

На правах рукописи

ДАЕВ Жанат Арикулович

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА
И КОЛИЧЕСТВА ГАЗА**

**Специальность 05.11.16 –
Информационно-измерительные и управляющие системы
(в промышленности и медицине)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

УФА 2011

Работа выполнена в Уфимском государственном нефтяном техническом университете на кафедре автоматизации технологических процессов и производств.

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Коловертнов Геннадий Юрьевич,
доцент кафедры автоматизации
технологических процессов и производств
Уфимского государственного нефтяного
технического университета

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Федоров Вячеслав Николаевич,
начальник отдела гидродинамических
исследований скважин АО «БашНИПИнефть»

кандидат технических наук, доцент
Гулин Артур Игоревич, доцент кафедры
телекоммуникационных систем
Уфимского государственного авиационного
технического университета

Ведущее предприятие: Российский государственный университет
нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва

Защита состоится «__» февраля 2011 г. в 10⁰⁰ часов на заседании
диссертационного совета Д-212.288.02 при Уфимском государственном
авиационном техническом университете по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К.
Маркса, 12.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке УГАТУ

Автореферат разослан «__» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

Фетисов В.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Роль расходомеров в современном мире очень высока в связи с тем, что задача контроля расхода сводится к задаче максимальной экономии энергетических и водных ресурсов многих стран мира, учитывая то, что последние дорожают с каждым днем и увеличивается масштаб потребления.

Существует огромное количество приборов для измерения расхода и количества веществ, различающихся принципами действия и методами измерений. При выборе средства измерения расхода и его количества исходят из свойств измеряемого вещества, его параметров и требований к точности измерения.

В газовой промышленности измерение расхода сводится к задаче так называемого учета газа, особенно коммерческого учета количества газа. Целью данной задачи является определение объемов природного газа, проходящего через участники системы газораспределения для проведения взаимных расчетов.

Главными вопросами учета природного газа являются достоверность учета и обеспечение совпадения результатов измерения на узлах учета поставщика и потребителей: приведенный к стандартным условиям объем газа, отпущенный поставщиком, должен быть равен сумме приведенных к стандартным условиям объемов газа, полученных всеми потребителями. Измерение расхода и количества газа обеспечивается информационно-измерительными системами, которые выполняют операции вычисления расхода, интегрирование и приведение количества газа к стандартным условиям. Повышение достоверности результатов измерения расхода газа и исключение споров между поставщиком и потребителем является важной задачей, которая требует совершенствования методов измерения расхода и количества газа.

Большое количество методов и методик применяются для малых диаметров трубопроводов. Диаметры трубопроводов до 300 мм условно можно считать малыми, а больше 300 мм большими. Данная работа посвящена повышению точности измерения расхода и коммерческого учета природного газа на магистральных газопроводах большого диаметра. Не все методы измерения являются методами коммерческого учета количества газа. На сегодняшний день самым распространенным методом коммерческого учета больших расходов природного газа является метод переменного перепада давления (Кремлевский П.П., Пистун Е.П., Алви С.Х., Кивилис С.С., Личко А.А. и др.). Данный метод измерения расхода газа реализуется в информационно-измерительных системах многих компаний. Методика расчета расхода и определение неопределенности (погрешности) измерения расхода нормируется ГОСТ 8.586.1-5-2005 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств». В качестве

преобразователей расходомеров в данном методе используются сужающие устройства. Наиболее распространённым первичным преобразователем расхода является сужающее устройство типа стандартной диафрагмы. Объясняется этот факт, прежде всего простотой конструкции данного типа преобразователя, детальной проработкой методики выполнения измерений и поверки. Большое количество различных методов измерения расхода не смогли вытеснить с рынка расходомеров приборы со стандартными диафрагмами, хотя последние обладают целым рядом недостатков, наиболее существенными из которых являются: большие погрешности измерения (до 10% и более за пределами динамического диапазона); небольшой динамический диапазон (от 3 до 10); значительные потери давления из-за дросселирования потока рабочей среды; уменьшение пропускной способности трубопровода из-за сужения измерительного участка; неизбежное нарушение геометрии, вызванное притуплением входной острой кромки и др.

Таким образом, актуальными и важными являются задачи выявления и устранения причин возникновения погрешностей расходомеров переменного перепада давления, повышение точности информационно-измерительных систем измерения расхода и количества газа.

