

С.Н. Канев

**УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ
И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ
В ВОДЯНЫХ СИСТЕМАХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Хабаровск
2005

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие доля затрат на тепло в общих затратах промышленных и коммунальных предприятий резко возросла из-за постоянного увеличения тарифов на тепло.

Кроме этого, в соответствии с вышедшим в 1996 г. Гражданским кодексом оплата потребленной абонентом энергии (тепловой или электрической) осуществляется в соответствии с данными учета о ее фактическом потреблении.

Оба эти обстоятельства привели к резкому увеличению спроса на приборы учета, которые могут использоваться при коммерческих расчетах между абонентами и энергоснабжающей организацией, а это в свою очередь стимулировало производство приборов учета и внедрение их у потребителей тепла и на источниках теплоты.

Номенклатура выпускаемых приборов учета тепла в последние годы увеличилась в десятки раз. Однако, несмотря на возрастающий интерес к этим приборам, до настоящего времени отсутствует систематизированная информация о номенклатуре, технических данных и опыте эксплуатации таких приборов.

В данной работе сделана попытка систематизировать разрозненные сведения о приборах, которые в настоящее время используются для коммерческих расчетов между энергоснабжающими организациями и потребителями тепла.

Также рассматриваются принципы действия, эксплуатационные особенности работы, достоинства и недостатки, а также приводятся технические характеристики наиболее используемых на сегодняшний день приборов учета тепла и массы теплоносителя.

Предлагаемый материал может быть полезен студентам, проектировщикам, потребителям и продавцам тепла, разработчикам и изготовителям приборов учета тепла и массы теплоносителя.

2. ТЕРМИНОЛОГИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Среди специалистов, занимающихся проблемой учета тепла, до настоящего времени не достигнута договоренность о единообразии используемых формулировок и терминов. Некоторые специалисты используют термин «количество теплоты», а некоторые – «тепловая энергия», хотя понимают под этим одно и то же.

В данной работе используются классические термины и формулировки, применяемые в технической термодинамике, так как автор читает курс «Техническая термодинамика» студентам Хабаровского технического университета уже более 25 лет.

Согласно терминологии технической термодинамики, теплота – это форма энергообмена, а не энергия. Поэтому корректным является термин «количество теплоты», а не «тепловая энергия», однако для удобства будем использовать иногда и термин «тепловая энергия», хотя понимать под этим будем «количество теплоты».

2.1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Система теплоснабжения потребителя тепла	Система, состоящая из тепловых сетей и местных систем теплоснабжения – системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения
Закрытая система теплоснабжения	Система, не соединяющаяся с атмосферой; количество теплоносителя, циркулирующего в этой системе, остается неизменным
Открытая система теплоснабжения	Система, открытая по отношению к атмосфере; теплоноситель расходуется на производительные (горячее водоснабжение) и непроизводительные (утечки) нужды
Граница балансовой принадлежности тепловых сетей	Линия раздела тепловых сетей между владельцами тепловых сетей
Зависимая схема присоединения системы теплоснабжения	Схема непосредственного присоединения системы теплоснабжения к тепловой сети, при которой теплоноситель из тепловой сети поступает непосредственно в систему теплоснабжения
Независимая схема присоединения системы теплоснабжения	Схема присоединения систем теплоснабжения к тепловой сети через теплообменники, установленные на тепловом пункте потребителя, когда отсутствует гидравлическая связь между теплоносителем в тепловой сети и местных системах теплоснабжения
Тепловая сеть	Совокупность трубопроводов и устройств, предназначенных для передачи тепла
Тепловой пункт	Комплекс устройств для присоединения систем теплоснабжения к тепловой сети и распределения теплоносителя по видам теплоснабжения

Потребитель теплоты	Юридическое или физическое лицо, которому принадлежит система теплоснабжения, присоединенная к системе теплоснабжения энергоснабжающей организации
Узел учета тепла и массы теплоносителя	Комплекс измерительных приборов и устройств, обеспечивающий учет количества теплоты и массы теплоносителя, а также контроль и регистрацию его параметров
Расчетный период	Период, за который обрабатываются показания приборов учета тепла и который оговорен в договоре на теплоснабжение
Приборы учета тепла и массы теплоносителя	Комплекс приборов, которые выполняют одну или несколько функций: измерение, накопление, хранение, отображение информации о количестве теплоты, массе (объеме) теплоносителя, температуре, давлении теплоносителя и времени наработки
Теплосчетчик	Измерительный комплекс, предназначенный для измерения количества теплоты
Единый теплосчетчик	Измерительный комплекс, состоящий из отдельных блоков и элементов, соединенных линиями связи, но поверяемый как единое целое
Составной (комбинированный) теплосчетчик	Измерительный комплекс, состоящий из отдельных блоков и элементов, соединенных между собой линиями связи, но каждый из которых является сертифицированным средством измерения со своей методикой поверки
Измерительный канал теплосчетчика	Совокупность измерительных преобразователей, линий связи, электронных блоков, обеспечивающая измерение количества теплоты по данным об измеренных параметрах теплоносителя
Тепловычислитель	Электронное устройство, предназначенное для определения количества теплоты по поступающим на его вход сигналам от средств измерений расхода, температуры и (или) давления
Расход теплоносителя	Количество (масса или объем) теплоносителя, прошедшее через поперечное сечение трубопровода в единицу времени
Расходомер	Прибор, измеряющий мгновенное значение расхода теплоносителя в трубопроводе

Счетчик количества	Прибор, измеряющий массу или объем теплоносителя, прошедшего по трубопроводу за определенный промежуток времени
Расходомер-счетчик	Прибор, измеряющий расход и количество теплоносителя
Преобразователь расхода	Устройство, непосредственно воспринимающее расход и преобразующее его в другую величину, удобную для измерения, обработки и хранения, но не поддающуюся непосредственному восприятию наблюдателя
Преобразователь температуры	Устройство, предназначенное для выработки сигнала о температуре в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателя
Преобразователь давления	Устройство, предназначенное для выработки сигнала о давлении в форме, удобной для передачи, преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателя
Диапазон измерений параметров теплоносителя	Диапазон, в котором параметр измеряется с нормируемой погрешностью

2.2 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

2.2.1 Параметры

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;	P – давление, Па;
h – энтальпия, кДж/кг;	C_p – теплоемкость, кДж/(кгК);
M – масса теплоносителя, кг;	G – массовый расход теплоносителя, кг/с;
V – объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;	Q – количество теплоты, кДж;
T – время, с	

2.2.2 Индексы

1 – подающий трубопровод;	2 – обратный трубопровод;
3 – трубопровод системы ГВС	4 – циркуляционный трубопровод системы ГВС
ХВ – холодная вода;	ГВ – горячая вода;
П – потери теплоносителя, количества теплоты;	min – минимум;
max- максимум;	подп – подпитки;

ут – утечки;

пот - потребленное

и – измерение.

пр - производительные

непр - непроизводительные

3. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Действующие на сегодняшний день нормативные документы по учету теплопотребления весьма противоречивы и не отвечают современным требованиям, предъявляемым к приборам коммерческого учета тепла.

На сегодняшний день в России действуют два основополагающих документа, регламентирующих внедрение и эксплуатацию приборов коммерческого учета тепла:

- Правила учета тепловой энергии и теплоносителя [1];

- ГОСТ Р 51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения» [2].

Отметим, что оба эти документа разработаны фактически для закрытых систем теплоснабжения, но формально их можно использовать и для открытых систем, но с большими оговорками.

Рассмотрим оба этих документа подробнее. Начнем с первого документа – Правил учета. По поводу этого документа, принятого в 1995 г., было высказано множество критических замечаний [3-7].

Наиболее существенными из них являются следующие:

1. В старых Правилах ПР-34-70-010-85 потребленное абонентом количество теплоты $Q_{ном}$ рассчитывалось по формуле:

$$Q_{ном} = Q_1 - Q_2 = M_1(h_1 - h_{хв}) - M_2(h_2 - h_{хв}), \quad (3.1)$$

где M_1 – масса теплоносителя, поступившая к потребителю по подающему трубопроводу, а M_2 - ушедшая от него по обратному трубопроводу за расчетный период.

В новых Правилах [1] эта теплота определяется по формуле:

$$Q_{ном} = Q_u + (M_{подп} + M_{звс} + M_{ут})(h_{2u} - h_{хв}), \quad (3.2)$$

где $M_{подп}$ – масса теплоносителя, израсходованная потребителем на подпитку системы теплопотребления (учитывается только для систем теплопотребления, подключенных к тепловым сетям по независимой схеме);

$M_{звс}$ – масса теплоносителя, израсходованная потребителем на нужды ГВС (учитывается только для систем теплоснабжения с открытой системой ГВС);

M_{ym} – масса непродуцируемых утечек в системе теплоснабжения потребителя, которая определяется по формуле:

$$M_{ym} = M_1 - (M_2 + M_{звс}), \quad (3.3)$$

$h_{xв}$ – энтальпия холодной воды, используемой для подпитки систем теплоснабжения, измеряется на источнике теплоты;

h_{2u} – энтальпия теплоносителя на **выходе обратного трубопровода источника теплоты**;

Q_u – тепловая энергия, израсходованная потребителем по показаниям теплосчетчика. При этом из Правил [1] неясно, какое все таки тепло Q_u должен измерять теплосчетчик:

$Q_u = M_1(h_1 - h_2)$, $Q_u = M_2(h_1 - h_2)$ или какое-то иное Q_u ?

Как показано в [6], формула (3.2) противоречит здравому смыслу и первому началу термодинамики.

Как отмечено в [4], формулу (3.2) использовать недопустимо в принципе, так как она:

- а) непонятна;
- б) неполная;
- в) неправильная;
- г) наносит экономический ущерб энергоснабжающим организациям и тем потребителям, у которых температура обратной воды на выходе ниже, чем температура обратной воды на входе в источник теплоты;
- д) дает необоснованную выгоду в оплате тем потребителям, у которых температура обратной воды на выходе выше, чем температура обратной воды на входе в источник теплоты.

Остановимся на формуле (3.2) более подробно. Существующие на сегодняшний день теплосчетчики позволяют **измерить** все потребленное абонентом количество теплоты в соответствии с формулой (3.1), но не позволяют **измерить** второе слагаемое в формуле (3.2), так как теплосчетчик, установленный у потребителя, не может **измерять** h_{2u} .

Поэтому формула (3.2) противоречит также Гражданскому кодексу, в соответствии с которым (ст. 541) количество поданной энергоснабжающей организацией и использованной абонентом энергии определяется в соответствии с данными учета о ее фактическом потреблении, а оплата энергии (ст. 544) производится за фактически принятое абонентом количество энергии, если иное не предусмотрено законом, иными правовыми актами или соглашением сторон.

Очевидно, что потребитель должен иметь законное право измерять все потребленное им количество теплоты, а не только ее часть в виде таинственного Q_u . Для этого потребитель **должен иметь право измерить второе слагаемое в формуле (3.2)**, а не определять его расчетным путем силами энергоснабжающей организации. Поэтому в формуле (3.2) вместо h_{2u} должно стоять h_2 – энтальпия теплоносителя в обратном трубопроводе потребителя.

Разработчики новых Правил [1] **негласно** согласились [8], что формула (3.2) должна быть откорректирована: h_{2u} должно быть заменено на h_2 , а $(M_{подн} + M_{звс} + M_{ум})$ на $(M_1 - M_2)$, однако это не нашло отражения в руководящих документах.

2. Не рассматривается случай рециркуляции в открытых системах ГВС, хотя на практике системы с рециркуляцией теплоносителя в системе ГВС встречается очень часто.

3. В закрытых системах теплоснабжения отбор подпиточной воды осуществляется за, а не перед водосчетчиком обратной воды, что противоречит балансу масс: $M_{ум} = M_1 - M_2 = M_{подн} + M_{звс} + M_{ум}$, где $M_{ум}$ рассчитывается по формуле (3.3).

4. В [1] не оговорено, где конкретно должна измеряться температура холодной воды, используемой для подпитки на источнике теплоты: непосредственно на водозаборе, на входе в источник или в каком-то другом месте. Отметим, что температура холодной воды, а стало быть и ее энтальпия, существенно зависят от места ее измерения, причем это различие может достигать от 3 до 15 °С.

У потребителей тепла отсутствует возможность измерения температуры холодной воды источника. Поэтому в настоящее время, опять же **негласно** при учете энергии холодной воды у потребителя используется **договорное** значение температуры холодной воды. Однако, несмотря на многочисленные дискуссии по поводу выбора этой договорной температуры [8, 9], отсутствуют четкие и ясные рекомендации по выбору этой величины.

5. Очень слабо проработан раздел 5 Правил «Требования к метрологическим характеристикам приборов учета».

5.1. Относительная погрешность измерения потребленного абонентом количества теплоты δQ_n есть функция многих переменных, в частности, $\delta Q_n = f(M_1, M_2, M_2 / M_1, t_1, t_2, t_{хв}, \Delta t = t_1 - t_2)$ и сводить ее в зависимости только от Δt , как это сделано в [1], абсолютно неверно.

5.2. Неясно, какой должна быть допустимая относительная погрешность измерений δQ_n при Δt менее 10^0C , что часто бывает на практике, а в [1] погрешность нормирована только при Δt более 10^0C .

5.3. В соответствии с [1], относительная погрешность измерения массы теплоносителя в диапазоне расходов от 4 до 100 % не должна превышать 2 %. Однако, часто наблюдаются случаи, когда водосчетчик работает в диапазоне расхода от 0 до 4 % и при этом в соответствии с документами Госстандарта погрешность нормируема. Например, для тахометрических водосчетчиков относительная погрешность в диапазоне от минимального до переходного, который примерно равен 4 % от максимального расхода, составляет 5 %. Никаких указаний, как поступать в этом случае, в [1] не приводится.

6. В [1] ничего не сказано о порядке ведения учета в случаях, когда суммарная длительность периодов выхода приборов учета из строя превысит 15 суток в течение года с момента приемки узла учета на коммерческий учет. Правила [1] предполагают считать бесприборником потребителя, который накопил более 15 «штрафных» суток. Однако, возникает вопрос о законности такого требования в тех случаях, когда приборы учета вышли не по вине потребителя. Также спорным является вопрос, в каком случае узел учета тепла считается вышедшим из строя.

Согласно п. 9.10 [1] узел учета тепла считается вышедшим из строя в случае:

- несанкционированного вмешательства в его работу;
- нарушения пломб на оборудовании узла учета, линий электрических связей;
- механического повреждения приборов и элементов узла учета;
- работы любого из них за пределами норм точности, установленных в разделе 5 правил [1];
- врезок в трубопроводы, не предусмотренных проектом узла учета.

Этот пункт нуждается в серьезной переработке, так как он открывает серьезные возможности перед энергоснабжающими организациями по переводу потребителя в «бесприборники». Так, например, не всякое механическое повреждение (царапина, вмятина и т.д.) и каждая врезка в трубопровод приводят к выходу из строя узла учета. Четвертое положение п. 9.10 нарушает действующие и утвержденные Госстандартом руководящие нормативные документы и правила.

Вторым основным документом, регламентирующим технические условия на теплосчетчики для водяных систем, является ГОСТ Р51649-2000 [11], введенный в действие с 28.05.2000 г.

В соответствии с этим документом в зависимости от количества измерительных каналов теплосчетчики можно разделить на:

- одноканальные, имеющие один измерительный канал количества теплоты;
- многоканальные, имеющие два и более измерительных канала количества теплоты.

По метрологическим характеристикам все теплосчетчики в соответствии с [11] разделяются на три класса А, В, С (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Класс теплосчетчика	Δt_{\min}	Предельно допустимая относительная погрешность измерения количества теплоты измерительного канала, δQ
	$^{\circ}\text{C}$	
С	1, 2, 3	$\delta Q = \pm(2 + 4\Delta t_{\min} / \Delta t + 0,01G_{\max} / G)$
В	2, 3, 5	$\delta Q = \pm(3 + 4\Delta t_{\min} / \Delta t + 0,02G_{\max} / G)$
А	3, 5, 10	$\delta Q = \pm(4 + 4\Delta t_{\min} / \Delta t + 0,05G_{\max} / G)$

В табл. 3.1 $\Delta t = t_1 - t_2$; G_{\max} , G – максимальное и текущее значение расхода теплоносителя.

В [11] не приводятся расчетные формулы для измерения количества теплоты и массы теплоносителя. В данном документе отмечается, что теплосчетчики должны обеспечивать измерение количества теплоты в измерительном канале **в соответствии с уравнениями измерений, регламентированными нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.**

Отметим, во-первых, что ГОСТ Р51649-2000 носит рекомендательный характер, а, во-вторых, как и [1], имеет множество недостатков [12-17]. Наиболее существенными из них являются следующие.

1. В своих положениях ГОСТ Р51649-2000 опирается на европейскую нормаль EN 1434, где регламентированы требования на теплосчетчики для закрытых систем теплоснабжения. Но в подавляющем большинстве Российские системы теплоснабжения – это открытые или «условно закрытые» системы, которые принципиально отличаются от закрытых.

2. В ГОСТе не указаны уравнения измерения количества теплоты, а это является основной функцией теплосчетчика, иначе просто не ясна область его применения в Российских условиях. В нем также нет ссылки на МИ 2412 [18], в которых приведены уравнения измерений тепловой энергии, хотя в отечественных теплосчетчиках реализуются именно эти уравнения. Споры по уравнениям измерений и по правильному названию измеряемой величины («количество теплоты» или «тепловая энергия»)

продолжаются, а это значит, что потребитель может измерять параметры теплоносителя любым набором СИ. Однако не ясно, по какому алгоритму рассчитывать потребленное абонентом количество теплоты?

3. В ГОСТе не разъяснено, что такое один измерительный канал: одна труба, один узел учета или еще что-то?

4. Согласно ГОСТ, теплосчетчик – это **измерительная система (средство измерения), предназначенная для измерения количества теплоты**. Отметим, что об «учетных» функциях не сказано ни слова, а упомянутые выше Правила [1] являются **Правилами учета тепловой энергии!** На практике, однако, это никого не смущает. «Для удобства пользования» вся математика заносится в **некий** прибор, который называется теплосчетчиком, хотя, в отличие от ГОСТ, **этот** теплосчетчик – это не только средство измерения, но и средство учета. Из вышесказанного можно сделать вывод, что для учета следует использовать два разных прибора, вместо одного – теплосчетчика. Однако это не так: говоря о «средстве измерения» и «средстве учета», имеют в виду некоторые абстрактные сущности – совокупность алгоритмов. Конструктивно оба эти средства могут быть объединены в одном корпусе, их программы могут реализовываться одним процессором.

5. ГОСТ дает очень бедную классификацию теплосчетчиков. Следует добавить, что по конструктивному решению теплосчетчики могут быть едиными и комбинированными (составными), по назначению – для закрытых и открытых систем. Если ГОСТ распространяется только на единые теплосчетчики для закрытых систем, то это следует указать в области их применения, от этого будет зависеть оценка погрешности измерения количества теплоты, которая не будет соответствовать указанному в табл. 3.1 предельным значениям погрешности измерений количества теплоты для одного канала количества теплоты. Из табл. 3.1 видно, что теплосчетчик класса А не соответствует Правилам учета [1] даже при самых хороших сочетаниях температур и расходом. Табл. 3.1 (табл. 1 ГОСТа) взята из EN 1434, но в этом документе значения погрешностей относятся к единым теплосчетчикам, а для комбинированных погрешности определяются суммированием погрешностей составных частей. В отличие от EN в ГОСТе нет требований по погрешности составных частей.

С 1.01.2003 г. в России введены в действие еще два новых государственных стандарта [19, 20]:

- ГОСТ Р 8.591-2002 «ГСИ. Теплосчетчики двухканальные для водяных систем теплоснабжения. Нормирование пределов допускаемой погрешности при измерениях потребленной абонентами тепловой энергии».

- ГОСТ Р 8.592-2002 «ГСИ. Тепловая энергия, потребленная абонентами водяных систем теплоснабжения. Типовая методика выполнения измерений».

В соответствии с ГОСТ Р 8.591 нормирование пределов допустимой погрешности двухканальных теплосчетчиков (теплосчетчики для открытых систем теплоснабжения) осуществляется с использованием метрологических характеристик СИ, входящих в состав теплосчетчиков, и с учетом предельных режимов работы, для которой предназначен двухканальный теплосчетчик.

Под предельным режимом двухканального теплосчетчика подразумевают соблюдение следующих параметров:

- максимальное значение коэффициента водоразбора $f = M_2 / M_1$;
- минимально возможное значение температуры воды в подающем трубопроводе $t_{1\min}$;
- минимально возможное значение температуры холодной воды $t_{xe\min}$;
- минимально возможное значение коэффициента $k = (t_1 - t_2) / t_1$.

В ГОСТ Р 8.591 приведены формулы для расчета предела допустимой погрешности потребленного абонентом количества теплоты δQ_n , в которой использованы предельные значения вышеуказанных технологических параметров и значений нормированных точностных характеристик средств измерений разностей температур и массового расхода теплоносителей в подающем и обратном трубопроводах.

Второй из новых стандартов – ГОСТ Р 8.592 дает возможность решить задачу корректного учета холодной воды. Основное положение ГОСТ Р 8.592 заключается в том, что для исключения методической погрешности, связанной с использованием не фактических значений температуры холодной воды t_{xe} , а значение константы t_k , рассчитывается поправка к результатам измерений количества теплоты.

Отметим, что в настоящее время утверждение государственных стандартов не влечет за собой их автоматического внедрения.

Таким образом, вышеперечисленные три ГОСТа носят рекомендательный характер и неформально относятся к числу обязательных для соблюдения федеральными органами исполнительной власти и субъектами хозяйственной деятельности.

Отметим, что эти документы могут лечь в основу межотраслевого документа, обязательного к применению и согласованного с Минюстом России. Таким документом должна явится новая редакция «Правил учета количества теплоты и массы теплоносителя».

Как видно из вышеизложенного, на сегодняшний день в Российской Федерации отсутствует нормативно-законодательная база, регламентирующая работы по внедрению и эксплуатации систем учета количества теплоты.

Поэтому на сегодняшний день между потребителями и поставщиками тепла с молчаливого согласия Главгосэнергонадзора существует негласная договоренность о корректировке существующих Правил учета [1], в частности, об использовании алгоритмов за потребленное абонентом количество теплоты и массу теплоносителя в водяных системах теплоснабжения. В качестве таких алгоритмов предлагается использовать алгоритмы, приведенные в [18].

4. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ.

На рис. 4.1 приведена принципиальная схема закрытой системы теплоснабжения: независимая схема присоединения теплотребления (отопления и вентиляция) с закрытой схемой ГВС.

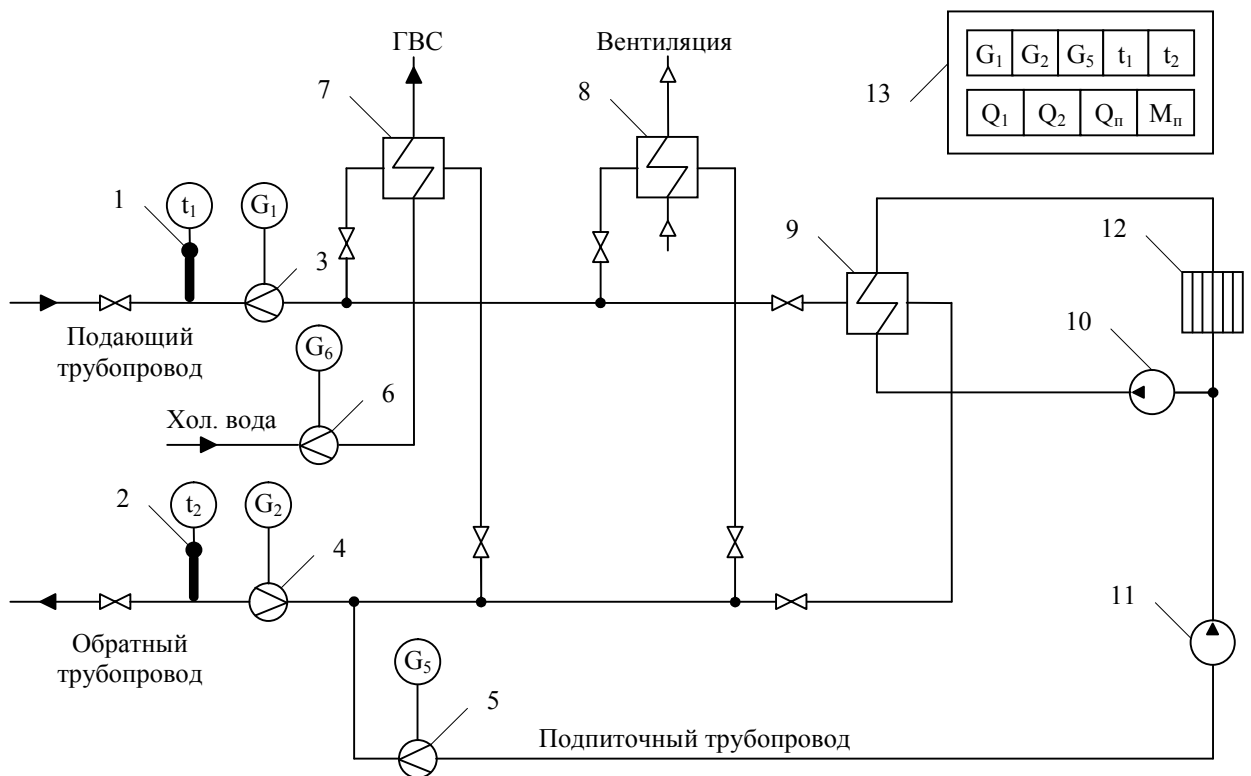


Рис. 4.1. Принципиальная схема точек размещения измерения масс (объемов) и температуры теплоносителя в закрытой системе теплоснабжения

1, 2 – термометры; 3, 4, 5, 6 – расходомеры; 7 – теплообменник системы ГВС; 8 – теплообменник системы вентиляции; 9 – теплообменник системы отопления; 10 – циркуляционный насос; 11 – подпиточный насос; 12 – система отопления; 13 – тепловычислитель.

На рис. 4.2 приведена принципиальная схема открытой системы теплоснабжения: зависимая схема присоединения системы отопления с открытой схемой ГВС.

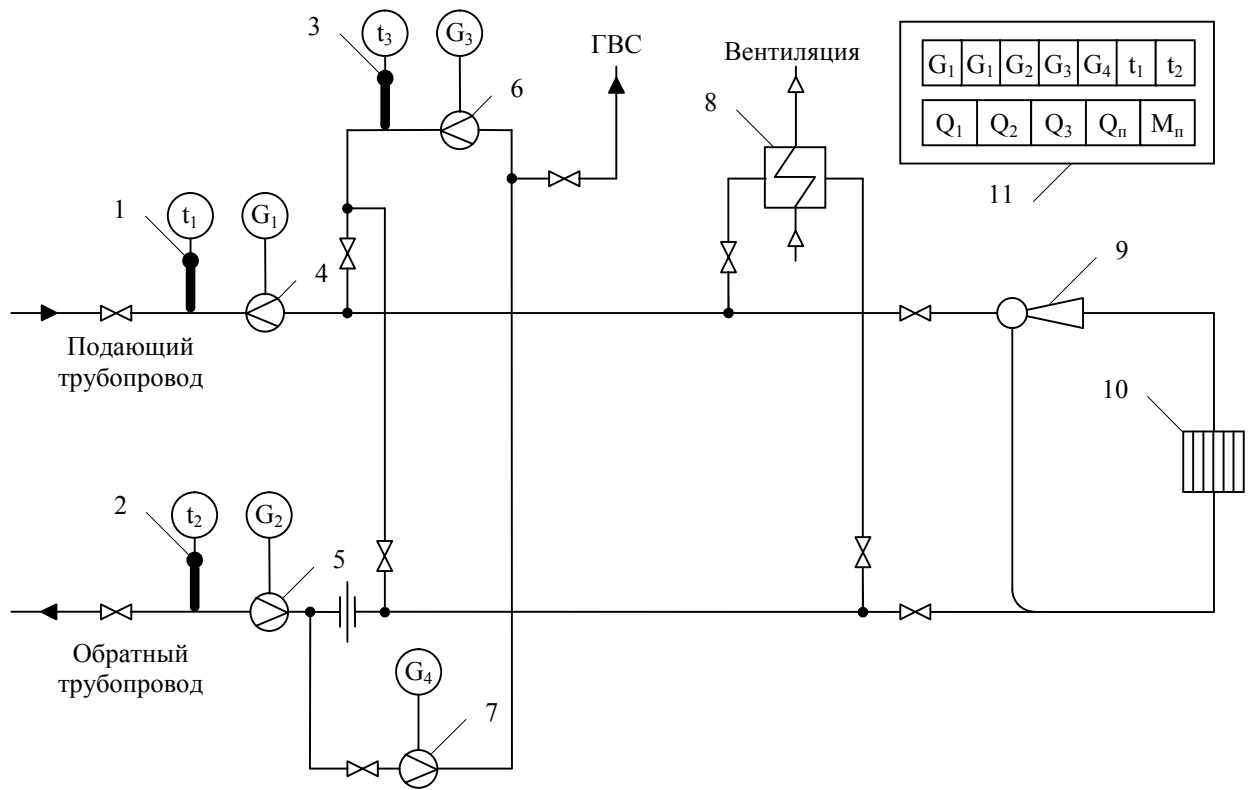


Рис. 4.2. Принципиальная схема размещения точек измерения масс (объема) и температуры теплоносителя в открытой системе теплоснабжения:

1, 2, 3 – термометры; 4, 5, 6, 7 – расходомеры; 8 – теплообменник системы вентиляции; 9 – элеватор; 10 – система отопления; 11 – тепловычислитель.

Принципиальные схемы, приведенные на рис. 1 и 2 охватывают наиболее общие случаи, однако на практике используются и некоторые другие схемы теплоснабжения, являющиеся частными случаями вышеприведенных схем:

- независимая схема присоединения системы отопления с открытой схемой ГВС;
- независимая схема присоединения системы отопления со смешанной схемой ГВС (закрытой в отопительном и открытой в межотопительном сезоне);
- зависимая схема присоединения системы отопления с закрытой схемой ГВС;
- зависимая схема присоединения системы отопления со смешанной схемой ГВС (закрытой в отопительном и открытой в межотопительном сезоне).

Информация с термометров сопротивления и расходомеров поступает в информационно-вычислительный блок, в котором по определенному алгоритму

рассчитываются и архивируются масса теплоносителя и теплотребление по отдельному каналу и масса теплоносителя и количество теплоты, потребленное абонентом за расчетный период.

В качестве алгоритмов расчета используются следующие алгоритмы [18]:

Масса теплоносителя, израсходованного потребителем M_{nom} :

$$M_{nom} = M_1 - M_2 = M_{ym} = M_{np} + M_{непр} \quad (4.1)$$

$$M_{nom} = M_5 = M_{подп} \quad (4.2)$$

$$M_{nom} = M_3 - M_4 = M_{np} = M_{звс} \quad (4.3)$$

Количество теплоты, израсходованное потребителем Q_{nom} :

$$Q_{nom} = M_1(h_1 - h_2) = M_2(h_1 - h_2) \quad (4.4)$$

$$Q_{nom} = Q_1 - Q_2, \quad (4.5)$$

$$\text{где } Q_1 = M_1(h_1 - h_{хв}), \quad (4.6)$$

$$Q_2 = M_2(h_2 - h_{хв}) \quad (4.7)$$

$$Q_{nom} = M_1(h_1 - h_2) + M_{nom}(h_2 - h_{хв}) \quad (4.8)$$

$$Q_{nom} = M_2(h_1 - h_2) + M_{nom}(h_1 - h_{хв}) \quad (4.9)$$

Отметим, что формулы (4.1) и (4.5) могут использоваться для любых систем теплоснабжения. Формула (4.4) используется для закрытых систем теплоснабжения, когда отсутствуют непроизводительные утечки и подпитка, т.е. $M_{непр} = M_5 = 0$. Формулы (4.2) и (4.8) - (4.9) используются для закрытых систем теплоснабжения, когда отсутствуют все потери теплоносителя, кроме $M_5 = M_{подп}$. Формулы (4.3) и (4.8) - (4.9) используются также и в открытых системах теплоснабжения, когда отсутствуют непроизводительные утечки теплоносителя, т.е. $M_{непр} = 0$ и $M_{nom} = M_{np} = M_1 - M_2 = M_3 - M_4 = M_{звс}$.

Отметим также, что формулы (4.1) и (4.5) являются наиболее предпочтительными с точки зрения математики и термодинамики, так как они учитывают все теплотери и потери массы теплоносителя, как производительные (на нужды ГВС и системы отопления и вентиляции объекта), так и непроизводительные (несанкционированные) утечки теплоносителя и количества теплоты через запорную арматуру, прохуdivшиеся

трубопроводы и потери тепла через неизолированные или плохо изолированные трубопроводы в нежилых помещениях и т.д.).

Однако, формулы (4.1) и (4.5), как будет показано ниже, наименее предпочтительны с точки зрения метрологии, особенно при небольших утечках теплоносителя.

Нетрудно показать, что формулы (4.5) и (4.8)-(4.9) эквивалентны с точки зрения математики при отсутствии непроизводительных потерь теплоносителя ($M_{непр} = 0$), т.е. когда $M_{ном} = M_1 - M_2 = M_3 - M_4 = M_{пр} = M_{зас}$. Однако, с точки зрения метрологии, формулы (4.8) и (4.9) более предпочтительны, чем формула (4.5), особенно при отсутствии циркуляции в системе ГВС ($M_4 = 0$), что часто встречается на практике.

Иногда на практике при расчетах за потребленное тепло в системах теплоснабжения с открытой схемой ГВС без циркуляции ($M_4 = 0$) используется следующий алгоритм:

$$Q_{ном} = M_1(h_1 - h_2) + M_3(h_3 - h_{хв}) \quad (4.10)$$

где h_3 – энтальпия горячей воды, используемой на нужды ГВС. Отметим, что эта формула является наиболее предпочтительной с точки зрения метрологии, чем все другие формулы (4.5), (4.8), (4.9), но с точки зрения термодинамики эту формулу можно использовать (она эквивалентна формуле (4.5)) только при отсутствии непроизводительных потерь теплоносителя (несанкционированных утечек) и при $h_3 = h_2$, т.е. при $t_3 = t_2$. В противном случае эту формулу для расчета $Q_{ном}$ использовать нельзя, так как она не отвечает первому началу термодинамики.

Как было отмечено выше, достоверность результатов вычислений по формулам (4.1) и (4.5) чрезвычайно низка, особенно при малых утечках теплоносителя. Это связано с тем, что при косвенном измерении разности двух величин возникает методическая погрешность, которая во много раз превосходит инструментальную погрешность измерения каждой из этих величин. Покажем это на примере формулы (4.1).

Относительная погрешность измерения $M_{ном}$ по формуле (4.1) рассчитывается по формуле

$$\delta M_{ном} = \delta(M_1 - M_2) = \frac{\Delta(M_1 - M_2)}{M_1 - M_2} = \frac{\Delta M_1 - \Delta M_2}{M_1 - M_2} = \frac{M_1 \delta M_2 - M_2 \delta M_2}{M_1 - M_2}, \quad (4.11)$$

где δM_1 , δM_2 - относительная погрешность измерения массы теплоносителя за расчетный период в подающем и обратном трубопроводе системы теплоснабжения потребителя.

Погрешность δM_{nom} будет иметь наибольшее значение, если погрешности расходомеров в обоих трубопроводах противоположны по знаку. Примем $\delta M_1 = \delta M$, $\delta M_2 = -\delta M$. Тогда формула (4.11) примет вид:

$$\delta M_{nom} = \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2} \delta M = \frac{1+f}{1-f} \delta M = K_m \delta M, \quad (4.12)$$

где K_m – методический коэффициент применяемого метода косвенных измерений, рассчитываемый по формуле:

$$K_m = \frac{1+f}{1-f}, \quad (4.13)$$

а $f = M_2/M_1$ – коэффициент водоразбора, который связан с коэффициентом утечки (невозврата) теплоносителя K_1 , рассчитываемым по формуле:

$$K_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} = 1 - f \quad (4.14)$$

Нетрудно заметить, что для закрытой системы (без утечек) $f = 1$, $K_1 = 0$, $K_m = \infty$, а для открытой $f = 0$, $K_1 = 1$, $K_m = 1$. Таким образом, видно, что методическая относительная погрешность измерения, возникающая при вычитании масс $M_1 - M_2$, во много раз превышает относительную погрешность измерения используемых расходомеров. Зависимость методического коэффициента косвенного измерения разности масс K_m от f и K_1 приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

f	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,9	0,8	0,7	0,6	0
K_1	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	1
K_m	199	99	49	32	24	19	9	6	4	1

Как видно из табл. 4.1. при коэффициенте утечек $K_1 < 0,1$ методический коэффициент K_m может изменяться в пределах от 19 % до ∞ .

Аналогично можно показать, что при расчетах Q_{nom} по формуле (4.5) относительная погрешность измерения этой величины рассчитывается по формуле

$$\delta Q_{nom} = \delta(Q_1 - Q_2) = K_Q \delta Q, \quad (4.15)$$

где

$$K_Q = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{1+C}{1-C} = \frac{1+C}{i} \quad (4.16)$$

Формула (4.15) получена при условии $\delta Q = \delta Q_1 = -\delta Q_2$. Величина $C = Q_2 / Q_1$ называется коэффициентом возврата тепла, а величина $i = 1 - C$ называется коэффициентом использования тепла.

В табл. 4.2 приведены значения методического коэффициента косвенного измерения разности количеств теплоты K_Q для различных значений коэффициентов f и K_1 .

Таблица 4.2

f	0,99	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0
K_1	0,01	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	1
K_Q	3	2,8	2,6	2,3	2,1	1,9	1

Как видно из сравнения табл. 4.1 и табл. 4.2, коэффициент K_Q значительно слабее зависит от степени открытости системы, чем коэффициент K_m .

В данном случае при выводе формулы (4.12) и (4.15) было использовано **алгебраическое суммирование** погрешностей измерений, при котором суммарная погрешность определяется при доверительной вероятности близкой к 1.

Однако можно использовать и **геометрическое суммирование** погрешностей измерений [21, 22], когда суммарная погрешность определяется как корень квадратный из суммы квадратов погрешностей составляющих при доверительной вероятности 0,95.

Но в обоих случаях методические коэффициенты K_m и K_Q всегда больше единицы, причем их численное значение увеличивается с уменьшением коэффициента утечки K_1 , т.е. с увеличением закрытости системы.

5. СИСТЕМЫ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.

Для измерения количества теплоты и массы теплоносителя в водяных системах теплоснабжения потребителей используются измерительные комплексы (системы учета), которые устанавливаются на границе балансовой принадлежности и которые в соответствии с [1] должны обеспечивать:

- измерение и регистрацию массы теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы теплоснабжения;
- измерение и регистрацию температуры теплоносителя в этих трубопроводах;

- вычисление потребленного абонентом массы теплоносителя и количества теплоты.

Отметим, что энтальпия теплоносителя определяется по справочным таблицам, занесенным в тепловычислитель, в соответствии с измеренными значениями температуры и давления. Но так как энтальпия воды практически не зависит от давления, а зависит только от температуры, то энтальпия, как правило, определяется только по температуре теплоносителя и измерения давления при этом не требуется (давление измеряется только для оценки качества теплоносителя).

Поэтому системы учета, используемые для измерения массы теплоносителя и количества тепла в водяных системах теплоснабжения потребителей состоят, как правило, из следующих функциональных блоков:

- преобразователь температуры;
- преобразователь расхода;
- информационно-вычислительный блок (тепловычислитель).

В соответствии с ГОСТ Р 51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения» системы учета тепла и массы теплоносителя называются теплосчетчиками. В зависимости от конструктивного решения, объединяющего функциональные блоки в единый измерительный комплекс, все теплосчетчики разделяются на единые и составные (комбинированные).

Единый теплосчетчик – это измерительный комплекс, состоящий из отдельных неразделяемых функциональных блоков, соединенных между собой линиями связи и поверяемый как единое целое.

Составной (комбинированный) теплосчетчик – это измерительный комплекс, состоящий из отдельных функциональных блоков, соединенных между собой линиями связи, каждый из которых является сертифицированным средством измерения со своей методикой поверки.

В настоящее время выпускается множество различных типов теплосчетчиков, которые различаются между собой по методам измерений, метрологическим характеристикам, условиям монтажа и эксплуатации, техническим характеристикам и т.д. Поэтому выбор теплосчетчика представляет непростую задачу, для решения которой необходимо правильно выбрать теплосчетчик, наиболее соответствующий местным системам теплоснабжения и финансовым возможностям потребителя.

Однако, общим для всех типов теплосчетчиков является наличие трех вышеперечисленных функциональных блоков. Рассмотрим подробнее каждый из этих блоков.

5.1. Преобразователи температуры.

Приборы, в основе которых лежит принцип измерения температуры по измерению электрического сопротивления тела, зависящего от температуры этого тела, называются термометрами сопротивления. Наиболее подходящими материалами, используемыми в термометрах сопротивления, являются платина и медь.

В теплосчетчиках в качестве преобразователей температуры наиболее часто используются платиновые термометры сопротивления: ТСП-100П и ТСП-500П.

Промышленный термометр сопротивления – это устройство, состоящее из сопротивления (резистора) с защитной оболочкой, внутренних соединительных проводов, с помощью которых термометр подключается к внешним измерительным устройствам.

Типичные конструкции промышленных термометров сопротивления приведены на рис. 5.1.

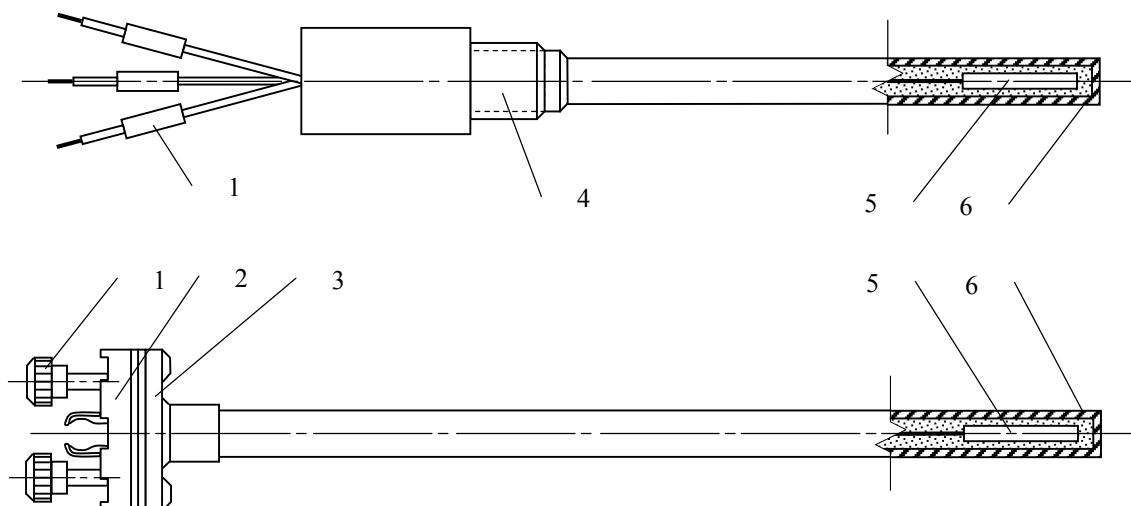


Рис. 5.1.

1 – выводы; 2 – выводное устройство; 3 – фланец; 4 – установочное устройство (с резьбой);
5 – чувствительный резистор; 6 – защитная оболочка

Зависимость температуры от сопротивления для платинового термометра имеет вид:

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2), \quad (5.1)$$

где $A = 3,908 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$; $B = -5,802 \cdot 10^{-7}$ град $^{-2}$; $C = 4,2735 \cdot 10^{-12}$ град $^{-4}$.

Формула (5.1) справедлива при $0^{\circ}\text{C} < t < 850^{\circ}\text{C}$.

Платиновые термометры сопротивления выпускаются трех типов:

$R_0=50$ Ом (ТСП-50П), $R_0=100$ Ом (ТСП-100П), $R_0=500$ Ом (ТСП-500П). R_0 – это номинальное сопротивление при $t=0^0\text{C}$.

