

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров
по новым направлениям развития техники, технологии и экономики БНТУ»

Кафедра «Метрология и энергетика»

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Часть 3

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА

Учебно-методическое пособие для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций, слушателей курсов повышения квалификации и студентов технических ВУЗов

Под редакцией О.П. Реута, В.Л. Гуревича

Электронный учебный материал

Минск, 2017

УДК 006. 91

ББК 30.10

Р44

Авторы

О.П. Реут, В.Л. Гуревич, Н.Е. Мартынов, А.А. Новиков

Под редакцией В.Л. Гуревича, О.П. Реута

Рецензент

Д.В. Василевский, заместитель начальника Испытательного центра БелГИСС

В учебно-методическом пособии подробно рассмотрены вопросы проведения поверки приборов общего применения, получивших наиболее широкое распространение в теплотехнических измерениях: изучение технических нормативных правовых актов, регламентирующих поверку средств измерений давления, температуры, расход и практических основ проведения поверки средств измерений давления, температуры, расхода. Данное учебно-методическое пособие представляет интерес для руководителей и специалистов метрологических служб предприятий и организаций.

**Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь**

Тел.(017)292-77-52 факс (017)292-91-37

E-mail: kme-ipk@mail.ru

<http://www.bntu.by/>

Регистрационный № БНТУ/ИПКиПК-20.2017

© БНТУ, 2017

© Реут О.П., Гуревич В.Л. 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 3. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА	6
3.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ расхода	6
3.2 Основные понятия, термины и определения	6
3.3 Поверка ротаметров	7
3.3.1 Методы и средства поверки	9
3.3.2 Подготовка и условия поверки	10
3.3.3 Операции поверки	10
3.4 Поверка сужающих устройств	11
3.4.1 Устройство, принцип работы и поверка расходомеров переменного перепада давления (сужающие устройства, напорные трубки, трубки Annubar)	12
3.5 Пропливные расходомерные установки.....	17
3.5.1 Метрологический контроль.....	18
3.5.2 Принцип измерения.	19
3.5.3 Точность методов.....	21
3.5.4 Оборудование	22
3.5.6 Методика измерения.....	25
3.5.7 Расчет погрешности измерения величины расхода.....	30
3.6 Тахометрические расходомеры газа.....	40
3.6.1 Основные термины и определения	40
3.6.3 Испытания на допуск к эксплуатации типа счетчика газа.....	42
3.6.4 Достоинства и недостатки тахеометрических расходомеров газа.....	47
3.7 Ультразвуковые счетчики газа.....	48
3.7.1 Основные термины и определения	49
3.7.2 Принципы измерения.....	52
3.7.3 Коэффициенты, воздействующие на рабочие характеристики.....	54
3.7.4 Преобразователи	54
3.7.5 Корпус счетчика и конфигурации акустической траектории.....	55
3.7.6 Основные типы акустических траекторий.....	55
3.7.7 Обычно применяемые многолучевые конфигурации пересечений потока	56
3.7.8 Счетчики с траекториями равного радиального смещения.....	56

3.7.9	Счетчики с траекториями, отличными от диаметральных	57
3.7.10	Составляющие неопределенности измерения	57
3.7.11	Классификация УЗСГ	58
3.7.12	Число Рейнольдса.....	58
3.7.13	Корректирование по температуре и давлению	59
3.7.14	Общее упрощенное выражение для любого типа корпуса	60
3.7.15	Полная погрешность измерения	61
3.7.16	Характеристики счетчика	62
3.7.17	Определение плотности.	71
3.7.18	Требования к точности для счетчиков класса 1	72
3.7.19	Требования к точности для счетчиков класса 2	74
3.7.20	Влияние давления, температуры и газового состава.....	76
3.7.21	Эксплуатационные и монтажные требования	77
3.7.22	Звуковые помехи, шумы и регуляторы давления	77
3.7.23	Загрязнение	77
3.7.24	Температура окружающей среды	78
3.7.25	Вибрация.....	78
3.7.26	Электрические помехи	78
3.7.27	Неустановившийся поток.....	78
3.7.28	Монтажные требования и соображения касательно профиля потока ...	78
3.7.29	Расстояние до возмущений потока, требования к длине прямолинейных участков трубопровода выше и ниже по течению	79
3.7.30	Выступы и изменения диаметра	79
3.7.31	Формирователи потока (ФП).....	81
3.7.32	Внутренняя поверхность и шероховатость стенки	81
3.7.33	Двухнаправленное применение	82
3.7.34	Обращение со счетчиком и транспортировка	82
3.7.35	Особенности учёта сжиженного газа	82
3.7.36	Метрологическое обеспечение АСУ ТП ГНС.....	84
3.7.37	Узлы учета СУГ	85
3.7.38	Технологии управления	86
3.7.39	Информационно-измерительная система СУГ	89
3.8	Диафрагменные и струйные счётчики газа.....	89
3.8.1	Методы и средства поверки	89

3.8.2 Подготовка и условия поверки	90
3.8.3 Операции поверки	90
3.9 Ультразвуковые расходомеры.....	92
3.9.1 Достоинства и недостатки ультразвуковых расходомеров.....	93
3.10 Электромагнитные расходомеры.....	95
3.10.1 Достоинства и недостатки электромагнитных расходомеров	96
3.11 Кориолисовые расходомеры	96
3.12 Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды.....	101
3.12.1 Методы и средства поверки	102
3.12.2 Подготовка и условия поверки	102
3.12.3 Операции поверки	103
Список рекомендуемой литературы.....	105

Глава 3. ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА

3.1 Основные технические нормативные правовые акты и другие документы СОЕИ, применяемые при поверке СИ расхода

Основные требования к передаче размера единиц, установлены в:

- ТКП 8.003-2011 "Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила проведения работ";
- ГОСТ 8.142-75 "ГСОЕИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода жидкости в диапазоне $1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^3$ кг/с";
- ГОСТ 8.143-75 "ГСОЕИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объёмного расхода газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^2$ м³/с";
- ГОСТ 8.145-75 "ГСОЕИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объёмного расхода жидкости в диапазоне $3 \cdot 10^{-6} - 10$ м³/с";
- ГОСТ 8.369-79 "ГСОЕИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода газа в диапазоне $4 \cdot 10^{-2} - 2,5 \cdot 10^2$ кг/с";
- ГОСТ 8.373-80 "ГСОЕИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объёмного расхода нефтепродуктов в диапазоне $2,8 \cdot 10^{-6} - 2,8 \cdot 10^{-2}$ м³/с";
- ГОСТ 8.374-80 "ГСОЕИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объёмного расхода воды в диапазоне $2,8 \cdot 10^{-8} - 2,8 \cdot 10^{-2}$ м³/с";
- ГОСТ 8.510-2002 "ГСОЕИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объёма и массы жидкости".
- ГОСТ 8.542-86 "ГСОЕИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений воздушного потока в диапазоне 0,1 – 100 м/с".

3.2 Основные понятия, термины и определения

Потоки жидких и газообразных сред в зависимости от величины скорости потока можно разделить на три типа: ламинарные, переходные и турбулентные.

Классический эксперимент с введением красящего вещества в движущийся поток был впервые проведен Рейнольдсом в 1883 году. Эксперимент заключался в следующем: в поток жидкости впрыскивалась тонкая струйка красителя, а затем рассматривалось её поведение в разных сечениях от точки инъекции.

Ламинарный поток наблюдается в том случае, когда скорость потока мала, и струйка красителя остаётся прямой.

Переходной поток имеет место, когда скорость течения слегка превышает скорость ламинарного потока. Струя красителя не остаётся прямой, но и не распространяется по всей трубе.

Турбулентный поток возникает при скоростях, превышающих скорость переходного потока. Краситель распространяется по всей трубе. Этот тип потока наиболее часто встречается на практике.

Средняя скорость. Под средней скоростью понимается средняя скорость вещества в трубопроводе, независящая от типа потока. Средняя скорость определяется из непрерывности для установившегося потока

$$G = \rho \cdot F \cdot V \quad (3.1)$$

Это уравнение показывает, что для установившегося потока расход G (кг/сек) в любой точке трубы может быть вычислен как произведение плотности ρ (кг/м³), площади поперечного сечения трубы F (м²) и средней скорости V (м/сек).

Число Рейнольдса Re – это безразмерная величина, являющаяся отношением сил инерции потока к силам вязкого трения в нём. Вид потока в трубе определяется следующими параметрами: диаметром трубы D (м), плотностью ρ (кг/м³), вязкостью μ (кг/мсек) и скоростью V (м/сек).

Величина числа Рейнольдса может характеризовать тип потока:

- при значениях числа Рейнольдса не превышающем 2000, течение обычно имеет ламинарный характер;
- при значениях числа Рейнольдса от 2000 до 4000 обычно переходной поток.

Однако эти граничные величины не являются точно фиксированными. Ламинарность течения может нарушаться уже при величине числа Рейнольдса 1200 или сохраняться до значений 13000 в зависимости от гладкости трубы. Если к трубе осуществляется подвод тепла, ламинарное течение сохраняется даже при больших числах Рейнольдса.

Поскольку произведение является безразмерной величиной, его численное значение остаётся неизменным при заданных условиях, если все множители выражены в согласованной системе единиц. Это свойство делает число Рейнольдса идеальным параметром, характеризующим поток.

3.3 Поверка ротаметров

Ротаметры, применяемые для измерения объемного расхода жидкостей и газов, имеют несколько разновидностей.

Ротаметры, применяемые для местного измерения расхода, изготавливаются со стеклянной конусной трубкой в виде показывающих приборов. Ротаметры, имеющие металлический корпус, снабжаются передающими измерительными преобразователями с электрическим или пневматическим выходным сигналом. Эти ротаметры работают в комплекте с вторичными приборами. Ротаметры с металлическим корпусом близки по своему устройству к поплавковым

расходомерам.

Ротаметры указанных разновидностей выпускаются классов точности: 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

На рисунке 3.1 показано устройство ротаметра со стеклянной конусной трубкой 1, которая зажата в патрубках 2 и 3, снабженных сальниками. Оба патрубка между собой связаны тягами 4 с надетыми на них ребрами 5. Эта армировка придает прибору необходимую прочность. Внутри патрубка 2 имеется седло, на которое опускается поплавок 6 при нулевом расходе жидкости или газа. Верхний патрубок 3 снабжен ограничителем хода поплавка 7. Шкала наносится непосредственно на внешней поверхности стеклянной конусной трубки. Указателем у ротаметров со стеклянной трубкой служит верхняя горизонтальная плоскость поплавка.

Ротаметры со стеклянной конусной трубкой применяются для измерения расхода газов или прозрачных жидкостей, находящихся под давлением не более 0,6 МПа.

Ротаметры, снабженные передающими преобразователями с электрическим выходным сигналом, показаны на рисунке 3.2. Ротаметр, показанный на рисунке 3.2 (а), имеет конический поплавок 7, который перемещается внутри кольцевой диафрагмы 2 под действием проходящего снизу вверх потока жидкости. При подъеме поплавок проходное отверстие между рабочей поверхностью поплавка и внутренней кромкой диафрагмы увеличивается пропорционально изменению расхода среды.

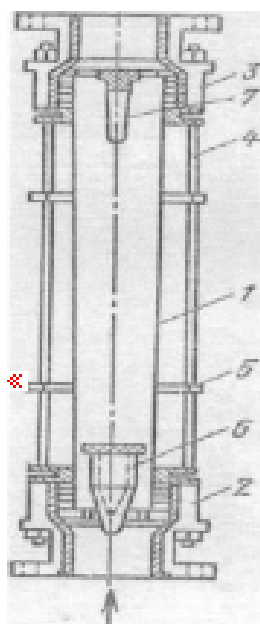


Рисунок 3.1

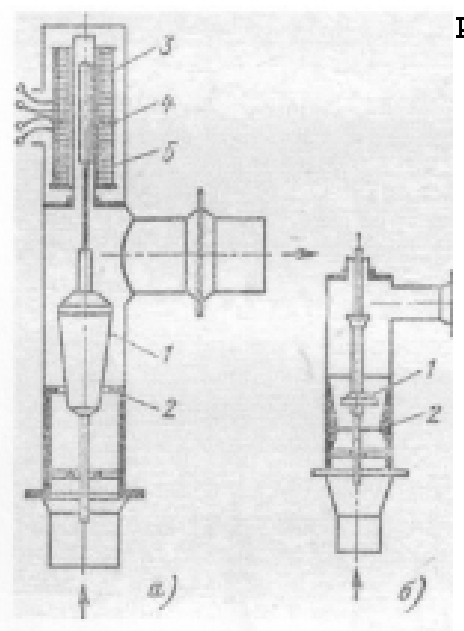


Рисунок 3.2

Поплавок ротаметра жестко связан с сердечником 3 передающего дифференциально-трансформаторного преобразователя 4. Катушка дифференциально-трансформаторного преобразователя надета на разделительную трубку 5, изготовленную из немагнитной стали.

Ротаметр, показанный на рисунке 3.2 (б), отличается по своему устрой-

ству от рассмотренного только тем, что у него применен грибообразный поплавок /, перемещающийся под действием потока внутри вертикально расположенной конической вставки (трубки) 2.

Ротаметры, выполняемые по рассмотренным схемам (рисунок 3.2) в комплекте с вторичным прибором, имеют класс точности 2,5. Они выпускаются для измерения расхода среды, находящейся под рабочим избыточным давлением до 1,6 и 6,4 МПа. Ротаметры могут быть изготовлены и на большее рабочее избыточное давление. Кроме того, предусматривается выполнение ротаметров с выходным сигналом постоянного тока. 0-5 мА.

3.3.1 Методы и средства поверки

При проведении поверки применяют следующие средства:

- эталонный грузопоршневой манометр на разряд выше поверяемого (для поверки манометров 1-го разряда — рабочий эталон);

- **общие для всех ротаметров:**

- расходомерные установки с пределами допускаемой погрешности не более 1/3 предела допускаемой погрешности поверяемого ротаметра для заданного диапазона измерений;

- термометр с ценой деления не более 0,1 °С и пределами допускаемой погрешности не более 0,2°С по ГОСТ 112.

- мембранный метеорологический барометр;

- термометр ртутный стеклянный по ГОСТ 13646;

- ротаметры со стеклянной, конусной трубкой манометр типа МО класса точности 0,4 по ГОСТ 22520;

- аспирационный психрометр;

- **для ротаметров типа РП:**

- манометр типа МО класса точности 0,15 с верхним пределом измерений 0,16 МПа по ГОСТ 22520;

- манометр с верхним пределом измерений 0,16 МПа класса точности не ниже 1, для контроля давления воздуха питания по ГОСТ 2405;

- фильтр воздуха ФВ-1,6;

- стабилизатор давления воздуха СДВ-1,6;

- **для ротаметров типа РЭ:**

- регулировочный автотрансформатор типа 625-250 (РНО 250-0,5-М);

- вольтметр Э 515/3 класса 0,5 по ГОСТ 8711;

- милливольтмиллиамперметр М 2020 класса 0,2.

Поверочной средой при проведении поверки является:

- воздух для газовых ротаметров;

- водопроводная вода по ГОСТ 2874 для жидкостных ротаметров.

3.3.2 Подготовка и условия поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия: температура, относительная влажность и атмосферное давление окружающего воздуха; температура поверочной среды; отклонение напряжения и частоты тока питания; давление и чистота воздуха питания; наличие электрических и магнитных полей — по ГОСТ 13045.

3.3.3 Операции поверки

➤ *Внешний осмотр.* При проведении внешнего осмотра должно быть установлено:

– отсутствие механических повреждений и дефектов (трещин в стеклянной трубке, загрязнений поплавка и поверхности трубки и т.п.), ухудшающих внешний вид ротаметра и препятствующих его применению;

– соответствие комплектности ротаметра требованиям технических документов на этот ротаметр;

– цифры и отметки шкалы должны быть четкими;

– цена делений шкалы не должна превышать предела допускаемой погрешности ротаметра;

– маркировка ротаметров должна соответствовать требованиям ГОСТ 13045 или требованиям технической документации на поверяемый ротаметр.

➤ *Опробование.* Для проверки нормальной работы ротаметра через него пропускают поток поверочной среды (воды, воздуха), плавно изменяя расход от 0 до 100 % и обратно. При изменении расхода поплавков ротаметра, стрелка шкалы местных показаний и стрелка вторичного прибора должны двигаться спокойно, без скачков и заеданий.

➤ *Определение основной погрешности.* Основную погрешность ротаметров, предназначенных для измерений расхода жидкостей, %, рассчитывают по формуле

$$\delta = \left| \frac{Q_r - Q_{II}}{Q_B} \right| * 100 \quad (3.2)$$

где Q_r — расход, соответствующий отметке шкалы (значению выходного сигнала), поверяемого ротаметра, м³/с;

Q_{II} — расход, измеренный по образцовой мере, м³/с;

Q_B — расход, соответствующий верхнему пределу измерений поверяемого ротаметра, м³/с.

Основную погрешность ротаметров, предназначенных для измерения расхода газа, 5, %, рассчитывают по формуле

$$\delta = \left| \frac{Q_r - Q_{II}}{Q_B} \right| * 100 \quad (3.3)$$

где Q_{II} — расход, измеренный по образцовой мере и приведенный к условиям градуировки.

Результаты поверки считают положительными при выполнении для каждой оцифрованной отметки шкалы условия

$$\delta < \delta_A \quad (3.4)$$

где δ_A — предел допускаемой основной погрешности, указанный в паспорте на ротаметр.

Поверку ротаметров проводят на отметках шкалы и при значениях выходного сигнала, указанных в паспорте на ротаметр.

Поверку ротаметров со шкалой, оцифрованной в единицах расхода, а также ротаметров, выпускаемых по специальным техническим условиям на них, выпущенных до введения в действие ГОСТ 13045 и не перечисленных выше, проводят на каждой оцифрованной отметке градуировочной характеристики.

Действительное значение расхода определяют дважды (при прямом и обратном ходах поплавка), затем вычисляют среднее арифметическое значение расхода.

Верхний и нижний пределы измерений определяют при первичной поверке; они должны соответствовать требованиям ГОСТ 13045 или соответствующих технических документов на поверяемый ротаметр.

При определении расхода воздуха одновременно фиксируют температуру с погрешностью не более 0,5 °С и абсолютное давление потока воздуха перед ротаметром с погрешностью в пределах $\pm 0,05$ кПа.

➤ *Определение вариации показаний.* На каждой из указанных выше отметках шкалы определяют вариацию показаний при прямом и обратном ходах поплавка по ГОСТ 8.009.

При проведении поверки максимальная амплитуда колебания поплавка (стрелки местных показаний ротаметра и вторичного прибора) относительно отметки шкалы не должна превышать предела допускаемой основной погрешности ротаметра.

Положительные результаты периодической поверки ротаметров оформляют свидетельством о поверке или записью в паспорте и заверяют нанесением оттиска поверительного клейма.

3.4 Поверка сужающих устройств

Сужающие устройства получили весьма широкое распространение благодаря ряду их существенных положительных свойств.

Конструкция расходомеров с сужающими устройствами исключительно проста. Они состоят из собственно сужающего устройства, устанавливаемого в трубопроводе, соединительного устройства и измерительного прибора — дифференциального манометра, по показаниям которого и судят об измеряемом расходе.

Прибор в целом, со всеми его элементами, практически не имеет подвижных частей, что главным образом обуславливает простоту его конструкции.

Сужающие устройства позволяют измерять практически неограниченные

расходы веществ. Исключение составляют только очень малые расходы.

Изготовить сужающие устройства можно исключительно просто. Сужающее устройство с дифманометрами в отдельных случаях может быть изготовлено подручными средствами без потери точности работы прибора. Примером этому служит диафрагма, являющаяся простейшим видом сужающего устройства, работающая совместно с двухтрубным жидкостным дифференциальным манометром. Как известно, она не требует сложной технологии для изготовления.

Требования к выполнению расчетов устанавливает ГОСТ 8.586 и Программа "Расходомер ИСО". Вместе с тем применение сужающих устройств требует выполнения ряда условий. Основными из этих условий являются следующие:

- вещество, расход которого измеряют, должно заполнять все поперечное сечение трубопровода перед и за сужающим устройством;
- поток в трубопроводе, в котором находится СУ, должен быть установившимся;
- вещество, протекающее через СУ, должно быть однородным, то есть должно находиться в одном фазовом состоянии. И это фазовое состояние не должно меняться при прохождении через сужающее устройство.

3.4.1 Устройство, принцип работы и поверка расходомеров переменного перепада давления (сужающие устройства, напорные трубки, трубки Annubar)

Сужающие устройства продолжают широко использоваться в области измерений расхода и количества жидкостей и газов.

Конструкция расходомеров с сужающими устройствами достаточно проста. Они состоят из непосредственно сужающего устройства, устанавливаемого в трубопроводе, соединительных импульсных трубок и измерительного прибора – дифференциального манометра, по показаниям которого измеряется расход. В конструкции нет подвижных элементов.

Сужающие устройства дают возможность проводить измерения в диапазоне 1:5, причём измерять большие расходы, где это проводить достаточно сложно. Проблемным вопросом является измерение малых расходов, когда условный диаметр трубопровода меньше 50 миллиметров.

Область применения, принципы метода измерения и расчёта расхода среды, требований к установке изложены в комплексе межгосударственных стандартов ГОСТ 8.586.1-2005 – ГОСТ 8.586.5 под общим наименованием "Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств", состоящего из следующих частей:

- Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования;
- Часть 2. Диафрагмы. Технические требования;
- Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования;
- Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования;

– Часть 5. Методика выполнения измерений.

Комплекс стандартов распространяют на измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления при применении следующих типов сужающих устройств: диафрагмы, сопла ИСА 1932, эллипсного сопла, сопла Вентури и трубы Вентури.

Комплекс стандартов устанавливает требования к геометрическим размерам и условиям применения сужающих устройств, используемых в трубопроводах круглого сечения, полностью заполненных однофазной (жидкой или газообразной) средой, скорость течения которой меньше скорости звука в этой среде.

В первой части представлены термины и определения, условные обозначения, принцип метода измерений, установлены общие требования к условиям измерений при применении всех типов сужающих устройств.

Вторая, третья и четвёртая части устанавливают технические требования к конкретным типам сужающих устройств: вторая часть – к диафрагмам, третья – к соплам ИСА 1932, эллипсным соплам и соплам Вентури, четвёртая – к трубам Вентури.

В пятой части представлена методика выполнения измерений с помощью указанных выше типов сужающих устройств.

Метод измерения расхода среды, протекающей в измерительном трубопроводе, основан на создании с помощью сужающего устройства (СУ) местного сужения потока, часть потенциальной энергии которого переходит в кинетическую энергию. Средняя скорость потока в месте его сужения повышается, а статическое давление становится меньше статического давления до СУ. Разность давления (перепад давления) тем больше, чем больше расход среды, и, следовательно, она может служить мерой расхода.

Применение сужающих устройств требует выполнения ряда условий:

– вещество, расход которого измеряют, должно заполнять поперечное сечение трубопровода перед и за сужающим устройством.

– поток в трубопроводе, в котором находится СУ, должен быть установившимся.

– вещество, протекающее через СУ, должно быть однородным, то есть должно находиться в одном фазовом состоянии. И это фазовое состояние не должно меняться при прохождении через сужающее устройство. Например, при измерении расхода перегретого пара не должно быть его перехода в влажный пар, так как влажный пар по фазовому состоянию неоднороден, в нём присутствуют мелкодисперсные капельки жидкости. Перегрев пара должен быть достаточным для того, чтобы при падении давления, и, следовательно, снижении температуры пара в сужающем устройстве не происходил переход пара из перегретого в насыщенное состояние. Применение СУ для учётно-расчётных операций в котельных, где на паровых котлах отсутствуют пароперегреватели недопустимо. При протекании по сужающему устройству жидкости в ней недопустима кавитация.

Простейшее сужающее устройство – диафрагма показана на рисунке 3.3.

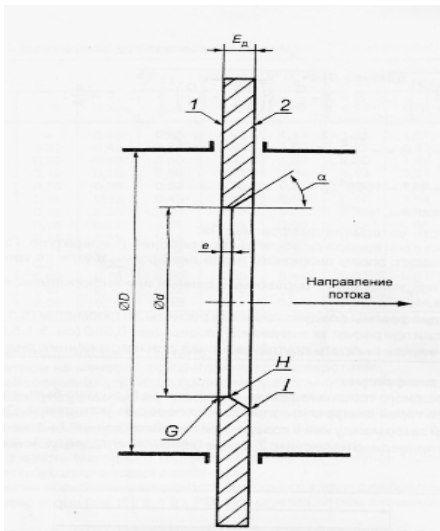


Рисунок 3.3

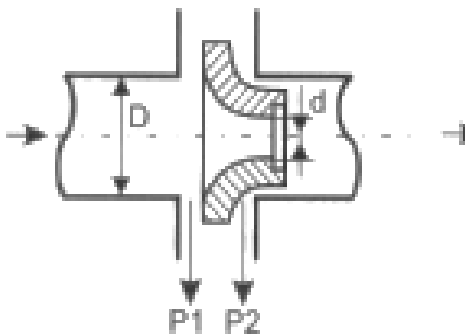


Рисунок 3.4.

чению трубопровода.

На рисунке 3.5 показана схема сопла Вентури.

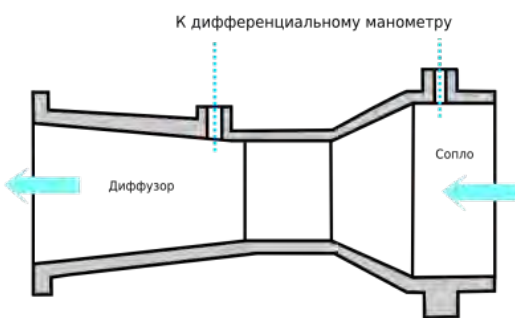


Рисунок 3.5

Как видно, оно профилирует поток на всей длине изменения его сечения. Сопло Вентури состоит из сужающейся части, направляющей поток при его сужении (движение потока слева направо), короткого цилиндрического участка в самом узком месте сопла и последующего расширяющегося участка. Сужающаяся часть сопла Вентури профилирована, как обычное сопло, а при профилировании расширяющейся части преследуют цель дать расширяться потоку с возможно меньшими возмущениями после сужения и тем самым обеспечить наименьшие потери энергии потока при прохождении через сужающее устройство. Для обеспечения наименьших потерь необходимо, чтобы поток двигался вдоль стенок расширяющейся части трубы. Однако если сделать угол раствора расширяющейся трубы γ большим, то поток неизбежно оторвется от стенок, появятся завихрения, сопровождающиеся большой потерей энергии, и расширение потока будет происходить примерно так же, как и при течении за соплом или диафрагмой. Но в этом случае будет потерян

смысл создания и применения сопла Вентури. Исследованиями установлено, что угол γ не должен превышать 30° . Вместе с тем при малых углах раствора расширяющейся части сопло Вентури может получиться длинным, а поскольку оно заменят собой целый участок трубопровода, его размещение в отведенной части трубы может вызвать ряд трудностей.

В этом случае приходится прибегать к компромиссному решению и выбирать так называемое короткое сопло Вентури. Это сопло ничем не отличается от длинного, только расширяющаяся её часть заканчивается раньше, чем сечение станет равным сечению трубопровода. При переходе от сопла к трубопроводу создаётся большая ступенька, вызывающая вихреобразование в потоке и некоторую потерю энергии. Однако если угол γ не превышает установленной нормы, потери на входе из короткого сопла Вентури могут быть значительно меньше, чем в других видах сужающих устройств. Разность давлений в сопле Вентури измеряют непосредственно у фланца сужающейся части и в его самом узком сечении.

При выборе типа СУ необходимо учитывать их качественные характеристики, приведенные в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Наименование типа СУ	Характеристика СУ	
	Достоинство	Недостаток
Диафрагма	Проста в изготовлении и монтаже, может применяться в широком диапазоне чисел Re. Устанавливают на ИТ внутренним диаметром от 50 до 1000 мм. Неопределённость коэффициента истечения диафрагм меньше, чем у других СУ. Наличие небольшого содержания конденсата практически не оказывает влияния на коэффициент истечения	В процессе эксплуатации неизбежно притупление входной кромки диафрагмы, что приводит к дополнительной прогрессирующей неопределённости коэффициента истечения, которая может быть существенной для диафрагм, устанавливаемых в трубопроводах диаметром менее 100 мм. Потери давления на диафрагмах выше, чем на других СУ
Сопло ИСА 1932	Обладает стабильными характеристиками при длительной эксплуатации, потери давления на нём меньше, чем на диафрагме. Могут иметь относительный диаметр отверстия до 0,8. Меньше чем диафрагма реагирует на турбулентность пульсации потока и обладает меньшей чувствительностью к шероховатости внутренних стенок ИТ. В ИТ внутренним диаметром менее 100 мм может обеспечивать меньшую неопределённость результата измерения расхода среды, чем диафрагма за счёт отсутствия поправки на притупление входной кромки	Является сложным в изготовлении. Применяют только на ИТ внутренним диаметром не более 500 мм. Отсутствуют экспериментальные данные по их исследованию при $Re > 10^7$. Неопределённость коэффициента истечения больше, чем у диафрагмы
Эллипсное сопло	Обладает стабильными характеристиками при длительной эксплуатации.	

Стандартные диафрагмы рассчитываются для трубопроводов диаметром не менее 50 мм. Сопло (рисунок 3.4) имеет профилированную входную часть, которая плавно переходит в цилиндрический участок диаметром d . Выходная

цилиндрическая часть сопла имеет цилиндрическую выточку диаметром чуть большим d , служащую для предохранения измерительной части сопла от повреждений. Стандартные сопла устанавливаются на трубопроводах диаметром не менее 50 мм при измерениях расхода газов и не менее 30 мм для жидкостей. Различают несколько типов стандартных сопел:

- сопло ИСА 1932 (сопло, у которого плавно сужающаяся часть на входе образована дугами двух радиусов, сопрягающимися по касательной);
- эллипсное сопло (сопло, у которого плавно сужающаяся часть на входе имеет в радиальном сечении профиль в виде четвертой части эллипса);
- сопло Вентури (сопло, которое состоит из входной части в виде сопла ИСА 1932, горловины и выходной части в виде расходящегося конуса (диффузора)). Минимальным диаметром трубопроводов, в которых могут устанавливаться стандартные сопла Вентури, является 65 мм.

Тип стандартного сужающего устройства, которое состоит из входного цилиндрического участка, сходящейся конической части (конфузора), горловины и расходящейся конической части (диффузора) называется труба Вентури.

На рисунке 3.4 символы P_1 и P_2 соответствуют точкам отбора давления и подключения к дифманометру, причем $P_1 > P_2$.