Целью настоящей работы является повышение точности систем измерения расхода газа за счет уменьшения влияния основных возмущающих воздействий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Провести анализ существующих систем измерения расхода газа на узлах измерения расхода и количества газа магистральных газопроводов и влияния возмущающих воздействий.
2. Разработать информационно-измерительные системы измерения расхода и количества газа, которые менее подвержены влиянию основных возмущающих воздействий.
3. Разработать методику инженерного проектирования износостойчивых первичных преобразователей для информационно-измерительных систем измерения расхода и количества газа.
4. Исследовать применимость расширяющих устройств в качестве первичных преобразователей информационно-измерительных систем измерения расхода и количества газа. Разработать математическую модель коэффициентов истечения.
5. Провести экспериментальные исследования информационно-измерительной системы измерения расхода и количества газа, внедрить полученные результаты в производство.

Методы исследований.

Полученные автором результаты базируются на методах гидродинамики, тестовых методах повышения точности измерений и методах теории

инвариантности в измерительной технике и подтверждены испытаниями на действующих технологических объектах. Исследование погрешностей измерения расхода ИИС проводилось с помощью пакетов MathCad v.11 и Mathematica v. 5.2.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Инвариантные информационно-измерительные системы измерения расхода и количества газа, которые уменьшают влияние коэффициента истечения на измерение расхода газа.
2. Методика инженерного проектирования износостойчивых первичных преобразователей расхода.
3. Расширяющие устройства как преобразователи инвариантной информационно-измерительной системы измерения расхода газа и количества газа. Математические модели коэффициентов истечения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложены новые структуры информационно-измерительных систем измерения больших расходов газа, позволяющие уменьшить погрешность измерения расхода за счет уменьшения влияния коэффициента истечения. На основе теории инвариантности предложены структуры информационно-измерительных систем измерения расхода газа, уменьшающие влияние изменения коэффициента истечения сужающих устройств.

2. Разработана методика инженерного проектирования износостойчивых диафрагм, отличающихся тем, что входная кромка сделана из стекла и менее подвержена эффекту притупления, что увеличивает средний срок эксплуатации диафрагм на 5 – 6 лет.

3. На основании проведенных исследований характеристик расходомеров переменного перепада давления с расширяющими устройствами установлено, что данные устройства могут применяться в качестве первичных преобразователей информационно-измерительных систем измерения расхода и количества газа. Получены математические модели коэффициентов истечения.

Практическая ценность и внедрение результатов работы.

1. Информационно-измерительные системы измерения расхода и количества газа, позволяющие уменьшить влияние неконтролируемых возмущений путем исключения коэффициента истечения из алгоритма вычисления расхода газа.

2. Методика инженерного проектирования износостойчивых первичных преобразователей расхода газа.

3. Расширяющие устройства, представляющие собой преобразователи расхода газа с устойчивыми коэффициентами истечения, которые имеют преимущества перед расходомерами с сужающими устройствами:

- более стабильные и близкие к единице значения коэффициентов истечения;

- возможность пропускать очистные устройства через узлы замера расхода газа;
- отсутствие погрешности от эффекта притупления входной кромки, искажающего значение коэффициента истечения;
- уменьшение потерь давления в измерительном трубопроводе.

4. Разработанные устройства первичного преобразователя расхода и система измерения расхода внедрены и применяются на узлах учета топливного газа компрессорных станций АО «Интергаз Центральная Азия».

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

- 57-ая научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (Уфа, УГНТУ, 2006);
- Всероссийская научно-техническая конференция «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий» (Уфа, УГНТУ, 2007).

Публикации.

По результатам научных исследований опубликовано 10 печатных работ, из них 8 статей в изданиях из перечня ВАК и 2 публикации в материалах конференций.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 163 страницы, в том числе 16 таблиц, 69 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, дана общая характеристика проделанной работы.

В первой главе представлен анализ расходомеров, применяемых для коммерческого измерения расхода и количества газа, приводится обзор работ в области повышения точности расходомеров переменного перепада давления. Анализируются основные параметры и характеристики расходомеров переменного перепада давления, а также рассматриваются основные факторы, влияющие на точность измерения.

Делается сравнительный анализ расходомеров переменного перепада давления, тахометрических и ультразвуковых расходомеров. Проведенный обзор метрологических и эксплуатационных характеристик тахометрических и ультразвуковых расходомеров показал, что данные средства измерения обладают наименьшими пределами основных погрешностей только при сравнительно малых расходах, на которых возможна их поверка.

