ¹zhand@yandex.ru

Abstract. *This paper describes the construction of information and measuring system for measuring large flows of gas. Proposed a structure of system that ensures invariance with respect to many disturbances in the flow and amount of gas. The sensitivity of measuring channels of metering, and offers advice on selecting differential pressure transducer.*

Keywords: *measurement, gas flow, differential pressure, sensitivity, MIS*

References

1. Kremlevskii P.P. Raskhodometry i schetchiki kolichestva veshchestv (Flowmeters and quantity meters) Spb., Politehnika, 2002. 410 p.
2. Latyshev L.N., Daev Zh.A. Metod povysheniya tochnosti izmereniya raskhoda gaza (Methods for improvement of accuracy of measurement for gas flowrate), *Datchiki i sistemy – Sensors and Systems*, 2010, Issue 1, pp. 31 - 34.
3. Latyshev L.N., Daev Zh.A. Sistema izmereniya raskhoda gaza, isklyuchayushchaya vliyanie koeffitsienta istechniya (Flow measurement system of gas excepting influence of rate of expiration), *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika – Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics*, 2010, Issue 9, pp. 55 - 60.
4. Bashta T.M., Rudnev S.S., Nekrasov B.B. i dr. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody (Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives). Moscow, Mashinostroenie, 1982. 422 p.
5. Idelchik I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam (Handbook of hydraulic resistance). Moscow, Mashinostroenie, 1992. 672 p.