Рассматриваемый метод измерения требует выполнения комплекса определенных условий:

- фазовое состояние потока не должно изменяться при прохождении сужающего устройства;
- характер движения потока до и после сужающего устройства должен быть турбулентным и стационарным. При наличии нарушающих поток сужений, расширений, изгибов труб, механизмов, регулирующих или управляющих устройств, с учетом величины модуля ССУ соответствующая длина входного участка трубопровода до ССУ может составлять 80-100 Ду и 10 Ду после;
- поток должен полностью заполнять все сечение трубопровода;
- на поверхности сужающего устройства не должны образовываться отложения, изменяющие его геометрию;
- если в процессе эксплуатации происходит загрязнение трубопровода, отложение осадков перед сужающим устройством, то, несмотря на хорошее изготовление и правильный монтаж может возникнуть значительная погрешность измерения.

При загрязнении или зарастании трубопровода уменьшается его сечение, что увеличивает коэффициент скорости входа и возрастание шероховатости. То и другое вызывает появление отрицательной ошибки, которая может достигнуть значительной величины.

Несомненным достоинством средств измерений, использующих стандартные сужающие устройства, является то, что данный метод является самым надежным, апробированным и распространенным для любых технологических процессов. Эта тенденция прослеживается не только на рынках стран СНГ, но и на рынках западных стран, что подтверждается западными промышленными

экспертами. Несмотря на то, что внедряются более новые способы измерения расхода, имеющие преимущества для определенных применений, расходомеры по перепаду давления остаются достаточно популярными по следующему ряду причин:

- стабильная повторяемость результатов измерения;
- испытанная надежность и точность при правильной установке и применении;
- прямая установка в процесс;
- простота калибровки, поверки и обнаружения неисправностей устройства;
- распространенные во всем мире промышленные стандарты (имеются теоретические и эмпирические данные).

К недостаткам метода измерения расхода при помощи ССУ необходимо отнести:

- небольшой (1:5) диапазон измерения расхода в связи квадратичной зависимостью расхода от перепада давления;
- датчики перепада давления, как правило, характеризуются значением приведенной погрешности, параметры которой определяются по верхней границе диапазона измерения. Поэтому диапазон измерения, в котором нормируется относительная погрешность δ , используется обычно в интервале от 30 до 100% максимального измеряемого расхода. Так, при уменьшении расхода в 4 раза по сравнению с максимальным, перепад давления на сужающем устройстве уменьшится в: $4^2=16$ раз, а при уменьшении расхода в 10 раз соответственно в 100 раз, при этом относительная погрешность измерения перепада давления увеличится в тех же соотношениях. Несколько лучшие результаты измерения имеют датчики перепада давления с корнеизвлекающей выходной характеристикой. Заданная точность измерения перепада давления при использовании такого датчика гарантируется в пределах от 15% до 100% шкалы;
- высокие потери давления у диафрагм;
- индивидуальное изготовление для конкретных параметров среды и потока;
- сопла являются сложными в изготовлении;
- требуют постоянного метрологического (КИПиА) обслуживания.

3.5 Пропливные расходомерные установки

В Республике Беларусь за последние пятнадцать лет создано более 90 проливных расходомерных установок позволяющих осуществлять поверку, калибровку и метрологическую аттестацию водосчётчиков, преобразователей расхода теплосчётчиков, расходомеров. Одних только счётчиков воды в республике эксплуатируется около 4 миллионов. Практически все счётчики используются в области законодательной метрологии и контролируют потребление питьевой воды. Небольшое количество приборов используется для кон-

троля технологических параметров в производстве. В настоящее время республике осуществляется 100% контроль количества питьевой воды и тепловой энергии (на групповых узлах учёта).

Наиболее широкое применение нашли проливные расходомерные установки, где используют метод измерения расхода жидкости в заполненных трубопроводах путем взвешивания массы жидкости, поступившей в приемный бак за известный интервал времени.

Вследствие потенциально высокой точности настоящий метод часто используется в качестве основного метода для определения метрологических характеристик других методов или устройств измерения расхода жидкости по массе или измерения расхода жидкости по объему, если точно известна плотность жидкости. Надо быть уверенным в том, что трубопровод заполнен движущейся жидкостью полностью и в районе измерительного участка нет никаких воздушных или газовых пузырей.

Для понимания принципа работы проливных расходомерных установок, на которых используется метод взвешивания необходимо обратить внимание на следующие термины с соответствующими определениями:

– **статическое взвешивание** (static weighing) - метод, при использовании которого масса нетто собранной жидкости определяется путем вычитания массы тары из массы брутто соответственно до и после того, как жидкость была направлена в течение измеренного интервала времени в **приемный бак**;

– **динамическое взвешивание** (dynamic weighing) - метод, при использовании которого масса нетто собранной жидкости определяется путем проведения взвешивания во время направления расхода жидкости в приемный бак (для реализации этого метода не требуется использование отклоняющего устройства);

– **отклоняющее устройство** (diverter) - устройство, которое направляет поток либо в приемный бак, либо в перепускной трубопровод без изменения величины расхода в течение интервала измерения;

– **стабилизатор расхода** (flow stabilizer) - структура, образующая часть измерительной системы, обеспечивающая получение стабильной величины расхода в трубопроводе с жидкостью, например, путем поддержания постоянного уровня в напорном баке, уровень жидкости в котором регулируется водосливом достаточной длины;

– **коррекция на подъемную силу** (buoyancy correction) - коррекция показаний весоизмерительного устройства, учитывающая разность между выталкивающими силами атмосферы, действующими на взвешиваемую воду и эквивалентную ей массу калибровочных масс (гирь), использованных при определении метрологических характеристик весоизмерительного устройства.

3.5.1 Метрологический контроль

Если установки для измерения расхода жидкости с применением метода взвешивания используются для целей законодательной метрологии, то они

должны пройти метрологический контроль в установленном порядке и быть зарегистрированы национальной метрологической службой. Далее эти установки периодически (рекомендуется ежегодно) подтверждают свои метрологические характеристики.

3.5.2 Принцип измерения.

3.5.2.1 Статическое взвешивание.

Принцип метода измерения величины расхода путем статического взвешивания (схематическое изображение подобных установок приведено на рисунках 3.6 – 3.8) состоит в следующем:

- определяют исходную массу бака вместе с некоторым количеством оставшейся жидкости;
- поток с помощью отклоняющего устройства, которое запускает таймер для измерения времени заполнения, направляют в приемный бак (до тех пор, пока в нем не соберется достаточное для получения желаемой точности количество жидкости);
- определяют конечную массу бака с содержащейся в нем жидкостью.
- затем на основе полученных сведений о собранной массе жидкости, времени сбора определяют величину расхода.

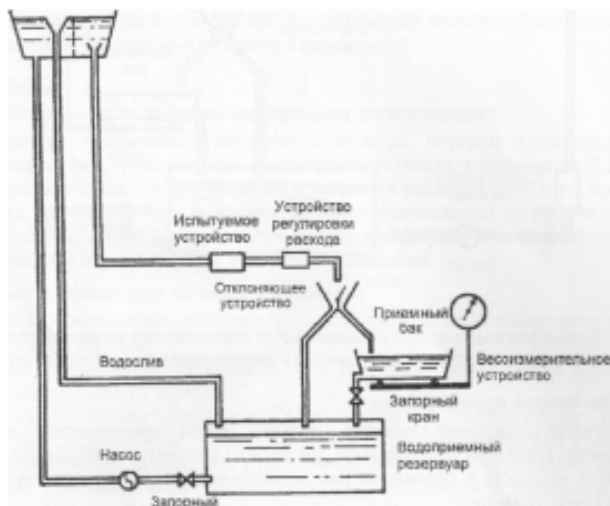


Рисунок 3.6 Схема расходомерной установки для калибровки путем взвешивания (статический метод на базе использования напорного бака с постоянным уровнем жидкости).

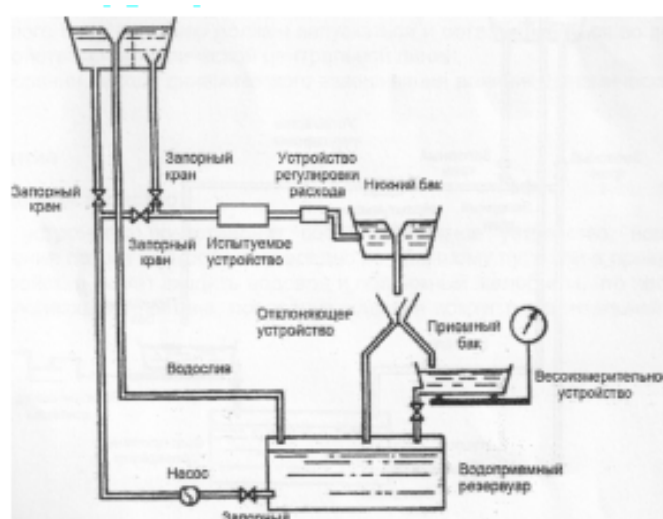


Рисунок 3.7 Схема расходомерной установки для определения метрологических характеристик путем взвешивания (используется для испытаний гидравлических машин, применен статический метод на базе использования напорного бака с постоянным уровнем жидкости).

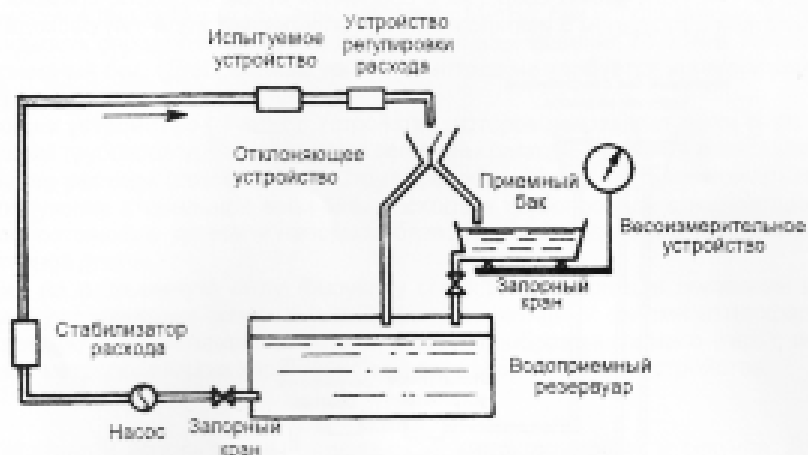


Рисунок 3.8 Схема расходомерной установки для определения метрологических характеристик путем взвешивания (статический метод с непосредственным нагнетанием жидкости от насоса)

3.5.2.2 Динамическое взвешивание

Принцип метода измерения величины расхода путем динамического взвешивания (схематическое представление типичной установки представлено рисунок 3.9) состоит в следующем:

- направляют жидкость в приемный бак до получения заранее определенной начальной массы, после чего включают таймер;
- останавливают таймер после достижения заранее определенной конечной массы собираемой жидкости;
- затем на основе полученных сведений о собранной массе жидкости, времени сбора определяют расход жидкости.

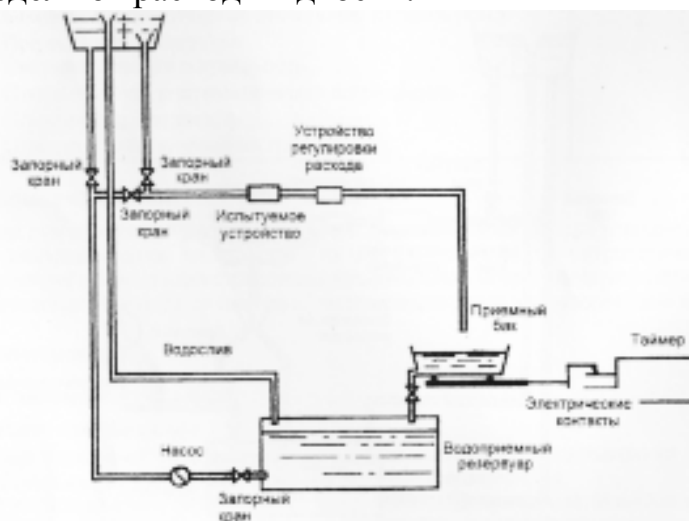


Рисунок 3.9 Схема установки для определения метрологических характеристик путем взвешивания (динамический метод на базе использования напорного бака с постоянным уровнем жидкости).

Следует отметить, что с помощью метода взвешивания можно определить только среднюю величину расхода. Величины мгновенного расхода, которые

получают при помощи другого приспособления или измерительного устройства в измерительном трубопроводе, можно сравнивать со средним расходом только тогда, когда он поддерживается стабильным в течение всего периода измерения с помощью системы стабилизации расхода или, когда мгновенные величины усредняются соответствующим образом во времени в течение всего периода измерения.

3.5.3 Точность методов

3.5.3.1 Суммарная погрешность измерения методом взвешивания

Метод взвешивания дает значение измеренного расхода, которое в принципе состоит только из измерения массы жидкости и времени. Данный метод можно считать одним из наиболее точных методов измерения расхода, и по этой причине его предпочтительно использовать при калибровке. В корректно сконструированной установке при правильной ее эксплуатации и обслуживании можно достичь погрешности порядка $\pm 0,1$ % и менее (при доверительном пределе 95 % для случайной составляющей этой погрешности).

3.5.3.2 Необходимые условия для точных измерений.

Метод взвешивания обеспечивает получение точных результатов измерения расхода жидкости при соблюдении следующих условий:

- в измерительном трубопроводе не должно быть никаких прямых утечек и никаких неучтенных утечек потока через отклоняющее устройство;
- не должно быть никакого накопления (или убыли) жидкости в измерительном трубопроводе из-за теплового сжатия (или расширения) и не должно быть никакого накопления (или убыли) жидкости из-за изменения занятых газом или паром объемов в различных частях измерительного трубопровода;
- при определении действительной массы жидкости, собранной в приемном баке весоизмерительного устройства за время измерения, она должна быть скорректирована на величину, учитывающую разность значений выталкивающих (Архимедовых) сил атмосферы, действующих на объем измеренной массы жидкости и на объем эталонных масс, используемых при калибровке весоизмерительного устройства;
- весоизмерительное устройство и таймер должны иметь необходимую точность, а средства запуска и останова процесса измерения - достаточное быстродействие;
- время поворота отклоняющего устройства должно быть небольшим по сравнению с временем заполнения приемного бака, а таймер должен запускаться и останавливаться во время прохождения отклоняющим устройством гидравлической центральной линии;
- при использовании метода динамического взвешивания влияние динамических явлений должно быть небольшим.

3.5.4 Оборудование

3.5.4.1 Отклоняющее устройство

Отклоняющее устройство представляет собой подвижное устройство, используемое для направления движения потока жидкости поочередно по обычному пути или в приемный бак. В состав отклоняющего устройства может входить водовод и подвижный желоб или, что является более предпочтительным отклоняющая пластина, поворачивающаяся вокруг горизонтальной или вертикальной оси (рисунок 3.10).

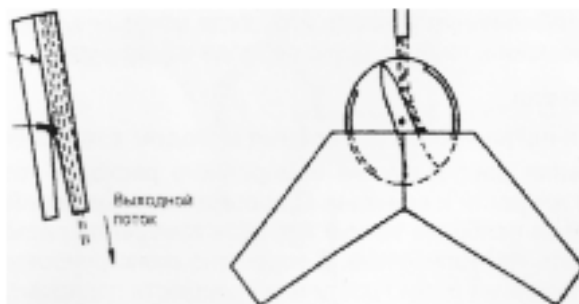


Рисунок 3.10

Движение отклоняющего устройства должно быть достаточно быстрым (например, менее 1с), чтобы уменьшить возможность появления значительной ошибки при измерении времени наполнения приемного бака. Это реализуется путем быстрого движения отклоняющего устройства относительно тонкой плоской струи жидкости, формируемой щелевой насадкой. Обычно ширина плоской струи жидкости в районе отклоняющего устройства превышает толщину струи от 15 до 50 раз. Во избежание разбрызгивания и аэрации при прохождении потока через отклоняющее устройство и образования турбулентности в приемном баке потеря давления при прохождении через отклоняющее устройство не должна превышать 20000 Па. Подобное быстрое движение отклоняющего устройства может осуществляться при помощи электрических или механических устройств, например, при помощи пружинной или торсионной перегородки, а также посредством электрических или пневматических приводов. Отклоняющее устройство не должно влиять на характеристики потока в трубопроводе на протяжении любой фазы процедуры измерения. Тем не менее, при больших значениях расхода, когда возможно появление чрезмерных нагрузок, можно использовать отклоняющее устройство с пропорциональной медленной характеристикой поворота (например, от 1 до 2 с); при этом закон поворота должен быть постоянным и зависимость распределения изменения расхода от перемещения отклоняющего устройства должна быть преимущественно линейной, известной и контролируемой в любом случае.

Следует обращать внимание на конструкцию механических деталей измерительной системы в целом и отклоняющего устройства в частности и осуществлять периодические проверки для того, чтобы не имели место какие-либо утечки и разбрызгивание жидкости наружу или из одного канала отклоняющего

устройства в другой.

При необходимости коррекции времени отклонения потока помимо тонкой плоской струи жидкости в канале отклоняющего устройства могут применяться другие формы струи.

3.5.4.2 Аппаратура измерения времени (таймер)

Время наполнения жидкости в приемном баке обычно определяется с помощью электронного счетчика со встроенным источником точного эталонного времени, например, кристалла кварца. Таким образом, время переключения отклоняющего устройства нужно определять с точностью до 0,01 с или еще точнее. Таймер должен приводиться в действие движением самого отклоняющего устройства при помощи установленных на отклоняющем устройстве переключателей (например, оптических или магнитных). Строго говоря, измерение времени следует начинать (или прекращать) в тот момент, когда изображенные на рисунке 3.11, представляющем зависимость изменения расхода от времени, заштрихованные области будут равными.

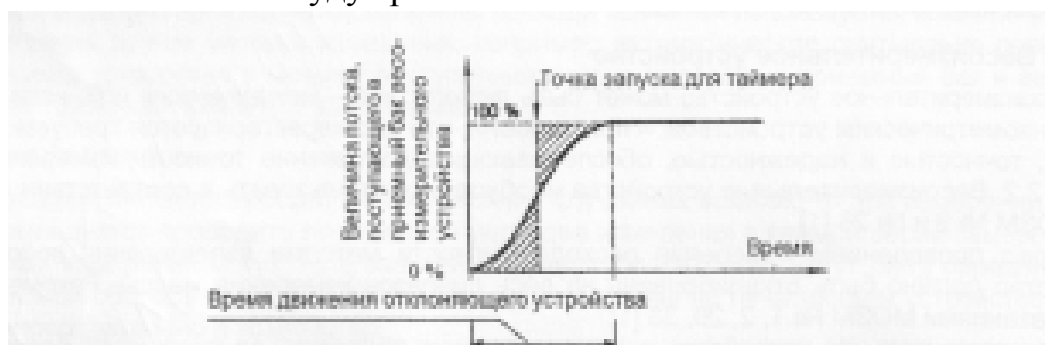


Рисунок 3.11 График работы отклоняющего устройства

Тем не менее на практике обычно предполагают, что эта точка соответствует среднему положению отклоняющего устройства в струе жидкости. Ошибка будет незначительной, если время прохождения отклоняющего устройства через струю будет незначительным по сравнению с периодом направления потока в приемный бак весоизмерительного устройства. Если график работы отклоняющего устройства (если таковой имеется) идентичен в обоих направлениях (рисунки 3.12), то таймер можно запускать и останавливать в момент начала движения отклоняющего устройства в каждом направлении. Это особенно справедливо для случая линейной зависимости величины расхода от времени.

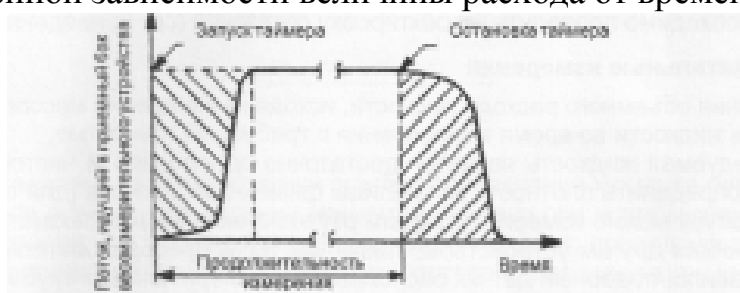


Рисунок 3.12 Измерение времени для отклоняющего устройства, характеристика работы которого является идентичной в обоих направлениях

Тем не менее, если из-за нечеткой работы отклоняющего устройства и из-за неправильного запуска и остановки таймера ошибка определения времени наполнения приемного бака является значительной, следует произвести коррекцию.

3.5.4.3 Приемный бак весоизмерительного устройства

Приемный бак весоизмерительного устройства, в который в течение каждого периода измерения направляется поток, должен иметь достаточную вместимость, чтобы ошибка в определении времени была незначительной. Время наполнения приемного бака для максимальных ожидаемых величин расхода должно составлять, по меньшей мере 30 с. Тем не менее это время можно уменьшить, если при этом достигается требуемая точность. Форма бака может быть любой, однако существенным является его герметичность, и поэтому следует обратить внимание на предотвращение утечки жидкости из бака. Для уменьшения колебаний жидкости в баке и для увеличения жесткости структуры внутри бака могут иметься стенки и перегородки. Бак может быть подвешен к весоизмерительному устройству, может представлять собой платформу весов или может располагаться на платформе весов. Для предотвращения внезапных перегрузок, негативно влияющих на весоизмерительное устройство, необходимо при заполнении бака закреплять его на платформе весов. Бак можно опорожнять различными путями:

- с помощью установленного в днище бака шиберного устройства, герметичность которого должна быть проверена (свободное вытекание с использованием прозрачного шланга или цепи сигнализации вытекания);
- с помощью сифона, характеризующегося эффективным и контролируемым воздушным промежутком;
- с помощью самовсасывающих или погружных насосов.

Скорость опорожнения должна быть достаточно высокой, чтобы измерения можно было повторять через непродолжительные периоды времени. Во всех случаях необходимо тщательно контролировать, чтобы подводящие трубопроводы или электрические провода не создавали никаких механических напряжений между приемным баком и неподвижными частями установки, влияющих на измерение массы, поэтому необходимые соединения должны быть чрезвычайно гибкими, а их гибкость должна быть проверена при проведении калибровки весоизмерительного устройства.

3.5.4.4 Весоизмерительное устройство

Весоизмерительное устройство может быть любого типа - механическим или, например, электронным тензометрическим устройством - при условии, что оно характеризуется требуемой чувствительностью, точностью и надежностью, обеспечивающее достижение точности измерения расхода. Перед проведением измерения расхода жидкости методом взвешивания весоизмерительное устройство должно быть откалибровано на весь диапазон измерения массы.

Весоизмерительное устройство должно регулярно подвергаться профилактическому обслуживанию и метрологическому контролю. Если имеющихся эталонных грузов недостаточно с точки зрения их количества или размеров для метрологического контроля всего диапазона измерения, то метрологический контроль следует проводить ступенчато путем замены эталонных грузов жидкостью и добавления эталонных грузов сверх замененных жидкостью грузов. Следует отметить, что из-за различия в выталкивающей силе атмосферы при калибровке весоизмерительного устройства стандартными грузами при последующем взвешивании эквивалентной массы жидкости необходимо проводить корректировку показаний.

3.5.5 Дополнительные измерения

Для получения объемного расхода жидкости, исходя из измерений массового расхода, очень важно знать плотность жидкости во время взвешивания с требуемой точностью. Если исследуемая жидкость является достаточно однородной и чистой, то можно измерить ее температуру и определить плотность из таблицы физических свойств. Температуру можно измерить простым ртутно-стеклянным термометром или, что более предпочтительно, любым другим устройством, таким как термопреобразователь сопротивления или термопара. Как правило, подобный датчик располагают в измерительном трубопроводе, где необходимо знать величину объемного расхода. В случае использования воды следует принимать во внимание небольшие колебания температуры вокруг среднего значения. Для получения точности измерения плотности с ошибкой менее 10^{-4} требуется точность определения температуры $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тем не менее, если в отношении чистоты жидкости имеются сомнения, необходимо измерять ее фактическую плотность. В этой связи можно взять пробу жидкости и определить ее плотность либо прямым методом путем взвешивания в градуированном цилиндре на аналитических весах, либо непрямым методом, например, путем измерения гидростатической нагрузки на калиброванный поплавок (гидростатические весы) или методом непосредственного сличения с эталонным ареометром или плотномером. При использовании любого метода измерения во время определения плотности необходимо измерять температуру жидкости. Во многих случаях можно считать, что относительное изменение плотности исследуемой жидкости с изменением температуры является идентичным изменению плотности чистой жидкости.

3.5.6 Методика измерения

3.5.6.1 Метод статического взвешивания

Для устранения влияния остаточной жидкости, скапливающейся на дне или смачивающей стенки бака, необходимо вначале влить в бак (или оставить в баке после проведения этапа предыдущего измерения) достаточное количество жидкости, чтобы достичь рабочей массы весоизмерительного устройства. Эта начальная масса m_0 будет учитываться при поступлении потока в приемный бак

весомоизмерительного устройства после этапа стабилизации величины расхода. После достижения установившегося расхода отклоняющее устройство направляет жидкость в приемный бак весомоизмерительного устройства и запускает при этом таймер. После накопления в баке соответствующего количества жидкости отклоняющее устройство срабатывает в обратном направлении и прекращает подачу жидкости в бак. При этом таймер автоматически останавливается и определяется время наполнения бака. После затухания колебаний жидкости в баке регистрируется конечная масса m приемного бака с накопленной жидкостью. Затем бак опорожняется.

3.5.6.2 Метод динамического взвешивания

Поток жидкости направляют в приемный бак весомоизмерительного устройства с открытым сливным клапаном. После достижения режима установившегося расхода сливной клапан приемного бака закрывают. По мере наполнения жидкостью приемного бака таймером автоматически фиксируется время его заполнения.

Имеются также другие методы измерения, например, автоматическое считывание показаний весомоизмерительного устройства в момент поступления потока жидкости в приемный бак и автоматическая фиксация таймером время его заполнения.

3.5.6.3 Общие положения

Если проведен соответствующий анализ величин случайных ошибок, то при измерении величины расхода рекомендуется проводить по меньшей мере два измерения в каждой серии замеров. Результаты различных измерений могут быть записаны вручную оператором, могут быть переданы автоматической системой сбора данных для записи в цифровой форме на печатающем устройстве или могут вводиться непосредственно в компьютер.

3.5.6.4 Расчет массового расхода

Величину среднего расхода по массе в течение времени заполнения приемного бака получают в результате деления фактической массы m собранной жидкости на время заполнения t . В случае необходимости для учета влияния ошибки определения момента переключения отклоняющего устройства или ошибки определения моментов времени при использовании динамического метода величину t корректируют.

3.5.6.5 Расчет объемного расхода

Объемный расход жидкости определяется исходя из полученного согласно массового расхода жидкости и ее плотности. Плотность жидкости определяется по измеренному значению с помощью эталонного плотномера (ареометра) или по табличным значениям согласно измеренным значениям температуры и

давления жидкости.

3.5.6.6 Расчет суммарной погрешности измерения величины расхода жидкости.

Расчет погрешности измерения величины расхода следует проводить в соответствии с СТБ ИСО 5168.

3.5.6.7 Систематические ошибки весоизмерительного устройства

Связанные с использованием весоизмерительного устройства систематические ошибки могут возникать, например, в случае:

- ошибки временного дрейфа характеристик тензодатчиков;
- ошибки определения поправочного коэффициента на выталкивающую силу.

Временной дрейф тензодатчиков характеризуется ошибкой, которая в идеальном случае должна быть меньше уровня чувствительности весоизмерительного устройства. Тем не менее во многих случаях этот идеальный вариант получить нельзя и калибровка весоизмерительного устройства будет производиться с характеристикой распределения ошибок, изображенной на рисунок 3.13.

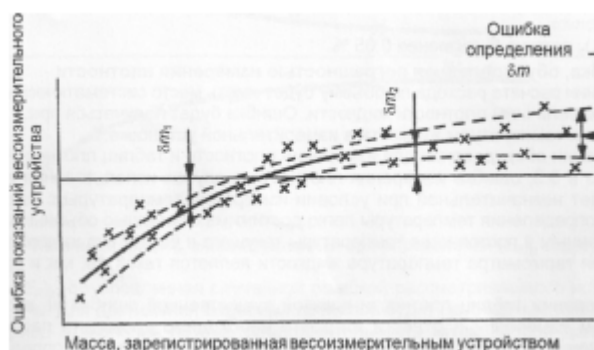


Рисунок 3.13 Пример распределения ошибки показаний весоизмерительного устройства

В общем случае проходящую через отдельные точки кривую можно выразить в виде полинома

$$\delta m = a_0 + a_1 m + a_2 m^2 + \dots + a_n m^n \quad (3.5)$$

Рекомендуется выбирать низший порядок полинома.

В таком случае систематическая ошибка при определении массы жидкости в приёмном баке $\delta(\Delta m)$ будет определяться следующим выражением

$$\delta(\Delta m) = \delta m_2 - \delta m_1 \quad (3.6)$$

Для определения величины этой систематической ошибки необходимо использовать калибровочную кривую приведенной на рисунке 8 формы, однако даже после корректировки разности масс на соответствующую величину будет иметься остаточная погрешность.

3.5.6.8 Систематическая ошибка, обусловленная работой таймера

Любая ошибка в калибровке таймера будет приводить к систематической ошибке измерения времени наполнения бака, однако в связи с использованием современного оборудования эта ошибка является незначительной (менее 1 мс).

Важным является то, чтобы разрешающая способность таймера времени являлась достаточной. Аппаратура с цифровым индикатором будет давать результат с ошибкой до единицы младшего разряда, причем знак ошибки будет зависеть от того, ведется отсчет с конца или с начала соответствующего временного интервала. Для уменьшения этой ошибки до незначительной величины разрешающая способность любого таймера времени должна составлять менее 0,01 % времени наполнения бака.

3.5.6.9 Систематическая ошибка, обусловленная отклоняющим устройством

При условии проведения коррекции ошибки определения времени или при условии настройки таймера времени таким образом, что ошибка определения времени составляет нуль, вносимая отклоняющим устройством погрешность при измерении величины расхода будет равна погрешности определения ошибки нахождения времени.

3.5.6.10 Систематическая ошибка, обусловленная погрешностью измерения плотности

При проведении расчета расхода по объему будет иметь место систематическая ошибка, связанная с использованием величины плотности жидкости. Ошибка будет получаться при:

- определении температуры жидкости в измерительной установке;
- использовании оборудования для измерения плотности и таблиц плотности.

Как отмечено, ошибка измерения плотности в случае использования воды при комнатной температуре будет незначительной при условии измерения температуры с точностью $\pm 0,5$ °С. Подобная точность определения температуры легко достижима с помощью обычных термометров, однако важно быть уверенным в постоянстве температуры текущего в бак потока жидкости и в том, что в районе расположения термометра температура жидкости является такой же, как и во всем попадающем в бак потоке.