Рассмотрены требования, предъявляемые к узлам учета расхода и количества газа. Показано, что расходомеры, применяемые при коммерческом контроле расхода газа и его количества, не отвечают всем требованиям одновременно. Этим обосновывается необходимость разработки систем измерения расхода, которые удовлетворяли бы одновременно многим требованиям.

На коэффициент истечения диафрагмы влияет постоянство геометрических размеров диафрагмы и развитость профиля потока. Последние условия невозможно контролировать в процессе измерения расхода. К примеру, на рисунке 1 показана диафрагма с неплоским входным торцом, который вызван гидроударом.



Рисунок 1 – Диафрагма с неплоским входным торцом, вызванным гидроударом

Также показано, что основными факторами, влияющими на точность измерения расхода, являются закругление входной кромки диафрагмы и влияние шероховатости внутренней поверхности измерительного трубопровода. Данные параметры являются источниками основных погрешностей, которые приводят к искажению коэффициента истечения расходомеров. В процессе эксплуатации текущие значения коэффициента истечения отличаются от исходных из-за влияющих факторов (возмущений). Учесть количественно все возмущения невозможно, они не входят в уравнение коэффициента истечения как переменные.

Во второй главе предложены информационно-измерительные системы измерения расхода газа, которые уменьшают влияние коэффициента истечения диафрагмы на процесс измерения расхода газа, основанные на применении положений тестовых методов повышения точности средств измерений и на теории инвариантности в измерительной технике.

Тестовый метод повышения точности реализован в информационно-измерительной системе измерения расхода газа, представленной на рисунке 2.

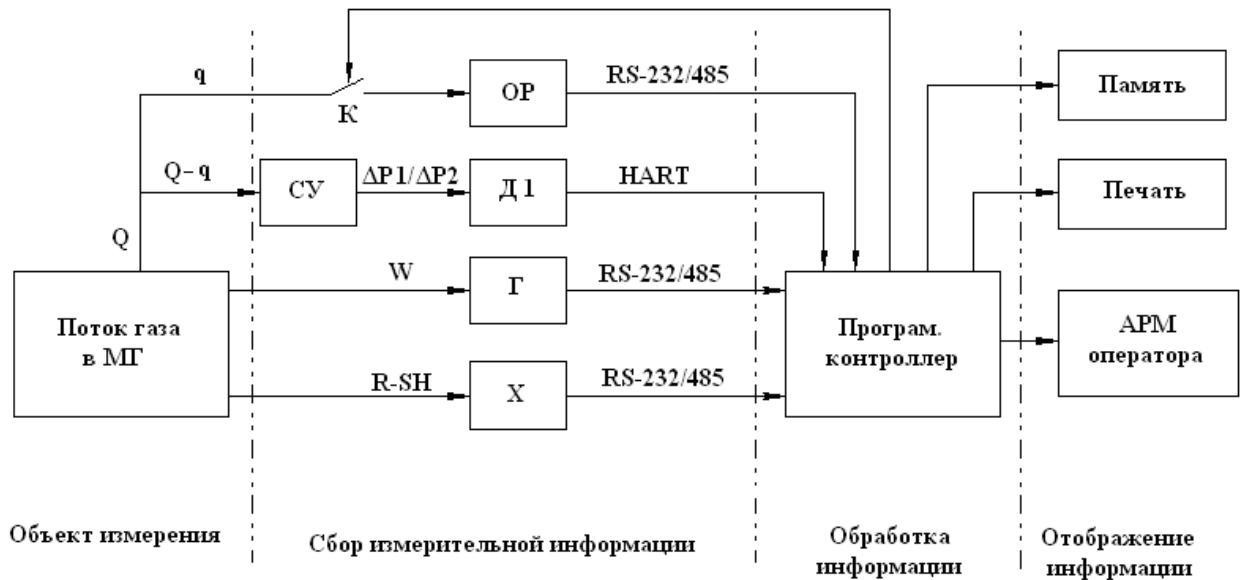


Рисунок 2 – Структура информационно-измерительной системы измерения расхода газа (тестовый метод измерения)

Инвариантная ИИС измерения расхода газа состоит из измерительного трубопровода, в котором установлено сужающее устройство СУ. Перепад давления на сужающем устройстве измеряется датчиком перепада давления Д1. Процесс измерения состоит из двух тактов. В первом такте измеряется расход газа по величине перепада давления Δp_1 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 Δp_2 , 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 с хроматографа X о содержании сероводорода и меркаптанов (R-SH) в природном газе. Информация о влажности газа W поступает в контроллер с гигрометра Г.