Номинальная статическая характеристика преобразования (НСХ) термометра сопротивления должна соответствовать уравнению:

$$R_t = W_t R_0, \quad (5.2)$$

где $W_t = R_t / R_0 = \varphi(t, W_{100})$, а $W_{100} = R_{100} / R_0$. Значения W_0 и допускаемые отклонения сопротивления от НСХ (погрешность измерения) для платиновых термометров сопротивления приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Тип термометра	Класс допуска	W_{100}	Абсолютная погрешность измерения (допускаемое отклонение сопротивления от НСХ), ^0C
ТСП	А	1,3850 1,3910	$\Delta t = \pm(0,15 + 0,002 t)$
	В	1,3850 1,3910	$\Delta t = \pm(0,3 + 0,005 t)$
	С	1,3850 1,3910	$\Delta t = \pm(0,6 + 0,008 t)$
КТПТР	-	1,3910	$\Delta t = \pm(0,15 + 0,001 t)$ $\Delta(\Delta t) = \pm(0,05 + 0,001 \Delta t)$

В табл. 5.1 КТПТР – это пара специально согласованных термометров сопротивления ТСП.

Термометры сопротивления могут быть подключены к внешним устройствам по 2-х, 3-х и 4-х проводной схемам. При использовании 2-х проводной схемы присоединения сопротивление внешних соединительных проводов не должно превышать 0,1 % от R_0 .

При выборе термометров сопротивления, исходя только из их класса А, В, С можно получить большую погрешность при измерении разности температур в подающем и обратном трубопроводах, а, следовательно, и большую погрешность при расчете потребленного абонентом количества теплоты.

Единственно, что гарантирует класс термометра – это предел модуля максимальной погрешности при замене термометра любым другим из данного класса. Перемена знака погрешности или перемена местами термометров, установленных в подающем и обратном трубопроводе системы теплоснабжения абонента, может привести к увеличению относительной погрешности измерения потребленного абонентом количества теплоты $\delta Q_{ном}$ на 10 % для класса А и на 40 % для класса С [23]. Поэтому применение в

коммерческих системах учета термометров, выбираемых исходя только из требований к классам А, В или С недопустимо, особенно при $\Delta t = t_1 - t_2 \leq 5^\circ\text{C}$.

Следовательно в теплосчетчиках необходимо применять только специально подобранные, согласованные между собой, пары термометров сопротивления с достаточно близкими характеристиками. Это достигается жестким допуском на отличие их номинальных сопротивлений R_0 и чувствительности W_0 .

Так, например, для пары термометров ТСП-100П комплекта КТПТР допуск на R_0 равен $\pm 0,0015\text{ Ом}$, что соответствует $\Delta t = \pm 0,0375^\circ\text{C}$, а допуск на различие их чувствительности W_{100} ограничен 0,01 % от W_{100} , что соответствует $\Delta t = \pm 0,026^\circ\text{C}$.

На рис. 5.2 – 5.4 приведены графики зависимостей погрешностей термометров сопротивления от измеряемой температуры при подборе их в согласованные пары.

Широко распространено мнение, что высокое качество согласованной пары достигается при совпадении индивидуальных характеристик на протяжении всего диапазона изменения температур, как это показано на рис. 5.2.

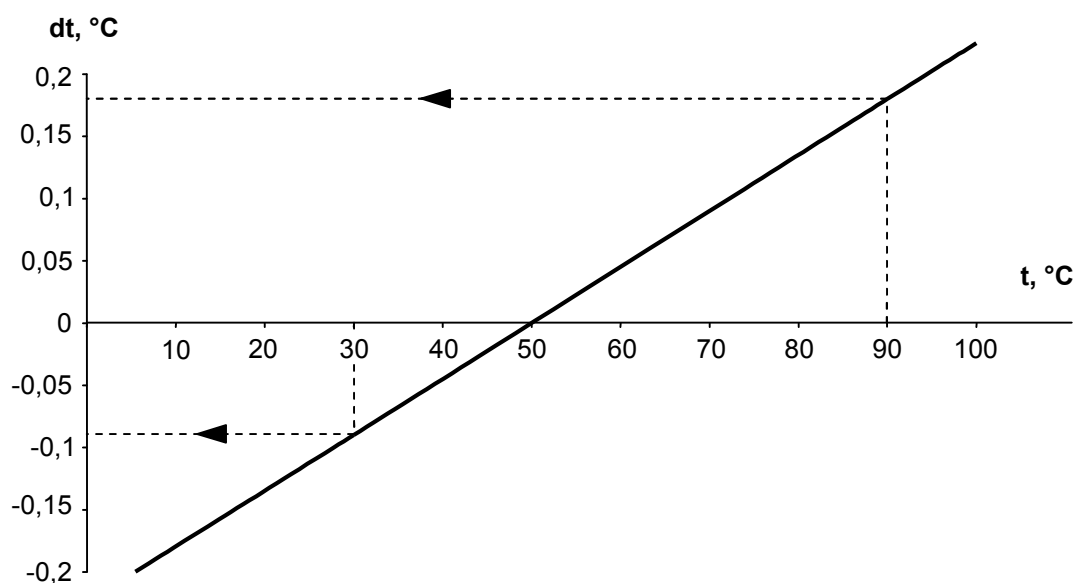


Рис. 5.2

Действительно, при полном совпадении индивидуальных характеристик погрешность термометров (рис. 5.2) при перестановке термометров местами не возникнет никаких изменений показаний, однако это обеспечивает не малость вклада в погрешность определения количества теплоты, а только независимость его от перестановки термометров.

Для обеспечения минимального вклада в погрешность вычисления количества теплоты необходима взаимная коррекция погрешностей. Для этого абсолютные погрешности термометров пары при любом сочетании измеряемых температур должны быть равны между собой и по размеру и по знаку.

На рис. 5.2 это не обеспечено. Здесь один термометр измеряет температуру $t_1=90^0\text{C}$, при этом погрешность $dt = \Delta t_1 = +0,18^0\text{C}$, а второй термометр измеряет температуру $t_2=30^0\text{C}$, при которой его погрешность $dt_2 = \Delta t_2 = -0,09^0\text{C}$.

Эти погрешности не корректируют друг друга, а, наоборот, при вычитании увеличивают вклад, так как $\Delta(t_1 - t_2) = \Delta t_1 - \Delta t_2 = 0,18 - (-0,09) = 0,27^0\text{C}$.

Таким образом, требование совпадения индивидуальных характеристик погрешности термометров на протяжении всего диапазона изменения температур не обеспечивает минимального вклада пары в погрешность определения количества теплоты, а обеспечивает лишь постоянство этого вклада при перестановке термометров местами.

Для обеспечения взаимной коррекции погрешностей характеристики термометров должны не совпадать, а располагаться так, как это показано на рис. 5.3.

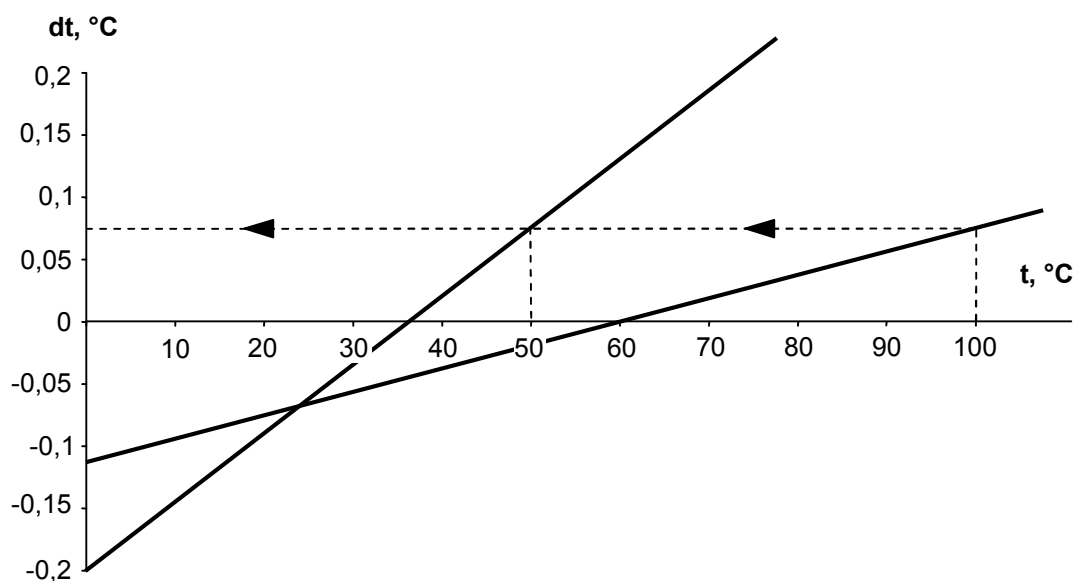


Рис. 5.3

В этом случае при зимнем режиме теплоснабжения при $t_1=100^0\text{C}$ и $t_2=50^0\text{C}$ погрешности обоих термометров одинаковы: $dt_1 = \Delta t_1 = dt_2 = \Delta t = \pm 0,075^0\text{C}$. В результате этого разность погрешностей $\Delta(t_1 - t_2) = \Delta t_1 - \Delta t_2 = 0^0\text{C}$, т.е. они полностью корректируются.

Предположим, что при переходе на осенне-весенний режим теплоснабжения $t_1=60^{\circ}\text{C}$, а $t_2=37^{\circ}\text{C}$. Но в этом случае, как это видно из рис. 5.3 $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 0^{\circ}\text{C}$ и $\Delta(t_1 - t_2) = \Delta t_1 - \Delta t_2 = 0^{\circ}\text{C}$, т.е. погрешности обоих термометров также взаимно корректируются. Таким образом, пара термометров со взаимным расположением характеристик, показанным на рис. 5.3, обеспечивает минимальный вклад в погрешность определения количества теплоты δQ_n как при одном, так и при другом сочетании температур t_1 и t_2 .

Недостаток пары термометров, подобранных согласно рис. 5.3 состоит в том, что она дает близкий к нулю вклад в погрешность определения количества теплоты только при данном положении термометров, а при перестановке их местами дает значительную погрешность. Для устранения этой опасности требуется точное указание мест размещения термометров пары в подающем и обратном трубопроводах, т.е. соответствующая маркировка термометров и строгое ее соблюдение на практике.

Для уменьшения зависимости вклада согласованной пары от перестановки местами термометров необходимо, чтобы обе характеристики были почти горизонтальными (рис. 5.4).

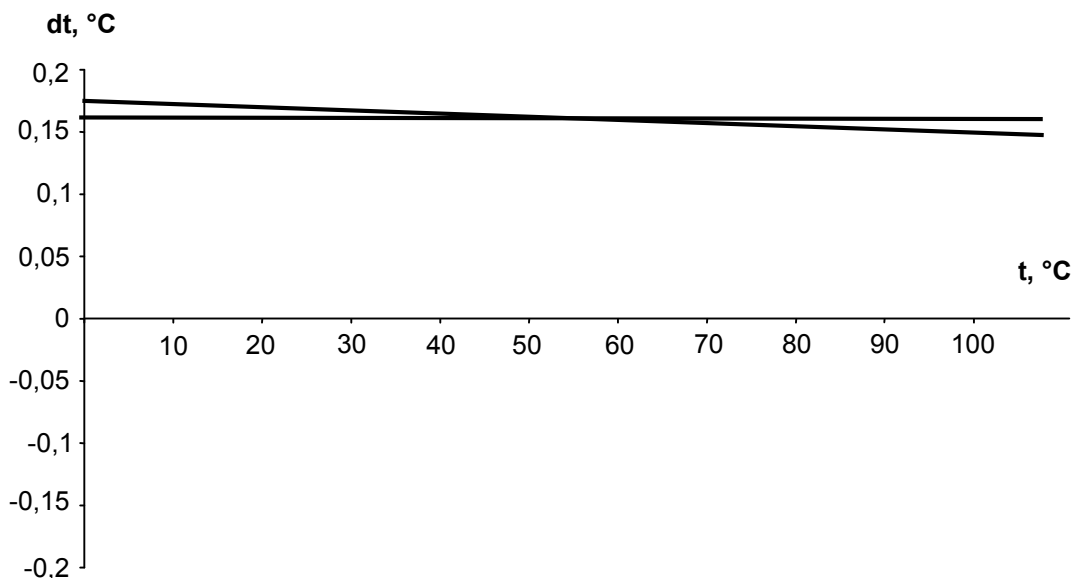


Рис. 5.4

В этом случае вклад погрешности согласованной пары в суммарную погрешность определения количества теплоты не превысит 0,1 %.

Таким образом, главным условием подбора согласованных пар термометров является не идеальное совпадение характеристик термометров на протяжении всего диапазона изменения температур, а малый вклад в погрешность определения количества теплоты.

Это практически может быть достигнуто не контролем при поверке на расхождение характеристик между собой, а путем вычисления вклада, вносимого данной парой термометров в погрешность определения количества теплоты δQ_{nom} .

Вклад пары термометров в погрешность определения количества теплоты, как для закрытых, так и для открытых систем теплоснабжения можно оценить по формуле:

$$\delta Q_{nom}(t_1 - t_2) = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{t_1 - t_2} \quad (5.3)$$

Из формулы (5.3) следует, что размер вклада данной пары термометров сопротивления в погрешность определения количества теплоты зависит не только от численных значений абсолютных погрешностей $\Delta t_1, \Delta t_2$ и температур t_1, t_2 , но и от знаков Δt_1 и Δt_2 .

Поэтому найти погрешности Δt_1 и Δt_2 с их знаками можно только по их индивидуальным характеристикам погрешности

$$\Delta t_1 = A_1 + B_1 t_1, \quad (5.4)$$

$$\Delta t_2 = A_2 + B_2 t_2, \quad (5.5)$$

определяемых в процессе поверки и градуировки.

Следовательно, можно сделать следующий вывод: требования к термометрам сопротивления, исходя только из их класса А, В, С, недостаточны для применения их в коммерческих узлах учета тепла; они должны быть дополнены требованиями, в соответствии с которыми в узлах коммерческого учета тепла допустимо применение только согласованных пар термометров сопротивления с известными индивидуальными характеристиками погрешностей – формулы (5.4) и (5.5), обеспечивающих нормированный вклад в относительную погрешность определения количества теплоты δQ_{nom} .

Для обеспечения этих требований пары термометров сопротивления, применяемых в узлах коммерческого учета тепла, должны проходить поверку не только на соответствие классу (ГОСТ Р 50353-92), но и поверку на допустимый размер вклада данной пары в погрешность определения количества теплоты. При этом должно удовлетворяться условие, что вклад пары в общую погрешность определения количества теплоты не превышает 1 % при $10^0 \leq \Delta t \leq 40^0$ и не превышает 2 % при $\Delta t \leq 5^0 C$.

Необходимо также отметить, что при использовании согласованных пар термометров в узлах коммерческого учета они должны быть соответствующим образом маркированы, например, «1», «2» или «Г», «Х».

Следует учитывать также то обстоятельство, что характеристики термометров сопротивления подвержены непрерывному дрейфу, как правило, в сторону возрастания сопротивления. Скорость дрейфа для каждого из термометров пары различна и поэтому через несколько лет эксплуатации может возникнуть необходимость поменять термометры местами, при этом необходимо будет также изменить индексы «1», «2» или «Г», «Х».

Итак, как было отмечено выше, применение в узлах коммерческого учета тепла непарных термометров сопротивления, выбираемых по ГОСТ Р 50353-92, исходя только из требований к их классу, недопустимо.

Единственным исключением из этого правила является выбор термометров для однотрубной (тупиковой) системы ГВС без рециркуляции. В этом случае вклад термометра сопротивления класса А в относительную погрешность определения количества теплоты составит (табл. 5.2)

Таблица 5.2

$t_{\text{звс}}, ^\circ\text{C}$	0	5	10	20	60	70
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	0,15	0,16	0,17	0,19	0,27	0,29
$\delta Q_{\text{ном}}, \%$	∞	3,2	1,7	0,95	0,47	0,41

Такое применение термометров сопротивления в однотрубной тупиковой системе ГВС допустимо только в межотопительный (летний) период, когда температура воды в трубопроводе при отсутствии водоразбора не опускается ниже 10°C , так как при этом вклад погрешности измерения температуры в общую погрешность определения количества теплоты не превышает 2 %.

Рассмотрим теперь, какие метрологические требования предъявляются к термометрам сопротивления при измерении холодной воды на источнике теплоты, так как определение размера возврата потребителю оплаты, соответствующей энтальпии холодной воды, осуществляется по данным источника теплоты.

Это обусловлено тем, что физическое тепло холодной воды, используемое для подпитки на источнике теплоты, зависит от температуры этой воды $t_{\text{хв}}$, которая измеряется только на источнике.

В финансовом отношении правильный учет температуры холодной воды, израсходованной на источнике для подпитки, чрезвычайно важен, так как ошибка в измерении этой температуры на $0,1^{\circ}\text{C}$ приводит к ошибке $0,2\%$ от стоимости всей выработанной источником теплоты.

Это вызывает специфические метрологические требования к методике определения действительной средней за расчетный период энтальпии холодной воды и, соответственно, к достоверному определению температуры холодной воды.

В связи с этим применение для измерения температуры холодной воды на источниках тепла термометров, выбираемых исходя только из требования к их классам А, В, С по ГОСТ Р 50353-92, недопустимо.

Допустимо лишь применение специально отобранных по индивидуальной характеристике термометров класса А, абсолютная погрешность которых в диапазоне температур от 0 до 40°C не превосходит

$$dt = \Delta t = \pm(0,025 + 0,001t) \quad (5.6)$$

Статистика показывает, что среди термометров класса А находится до 10% термометров, удовлетворяющих требованиям (5.6). Отобранным в соответствии с (5.6) термометрам для измерения температуры холодной воды на источнике должна наноситься маркировка в виде четырехзначного номера с дополнением «ХВ» из русских букв.

При отсутствии специально отобранных по условию (5.6) термометров для измерения температуры холодной воды на источнике теплоснабжения может быть разрешено применение термометров класса А, имеющих выгравированный на шильдике четырехзначный номер с добавлением русских букв «ХВ» и прилагаемое к нему свидетельство о поверке, которое должно содержать индивидуальную формулу поправок, по которой должны корректироваться показания измеряемой температуры.

Формула для исправленного значения температуры холодной воды должна иметь вид:

$$t = t_{\text{изм}} - (A + Bt_{\text{изм}}), \quad (5.7)$$

где коэффициент A должен содержать четыре знака после запятой, а коэффициент B – шесть знаков, например, $A = -0,1262$; $B = 0,000205$.

Термометры сопротивления должны монтироваться на трубопроводах в соответствии с требованиями и рекомендациями, описанными ниже.

ТРЕБОВАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНТАЖУ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ТРУБОПРОВОДАХ.

1. Термометры сопротивления в подающем и обратном трубопроводах должны быть смонтированы одинаковым образом:

- перпендикулярно оси трубопровода;
- наклонно навстречу потоку;
- в колене трубопровода навстречу потоку.

2. Термометры сопротивления устанавливаются в защитные гильзы, которые заполняются трансформаторным маслом.

3. Монтаж термометра и защитной гильзы должен быть таким, чтобы не менее половины длины монтажной части термометра сопротивления находилась внутри потока.

4. Термометры сопротивления рекомендуется устанавливать после преобразователей расхода, чтобы они не вносили возмущений в поток жидкости до преобразователя расхода.

В зависимости от внутреннего диаметра трубопровода термометра сопротивления рекомендуется устанавливать в соответствии с рис. 5.5.

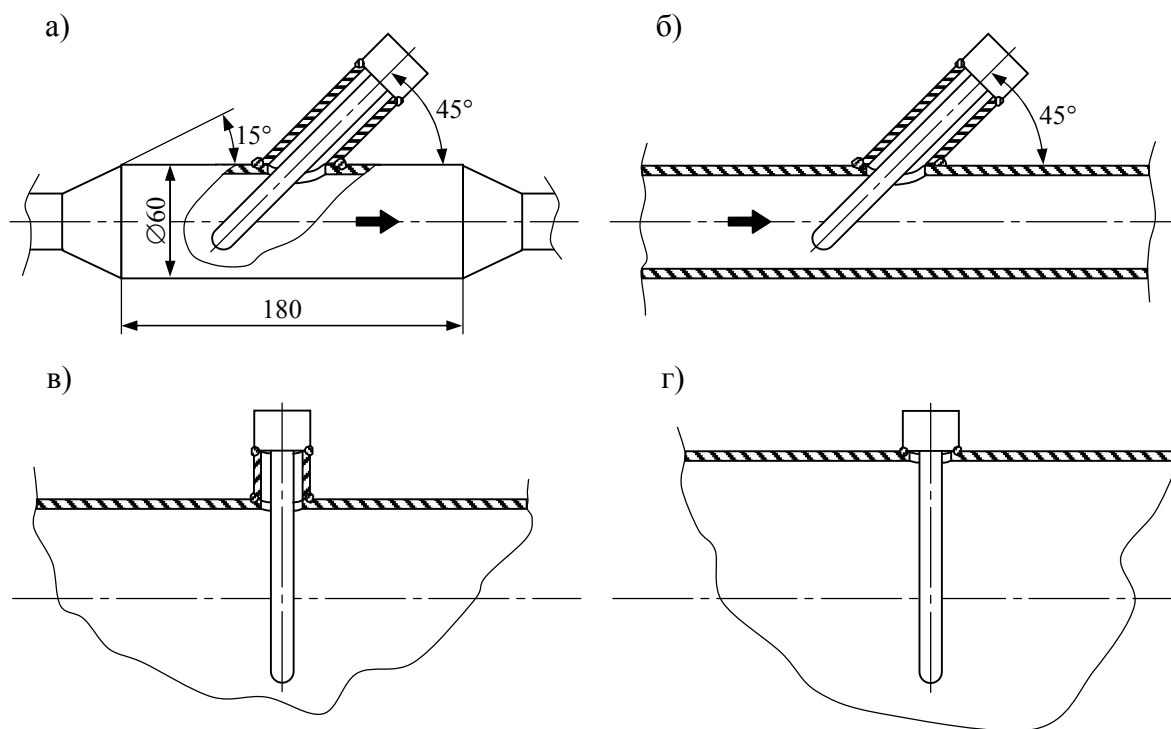


Рис. 5.5. Способы монтажа защитной гильзы и термометров сопротивления на трубопроводах:

а) $d_y < 50$ мм; б) $d_y = 50$ мм; в) $d_y = 80; 100$ мм; г) $d_y = 150-300$ мм

5. В качестве контрольных кабелей для связи термометров сопротивления с тепловычислителем рекомендуется использовать трех или четырехжильный кабель в экране с сечением жил не менее $0,12 \text{ мм}^2$.