3.5.6.11 Случайная ошибка, обусловленная работой весоизмерительного устройства

Из графика, аналогичного приведенному на *рис.3.14*, можно рассчитать среднеквадратическое отклонение точек наиболее подходящей спрямляющей кривой и 95%-ные доверительные пределы распределения, определяемые с ис-

пользованием таблиц t-распределения Стьюдента. Затем эти величины доверительных пределов следует умножить на $\sqrt{2}$ (поскольку определение масс собранной при отклонении потока жидкости производится путем нахождения разности двух взвешиваний), и результат будет являться погрешностью из-за случайной ошибки весоизмерительного устройства. Погрешность, обусловленная случайной ошибкой весоизмерительного устройства, должна составлять менее $\pm 0,1\%$. Определение минимальной массы взвешиваемой жидкости проводится на основании этого критерия.

Величина повторяемости характеризуется измерением времени работы отклоняющего устройства и зависит от повторяемости движения отклоняющего устройства, приводящего в действие таймер времени, и от точности прохождения точки запуска таймера времени. Для любой конкретной установки это можно определить экспериментально путем создания установившейся величины расхода и последующего выполнения серии, предположим 10, переключений за фиксированный промежуток времени, что дает возможность определения 10 значений величин расхода.

Подобное измерение повторяется несколько раз для различных периодов отклонения потока, и исходя из величины среднего квадратического отклонения для каждой серии измерений можно определить 95%-ные доверительные пределы. Таким образом, для правильно сконструированной отклоняющей системы можно получить показанный на рисунке 3.14 график. Величина расхода должна поддерживаться постоянной или нормализованной путем использования эталонного расходомера в измерительном трубопроводе в течение каждого измерения. При превышении некоторого минимального периода отклонения потока 95%-ные доверительные уровни будут сравнительно постоянными, и полученную в этом случае величину можно считать погрешностью измерения величины расхода, вследствие случайных эффектов в отклоняющей системе.

Следует отметить, что $(E_R)_P$ включает в себя разброс, обусловленный считыванием показаний на шкале весоизмерительного устройства.

Важно, чтобы $(E_R)_P$ определялось для нескольких значений расхода, поскольку величина этой погрешности может зависеть от значений величины расхода.

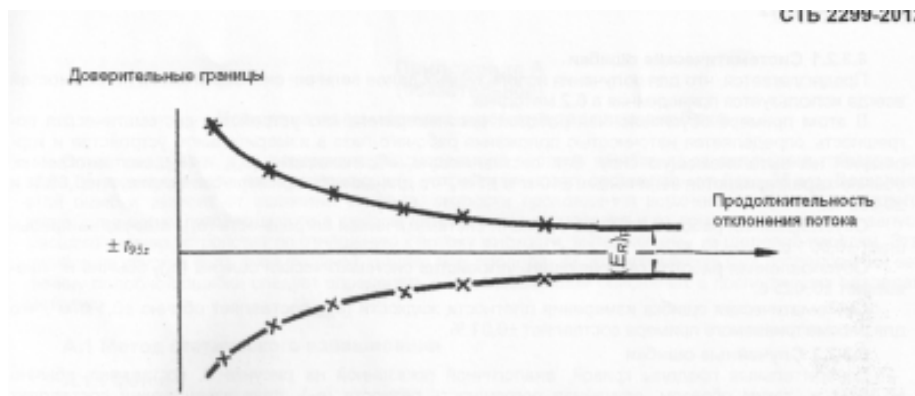


Рисунок 3.14 Типичный график, использующийся при определении $(E_R)_P$ отклоняющего устройства

Погрешность $(E_R)_P$, обусловленная случайной ошибкой рассматриваемого источника, должна составлять менее 0,1 %. Для достижения подобных пределов будет необходимо использовать некоторый минимальный период отклонения потока, продолжительность которого для данной измерительной установки будет определяться на основе информации об абсолютных величинах этих погрешностей.

3.5.7 Расчет погрешности измерения величины расхода

3.5.7.1 Общие положения

Погрешность измерения величины расхода определяют путем суммирования погрешностей, обусловленных описанными выше источниками. Хотя "систематические" ошибки отличаются от "случайных" ошибок, распределение вероятностей возможных величин каждой систематической составляющей является по существу гауссовским и в соответствии с СТБ ИСО 5168 результирующую всех погрешностей можно определять с использованием метода вычисления суммарной погрешности в виде квадратного корня из суммы квадратов отдельных составляющих. Хотя следует учитывать все погрешности, в данном анализе будут рассматриваться только упомянутые в данном случае как составляющие, поскольку при проведении измерений другие источники ошибок будут обуславливать незначительный вклад в суммарную погрешность.

3.5.7.2 Систематические ошибки

Предполагается, что для получения используемых далее величин систематических погрешностей всегда используется приведенная методика.

В этом примере обусловленная работой весоизмерительного устройства систематическая погрешность определяется неточностью положения рабочего паза в измерительном устройстве и коррекцией на выталкивающую силу. Эти составляющие, обозначаемые $(e_s)_b$ и $(e_s)_E$ соответственно, обычно характеризуются величинами ± 10 кг и ± 1 кг, что для данного примера соответствует $\pm 0,05$ % и $\pm 0,005$ %. Обусловленная работой таймера времени систематическая погрешность $(e_s)_{tT}$ обычно не превышает $\pm 0,001$ с. Обусловленная работой отклоняющего устройства систематическая ошибка $(e_s)_p$ обычно не превышает $\pm 0,025$ с.

Систематическая ошибка измерения плотности жидкости $(e_s)_d$ составляет обычно $\pm 0,1$ кг/м³, что для рассматриваемого примера составляет $\pm 0,01$ %.

3.5.7.3 Случайные ошибки

Доверительные пределы кривой, аналогичной показанной на рисунке 3.13, составляют обычно $\pm 0,05$ %, и, таким образом, случайная погрешность разности $(e_R)_b$ двух взвешиваний составляет $\pm 0,07$ %. Таким образом, обусловленная работой весоизмерительного устройства случайная погрешность для рассматриваемого примера составляет ± 14 кг. Случайная погрешность отклоняющего устройства $(e_R)_p$ обычно составляет $\pm 0,01$ с. Случайная погрешность при определении плотности $(e_R)_d$ обычно составляет $\pm 0,1$ кг/м³, что для рас-

смаатриваемого примера соответствует $\pm 0,01\%$.

Широкое внедрение средств измерений и регулирования количества отпускаемой и потребляемой тепловой энергии, расхода холодной и горячей воды, в частности, при квартирном учете, в технологических процессах, требующих высокой точности измерений расхода жидкости, повышение конкурентоспособности продукции отечественного приборостроения требуют создания современной технической эталонной базы для обеспечения единства измерений в данной области. Для поверки и испытаний расходомеров и счетчиков жидкости применяются эталонные проливные расходомерные установки (ПРУ), предназначенные для воспроизведения единицы расхода и количества жидкости и передачи этих единиц рабочим средствам измерений. На сегодняшний день в Республике Беларусь имеется более 90 проливных расходомерных установок.

При поверке расходомеров на проливных установках используются следующие методы измерений:

- метод статического взвешивания;
- объемный метод;
- метод сличения с эталонным расходомером.

Наиболее простым методом является сличение показаний поверяемого расходомера с показаниями эталонных расходомеров, имеющих точность выше, чем точность поверяемого.

Проливная расходомерная установка, на которой используется данный метод, должна включать следующие устройства и элементы:

- эталонные расходомеры, обеспечивающие измерение объема пропускаемой через поверяемый расходомер воды за нормируемый интервал времени во всем диапазоне номинальных расходов поверяемых расходомеров с относительной погрешностью не более $\pm 0,2\%$;
- измерительные преобразователи температуры, давления, уровня;
- циркуляционные насосы;
- шаровые краны, игольчатые вентили, задвижки, электромагнитные клапаны, воздухоотводчики, обратные клапаны, фильтры;
- емкости для хранения воды;
- устройства подготовки воды;
- циркуляционный контур (система труб с измерительным участком, включающим комплект эталонных расходомеров, поверяемые расходомеры-счетчики, закрепляемые с помощью установочных приспособлений и зажимных устройств).

При поверке расходомеров на ПРУ должна обеспечиваться температура воды $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$. При этом изменение температуры воды за время проливки поверяемого расходомера теплосчетчика не должно превышать $0,2^\circ\text{C}$.

Достоинства метода сличения: простота изготовления проливной установки, небольшие стоимостные затраты на проведение поверки.

До 2005г. в республике было значительное количество таких простейших проливных установок. Однако анализ, проведенный по работе этих установок,

показал, что во многих случаях, эталонные расходомеры таких установок после года эксплуатации имели погрешность до ± 3 %. Была подготовлена и утверждена Госстандартом Республики Беларусь "Инструкция по применению проливных расходомерных установок, используемых для поверки расходомеров теплосчетчиков и организации их работы".

Согласно данной Инструкции поверка расходомеров теплосчетчиков должна осуществляться на проливных расходомерных установках, в которых осуществляется воспроизведение потока рабочей жидкости (воды) в широком диапазоне расходов и сечений потока с технической возможностью включения в такой поток поверяемых расходомеров, измерение параметров данного потока эталонными средствами измерений, обработка и документирование результатов измерений. Для поверки расходомеров на проливных установках Инструкция предусматривает использование методов измерений, рассмотренных выше, и включает в себя требования, предъявляемые к установкам, использующим тот или иной метод измерений.

При поверке расходомеров методом статического взвешивания должны применяться эталонные весы и устройство отклонения потока, которое обеспечивает изменение направления движения воспроизводимого ПРУ потока воды в приемную емкость или емкость для хранения воды. Сущность метода состоит в определении массы пропущенной через расходомер воды за измеренный интервал времени. При этом масса пропущенной через расходомер воды определяется исходя из разности массы порожней приемной емкости и ее массы, заполненной жидкостью, пропущенной через расходомер.

Проливная расходомерная установка, на которой используется метод статического взвешивания, должна включать следующие устройства и элементы:

- эталонные весы, диапазон взвешивания которых обеспечивает определение массы пропускаемой через расходомер теплосчетчика воды за нормируемый интервал времени во всем диапазоне номинальных расходов поверяемых расходомеров;
- перекидные устройства (устройства отклонения потока), обеспечивающие изменение направления воспроизводимого ПРУ потока жидкости;
- приемные емкости для сбора пропущенной через расходомер теплосчетчика воды, установленные на весах;
- расходомеры для установки заданного номинального значения расхода воспроизводимого ПРУ потока жидкости;
- измерительные преобразователи температуры, давления, уровня;
- циркуляционные насосы;
- шаровые краны, игольчатые вентили, задвижки, электромагнитные клапаны, воздухоотводчики, обратные клапаны, фильтры;
- емкости для хранения воды;
- устройства подготовки воды;
- циркуляционный контур (система труб с измерительным участком, включающим расходомеры для установки заданного значения расхода воды в

циркуляционном контуре, поверяемые расходомеры-счетчики, закрепляемые с помощью установочных приспособлений и зажимных устройств).

ПРУ при реализации метода статического взвешивания должны иметь относительную погрешность от $\pm 0,2\%$ до $\pm 0,05\%$.

При этом должно выдерживаться соотношение, при котором относительная погрешность ПРУ должна составлять не более $1/5$ допускаемой погрешности поверяемого расходомера.

При поверке расходомеров объемным методом в ПРУ должны использоваться эталонные мерные емкости и устройство отклонения потока, которое обеспечивает изменение направления движения воспроизводимого ПРУ потока воды в эталонные мерные емкости или емкость для хранения воды. Вместо устройства отклонения потока может быть использован клапан-отсекатель, работающий в режиме "старт-стоп".

В ПРУ могут использоваться методы статического взвешивания, объемный метод или метод сличения в различных комбинациях.

В Инструкции указано, что на ПРУ с использованием методов статического взвешивания, объемного метода или метода сличения в различных комбинациях поверка эталонных расходомеров должна проводиться объемным методом или методом статического взвешивания, а поверка расходомеров, входящих в состав теплосчетчика должна осуществляться методом сличения. В Республике имеется опыт создания проливных расходомерных установок, реализующих несколько методов измерений.

Так, например, проливная расходомерная установка, созданная в филиале Гродненского республиканского предприятия электроэнергетики "Гродно-энерго" "Предприятие средств диспетчерского и технологического управления" УПР-200 обеспечивает возможность проведения работ двумя методами:

- методом сличения с эталонными расходомерами;
- весовым методом.

Установка предназначена для испытаний, поверки, калибровки и аттестации расходомеров различного принципа действия (электромагнитных, массовых, ультразвуковых, вихревых), счетчиков жидкости, а также датчиков потока воды, входящих в состав теплосчетчиков.

Диапазон воспроизведения расхода воды от $0,01$ до $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ (т/ч).

При реализации метода сличения с эталонными расходомерами в данной установке в качестве эталонных используются массовые расходомеры Micro Motion. На линии Ду50 № 1 установлены расходомеры модификаций CMF 025M, CMF 050M, CMF 200M, на линии Ду150 – CMF 50M, CMF 200M, CMF 400M с пределами относительной погрешности измерения массового расхода $\pm 0,05\%$. На линии Ду50 № 2 в качестве эталонных используются электромагнитные расходомеры MAGFLO 6000/1100 с Ду 6; Ду 15 и Ду 50.

При реализации весового метода используются весы Mettler Toledo KA32_s, KCS 300_s, KES 3000. Для измерения плотности поверочной среды применяется прямой метод измерений с использованием поточного преобразователя (плотномера) Solartron 7835.



Рисунок 3.15. Выносные терминалы массовых расходомеров, плотномера и весов



Рисунок 3.16 Массовые расходомеры CMF, плотномер Solartron 7835

Конструктивно УПР представляет собой единую техническую систему, связанную гидравлическими и электрическими связями, выполненную в виде двух испытательных линий Ду50 и одной линии - Ду150, позволяющих устанавливать на измерительных участках преобразователи расхода (счетчики) с диаметром условного прохода от Ду2 мм до Ду150 мм в зависимости от используемой испытательной линии.

Основными элементами рассматриваемой проливной расходомерной установки являются:

- гидравлическая система создания и стабилизации потока;
- емкость сбора и хранения оборотной воды;
- эталонные расходомеры, эталонные весы, поточный плотномер;
- термометры и манометры для контроля температуры и давления поверочной среды;
- контроллер ROC 827 для управления и регулирования УПР;
- три перекидных устройства с тремя накопительными емкостями;

- необходимая запорная арматура;
- ПЭВМ, оснащенная специальным программным обеспечением для визуализации и обработки результатов измеряемых параметров.



Рисунок 3.17 Перекидное устройство.



Рисунок 3.18 ПЭВМ со специальным программным обеспечением.



Рисунок 3.19 Емкости для хранения воды.

Метрологические характеристики проливной расходомерной установки определяют в соответствии с программой и методикой метрологической аттестации ПМА.МН 1633-2009. В соответствии с данной методикой метрологические характеристики установки УПР-200 должны соответствовать следующим требованиям:

– пределы допускаемой относительной погрешности измерения массового расхода в режиме статического взвешивания $\pm 0,025$ %, в диапазоне расходов от 0,01 до 200 т/ч;

– пределы допускаемой относительной погрешности измерения объемного расхода в режиме статического взвешивания $\pm 0,05$ %, в диапазоне расходов от 0,01 до 200 м³/ч;

– пределы допускаемой относительной погрешности измерения массового расхода в режиме сличения при использовании массовых расходомеров Micro Motion $\pm 0,2$ % в диапазоне расходов от 0,01 до 200 т/ч;

– пределы допускаемой относительной погрешности измерения объемного расхода в режиме сличения при использовании массовых расходомеров Micro Motion $\pm 0,25$ % в диапазоне расходов от 0,01 до 200 м³/ч;

– пределы допускаемой относительной погрешности измерения объемного расхода в режиме сличения при использовании электромагнитных расходомеров MAGFLO $\pm 0,3$ % в диапазоне расходов от 0,03 до 31 м³/ч.

В 2009 г. специалистами БелГИМ была проведена метрологическая аттестация установки УПР-200. При определении метрологических характеристик, согласно ПМА.МН 1633-2009, выполнялись следующие операции:

– определение относительной погрешности измерения массы жидкости, накопленной за фиксированный интервал времени измерения. Относительная погрешность измерения массы воды $\delta_{e,i}$, накопленной за фиксированный интервал времени, определяется по формуле, %

$$\delta_{e,i} = \pm \frac{\Delta_{e,i}}{m_{e,i}} \cdot 100 \quad (3.7)$$

где $\Delta_{e,i}$ - предел допускаемой абсолютной погрешности весов в i -том диапазоне взвешивания, кг;

$m_{e,i}$ - масса воды, накопленная в емкости для взвешивания за фиксированный интервал времени с учетом коэффициента корректировки K , кг.

Полученная относительная погрешность измерения массы жидкости, накопленной за фиксированный интервал времени измерения, равна 0,02 %.

– определение погрешности измерения плотности. Относительная погрешность измерения плотности воды δ_{ρ} плотномером Solartron 7835 не превышает $\pm 0,033$ %;

– при определении погрешности переключателя потока от разновременности хода проводится серия измерений времени хода в каждой исследуемой точке в режиме "измерение-пролет" ($\tau_{ип}$) и "пролет-измерение" ($\tau_{пи}$). Измерения производятся при четырех значениях расхода для каждого переключателя потока. Результаты измерений обрабатывают согласно ГОСТ 8.207-76. Максималь-

ная относительная погрешность, полученная в результате измерений, составляет 0,0034 % при допускаемой $\pm 0,004$ %;

– определение погрешности измерения длительности фиксированных интервалов времени производится путем сравнения результатов измерений УПР, выведенных на экран монитора ПЭВМ, с результатами измерений электронно-счетного частотомера, включенного в режим измерения длительности импульсов. Максимальная относительная погрешность, полученная в результате измерений длительности фиксированных интервалов времени, составляет 0,008 % при допускаемой $\pm 0,01$ %;

– при определении абсолютной погрешности измерительных каналов частоты следования импульсных сигналов на каждый из измерительных каналов УПР (далее - ИК) параллельно подают электрический частотный сигнал, источником которого является генератор, одновременно этот же сигнал подают на эталонное средство измерений - частотомер электронно-счетный, работающий в режиме счета импульсов. Исследования проводят в трех точках по 20 наблюдений в каждой точке, при заданных значениях частоты: 10000 Гц; 5000 Гц; 10 Гц. Определение абсолютной погрешности проводится путем сравнения результатов измерений по ИК УПР, выведенные на экран монитора ПЭВМ, и частотомера. Полученная в результате измерений абсолютная погрешность измерительных каналов частоты следования импульсных сигналов составляет 1 имп., что соответствует требованиям ПМА.МН 1633-2009;

– для определения наибольшего и наименьшего значений объемного/массового расхода с помощью регулирующей арматуры устанавливают наибольший (наименьший) расход, $Q^V_{\max(\min)}$, $Q^M_{\max(\min)}$. Проводят измерение методом статического взвешивания.

Наибольшее и наименьшее значения объемного расхода, $m^3/ч$, определяют по формуле

$$Q^V_{\max(\min)} = \frac{M_{\text{эт}}}{t \cdot \rho} \cdot 3600 \quad (3.8)$$

где $M_{\text{эт}}$ – эталонное значение массы воды, накопленной в ёмкости для взвешивания, за фиксированный интервал времени с учётом коэффициента корректировки массы воды, кг;

t – длительность фиксированного интервала времени измерения, с;

ρ – плотность воды, для расчетов принимаем $\rho = 1000$ кг/м³.

Наибольшее и наименьшее значения массового расхода $Q^M_{\max(\min)}$, кг/ч, определяют по формуле

$$Q^M_{\max(\min)} = \frac{M_{\text{эт}}}{t} \cdot 3600 \quad (3.9)$$

Установка считается выдержавшей испытания, если максимальное и минимальное значение воспроизводимых расходов для каждой из испытательной линии соответствуют значениям расходов, указанных в таблице 3.2.

По результатам измерений диапазон воспроизводимых расходов соответствует: $Q_{\min} = 0,01 m^3/ч$; $Q_{\max} = 200 m^3/ч$.

Таблица 3.2

Испытательная линия	Наименование и тип эталонных расходомеров	Исследуемые точки поддиапазона
Ду50 №1	Расходомер массовый CMF-025M	(10; 50; 1000) кг/ч
	Расходомер массовый CMF-050M	(450; 2250; 4500) кг/ч
	Расходомер массовый CMF-200M	(4000; 20000; 45000) кг/ч
Ду50 №2	Расходомер электромагнитный MAGFLO 6000/1100 Ду 6	(0,03; 0,4) м ³ /ч
	Расходомер электромагнитный MAGFLO 6000/1100 Ду 15	(0,4; 2,0; 4,0) м ³ /ч
	Расходомер электромагнитный MAGFLO6000/1100 Ду 50	(4,0; 15; 31) м ³ /ч
Ду150 №3	Расходомер массовый CMF-050M	(100; 200; 4000) кг/ч
	Расходомер массовый CMF-200M	(4000; 20000; 45000) кг/ч
	Расходомер массовый CMF-400M	(40000; 100000; 200000) кг/ч

Диапазон воспроизводимых расходов в режиме сличения исходя из диапазона измерения установленных расходомеров составляет от $Q_{\min} = 0,01 \text{ м}^3/\text{ч}$; $Q_{\max} = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$.

– в результате оценки стабильности УПР при воспроизведении и измерении расхода путем многократных наблюдений в каждой исследуемой точке расхода установлено, что повторяемость значений результатов измерения расхода в режиме статического взвешивания не превышает 0,2 %, что соответствует требованиям программы и методики метрологической аттестации;

– определение относительной погрешности расходомеров массовых серии CMF при измерении накопленной массы (массового расхода) проводится путем сравнения результатов измерения накопленной массы воды, прошедшей через CMF, с результатами измерений массы воды, накопленной в емкости для взвешивания на весах УПР;

– определение относительной погрешности расходомеров электромагнитных серии MAGFLO проводится путем сравнения результатов измерения накопленной массы воды, прошедшей через MAGFLO, с результатами измерений массы воды, накопленной в емкости для взвешивания на весах УПР.

Результаты определения относительной погрешности эталонных расходомеров Линии №1 приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Наименование, тип расходомера	Номер	Диапазон измерения	Погрешность, %
Расходомер массовый CMF-025M	№ 14023202	(10-100) кг/ч	0,12
	трансм. № 37778990	(100-1000) кг/ч	0,037
Расходомер массовый CMF-050M	№ 14022269 трансм. №3757661	(450-4500) кг/ч	0,044
Расходомер массовый CMF- 200M	№ 14023604 трансм. № 3758725	(4000-45000) кг/ч	0,05

Результаты определения относительной погрешности эталонных расходомеров Линии №2 приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Наименование, тип расходомера	Номер	Диапазон измерения	Погрешность, %
Расходомер электромагнитный MAGFLO DN6	№ 374003Т171 тр-мит. №93341N203	(0,03-0,4) м3/ч	0,235
Расходомер электромагнитный MAGFLO DN15	№ 170507Т193 тр-мит. №593741N203	(0,4 - 4,0) м3/ч	0,219
Расходомер электромагнитный MAGFLO DN50	№ 218207Т215 тр-мит. №593341N203	(4 - 31) м3/ч	0,197

Результаты определения относительной погрешности эталонных расходомеров Линии №3 приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Наименование, тип расходомера	Номер	Диапазон измерения	Погрешность, %
Расходомер массовый CMF-050M	№ 14020841 трансмит. № 3753579	(100-4000) кг/ч	0,17
Расходомер массовый CMF-200M	№ 14023912 трансмит. № 3757631	(4000-45000) кг/ч	0,05
Расходомер массовый CMF- 400M	№ 14023616 трансмит. № 3758736	(40000-200000) кг/ч	0,05

– относительную погрешность УПР при измерении расхода в режиме сличения определяют по результатам многократных наблюдений по формуле

$$\delta_{сл.} = \pm(\delta_{суст.ЭСИ} + \delta_r) \% \quad (3.10)$$

где δ_r -случайная составляющая погрешности измерения расхода в режиме сличения.

В соответствии с требованиями ПМА.МН 1633-2009 установку считают выдержавшей испытания, если относительная погрешность при измерении расхода в режиме сличения не превышает:

– 0,2 % при использовании массовых расходомеров Micro Motion при измерении массового расхода;

– 0,25 % при использовании массовых расходомеров Micro Motion при измерении объемного расхода;

– 0,3 % при использовании электромагнитных расходомеров MAGFLO при измерении объемного расхода.

По результатам исследований максимальная относительная погрешность установки в режиме сличения составляет:

– Линия №1: $-\delta_{Q_m} = \pm(\delta_{эси} \pm \delta_{rk}) = 0,20$ % в диапазоне массового расхода (0,01 - 45) т/ч; $-\delta_{Q_o} = \pm(\delta_{эси} \pm \delta_{rk}) = 0,23$ % в диапазоне объемного расхода (0,01 - 45) м³/ч.

– Линия №2: $-\delta_{Q_o} = \pm(\delta_{эси} \pm \delta_{rk}) = 0,29$ % в диапазоне объемного расхода (0,03 - 31) м³/ч.

– Линия №3: $-\delta_{Q_m} = \pm(\delta_{эси} \pm \delta_{rk}) = 0,21$ % в диапазоне массового расхода (0,1 - 200) т/ч; $-\delta_{Q_o} = \pm(\delta_{эси} \pm \delta_{rk}) = 0,25$ % в диапазоне объемного расхода

(0,1 - 200) м³/ч.

При определении относительной погрешности установки УПР-200 получены следующие результаты:

- в диапазоне воспроизводимых расходов в режиме статического взвешивания:
 - при измерении массового расхода от 0,01 до 200 т/ч относительная погрешность составляет 0,024 %,
 - при измерении объемного расхода от 0,01 до 200 м³/ч относительная погрешность составляет 0,043 %.
- в диапазоне воспроизводимых расходов в режиме сличения:
 - при измерении массового расхода от 0,01 до 200 т/ч составляет 0,20 %;
 - при измерении объемного расхода от 0,01 до 200 м³/ч составляет 0,25%;
 - при измерении объемного расхода от 0,03 до 31 м³/ч составляет 0,30 %.

3.6 Тахометрические расходомеры газа

Тахометрическими называются расходомеры, в которых преобразователи расхода (турбинка, шарик и т.п.) вращаются со скоростью, пропорциональной объемному расходу измеряемой среды. Наиболее распространены турбинные и ротационные (камерные) конструкции тахометрических расходомеров.

Турбинные и ротационные расходомеры измеряют объемные расходы в реальных (рабочих) объемных единицах. Для приведения рабочего объемного расхода к нормализованным объемным единицам необходимо знать температуру T , давление P и коэффициент сжимаемости измеряемой газовой среды $K_{сж}$. С этой целью перед первичным преобразователем расхода устанавливается датчик давления, а после - датчик температуры, выходные измерительные каналы которых подключаются к вычислительному устройству.

Для всех газообразных сред существует конкретная зависимость: $Gr=f(T, Go, P, K_{сж})$.

Турбинные счетчики газа СГ-16 (75) М применяются для измерения расходов и объемов плавно меняющихся потоков сухих, очищенных одно и многокомпонентных неагрессивных газов в условиях среднего и высокого давлений (до 75 бар). Они реализуют косвенный метод измерения. Газ, проходящий через расходомер, приводит во вращение находящуюся в его потоке турбину. Число оборотов турбины в широком диапазоне его расходов прямо пропорционально протекающему объему газа. Вращательное движение турбины посредством многоступенчатого редуктора передается на счетный механизм, регистрирующий рабочий объем прошедшего газа.

3.6.1 Основные термины и определения

Счетчик газа турбинный: Измерительное устройство, которое преобразует динамическую силу газа, протекающего в турбинном колесе, в обороты,

при этом скорость вращения является функцией объемного расхода газа. Число оборотов турбинного колеса создает основу для измерения объема газа, протекающего через счетчик.

Измеряемая величина: Объем в кубических метрах при условиях измерения.

Объемный расход: Объем газа в единицу времени при условиях измерения.

Диапазон расхода: Совокупность значений расходов газа, находящихся в интервале, ограниченном максимальным расходом Q_{\max} и минимальным расходом Q_{\min} , и в котором нормируется погрешность измерения счетчика

Средняя скорость: Отношение объемного расхода газа к площади поперечного сечения элементов подключения счетчика.

Корпус: Устойчивая к давлению внешняя оболочка счетчика.

Давление при измерении p_m : Абсолютное давление газа, при котором измеряется объем газа.

Рабочее давление: Разница между давлением газа на входе счетчика и атмосферным давлением.

Рабочий диапазон давлений: Допустимый диапазон давлений, по которому калиброван счетчик, и в пределах которого счетчик соответствует метрологическим требованиям.

Диапазон рабочих температур: Диапазон измеряемых температур, в пределах которого счетчик соответствует метрологическим требованиям.

Максимальное расчетное давление p_{\max} : Давление, основанное на расчетных данных.

DN – маркировка: Буквенное обозначение габаритных размеров составных частей системы трубопроводов с целью классификации. Маркировка состоит из букв DN, затем следует цифровое значение, которое косвенно относится к данным о физических размерах в миллиметрах внутреннего или внешнего диаметра выходных соединений.

PN – маркировка: Буквенное обозначение классификации, касающееся комбинации механических свойств и определения параметров составных частей системы трубопроводов по отношению к давлению. Обозначение состоит из букв PN и числового значения.

Условия измерения: Условия расхода газа в точке измерения (например, температура и давление измеряемого газа).

Число Рейнольдса Re : Числовое значение, которое является критерием потока

$$Re = 0.3537 \times \frac{Q}{D \times v} \quad (3.11)$$

где D - внутренний диаметр трубы.

Погрешность измерения: Показания турбинного счетчика газа минус эталонное значение измеряемой величины. Погрешности (δ) представляются как относительные значения (в процентах) через отношение разности между измеренным объемом (V_i) и эталонным объемом (V_e) к эталонному значению газа, протекающего через газовый счетчик

$$\delta = \frac{V_i - V_c}{V_c} \times 100 \quad (3.12)$$

Потеря давления: Разность давления на входе и выходе, возникающая в трубопроводе при протекании газа через счетчик.

Количество импульсов: Число импульсов на каждый измеренный кубический метр газа.

Первое семейство: Газ с числом Воббе в пределах между 23,8 МДж·м⁻³ и 31,4 МДж·м⁻³ согласно EN 437, относительно значения теплоты сгорания.

Второе семейство: Газ с числом Воббе в пределах между 41,3 МДж·м⁻³ и 57,9·МДж· м⁻³ согласно EN 437, относительно значения теплоты сгорания.

3.6.2 Требования к метрологическим характеристикам

Для установки метрологических характеристик соответствующего типа счетчика каждый из них должен пройти ряд испытаний. Если тип счетчика предусматривает различные размеры при аналогичной основной конструкции и различных условиях измерения, то испытания на допуск счетчика к эксплуатации должны проводиться с ограниченным числом образцов счетчиков (от 1 до 6 вне зависимости от размеров), которые являются репрезентативными для различных размеров и условий измерения.

Счетчик должен быть оборудован всеми конструктивными элементами, которые могут влиять на метрологические рабочие характеристики.