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 личных погрешностей оператора.

Во втором варианте системы образцовый расходомер постоянно включен параллельно основному. Применение принципа многоканальности теории инвариантности позволяет получать непрерывную информацию о расходе, которая инвариантна относительно коэффициента истечения.

Работу системы поясняет схема на рисунке 3. В систему входят два измерительных трубопровода равного диаметра, которые включены последовательно. Один из них имеет байпас малого диаметра, на котором установлен образцовый расходомер ОР. Сужающие устройства, установленные в измерительных трубопроводах, должны иметь одинаковые параметры.

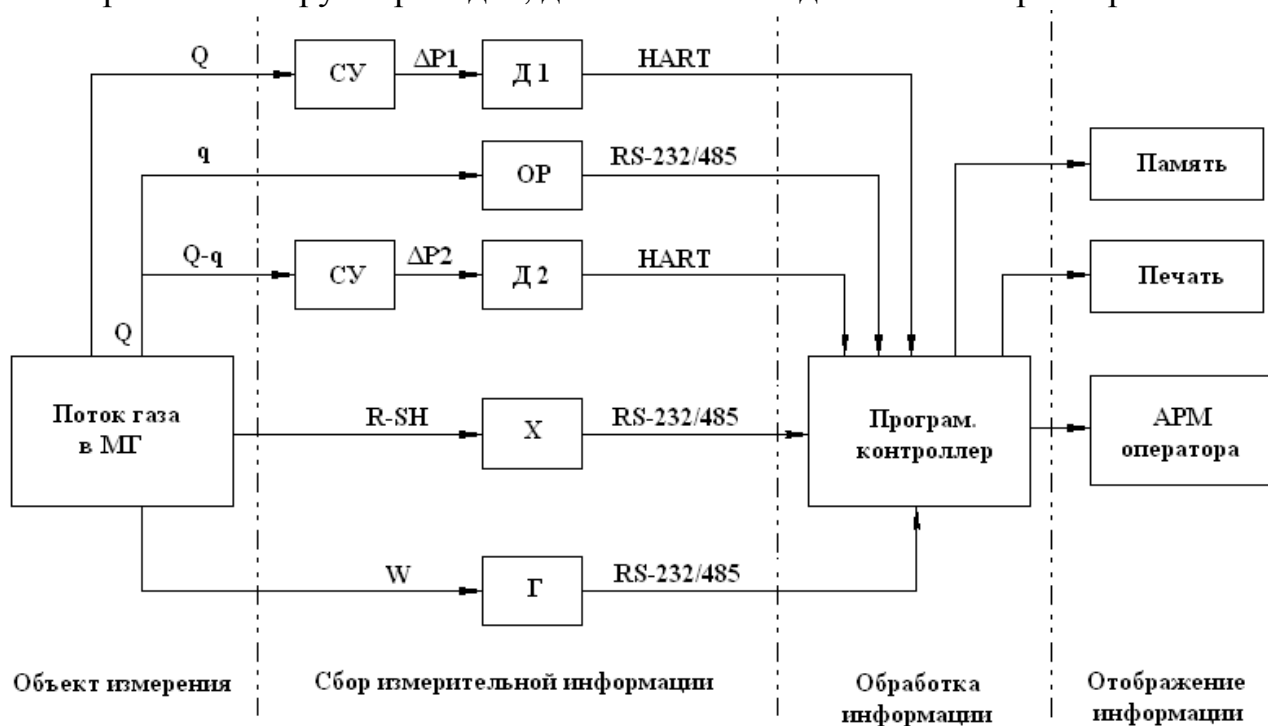


Рисунок 3 – Инвариантная структура информационно-измерительной системы измерения расхода газа

Перепады давления Δp_1 и Δp_2 на сужающих устройствах пропорциональны расходам газа Q и $Q - q$, где q расход газа через образцовый расходомер. Информация с преобразователей поступает на входы контроллера, который реализует расчет расхода в соответствии с уравнением (1). Инвариантность относительно коэффициента истечения достигается за счет того, что этот коэффициент становится постоянным (точнее,

асимптотически стремится к постоянному значению) с ростом числа Рейнольдса при любых значениях относительного диаметра.

Учитывая то, что проведение товаро-учетных операций связано с количеством газа в контроллере организован расчет количества прошедшего газа:

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt, \quad (2)$$

где Q – расход, который вычисляется по (1), t_1 , t_2 – время начала и конца измерений. Для приведения его к стандартным условиям система снабжается датчиками давления и температуры.