6. Контрольный кабель подобранных пар термометров сопротивления должен быть одинаковой длины (разброс по длине не более $\pm 0,2$ м). Для защиты от механических повреждений рекомендуется размещать кабели в металлических трубах или металлорукавах. Допускается в одной трубе (металлорукаве) размещать несколько кабелей.

5.2. Преобразователи расхода.

Вторым функциональным блоком в системе учета тепла (теплосчетчике) является преобразователь расхода – средство измерения расхода или количества вещества. Строго говоря, согласно ГОСТ 15528-86 преобразователь расхода – это устройство, непосредственно воспринимающее расход (диафрагма, сопло) и преобразующее его в сигнал измерительной информации, «не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем», например, перепад давления.

Однако в дальнейшем, под преобразователями расхода мы будем понимать любые средства измерения расхода и количества теплоносителя.

Большинство современных средств измерения расхода и количества вещества состоят из двух блоков: **первичный преобразователь (ПП)** и **электронный преобразователь (ЭП)**, которые могут быть или объединены в рамках прибора – **компактное исполнение**, или механически изолированы друг от друга, разнесены в пространстве и электрически соединены между собой линиями связи – **раздельное исполнение**. Раздельное исполнение позволяет вынести ЭП в безопасную зону, например, из сырого подвала в сухое помещение.

Классификация преобразователей расхода (датчиков потока) приведена на рис. 5.6.

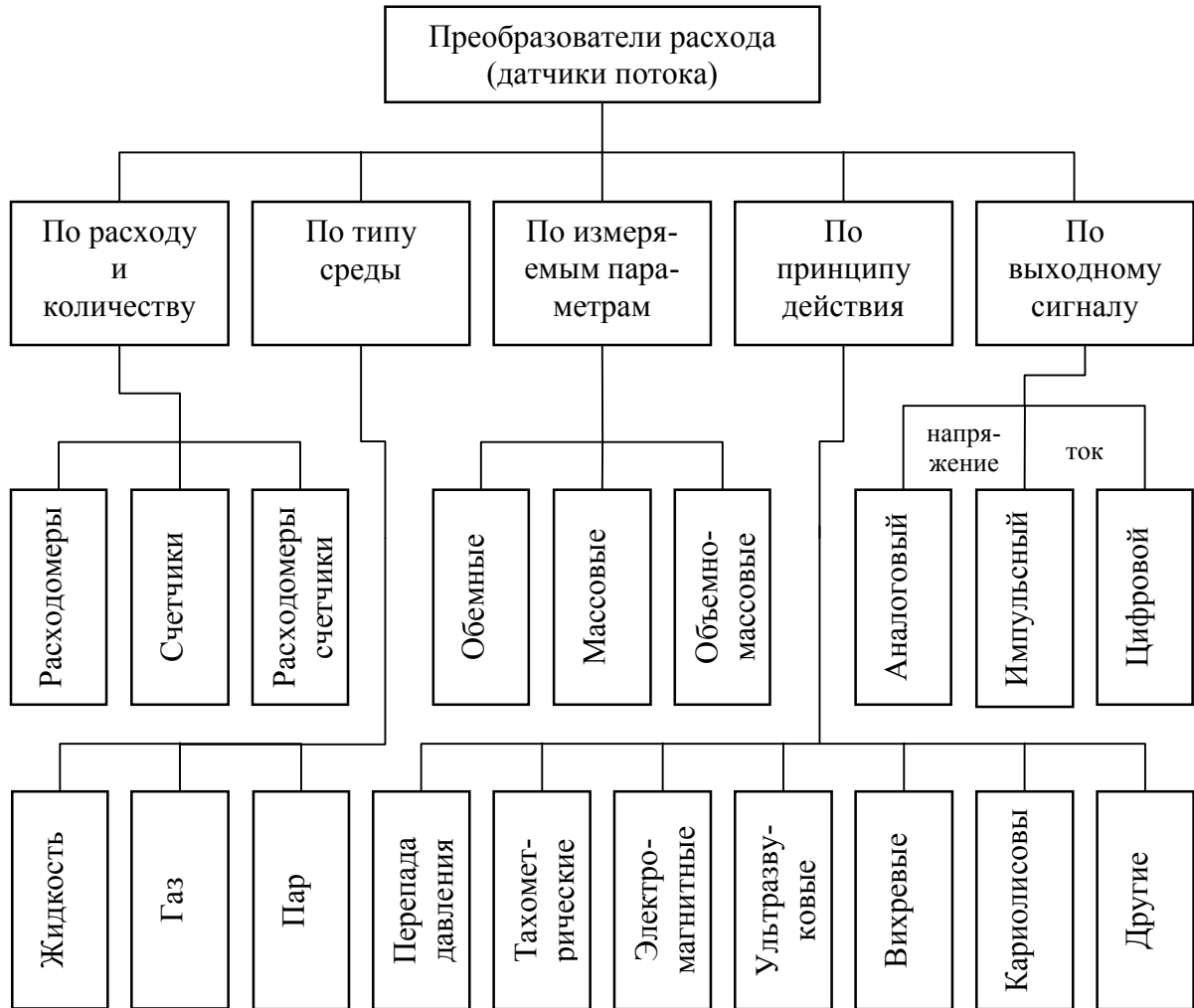


Рис. 5.6. Классификация преобразователей средств расхода и количества среды

В соответствии с рис. 5.6 все преобразователи можно условно разделить на пять блоков:

1. По измерению расхода или количества среды.
2. По типу измеряемой среды.
3. По измеряемым параметрам.
4. По принципу действия.
5. По выходному сигналу.

По измерению расхода или количеству среды преобразователи расхода можно разделить на:

- расходомер – устройство (прибор), измеряющее мгновенный расход вещества, т.е. количество (масса или объем) вещества, протекающее через данное сечение канала

(трубопровода) в единицу времени;

- счетчик количества или просто счетчик – устройство, измеряющее массу или объем вещества, прошедшее по трубопроводу за определенный интервал времени (аналог – бытовые электросчетчики);
- расходомер-счетчик – устройство для измерения расхода и количества вещества.

По типу измеряемой среды различают расходомеры **жидкостные, газа и пара**. Одна и та же модель расходомера не может использоваться для измерения всех трех сред из-за существенного различия их физических параметров, хотя для вихревых расходомеров возможна перестройка с одного типа среды на другой. Под жидкостью понимаются любые типы капельных жидкостей (вода, мазут, нефть и др. технические жидкости).

Для каждой конкретной модели расходомера в технической документации указываются допустимые виды жидкостей и их качество: процент газовых и твердых включений, электропроводность и т.д. При эксплуатации расходомера должно обеспечиваться соответствующее качество жидкости.

Под газом понимается природный (метан) или технический (кислород, водород и т.п.) газ, а также сжатый воздух.

Пар может использоваться или сухой насыщенный или перегретый. Для влажного пара корректное измерение расхода невозможно.

Для газовых расходомеров особо оговариваются условия взрыво- и пожаробезопасного конструктивного исполнения, а для расходомеров пара – максимальные давление и температура пара.

По измеряемым параметрам расходомеры подразделяют на **объемные** (измеряют объемный расход), **массовые** (измеряют массовый расход) и **объемно-массовые** (измеряют объем или массу с последующим пересчетом одной физической величины в другую). Подавляющее большинство расходомеров и счетчиков объемные, а некоторые из них способны рассчитывать массовый расход путем пересчета объемного расхода через плотность жидкости, рассчитанную по давлению и температуре жидкости, т.е. являются объемно-массовыми расходомерами.

Массовые расходомеры измеряют массовый расход непосредственно (прямое измерение) без пересчета объема и плотности среды в массу. Они могут также дополнительно рассчитывать объемный расход через массовый и прямо измеренной плотности среды. К массовым расходомерам относятся тепловые и кориолисовые.

По выходному сигналу различают расходомеры с **аналоговым, импульсным и цифровым выходом**. В первых используются сигналы напряжения (0-10В) или ток (0-5,

0-20, 4-20 мА), а во вторых – импульсные выходы типа «сухой контакт», оптопара, а в третьих – цифровые интерфейсы семейства RS 232, 422, 485, комбинированный аналого-цифровой интерфейс HART, линейные интерфейсы Modbus, M-bus.

Большинство современных расходомеров являются прямопоказывающими или регистрируемыми.

По принципу действия, определяющему область использования и измерительные характеристики, преобразователи расхода можно разделить на следующие классы (группы):

- перепада давления;
- тахометрические;
- электромагнитные (индукционные);
- ультразвуковые;
- вихревые;
- кориолисовые;
- другие (тепловые и прочие, являющиеся комбинацией из вышеперечисленных, например: вихревые с электромагнитным съемом сигнала, вихревые с ультразвуковым съемом сигнала и т.п.).

Рассмотрим подробнее каждый из вышеперечисленных преобразователей расхода.

5.2.1. Расходомеры перепада давления.

К группе расходомеров перепада давления относят:

- расходомеры с переменной площадью сечения (ротаметры);
- расходомеры постоянного перепада давления (поплавковые);
- расходомеры переменного перепада давления.

Так как в системах учета используются только расходомеры переменного перепада давления (РППД), то в дальнейшем будем рассматривать эти расходомеры.

Расходомером переменного перепада давления называется измерительный комплекс, основанный на зависимости расхода от перепада давления, создаваемого устройством, установленном в трубопроводе или одним из элементов трубопровода, например, коленом.

В состав измерительного комплекса входит:

- первичный преобразователь расхода (диафрагма, колено и т.д.);
- первичные линии связи – соединительные трубки и вспомогательные устройства на них;

- первичный измерительный прибор – дифманометр, соединенный с преобразователем расхода линиями связи.

Дифманометр преобразовывает перепад давления в сигнал специальной формы: аналоговый, токовый, цифровой.

В случае необходимости передачи показаний дифманометра на удаленный вторичный блок он соединяется с этим блоком вторичными линиями связи – электрические провода.

Расходомеры переменного перепада давления в зависимости от принципа действия первичного преобразователя расхода можно классифицировать следующим образом (Рис. 5.7):

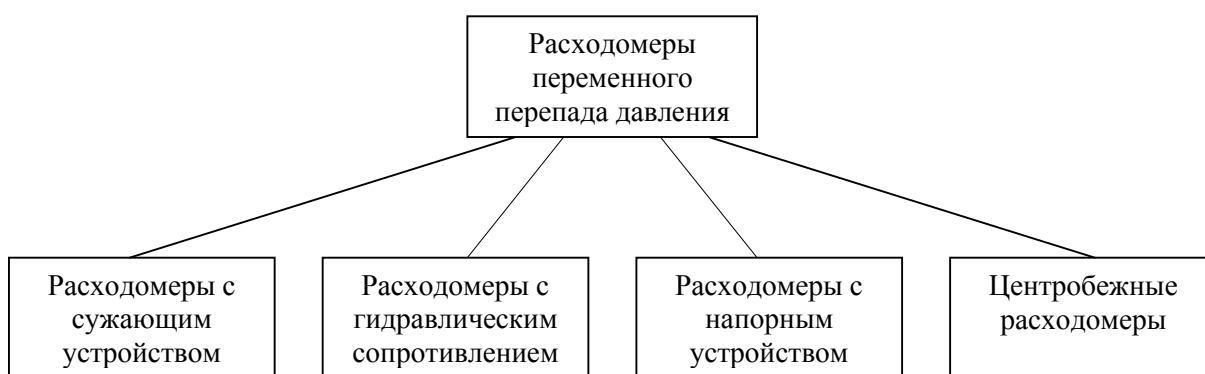


Рис. 5.7. Классификация расходомеров переменного перепада давления

Первый тип расходомеров переменного перепада – это расходомеры с сужающими устройствами. Принцип их действия основан на измерении перепада давления, возникающего в результате преобразования в сужающем устройстве (СУ) части потенциальной энергии потока в кинетическую. СУ могут быть стандартные (диафрагма, сопло, труба Вентури) и нестандартными (сегментная, эксцентрическая, кольцевая диафрагма, цилиндрическое сопло, сопло четверть круга и т.д.).

Нестандартные диафрагмы применяются при загрязненных потоках жидкости.

Стандартные устройства, в отличие от нестандартных, не требуют индивидуальной градуировки.

Второй тип РППД – это расходомеры с гидравлическим сопротивлением. Принцип их действия основан на измерении перепада давления, создаваемого этим сопротивлением. В качестве такого сопротивления может использоваться, например, шариковая набивка.

Третий тип РППД – это расходомеры с напорными устройствами. Принцип действия основан на измерении перепада давления, возникающего при переходе

кинетической энергии части потока в потенциальную. Классический пример этого расходомера – трубка Пито для отбора полного давления в сочетании с трубкой отбора статического давления. Расходомеры с трубкой Пито измеряют расход по местной скорости потока, т.е. по скорости потока в данном сечении трубопровода. При этом должна быть установлена зависимость между средней скоростью потока и скоростью потока в сечении трубопровода, которая измеряется при помощи трубки Пито.

Наряду с расходомерами с трубкой Пито, используются расходомеры с осредняющими напорными трубками, установленными поперек трубопровода по диаметру. Отметим, что осредняющие напорные трубки создают перепад давления, пропорциональный расходу теплоносителя, а не скорости, как при использовании трубки Пито.

Четвертый тип РППД – центробежные расходомеры, основанные на зависимости расхода от перепада давления, образующегося в закругленном элементе трубопровода (колене) под действием центробежных сил.

Наиболее часто в системах учета тепла используются расходомеры переменного перепада давления со стандартными диафрагмами.

Поэтому остановимся более подробно на РППД со стандартными диафрагмами. Принцип действия этих расходомеров подробно описан в [24], а методика выполнения измерений расхода с помощью стандартных СУ изложена в [25].

РППД с СУ представляет из себя составной расходомер, состоящий из СУ, соединительных (импульсных) линий (трубок), вентильного блока, разделительных и уравнивающих сосудов, дифманометра и вторичного прибора, соединенного с дифманометром кабельными линиями связи. В зависимости от типа вторичного прибора, в состав расходомера может также входить блок извлечения квадратного корня.

Наиболее часто на практике в качестве СУ используются стандартные диафрагмы. Технические условия для стандартных диафрагм регламентируются ГОСТ 26969-86 [26].

Принцип действия РППД со стандартной диафрагмой основан на измерении перепада статического давления, возникающего при прохождении потока через диафрагму (рис. 5.8) и вычисления по этому перепаду объемного или массового расхода жидкости.

На рис. 5.8 схематически изображено движение потока жидкости через диафрагму. Обозначим AA – сечение потока, от которого начинается сужение струи жидкости; BB – сечение, в котором поток достигает наибольшего сужения; CC – сечение, в котором сужение заканчивается. Отметим, что в зависимости от относительного диаметра

диафрагмы $\beta = d/D$ сечение ВВ находится на расстоянии $(0,3-0,8)D$ от кромки диафрагмы.

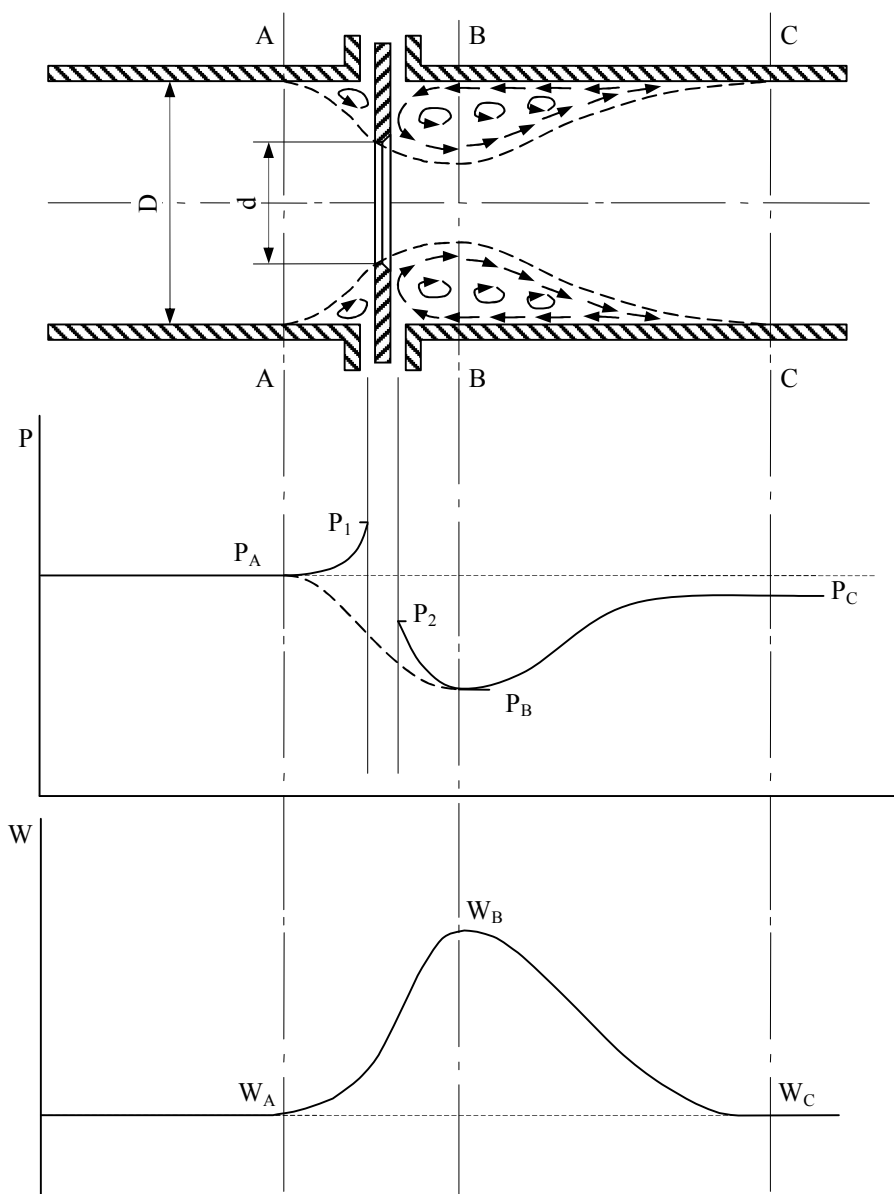


Рис. 5.8. Изменение статического давления и скорости потока жидкости при прохождении через диафрагму.

Рассмотрим случай, когда измеряемая среда – жидкость, плотность которой не зависит от давления. В этом случае скорости в сечении AA и CC одинаковы, т.е. $W_A=W_C$. По мере сужения струи при проходе ее через отверстие диафрагмы скорость жидкости возрастает от $W_A=W_B$, а давление в потоке падает от P_A до P_B (рис. 5.8).

Вследствие падения скорости в мертвых зонах перед и за диафрагмой давление потока возрастает и достигает максимума в углах у стенки диафрагмы (P_1, P_2 на рис. 5.8).

Разность $\Delta P = P_1 - P_2$ - это и есть перепад давления, измеряемый при угловом методе отбора.

На участке от ВВ до СС давление в потоке жидкости постепенно возрастает (скорость падает) до величины P_C , которая меньше величины P_A из-за потерь энергии на вихреобразование и удары о диафрагму. Причем основная часть потерь происходит в мертвой зоне после диафрагмы. Разность давлений $P_A - P_C = P_{\Pi}$ называют безвозвратной потерей напора. Она составляет от 40 до 90 % от $\Delta P = P_1 - P_2$ и возрастает с уменьшением относительного диаметра диафрагмы β , в то время как потери давления от трения и ударов в самой диафрагме составляет не более 2 % от ΔP .

Можно показать, что если измеряемая среда – это идеально несжимаемая жидкость, в которой отсутствуют силы трения и вязкость, то объемный расход жидкости можно измерить по формуле [24].

$$V = C_1 K_1 K_u K_n \sqrt{\Delta P}, \quad (5.8)$$

а массовый расход по формуле:

$$G = C_2 K_2 K_u K_n \sqrt{\Delta P}, \quad (5.9)$$

где: $C_1 = \alpha F_0 \sqrt{2\rho}$; $C_2 = \alpha F_0 \sqrt{2\rho}$; $\Delta P = P_1 - P_2$.

Здесь $F_0 = \pi d^2 / 4$ - площадь проходного сечения диафрагмы; α - коэффициент расхода; K_u - коэффициент шероховатости трубопровода; K_n - коэффициент притупления входной кромки диафрагмы.

При расчете СУ (диафрагм) полагают $C_1 = \text{const}$ и $C_2 = \text{const}$, что в свою очередь предполагает постоянство величин α , F_0 и ρ . Однако на практике, к сожалению, это требование трудно выполнить.

Так, например, $\alpha = \varphi(m, Re)$, где $m = \beta^2 = (d/D)^2$ - относительная площадь сужающего устройства, а $Re = WD/\nu$ - число Рейнольдса, которое зависит от скорости потока – W , кинематической вязкости потока ν и диаметра трубопровода D .

Для стандартных диафрагм коэффициент расхода α определяется экспериментальным путем с достаточной степенью точности. Можно показать [24], что для стандартных диафрагм при $Re > Re_{кр} = \varphi(m)$, т.е. при $Re > 10^5 - 10^6$, коэффициент расхода остается постоянной величиной, т.е. $\alpha = \text{const}$.

Отметим также, что на течение жидкости оказывает влияние шероховатость трубопровода, особенно при диаметре трубопровода $D \leq 300 \text{ мм}$ (шероховатость увеличивает коэффициент расхода). Поэтому в формулы (5.8) и (5.9) вводится

поправочный коэффициент K_u , который учитывает шероховатость трубопровода. Отметим, что при $D > 300$ мм можно принять $K_u = 1$, а для $D \leq 300$ мм этот коэффициент выбирается из [25].

Кроме того, в процессе эксплуатации из-за процессов коррозии и эрозии происходит притупление острой кромки диафрагмы, что в свою очередь, приводит к изменению F_0 . Поэтому в формулах (5.8) и (5.9) вводится поправочный коэффициент на притупление входной кромки диафрагмы – K_n . Отметим, что при $d \geq 125$ мм притуплением входной кромки можно пренебречь, т.е. положить $K_n = 1$.