3.6.3 Испытания на допуск к эксплуатации типа счетчика газа

3.6.3.1 Погрешность измерения

С учетом таблицы 3.6 погрешность измерения счетчика в абсолютных значениях должна быть меньше, чем приведенные в таблице максимально допустимые пределы погрешности.

Таблица 3.6

Расход газа Q	Максимально допустимые пределы погрешности
$Q_{\min} < Q < Q_t$	$\pm 2 \%$
$Q_t < Q < Q_{\max}$	$\pm 1 \%$

Таблица 3.7

Диапазон расхода	Q_t
1:10	$0,20 \cdot Q_{\max}$
1:20	$0,20 \cdot Q_{\max}$
1:30	$0,15 \cdot Q_{\max}$
$\geq 1:50$	$0,10 \cdot Q_{\max}$

Если испытания проводятся более чем при одном значении давления, то разница между результатами испытания между $0,25 \cdot Q_{\max}$ и Q_{\max} не должна превышать 0,5 % для счетчиков с DN > 100 и 1,0 % для счетчиков с DN ≤ 100.

Если счетчик сертифицирован для диапазона рабочего давления, то он считается сертифицированным также для каждого меньшего диапазона рабоче-

го давления.

Если счетчик сертифицирован для диапазона расхода, то он считается сертифицированным также для каждого меньшего диапазона расхода.

Перед испытанием на допуск к эксплуатации счетчик газа должен пройти фазу обкатки в течение пятидесяти часов при расходе газа минимум $0,5 \cdot Q_{max}$.

Испытание заключается в определении погрешности измерения всего счетчика при расходах газа, указанных в таблице 3.8. Для типа счетчика для измерения в диапазоне давления до 4 бар включительно испытание на погрешность измерения должно проводиться с газом при атмосферных условиях (± 100 мбар).

Для счетчика при измерении в диапазоне давления больше 4 бар определение погрешности измерения должно проводиться с газом в диапазоне условий измерения, указанных для данного типа счетчика. Испытания должны проводиться как минимум при самом низком и самом высоком давлении согласно данным изготовителя. Однако для документально доказанного максимального давления выше 50 бар считается необходимым испытание при давлении 50 бар.

Таблица 3.8

Диапазон нагрузки			
1:10	1:20	1:30	1:50
			2
		3	
	5	5	5
10	10	10	
			15
25	25	25	25
40	40	40	40
70	70	70	70
100	100	100	100

3.6.3.2 Устойчивость

В диапазоне расхода газа от $0,25 \cdot Q_{max}$ до Q_{max} погрешность измерения счетчика при каждом расходе газа задается в пределах 0,2 %.

Погрешность измерения счетчика при различных расходах газа должна определяться в следующей последовательности: $0,25 Q_{max}$; $0,70 \cdot Q_{max}$; $0,40 \cdot Q_{max}$; Q_{max} при этом изменение от $0,40 \cdot Q_{max}$ до Q_{max} происходит при промежуточной установке $1,10 \cdot Q_{max}$, чтобы достичь максимального расхода газа Q_{max} . При каждом расходе газа погрешность должна определяться трижды без изменения номинального расхода газа. Этот цикл должен повторяться три раза. Испытание должно проводиться с газом при атмосферных условиях (± 100 мбар) или при самом низком давлении, указанном для счетчика. Девять раз погрешность индикации должна находиться в пределах 0,2 %.

3.6.3.3 Линейность

Для испытательного расхода газа от $0,25 \cdot Q_{max}$ до Q_{max} при каждом испы-

тательном давлении разность между самой высокой и самой низкой погрешностью измерения не должна превышать значения, указанные в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Размер	Давление	
	≤ 4 бар	> 4 бар
≤ DN 100	1,0 %	0,5 %
> DN 100	1,0 %	0,3 %

3.6.3.4 Срок эксплуатации

Счетчики газа должны сохранять метрологические характеристики, в пределах установленных значений в течение всего ожидаемого срока службы. Для подтверждения этого счетчики должны подвергаться испытанию на длительную эксплуатацию. Разность между погрешностью в начале и конце испытания должна составлять менее трети максимальной предельной погрешности, указанной в таблице 3.6.

Из каждого типа счетчиков для испытания на длительную эксплуатацию выбирается до шести образцов вне зависимости от размеров. Счетчики должны быть оборудованы прибором индикации. Длительность испытания должна быть определена таким образом, чтобы соответствующий счетчик измерял объем газа, который соответствует времени эксплуатации 1000 ч при максимальном расходе газа. Испытание должно закончиться в течение двух месяцев. Для типа счетчиков, предусмотренных для эксплуатации в диапазоне давления до 4 бар включительно, испытание должно проводиться с газом при давлении 4 бара или при максимальном рабочем давлении, если давление ниже 4 бар. Для типа счетчиков, предусмотренных для эксплуатации в диапазоне давления более 4 бар, испытание должно проводиться с газом при давлении минимум 8 бар или при максимальном рабочем давлении, если давление ниже 4 бар. В конце испытания следует вновь определить погрешность счетчика при тех же условиях и на том же испытательном стенде, что и в начале испытания.

3.6.3.5 Положение счетчика при установке

Если на счетчике не указано, что он должен использоваться в системе трубопроводов только в определенных положениях, то для каждого типа счетчика следует установить влияние положения счетчика на его характеристики при измерении. Следует проверить следующие позиции: горизонтальную, вертикальную – расход газа направлен вверх, вертикальную – расход газа направлен вниз.

Испытание состоит из двух частей:

– счетчик должен быть проверен во всех указанных позициях согласно. Испытание должно происходить при самом низком рабочем давлении счетчика. Разница результатов испытания должна быть меньше, чем треть максимально допустимых предельных погрешностей соответственно для расходов

газа выше и ниже Q_i ;

– образец счетчика в каждой позиции должен быть подвергнут испытанию на длительную эксплуатацию.

3.6.3.6 Временная перегрузка

Счетчик должен быть сконструирован так, чтобы в пределах допустимого для него диапазона давлений и температур иногда мог эксплуатироваться в условиях превышения максимального расхода газа на 20 %, и это не оказывало бы влияния на погрешность измерения счетчика.

Счетчик должен эксплуатироваться в течение часа при расходе газа $1,2 \cdot Q_{max}$. Испытание должно проводиться при тех же давлениях, что и при испытании на погрешность измерения.

3.6.3.7 Диапазон температур

Диапазоны рабочих температур, на которые рассчитан счетчик в пределах требований, должны задаваться изготовителем.

3.6.3.8 Максимально допустимая потеря давления

Данные относительно потери давления для типа и габаритных размеров счетчика должны быть указаны изготовителем. Потеря давления нового турбинного счетчика газа при условиях атмосферного давления (± 100 мбар) в качестве испытательной среды и расходе Q_{max} , должно быть меньше, чем представленные значения в таблице 3.10.

Таблица 3.10.

Номинальный диаметр	Потеря давления (Па)
Согласно С	1000
Согласно В	1500
Согласно А	2500

Определения А, В, С смотри в таблице 3.4.

Потеря давления счетчика со всеми деталями, которые необходимы, должна измеряться между двумя точками. Эти точки должны находиться в пределах отрезка $1D$ перед и после входа и выхода счетчика (и всех дополнительных монтажных элементов) на трубе с тем же номинальным диаметром, что и у счетчика. При этом места измерения давления следует выбирать и устанавливать тщательно, чтобы помехи в профиле потока газа не оказали отрицательного влияния на измерение давления.

Потеря давления при Q_{max} счетчика и всех дополнительных монтажных элементах, которые необходимы, должна быть указана в свидетельстве об испытаниях типа.

3.6.3.9 Выходной вал

Тормозной момент, передающийся с выходного вала на счетчик, должен оказывать на метрологические характеристики счетчика газа лишь ограниченное влияние, так чтобы при испытании погрешность счетчика при Q_{\min} не превышала значения, приведенного в таблице 3.11.

Таблица 3.11.

Q_{\min}	Максимально допустимое изменение погрешности счетчика
$0,02 \cdot Q_{\max}$	1,0 %
$0,03 \cdot Q_{\max}$	1,0 %
$0,05 \cdot Q_{\max}$	1,0 %
$0,10 \cdot Q_{\max}$	0,5 %

Следует установить максимально допустимые моменты вращения, приведенные на турбинном счетчике, при атмосферном давлении (± 100 мбар).

3.6.3.10 Общие требования к конструкции и материалам

Счетчик газа должен быть сконструирован так, чтобы в установленном положении можно было распознать по счетчику или по калибровочной или защитной метке любое механическое влияние, которое может оказывать воздействие на точность измерения.

Счетчик должен быть сконструирован таким образом, и допуски при его изготовлении установлены так, чтобы монтажные элементы и счетчик были взаимозаменяемы по размерам и типу.

Все детали счетчика и смазка, которые соприкасаются с измеряемой средой, должны быть изготовлены из соответствующих материалов и не должны быть чувствительны к воздействиям среды и ее составным частям.

Поверхности должны быть защищены от коррозии, а конструкция должна быть устойчива против стекающей воды.

Все детали счетчика должны быть изготовлены из материалов, свойства которых существенно не изменяются в течение срока службы счетчика. Корпус счетчика и все другие детали счетчика, подвергающиеся нагрузкам, должны быть изготовлены из бездефектных материалов и сконструированы согласно ТНПА на них в отношении давления и температур, на которые рассчитан счетчик. Кроме того, параметры конструкции и материалов должны быть определены так, чтобы сохранялись их эксплуатационные характеристики, если установка счетчика газа производится в соответствии с рекомендациями изготовителя.

Внутренние подшипники и приводной механизм должны быть защищены от проникновения загрязнений или частиц из потока газа. Все внутренние детали должны быть изготовлены из материалов, устойчивых против деформации и против любой прямой или косвенной коррозии в результате воздействия газа.

Приведенные выше требования должны быть проверены путем визуального контроля.

3.6.3.11 Жесткость конструкции

Изготовитель обязан провести испытание давлением для каждого отдельного счетчика.

3.6.3.12 Корпус счетчика

Детали корпуса, которые на внешней стороне непосредственно соприкасаются с окружающим воздухом или на внутренней с газом, должны иметь достаточную прочность и толщину.

3.6.3.13 Устойчивость к внутреннему давлению

Корпус счетчика должен быть сконструирован так, чтобы быть устойчивым к внутреннему давлению с соответствующим запасом прочности для материала корпуса при P_{max} . Альтернативно корпус должен быть подвергнут испытанию для обеспечения достаточной прочности корпуса при эксплуатации.

Корпус каждого счетчика и все подвергающиеся воздействию давления детали счетчика должны быть подвергнуты испытанию на прочность. Изготовитель должен предоставить для каждого счетчика свидетельство о том, что счетчик выдержал испытание согласно EN 10204. В отличие от турбинных, ротационные счетчики газа RVG реализуют прямой метод измерения, что и обуславливает их преимущества. Принцип работы расходомеров газа RVG основан на вытеснении газа роторами. При подаче газа увеличивается перепад давления между входом и выходом счётчика. Это вызывает вращение роторов, которые соединены с помощью высокоточных синхронизированных зубчатых колёс. Роторы вращаются во взаимно противоположных направлениях. Контакт металла с металлом между роторами и корпусом счётчика нет. В процессе работы счетчика, измерительная камера, образованная пространством между ротором и корпусом, периодически наполняется газом и опорожняется. Вращение роторов с помощью редуктора передаётся через магнитную муфту на 8-ми разрядную счётную головку, которая регистрирует объём газа при рабочих условиях.

3.6.4 Достоинства и недостатки тахеометрических расходомеров газа

К достоинствам систем измерения, использующих счетчики газа СГ-16М и RVG, следует отнести:

- широкий динамический диапазон измерения ($G_{max} \setminus G_{min} > 20$);
- высокая точность измерения ($\delta_q > 1 \%$);
- низкие потери давления;
- малая инерционность механической системы счетчика RVG и, следовательно, низкая погрешность измерения объема газа в прерывистом режиме работы счетчика, что особенно важно при использовании в автономных газовых котельных.

К недостаткам ротационных и турбинных расходомеров газа необходимо отнести:

- требование регулярного контроля уровня масла и применения фильтров
- ограниченный верхний диапазон расхода до 400 м³/ч (для ротационных расходомеров);

- требование наличия прямых участков (для турбинных расходомеров), а также инерционность при работе данных расходомеров газа в импульсном режиме, которая характеризуется занижением фактического объема при разгоне и завышением при остановке турбинного колеса. Так возникает динамическая ошибка турбинного расходомера газа при работе его в импульсном режиме. Эта ошибка тем больше, чем больше пульсация потока газа (чаще срабатывает отсечной клапан).

Применение роторных счетчиков газа также имеет ряд специфических особенностей:

- при монтаже счетчиков газа RVG не требуется прямых участков трубопровода и монтаж может производиться как на горизонтальном, так и на вертикальном участке газопровода;

- необходим регулярный контроль уровня масла. При эксплуатации рекомендуется применять фильтры или коническое сито для улавливания частиц размерами больше чем 0,25 мм. Если газ очень загрязнен, то необходимо применять добавочный фильтр, который улавливает частицы размерами больше чем 0,05 мм;

- диапазон измерения до 1:100 (от 0,8 м³/ч до 400 м³/ч);

- максимальное рабочее давление: 1,6 МПа (16 бар);

- размер трубопровода, Ду: от 50 мм до 100 мм;

- диапазон температуры окружающей среды (от -30 до +70) °С, измеряемой среды (от -20 до +60) °С;

- допустимая основная относительная погрешность расходомера газа при выпуске из производства и после ремонта не превышает: 1- 2 % в диапазоне расходов от $Q_{перех}$ до 0,1 Q_{max} и ± 1 % в диапазоне расходов от 0,1 $Q_{тах}$ до Q_{max} .

3.7 Ультразвуковые счетчики газа

Ультразвуковые счетчики (УЗСГ) для измерения потока газа начиная с 2005 года быстро проникли на рынок счетчиков газа и стали представлять одну из главных концепций построения счетчиков газа для технологического применения, а так же для коммерческого учета и измерений в газораспределительных системах. Наряду с высокой воспроизводимостью и высокой точностью ультразвуковая технология имеет и другие характерные особенности: незначительное падение давления; широкие пределы измерений и способность работать с пульсирующими потоками.

УЗСГ могут предоставлять расширенную диагностическую информацию, позволяющую продемонстрировать функциональность УЗСГ. Кроме того, измеренную УЗСГ скорость звука можно сравнить со скоростью звука в среде, вычисленной на основе давления, температуры и газового состава, что позволяет провести взаимную проверку правильности работы четырех задействованных в

процессе средств измерения. Вследствие расширенных диагностических способностей УЗСГ, в настоящее время поощряется внедрение и применение автоматизированной диагностики вместо трудоемких проверок системы качества.

Типичные классификационные рабочие характеристики следующие:

- коммерческий учет $\pm 0,7$ % ISO 17089-1;
- газораспределительные системы $\pm 1,5$ % ISO 17089-1;
- дополнительное оборудование и технологические процессы ISO 17089-2^a;
- факельный газ и выбросы ISO 17089-2^a.

Типичные счетчики класса 1 и класса 2 представляют собой многолучевые счетчики с хордами в различных радиальных позициях.

Типичные счетчики класса 3 и класса 4 представляют собой однолучевые счетчики, счетчики с только диаметральными траекториями, погружные счетчики, бытовые счетчики, счетчики для установки в вытяжках и дымоходах, а также счетчики для факельного газа.

3.7.1 Основные термины и определения

Объемный расход: объемный расход рассчитывается по формуле

$$q_v = \frac{dV}{dt}, \quad (3.13)$$

где V - объем;

t - время.

Рабочий диапазон, пределы изменений: набор значений величин одного вида, которые могут быть измерены данным измерительным прибором или измерительной системой с заданной инструментальной неопределенностью, при определенных условиях.

Измеряемое давление p : - абсолютное давление газа в счетчике при условиях потока, которым соответствует отображаемый объем газа.

Средняя скорость v : - объемный расход, деленный на площадь поперечного сечения.

Корпус счетчика: подверженная давлению часть счетчика.

Акустическая траектория: траектория акустической волны между парой ультразвуковых преобразователей.

Осевая траектория: траектория акустической волны, совпадающая с направлением главной оси трубопровода.

Примечание. Осевая траектория может проходить либо строго по осевой линии или продольной оси трубы, либо быть параллельной к ней (смотри рисунок 3.20).

Диаметральная траектория: траектория акустической волны, которая пересекает осевую линию или продольную ось трубы (смотри рисунок 3.21).

Хордотраектория: траектория акустической волны, которая проходит параллельно к диаметральной траектории (смотри рисунок 3.22).

Условия измерения: условия, в точке измерения текучей среды, объем которой должен быть измерен.



Рисунок 3.20 Осевая траектория.

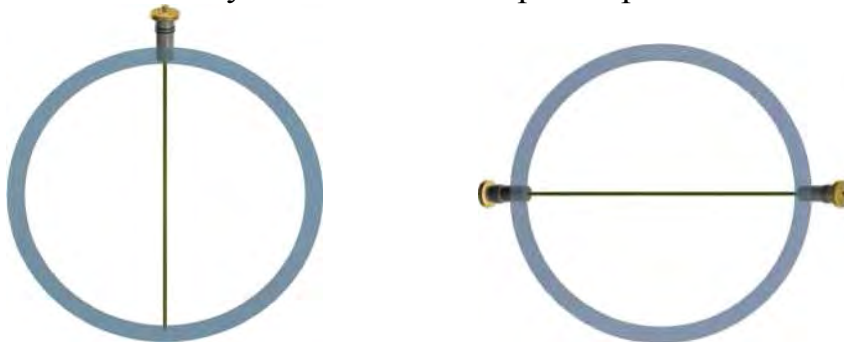


Рисунок 3.27 Диаметральная траектория.

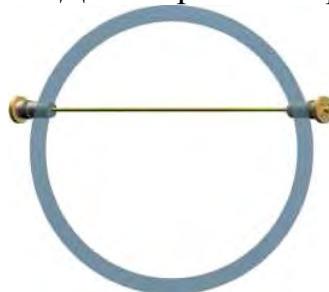


Рисунок 3.22 Хордотраектория.

Примечание. Условия измерения включают газовый состав, температуру и давление.

Базовые условия: условия, к которым преобразуется измеренное количество газа.

Примечание. Базовые условия включают базовую температуру и базовое давление.

Заданные условия эксплуатации: параметры текучей среды, для которых указаны эксплуатационные характеристики счетчика.

Погрешность измерения, погрешность: измеренное значения величины минус значение эталонной величины.

Кривая погрешности: объединяющая кривая (например, многочлен), описывающая набор данных о погрешности как функции расхода эталонного счетчика.

Максимально допускаемая погрешность: предельные значения погрешности, относительно известного значения эталонной величины, разрешенные техническими условиями, правилами и другими документами для данного рабочего диапазона счетчика.

Максимальная погрешность между пиковыми значениями: максимальная разность между любыми двумя значениями погрешности.

Сходимость: точность измерения при наборе условий повторяемости измерения.

Прецизионность измерения: близость соответствия между показанными значениями испытываемого счетчика, полученными при повторных измерениях, выполненных одним и тем же счетчиком при заданных условиях.

Воспроизводимость: прецизионность измерения при условии воспроизводимости измерения.

Разрешающая способность: наименьшая разность между показаниями счетчика, которую можно обоснованно выявить.

Скоростной интервал дискретизации: интервал между двумя последовательными измерениями скорости газа, каждое из которых является набором истинных значений измерительной величины с установленной вероятностью, основанной на доступной информации

Считывание при нулевом расходе: начальная погрешность измерения, при котором газ является неподвижным, и когда оба значения составляющих скорости, как осевой, так и не-осевой, равны нулю.

Линеаризация: способ уменьшения нелинейности ультразвукового счетчика, в общем случае – путем применения поправок, вводимых при помощи программного обеспечения.

Примечание. Линеаризация может быть применена в электронных блоках счетчика, или же в корректоре, связанном с УЗСГ. Поправка (коррекция) может применяться, например, в виде кусочной линеаризации или полиномиальной линеаризации.

Уклон: градиент линии, соединяющей точки на графике.

Пример. Градиент прямой аппроксимирующей линии лучшего приближения, полученной методом наименьших квадратов, проходящей через калибровочные точки в кривой погрешности.

Символы: Примеры символов, обозначающих расход приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12

Символ	Значение
$q_{v, \max, 20}$	Проектный максимальный расход, рассчитанный для максимальной скорости газа 20 м/с
$q_{v, \max, x}$	Проектный максимальный расход, рассчитанный для максимальной скорости газа x м/с
$q_{v, \max, op}$	Эксплуатационный максимальный расход; определен только в случае, если он меньше проектного максимума
$q_{v, \max, cal}$	Самый высокий расход, при котором калиброван счетчик; определен только в случае, если он меньше эксплуатационного максимума
$q_{v, \min}$	Проектный минимальный расход
$q_{v, t}$	Переходный расход для определения требований к точности

Сокращения: Принятые сокращения приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13

Сокращение	Значение
АСУТП	автоматизированная система управления технологическим процессом
КИВ	калибровочная и измерительная возможность
ЭС	электронная система
ЗПИ	заводские приемочные испытания
ФП	формирователь потока
МЭСГ	метод эталонного счетчика газа
ВСПр	взвешенная по расходу средняя погрешность
ИРО	распечатка отклонений за период эксплуатации
ИРГ	гистограмма отклонений за период эксплуатации
МРО	распечатка отклонений за месяц
ГИС	газоизмерительные и регулирующие станции
С/Ш	соотношение сигнал-шум
СЗ	скорость звука
ИСЗ	измеренная скорость звука
ТСЗ	теоретическая скорость звука
УЗ	ультразвуковой
УЗСГ	ультразвуковой расходомер
УЗСГ _к	УЗСГ в комплекте, включающем трубные участки, корректор и термогильзу
УЗСГ(к)	УЗСГ и УЗСГ _к

3.7.2 Принципы измерения

УЗСГ основаны на измерении времени распространения акустических волн в текущей среде.

Рисунок 3.23 иллюстрирует базисную конструкцию системы. С обеих сторон трубы, в позициях А и В, установлены преобразователи, способные к передаче и получению ультразвуковых (УЗ) импульсов. Эти преобразователи передают УЗ импульсы в пределах такого короткого интервала, что скорость звука (СЗ) идентична для обоих измерений, причем измеряется время прохождения этих звуковых импульсов. В условиях нулевого расхода время прохождения от А к В, t_{AB} , равно времени прохождения от В к А, t_{BA} . Однако, если поток присутствует, время прохождения звукового импульса от А до В уменьшается, а от В к А – соответственно увеличивается, согласно выражениям (игнорируя второстепенные эффекты, такие как кривизна траектории)

$$t_{AB} = \frac{l_p}{(c + v \cos \phi)} \quad (3.14)$$

$$t_{BA} = \frac{l_p}{(c - v \cos \phi)} \quad (3.15)$$

где: l_p - длина траектории;
 c - СЗ;
 v - средняя скорость;
 ϕ - угол наклона траектории;
 t_{AB} , t_{BA} - время прохождения акустического импульса.

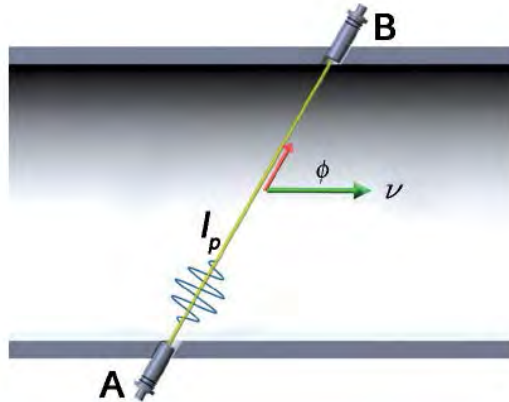


Рисунок 3.23 Базисная конструкция системы.

Уравнение (3.20) для измеренной скорости газа может быть выведено при вычитании уравнения (3.15) из уравнения (3.14)

$$v_i = \frac{l_p}{2 \cos \phi} \left(\frac{1}{t_{AB}} - \frac{1}{t_{BA}} \right) \quad (3.16)$$

Обратите внимание, что термин для СЗ в газе удален из уравнения (3.16). Это означает, что измерение скорости газа не зависит от свойств газа, например, давления, температуры и газового состава. Однако, если преобразователи углублены, то присутствует дополнительный компонент задержки по времени, зависящий от СЗ. Подобным способом СЗ может быть получена при добавлении уравнений (3.15) и (3.14) и перестановки слагаемых

$$C = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_{AB}} + \frac{1}{t_{BA}} \right) \quad (3.17)$$

В многолучевых счетчиках отдельные измерения скорости по всем траекториям объединяются математической функцией, что дает возможность оценки средней скорости

$$v = f(v_1, \dots, v_n) \quad (3.18)$$

где n - общее количество траекторий. Вследствие вариаций в конфигурации траекторий и различных, инновационных подходах к решению уравнения (3.17), даже для одинакового заданного числа траекторий (лучей), точные формы зависимостей $f(v_1 \dots v_n)$ могут отличаться.

Чтобы получить объемный расход q_{Vr} умножают оценку средней скорости, v , на площадь поперечного сечения измерительного участка, A , следующим образом

$$q_v = A v \quad (3.19)$$

3.7.3 Коэффициенты, воздействующие на рабочие характеристики

Рабочие характеристики УЗСГ зависят от ряда внутренних и внешних факторов.

Внутренние факторы (то есть относящиеся к счетчику и его калибровке перед поставкой) включают:

- геометрия корпуса счетчика и местоположения УЗ преобразователей, а также неопределенность, с которой они известны (включая коэффициент, зависящий от температуры и давления);
- точность и качество преобразователей и электронных компонентов, используемых в электрической схеме измерения времени прохождения импульсов (например, стабильность электронных часов);
- методики, применяющиеся для измерения времени прохождения и вычисления средней скорости (последняя определяет чувствительность счетчика к изменениям в распространении скоростей потока);
- калибровка (включая соответствующую компенсацию за задержки сигнала в электронных компонентах и преобразователях).

Внешние эффекты, то есть относящиеся к потоку и условиями окружающей среды в том или ином применении, включают:

- профиль скорости потока;
- распределение температуры;
- пульсации потока;
- шум, акустический и электромагнитный;
- твердые и жидкие загрязнения;
- сохраняемость размеров длительное время.

3.7.4 Преобразователи

Преобразователи могут поставляться в различных формах. Как правило, они включают пьезоэлектрический элемент с электродными соединениями и опорную механическую конструкцию, при помощи которой производится подключение к процессу. Преобразователи для коммерческих операций и измерения в распределительных узлах устанавливаются в т.н. увлажненном положении (т.е. в прямом контакте с текучей средой).

Типовые схемы расположения преобразователей показаны на рисунке 3.24. Подсоединения к процессу для увлажненных преобразователей могут быть сварными, фланцевыми, резьбовыми, или же могут быть выполнены механически более сложными, например, чтобы позволить демонтаж преобразователей непосредственно из опрессованной линии. Активный элемент обычно изолируется от текучей среды при помощи акустически связующего элемента. Во время работы активный элемент передает УЗ колебания под углом к оси корпуса счетчика в

направлении второго преобразователя или точки отражения на внутренней поверхности корпуса счетчика.

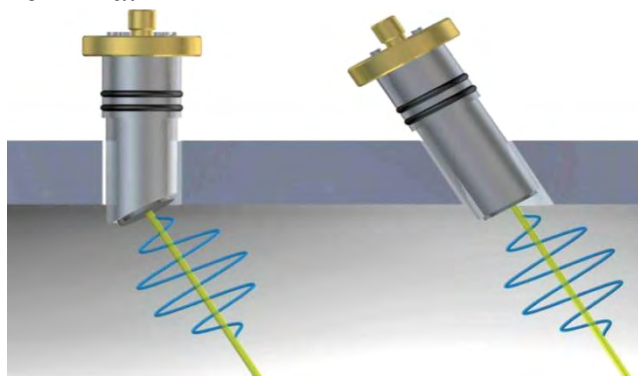


Рисунок 3.24 Типичные схемы расположения преобразователей.

3.7.5 Корпус счетчика и конфигурации акустической траектории

В УЗСГ применяются различные конфигурации акустической траектории. Число траекторий измерения в общем случае выбирается на основе необходимой точности и требований относительно возможных изменений в распределении скоростей потока.

Конфигурация траекторий может варьироваться как в радиальном расположении путей измерения, находящихся в одной плоскости, так и по их рабочему положению по отношению к оси трубопровода. При использовании отражения УЗ волны от внутренней поверхности корпуса счетчика или от специального рефлектора, траектория может пересекать сечение трубопровода несколько раз.

3.7.6 Основные типы акустических траекторий

Большинство общих типов акустической траектории показано на рисунке 3.25.

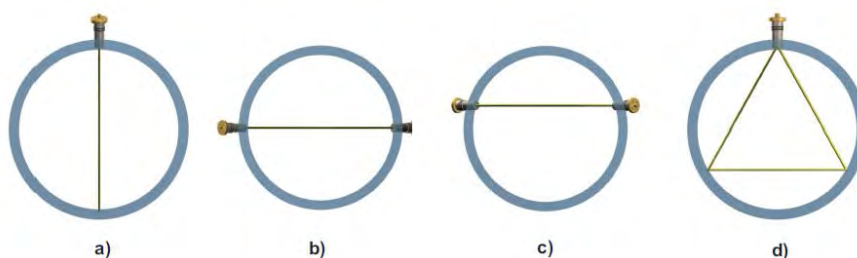


Рисунок 3.25 Основные типы акустической траектории для многолучевых счетчиков.

Измерения скорости, произведенные по диаметральной траектории, являются более подверженными изменениям в профиле потока, чем смещенные дальше от центра траектории, например, траектория пересекающая середину радиуса. Двухпроходные траектории в одной плоскости значительно менее чувствительны к не осевым составляющим скорости, чем однопроходные траекто-

рии. Другие конфигурации, такие как трехпроходная траектория, через середину радиуса, могут быть чувствительны к неосевым составляющим, но могут также применяться в комбинации, чтобы ликвидировать, или уменьшить влияние завихрений и поперечного течения. Прямые траектории могут быть одиночными, двойными или пересекающимися.

3.7.7 Обычно применяемые многолучевые конфигурации пересечений потока

Конфигурация пересечений потока диктует, какая информация о распространении осевой скорости доступна для вычисления средней осевой скорости. Варианты конфигураций пересечений потока, с которыми обычно сталкиваются на практике, показаны на рисунке 3.26.