Выявлено, что начальная погрешность системы измерения определяется погрешностью расходомера, установленного на байпасе. Установлено, что установка расходомеров высокого класса точности обеспечивает более высокую точность общего расхода, проходящего через систему. Применение образцовых расходомеров с основной погрешностью 0,15% показало, что погрешность измерения общего расхода системы не превышает 0,165% в широком диапазоне расхода.

В третьей главе изучены причины возникновения процесса закругления входной кромки диафрагмы, приводится методика инженерного проектирования износоустойчивых диафрагм. Сделан анализ и прогноз, позволяющий конструировать диафрагмы, которые менее подвержены закруглению входной кромки. Изложены конструктивные особенности износоустойчивых диафрагм. Приведены результаты экспериментального исследования. Также рассматриваются вопросы применения расширяющих устройств в качестве первичных преобразователей расхода.

Износоустойчивые диафрагмы могут применяться в качестве сужающих устройств образцовых расходомеров переменного перепада давления предложенной системы измерения расхода. В ходе экспериментальных исследований установлено, что процесс закругления зависит от твердости материалов, которые применяются для изготовления диафрагм.

Для подтверждения справедливости последнего высказывания был проделан эксперимент, сущность которого заключалась в испытании диафрагмы из мягкой стали (СТ3) под действием потока газа. Мягкая сталь выбрана для ускорения процесса закругления входной кромки диафрагмы.

Исследование радиуса закругления диафрагмы из мягкого материала (стали СТ3) показало, что ее радиус закругления описывается следующим уравнением:

$$r_k = r_n + \Delta r \left(1 - e^{-\frac{t}{2T}} \right), \quad (3)$$

где r_n – начальный радиус закругления; Δr – разность между предельным и начальным радиусами закругления для стали СТЗ, которая равна 0,25 мм; t – время эксплуатации диафрагмы; T – межповерочный интервал.

Для нержавеющей стали аналогичные исследования проводились Кремлевским П.П., Алланиязовым Х.А. и Мунировым Ю.М.

Радиус закругления для нержавеющей стали выражается следующим уравнением:

$$r_k = 0,03 + 0,165(1 - e^{-\frac{t}{3T}}),$$

где разность между предельным и начальным радиусами закругления равна 0,165 мм; а начальный радиус закругления равен 0,03 мм.

Проведенные исследования подтверждают зависимость радиуса закругления от твердости материала диафрагмы.

Для того, чтобы уменьшить погрешность от притупления входной кромки диафрагмы, предлагается применять диафрагмы из стекла. Если остеклить цилиндрическую часть диафрагмы или изготовить диафрагму с цилиндрической частью из стекла, то процесс закругления замедляется.

Радиус закругления входной кромки диафрагмы со стеклянной поверхностью цилиндрической части будет описываться следующей формулой:

$$r_k = r_n + 0,06(1 - e^{-\frac{t}{8T}}), \quad (4)$$

где разность радиусов для остекленной входной кромки равна 0,06 мм.

Зависимость радиуса закругления от времени эксплуатации для различных материалов представлена на рисунке 4.