Также нельзя гарантировать постоянство плотности жидкости, протекающей по трубопроводу, так как плотность зависит от температуры. Поэтому в формулах (5.8) и (5.9) введены поправочные коэффициенты, учитывающие изменение плотности жидкости $K_1 = \sqrt{\rho / \rho_0}$ и $K_2 = \sqrt{\rho_0 / \rho}$, где ρ_0 - плотность жидкости, принятая при расчетах диафрагмы, а ρ - действительная плотность жидкости, т.е. плотность при действительной температуре жидкости.

Из вышеизложенного видно, что при достаточно больших числах $Re > 10^5$ коэффициенты C_1 и C_2 в формулах (5.8) и (5.9) можно считать постоянными. Благодаря этому РППД со стандартными СУ нашли широкое применение в системах учета тепла.

Из стандартных СУ наиболее часто в РППД используется диафрагма, так как она наиболее проста в изготовлении. Другим типом стандартных СУ являются сопла и трубы Вентури, но они имеют более сложную конструктивную форму и поэтому применяются лишь в особых случаях. Трубы Вентури, например, характеризуются минимальными безвозвратными потерями напора и поэтому применяются в тех случаях, когда потери напора должны быть минимальными.

Стандартные сопла при небольших диаметрах трубопроводов $D = 50-100$ мм позволяют измерять расход с гораздо меньшими погрешностями, чем диафрагма. Однако при увеличении диаметра трубопровода это преимущество уменьшается, а при $D > 400$ мм практически сходит на нет и поэтому при больших диаметрах применение сопел нецелесообразно.

В зависимости от месторасположения точек отбора давление P_1 и P_2 , существуют различные методы отбора. Для стандартных диафрагм существует четыре метода отбора [24]. В нашей стране и в большинстве европейских стран используется угловой метод отбора, когда давление P_1 и P_2 отбирают в углах, образуемых входной и выходной плоскостями диафрагмы со стенками трубопроводов. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать только угловой метод отбора давления.

Стандартная диафрагма с угловым способом отбора показана на рис. 5.9. При угловом методе возможны два варианта отбора давления: точечный (рис. 5.9, а) с помощью двух отверстий, просверленных во фланце трубопровода и камерный (рис. 5.9,б). В последнем случае диск диафрагмы зажимается между двумя кольцевыми обоймами, в которых проточены прямоугольные кольцевые камеры. В камеру давление поступает через кольцевые щели. Из кольцевых камер производится отбор усредненных давлений P_1 и P_2 . Учитывая резкое изменение давлений P_1 и P_2 вблизи плоскостей диафрагмы, ширину кольцевых щелей надо брать по возможности меньше.

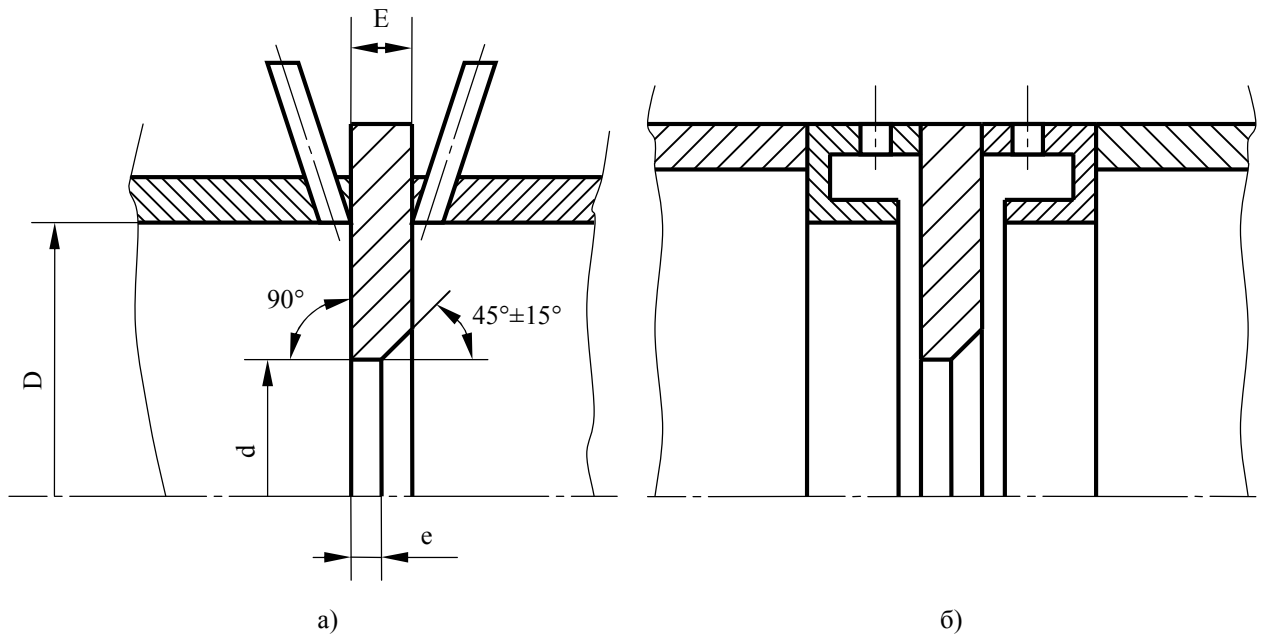


Рис. 5.9 Стандартная диафрагма с угловым отбором давления:
а) с точечным угловым отбором; б) с камерным угловым отбором.

Стандартная диафрагма представляет собой тонкий диск толщиной $E \leq 0,05D$ (рис. 5.9, а), имеющий в центре круглое отверстие диаметром d . Входной угол отверстия должен быть острым или равным 90° , а ширина цилиндрической части $0,005D \leq l \leq 0,02D$. Входная кромка диафрагмы должна быть острой и не иметь притуплений и закруглений. Входная кромка считается острой, если радиус закругления кромки не превышает $0,0004d$.

Точечный отбор (рис. 5.9, а) пригоден только для осесимметричных потоков, которые образуются лишь при достаточно длинном прямолинейном участке трубопровода до и после диафрагмы. Поэтому в большинстве случаев камерный отбор обеспечивает большую точность измерений.

Стандартные СУ, изготовленные на основании расчетов, должны быть правильно смонтированы. Существуют определенные правила монтажа СУ, которые приведены ниже:

1. На длине $l_1 = 2D$ перед СУ фактический диаметр трубопровода должен быть цилиндрическим с круглым сечением и равным расчетному. Отклонение любого диаметрального размера от среднего не должно превышать $\pm 0,3 \%$.
2. Внутренний диаметр трубопровода после СУ на длине $l_2 = 2D$ не должен отличаться более чем на 3% от среднего диаметра трубопровода до СУ.
3. На внутренней поверхности трубопровода до и после СУ на расстоянии $2D$ не должно быть ни уступов, ни выступов, ни сварных швов, ни других неровностей.
4. Должна быть обеспечена строгая концентрированность осей СУ и трубопровода. Смещение оси СУ от оси трубопровода для $D \leq 200$ мм не должно превышать $\pm 0,6$ мм.
5. До и после СУ поток должен быть установившимся. Для этого необходимо до и после СУ иметь прямолинейные участки трубопровода постоянного сечения. Минимальная длина прямолинейного участка трубопровода до - l_1 и после СУ - l_2 зависит от вида ближайшего местного сопротивления и от величины β . Значение длин l_1 и l_2 для стандартных диафрагм приведено в [24].

Рассмотрим далее соединительные и вспомогательные устройства расходомеров переменного перепада давления.

5.2.1.1. Соединительные и вспомогательные устройства расходомеров переменного перепада давления.

СУ или любой другой первичный преобразователь расхода, входящий в состав РППД, соединяется с измерительным прибором – дифманометром двумя соединительными (импульсными) трубками. Диаметр трубок выбирают 8-13 мм (чаще всего 10-12 мм). Меньшие диаметры трубок нежелательны из-за опасности засорения и образования в них воздушных пузырей или воздушных пробок. Длину соединительных трубок желательно выбирать как можно меньше, рекомендуется их длину выбирать не более 16 м.

При монтаже соединительных трубок надо обеспечивать их герметичность и возможность периодической чистки. Для этого используются разъемные соединения, которые образуются с помощью накидных гаек. На концах трубок устанавливается запорная арматура (обычно игольчатые вентили). Проходные сечения вентиляей должны

быть не меньше, чем сечение трубок. Не допустимы горизонтальные участки у трубок, они должны иметь уклон не менее 1/10, а лучше 1/12 для того, чтобы конденсат и осадки могли удаляться в ловушки или отстойники, а пузырьки газа подниматься к газосборникам или уходить в трубопровод. Изгибы у трубок должны быть плавными, без острых углов и прямых углов и вмятин. Во избежание неодинакового нагрева или охлаждения трубок они должны располагаться близко друг к другу, а в случае необходимости их надо изолировать.

Соединительные трубки должны быть заполнены однофазной средой одинаковой плотности. При измерении расхода жидкости в трубках должны отсутствовать газы – воздушные пробки. Поэтому при измерении расхода жидкостей дифманометр желательно устанавливать ниже СУ, чтобы воздух, выделяющийся в соединительных трубках, мог уйти в трубопровод.

Если дифманометр располагается выше СУ, то выше дифманометра необходимо разместить воздухосборники (рис. 5.10), а соединительные трубки присоединяются к СУ при горизонтальном трубопроводе в плоскости горизонтального диаметра или немного ниже. При этом трубки сначала опускаются на 100-200 мм ниже диаметральной плоскости (рис. 5.10) и лишь затем вести их кверху.

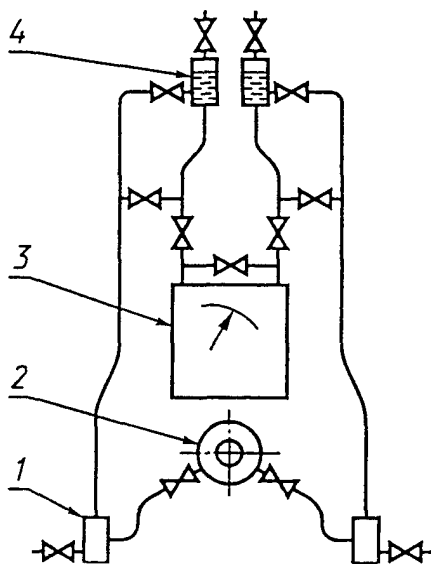


Рис. 5.10. Схема соединений при измерении расхода воды для случая, когда дифманометр расположен выше СУ:

1 - отстойные сосуды; 2 – сужающее устройство; 3 – дифманометр; 4 – воздухосборник.

Диаметр воздухоборников 25-60 мм, а высота равна четырем диаметрам. В случае измерения расходов в загрязненных жидкостях на соединительных линиях ниже СУ устанавливают отстойные сосуды.

Для измерения перепада давления, создаваемого на СУ или другом преобразователе расхода используются измерительные приборы, называемые дифференциальными манометрами, сокращенно дифманометрами. Рассмотрим подробнее эти приборы.

5.2.1.2. Дифференциальные манометры.

Дифманометры различаются по принципу действия, пределам измерений и характеру отсчетного устройства (показывающие, самопишущие, интегрирующие). Кроме того, многие дифманометры оборудуются электрическими или пневматическими преобразователями перемещения чувствительного элемента прибора в сигнал, поступающий на вторичный измерительный прибор.

Предельные перепады давления дифманометров должны выбираться согласно ГОСТ 18140-84 из ряда: 1; 1.6; 2.5; 4; 6.3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 к Па.

По принципу действия дифманометры могут быть жидкостными или деформационными. Поскольку в теплосчетчиках используются только деформационные дифманометры мембранного типа, то в дальнейшем будем рассматривать только такие дифманометры.

Из дифманометров данного типа на сегодняшний день в России в составе теплосчетчиков наиболее широкое применение нашли следующие приборы: ДМ 3583 М с преобразователем ПИНТ-1, Метран, Сапфир, ЕЈА.

Отметим, что дифманометры Сапфир и Метран имеют класс точности $K=0,25; 0,5$, а ЕЈА – $K=0,075$. Отметим также, что от класса точности зависит диапазон измерения расхода. Так, например, для дифманометра с $K=0,5$ динамический диапазон $A=G_{\min}/G_{\max}=1/4$, для дифманометров с $K=0,25$ этот диапазон $A=1/6$, а для дифманометров с $K=0,075$ этот диапазон $A=1/10$ и более.

Для того, чтобы увеличить диапазон измерения расхода до $1/10$ и более при использовании дифманометров класса точности $K=0,25; 0,5$ необходимо к одному СУ подключать два или более таких манометра.

Использование цифровых интеллектуальных перенастраиваемых дифманометров ЕЈА (Япония), внесенных в Госреестр средств измерения РФ, позволяет при одном дифманометре расширить динамический диапазон измерения расхода до $1/100$.

При этом в отличие от отечественных дифманометров, дифманометры ЕЈА отличаются высокой стабильностью (ноль практически не уплывает ни при изменении температуры окружающей среды, ни при изменении знака перепада давления, ни от «старения») и поэтому не нуждаются в обслуживании.

5.2.1.3. Преимущества и недостатки расходомеров переменного перепада давления.

Широкое распространение РППД на базе СУ обусловлено их следующими достоинствами:

- пригодны для работы на любой среде (жидкости, газ, пар);
- отсутствие индивидуальной градуировки: СУ изготавливаются по априорному расчету с гарантированными погрешностями измерений;
- наличие нормативной базы;
- простота конструкции – нет движущихся частей.

Вместе с тем они обладают также и рядом недостатков:

- необходимость наличия длинных прямолинейных участков до и после СУ;
- сложность изготовления и монтажа, особенно для больших диаметров трубопроводов;
- значительные потери давления на СУ;
- необходимость ежегодной поверки;
- нелинейность зависимости выходного сигнала от расхода;
- влияние на точность измерения характера потока, старения диафрагмы (эрозия кромок проходного сечения), осадков, накапливаемых перед диафрагмой;
- ограниченный диапазон измерения расхода, особенно при использовании отечественных дифманометров.

Однако надо отметить, что, несмотря на все недостатки РППД с СУ, альтернативы этим приборам для организации коммерческого учета на трубопроводах большого диаметра $D_y > 500$ мм (источники теплоты) в настоящее время нет.

5.2.1.4. Расходомеры переменного перепада давления на базе усредняющих напорных трубок.

Среди расходомеров переменного перепада давления широкое применение вне пределов России помимо диафрагменных получил датчик расхода типа усредняющей напорной трубки Annubar, производимой американской компанией «Dieterich Standart». В

мире установлено более 500000 таких приборов, особенно часто эти приборы используются для трубопроводов большого диаметра $D > 500$ мм.

На рис. 5.11 представлены РППД на базе усредняющей трубки Annubar.

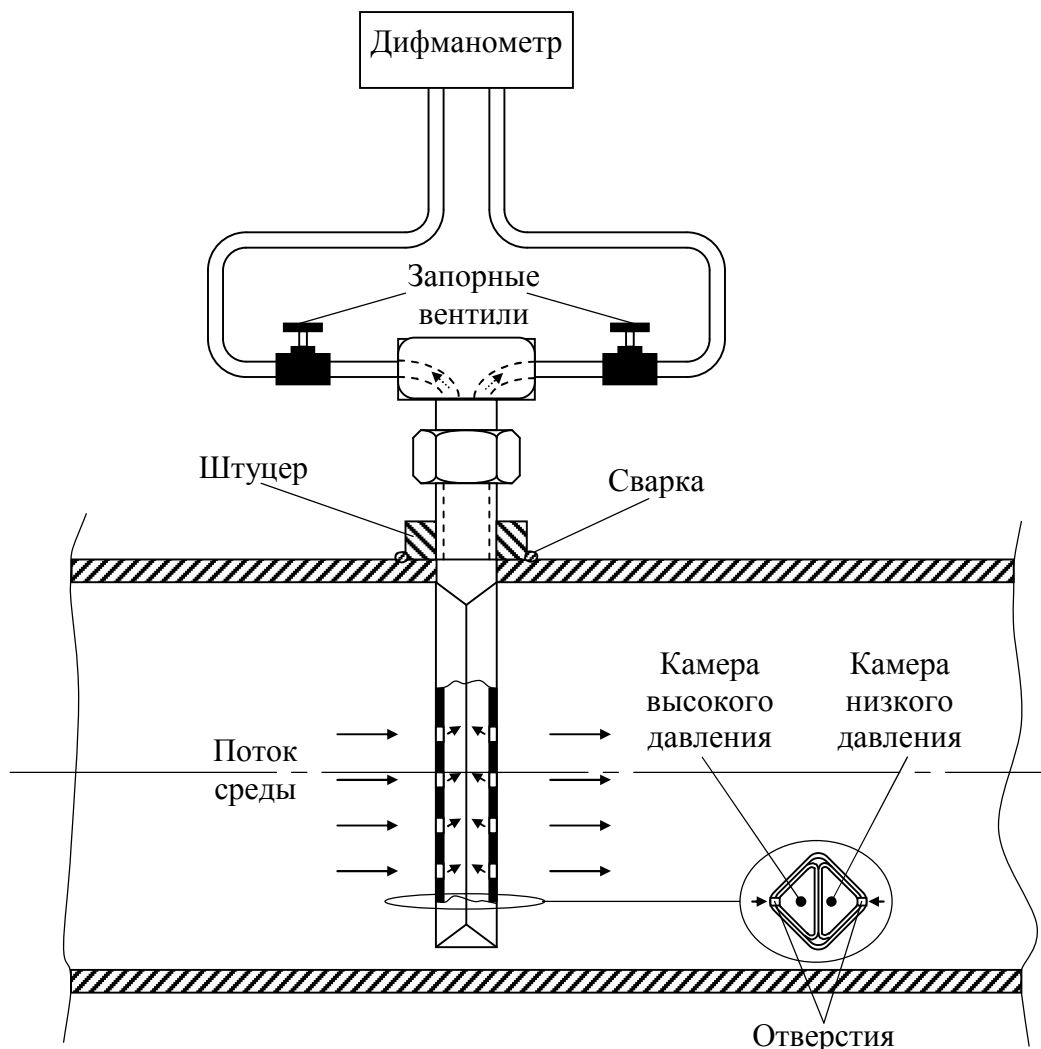


Рис. 5.11. Схема датчика расхода переменного перепада давления типа Annubar

Датчик представляет собой трубку особого, ромбовидного профиля, изготовленную из специальных материалов (нержавеющая сталь, керамика), которая устанавливается вертикально поперек трубопровода (через навариваемый на поперечное отверстие в трубе патрубков с внутренней резьбой – штуцер) и содержит две продольные усредняющие камеры-коллекторы (переднюю и заднюю), разделенные между собой перегородкой, но разделенные каждая с потоком внешней измеряемой среды отверстиями в оболочке трубки. Ее длина, количество отверстий, их размер и размещение вдоль трубки

выбираются расчетным путем исходя из диаметра трубопровода (известны случаи установки датчиков на трубах диаметром 3-6 м), особенностей среды (жидкость, пар, газ) и диапазона измеряемого расхода. Датчики специальных исполнений можно эксплуатировать при давлении до 70 бар и температуре до 1204 °С. Отверстия и камера на передней (относительно направления потока среды) стороне датчика создают среднее полное давление (область высокого давления), а на задней стороне – среднее опорное статическое давление (область низкого давления). Мерой скорости и расхода служит разность полного и статического давлений, которая измеряется соответствующим дифманометром. Форма трубки обеспечивает стабильность точки разделения среды между областями высокого и низкого давления, а конструкция предохраняет чувствительные отверстия от засорения взвешенными частицами среды.

Данный датчик имеет погрешность 1,0 % во всем диапазоне измерения, динамический диапазон расхода – не менее 10:1. Он отличается простотой установки (его модель Flo-Tap может вставляться или извлекаться без прерывания потока и отключения трубопровода), создает минимальные потери давления (в 30 раз меньше, чем диафрагма), обеспечивает точное и воспроизводимое измерение расхода при установке на расстоянии всего лишь 2D после местного сопротивления, позволяет измерять двусторонний расход среды (передняя и задняя камера идентичны и меняются функциями), ряд моделей имеет встроенный датчик температуры (не требуется использование дополнительной гильзы и отдельного подсоединения к трубопроводу). Его масса и металлоемкость существенно ниже, чем у соответствующих диафрагменных датчиков.

5.2.2. Тахометрические расходомеры и счетчики.

Тахометрическими называются расходомеры и счетчики, имеющие подвижный, обычно вращающийся элемент (турбинка или крыльчатка), скорость движения которого пропорциональна объемному расходу. Они подразделяются на турбинные, крыльчатые, шаровые, роторно-шаровые и камерные. В дальнейшем будем рассматривать только турбинные и крыльчатые преобразователи расхода, так как только такие типы применяются в теплосчетчиках.

Измеряя скорость движения подвижного элемента, получаем расходомер, а измеряя общее число оборотов – счетчик количества прошедшего вещества, как правило, объема.

Счетчики жидкости получили широкое распространение, так как для этого надо лишь соединить вал турбинки (крыльчатки) через зубчатый редуктор или магнитную муфту со счетным механизмом.

Для создания же тахометрического расходомера скорость движения элемента надо предварительно преобразовать в сигнал, пропорциональный расходу и удобный для измерения. В этом случае необходим двухступенчатый преобразователь расхода. Его первая ступень – турбинка, скорость движения которой пропорциональна объемному расходу и вторая ступень – тахометрический преобразователь, вырабатывающий измерительный сигнал, обычно частоту электрических импульсов, пропорциональную скорости движения тела. При этом измерительным прибором будет электрический частотомер. Если его дополнить счетчиком электрических импульсов, то получим наряду с измерением расхода также измерение количества прошедшего вещества.

Тахометрические турбинные и крыльчатые преобразователи расхода, применяемые в теплосчетчиках, изготавливаются для трубопроводов диаметром от 15 до 300 мм.

В турбинных преобразователях расхода ось турбинки совпадает с осью потока, а лопасти расположены по осевой линии. Эти преобразователи называются преобразователями с аксиальной турбинкой.

В крыльчатых преобразователях расхода ось турбинки (крыльчатки) перпендикулярна направлению потока, а лопасти расположены радиально по отношению к оси. Эти преобразователи называются преобразователями с тангенциальной турбинкой (крыльчаткой). Крыльчатки применяют лишь при небольших диаметрах трубопроводов, обычно до 50 мм.