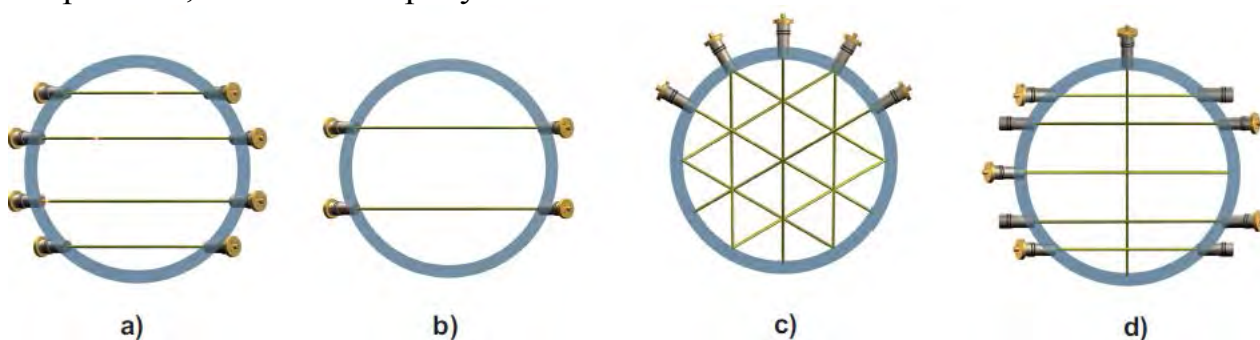


Рисунок 3.26 Некоторые типичные конфигурации пересечений потока акустической траекторией

3.7.8 Счетчики с траекториями равного радиального смещения

Счетчики с траекториями равного радиального смещения [например, рисунок 3.32(b)] по существу производят одинаковые измерения относительно распределения скоростей, в случае если поток симметричен по отношению к оси, независимо от числа используемых траекторий. В таких случаях средняя скорость, v , определяется простым средним арифметическим. В полностью установленном потоке может быть введен теоретический поправочный коэффициент, k_h , учитывающий известное изменение в профиле скорости. Это, однако, применяется исключительно для полностью установившихся потоков, но не для возмущенных потоков.

$$v = k_h \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (3.20)$$

где n - общее количество траекторий;

v_i - скорость потока, измеренная на траектории i .

Коэффициент k_h – это функция Числа Рейнольдса, шероховатости трубы и радиального смещения. На практике, он может быть введен как одиночная константа, или может быть вычислен на основе статических параметров или измеренных переменных.

3.7.9 Счетчики с траекториями, отличными от диаметральных

В таких счетчиках [например, рисунок 3.26 (а, с, d)], скорость измеряется в различных радиальных положениях. При составлении скоростей могут использоваться несколько разных методов, чтобы получить среднюю скорость в трубопроводе. Они могут быть классифицированы следующим образом. Суммирование с постоянным взвешиванием

$$v = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (3.31)$$

где радиальные смещения траекторий и константы от w_1 до w_n , определяются на основе задокументированных методов численного интегрирования.

Или суммирование с переменным взвешиванием

$$v = \sum_{i=1}^n f_i v_i \quad (3.22)$$

где радиальные смещения траекторий устанавливаются конструкцией, и переменные от f_1 до f_n , могут быть определены на основе входных параметров или на основе измеренных переменных (например, скорости).

В любой из приведенных конфигураций, после суммирования может быть применен множитель либо калибровочный коэффициент, K (как константа, так и переменная), для внесения поправок на отклонения вследствие производственных допусков и неполноценность принятых допущений, то есть

$$q_v = K A v \quad (3.23)$$

3.7.10 Составляющие неопределенности измерения

Полный объемный расход, q_v , измеренный УЗСГ может быть вычислен при помощи уравнения (3.23)

$$q_v = AK \sum_{i=1}^n f_i \frac{l_i}{2 \cos \phi_i} \left(\frac{1}{t_{AB,i}} - \frac{1}{t_{BA,i}} \right) \quad (3.24)$$

Согласно приведенному уравнению, полная неопределенность зависит от индивидуальных неопределенностей во всех включенных коэффициентах.

Выделяют четыре основных источника неопределенности:

- неопределенность в калибровочном коэффициенте, K ;
- неопределенности измерений преобразователей, а также в геометрии корпуса счетчика;
- неопределенность в весовом коэффициенте постоянно возбужденного входа или поправочном коэффициенте профиля потока, f ;
- неопределенность измерений времени прохождения и разности времени прохождения.

После калибровки и регулирования, погрешности в отображаемом расходе, q_v , вызванные t , l , ϕ , A и f , компенсируются при умножении правой части на калибровочный коэффициент, K . Единственная остающаяся неопределенность по месту калибровки – это неопределенность калибровочного коэффициента, K .

При установке счетчика по месту эксплуатации появляется дополнительная неопределенность вследствие специфики рабочих условий и монтажных эффектов по месту эксплуатации, которые отличаются от условий по месту калибровки.

3.7.11 Классификация УЗСГ

УЗСГ классифицируются для того, чтобы помочь пользователю сделать выбор счетчика, основываясь на полной неопределенности, требуемой для измерения. По исполнению, существующие счетчики делятся на классы, как указано в таблице 3.14. Для других измерительных применений могут быть другие классы.

Таблица 3.14.

Класс	Типичные применения	Типичный доверительный уровень 95 % неопределенности (объемный расход) ^a
1	Коммерческие операции	В пределах $\pm 0,7\%$ для $q_v > q_{V,t}$
2	Распределение	В пределах $\pm 1,5\%$ for $q_v > q_{V,t}$

^a - рабочие характеристики счетчика, включая полную неопределенность счетчика, повторяемость, разрешающую способность и максимальную погрешность между пиковыми значениями, зависят от многих коэффициентов, которые включают внутренний диаметр трубы, длину акустической траектории, число акустических путей, газового состава и связанной с ним СЗ, а также повторяемости определения времени в счетчике.

Эти два класса представляют различные технические условия измерений, обычно применяемые в промышленности. В зависимости от значимости измерения, требуемой соответственно для распределения или для коммерческих операций, отличается полный бюджет неопределенности для системы.

3.7.12 Число Рейнольдса

Профиль потока является функцией Числа Рейнольдса, на изменения в котором большинство УЗСГ вносят поправку. Число Рейнольдса рассчитывается по известному внутреннему диаметру корпуса, d , измеренной средней скорости, v , предварительно установленному значению фактической плотности, ρ , и динамической вязкости, η .

$$Re = \frac{vd\rho}{\eta} \quad (3.25)$$

Во время калибровки, так же, как и во время функционирования, действительные значения для плотности и динамической вязкости должны быть введены в компьютер УЗСГ. Для значений, превышающих 50 000, влияние колебаний числа Рейнольдса не является существенным и варьируется приблизительно от 1 % на декаду для траектории, проходящей через центр трубопровода, до, менее чем 0,3 % на декаду для траектории через середину радиуса. Для большинства многоручевых УЗ счетчиков изменение числа Рейнольда на 2 привносит в измерение изменение, меньше чем 0,1% (что должно подтверждаться фирмой - производителем).

3.7.13 Корректирование по температуре и давлению

Во время динамической (влажной) калибровки все систематические погрешности приводятся к нулю путем определения, и затем применения калибровочного коэффициента расхода счетчика. С этого момента базовыми условиями по давлению и температуре для счетчика являются те, которые были во время динамической калибровки. Любое последующее изменение температуры или давления меняет физические параметры счетчика и, если для этого не вносится соответствующая поправка, привносит систематическую погрешность в измерения расхода текучей среды. Обычно, давление и температура во время калибровки отличаются от тех, которые имеют место в рабочих условиях.

3.7.13.1 Коррекция по температуре

Поправочный коэффициент расхода, вызванный изменениями температуры корпуса УЗСГ, ΔT , задается следующим выражением:

$$\frac{q_{v,1}}{q_{v,0}} = (1 + \alpha\Delta T)^3 = [1 + 3\alpha\Delta T + 3(\alpha\Delta T)^2 + (\alpha\Delta T)^3] \quad (3.26)$$

где $q_{v,1}$ - объемный расход при рабочих условиях;

$q_{v,0}$ - объемный расход при условиях, в которых был калиброван счетчик;

$\Delta T = T_1 - T_0$;

T_1 - температура при рабочих условиях;

T_0 - температура при условиях, в которых был калиброван счетчик.

Кроме некоторых экстремальных случаев, множитель $\alpha \cdot \Delta T$ в общем случае очень мал, и уравнение (3.25) может быть упрощено

$$\left(\frac{q_{v,1}}{q_{v,0}} \right)_{b,T} = 1 + 3\alpha\Delta T \quad (3.27)$$

Или, как вариант, выражено в виде погрешности расхода

$$\left(\frac{\Delta q_v}{q_v} \right)_{b,T} = 3\alpha\Delta T \quad (3.28)$$

В таблице 3.15 приведены типичные коэффициенты теплового расширения для обычно применяемых материалов корпуса.

Таблица 3.15

Материал	Коэффициент теплового расширения
Углеродистая сталь	12×10^{-6}
Нержавеющая сталь AISI 304	17×10^{-6}
Нержавеющая сталь AISI 316	16×10^{-6}
Нержавеющая сталь высокого предела упругости AISI 420	10×10^{-6}

Графическое представление уравнения (3.27) показано на рисунке 3.27 для двух материалов из таблицы 3.15.

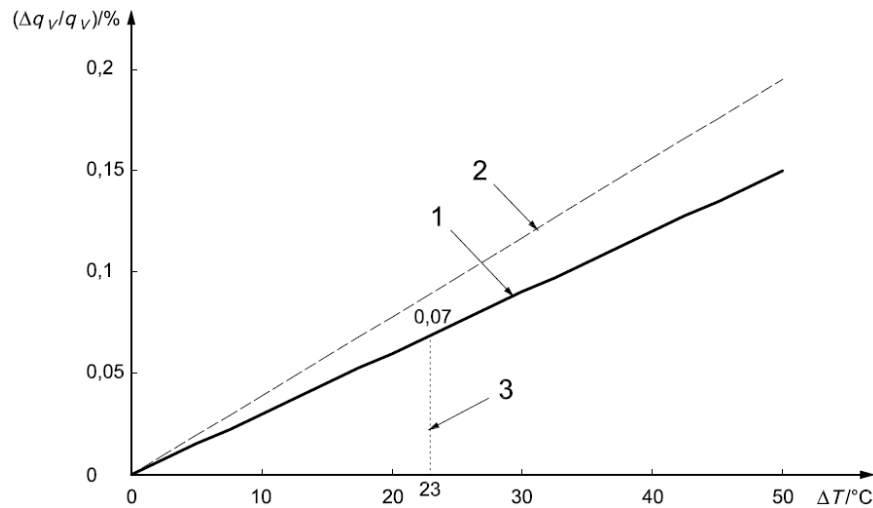


Рисунок 3.27 Погрешность расхода, связанная с температурой, для двух типов материала в качестве примера.

где $\Delta q_v/q_v$ - погрешность измерения расхода текучей среды;

ΔT - разность температур;

1 - аустенитная нержавеющая сталь;

2 - ферритная нержавеющая сталь;

3 - пример.

3.7.13.2 Коррекция по давлению

Связанная с изменением геометрических размеров поправка по давлению достаточно сложна и зависит от конструкции корпуса счетчика, типа его соединений и способа, которым концы счетчика закрепляются при эксплуатации. Различные предлагаемые на рынке конструкции счетчика можно группировать в три общих категории:

- счетчики с корпусом цилиндрической конструкции, сваренным непосредственно в трубопровод;
- счетчики с корпусом, конструкция которого состоит из трубы с приваренными фланцами;
- счетчики с нецилиндрическими конструкциями корпуса, например, изготовленные путем отливки.

3.7.14 Общее упрощенное выражение для любого типа корпуса

В качестве первого приближения при оценке влияния давления, базисное выражение может быть выведено из предположения, что корпус счетчика состоит просто из цилиндрической трубы. Оценка максимальной ожидаемой погрешности расхода вследствие изменения давления в корпусе, Δp , описывается уравнением

$$\left(\frac{\Delta q_V}{q_V} \right)_{b,p,max} = 4 \frac{\Delta r}{r} = 4 \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} + \mu \right) \frac{\Delta p}{E} \quad (3.29)$$

Если корпус счетчика является нестандартным или нецилиндрическим (например, для литого корпуса), то в таком случае для приближенной оценки значение внешнего радиуса, R , должно быть взято в точке, где стенка является самой тонкой, так как это дает наибольшую оценку погрешности расхода. Уравнение (3.28) может быть представлено в графической форме, как показано на рисунке 3.28 для значений δ/r , т.е. отношение толщины стенки к внутреннему радиусу.

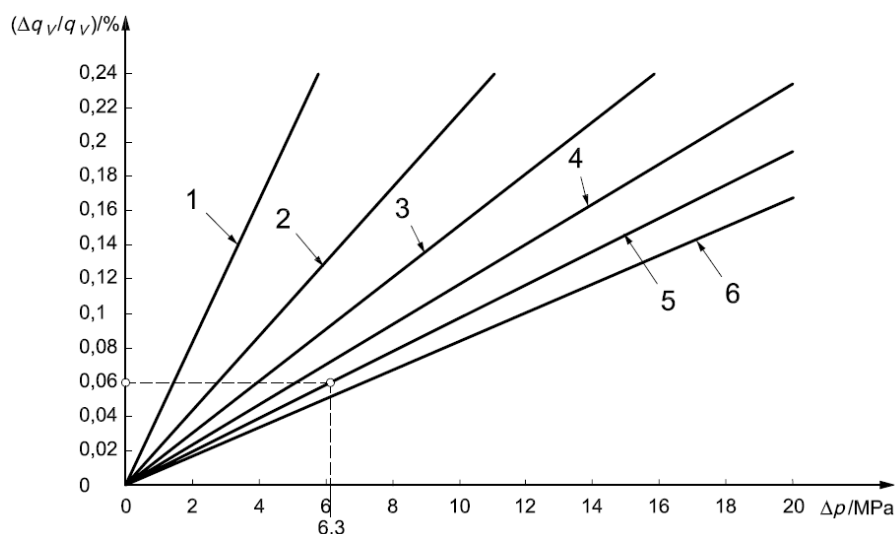


Рис. 3.34 Максимальная ожидаемая, зависящая от давления, погрешность расхода для различных значений δ/r

- где 1 - 0,050 ($\Delta q_v/q_v$ погрешность измерения расхода текучей среды);
 2 - 0,100 (Δp разность давлений);
 3 - 0,150 r (внутренний радиус трубопровода);
 4 - 0,200 δ (толщина стенки трубопровода);
 5 - 0,250;
 6 - 0,300.

Уравнение (3.28) может быть представлено в графическом виде, как показано на рисунке 3.34 для диапазона значений δ/r , то есть отношения толщины стенки к внутреннему радиусу. Рисунок 3.34 может использоваться для того, чтобы быстро оценить максимальную ожидаемую погрешность расхода вследствие изменения давления внутри корпуса. Рисунок приводится для материала корпуса с модулем Юнга 2×10^{11} Па и коэффициентом Пуассона 0,3. Например, при $\Delta p = 6,3$ МПа максимальная ожидаемая обусловленная давлением погрешность составляет 0,06 % для $\delta/r = 0,25$. Если Δp – отрицательная величина, то и $\Delta q_v/q_v$ – также отрицательная величина (то есть счетчик будет завышать расход).

3.7.15 Полная погрешность измерения

Грубая оценка объединенной погрешности расхода, $(\Delta q_V / q_V)_{c,est}$ вследствие изменения температуры и давления определяется уравнением

$$\left(\frac{\Delta q_V}{q_V}\right)_{c,est} = \left(\frac{\Delta q_V}{q_V}\right)_{b,T} + K_E K_S \left(\frac{\Delta q_V}{q_V}\right)_{b,p,max} \quad (3.30)$$

Детальный расчет содержит оценки экстремальных значений и позволяет описать погрешность расхода в любой из следующих эквивалентных форм

$$q_{V,1} / q_{V,0} = x,xxxx \pm x,xxxx \quad (3.31)$$

$$\Delta q_V / q_V = (x,xx \pm x,xx)\% \quad (3.32)$$

Запись конечного поправочного коэффициента расхода, $q_{V,1} / q_{V,0}$, с учетом четырех знаков после запятой и погрешности расхода, $\Delta q_V / q_V$, до двух знаков после запятой, позволяет адекватно представить общий уровень точности метода вычисления. Поскольку всегда имеется некоторая неопределенность относительно фактических условий торцевой нагрузки на счетчике, оценка расхода никогда не будет более точной, чем допуски, приведенные в уравнениях (3.30) и (3.31).

3.7.16 Характеристики счетчика

3.7.16.1 Значения расхода и скорости потока газа

Максимальный расход и минимальный расход должны быть определены фирмой - производителем для тех значений плотности газа, при которых счетчик функционирует в пределах технических условий для исполнения счетчика. Максимальный расход, в кубометрах в час, счетчика зависит от максимальной скорости газа, для которой спроектирован счетчик.

Диапазон расхода для двунаправленных применений: $-q_{V, \max} < q_V < q_{V, \min}$ И $q_{V, \min} < q_V < q_{V, \max}$

3.7.16.2 Давление

УЗ преобразователи, используемые в УЗСГ, требуют наличия минимального давления (плотности) газа для того чтобы гарантировать акустическую связь звуковых импульсов, входящих и выходящих из газовой среды. Поэтому, ожидаемое минимальное рабочее давление, так же как максимальное рабочее давление, должны быть определены.

3.7.16.3 Температура

Фирма - производитель или поставщик оборудования должны определить диапазоны рабочей температуры и температуры окружающей среды для предлагаемого оборудования, включая корпус счетчика, монтируемые по месту электронные устройства и соответствующие периферийные электронные устройства, проводку и УЗ преобразователи.

3.7.16.4 Показатели качества газа

Счетчик должен функционировать в соответствующих пределах точности для всех газов, для которых он предназначен. Присутствие некоторых компонентов в газе может воздействовать на рабочие характеристики счетчика. В частности, высокие уровни двуокиси углерода и водорода в газовой смеси мо-

гут влиять и даже приостановить функционирование УЗСГ вследствие их свойства звукопоглощения.

В нижеследующих случаях необходима дополнительная консультация у производителя счетчика

- когда уровни концентраций двуокиси углерода, ослабляющие акустическую волну, ожидаются выше 3%-ой объемной концентрации, или при наличии двуокиси углерода в случае применения больших счетчиков ($\geq 12''$);

- при работе в районе критического уровня плотности смеси природного газа;

- когда суммарный уровень серы из веществ типа сероводорода, меркаптанов (тиолов) и элементарной серы превышает 320 мкмоль/моль;

- при солевых отложениях.

Отложения, которые могут присутствовать в технологическом процессе (например, конденсаты, гликоли, амины, ингибиторы, вода или следы нефти, смешанной с окалиной, грязью или песком) могут воздействовать на точность счетчика путем уменьшения его площади поперечного сечения, путем сокращения эффективной длины акустической траектории и путем ослабления испускаемой и принимаемой УЗ волн.

3.7.16.5 Материалы

Корпус счетчика и его внутренний механизм должны быть изготовлены из материалов, подходящих для условий эксплуатации и устойчивых к воздействиям текучей среды, с которой должен работать счетчик. Внешние поверхности счетчика должны быть защищены по мере необходимости против коррозии. Внутренние поверхности счетчика должны быть спроектированы таким образом, чтобы не допускать изменений внутренней площади поперечного сечения и шероховатости стенки до такой степени, которая требуется для обеспечения заявленной точности счетчика.

3.7.16.6 Корпус счетчика

Корпус счетчика и все другие его части, включая внутреннюю поверхность счетчика, контактирующую с текучей средой, должны быть изготовлены из доброкачественных материалов и сконструированы таким образом, чтобы нормально функционировать при давлениях и температурах, для которых спроектирован счетчик.

3.7.16.7 Соединения

Входные и выходные соединения счетчика должны соответствовать действующим стандартам, например, ANSI (класс 300, 600, 900, и т.д.), DIN, и JIS.

3.7.16.8 Геометрические размеры

Фланцы УЗСГ должны иметь одинаковый внутренний диаметр, отличать-

ся в пределах 1 %. УЗСГ с внутренним диаметром, равным фланцевому диаметру, должен обозначаться как "полнопроходной". УЗСГ с внутренним диаметром меньше фланцевого диаметра должен обозначаться как "сужено-проходным". Любое измерение прохода счетчика должно быть в пределах 0,5 % от средней длины счетчика или, в случае счетчиков с зауженным проходом, измерительной части.

3.7.16.9 Порты для установки ультразвукового преобразователя

Поскольку измеряемый газ может содержать некоторые примеси (например, легкие масла, или конденсат), порты для установки УЗ преобразователя должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвращать возможность накопления в них жидкостей или твердых тел. Порты установки преобразователя УЗСГ могут также быть снабжены устройствами, обеспечивающими безопасный дренаж любых накопленных текучих сред (например, сдвоенная запорная арматура со спускным вентиляем).

УЗСГ может быть оборудован вентилями или необходимыми дополнительными устройствами, установленными на портах для установки преобразователей, позволяющими производить замену УЗ преобразователей, не сбрасывая давления в измерительном участке. В этом случае, в дополнение к клапану - отсекателю требуется спускной вентиль для того, чтобы гарантировать отсутствие избыточного давления за преобразователем перед задействованием приспособления для демонтажа преобразователя.

3.7.16.10 Отверстия для отбора давления

По крайней мере, одно отверстие для отбора измеряемого давления, просверленное перпендикулярно в верхней части, $\pm 85^\circ$, должно присутствовать на счетчике или на трубопроводе, смежном со счетчиком, чтобы позволить непосредственное измерение статического давления в условиях измерения. Для счетчика с зауженным проходом отверстие для отбора давления должно быть просверлено в сечении зауженного прохода. Соединение этого отверстия для отбора давления должно быть маркировано отметкой "pm". Если предусмотрено больше чем одно отверстие "pm", то отличие в измеренных на них значениях давления не должно превышать 100 Па при максимальном расходе и плотности воздуха $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Счетчик может иметь другие отверстия для отбора давления в дополнение к отверстию для отбора давления "pm". Они могут служить для определения падения давления на определенной части счетчика или для других целей. Другие отверстия для отбора давления должны быть маркированы отметкой "p".

Осевая линия отверстия для отбора давления должна пересекать осевую линию трубопровода и лежать под углом 90° к ней. В точке прохода через стенку отверстие должно иметь круговое сечение. Кромки должны находиться заподлицо с внутренней поверхностью стенки трубопровода и быть настолько острыми, насколько это возможно. Чтобы гарантировать устранение зазубрин или

заусенец на внутренней кромке, разрешается минимальное закругление, и если это закругление можно измерить, его радиус должен быть меньше одной десятой диаметра отверстия для отбора давления. В соединяющем отверстии, на кромках отверстия, просверленного в стенке трубопровода, или на стенке трубопровода вблизи к отверстию для отбора давления не должны присутствовать неровности или другие отклонения от нормы. Соответствие отверстий для отбора давления определенным требованиям может быть оценено визуальным осмотром. Отверстия для отбора давления должны иметь минимальный диаметр внутреннего прохода 3 мм и максимальный 12 мм. Отверстие для отбора давления должно иметь круглое сечение и цилиндрическую форму по длине как минимум $2,5d_1$, где d_1 - внутренний диаметр отверстия для отбора давления, измеренный от внутренней стенки трубопровода. Осевая линия отверстия для отбора давления может быть расположена в любой осевой плоскости трубопровода.

Следует избегать расположения отверстия для отбора давления в непосредственной близости от порта для установки УЗ преобразователя.

3.7.16.11 Обеспечение устойчивости к катанию

Счетчик должен быть спроектирован так, чтобы корпус счетчика не катился при установке на гладкой поверхности с уклоном до 10 %. Это необходимо для предотвращения повреждений выступающих преобразователей и электронной системы (ЭС), когда УЗСГ временно устанавливается на полу или на столе во время монтажа или технического обслуживания и ремонта.

Счетчик должен быть спроектирован таким образом, чтобы гарантировать простоту обращения и безопасность во время транспортировки и установки; однако, во время транспортировки одного лишь обеспечения устойчивости к катанию недостаточно. Должны быть предоставлены также подъемные петли или зазор для подъемных строп.

3.7.16.12 Формирователь потока (ФП)

Формирователь потока – это устройство, предназначенное для улучшения стабильности и формы профиля потока. ФП жестко связан со счетчиком и расценивается как его неотъемлемая часть. ФП, не прикрепленный к счетчику, но предназначенный для перманентного соединения с ним, плюс соединительный прямолинейный участок трубопровода, образуют вместе комплект УЗСГ (УЗСГк). При двунаправленной схеме измерения, термокарман также может быть частью УЗСГк.

Любой другой ФП, установленный выше по потоку от УЗСГк, расценивается как часть установки или калибровочного стенда.

3.7.16.13 Маркировка

Именные таблички должны включать следующее:

– название фирмы - производителя, номер модели, серийный номер, месяц

и год изготовления;

- типоразмер счетчика, класс изготовления фланцев и общая масса;
- код конструкции и материала корпуса счетчика, код конструкции и материала фланцев;
- максимальное и минимальное рабочее давление, рабочий диапазон температуры;
- максимальный и минимальный фактический объемный расход в час;
- направление прямого тока или положительного потока;
- рабочее положение счетчика ("верх здесь");

Именные таблички могут включать следующее:

- порядковый номер заказа или номер цеха;
- идентификация утверждения законодательной метрологии.

Каждый порт для установки УЗ преобразователя должен быть перманентно маркирован уникальным обозначением для легкой ссылки на него. Если маркировки отпечатываются непосредственно на корпусе счетчика, следует применять маркировку с малым усилием, при которой отпечаток производится метчиком со скругленным окончанием.

3.7.16.14 Защита от коррозии

Немедленно после изготовления, внутренние поверхности счетчика, прямолинейных участков трубопровода и ФП должны быть защищены от коррозии.

3.7.16.15 Преобразователи

Должна быть определена акустическая частота (диапазон частот) преобразователей.

3.7.16.16 Скорость изменения давления

Быстрый сброс давления УЗСГ может вызвать повреждения преобразователей или изменить характеристики счетчика. Поэтому пользователю счетчика следует следить за тем, чтобы сброс давления на преобразователях производился настолько медленно, насколько это возможно. При отсутствии соответствующих указаний от фирмы - производителя, рекомендуется обеспечить скорость сброса давления не больше 0,5 МПа/минуту.

3.7.16.17 Описание преобразователей

Если для электронной системы (ЭС) счетчика требуются специфические параметры преобразователя, то должна быть предоставлена спецификация всех параметров, уникальных для каждого преобразователя, или для пары преобразователей.

3.7.16.18 Конфигурация акустической траектории

В счетчиках с многолучевой конструкцией, число хорд, их расположение и

используемые методики интегрирования оказывают влияние на неопределенность измерения и на чувствительность к изменениям в профиле потока. Должны быть определены число пар преобразователей, число отражений по всей траектории и метод крепления преобразователей (монтаж с выступом, монтаж заподлицо или настенный монтаж).

3.7.16.19 Маркировка преобразователей

Каждый преобразователь должен быть перманентно маркирован уникальным порядковым номером.

3.7.16.20 Кабель

Если УЗСГ чувствителен к характеристикам кабеля отдельного преобразователя, то кабель следует принимать как неотъемлемую часть счетчика, и он должен быть маркирован предупреждением, указывающим характеристику, которая не должна быть изменена, например, длину кабеля.

3.7.16.21 Электроника

ЭС УЗСГ обычно включает источник электропитания, микрокомпьютер, компоненты для обработки сигнала, и электрические цепи возбуждения УЗ преобразователя. Следует удостовериться, что ЭС функционируют в заданном диапазоне условий окружающей среды без существенного изменения рабочих характеристик счетчика. ЭС, работающие с преобразователями, должны выдерживать электромагнитный разряд. ЭС должны иметь функцию самоконтроля, позволяющие автоматический повторный запуск, в случае зависания программы.

3.7.16.22 Электропитание

Фирма - производитель должна определить необходимый источник питания, допуск на изменения напряжения и потребление энергии. Должна быть определена реакция УЗСГ на прерывания подачи питания и падения напряжения.

3.7.16.23 Метод регистрации импульсов

Метод регистрации импульсов должен гарантировать достоверное измерение времени; это подразумевает точную регистрацию сигналов начала и окончания измерения, применение часов высокой точности и устойчивость к систематическим погрешностям, таким как погрешность "переключения по пикам", и т.д.

3.7.16.24 Прерывающийся или пульсирующий поток

Счетчик должен справиться с неустановившимся режимом потока. С этой целью, акустические импульсы могут излучаться с изменяющейся периодичностью. Фирма - производитель должна специфицировать максимальную частоту колебаний потока.

3.7.16.25 Соотношение сигнал-шум

УЗСГ должен предоставлять информацию об отношении сигнал/шум (С/Ш) по каждому преобразователю или по каждой акустической траектории. В случае потери измерительного сигнала должен выдаваться сигнал тревоги. Тревога может также подаваться при низком уровне сигнала.

3.7.16.26 Обработка данных

Блок обработки измерительной информации, в дополнение к определению объемного расхода через измеренное время прохождения УЗ сигнала, должен иметь способность исключения ложных результатов измерений. Отображаемый объемный расход может быть результатом одного или более отдельных определений скорости прохождения сигнала. Процентное соотношение действительных измерений к общему числу выполненных измерений может отображаться для каждой акустической траектории УЗСГ.

3.7.16.27 Выходные интерфейсы

Счетчик должен иметь, по крайней мере, один из следующих выходных интерфейсов:

- интерфейс последовательных данных; например, RS-232, RS-485, или промышленная шина;
- частотный выходной интерфейс, представляющий нелинеаризованное значение расхода. Интегрированные во времени значения, полученные из этого выходного интерфейса, должны согласовываться лучше, чем 0,02 % в каждом произвольном интервале 100 с при рабочих условиях в потоке выше $q_{V, min}$.

Счетчик может быть оборудован также следующим выходным интерфейсом:

- частотный выходной интерфейс, представляющий линейаризованное значение расхода;
- аналоговый выходной интерфейс (4 ... 20 мА) представляющий значение расхода при рабочих условиях в потоке.

Выходные интерфейсы, представляющие расход, должны функционировать до 120 % от максимального расхода, $q_{V, max}$ счетчика. Два отдельных выходных интерфейса или два отдельных набора значений последовательно поступающих данных могут применяться для двунаправленных приложений, чтобы облегчить отдельное накопление значений объема соответствующим (и) компьютером (ами) потока. Все выходные интерфейсы должны быть изолированы от заземления и иметь необходимую защиту по напряжению, удовлетворяющую условия электрических испытаний. УЗСГ может быть оборудован дисплеем для представления измеренных и других значений. Для задач АСУТП должна быть определена частота обновления выходного (ных) сигнала (ов) измеренного расхода; эта частота должна составлять по крайней мере 1 Гц.

3.7.16.28 Кабельные кожухи и изоляция

Кабельные кожухи, каучук, пластмасса и другие внешние части УЗСГ должны быть устойчивыми к ультрафиолетовому излучению, воде, маслу и смазке.

3.7.16.29 Программное обеспечение

Коды программ, отвечающие за управление и функционирование счетчика, должны сохраняться в долговременной памяти. Все константы вычисления расхода и вводимые оператором параметры должны также сохраняться в долговременной памяти. Должна обеспечиваться возможность проверки значений всех констант и параметров, в то время как счетчик функционирует. Должны быть контрольная сумма фирменного программного обеспечения, а также журнал регистрации событий, чтобы гарантировать отсутствие неразрешенных изменений во встроенных программах.