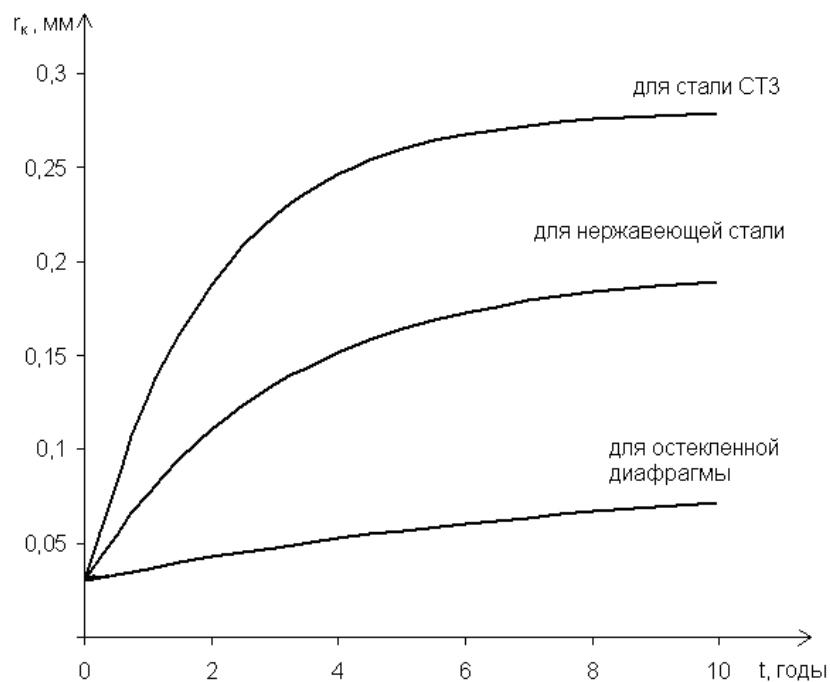


Рисунок 4 – Зависимость радиуса закругления от времени

Конструкция износостойчивой диафрагмы со стеклянной вставкой приведена на рисунке 5.

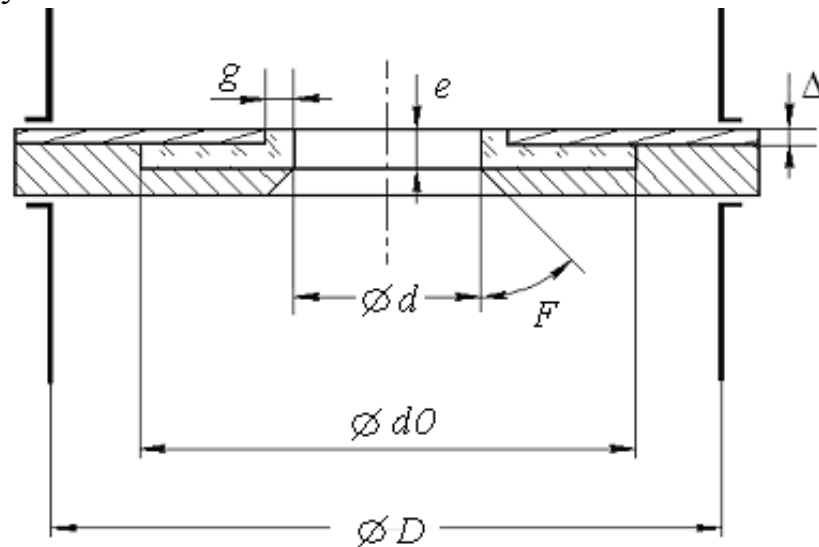


Рисунок 5 – Диафрагма со вставкой

d – внутренний диаметр; d_0 – внутренний диаметр кольца;
 D – внешний диаметр; e – толщина цилиндрической части;
 Δ – толщина входного торца; g – высота стеклянного выступа; F – угол наклона образующей конуса

Также рассматриваются вопросы использования резкого расширения русла (трубопровода) и диффузоров различной конструкции в качестве первичных преобразователей расхода. Разработка на их основе систем измерения расхода газа, которые менее подвержены влиянию возмущающих воздействий.

Данные устройства хорошо изучены как гидравлические сопротивления, но недостаточно хорошо изучены как первичные преобразователи расходомеров переменного перепада давления. В данной главе рассчитываются коэффициенты истечения и расхода, коэффициенты расширения расширяющих устройств.

Рассчитаны характеристики для резкого симметричного расширения трубы, конического, ступенчатого и криволинейного диффузоров.

Получены математические модели коэффициентов истечения для расширяющих устройств. Для конического диффузора

$$C = \sqrt{\frac{m^2 - 1}{Am^2 - (2k + 1)m + B + 1}}$$

где m – относительная площадь расширяющего устройства;
 $k = \sin \varphi$ – поправочный коэффициент; φ – угол расширения; A и B – коэффициенты, зависящие от угла расширения и коэффициента гидравлического трения.

Для криволинейного диффузора

$$C = \frac{\sqrt{m^2 - 1}}{\sqrt{m^2 - \varphi_0 \left(1,43 - \frac{1,3}{m}\right) \left(1 - \frac{1}{m}\right)^2 - 1}},$$

где φ_0 – коэффициент, зависящий от относительной длины криволинейного диффузора.

Для ступенчатого диффузора

$$C = \frac{\sqrt{m^2 - 1}}{\sqrt{m^2 - \left(\frac{\lambda}{8 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \frac{m^2 + 1}{m^2 - 1} + 3,2tg^{1,25}\left(\frac{\varphi}{2}\right) \right) \left(1 - \frac{1}{m^2}\right)^2 + \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{m}\right)^2 - 1}},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения.