Исследования турбинных преобразователей показали, что как правило, при $Re > 10^3$ относительная скорость вращения турбинки $b = n/V$ остается постоянной и в этой области шкала расходомера имеет линейный характер. Здесь n – число оборотов турбинки, а V – объемный расход.

С уменьшением числа Рейнольдса при переходе от турбулентного к ламинарному течению начинается сказываться влияние вязкости среды и относительная скорость вращения турбинки $b = n/V$ уменьшается с уменьшением Re . При этом градуировка шкалы преобразователя становится нелинейной.

Расширение зоны линейной градуировки может быть достигнуто с помощью турбулизации потока, обеспечивающей выравнивание поля скоростей в проточной части, например, при помощи турбулизатора или конфузора, устанавливаемого перед турбинкой.

Аксиальные турбинки наиболее чувствительны к направлению потока жидкости и поэтому на входе, а иногда и на выходе из турбинного преобразователя устанавливаются неподвижные направляющие лопатки, которые направляют поток параллельно оси трубопровода. Изменением угла наклона хотя бы одной из этих лопаток можно воздействовать на частоту вращения турбинки.

Несмотря на наличие струевыпрямителей, турбинные преобразователи нельзя устанавливать после местных сопротивлений, вызывающих закрутку потока. Тем не менее, прямолинейный участок трубы длиной $l_1 = 10D$ между местным сопротивлением и установленным за ним преобразователем в большинстве случаев оказывается достаточным для снижения влияния местного сопротивления до пренебрежимо малого значения. Применение мелкоячеистых сеток и других турбулизаторов на входе перед турбинным преобразователем оказывается также весьма эффективным для устранения деформаций потока, вызываемых местными сопротивлениями.

Большое значение для обеспечения стабильности статической характеристики и увеличения срока эксплуатации турбинного преобразователя имеет надежная работа его опор. Условия работы опор весьма тяжелые, они зависят от частоты вращения турбинки и смазывающей способности измеряемой жидкости. Изменение смазывающей способности жидкости может оказывать существенное влияние на характеристику преобразователя. Так, например, при замене воды на керосин (вязкости их близки) наблюдается возрастание частоты вращения турбинки, особенно это проявляется при уменьшении расхода в зоне переходного режима.

Механические примеси, содержащиеся в измеряемой среде, также оказывают влияние на работу преобразователей, так как их наличие приводит к изнашиванию подшипников. При наличии механических примесей в измеряемой среде преобразователи необходимо проверять не через 2-5 лет, как это указано в нормативно-технической документации, а, как минимум, после каждого отопительного сезона.

Газовая фаза, содержащаяся в измеряемой жидкости, также оказывает сильное влияние на работу турбинных преобразователей. Исследования показали, что если в теплоносителе содержится 5% объема газовой фазы (воздуха), то погрешность измерения расхода при этом может составлять 10% и более.

Также сильное влияние на работу турбинных преобразователей расхода оказывает температурный фактор. Как показали исследования, проведенные Ростестом на горячеводном проливочном стенде в г. Мытищи в 2002-2003 г.г., погрешность измерения расхода у турбинных преобразователей составляет около 0,1% на градус.

Поэтому в Германии турбинные преобразователи проверяют на горячеводных проливочных установках, в отличие от России (в России проливка проводится на холодной воде в соответствии с ГОСТом на поверку турбинных преобразователей) При этом преобразователи, устанавливаемые на подающем трубопроводе системы теплоснабжения проливаются при температуре 90°C , а преобразователи, устанавливаемые на обратном трубопроводе при температуре 45°C .

Турбинные преобразователи расхода, в зависимости от конструктивного выполнения, можно классифицировать следующим образом:

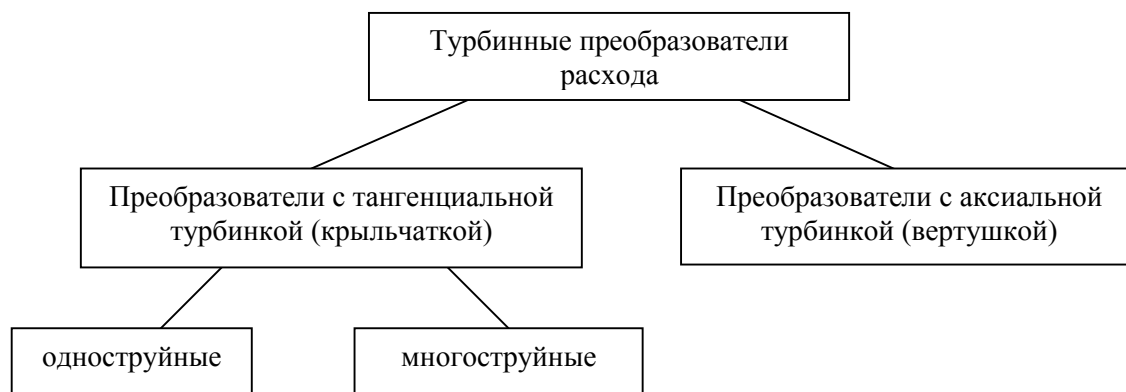


Рис. 5.11. Классификация турбинных преобразователей

Как видно из рис. 5.11, все турбинные преобразователи расхода можно разбить на две группы:

1. Преобразователи с тангенциальной турбинкой (крыльчаткой), ось которой направлена перпендикулярно потоку жидкости, а сам поток, поступающий на крыльчатку, направлен тангенциально к среднему радиусу лопаток (рис. 5.12).

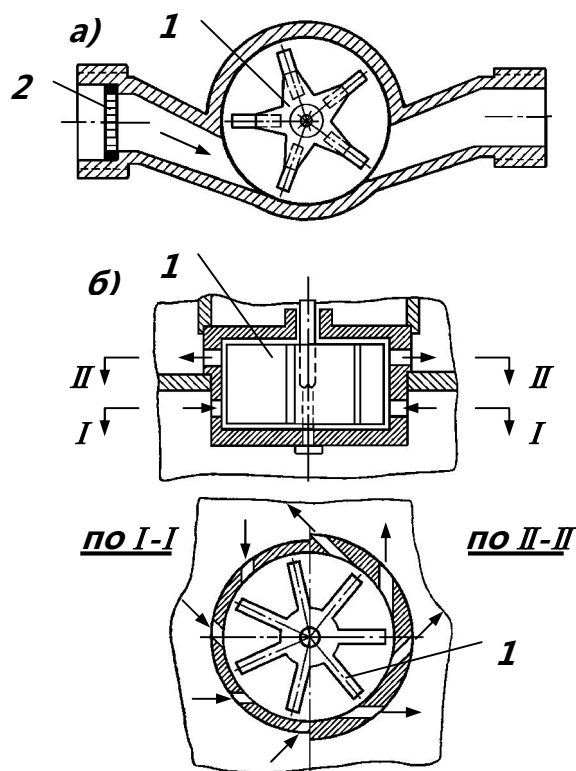


Рис. 5.12. Схема измерительного устройства турбинного преобразователя расхода с тангенциальной турбинкой: а) одноструйный; б) многоструйный

2. Преобразователи с аксиальной турбинкой, ось которой параллельна оси потока (рис. 5.13). Аксиальные турбинки имеют винтовые лопасти с параллельным по высоте углом подъема.

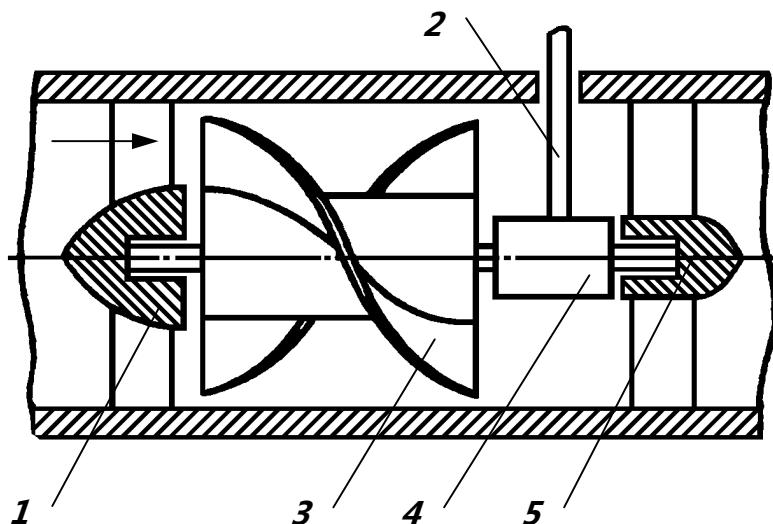


Рис. 5.13. Схема измерительного устройства турбинного преобразователя с аксиальной турбинкой:
1 – передний обтекатель; 2 – вал к передаточному и счетному устройствам; 3 – турбинка (вертушка);
4 – червячная пара передаточного механизма; 5 – задний обтекатель.

Преобразователи первой группы можно также разбить на два типа: одноструйные и многоструйные.

В одноструйных преобразователях (рис. 5.12а) поток жидкости одной общей струей поступает на турбинку, тангенциально по отношению к ней.

В серийных одноструйных преобразователях (водосчетчиках) применяется турбинка (крыльчатка) с плоскими радиальными плоскостями. Конструкция одноструйного водосчетчика приведена на рис. 5.14.

На входе водосчетчика установлен сетчатый фильтр 1. Крыльчатка 3 с радиальными лопатками закреплена на оси 4, передающей ее вращение магнитной муфте, состоящей из двух магнитов 5 и 6, разделенных перегородкой из немагнитного материала. Магнитная муфта приводит в действие счетный механизм 2, находящийся в пластмассовом кожухе. Это полностью исключает попадание воды на счетный механизм. Крыльчатка расположена на опорах 7, 8 из полудрагоценных камней (чаще всего сапфиров).

В одноструйных водосчетчиках используются высококачественные прецизионные подшипники из полудрагоценных камней, что обеспечивает долгосрочный срок службы водосчетчика и стабильность его параметров.

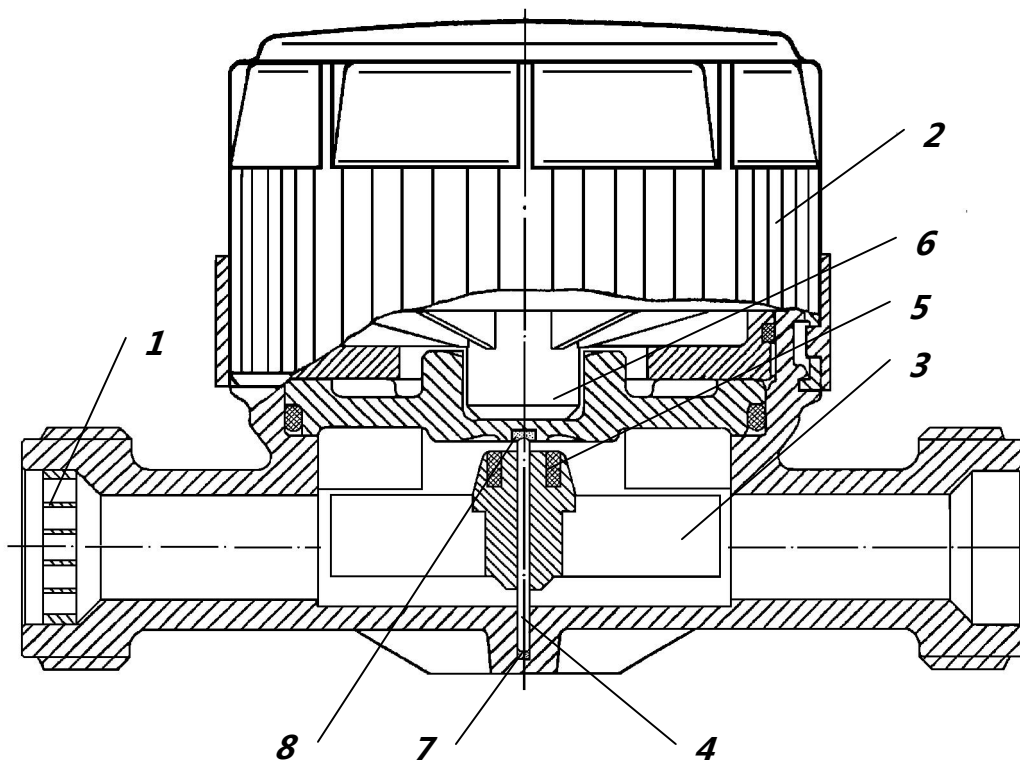


Рис. 5.14. Одноструйный водосчетчик с тангенциальной турбинкой:

1 – фильтр; 2 – счетный механизм; 3 – крыльчатка; 4 – ось крыльчатки;
5, 6 – магниты; 7, 8 – опоры из полудрагоценных камней.

Во избежание одностороннего изнашивания опор в одноструйных водосчетчиках применяют многоструйные водосчетчики (рис. 5.12б). В этих водосчетчиках вода поступает на лопасти крыльчатки тангенциально в виде нескольких отдельных струй через косые отверстия, равномерно расположенные в кольце, охватывающем турбинку. Многоструйные водосчетчики конструктивно сложнее одноструйных, но условия работы подшипников у них лучше и поэтому они имеют повышенную износостойчивость и наивысшую точность измерения.

Многоструйные крыльчатые водосчетчики выпускаются двух типов: **сухоходы и мокроходы**. У сухоходов счетное устройство вместе с циферблатом отделено от измеряемой жидкости герметичной перегородкой, препятствующей попаданию жидкости на счетный механизм. У мокроходов счетное устройство и циферблат находится в измеряемой жидкости. Над циферблатом находится толстое стекло, выдерживающее рабочее давление. Конструктивно мокроходы проще сухоходов, но в процессе эксплуатации они требуют периодической очистки от механических примесей, содержащихся в измеряемой жидкости. Поэтому мокроходы имеют ограниченное применение, и поэтому в дальнейшем мы их рассматривать не будем.

Конструкция многоструйного водосчетчика приведена на рис. 5.15.

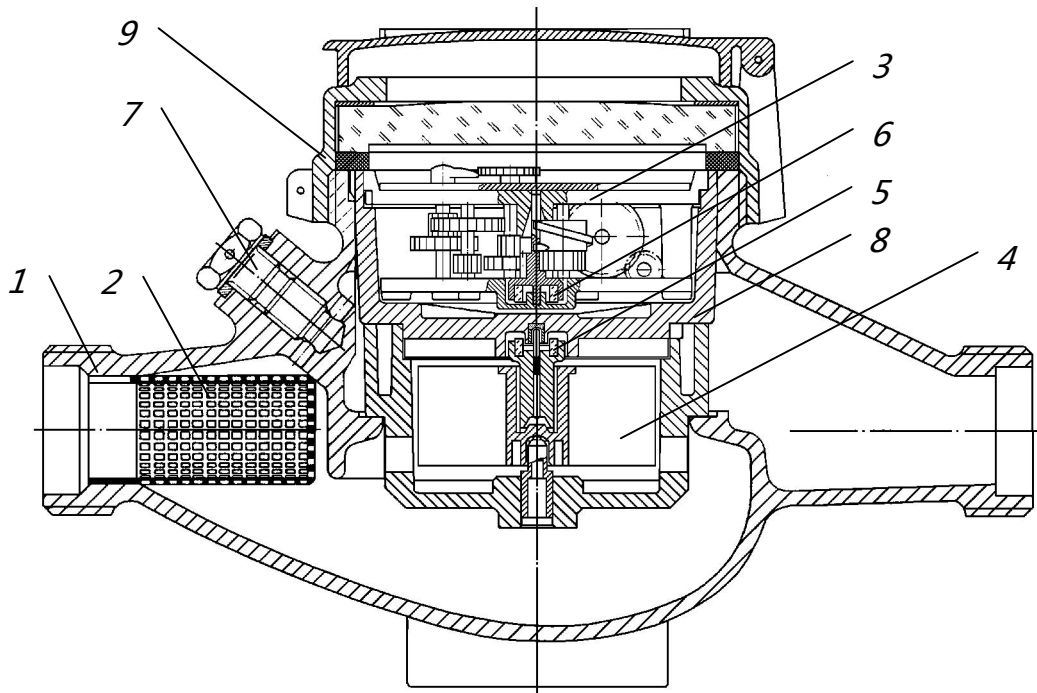


Рис. 5.15. Многоструйный водосчетчик с тангенциальной турбинкой:

1- корпус; 2 – фильтр; 3 – счетный механизм; 4 – крыльчатка; 5, 6 – магниты;
7 – регулировочный винт; 8 – диамагнитная перегородка; 9 – измерительная вставка.

В корпусе 1 водосчетчика перед входом воды установлен сетчатый фильтр 2. Счетный механизм 3 отделен от воды диамагнитной перегородкой 8. Турбинка 4 связана с ведущим магнитом 5, который через перегородку передает вращение ведомому магниту 6 и далее счетному механизму. Крыльчатка, единственная подвижная часть водосчетчика, находящаяся в воде, вращается на сапфировых подшипниках. Регулирование осуществляется при помощи регулировочного винта 7.

В многоструйных водосчетчиках входные и выходные каналы симметричны относительно друг друга и поэтому отсутствуют односторонние нагрузки на опоры. Большое число входных и выходных каналов обеспечивает измерение в широком диапазоне и с большой чувствительностью.

Технические характеристики водосчетчиков с тангенциальной турбинкой приведены в табл. 5.3.

Технические характеристики водосчетчиков класса А с тангенциальной турбинкой

Тип счетчика	Параметр							Примечание
	d_y , мм	t_{max} , °С	G_{min} , м ³ /ч	G_t , м ³ /ч	$G_э$, м ³ /ч	G_p , м ³ /ч	G_{max} , м ³ /ч	
ЕТК/ЕТW	15	30/90	0,06	0,15	-	1,5	3,0	Технические характеристики данного типа водосчетчиков зависят от класса. Существует 4 класса: А, В, С, Д. В табл. приведены технические характеристики для класса А.
	20	30/90	0,1	0,25	-	2,5	5,0	
МТК/МТW	15	30/90	0,06	0,15	-	1,5	3,0	
	20	30/90	0,1	0,25	-	2,5	5,0	
	25	30/90	0,14	0,35	-	3,5	7,0	
	32	30/90	0,24	0,6	-	6,0	12,0	
ВСГ/ВСТ	40	30/90	0,4	1,0	-	10,0	20,0	
	25	90/150	0,14	0,35	2,1	3,5	7,0	
	32	90/150	0,24	0,6	3,6	6,0	12,0	
	40	90/150	0,3	1,0	6	10,0	20,0	

Здесь t_{max} – максимальная температура воды, при которой водосчетчик работает устойчиво и погрешность измерения расхода не превышает паспортные значения; G_{min} , G_t , $G_э$, G_p , G_{max} – минимальный, переходный, эксплуатационный, номинальный и максимальный расход воды.

Под минимальным (наименьшим) расходом G_{min} понимается расход, ниже которого погрешность водосчетчика не нормируется.

Под переходным расходом G_t понимается расход, при котором нормируемая погрешность водосчетчика изменяется скачкообразно.

Под эксплуатационным расходом $G_э$ понимается расход, при котором водосчетчик может работать непрерывно в течение длительного времени (срока эксплуатации). Он лежит в пределах от 24 до 48% от максимального расхода. Ранее таким расходом считался номинальный расход, равный 50% от максимального.

Под максимальным (наибольшим) расходом G_{max} понимается расход, при котором водосчетчик может работать не более 1 часа в сутки.

Расходы воды в пределах от эксплуатационного до максимального допускаются лишь кратковременно, чтобы объем воды, прошедший через водосчетчик за сутки (месяц), не превышал нормативных значений, приводимых в паспорте водосчетчика.

Пределы допускаемых относительных погрешностей измерения расхода для всех типов водосчетчиков, приведенных в табл. 5.3, при выпуске из производства не должны превышать следующих значений:

$$\delta G = \pm 5\% \text{ при } G_{min} \leq G \leq G_t, \quad (5.7)$$

$$\delta G = \pm 2\% \text{ при } G_t \leq G \leq G_{max}, \quad (5.8)$$

В процессе эксплуатации водосчетчиков допускается увеличение погрешности и ее предел определяется по формулам:

$$\delta G = \pm(2 + 0,17\tau) \leq 4\% \text{ при } G_t < G \leq G_{\max}, \quad (5.9)$$

$$\delta G = \pm(5 + 0,17\tau) \leq 10\% \text{ при } G_{\min} < G \leq G_t, \quad (5.10)$$

где τ - время эксплуатации, тыс. час.

Отметим, что в некоторых зарубежных странах (Нидерланды, США) используются два значения погрешности измерения расхода: нормативная погрешность при выходе из производства, приведенная в паспорте водосчетчика, и эксплуатационная погрешность при вводе прибора в эксплуатацию, которая в 2-3 раза выше нормативной.

Рассмотрим теперь преобразователь расхода второй группы – водосчетчики с аксиальной турбинкой (вертушкой).

Аксиальная турбинка имеет винтовые лопасти с переменным по высоте углом подъема винтовой линии. Схема аксиальной турбинки для труб небольшого диаметра показана на рис. 5.13. Непосредственно на ступице установлены несколько лопастей (4-6). Ось турбинки параллельна потоку и вращается в подшипниках скольжения. В турбинках средних размеров применяются как подшипники скольжения, так и шарикоподшипники. При больших диаметрах число лопастей возрастает до 20-24, но длина их по винтовой линии очень мала.

Срок службы турбинного преобразователя зависит главным образом от опорных узлов, работающих в тяжелых условиях. Ось турбинки изготавливают из материалов с повышенной износостойкостью, остальные вращающиеся части – из алюминиевых сплавов и пластмасс. Подшипники скольжения изготавливают из графита или пластмасс. Наконечники осей изготавливают из сплава иридий-осмий или других твердых сплавов. Наиболее часто опоры размещают с обеих сторон турбинки. Передний и задний подшипники помещают внутри обтекателей, обеспечивающих безвихревое течение жидкости. Обтекатели крепятся к неподвижным струенаправляющим лопаткам. Конструкцию одной из моделей водосчетчика с аксиальной турбинкой показана на рис. 5.16.