3.7.16.30 Неоднородность данных

Являясь по существу электронными счетчиками, встроенные программы могут вносить неоднородности данных, например, вследствие установок уровня сигнала. Поэтому, встроенные программы должны быть спроектированы таким образом, чтобы предотвращать возможность появления неоднородности данных.

3.7.16.31 Маркировка и управление версиями

Фирма - производитель должна вести журнал всех пересмотров встроенного ПО, включающий серийный номер пересмотра, дату пересмотра, применимые модели счетчика и пересмотры монтажной платы, а также описания изменений встроенного ПО, выполненных фирмой или ее представителем. Число пересмотров встроенного ПО, дата пересмотра, серийный номер и контрольная сумма должны быть доступны при проверке чипа, встроенного ПО, дисплея или цифрового коммуникационного порта. Фирма - производитель может время от времени предлагать модернизацию встроенного ПО, чтобы улучшить рабочие характеристики счетчика или добавить дополнительные особенности. Фирма - производитель должна уведомить пользователя, если пересмотр встроенного ПО воздействует на точность калиброванного по расходу счетчика.

3.7.16.32 Конфигурирование программного обеспечения и мониторинг

Счетчик должен обеспечивать возможность локального или отдаленного конфигурирования ЭС и контроля функционирования счетчика. Как минимум, ЭС должна быть способна отображать и производить запись следующих измерений:

- фактический объемный расход;
- средняя скорость потока;
- средняя СЗ;

- скорость, определенная по отдельным траекториям, и СЗ по каждой траектории;
- качество УЗ акустического сигнала, получаемого каждым преобразователем.

Как опция, эти функции могут быть предоставлены как часть встроенного программного обеспечения счетчика.

3.7.16.33 Функции инспекции и поверки

Должна быть обеспечена возможность просмотреть и распечатать параметры конфигурации измерения расхода текущей среды, используемые в ЭС, например, калибровочные константы, геометрические размеры счетчика, период усреднения времени и частота измерений мгновенных значений. Должно обеспечиваться предотвращение случайного или невыявляемого изменения тех параметров, которые воздействуют на рабочие характеристики счетчика. Соответствующее техническое обеспечение включает герметизируемый переключатель или переключку, или же перманентный программируемый чип постоянной памяти с возможностью проверки контрольной суммы и (или) журнала регистрации сигналов аварийных состояний. Должны предоставляться следующие выходные сигналы аварийных состояний:

- недопустимый выходной сигнал: когда отображаемый выходной сигнал расхода недопустим (обязательно);
- предупреждение: когда любой из нескольких контролируемых параметров выходит за пределы нормальных рабочих значений на значительном промежутке;
- частичный отказ: когда один или больше из множества результатов по УЗ траекториям не пригодны к использованию (не обязательно).

3.7.16.34 Диагностические параметры

Для диагностических целей должна быть предоставлена возможность проведения, как минимум, следующих измерений:

- нелинеаризованная средняя скорость потока через счетчик;
- скорость потока, полученная по каждой акустической траектории (или эквивалент – для оценки профиля скорости потока);
- СЗ вдоль каждой акустической траектории;
- средняя СЗ;
- интервал дискретизации скорости потока;
- интервал усреднения по времени;
- процент полученных (принятых к обработке) импульсов для каждой акустической траектории;
- отношение С/Ш или эквивалент (регулировка усиления);
- индикаторы статуса и качества измерения;

– индикатор сигналов тревоги и отказов.

Может также применяться техническое обеспечение для линеаризации средней скорости потока (не обязательно). Счетчик должен быть снабжен устройством для сохранения указанных значений в файле данных.

3.7.16.35 Замена компонентов

Должно обеспечиваться возможность замены или перестановки подобных типов преобразователей, электронных частей и программного обеспечения без существенного изменения рабочих характеристик счетчика (то есть в пределах технических условий по повторяемости). Если отсутствует возможность замены или перестановки преобразователей, электронных частей и программного обеспечения без существенного изменения рабочих характеристик счетчика (то есть в пределах технических условий по повторяемости), то счетчик должен быть повторно откалиброван. Должны быть определены процедуры, которые будут использоваться при замене указанных компонентов, включая возможные механические, электрические или другие измерения и регулировки. Любое изменение компонентов без повторной калибровки счетчика может привести к дополнительным неопределенностям, которые должны быть указаны фирмой - производителем. По каждому действию с УЗСГ (калибровка, ремонт, и т.д.) должен быть доступным полный список соответствующих параметров "до события" и "после события".

Если компоненты замещаются более новыми или отличными версиями, то должны быть определены преимущества и недостатки. Фирма - производитель должна гарантировать соответствующее управление версиями.

3.7.17 Определение плотности.

Для перевода значения объемного расхода в условиях измерения (при рабочих условиях) в единицы массового расхода или объемного расхода при базовых условиях, должна быть определена плотность газа.

Плотность газа может быть определена одним из следующих образов:

- прямое (непосредственное) измерение;
- вычисление на основе давления, температуры и газового состава;
- косвенное измерение.

3.7.17.1 Измерение давления

Отверстие для отбора давления, отмеченное маркировкой "pm", следует использовать как точку замера давления.

3.7.17.2 Измерение температуры и плотности

Для однонаправленного потока термокарман или карман плотномера должны быть установлены ниже по течению от УЗСГ и расположены между $2D$ и $5D$ (где D - наружный диаметр трубопровода) от находящегося ниже по тече-

нию фланца УЗСГ, но выше по течению от любой отсечной задвижки, изменений диаметра или сужений потока. Важна правильная установка термокармана, гарантирующая отсутствие влияния на показания температуры теплопередачи от трубопровода и крепления термокармана, а также воздействия солнечного излучения. Рекомендуемая глубина погружения в трубопровод для термокарманов и гильз - от $D/10$ до $D/3$. Для глубин погружения, больше чем $D/3$, могут потребоваться специальные конструкции зонда.

Некоторые установки требуют наличия двух или даже трех термокарманов (для резервных или контрольных измерений). В дополнение к этому, требования техники безопасности могут предписывать достаточно большие размеры. Термокарман должен быть установлен таким образом, чтобы температура окружающей среды не влияла на измеренную температуру газа.

В случаях, где температура окружающей среды значительно отличается от температуры газа, следует применять теплоизоляцию или экранирование секции трубопровода, расположенной выше по течению, блока УЗСГ и секции трубопровода, расположенной ниже по течению, на расстояние до $1/D$ далее самого отдаленного термокармана, если счетчик не функционирует в диапазоне выше $q_{\text{ит}}$.

Для двунаправленного применения с двумя последовательно соединенными УЗСГ, термокарман или карман плотномера должны быть установлены в промежутке между двумя счетчиками. Пример двунаправленной установки для измерения расхода, где два УЗСГ используются с термокарманом, расположенным в промежуточной секции трубопровода, приводится на Рисунке 13. Как число, так и размеры термокарманов или карманов плотномера усиливают возмущение потока.

В практическом применении часто присутствуют выступающие в поток части, расположенные выше по течению от счетчика, такие как термокарманы, карманы плотномеров и пробоотборные зонды. Счетчик должен быть калиброван вместе с этими выступающими частями.

Частота вихреобразования термокармана при высоких скоростях газа не должна влиять на частоту собственных колебаний термокармана до точки его отказа; рекомендуется применение конических термокарманов. Кроме того, при использовании нескольких термокарманов они не должны находиться на одной линии. Фирма - производитель или поставщик должны указать оптимальное (изменяемое) расположение карманов относительно акустических траекторий.

Альтернативу к технологиям, базирующимся на погруженных термокарманах, можно рассматривать в тех случаях, когда можно продемонстрировать, что и точность и время срабатывания температурного измерительного устройства не влияют на суммарную неопределенность расчетного значения расхода. Это может быть особенно предпочтительно для двунаправленных измерительных систем, где возмущения потока должны быть минимизированы.

3.7.18 Требования к точности для счетчиков класса 1

До любого регулирования или любой линеаризации выходного сигнала,

УЗСГ или УЗСГк должны удовлетворять требованиям к точности, определенным в таблице 3.16. для расходов от $q_{V, \min}$ и $q_{V, \max, op}$.

Таблица 3.16

Параметр	Требование
Сходимость	В пределах $\pm 0,2\%$ от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 0,4\%$ от измеренного значения для $q_{V, \min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Воспроизводимость	В пределах $\pm 0,3\%$ от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 0,6\%$ от измеренного значения для $q_{V, \min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Разрешающая способность	0,001 м/с
Считывание при нулевом расходе, для счетчиков $\geq 12''$ а для счетчиков $\leq 12''$ а	$\pm 0,006$ м/с, для каждой акустической траектории $\pm 0,012$ м/с, для каждой акустической траектории
Максимально допускаемая погрешность для счетчиков $\geq 12''$ а	В пределах $\pm 0,7\%$ от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 1,4\%$ от измеренного значения для $q_{V, \min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Максимально допускаемая погрешность для счетчиков $\leq 12''$ а	В пределах $\pm 1,0\%$ от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 1,4\%$ от измеренного значения для $q_{V, \min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков $\geq 12''$ а Максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков $\leq 12''$ а	$\pm 0,7\%$ для $q_V \geq q_{V,t}$ $\pm 1\%$ для $q_V \geq q_{V,t}$
$q_{V,t}$ для счетчиков $\geq 12''$ а $q_{V,t}$ для счетчиков $\leq 12''$ а	$q_{V,t}$ при $\bar{v} = 1,5$ м/с $q_{V,t}$ при $\bar{v} = 3$ м/с
а 1'' = 25,4 mm	

Воспроизводимость включает поведение УЗСГ в течение долгого времени (дрейф), а также дополнительные составляющие от условий калибровки, транспортировки и эксплуатации; для вычисления суммарной эксплуатационной неопределенности. Кроме того, пользователь и калибровочная лаборатория должны убедиться, что УЗСГ(к) удовлетворяет требованиям воспроизводимости во время функционирования и во время калибровки, соответственно, путем обеспечения условий невозмущенного потока, путем обеспечения условий стационарного потока, путем избежания загрязнений, путем избежания повреждений, и т.д.

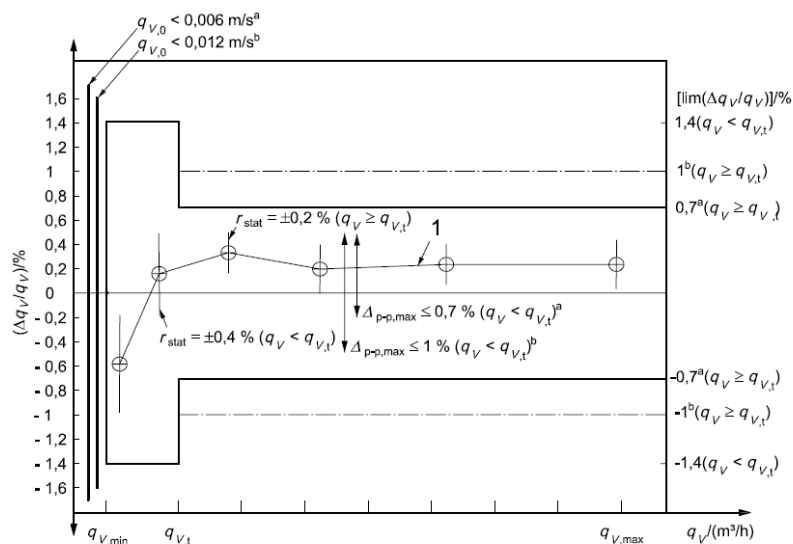


Рисунок 3.35 Допустимые границы неопределенности для счетчика класса 1

где q_V - объемный расход;

$\Delta q_V/q_V$ - погрешность измерения расхода;

1 - некорректированная кривая погрешностей по результатам калибровки;

$\lim \Delta q_V/q_V$ предел погрешности измерения расхода;

$q_V, 0$ - предел, при нулевом расходе;

q_V, t - предел, при переходном расходе;

q_V, max - проектный максимальный расход;

q_V, min - проектный минимальный расход;

r_{stat} - повторяемость;

$\Delta_{p-p,max}$ - максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков;

a - для счетчиков ≥ 12 “;

b - для счетчиков ≤ 12 ”.

3.7.19 Требования к точности для счетчиков класса 2

До любых настроек или любой линеаризации выходного сигнала, УЗСГ или УЗСГк должны удовлетворять требованиям к точности, определенным в таблице 3.17 для расходов от $q_{V,min}$ и $q_{V,max,op}$.

Воспроизводимость включает поведение УЗСГ в течение долгого времени (дрейф), а также дополнительные составляющие от условий калибровки, транспортировки и эксплуатации; для вычисления суммарной эксплуатационной неопределенности. Кроме того, пользователь и калибровочная лаборатория должны убедиться, что УЗСГ(к) удовлетворяет требованиям воспроизводимости, как во время функционирования, так и во время калибровки, соответственно, путем обеспечения условий невозмущенного потока, путем обеспечения условий стационарного потока, путем избежания загрязнений, путем избежания повреждений, и т.д.

Таблица 3.17

Параметр	Требование
Сходимость	В пределах $\pm 0,25$ % от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 0,5$ % от измеренного значения для $q_{V,\min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Воспроизводимость	В пределах $\pm 0,6$ % от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 1,2$ % от измеренного значения для $q_{V,\min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Разрешающая способность	0,002 м/с
Считывание при нулевом расходе, для счетчиков $\geq 12''$ а для счетчиков $\leq 12''$ а	$\pm 0,012$ м/с для каждой акустической траектории $\pm 0,024$ м/с для каждой акустической траектории
Максимально допускаемая погрешность для счетчиков $\geq 12''$ а	В пределах $\pm 1,0$ % от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 2,0$ % от измеренного значения для $q_{V,\min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Максимально допускаемая погрешность для счетчиков $\leq 12''$ а	В пределах $\pm 1,5$ % от измеренного значения для $q_V \geq q_{V,t}$ В пределах $\pm 2,0$ % от измеренного значения для $q_{V,\min} \geq q_V \geq q_{V,t}$
Максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков $\geq 12''$ а а Максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков $\leq 12''$ а а	± 1 % для $q_V \geq q_{V,t}$ $\pm 1,4$ % для $q_V \geq q_{V,t}$
$q_{V,t}$ для счетчиков $\geq 12''$ а $q_{V,t}$ для счетчиков $\leq 12''$ а	$q_{V,t}$ при $\bar{v} = 1,5$ м/с $q_{V,t}$ при $\bar{v} = 3$ м/с
а 1'' = 25,4 mm	

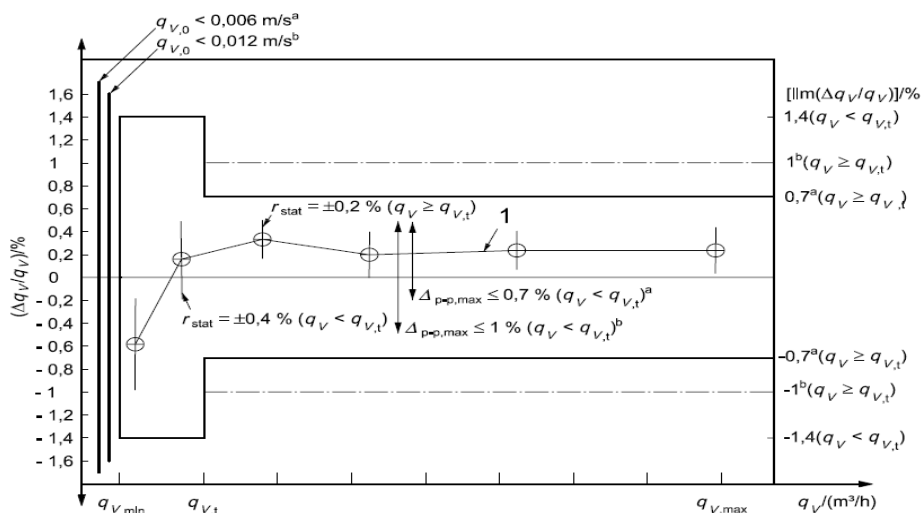


Рисунок 3.36. Допустимые границы неопределенности для счетчика класса 2.

где qV - объемный расход;

$\Delta qV/qV$ - погрешность измерения расхода;

1 - некорректированная кривая погрешностей по результатам калибровки;

$\text{Lim}(\Delta qV/qV)$ - предел погрешности измерения расхода;

$qV, 0$ - предел, при нулевом расходе;

qV, t - предел, при переходном расходе;

qV, max - проектный максимальный расход;

qV, min - проектный минимальный расход;

r_{stat} - повторяемость;

$\Delta p-p, \text{max}$ - максимальная погрешность между пиковыми значениями для счетчиков;

a - для счетчиков ≥ 12 “;

b - для счетчиков ≤ 12 “.

3.7.20 Влияние давления, температуры и газового состава

УЗСГ должен удовлетворять вышеупомянутым требованиям к точности во всем диапазоне рабочего давления, температуры и газового состава, непосредственно по входным интерфейсам или с применением алгоритма коррекции, если необходимо. Необходимые алгоритмы коррекции и входные интерфейсы должны быть определены. Если алгоритм коррекции не является необходимым, то должны быть определены дополнительные неопределенности вследствие изменения давления, температуры и состава. Если УЗСГ требует ручного ввода для описания условий протекающего газа, например, плотности и вязкости газа, то должна быть определена чувствительность УЗСГ к указанным параметрам таким образом, чтобы оператор мог определить потребность в изменении этих параметров соответственно изменению рабочих условий.

3.7.21 Эксплуатационные и монтажные требования

Все влияния условий монтажа или способа эксплуатации, которые увеличивают неопределенность УЗСГк, должны или быть устранены, или компенсированы. Должны быть определены минимальные расстояния до объектов, вносящих изменения в поток. Различные комбинации расположенных выше по течению фитингов, клапанов и вентилях, колен, а также длин прямолинейных участков трубопровода могут приводить к искажениям профиля скорости на входе в счетчик, что может повлечь за собой дополнительные погрешности измерения расхода. Величина погрешности счетчика зависит от типа и степени искажения потока и способности счетчика компенсировать эти искажения. Указанная погрешность может быть уменьшена при увеличении длины прямолинейных участков трубопровода выше по течению или при использовании ФП. Как альтернатива, проведение калибровки по расходу при условиях, подобных рабочим условиям эксплуатации, позволяет компенсировать эту погрешность.

3.7.22 Звуковые помехи, шумы и регуляторы давления

Работа и точность УЗСГ могут поддаваться существенному воздействию шумов, создаваемых регуляторами давления. В худших случаях, счетчик может перестать функционировать при определенных условиях. Следующие рекомендации даются относительно создаваемых регуляторами шумов:

- УЗСГ следует устанавливать на достаточном отдалении от дроссельных кранов - регуляторов, в идеале – с установкой между ними технологического оборудования, такого как демпферные емкости или теплообменники, выше по течению от регулятора;

- следует усовершенствовать помехоустойчивость УЗСГ путем:

- увеличения частоты УЗ преобразователей счетчика,
- увеличения мощности УЗ преобразователей счетчика;
- использования методик обработки сигнала при регистрации УЗ сигналов, например, усреднение сигнала (пакетирование), цифровая корреляция или кодирование сигнала;

- заглушенные T - образные тройники и поперечные изгибы являются наиболее эффективными стандартными фитингами для ослабления УЗ шума;

- прямолинейный участок трубопровода обладает очень слабым шумопоглощающим эффектом, когда дело касается УЗ шума;

- понижения перепада давления через клапан или вентиль уменьшает шумы, генерируемые на всех частотах.

Следует обратить внимание, что очень важно, чтобы длина прямолинейных участков, расположенных выше по течению от счетчика, не изменялась на основе этих рекомендаций.

3.7.23 Загрязнение

Следует избегать накопления отложений из смеси твердых частиц и жид-

ких загрязняющих веществ. Рекомендуется применять фильтрацию потока газа выше по течению от измерительного участка, а в двунаправленных применениях рекомендуется фильтрация как выше по течению, так и ниже по течению от измерительного участка. В то же время, следует учитывать потенциальную возможность нарушений профиля потока, вызванных фильтрационным оборудованием. Во избежание серьезного накопления отложений, рекомендуется конфигурация трубопровода, имеющая нижнюю точку ниже по течению от счетчика.

3.7.24 Температура окружающей среды

Воздействие температуры окружающей среды должно быть минимизировано. В случаях, когда отличие между внешней температурой и температурой газа больше чем несколько градусов, особенно при скоростях малых расходов, может иметь место расслоение внутри потока. Чтобы определить присутствие расслоения может быть использована диагностика УЗСГ. Кроме того, должен быть предусмотрен кожух, козырек или ограждение, предохраняющее электронику от действия прямых солнечных лучей.

3.7.25 Вибрация

УЗСГ не должны подвергаться вибрации, уровень или частота которой могут возбуждать собственные частоты плат ЭС, компонентов, или УЗ преобразователей.

3.7.26 Электрические помехи

Несмотря на то, что конструкция УЗСГ должна быть испытана на устойчивость к воздействию электрических помех, УЗСГ или связанная с ним электропроводка не должны подвергаться вредным электрическим помехам, включая помехи от переменного тока, соленоидных переходных процессов или радиосигналов.

3.7.27 Неустановившийся поток

Следует избегать пульсаций и неустановившегося потока, выходящих за пределы технических условий фирмы – производителя.

3.7.28 Монтажные требования и соображения касательно профиля потока

Установившийся профиль потока - самое желаемое условие для работы счетчика. На практике, наилучшими достижимыми условиями могут быть условия невозмущенного потока. Чтобы узнать, достигаются ли условия невозмущенного потока, вводится практическое определение: считается, что УЗСГ находится в условиях невозмущенного потока, если добавление длины $10D$ прямолинейного участка трубопровода со стороны входа в счетчик изменяет показания УЗСГ (ВСПр - взвешенную по расходу среднюю погрешность)

не больше чем на величину суммарной сходимости от установки и УЗСГ.

3.7.29 Расстояние до возмущений потока, требования к длине прямолинейных участков трубопровода выше и ниже по течению

Типичные условия в системе трубопроводов выше по течению (рабочие условия), например, колена, коллекторы, тройники, ФП, фильтрационное оборудование, изменения диаметра (уступы, расширения или сужения), а также клапаны, вентили и задвижки вносят завихрения в поток и обуславливают асимметричный профиль потока, плоский профиль потока, остроконечный профиль потока или их комбинации. Исследование показало, что для достижения установившегося профиля потока при асимметричных профилях потока может потребоваться прямолинейный участок трубопровода без ФП длиной $50D$, а при завихренных профилях потока может потребоваться применение прямолинейного участка трубопровода без ФП длиной $200D$. Монтаж таких прямолинейных участков трубопровода непрактичен. Имеющаяся способность УЗСГ вводить компенсацию на профили возмущенного (неустановившегося) потока, позволяет применять более короткие прямые участки, расположенные выше по течению.

Минимальная длина прямой трубы, расположенной выше по течению, l_{\min} , должна быть такой, чтобы добавление дополнительного прямого участка длиной $10D$ изменяло показания УЗСГ (ВСПр - взвешенную по расходу среднюю погрешность) не больше чем на величину суммарной сходимости установки и УЗСГ. Значение l_{\min} может отличаться в зависимости от конфигурации системы трубопроводов выше по течению и может быть определено только путем применения исходных эталонов. Определение значений l_{\min} для стандартного набора конфигураций системы трубопроводов выше по течению является одной из наиболее важных задач при проведении испытаний. Следует определить l_{\min} таким образом, чтобы максимальная дополнительная погрешность вследствие возмущения потока не превышала 0,3 %. Фирма - производитель должна определить значения l_{\min} для различных типов возмущений потока.

Определение l_{\min} для конфигурации системы трубопроводов выше по течению, для которой l_{\min} еще не известно, является ответственностью пользователя. Применение УЗСГ в конфигурации, для которой l_{\min} неизвестно, требует применения прямолинейного участка трубопровода выше по течению длиной $50D$; для УЗСГ соответствующее значение составляет $30D$. Минимальная длина прямолинейного трубопровода, расположенного ниже по течению, составляет $3D$.

Вследствие большого разнообразия типов УЗСГ, конфигураций систем трубопроводов выше по течению и ФП, фактически невозможно стандартизировать длины прямолинейных участков выше по течению. Кроме того, технология УЗСГ продолжает улучшаться, что делает стандартизацию на этом этапе еще более сложной.

3.7.30 Выступы и изменения диаметра

Во избежание возмущений профиля скорости, на входе УЗСГ следует из-

бегать изменений внутреннего диаметра и выступов, если тип счетчика не классифицируется как "счетчик с зауженным проходом". Фланцы и смежная, расположенная выше по течению труба, должны быть прямыми, цилиндрическими, и иметь по всей длине тот же внутренний диаметр, что и внутренний диаметр на входе счетчика, предпочтительно в пределах 1 %, но максимально – в пределах 3 %. Для минимизации возмущений потока эти компоненты должны быть тщательно совмещены, особенно это касается фланцев, расположенных выше по течению. Опыт эксплуатации счетчиков класса 1 показал, что изменения диаметра между расположенной выше по течению трубой и счетчиком вызывают погрешности измерения порядка 0,05 % от систематической погрешности на 1% изменения диаметра; эта погрешность может быть уменьшена снятием фаски, если угол наклона меньше чем 7° . На участке выше по течению от счетчика длиной как минимум $2D$, должны отсутствовать возмущения потока от фланцев, ФП и т.д. Вдоль участка выше по течению от счетчика длиной как минимум $10D$ или l_{\min} , (следует выбирать меньшее значение из двух), элемент (ы) трубопровода должен (ны) удовлетворять следующим требованиям:

- труба должна быть прямой, то есть не иметь никаких колен;
- две трубы считаются согласованными, когда местное изменение диаметра составляет $\pm 3\%$;
- внутренний сварной шов, расположенного ниже по течению фланца системы трубопроводов, находящейся выше по течению от счетчика, должен быть зашлифован и никакая часть расположенного выше по течению уплотнения, или кромка опорной поверхности фланца, не должны выступать относительно внутренней поверхности трубы в течение потока;
- труба считается цилиндрической, когда любой внутренний диаметр в любом ее сечении не отличается больше чем на 3 % от среднего внутреннего диаметра, D , полученного при регламентированных измерениях.

Значение для D должно быть средним значением внутренних диаметров трубы по длине $0,5D$ выше по течению от УЗСГ. Средний внутренний диаметр может быть определен различными методами, которые должны быть поддержаны соответствующей системой управления качеством. Средства измерения должны быть прослеживаемые к признанным международным эталонам.

При определении D ручными измерительными приборами, этот диаметр должен быть средним арифметическим, по крайней мере, 12 измерений, а именно четырех диаметров, расположенных под приблизительно равными углами друг другу, измеренных, по крайней мере, в каждом из трех поперечных сечений, равномерно распределенных по длине $0,5D$, причем два из этих сечений должны находиться на расстоянии 0 и $0,5D$ от УЗСГ и еще один - в плоскости сварного шва.

Отклонения диаметра большие чем 3 % в пределах $10D$ выше по течению от счетчика допускаются только в исключительных случаях, в которых фирма - производитель УЗСГ должна доказать, что дополнительная систематическая погрешность измерения, вследствие изменения диаметра, меньше 0,2 %.

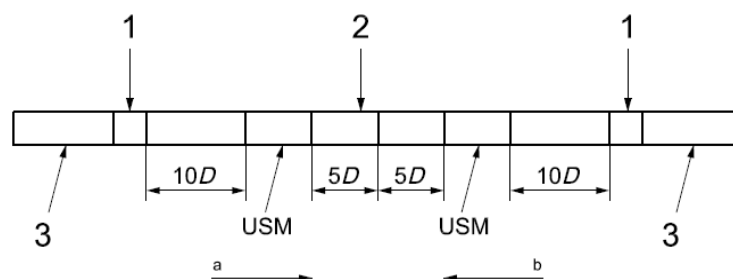
3.7.31 Формирователи потока (ФП)

Одно из главных преимуществ УЗСГ – это отсутствие падения давления на них. Применение ФП приносит падение давления и нивелирует это преимущество. Основные причины применения ФП – это отсутствие доступного пространства для прямолинейного участка достаточной длины, расположенного выше по течению, или невозможность количественного определения влияния конфигурации трубопровода выше по течению.

Монтаж ФП в любой части измерительного участка выше по течению от УЗСГ вызывает изменение расхода, отображаемого счетчиком. Это изменение зависит от многих коэффициентов (например, тип ФП, тип счетчика, позиция ФП относительно УЗСГ и возмущение потока выше по течению от ФП). Во избежание внесения дополнительной неопределенности, УЗСГ должен быть калиброван в комплекте с предусмотренным ФП и измерительным трубопроводом как одно целое (УЗСГк).

Для УЗСГ предпочтительно применение перфорированных дисковых ФП. Трубчатые ФП и пластинчатые ФП только подавляют завихрения, не улучшая при этом профиля потока, и могут даже вызвать дополнительные искажения профиля потока.

Пример оборудования для двунаправленного потока, в котором применяется два УЗСГ и ФП, с термокарманом, расположенным в промежуточном звене трубопровода, показан на рисунке 3.37.



1 – ФП; 2 – термокарман; 3 – трубопровод; D - внутренний диаметр трубопровода;
USM - ультразвуковой счетчик газа (УЗСГ); а - основное направление потока (прямоток);
b - основное направление потока (реверс);

Рисунок 3.37. Пример размещения оборудования для двунаправленного потока

3.7.32 Внутренняя поверхность и шероховатость стенки

Отложения вследствие нормальных условий передачи газа, например, конденсат, или масляные включения, смешанные с вторичной окалиной, грязью или песком, могут влиять на точность счетчика. Те же эффекты могут проявляться вследствие ржавления необработанных внутренних поверхностей или дефектного внутреннего покрытия. Поэтому внутренняя поверхность и шероховатость стенки должны контролироваться на предмет изменений при помощи диагностики счетчика или оптических (визуальных) методов. Выбранная периодичность контроля должна зависеть от чувствительности УЗСГ, а также от ожидаемых изменений в шероховатости стенки.

3.7.33 Двухнаправленное применение

В случае двухнаправленного применения обе системы трубопроводов, расположенные выше и ниже по течению от счетчика, расцениваются как "система трубопроводов, расположенная выше по течению". Должна быть определена чувствительность УЗСГ к наличию термокармана или датчика плотности.