Исследования применения этих устройств в качестве чувствительных элементов расходомеров показывают, что коэффициенты истечения расходомеров с данными устройствами стремятся к единице с ростом величины относительной площади, поэтому данные устройства могут применяться в широком диапазоне значений относительной площади. Расходомеры переменного перепада давления на основе расширяющих устройств можно рекомендовать в качестве образцовых расходомеров.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования инвариантной системы измерения расхода и количества газа. Погрешность измерения расхода системы была исследована путем введения преднамеренных возмущающих воздействий, которые искажали исходный коэффициент истечения сужающего устройства. Схема эксперимента представлена на рисунке 6.

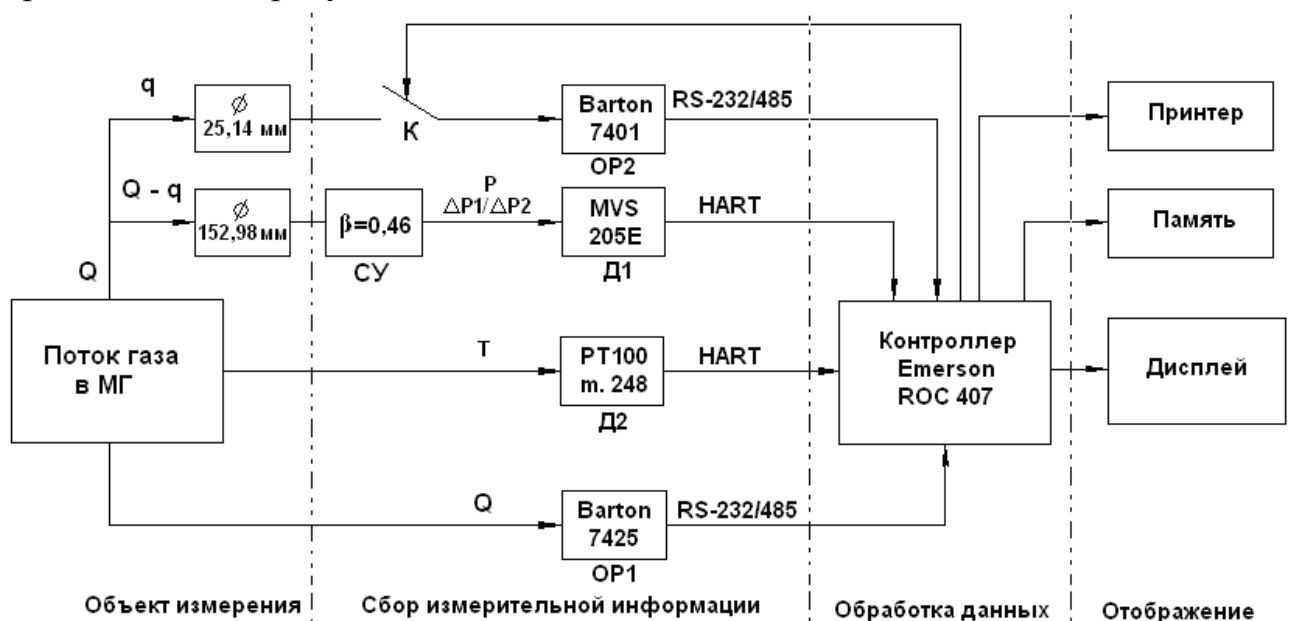


Рисунок 6 – Структура экспериментальной ИИС расхода газа

Информационно-измерительная система измерения расхода газа состоит из сужающего устройства с относительным диаметром 0,46 ($d=11,56$ мм). Сужающее устройство установлено на измерительном трубопроводе с внутренним диаметром $D=152,98$ мм. Перепад давления на сужающем устройстве, абсолютное давление в трубопроводе измерялись многопараметрическим датчиком MVS 205E, на байпасе установлен образцовый турбинный расходомер Barton 7401 (OP2). Алгоритм расчета расхода был реализован на контроллере ROC 407 компании Emerson. Результаты исследований отображаются на дисплее и выводятся на печать.

Первый этап эксперимента заключался в том, что на участке 5D измерительного трубопровода до сужающего устройства устанавливались участки труб с различными степенями шероховатости при больших значениях относительного диаметра сужающего устройства.

Второй этап эксперимента заключался в том, что в поток газа устанавливались диафрагмы с заранее притупленными входными кромками.