Вода поступает в турбинку 7, пройдя через струевыпрямитель 8, в ребрах которого укреплен обтекатель 10, содержащий передний подшипник 9. У струевыпрямителя одна из лопастей 6 может поворачиваться при вращении регулировочного винта 4, который затем закрывается крышкой и пломбируется. Задний подшипник вместе с упорным, выполненным в виде регулировочного винта 4 с агатовым наконечником и червячной парой, передающей вращение от турбинки паре сменных шестерен 3, заключены внутри кронштейна 5. В нем же находятся и опоры вертикальной оси червячного колеса.

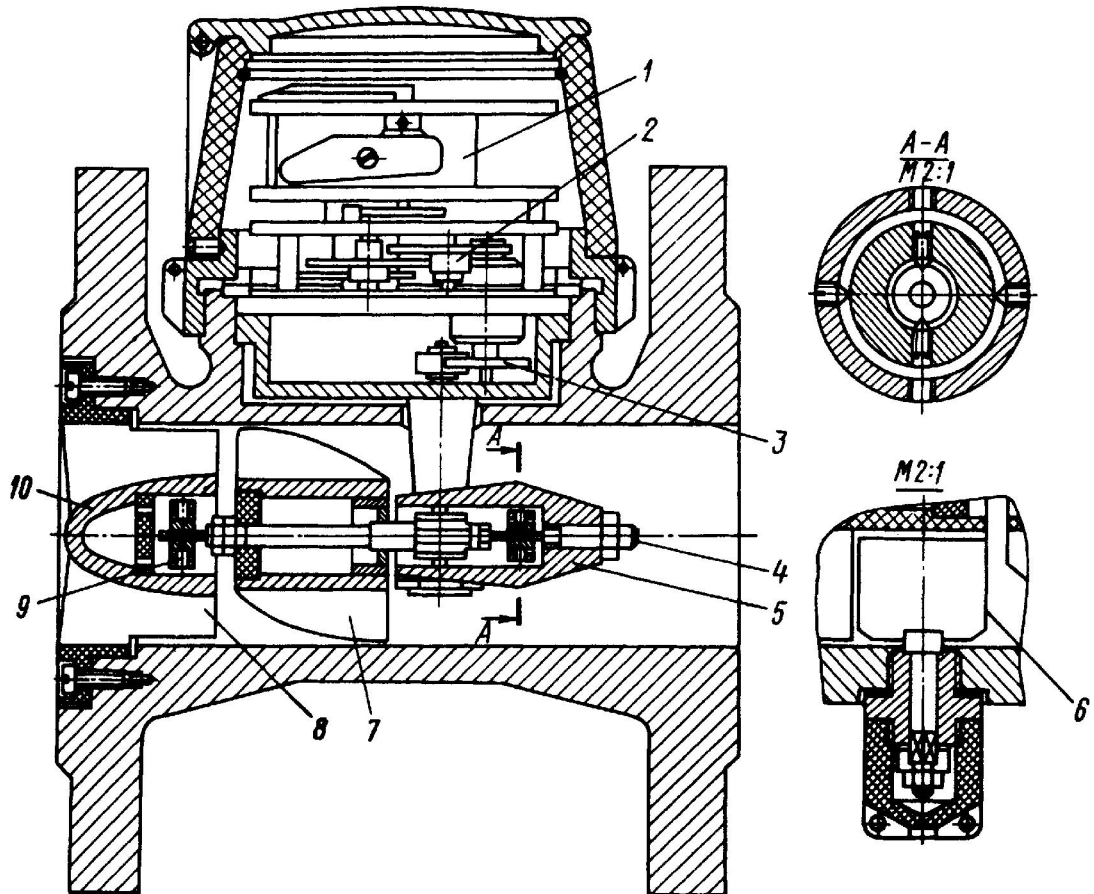


Рис. 5.16. Счетчик воды с аксиальной турбинкой:

1 – счетный механизм; 2 – редуктор; 3 – магнитная полумуфта; 4 – регулирующий винт; 5 – кронштейн; 6 – управляющая лопасть; 7 – турбинка; 8 – струевыпрямитель; 9 – подшипник; 10 – обтекатель.

Шестерня 3 вращает магнитную полумуфту, отделенную водонепроницаемой диамагнитной перегородкой от второй магнитной полумуфты, соединенной с редуктором 2, и через последний со счетным механизмом 1.

Технические характеристики водосчетчиков с аксиальной турбинкой приведены в табл. 5.4.

В табл. 5.4 приняты те же обозначения, что и в табл. 5.3.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения расхода для типов водосчетчиков, приведенных в табл. 5.4, такие же, как и для типов водосчетчиков с тангенциальной турбинкой, приведенных в табл. 5.3, а именно: определяются формулами (5.7) – (5.10).

Технические характеристики водосчетчиков с аксиальной турбинкой

Тип счетчика	Параметр						
	d_y , мм	t_{max} , °C	G_{min} , м ³ /ч	G_t , м ³ /ч	G_o , м ³ /ч	G_n , м ³ /ч	G_{max} , м ³ /ч
ВСТ	50	150	1,5	3,0	16	20	40
	65	150	1,5	5,0	28	35	70
	80	150	1,9	6	44	55	110
	100	150	2,5	6	72	90	180
	125	150	5,5	10	100	125	250
	150	150	5,5	12	140	175	350
	200	150	12	20	260	325	650
	250	150	20	40	480	600	1200
MEINESKE COSMOS WS	50	130	0,25	1,5	-	15	30
	65	130	0,3	2,5	-	25	60
	80	130	0,3	2,5	-	40	85
	100	130	0,5	4,4	-	60	125
	150	130	0,8	42	-	150	300
MEINESKE COSMOS WP	200	130	8	20	-	250	500
	250	130	25	45	-	500	1000
	300	130	30	50	-	600	1200

Тахометрические преобразователи нашли широкое применение благодаря следующим преимуществам:

1. Не потребляют энергии извне, а используют для своей работы энергию движущегося потока жидкости.
2. Не требуют при их монтаже наличие длинных прямолинейных участков до и после преобразователя. Как правило, достаточно иметь прямолинейные участки трубопровода до преобразователя $l_1=(3-5)d_y$ и после него $l_2=(1-2)d_y$.
3. Достаточно широкий, по сравнению с РППД, диапазон измерения расхода $G_{min}/G_{max}=1/25$.

Однако необходимо отметить, что тахометрические преобразователи имеют также и достаточно серьезные недостатки:

1. Оказывают гидравлическое сопротивление потоку жидкости, что снижает располагаемый перепад в системе теплоснабжения объекта.
2. Надежность работы преобразователей сильно зависит от качества теплоносителя. Наличие в теплоносителе механических и газообразных примесей приводит к механическим и метрологическим отказам. Поэтому перед преобразователями необходимо устанавливать специальные системы очистки: грязевики, фильтры, воздухоуделители.

3. Для поверки требуется специальное дорогостоящее оборудование: проливочные стенды. Поверка преобразователей производится на специальных проливочных установках (стендах). Причем в России, в соответствии с НТД, проливка производится холодной водой.
4. Наличие дополнительных погрешностей, возникающих в процессе эксплуатации преобразователей, неучтенных в нормативно-технической документации (НТД). Так как проливка производится на чистой холодной воде, а при эксплуатации через преобразователь проходит «грязный» горячий теплоноситель, то поэтому возникают дополнительные неучтенные факторы, которые влияют на метрологические характеристики преобразователя. Например, наличие в теплоносителе 5% растворимого воздуха дает дополнительную погрешность в измерении расхода около 10%.
5. Узкий межповерочный интервал (не более года). Несмотря на то, что в НТД на преобразователи указан межповерочный интервал МПИ от 2 до 5 лет, фактический МПИ, как показывает опыт эксплуатации тахометрических расходомеров, применяемых в узлах учета тепла, для большинства регионов России не превышает одного года. Это связано с неучтенными в НТД дополнительными факторами, которые оказывают влияние на метрологические характеристики преобразователей.

5.2.3. Электромагнитные преобразователи расхода.

В основе работы электромагнитных расходомеров лежит закон Фарадея об электромагнитной индукции: при прохождении электромагнитной жидкости через магнитное поле в ней, как в движущемся проводнике, наводится электродвижущая сила, пропорциональная скорости движения жидкости.

Наиболее широкое применение получили электромагнитные расходомеры, у которых измеряется ЭДС, индуцируемая в жидкости при пересечении ею магнитного поля.

На Рис. 5.17 приведена принципиальная схема электромагнитного расходомера.

Измерительный участок электромагнитного расходомера изготавливается из немагнитного материала, футерованного изнутри неэлектропроводящим материалом (фторопласт, винипласт, керамика, резина). Сверху и снизу расположены электромагниты, а перпендикулярно направлению движения жидкости расположены два электрода, с которых снимается ЭДС (Рис. 5.17).

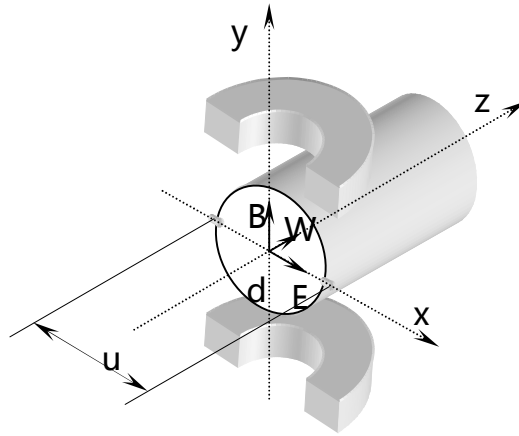


Рис. 5.17. Принципиальная схема электромагнитного расходомера

ЭДС, наведенная в электродах при движении жидкости, пропорциональна средней скорости потока жидкости W , расстоянию между электродами d и величине электромагнитной индукции B :

$$E = BdW = 4BV / \pi D_B, \quad (5.11)$$

где D_B – внутренний диаметр измерительного участка, как правило, равный D , V – объемный расход жидкости, протекающий через измерительный участок.

ЭДС, наведенная на электродах первичного преобразователя, поступает в электронный блок для дальнейшей обработки. Она не зависит ни от вязкости, ни от температуры, ни от электропроводимости жидкости, при условии, что минимальная удельная проводимость жидкости σ более $5 \mu S / см$. Например, проводимость питьевой воды $\sigma = 200-800 \mu S / см$, молока - $\sigma = 200-300 \mu S / см$, а пива - $\sigma = 600-1000 \mu S / см$. Для дистиллированной воды $\sigma = 4 \cdot 10^{-6} \mu S / см$.

Примечание.

Удельная проводимость $[\sigma] = (Ом \cdot м)^{-1} = S / м$ - это величина, обратно пропорциональная удельному сопротивлению, где $[S] = [Cu] = Ом^{-1}$ - называется Сименс. Для справки: $1 \mu S / см = 10^{-6} S / см = 10^{-4} S / м$.

При осесимметричном потоке показания электромагнитных расходомеров не зависят от вида течения: ламинарное или турбулентное.

При несимметричном профиле скорости появляется влияние деформации поля скорости на показания расходомера, хотя и в меньшей степени, чем у расходомеров переменного перепада давления.

Для большинства случаев использования электромагнитных расходомеров достаточно иметь прямолинейный участок перед расходомером $l_1=(5-10)d_y$ и только при очень сильной деформации потока $l_1=(20-25)d_y$.

Основные элементы первичного преобразователя электромагнитного расходомера:

- измерительный участок – отрезок трубы из диамагнитного материала, футерованный внутри изоляционным материалом (резина, эмаль, полиуретан, фторопласт, керамика и т.д.);
- электромагнитная система, закрепленная снаружи измерительного участка;
- два электрода для снятия ЭДС, возникающей при пересечении потоком жидкости магнитного поля.

В большинстве случаев внутренний диаметр измерительного участка $D_B=D$, где D – внутренний диаметр трубопровода, на котором установлен расходомер. Однако, при малых скоростях целесообразно использовать расходомеры с $D_B<D$, так как это с одной стороны увеличивает ЭДС, а значит повышает точность измерений, а с другой стороны способствует очистке электродов от отложений из-за увеличенной скорости течения жидкости.

В качестве футеровки измерительного участка чаще всего используют фторопласт из-за его коррозионной стойкости и незначительной изнашиваемости. Фторопласт рекомендуется использовать при давлении до 10 бар и температуре до 150°C .

В последнее время в качестве футеровочного материала используется керамика. Например, в теплосчетчике КМ-5 в качестве футеровочного материала используется вакуумно-плотная керамика.

Рассмотрим преимущества этого материала.

1. Запекаясь при $t=1700^{\circ}\text{C}$, керамика приобретает твердость алмаза. Обладая высокой устойчивостью к агрессивным средам, керамика хорошо работает на истирание, что гарантирует долговечность работы при любых режимах эксплуатации.
2. Керамика практически не абсорбирует воду – процент абсорбции не превышает 0,02%. Это препятствует скоплению различных отложений на внутренней стенке измерительного участка, способствуя самоочистке поверхности, что позволяет сохранить заявленные метрологические характеристики.
3. Коэффициент линейного расширения керамической футеровки практически равен нулю, что позволяет сохранить неизменным внутренний диаметр измерительного участка, а, следовательно, и межэлектродное расстояние, что исключает дополнительную погрешность измерения ЭДС, а значит и объемного расхода.

Электроды преобразователей изготавливают из антикоррозийного и достаточно твердого материала (титан, платино-иридиевые сплавы, коррозионно-стойкая сталь). В процессе эксплуатации электроды могут загрязняться – это может привести к искажению измеряемых параметров: измеряемой ЭДС.

При мягких загрязнениях электроды могут самоочищаться текущей жидкостью, особенно если она содержит твердые частицы. Более эффективен ультразвуковой метод очистки электродов, который может быть использован как для мягких, так и для твердых загрязнений и который используется в электромагнитных расходомерах зарубежных фирм, например, в расходомерах фирм Йокогава-Электрик (Япония), Фишер-Роземаунт (Англия) и др. В этом случае к электродам присоединяется пьезоэлемент, на который периодически подается напряжение с частотой 45-65 кГц. Возникающие при этом механические колебания приводят к отделению с поверхности электродов загрязнений, которые уносятся жидкостью.

Первичный преобразователь электромагнитного расходомера должен устанавливаться таким образом, чтобы весь объем измерительного участка был заполнен жидкостью. Примеры установки показаны на Рис. 5.18.

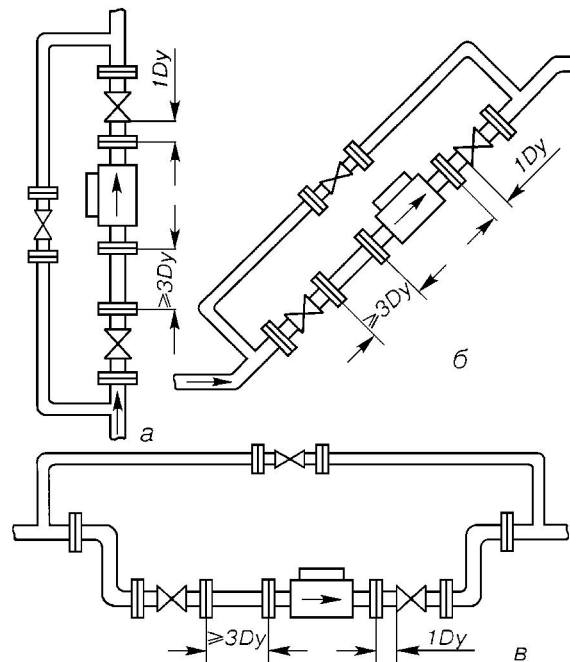


Рис. 5.18. Принципиальная схема установки электромагнитных расходомеров на трубопроводах:

а) вертикальный; б) наклонный; в) горизонтальный.

Технические характеристики наиболее широко распространенных электромагнитных расходомеров, применяемых в составе теплосчетчиков, приведены в табл. 5.5.

Паспортные характеристики электромагнитных расходомеров

Преобразователь	d _y , мм	Объемный расход, м ³ /ч			δV, %		Примечание
		V _{min}	V _t	V _{max}	V _{min} - V _t	V _t - V _{max}	
1	2	3	4	5	6	7	8
ППС-5 теплосчетчика КМ-5	10	0,0025	0,05	2,5	2	1	Для этого преобразователя существуют три модели: в зависимости от диапазона расходов C ₁ = V _{min} / V _{max} 1. А- C ₁ =50 2. В- C ₁ =250 3. С- C ₁ =1000
	15	0,006	0,12	6	2	1	
	25	0,016	0,32	16	2	1	
	40	0,04	0,8	40	2	1	
	50	0,06	1,2	60	2	1	
	80	0,16	3,2	160	2	1	
	100	0,25	5,0	250	2	1	
	150	0,6	12,0	600	2	1	
	200	1,0	20,0	1000	2	1	
ПРЭМ	20	0,02	0,06	9,0	5/2	1	5% в поддиапазоне V _{min} - V _t ; 2% в поддиапазоне V _t - V _t
	32	0,06	0,2	26,0	5/2	1	
	50	0,18	0,72	720	5/2	1	
	80	0,48	1,8	180	5/2	1	
	100	0,72	2,88	288	5/2	1	
ППРЭ теплосчетчика «Взлет»	10	0,028		3,4			Погрешность нормируется отдельно от каждого значения расхода δ = (0,45 – 3)%
	20	0,113		13,58			
	32	0,29		34,78			
	40	0,45		54,3			
	50	0,708		84,9			
	65	1,2		143,5			
	80	1,81		217,3			
	100	2,83		339,6			
	150	6,37		764,1			
ПРН теплосчетчика SA-94	10	0,1	0,2	2,5	4	2	Диапазон измерения расходов V _{min} / V _{max} =1/25. Однако при помощи переключателя можно уменьшить в 10 раз V _{max} , при этом V _{min} также уменьшится в 10 раз, но V _{min} / V _{max} не изменится
	15	0,24	0,48	6	4	2	
	25	0,64	1,28	16	4	2	
	40	1,6	3,2	40	4	2	
	50	2,4	4,8	60	4	2	
	80	6,4	12,8	160	4	2	
	100	10	20	250	4	2	
	150	24	48	600	4	2	
	200	40	80	1000	4	2	
	300	100	200	2500	4	2	
ППР теплосчетчика ТЭМ-05М	10	0,02	0,04	1,0	4	2	Диапазон измерения расходов V _{min} / V _{max} =1/50. Существует три диапазона переключения V _{max} =0,5; 0,25V _{max} , при этом V _{min} / V _{max} не изменяется
	15	0,1	0,2	5,0	4	2	
	25	0,2	0,4	10,0	4	2	
	32	0,4	0,8	20,0	4	2	
	50	0,8	1,6	40,0	4	2	
	80	2,0	4,0	100	4	2	
	100	4,0	8,0	200	4	2	
	150	8,0	16,0	400	4	2	

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8
СТЭМ	25	0,16	0,64	16	2	1	Диапазон измерения расходов $V_{\min}/V_{\max} = 1/100$. С помощью переключателя можно установить следующие диапазоны: $V_{\max} = 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10; 12,5; 16$, при этом V_{\min}/V_{\max} не измениться
	32	0,25	1,0	25	2	1	
	50	0,6	2,4	60	2	1	
	80	1,6	6,4	160	2	1	
	100	2,5	10	250	2	1	
	150	6,0	24	600	2	1	
	200	10,0	40	1000	2	1	
	300	25,0	100	2500	2	1	

Электромагнитные расходомеры получили широкое применение, благодаря следующим достоинствам:

1. Не имеют движущихся частей и не оказывают дополнительного гидравлического сопротивления.
2. Имеют широкий диапазон измерения расходов: G_{\min}/G_{\max} от 1/25 до 1/1000.
3. Линейность шкалы.
4. Не требует длинных прямолинейных участков перед и после расходомеров. Как правило, для большинства используемых расходомеров задекларировано $l_1 = (3-5)d_y$, $l_2 = (1-3)d_y$.
5. Быстродействие.

Однако следует отметить, что при всех своих достоинствах электромагнитные расходомеры имеют также и следующие недостатки:

1. Потребляют электроэнергию от внешних источников (около 60 ВА).
2. Не могут использоваться для плохопроводящих жидкостей, а также газа, пара и жидкостей, содержащих достаточное количество газообразных примесей (воздуха).
3. Сложная поверка, как правило, проливным способом с использованием дорогостоящих стендов.
4. Влияние загрязнений электродов и температуры теплоносителя на метрологические характеристики расходомеров. В настоящее время отсутствуют экспериментальные данные о влиянии этих факторов на метрологические характеристики расходомеров, хотя в процессе эксплуатации расходомеров это влияние наблюдается.

5.2.4. Ультразвуковые преобразователи расхода.

Ультразвуковые расходомеры по принципу действия разделяются на два больших класса: расходомеры, основанные на перемещении акустических колебаний движущейся средой и расходомеры, основанные на эффекте Допплера.

По частоте акустических колебаний их также можно разбить на две группы:

- расходомеры, используемые для измерения расхода чистых жидкостей;
- расходомеры, используемые для измерения расхода загрязненных жидкостей.

При измерении расхода чистых жидкостей обычно используют высокие частоты: (0,1-1) МГц.

При измерении расхода загрязненных жидкостей во избежание рассеяния и поглощения акустических колебаний используют более низкие частоты: десятки килогерц.

Частота подбирается таким образом, чтобы длина волны была на порядок выше диаметра твердых или газообразных примесей.

Низкие частоты используются также и при измерении расхода газов и паров.

Главными элементами ультразвуковых расходомеров являются приемники и излучатели акустических колебаний, изготавливаемые из пьезокерамических материалов.

Принцип их действия состоит в следующем.

При сжатии и растяжении пьезоэлементов в определенных направлениях на их поверхности образуются электрические заряды – прямой пьезоэффект. И, наоборот, если к поверхностям пьезоэлемента приложить разность электрических потенциалов, то пьезоэлемент растянется или сожмется, в зависимости от того, на какой из поверхностей будет большее напряжение – обратный пьезоэффект.

На обратном пьезоэффекте основана работа излучателей, преобразующих электрическое напряжение в акустические (механические) колебания той же частоты.

В качестве пьезокерамических материалов для излучателей и приемников акустических колебаний применяют чаще всего титанат бария или цирконат титаната свинца. После специальной обработки поверхности излучателей и приемников покрывают слоем металла (обычно серебрят) и к этому слою припаивают электроды.

С целью увеличения интенсивности колебаний работают, как правило, на резонансной частоте пьезоэлемента, которая зависит от толщины пьезоэлемента:

$$f_p = C_n / \delta, \quad (5.12)$$

где f_p – резонансная частота пьезоэлемента, C_n – скорость ультразвука в пьезоэлементе, а δ - толщина пьезоэлемента.