3.7.34 Обращение со счетчиком и транспортировка

Должны соблюдаться требования, касающиеся обращения со счетчиком. Возможность повреждения УЗСГ во время манипулирования и транспортировки должна приниматься во внимание и должны быть предприняты все разумные меры для минимизации вероятности повреждений. Например, следует рассмотреть следующие возможности:

- труба должна быть прямой, то есть не иметь никаких колен;
- применение специально устройства индикации повреждений, такого как детектор удара во время транспортировки;
- применение соответствующих схем такелажных работ и способов подъема счетчика, а также использование специальных транспортировочных боксов, ящиков или рам;
- применение фланцевых заглушек (заклеивание или закрытие фланцев) во избежание внутреннего загрязнения счетчика;
- минимизация случаев демонтажа преобразователей и кабелей;
- защита после выпуска из производства счетчика и прямолинейных участков трубопровода ("катушек") от коррозии путем продувки инертным газом перед транспортировкой.

3.7.35 Особенности учёта сжиженного газа

Интерес к сжиженному газу растет во всем мире. Как известно, если растет спрос, то растет и предложение, а значит - будет расти и доля сжиженного газа в мировой торговле. В этой ситуации важным моментом является организация и внедрение передовых технологий, возможность получения оперативной информации о поступлении, движении и отпуске продукта, достоверном учете при поступлении, хранении и реализации газа, создание различных степеней доступа к получению и обработке информации. Сжиженные газы от заводо-поставщиков к потребителям или к базам их приема, хранения и раздачи доставляются в сосудах, работающих под давлением. Доставка является сложным организационно-хозяйственным и технологическим процессом, включающим транспортировку сжиженных газов на дальние расстояния, обработку газов на ГНС, транспортировку их на ближние расстояния непосредственно мелким потребителям.

Транспортировка сжиженных газов может осуществляться по железной дороге в железнодорожных цистернах, автотранспортом в автомобильных цистернах.

В РУП ПО "Белоруснефть" активизировалась работа по разработке и внедрению *"Автоматизированных систем управления технологическими процессами газонаполнительных станций, хранилищ"* (АСУ ТП ГНС).

Первым объектом автоматизации явилась газонаполнительная станция (ГНС) в районе д. Кобыльники, Свислочского района, Гродненской области.

ГНС предназначена для приема от поставщиков сжиженных углеводородных газов (СУГ), поступающих железнодорожным или автомобильным транспортом, хранения их в подземных резервуарах, наполнения автоцистерн и железнодорожных цистерн СУГ и поставки потребителям, в том числе за пределы Республики Беларусь.

Перед разработчиком АСУ ТП ГНС при осуществлении проекта были определены следующие цели и задачи:

- повышение точности измерений и учета СУГ, используя прямой метод динамических измерений массы СУГ с применением массовых расходомеров и получением результатов измерений в реальном режиме времени;
- снижение стоимости и повышение надежности эксплуатации за счет автоматизации технологических процессов ГНС;
- снижение энергопотребления на технологию;
- снижение общей стоимости проекта;
- снижение численности высококвалифицированного персонала по обслуживанию объекта.

Сегодня можно констатировать, что поставленные цели и задачи в полной мере реализованы в проекте АСУ ТП ГНС, разработанном ООО "Факом Технолоджиз" г.Минск, в тесном сотрудничестве со специалистами РУП ПО "Белоруснефть". Данная ГНС введена в эксплуатацию в апреле 2008 г.

С помощью АСУ ТП ГНС осуществляется автоматизация следующих функций контроля и управления:

- контроль режимов технологического процесса, измерение технологических параметров, сбор данных, представление полученной информации о состоянии технологического объекта оперативно-технологическому персоналу;
- автоматическое регулирование отдельных (локальных) технологических параметров и технологически связанных групп параметров; обеспечение устойчивости технологического процесса и реализации функций управления по стабилизации основных параметров;
- дистанционное управление – управление регулирующей, отсечной арматурой и технологического оборудования;
- сигнализация состояния объекта – звуковая и световая сигнализация отклонения технологических параметров за заданные пределы, состояние регулирующей и отсечной арматуры, технологического оборудования;
- защита объекта (противоаварийные защиты и блокировки);
- ведение технологического процесса слива/налива в части осуществления дозирования и регулирования, поддержания заданного значения расхода;
- ведение учета при осуществлении операций слива/налива в железнодоро-

рожные и автомобильные цистерны;

- расчет метрологических параметров парка хранения СУГ;
- ведение учета СУГ в товарном парке - емкостях хранения;
- расчет параметров технико-экономических показателей (ТЭП) и их передача в общую сеть предприятия;
- контроль оперативных событий, их запись и хранение на магнитных носителях памяти;
- запись, накопление и хранение измеренных значений технологических параметров на магнитных накопителях вычислительных средств в реальном режиме времени с последующим представлением записанных значений по вызову в виде исторических трендов;
- документирование информации по контролю режимных параметров, по контролю технологических и оперативных событий, хранение необходимых данных в ОЗУ (в базе данных) и на магнитных носителях информации вычислительных средств, печать технологических документов заданной формы с заданной периодичностью и по вызову.

3.7.36 Метрологическое обеспечение АСУ ТП ГНС

Важным элементом в метрологическом обеспечении АСУ ТП является оптимальный выбор высокоточных и надежных средств измерений, измерительных и управляющих систем, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь.

В данном проекте использованы средства измерений массы, давления, температуры, установленных на технологических трубопроводах, системы расходоизмерительные управляющие на базе контроллеров ROC и система управляющая DELTA V, изготовленные компанией "Emerson Process Management". Все средства измерений и системы внесены в Государственный реестр средств измерений Республики Беларусь, разрешены к применению Проматомнадзором и поверены в установленном порядке.

Единая информационно-измерительная система АСУ ТП ГНС схематично представляет собой взаимосвязь с локальными измерительными подсистемами:

- **обслуживания резервуарного парка (рисунок 3.38);**
- **автоматизированного слива/налива СУГ в ж.д. цистерны (рисунок 3.39);**
- **автоматизированного слива/налива СУГ в автоцистерны (рисунок 3.40);;**
- **технологических сооружений; компрессорная, насосная внутрибазовых перекачек, пожарная подсистема, подсистема допуска на территорию, охранная сигнализация, система контроля загазованности, другие вспомогательные установки и системы.**

Связь единой системы АСУ ТП с подсистемами и локальными установками организуется по цифровым каналам по сети 485-Modbus или сети ETHERNET. Вывод информации производится на рабочую станцию системы управляющей Delta V.



Рисунок 3.38



Рисунок 3.39



рисунок 3.40

3.7.37 Узлы учета СУГ

Одним из главных факторов, ограничивающим возможности использования сжиженного углеводородного газа, были принципиальные трудности при учете СУГ на ГНС. Компании, реализующие СУГ, из-за низкой точности учета терпели потери, масштабы которых просто недопустимы в других сферах торгово-коммерческой деятельности.

Комплексный научный подход и отказ от стереотипов дали качественно новый результат: проблема учета СУГ получила решение, по своей точности соответствующее требованиям к коммерческому учету нефтепродуктов.

Такой подход, заключающийся в комплексной обработке информации от измерительных приборов и датчиков, обеспечивает объективность и достоверность учета сжиженных углеводородных газов.

В настоящее время оптовая реализация СУГ производится по массе, поэтому учет при приеме на ГНС и при отпуске на ГГЗС должен быть организован по массе.

Для прямого метода динамических измерений, предел допускаемой относительной погрешности измерений массы нефтепродукта $\pm 0,25$ %, в соответствии с СТБ 8030-2006.

При существующей на сегодняшний день на газонаполнительных станциях технологической схемы с "обменом паровой" фазы, учет только массы жидкой фазы СУГ не позволяет достичь точности учета, определяемой требованиями НД.

Связано это с тем, что одним из наиболее важных свойств пропана и бутана является образование над жидкой фазой двухфазного состояния жидкость-пар вследствие возникновения давления насыщенного пара. При этом для смеси пропан/бутан плотность паровой фазы составляет порядка 2% плотности жидкой фазы.

Учет паровой фазы становится необходимым для обеспечения точности измерений.

Основу технологического процесса газонаполнительной станции составляют узлы коммерческого учета слива/налива, построенные на основе массовых расходомеров, осуществляющие измерение массы СУГ. Применение массовых расходомеров позволило отказаться от традиционных объемных расходомеров.

Узлы учёта слива/налива СУГ (СКИДы) представляют собой компактную измерительную подсистему, конструктивно выполненную в виде единого модуля. Такое исполнение узлов позволило гарантировать правильность монтажа и эксплуатации измерительного оборудования и обеспечить высокие метрологические характеристики измерения количества СУГ.

СКИДы ГНС "Кобыльники" имеют в своём составе:

- расходомер массовый MicroMotion серии CMF;
- расходомер массовый MicroMotion серии R;
- преобразователь давления измерительный 2088;
- преобразователь температуры 644 с ТС гр. Pt 100;
- контроллер-вычислитель расхода ROC 809.

Выбор оборудования КИПиА производства компании EMERSON Process Management обусловлен высокими метрологическими характеристиками примененного измерительного оборудования, и в первую очередь высокой долговременной стабильностью расходомеров и преобразователей давления, подтвержденных опытом эксплуатации на предприятиях РБ.

Для обеспечения необходимой точности учета СУГ, на узлах осуществляется измерение как жидкой, так и паровой фазы СУГ.

"Автоматизированный узел слива/налива" в составе с ИК СУГ обеспечивает учёт отгружаемого и принимаемого СУГ на стояках слива/налива, а также управление технологическим процессом ГНС.

3.7.38 Технологии управления

Основной задачей обеспечения достоверности учета и обеспечения безопасности налива, является задача поддержания постоянства фазового состоя-

ния жидкого СУГ, а именно предотвращение "закипания" СУГ в измерительной части трубопровода и расходомере. С этой целью были разработаны алгоритмы управления и специализированное программное обеспечение управления расходом жидкой фазы. Примененное решение управления расходом принципиально отличается от решений, принятых на аналогичных объектах за рубежом, и что важно, значительно дешевле зарубежных аналогов. Правильность принятого решения подтверждена опытом последующей эксплуатации, на всех режимах отпуска СУГ.

Измеренные значения входных величин соответствующих измерительных каналов узла учёта (давление, температура, масса, фазовое состояние СУГ) в виде аналоговых и/или цифровых сигналов поступают в контроллер ROC 809.

Перед началом операций слива/налива сигналы всех датчиков обрабатываются контроллером ROC 809 для формирования управляющего сигнала о готовности к операциям слива/налива СУГ.

В процессе проведения измерений, постоянно контролируется фазовое состояние СУГ в трубопроводах жидкой и паровой фазы, и в случае его изменения выдается команда на закрытие узла и останов насосно-компрессорного оборудования. Это позволило предотвратить попадание жидкой фазы в паровой трубопровод при сливе, и попадание паровой фазы на всос насоса при сливе цистерны.

Для избежания гидравлических ударов применен "ступенчатый" налив, что обеспечивается одновременным регулированием расхода жидкой фазы при помощи регулирующего клапана на линии жидкой фазы, а также применением частотного управления насосно-компрессорным оборудованием ГНС. Алгоритм управления разработан для конкретной ГНС.

При этом ведется "адаптивное" управление работой насосно-компрессорным оборудованием ГНС, с оценкой общего количества работающих одновременно постов слива/налива, с решением задачи оптимизации времени слива всего фронта цистерн, с учетом их удаленности и оптимизации времени налива на всех постах.

На основании информации полученной от расходомеров массовых контроллер ROC 809 определяет текущее значение массы СУГ прокаченной через узел учёта и рассчитывает средние значения за время прокачки давления и плотности СУГ, а также время окончания технологической операции для безударного перехода на малую скорость налива, и точное отсечение заданной дозы.

Результаты расчётов и измеренные параметры архивируются.

Программное обеспечение контроллеров защищено от несанкционированного доступа по искажению информации и изменению алгоритмов. Вмешательство оператора в работу контроллеров регистрируются в операторском журнале с составлением акта.

В операторской ГНС установлен контроллер верхнего уровня системы управляющей DELTA V, куда по цифровым каналам из контроллера ROC поступают значения измеряемых параметров: массы, плотности, температуры, давления продукта и сигнала состояния запорной арматуры для выработки команд:

– разрешение на слив/налив;

- разрешение на пуск насосов/компрессоров;
- печать отчётов.

3.7.38.1 Структурная схема ИК



Дополнительно к заданию решена задача измерения качества СУГ – соотношения пропана и бутана в жидкой фазе.

Основные метрологические характеристики средств измерений представлены в таблице 3.18

Таблица 3.18

Наименование и тип средства измерений	Краткие технические и метрологические характеристики
Расходомеры массовые MicroMotion CMF 200 с электронным блоком 2700	Верхний предел измерений расхода 87100 кг/ч; Предел допускаемой относительной погрешности измерений массового расхода жидкости $\pm 0,1$ %; Диапазон измерений плотности от 0 до 5000 кг/м ³ ; Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений плотности жидкости $\pm 0,5$ кг/м ³ ; Контроль параметров жидкой фазы СУГ
Расходомеры массовые MicroMotion R100 с электронным блоком 1700	Верхний предел измерений массового расхода 32650 кг/ч; Предел допускаемой относительной погрешности измерений массового расхода газа $\pm 1,0$ %; Контроль параметров паровой фазы СУГ
Преобразователи давления измерительные 2088	Диапазон измерений давления (0-5520) кПа; Предел допускаемой приведенной погрешности $\pm 0,2$ %; Контроль давления жидкой и паровой фазы СУГ
Преобразователь температуры измерительный 644 в комплекте термометром сопротивления Pt 100	Диапазон измерений от минус 200 °С до плюс 850 °С; Пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm (0,15$ °С + 0,03 % диапазона измерений); Выходной сигнал: (4-20) мА, Контроль температуры жидкой фазы СУГ
Контроллер ROC 809	Входной/Выходной сигналы <ul style="list-style-type: none"> • по массе – частотно - импульсный; • по плотности – (4-20) мА; • по давлению – (4-20) мА. Пределы допускаемой приведенной погрешности по аналоговому сигналу $\pm 0,1$ %. Пределы допускаемой относительной погрешности по импульсному сигналу $\pm 0,001$ %. Контроль параметров и управление измерительно-управляющей подсистемой

По результатам поверки и метрологической аттестации подтверждены установленные требования по пределам относительной погрешности определения массы продукта, не превышающих $\pm 0,25$ % (фактически, относительная погрешность составила $\pm 0,17$ %).

3.7.39 Информационно-измерительная система СУГ

ИИС СУГ представляет собой единый измерительный комплекс, состоящий из средств измерений, установленных на технологических трубопроводах, в узлах учета СУГ и в резервуарном парке, сигналы которых поступают в контроллеры ROC 809, находящихся на узлах учета СУГ и резервуарном парке, и далее в контроллер системы DELTA V и ПЭВМ, находящихся в "**ОПЕРАТОР-СКОЙ**" ГНС.

После проведения метрологической аттестации узлов учета СУГ специалистами БелГИМ проведена метрологическая аттестация ИИС СУГ ПМА.МН.1514-2008 в условиях эксплуатации, целью которой являлось:

- определение абсолютной погрешности ИК СИСТЕМЫ по измерениям массы, давления и температуры СУГ от датчиков до контроллера системы DELTA V;
- численная оценка рассогласования показаний контроллеров ROC 809 в узлах учета СУГ и контроллера системы DELTA V в реальных условиях эксплуатации, что характеризует сходимость результатов измерений, выдачи документа, удостоверяющего метрологические характеристики (далее – МХ), установленные в процессе МА.

3.8 Диафрагменные и струйные счётчики газа

В качестве рабочих средств измерений, предназначенных для учёта потребления природного газа при относительно малых значениях расхода ($0,016 - 40$ м³/ч) в настоящее время используются счётчики газа диафрагменного (мембранного) и струйного типа. Они преимущественно устанавливаются в жилых и бытовых помещениях.

3.8.1 Методы и средства поверки

При поверке счётчиков применяют поверочные установки:

- с эталонным газовым мерником;
- с эталонным счётчиком газа;
- с эталонными докритическими и критическими соплами.

Поверочные установки, состоящие из эталонного средства измерений и вспомогательных устройств, должны обеспечивать поверку счётчиков и удовлетворять следующим требованиям:

- диапазон работы поверочной установки должен быть не менее диапазона работы счётчика;

– предел допускаемой основной относительной погрешности установки не должен превышать $1/3$ предела допускаемой основной относительной погрешности счётчика.

– избыточное давление (или разрежение), создаваемое установкой, должно превышать потери давления в средствах поверки, счётчике и соединительной арматуре;

– в качестве рабочей среды следует использовать воздух;

– должна быть обеспечена герметичность подсоединения счётчика.

Установка должна быть укомплектована средствами измерений давления (разрежения), температуры, а при необходимости также средствами измерений времени, атмосферного давления, влажности воздуха. Класс точности применяемых приборов должен быть таким, чтобы вносимая ими дополнительная погрешность обеспечивала суммарную погрешность установки не более предела допускаемой основной относительной погрешности.

3.8.2 Подготовка и условия поверки

Перед поверкой счётчики выдерживают в помещении, где проводят поверку, не менее 1 часа. После установки счётчика на поверочной установке проверяют герметичность мест подсоединения счётчика к поверочной установке. Счётчик представляют на поверку со следующими документами:

– паспортом на счётчик или свидетельством о предыдущей поверке;

– руководством по эксплуатации;

– протоколом испытаний на герметичность.

В качестве поверочной среды при их поверке используется воздух.

При проведении поверки необходимо соблюдать условия:

– температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ 20 ± 5 ;

– относительная влажность окружающего воздуха, % 30-80;

– атмосферное давление, кПа 84,0-106,7.

3.8.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре обращают внимание на отсутствие механических повреждений счётчика, состояние лакокрасочного покрытия, наличие товарного знака предприятия-изготовителя, а также надписей с указанием типа, заводского номера, года изготовления, наибольшего избыточного давления, максимального и минимального значений расхода.

➤ **Опробование.** Опробование счётчика проводят, пропуская через него поток воздуха со значением расхода не менее 10% номинального. При этом счётчик должен работать устойчиво, без рывков, заеданий, посторонних шумов. Показания отсчётного устройства должны равномерно увеличиваться. Эту операцию повторяют при максимальном значении расхода.

➤ **Определение метрологических характеристик.** Основную относительную погрешность определяют по результатам сравнения пропущенного че-

рез эталонный счётчик контрольного объёма воздуха с показаниями поверяемого счётчика.

Контрольный объём воздуха в зависимости от типа поверочной установки может быть задан следующими способами:

- в установках колокольного типа контрольный объём задают как геометрический объём, отсекаемый движущимся колоколом при прохождении между двумя фиксированными точками;
- при применении эталонного счётчика для вычисления контрольного объёма используют его показания;
- в сопловых установках значение контрольного объёма воздуха получают путём интегрирования по времени контрольного значения расхода воздуха, задаваемого соплом, или (при постоянном расходе) как произведение значения расхода воздуха на время пропускания его через счётчик.

Показания счётчиков могут быть сняты визуально по отсчётному устройству или (при наличии импульсного выхода) по числу зарегистрированных импульсов. Значения расхода воздуха, при которых проводят поверку, указывают в методике поверки на счётчик конкретного типа. При этом соблюдают следующие требования:

- для механических (тахометрических, диафрагменных, барабанных) счётчиков число точек расхода воздуха Q должно быть не менее трёх с обязательным включением максимального Q_{\max} и минимального расхода Q_{\min} ;
- для счётчиков, имеющих электронную корректировку выходного сигнала (линеаризация характеристики, активные фильтры и др.), число точек расхода воздуха должно быть не менее семи с обязательным включением Q_{\min} и Q_{\max} .

При каждом значении расхода воздуха поверку проводят до трёх раз. Если по результатам первого измерения основная относительная погрешность счётчика не превышает предела допускаемой основной погрешности, повторные измерения не проводят. В противном случае измерения повторяют и за результат принимают среднеарифметическое из полученных значений.

Основную относительную погрешность счётчика δ , %, вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{V_{сч} - V_0}{V_0} \cdot 100 - \Delta \quad (3.33)$$

где $V_{сч}$ – объём воздуха, измеренный поверяемым счётчиком, м³;

V_0 – объём воздуха, заданный (измеренный) поверочной установкой, м³;

Δ – поправка, определяемая разницей давления в поверяемом счётчике и в поверочной установке, %.

$$\delta = \frac{\Delta \cdot p V_{сч}}{p V_0} \cdot 100 \quad (3.34)$$

где Δp – разность значений абсолютных давлений в поверочной установке и поверяемом счётчике, Па, Δp принимают со знаком минус, если давление в поверяемом счётчике более давления в эталонной поверочной установке;

p – абсолютное давление в поверяемом счётчике, Па.

Основная относительная погрешность не должна превышать предела допускаемой основной относительной погрешности, указанного в паспорте счётчика. Потери (падение) давления на поверяемом счётчике определяют при максимальном значении расхода воздуха как разность давлений на входе и выходе счётчика. Потери давления не должны превышать допускаемых потерь давления, указанных в паспорте или руководстве по эксплуатации счётчика конкретного типа.

При положительных результатах поверки счётчик признают годным к применению, наносят поверительное клеймо и выдают свидетельство поверки.

При отрицательных результатах поверки счётчик считают непригодным к эксплуатации, поверительное клеймо гасят и оформляют заключение о непригодности счётчика с указанием причин.

3.9 Ультразвуковые расходомеры

Принцип действия ультразвуковых расходомеров основан на зависимости скорости распространения ультразвука относительно трубы от скорости потока. При движении жидкости происходит снос ультразвуковой волны, который приводит к изменению полного времени распространения ультразвукового сигнала (УЗС) между электроакустическими преобразователями: по потоку время распространения уменьшается, а против потока возрастает. Таким образом, ультразвуковые преобразователи осуществляют измерение разности времени распространения УЗС по потоку и против него. Данная величина пропорциональна скорости и, следовательно, расходу. Необходимо подчеркнуть, что в основном ультразвуковые расходомеры применяются для измерения расходов жидких сред, так как в газовой среде коэффициент поглощения ультразвука велик, а интенсивность распространения ультразвуковой волны мала. Такой подход был примерно до 2005, то есть до того времени пока не начали использоваться приёмопередатчики материал которых был взят из космической отрасли.

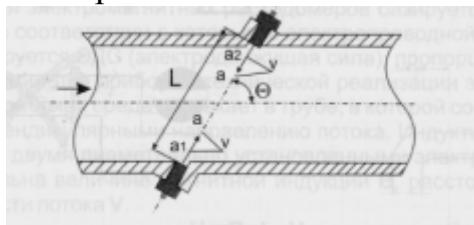


Рисунок 3.41

Скорость распространения звуковой волны в перемещающейся жидкости зависит от скорости жидкости:

$$a_1 = a + V_m \times \cos \Theta = L/t_1; \quad a_2 = a - V_m \times \cos \Theta = L/t_2 \quad (3.35)$$

где: a_1 - скорость распространения звука по направлению потока жидкости для приемопередатчика;

a_2 - скорость распространения звука против направления потока жидкости для приемопередатчика;

- a - скорость распространения звука в жидкости (для воды -1500 m/s);
- Θ - угол между осью приемопередатчиков и осью направления потока;
- V_m - средняя скорость потока по дорожке от А до В;
- L - расстояние между приемопередатчиками;
- t_1 - время сигнала вниз по течению потока;
- t_2 - время сигнала вверх по течению потока.

3.9.1 Достоинства и недостатки ультразвуковых расходомеров

К достоинствам СИ ИСТОК-ВОДА-11, использующих ультразвуковые расходомеры SITRANS F US SONOFLO, SKU-02 и UFM 001 следует отнести:

- возможность использования на трубопроводах широкого диапазона диаметров (от 25 мм до 4000 мм);
- возможность бесконтактного измерения расходов любых жидких сред, в том числе и неэлектропроводных;
- широкий динамический диапазон измерения;
- высокая точность измерения ($\delta_q > 0,5 - 2,0 \%$);
- низкие потери давления;

К недостаткам ультразвуковых расходомеров необходимо отнести:

- наиболее существенным из них является сильная зависимость показаний расходомера от профиля скоростей в потоке, формирующегося и изменяющегося по мере изменения (увеличения или уменьшения) расхода;
- погрешность особенно сильно увеличивается при искаженном профиле скоростей вследствие наличия, например, вблизи первичного преобразователя местных сопротивлений;
- значительное влияние на показания расходомера изменения физико-химических свойств контролируемой среды, ее температуры и давления, оказывающих влияние на скорость ультразвука.

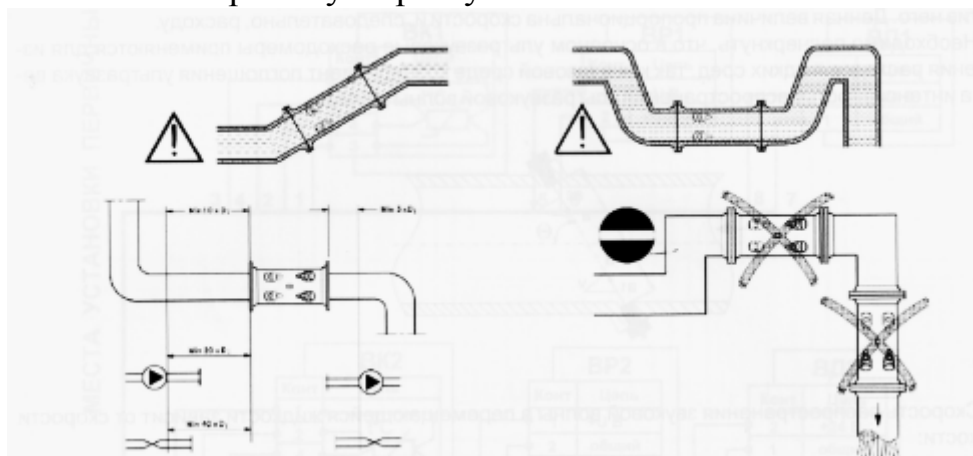


Рисунок 3.42

Основные требования по установке ультразвуковых расходомеров следующие:

- ультразвуковые преобразователи всегда должны быть полностью заполнены жидкостью;

- следует избегать установок ультразвуковых преобразователей в наивысшей точке трубопровода и в вертикальных трубах со свободным выходом;
- при частичном заполнении труб или в трубах со свободным выходом ультразвуковые преобразователи должны быть размещены в U-образной трубе;
- ультразвуковые преобразователи следует размещать в горизонтальной плоскости (при монтаже на горизонтальном трубопроводе).

Расходомер SITRANS F US SONOFLO состоит из монтажного комплекта с двумя парами ультразвуковых преобразователей SONO 3200 и вторичного преобразователя SONO 3000. Ультразвуковые преобразователи врезаются в стенку действующего трубопровода, выполненного из стали, чугуна или бетона.

Расходомер SITRANS F US SONOFLO имеет ряд особенностей:

- монтаж ультразвуковых преобразователей может производиться на трубопровод с жидкостью под рабочим давлением;
- две пары ультразвуковых преобразователей обеспечивают более надежное измерение расхода, учитывающее возможное искажение профиля скорости потока. Прибор обеспечивает работу и с одной парой преобразователей;
- минимальная длина прямого участка до первичного преобразователя 10 Ду. После насоса или клапана длина прямого участка от 20 Ду до 40 Ду. После первичного преобразователя прямой участок - 3Ду;
- диапазон измерения до 470000 м³/ч при скорости потока 10 м/с;
- максимальное рабочее давление 5,0 МПа (50 бар);
- размер трубопровода, Ду от 80 мм до 4000 мм;
- температура окружающей среды от -40 °С до +55 °С, измеряемой среды от -20 °С до +200 °С;
- предел допускаемой относительной погрешности измерений в диапазоне расхода в зависимости от диаметра трубопровода и количества излучателей: 0,5 %, 0,75 %; 1,0 %; 1,5 % и 2,0 %.

Расходомер SKU-02 состоит из измерительных вставок с одной парой первичных преобразователей расхода (ИВПР) и вторичного преобразователя счетчика. Имеется четыре основных модификации ИВПР в зависимости от диаметра условного прохода: Ду-25; Ду-32 и Ду-50; Ду-80 и более, а также врезные ультразвуковые преобразователи, которые врезаются в стенку действующего трубопровода, выполненного из стали.

Расходомер SKU-02-F обеспечивает:

- минимальная длина прямого участка до ИВПР на Ду-25 не регламентируется, на Ду-32 и Ду-50 длина прямого участка составляет 5 Ду до и 3 Ду после. Для Ду-80 и более длина прямого участка составляет 10 Ду до и 3 Ду после. При монтаже ИВПР после насоса или нескольких колен длина прямого участка должна быть увеличена до 20 Ду. После ИВПР необходимо обеспечить прямой участок длиной 3 Ду;
- диапазон измерения от 0,15 до 28000 м³/ч;
- максимальное рабочее давление 1,6 (2,5) МПа;
- размер трубопровода, Ду от 25 мм до 1000 мм;

– температура окружающей среды от 0 °С до +55 °С, измеряемой среды от 0 °С до +150 °С;

– предел допускаемой относительной погрешности измерений расхода по всем диапазонам +2,0 %.

Расходомер UFM 001 состоит из ультразвукового преобразователя расхода УПР и электронного вычислительного блока ЭБ, пульта контроля ПК и комплекта соединительных высокочастотных кабелей.

Расходомер UFM 001 обеспечивает:

– минимальная длина прямого участка до УПР 15 Ду и 3 Ду после;

– диапазон измерения от 5,0 до 34000 м³/ч;

– максимальное рабочее давление: 1,6 (2,5) МПа;

– размер трубопровода, Ду: от 50 мм до 1000 мм;

– температура окружающей среды от 0°С до +55 °С, измеряемой среды от 4°С до +150 °С;

– предел допускаемой относительной погрешности измерений расхода по всему диапазону ±1,5%.

3.10 Электромагнитные расходомеры

Принцип действия электромагнитных расходомеров базируется на законе электромагнитной индукции Фарадея, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС (электродвижущая сила), пропорциональная скорости движения жидкости. В конструкции для приборно-технической реализации этого измерительного принципа электропроводящая рабочая среда протекает в трубе, в которой создается магнитное поле с силовыми линиями, перпендикулярными направлению потока. Индуцированное в рабочей среде напряжение снимается двумя диаметрально установленными электродами. Величина этого напряжения пропорциональна величине магнитной индукции B , расстоянию между электродами L , а также средней скорости потока V .

$$U_e = B * L * V \quad (3.36)$$

Т.к. магнитная индукция и расстояние между электродами являются постоянными величинами, то величина измеренного на электродах напряжения пропорциональна средней скорости потока и, для определенного диаметра условного прохода, объемному расходу.