Работа системы контролировалась турбинным расходомером высокой точности Barton 7425 (OP1), который был установлен последовательно с инвариантной информационно-измерительной системой измерения расхода и количества газа.

В ходе эксперимента выявлено, что достигается инвариантность относительно коэффициента истечения. Погрешность от шероховатости уменьшается более чем в 4 раза, достигнув 0,05%, а погрешность от притупления входной кромки уменьшается более чем в 10 раз и достигает 0,04%.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основании проведенных в диссертационной работе исследований получены следующие основные результаты и выводы.

1. Проанализированы существующие системы измерения расхода газа на магистральных газопроводах, в результате чего установлено, что 95% узлов измерения расхода построены на основе расходомеров переменного перепада давления. Основным влияющим фактором является изменение коэффициента истечения, что приводит к погрешности, превышающей 0,5%. Коэффициент истечения зависит от остроты входной кромки диафрагмы и от формы эпюры скоростей газового потока. Также установлено, что при малых диаметрах (менее 125 мм) отверстия диафрагм в большей степени сказывается влияние радиуса закругления входной кромки, а при больших диаметрах (более 125 мм) сказывается влияние формы эпюры скоростей в измерительном трубопроводе.
2. Разработаны системы измерения расхода и количества газа, а также алгоритм их работы, обеспечивающие инвариантность расходомера к основным возмущающим воздействиям, что позволяет уменьшить влияние коэффициента истечения на погрешность измерения. Это приближает погрешность системы к погрешности применяемого рабочего эталона расхода (порядка 0,2%).

3. Предложено в качестве первичного преобразователя расхода применить расходомеры с износоустойчивой диафрагмой, цилиндрическая часть которой выполнена из стекла. Предложена методика инженерного проектирования, которая позволяет разрабатывать износоустойчивые диафрагмы из более твердых материалов. Проведенные испытания подтверждают достоверность предлагаемой методики и позволяют спрогнозировать увеличение срока эксплуатации износоустойчивой диафрагмы на 5 – 6 лет.
4. Предложено применять в качестве первичных преобразователей расхода расширяющие устройства, которые отличаются:
- малым влиянием на результат измерения коэффициента истечения;
 - малыми потерями давления в измерительном трубопроводе;
 - отсутствием влияния притупляющего действия потока на изменение геометрических размеров преобразователя.
5. В ходе экспериментальных исследований установлено, что при применении информационно-измерительной системы измерения расхода газа погрешность от шероховатости уменьшается более чем в 4 раза и составила 0,05%, а погрешность от притупления входной кромки уменьшается более чем в 10 раз и составила 0,04%.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях из перечня ВАК:

1. Даев Ж.А., Латышев Л.Н., Коловертнов Г.Ю. Еще раз об остроте входной кромки диафрагмы // Нефтегазовое дело. 2008. Том 6, №1. С. 91 – 95.
2. Латышев Л.Н., Даев Ж.А. Применение расширения русла в качестве чувствительного элемента расходомеров переменного перепада давления // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». 2009. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Daev/Daev_1.pdf (дата обращения: 20.10.2009)
3. Латышев Л.Н., Даев Ж.А. Система измерения расхода, исключая влияние коэффициента истечения // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». 2009. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Latyshev/Latyshev_2.pdf (дата обращения: 25.11.2009)
4. Даев Ж. А. Об остроте входной кромки диафрагмы для измерения расхода газа // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2009. №12. С. 29 – 30.
5. Даев Ж.А. Расходомер переменного перепада давления с расширяющим устройством // Датчики и системы. 2009. №12. С. 2 – 4.
6. Латышев Л.Н., Даев Ж.А. Метод повышения точности расхода газа // Датчики и системы. 2010. №1. С. 31 – 34.
7. Даев Ж.А. Сравнительный анализ методов и средств измерения расхода газа // Электронный журнал «Нефтегазовое дело». 2010. URL: http://www.ogbus.ru/authors/Daev/Daev_2.pdf (дата обращения: 13.03.2010)

8. 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.

В других изданиях:

9. Даев Ж. А., Латышев Л.Н. Определение среднего радиуса закругления диафрагмы вероятностным подходом //57-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник докладов. Кн. 1 Уфа: УГНТУ, 2006. 287 с.

10. Даев Ж.А. Метод определения долговечности диафрагм для измерения расхода газа // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции (Уфа, 15 – 16 ноября 2007 г.): в 2-х томах. Т.2. Уфа: УГНТУ, 2007. С. 178 – 179.

Соискатель

Даев Ж.