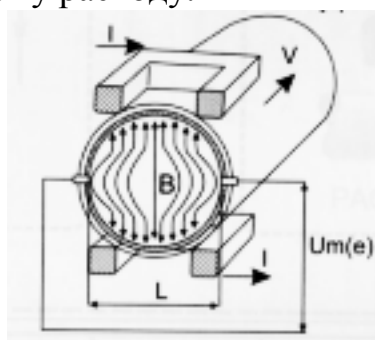


Рисунок 3.43

3.10.1 Достоинства и недостатки электромагнитных расходомеров

К достоинствам СИ, использующих электромагнитные расходомеры РЭМ- 01, РСМ-05 и Promag следует отнести:

– как при турбулентном, так и при ламинарном течении потока показания электромагнитного расходомера при одном и том же расходе, и осесимметричном потоке одинаковы. Это основное преимущество расходомеров электромагнитного типа;

– независимость показаний от вязкости и плотности жидкости, расход которой регистрируется. Возможность применения фактически в трубопроводах любых диаметров;

– отсутствие падения давления на измерительном участке и линейность измерительной шкалы;

– высокое быстродействие расходомеров, возможность измерения расходов агрессивных, а также с включением абразивных составляющих жидкостей;

– работоспособность при высоких давлениях потока (до 100 МПа);

– высокая точность ($\delta_{\text{ч}} > 0,5-1,0 \%$) и достаточно широкий диапазон измерений: 1:20 и даже 1:100;

– независимость показаний измерения от изменения профиля скоростей потока при наличии вблизи (ближе $15D_{\text{ду}}$ до и $5D_{\text{ду}}$ после) расходомера местных сопротивлений либо при быстром увеличении и уменьшении расхода.

К недостаткам электромагнитных расходомеров необходимо отнести отложения магнетита (при его присутствии в воде) на внутренней (изолированной) поверхности преобразователя расхода, что приводит к систематической погрешности в измерении расхода. Обычно изменение в точности измерения расхода происходит в сторону его занижения на 10-20% в течение межповерочного интервала.

3.11 Кориолисовые расходомеры

Для измерения параметров жидкостей широко распространены средства измерений, использующие силы Кориолиса.

Кориолисовые расходомеры, непосредственно встроенные в трубопроводную сеть, обеспечивают прямое и точное измерение массового расхода, необходимого для управления многими процессами. В Кориолисовую технологию входят также высокоточное измерение плотности и температуры на потоке, используемое в различных отраслях промышленности, включая системы коммерческого учета. Семейство устройств, основанное на эффекте Кориолиса, включает сенсоры для измерения параметров опасных и агрессивных материалов, высокотемпературных жидкостей и санитарных продуктов.

Система измерения расхода включает в себя сенсор и преобразователь сигнала (датчик). Каждый сенсор состоит из одной или двух мерных труб, заключенных в корпус. Функционирование расходомера основано на применении второго закона Ньютона: сила равна массе, умноженной на ускорение.

Труба внутри корпуса колеблется с собственной частотой (рисунок 3.23). Труба приводится в движение электромагнитной катушкой, расположенной в центре изгиба трубы. Колебания трубы подобны колебаниям камертона и имеют амплитуду менее 1 мм и частоту примерно 80 циклов в секунду.

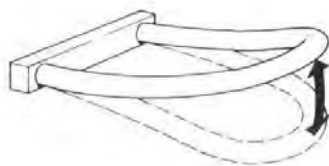


Рисунок 3.44 Колебания трубы сенсора

Жидкости, протекающей через трубу, придается вертикальная составляющая движения вибрирующей трубы. Когда труба движется вверх во время первой половины цикла колебания (рисунок 3.24), жидкость, втекающая в трубу, сопротивляется движению вверх, давя на трубу вниз.

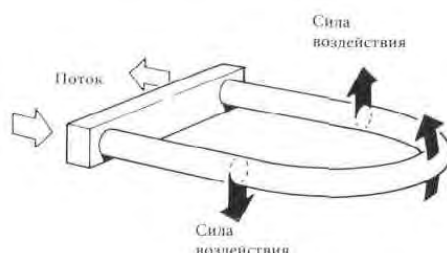


Рисунок 3.45 Силы, действующие на трубу при ее движении вверх.

Поглотив вертикальный импульс при движении вокруг изгиба трубы, жидкость, вытекающая из трубы, сопротивляется уменьшению вертикальной составляющей движения, толкая трубу вверх (рисунок 3.45). Это приводит к закручиванию трубы (рисунок 3.46). Когда труба движется вниз во время второй половины цикла колебания, она закручивается в противоположную сторону. Это закручивание называется эффектом Кориолиса.

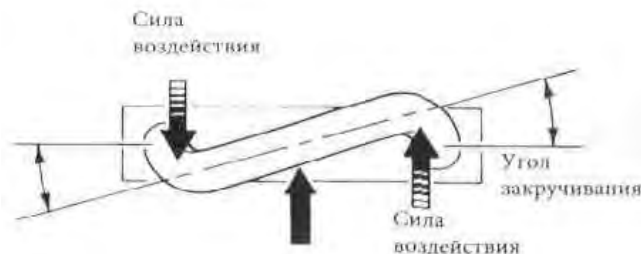


Рисунок 3.46 Труба сенсора и пара сил, приводящая к ее закручиванию.

Исходя из второго закона Ньютона, угол закручивания трубы сенсора прямо пропорционален количеству жидкости, проходящей через трубу в единицу времени. Электромагнитные детекторы скорости, расположенные с каждой стороны трубы, измеряют скорость колебания трубы. Массовый расход определяется путем измерения временной задержки между сигналами детекторов. При отсутствии потока закручивания трубы не происходит, и между сигналами детекторов нет временной разности.

При наличии потока труба закручивается, при этом возникает разность во

времени в поступлении двух сигналов по скорости. Эта разница во времени прямо пропорциональна массовому расходу.

Труба (трубы) расходомера жестко закреплена на одном конце и свободна на другом. Такая конструкция может рассматриваться как пружина с закрепленной на конце массой (рисунок 3.47).

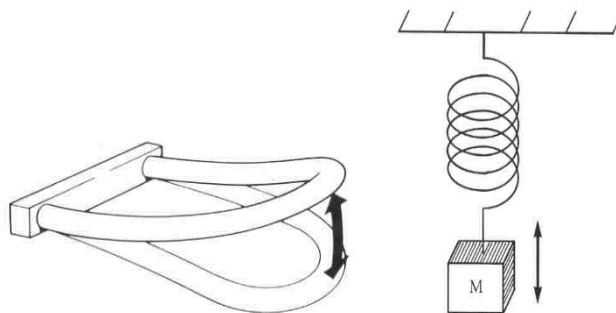


Рис. 3.47 Кориолисовый расходомер и пружина с грузом.

Приведенные в движение пружина с грузом будут колебаться со своей резонансной частотой. Резонансная частота является функцией массы груза. Кориолисовый сенсор колеблется со своей резонансной частотой под воздействием приводящей катушки и контура обратной связи. Резонансная частота трубы зависит от геометрии трубы, материала конструкции и массы всей трубы. Масса трубы состоит из двух частей: массы самой трубы и массы жидкости в трубе. Масса самой трубы (труб) постоянна для данного сенсора. Поскольку масса (жидкости в трубе) равна произведению плотности и объема трубы, а объем трубы является константой для данного типоразмера сенсора, то частота колебаний может быть привязана к плотности жидкости. Следовательно, для данной геометрии трубы и данного материала конструкции плотность жидкости может быть определена путем измерения резонансной частоты колебаний.

Сигнал, несущий резонансную частоту, поступает от той же самой катушки и системы магнитных детекторов, применяемых для измерения массового расхода. Температурный сенсор учитывает изменение модуля упругости материала при изменении температуры.

Периодические измерения включают в себя измерения периода колебаний трубы и температуры. Плотность жидкости вычисляется на основании линейной зависимости между плотностью и периодом колебаний трубы с использованием калибровочных констант. С использованием этой информации формируется выходной сигнал, представляющий плотность жидкости.

Кориолисовые расходомеры нашли широкое применение при измерениях массы продукта в трубопроводах, мерах вместимости, мерах полной вместимости. применяют:

При измерениях массы продукта в трубопроводах, мерах вместимости, мерах полной вместимости применяют следующие методы:

- прямой метод динамических измерений;
- косвенный метод динамических измерений;
- прямой метод статических измерений;

- косвенный метод статических измерений;
- косвенный метод, основанный на гидростатическом принципе.

При косвенном методе статических измерений массу нефтепродукта определяют по результатам измерений:

- в мерах вместимости:
 - уровня продукта – стационарным уровнемером или другими средствами измерений уровня жидкости;
 - плотности продукта – переносным или стационарным средством измерений плотности или ареометром в лаборатории в объединённой пробе продукта, составленной из точечных проб;
 - температуры продукта – термометром в точечных пробах или с помощью переносного или стационарного преобразователя температуры;
 - объёма продукта – по градуировочной таблице меры вместимости с использованием результата измерений уровня;
- в мерах полной вместимости:
 - плотности продукта – переносным средством измерений плотности или ареометром в точечной пробе продукта;
 - температуры продукта – переносным преобразователем температуры или термометром в точечной пробе продукта;
 - объёма продукта, принятого равным действительной вместимости меры.

Результаты измерений плотности и объёма продукта, полученные при температуре продукта в мерах вместимости, в мерах полной вместимости или в лаборатории приводят к стандартному условию.

Косвенный метод статических измерений массы продукта в мерах вместимости и мерах полной вместимости имеет самое широкое распространение при проведении учётных операций с нефтепродуктами и их хранении, а также взаимных расчётов между поставщиком и потребителем.

При прямом методе статических измерений массу продукта определяют по результатам взвешивания на железнодорожных и автомобильных весах железнодорожных и автомобильных цистерн с продуктом и без него. Несмотря на имеющиеся сложности организационного порядка, применяется на практике при проведении учётно-расчётных операций.

Для измерений массы продукта, транспортируемого по трубопроводам, применяют прямой или косвенный методы динамических измерений.

При прямом методе динамических измерений массу продукта измеряют в трубопроводе с помощью массового расходомера и результат измерений получают непосредственно.

При косвенном методе динамических измерений массу продукта определяют по результатам следующих измерений в трубопроводе:

- плотности с помощью поточных преобразователей плотности, давления и температуры;
- объёма продукта с помощью преобразователей расхода, давления и температуры или счётчиков жидкости. Результаты измерений плотности и объёма

ёма продукта приводят к стандартным условиям.

Наиболее простой прямой метод измерения параметров жидкостей обеспечивают средства измерений, использующие эффект Кориолиса.

Комплекс, включающий кориолисовый расходомер и трансмиттер, обеспечивает измерение массового и объемного расхода, плотности и температуры в режиме реального времени, при этом не требуется какого-либо дополнительного оборудования. Помимо высокой точности и воспроизводимости результатов измерений кориолисовые расходомеры характеризуются низкой стоимостью эксплуатации и отличаются следующими характеристиками:

- отсутствие требований к специальному монтажу;
- отсутствие движущихся частей;
- отсутствие требований к наличию прямых участков трубопроводов и выпрямителей потока;
- прямое измерение массового расхода;
- технология MVD.

На базе кориолисовых расходомеров создана измерительная система коммерческого учета дизельного топлива на ОАО "Мозырский НПЗ".

Для измерений массы продукта, транспортируемого по трубопроводам через узел учета, применен прямой метод динамических измерений. Масса продукта измеряется в трубопроводе с помощью расходомера массового с непосредственным получением результата. Прямой метод динамических измерений реализован на массомерах MicroMotion DS600.

Измерительная система узла учета дизельного топлива (ИСКУДТ) представляет собой блок измерительных линий, состоящий из двух измерительных линий. Вторичное оборудование ИСКУДТ расположено в операторской (примерно 800 метров от узла учета).

Измерительная линия - часть конструкции ИСКУДТ, состоящая из массовых расходомеров с участками трубопроводов, оснащенными устройствами отбора давления и карманами для термометров, запорной и регулирующей арматурой.

В состав каждой измерительной линии входят следующие средства измерений:

- массовый расходомер MicroMotion: датчик массового расхода DS600 с преобразователем RFT9739 (массомер);
- преобразователь давления модели PMC41;
- преобразователь температуры модели 244EH;
- термопреобразователь сопротивления Pt100;

На каждой измерительной линии установлен автоматизированный клапан-регулятор расхода. В состав блока измерительных линий входит комплект автоматизированной и ручной запорной арматуры.

Работа узла учета и измерительной системы в процессе прокачки продукта происходит следующим образом.

В соответствии с технологическим заданием оператор узла учета

устанавливает заданный объем отгружаемой партии продукта и значение расхода, и путем коммутации запорной арматуры производит формирование маршрута движения продукта через блок измерительных линий. При этом в зависимости от задания используются одна или обе, включенные последовательно, измерительные линии.

С момента включения узла в работу и появления расхода через массомеры, вычислитель расхода OMNI 6000 производит счет импульсов, поступающих с массомеров. Одновременно вычислитель расхода получает информацию о температуре продукта от термопреобразователей сопротивления, а по аналоговым каналам 4-20 мА - давление и плотность.

На основании полученной от массомеров информации вычислитель расхода определяет текущее значение массы продукта прокаченной через узел учета. При достижении заданного оператором значения массы прошедшего продукта, вычислитель расхода выдает команду на закрытие клапана. Значение массы прокаченного продукта фиксируется.

Вычислитель расхода рассчитывает средние за время прокачки давление, температуру и плотность продукта.

Результаты расчетов и измеренные параметры архивируются в вычислителе расхода.

По окончании прокачки формируется отчетный документ.

Подтверждение метрологических характеристик узла учета и аттестация массомеров осуществляется по месту установки в процессе прокачки продукта. Для этого при проведении аттестации к блоку измерительных линий последовательно подключается трубопоршневая установка – компакт-прувер ВСП (далее ТПУ) и поточный датчик плотности Solartron модели 7835 (далее ПП). При аттестации показания массомеров по каналу измерения расхода сравниваются с показаниями вычислителя расхода OMNI3000, входящего в состав ТПУ. Аттестация массомеров по каналу измерения плотности производится при помощи ПП.

При проведении аттестации ИСКУДТ получены следующие метрологические характеристики: относительная погрешность измерения массового расхода в диапазоне от 150 до 400 т/ч составляет $\pm 0,25$ %, что соответствует требованиям ТНПА.

Во время проведения метрологической аттестации системы учета дизельного топлива небольшой объем компакт-прувера вызывает сложности при отсечке временных интервалов. Эту проблему возможно решить, используя для проведения метрологической аттестации ИСКУДТ установку, в состав которой входят два массовых расходомера MicroMotion CMF 400 ELITE с точностью измерения массового расхода $\pm 0,05$ %. При использовании массовых расходомеров в качестве эталонных средств измерений осуществляется прямое сличение масс в неограниченном интервале времени.

3.12 Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды

На них распространяются технические требования, изложенные в техни-

ческих нормативных правовых актах:

- СТБ ISO 4064-1-2007 "Измерения расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды. Часть 1. Технические требования";
- СТБ ISO 4064-2-2007 "Измерения расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды. Часть 2. Требования к установке";
- СТБ ISO 4064-3-2007 Измерения расхода воды в закрытых трубопроводах под полной нагрузкой. Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды. Часть 3. Методы и средства испытаний".

3.12.1 Методы и средства поверки

Счётчики холодной питьевой воды и горячей воды в настоящее время выпускаются по СТБ ISO 4064-1-2007; их первичная и последующие поверки проводятся по СТБ 8046-2015.

Для проведения поверки требуются эталонные и вспомогательные средства измерений: гидравлический пресс для проверки на герметичность (давление выбирается в зависимости от рабочего давления поверяемого счётчика); установка поверочная обеспечивающая воспроизведение расходов воды, погрешность измерения объёма не должна превышать 1/3 максимально допускаемой погрешности счётчика.

3.12.2 Подготовка и условия поверки

Счётчики должны быть установлены на поверочной установке по одному или последовательно по несколько штук. Число счётчиков должно быть таким, чтобы обеспечивать возможность их поверки при наибольшем поверочном расходе. Счётчики должны иметь одинаковый диаметр условного прохода. Стрелка на корпусе счётчика должна совпадать с направлением потока воды.

Счётчики следует присоединять к трубопроводу поверочной установки через присоединительные патрубки, длина которых указывается в технической документации на данный тип счётчика.

Условия поверки:

- температура окружающего воздуха плюс 20 ± 5 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 % до 75 %;
- атмосферное давление от 86 до 106 кПа;
- температура воды в зависимости от температурного класса счётчика;
- изменение температуры воды в течение времени поверки, не более ± 5 °С;
- изменение давления воды в течение времени поверки, не более ± 5 %.

3.12.3 Операции поверки

➤ **Внешний осмотр.** При внешнем осмотре проводится проверка счётчика на соответствие требованиям:

- отсутствие механических повреждений, состояние лакокрасочного покрытия, коррозии на поверхности счётчика;
- чёткость изображения надписей на маркировочной табличке, а также цифр и отметок на циферблате роликах отсчётного устройства;
- отсутствие загрязнений на стекле, закрывающем циферблат и отсчётное устройство;
- наличие и исправность защитных приспособлений, обеспечивающих пломбирование счётчика.

➤ **Герметичность счётчиков.** Герметичность счётчиков проверяют созданием в рабочей полости счётчиков избыточного давления, равного P_{max} и вычисляемого по формуле

$$P_{max} = 1,6 P_{map} \quad (3.37)$$

где P_{max} – создаваемое избыточное давление, МПа;

P_{map} – максимальное допускаемое рабочее избыточное давление для конкретного типа счётчика, исходя из его класса по давлению воды, МПа. Давление следует поднимать до максимального избыточного давления плавно в течение 1 минуты.

После создания в рабочей полости избыточного давления счётчик выдерживают в течение 1 мин. Значение избыточного давления контролируют по манометру.

Результаты проверки считаются удовлетворительными, если после установления максимального избыточного давления в течение 1 мин в рабочей полости счётчика в местах соединений и корпусе не наблюдается появления капель и течи воды, а также падения давления по показаниям манометра.

➤ **Относительная погрешность счётчика.** Относительную погрешность счётчика определяют при каждом из следующих трёх значениях поверочных расходов, выбранных из диапазонов:

- между Q_1 и $1,1Q_1$;
- между Q_2 и $1,1Q_2$;
- между $0,9Q_3$ и Q_3 ,

где значение объёма, пролитого во время поверки при расходе:

- Q_1 , должно быть не менее 7,5% минимального значения суммарного объёма воды $V_{\Sigma min}$;
- Q_2 , должно быть не менее 14,5% минимального значения суммарного объёма воды $V_{\Sigma min}$;
- Q_3 , должно быть не менее 56,5% минимального значения суммарного объёма воды $V_{\Sigma min}$.

Минимальное значение суммарного объёма воды $V_{\Sigma min}$ за время поверки должно соответствовать объёму воды, пролитому в течение 1 мин при постоян-

ном расходе Q_3 .

При каждом поверочном расходе выполняют одно измерение. Результат измерения округляют до двух цифр после запятой.

Относительную погрешность счётчика при поверке определяют, как относительное отклонение показаний объёма воды, измеренного поверяемым счётчиком, и объёма воды, измеренного эталонным средством измерений объёма. В качестве эталонного СИ может применяться расходомерная установка, реализующая объёмный метод или метод взвешивания, или расходомерная установка с эталонным счётчиком в режиме непосредственного сличения.

Относительную погрешность счётчиков δ , %, при поверке методом измерения объёма воды вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{V_{и} - V_{э}}{V_{э}} \cdot 100 \quad (3.38)$$

где $V_{и}$ – объём, измеренный счётчиком воды, m^3 , который вычисляют по формуле

$$V_{и} = V_{кон} - V_{нач} \quad (3.39)$$

где $V_{кон}$ – показания счётчика после пропускания через него воды, m^3 ;

$V_{нач}$ – показания счётчика до начала пропускания воды, m^3 ;

$V_{э}$ – действительный объём, измеренный эталонным средством измерений, m^3 .

При поверке счётчика с импульсным выходным сигналом объём воды $V_{и}$, прошедший через счётчик, вычисляют по формуле

$$V_{и} = K \cdot N \quad (3.40)$$

где K – передаточный коэффициент или вес счётчика импульса, $m^3/имп$;

N – число импульсов, зарегистрированных счётчиком за время измерения, имп.

Результаты поверки считаются положительными, если полученная относительная погрешность счётчика воды лежит в пределах границ:

- между Q_1 и $1,1Q_1$;
- $\pm 5\%$ в диапазоне расходов между минимальным Q_1 и переходным Q_2 ;
- $\pm 7\%$ в диапазоне расходов между переходным расходом Q_2 (включительно) и максимальным расходом Q_4 ;
- $\pm 2\%$ при температуре воды до $30\text{ }^\circ\text{C}$;
- $\pm 3\%$ при температуре воды свыше $30\text{ }^\circ\text{C}$.

Список рекомендуемой литературы

1. Артемьев, Б.Г. Справочное пособие для работников метрологических служб: В 2-х кн./ Б.Г. Артемьев, С.М. Голубев — М.: Изд-во стандартов, 1990. — Кн. 1. — 582 с.
2. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С.Вентцель - М.: Наука, 1969. - 564 с.
3. Брянский, Л.Н. Краткий справочник метролога. / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 79 с.
4. Брянский, Л.Н. Шкалы, единицы и эталоны / Л.Н. Брянский, А.С. Дойников, Б.Н. Крупин - Измерительная техника, — 1992. – №6.
5. Бурдун, Г.Д. Основы метрологии./ Г.Д. Бурдун, Б.Н. Марков — М.: Изд-во стандартов, 1985. —286 с.
6. Грановский, В.А., Методы обработки экспериментальных данных при измерениях./В.А. Грановский, Т.Н. Сирая — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 288с.
7. Деньгуб В.М., Смирнов В.Г. Единицы величин. Словарь-справочник. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 240 с.
8. Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений./ Е.Ф.Долинский — М.: Изд-во стандартов,1973. – 192 с.
9. Исаев Л.К., Малинский В.Д. Метрология и стандартизация в сертификации. / Л.К.Исаев, В.Д.Малинский — М.: Изд-во стандартов, 1996. — 179с.
10. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии./ Г.Д.Крылова — М.: Аудит ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
11. Куликовский К.Л., Купер В.Я. Методы и средства измерений./ К.Л.Куликовский, В.Я.Купер — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 448 с.
12. Маликов М.Ф. Основы метрологии./ М.Ф.Маликов — М.: Изд-во Коммерприбор, 1949.— 447 с.
13. Назаров Н.Г. Измерения: планирование и обработка результатов./ Н.Г.Назаров — М.: Изд-во стандартов, 2000. — 304 с.
14. Рабинович С.Г. Погрешности измерений./ С.Г.Рабинович — Л.: Энергия, 1978. — 262 с.
15. Рейх, Н.Н., Метрологическое обеспечение производства / Н.Н. Рейх, А.А. Тупиченков., В.Г. Цейтлин; под. ред. Л.К. Исаева. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — 248 с.
16. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Метрологическая справочная книга./ М.Н.Селиванов, А.Э.Фридман, Ж.Д. Кудряшова — Л.: Лепиздат, 1987.—295с.
17. Харт Х. Введение в измерительную технику. / Х.Харт — Пер. с нем. — М.: Издательство «Мир», 1999.-391 с.
18. Исаев Л.К., Мардин В.В. Русско-англо-французско-немецко-испанский словарь основных и общих терминов в метрологии./ Л.К.Исаев, В.В.Мардин — М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.
19. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс./А.Э. Фридман -С.-Пб.:НПО «Профессионал», 2008.-284 с.

20. Балалаев В.А., Слаев В.А., Синяков А.И. Теория систем воспроизведения единиц и передачи их размеров/ В.А.Балалаев, В.А.Слаев, А.И.Синяков: Науч. издание – Учеб. Пособие/ Под ред. В.А.Слаева.- С Пб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. _160с.: ил.
21. Кузнецов В.А., Ялунина Г.В. Общая метрология./ В.А.Кузнецов, Г.В.Ялунина - М.:ИПК Издательство стандартов, 2001. - 272 с.
22. Астафьева Л.Е., Ефремова Н.Ю., Ленъко Е.М «Единицы измерений. Методическое пособие»/ Л.Е.Астафьева, Н.Ю.Ефремова, Е.М.Ленъко - под общ.ред. Н.А. Жагоры – Минск : БелГИМ, 2008.– 64 с. ISBN 978-985-6726-31-9.
23. Жагора Н.А. Методы оценки и прогнозирования стабильности функционирования системы обеспечения единства измерений в РБ. Доклад диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук./ Н.А.Жагора. – Мн.: 2005. – 133с.
24. Жагора Н.А., Астафьева Л.Е, Головин А.Н. Оценка и прогнозирование стабильности функционирования эталонных комплексов на основе закона ГАНКА / Н.А.Жагора, Л.Е.Астафьева, А.Н.Головин; под общ.ред. Жагоры Н.А. –Мн.: БелГИМ, 2003.-253 с.
25. Национальные и исходные эталоны Беларуси.Каталог./ Корешков В.Н [и др.] - Мн.: БелГИМ, 2004 – 28 с.
26. GUM «Руководство по выражению неопределенности измерения» перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В.А. – ГП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, С.-Петербург, 1999.
27. Закон Республики Беларусь от 20 июля 2006 г. № 163-З О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».
28. Закон Республики Беларусь от 5 января 2004г. №262-З «О техническом нормировании и стандартизации».
29. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 13 февраля 2007 г. №6 «Об утверждении Положения о Государственном реестре национальных эталонов единиц величин Республики Беларусь».
30. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 15 февраля 2007 г. №7 «Об утверждении Положения о государственной метрологической службе».
31. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 6 марта 2007 г. №13 «Об утверждении Положения о Государственном реестре средств измерений Республики Беларусь».
32. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 27 мая 2008 г. №29 «О внесении дополнений и изменений в постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14».
33. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 7 марта 2007 г. №14 «Об утверждении Инструкций о порядке при-

менения знака утверждения типа средств измерений, знака поверки средств измерений, знака маркировки фасованных товаров и их формах».

34. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 15 марта 2007 г. №16 «Об утверждении Инструкции о порядке осуществления метрологического контроля».

35. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 16 марта 2007 г. №17 «Об утверждении Перечня областей в сфере законодательной метрологии».

36. Постановления Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 10 марта 2010 г. № 7 «О внесении изменений и дополнений в инструкцию о порядке осуществления метрологического контроля».

37. Технический регламент Республики Беларусь ТР 2007/003/ВУ «Единицы измерений, допущенные к применению на территории Республики Беларусь».

38. ТКП 8.000-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Основные правила организации и функционирования

39. ТКП 8.001-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Государственные испытания средств измерений. Правила проведения работ.

40. ТКП 8.002-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Эталоны единиц величин. Порядок разработки, утверждения, регистрации, хранения и применения.

41. ТКП 8.003-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверка средств измерений. Правила работ.

42. ТКП 8.004-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическая аттестация средств измерений. Правила проведения работ.

43. ТКП 8.005-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Стандартные образцы. Основные положения.

44. ТКП 8.006-2011 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрологическое подтверждение пригодности методик выполнения измерений. Правила проведения работ.

45. ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ.

46. СТБ 8011-99 Методика поверки спирометров и спирографов

47. СТБ 8017-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Статистическая оценка метрологических характеристик эталонных средств измерений и адаптивное определение их межповерочных интервалов. Основные положения.

48. СТБ 8018-2004 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Аналитическая оценка стабильности метрологических характеристик эталонов.

49. СТБ 8025-2005 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Поверочные схемы. Построение и содержание. Порядок разработки, утверждения, регистрации и применения.

50. СТБ 8030-2005 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Масса нефти и нефтепродуктов. Общие требования и методики выполнения измерений.
51. СТБ 1159-99 Счетчики газа. Методика поверки
52. СТБ ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Общие принципы и определения.
53. СТБ ИСО 5725-2 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений.
54. СТБ ИСО 5725-3 –2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные меры прецизионности стандартного метода измерения
55. СТБ ИСО 5725-4-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 4. Основной метод определения правильности стандартного метода измерений.
56. СТБ ИСО 5725-5-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений.
57. СТБ ИСО 5725-6-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике.
58. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
59. ГОСТ 8.122-85 «Ротаметры. Методика поверки».
60. ГОСТ 8.142-75 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода жидкости в диапазоне $1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^3$ кг/с».
61. ГОСТ 8.143-75 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-6}$ - $1 \cdot 10^2$ м³/с».
62. ГОСТ 8.145-75 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода жидкости в диапазоне $3 \cdot 10^{-6}$ - 10 м³/с».
63. ГОСТ 8.156-83 «Счетчики холодной воды. Методы и средства поверки».
64. ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
65. ГОСТ 8.302-78 Микроманометры жидкостные компенсационные с микрометрическим винтом типа МКВ-250. Методы и средства поверки.
66. ГОСТ 8.320-78 Расходомеры электромагнитные. Методы и средства поверки.
67. ГОСТ 8.324-2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Счётчики газа. Методики поверки.

68. ГОСТ 8.369-79 «ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений массового расхода газа в диапазоне $4 \cdot 10^{-2}$ – $2,5 \cdot 10^2$ кг/с».
69. ГОСТ 8.373-80 «ГСИ. Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода нефтепродуктов в диапазоне $2,8 \cdot 10^{-6}$ – $2,8 \cdot 10^{-2}$ м³/с».
70. ГОСТ 8.374-80 «Государственный специальный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода воды в диапазоне $2,8 \cdot 10^{-8}$ – $2,8 \cdot 10^{-2}$ м³/с».
71. ГОСТ 8.395-80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования
72. ГОСТ 8.401-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Классы точности средств измерений. Общие требования.
73. ГОСТ 8.510-2002 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений объема и массы жидкости».
74. ГОСТ 8.563. 1-97 Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления.
75. ГОСТ 8. 563. 1-97 Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. Технические условия.
76. ГОСТ 8.563.2-97 Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств.
77. ГОСТ 8.563.3-97 Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Процедура и модуль расчетов. Программное обеспечение.
78. ГОСТ 12.2.007.0-75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
79. ГОСТ 12.4.009-83 Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.
80. ГОСТ 6019-83 Счетчики холодной воды крыльчатые. Общие технические условия.
81. ГОСТ 14167-83 Счетчики холодной воды турбинные. Технические условия.
82. СТБ ИСО 4064- 1-2002 Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах. Счетчики холодной питьевой воды. Технические требования.
83. СТБ ИСО 4064-2-2002 Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах. Счетчики холодной питьевой воды. Требования по установке и выбору.
84. СТБ ИСО 4064-3-2002 Измерение расхода воды в закрытых трубопроводах. Счетчики холодной питьевой воды. Методы и средства испытаний.
85. СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетентности калибровочных и испытательных лабораторий».
86. ISO/IEC Guide 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение к выражению неопределенности измерения».

87. ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM:1995)».
88. Международный документ МОЗМ Д 1 «Элементы Закона о метрологии».
89. Международный документ МОЗМ Д 5 «Принципы создания поверочных схем для средств измерений».
90. Международный документ МОЗМ Д 10 «Руководство по определению межкалибровочных интервалов средств измерений».
91. Международный документ МОЗМ Д 9 «Принципы метрологического надзора».
92. Международный документ МОЗМ Д 16 «Принципы проведения метрологического контроля».
93. ПМГ 06-2001 Порядок признания результатов испытаний и утверждения типа, поверки, метрологической аттестации средств измерений.
94. Международный документ Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК, ЕА 4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration: ЕА, 1999
95. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч.-исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010. — 82 с.