Так, например, при $\delta=1$ мм, $f_p=2,25$ МГц для титаната свинца и $f_p=1,8$ МГц для цирконата титаната свинца.

При чистых жидкостях наиболее целесообразно работать на высоких частотах и поэтому применяют тонкие пьезоэлементы. При измерении расходов грязных жидкостей с

механическими или газовыми примесями целесообразно применять низкие резонансные частоты. В этом случае используют толстые пьезокерамические пластины или с обеих сторон наклеивают на пластину металлические накладки.

Рассмотрим принцип действия однолучевого (одноканального) ультразвукового расходомера (рис. 5.19).

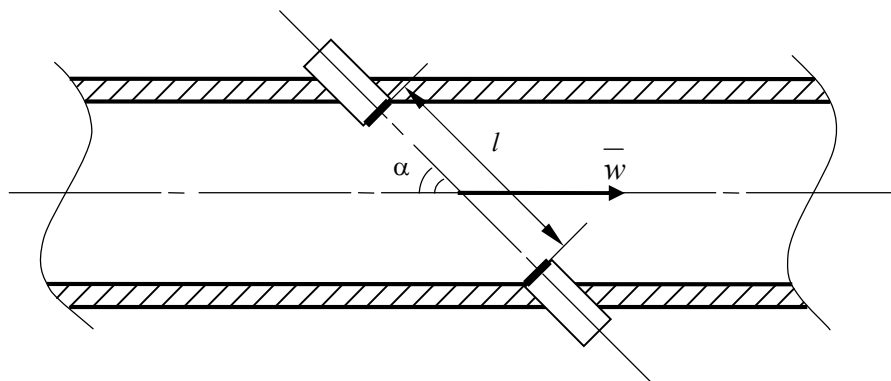


Рис. 5.19. Принципиальная схема первичного преобразователя

Первичный преобразователь расхода, изображенный на рис. 5.19, состоит из отрезка стальной трубы, к которой напротив друг друга под углом α к оси трубы приварены два держателя для крепления пьезоэлементов. Пьезоэлементы преобразователя попеременно работают в режиме приемник-излучатель.

Принцип действия расходомера основан на том, что скорость звука увеличивается, если он распространяется в направлении потока и уменьшается, если он посылается в направлении против потока.

Если акустические колебания направлены по потоку (рис. 5.20), то время их прохождения между пьезоэлементами вычисляется по формуле (5.13), а при обратном направлении звуковых колебаний (рис. 5.21) время прохождения того же расстояния рассчитывается по формуле (5.14).

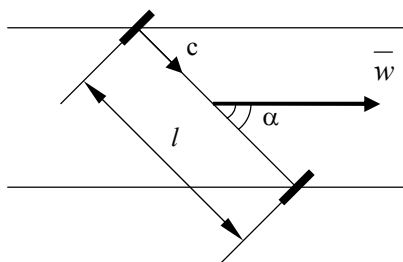


Рис. 5.20

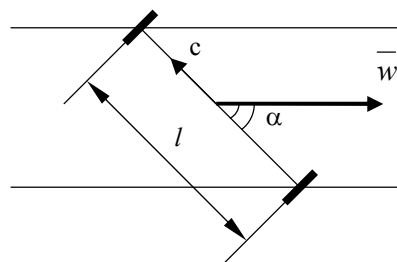


Рис. 5.21

$$\tau_1 = \frac{l}{c + \bar{w} \cos \alpha} = \frac{l/c}{1 + (\bar{w}/c) \cos \alpha}, \quad (5.13)$$

$$\tau_2 = \frac{l}{c - \bar{w} \cos \alpha} = \frac{l/c}{1 - (\bar{w}/c) \cos \alpha} \quad (5.14)$$

В формулах (5.13) и (5.14) приняты следующие обозначения: l - расстояние между пьезоэлементами, \bar{w} - скорость измеряемой среды, c - скорость распространения акустических колебаний в неподвижной измеряемой среде.

Учитывая, что $(\bar{w} \cos \alpha / c)^2 \ll 1$, можно показать, что

$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2l\bar{w} \cos \alpha}{c^2} \quad (5.15)$$

Если акустические колебания направлены вдоль оси трубы ($\alpha = 0$), то формула (5.15) преобразуется в формулу

$$\Delta \tau = \frac{2l\bar{w}}{c^2} \quad (5.16)$$

Таким образом, видно, что разность времен прохождения акустических колебаний по и против потока прямо пропорциональна скорости течения измеряемой среды.

Имеется несколько способов измерения величины $\Delta \tau$: фазовый, времяимпульсный и частотный.

В фазовых расходомерах измеряется разность фазовых сдвигов акустических колебаний, направленных по и против потока жидкости.

В времяимпульсных расходомерах непосредственно измеряется время прохождения коротких импульсов по и против потока.

В частотных расходомерах измеряется разность частот повторения коротких импульсов или пакетов импульсов, направленных по и против потока.

Разница времени прохождения акустических колебаний по и против потока измеряется в электронном блоке (вторичный преобразователь) и пересчитывается в объемный расход.

По числу акустических каналов ультразвуковые расходомеры подразделяются на: однолучевые (одноканальные), двухлучевые (двухканальные) и многолучевые (многоканальные).

Однолучевые имеют только два пьезоэлемента, каждый из которых попеременно выполняет функции излучателя и приемника.

Двухлучевые имеют по два излучателя и два приемника, которые образуют два независимых канала и которые располагаются или параллельно, или перекрещиваются друг с другом.

Схемы первичных преобразователей ультразвуковых расходомеров приведены на рис. 5.22, а их конструкционное исполнение на рис. 5.23.

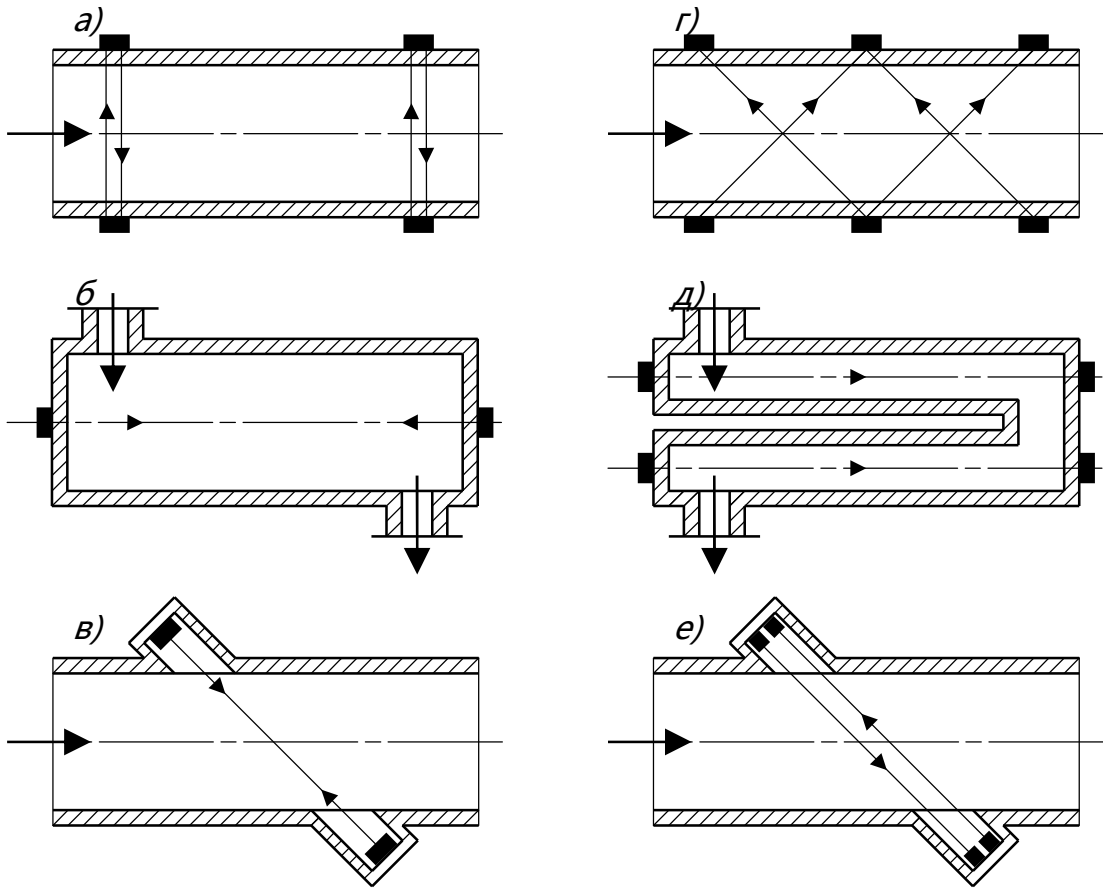


Рис. 5.22. Схемы первичных преобразователей УЗР:
а, б, в – однолучевые; г, д, е – двухлучевые

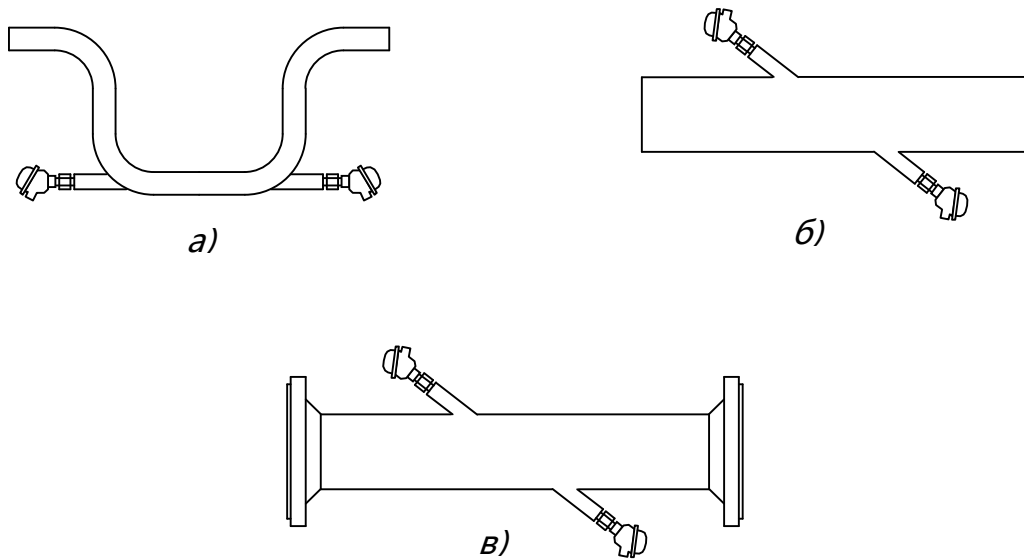


Рис. 5.23. Конструкции первичных преобразователей УЗР

Многоканальные расходомеры используются при измерении расхода деформированных потоков или же с целью увеличения точности измерений расхода при использовании расходомера в качестве образцового.

Как видно из формул (5.15)-(5.16) разность времени прохождения акустических колебаний по и против потока $\Delta\tau$ пропорциональна средней осевой скорости потока \bar{w} . В этих формулах под \bar{w} понимается усредненная по площади поперечного сечения трубопровода осевая скорость потока, рассчитываемая по формуле:

$$\bar{w} = \frac{1}{F} \int_0^F w dF = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R 2\pi r w_r dr, \quad (5.17)$$

где R – радиус трубопровода, а w_r – скорость на расстоянии r от центра трубы.

Однако в наиболее распространенных УЗР с угловым вводом акустических колебаний ультразвуковой луч реагирует на осредненную по диаметру, а не по площади, скорость потока \bar{w}_D , которая рассчитывается по формуле:

$$\bar{w}_D = \frac{1}{R} \int_0^R w_r dr \quad (5.18)$$

Сравнивая формулы (5.17) и (5.18), видим, что

$$\bar{w} = k \bar{w}_D, \quad (5.19)$$

где k – это гидродинамический коэффициент ($k < 1$).

Объемный расход в этом случае рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} k \bar{w}_D, \quad (5.20)$$

где $k = \bar{w} / \bar{w}_D$ - гидродинамический коэффициент, зависящий от многих факторов:

- шероховатости стенок трубопровода;
- профиля скорости в измерительном участке $w_r = f(r)$;
- способа установки пьезоэлементов (по хорде или диаметру).

Для УЗР с зондированием в диаметральной плоскости этот коэффициент находится путем экспериментальной градуировки.

В хордовых расходомерах, когда акустические колебания посылаются по хорде, а не по диаметру, можно при определенном положении хорды получить $k = 1$.

Для повышения точности УЗР необходимо перед преобразователем расхода установить сопло или конфузор, создающий на выходе равномерный профиль скорости. Особенно это необходимо при деформированном профиле скорости потока.

Конструктивно первичный преобразователь расхода УЗР представляет из себя отрезок трубы (измерительный участок), на котором установлены два или четыре

пъезоэлемента. Как правило, используются дисковые пьезоэлементы, дающие направленное излучение. При этом необходимо, чтобы снос центрального луча не превышал радиуса приемного пьезоэлемента.

При малых диаметрах измерительного участка иногда применяют не дисковые, а кольцевые пьезоэлементы.

Рассмотрим более подробно различные типы УЗР: фазовые, частотные и времяимпульсные.

В частотных и времяимпульсных расходомерах используют высокую частоту $f = 5-10$ МГц, так как увеличение частоты ультразвуковых колебаний ведет к повышению точности измерений.

В фазовых расходомерах частота выбирается таким образом, чтобы при максимальном расходе получить наибольшую разность фаз. Обычно используется частота от 50 кГц до 2 МГц.

5.2.4.1. Фазовые ультразвуковые расходомеры.

Фазовыми называются расходомеры, основанные на зависимости $\Delta\varphi = \Phi(\Delta\tau)$, где $\Delta\varphi$ - фазовый сдвиг возникающий на приемниках при прохождении ультразвуковых колебаний по и против потока.

Если начальные фазы обоих колебаний, имеющих период T и частоту f , одинаковы, то

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta\tau}{T} = 2\pi f \Delta\tau \quad (5.21)$$

Подставив в (5.21) $\Delta\tau$ из (5.15), получим:

$$\Delta\varphi = 2l\omega\bar{w} \cos\alpha / c^2, \quad (5.22)$$

где $\omega = 2\pi f$ - круговая частота колебаний.

Разность фаз $\Delta\varphi$ измеряется фазометром. Измерив $\Delta\varphi$, можем найти \bar{w} и затем по формуле (5.20) объемный расход.

Фазовые расходомеры были ранее наиболее распространены среди других типов ультразвуковых расходомеров, однако в настоящее время наиболее широкое распространение получили частотные и времяимпульсные расходомеры.

5.2.4.2. Частотные ультразвуковые расходомеры.

Частотными называются расходомеры, основанные на зависимости $\Delta f = \phi(\Delta \tau)$, где $\Delta f = f_1 - f_2$ - разность частот ультразвуковых колебаний, направленных по потоку f_1 и против потока f_2 .

В зависимости от того, измеряется ли разность частот коротких импульсов или пакетов импульсов, проходящих через измеряемую среду, расходомеры называются частотно-пакетными или частотно-импульсными.

Не вдаваясь в подробности, можно отметить, что $\Delta \tau$ прямо пропорционально Δf и поэтому, измерив Δf , можно найти $\Delta \tau$, а, следовательно, и объемный расход.

В одном из первых частотно-пакетных расходомеров использовалась несущая частота 10 МГц, а измеряемая разность частот при максимальном расходе равнялась 50 кГц. Высокая несущая частота необходима для получения крутых фронтов акустических колебаний, что определяет точность измерений.

Незначительная разность частот Δf - это существенный недостаток частотных расходомеров, так как это затрудняет точное измерение Δf , а, следовательно, снижается и точность измерения расхода. Поэтому существуют различные схемы увеличения измеряемой разности частот, реализованные, как правило, в одноканальных частотных расходомерах.

5.2.4.3. Времяимпульсные ультразвуковые расходомеры.

Времяимпульсными называются расходомеры, непосредственно измеряющие $\Delta \tau$. Эта величина очень мала: $\Delta \tau = 10^{-6} - 10^{-7}$ с, поэтому погрешность измерения величины $\Delta \tau$ не должны превышать $10^{-8} - 10^{-9}$ с.

Времяимпульсные расходомеры в большинстве случаев одноканальны и работают на очень коротких импульсах (0,1-0,2 мкс), посылаемых навстречу друг другу поочередно или одновременно с частотой порядка 0,5 кГц.

Показания фазовых и времяимпульсных расходомеров зависят от скорости ультразвука, которая в свою очередь зависит от ряда факторов (вид измеряемой среды, температура). Поэтому в этих расходомерах предусматриваются специальные схемы коррекции скорости ультразвука.

Показания частотных расходомеров не зависят от скорости ультразвука, и поэтому для них не требуется проводить коррекцию на скорость ультразвука.

Первичный преобразователь ультразвуковых расходомеров допускается монтировать на вертикальном, горизонтальном или наклонном участке трубопроводов, однако при этом должны удовлетворяться следующие условия:

- измерительный участок должен быть полностью заполнен жидкостью, т.е. в районе измерительного участка не должен скапливаться воздух;
- электроакустические преобразователи (ПЭА) должны располагаться в той части измерительного участка трубопровода, где пульсации и завихрения минимальны.

При этом наличие грязевиков или специальных фильтров перед ультразвуковыми расходомерами не требуется.

Примеры установки врезных ПЭА приведены на рис. 5.23, а накладных ПЭА – на рис. 5.24.

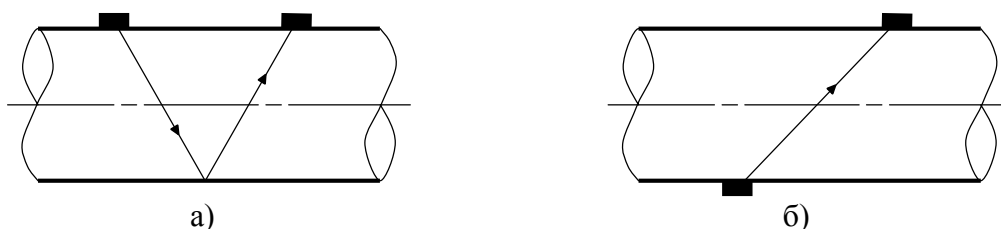


Рис. 5.24. Установка накладных ПЭА на трубопровод:
а) V-схема при $d_y \leq 300$ мм; б) Z-схема при $d_y > 300$ мм

Угол установки врезных ПЭА (угол между направлением ультразвукового луча и перпендикуляром к оси трубопровода) может быть выбран $20-70^\circ$, однако рекомендуется его выбирать примерно равным 45° (рис. 5.25).

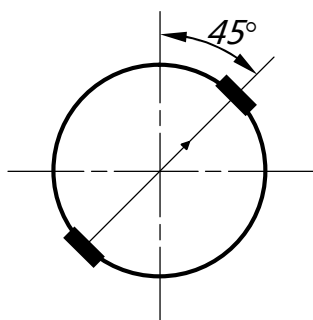


Рис. 5.25. Рекомендуемое положение врезных ПЭА на трубопроводе.

Трубопровод в месте установки врезных ПЭА должен отвечать следующим требованиям:

- отклонение внутреннего диаметра трубопровода в месте установки ПЭА от среднего внутреннего диаметра трубопровода не должно превышать 0,015 от среднего внутреннего диаметра трубопровода;
- в месте установки ПЭА на трубопроводе не должно быть швов, вмятин и других повреждений.

Внутреннюю поверхность трубопровода в месте установки ПЭА рекомендуется покрывать акустически прозрачным защитным покрытием, стойким против коррозии и осложнений.

При несоответствии трубопровода в месте установки ПЭА вышеперечисленным требованиям, рекомендуется устанавливать в трубопровод сборную конструкцию первичного преобразователя (рис. 5.23, а, в). В этом случае наибольшая разность внутреннего диаметра трубопровода и измерительного участка первичного преобразователя в месте стыковки не должна превышать $0,05d_y$ для случая, приведенного на рис. 5.23 в и $0,1d_y$ при U-образном расположении ПЭА (рис. 5.23 а).

Для нормальной работы расходомера должны быть обеспечены прямолинейные участки трубопровода до и после ПЭА. К сожалению, достоверные данные по длинам этих участков l_1 и l_2 для ультразвуковых расходомеров отсутствуют. Такие данные имеются только для ультразвуковых расходомеров фирмы «Взлет», которые приведены в табл. 5.6.

Для расходомеров с ПЭА, установленными вдоль оси первичного преобразователя (типа U-колена) требования к длинам l_1 и l_2 не устанавливаются, так как метрологические характеристики этих расходомеров обеспечиваются конструктивными решениями расходомеров типа U-колена.

Для расходомеров с врезными ПЭА, расположенными по Z-схеме с углом установки более 40° , l_1 и l_2 определяются в соответствии с данными для V-схемы.

Паспортные характеристики наиболее широко применяемых в составе теплосчетчиков ультразвуковых расходомеров приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.6.

Длины прямолинейных участков l_1 и l_2 для расходомеров УРСВ «Взлет МР» в зависимости от вида местного сопротивления, расположенного до и после ПЭА

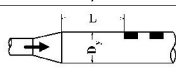
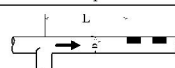

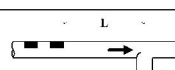
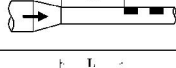
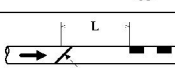


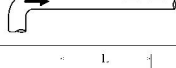

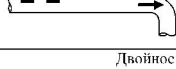
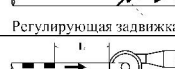


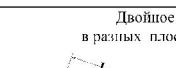
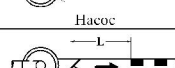
Тип местного сопротивления	Длина прямолинейного участка, L		Тип местного сопротивления	Длина прямолинейного участка, L	
	V-схема	Z-схема		V-схема	Z-схема
	20·D _y	30·D _y		15·D _y	20·D _y
	2·D _y	3·D _y		3·D _y	5·D _y
	3·D _y	5·D _y		30·D _y	40·D _y
	3·D _y	5·D _y		10·D _y	15·D _y
	10·D _y	15·D _y		5·D _y	8·D _y
	3·D _y	5·D _y		3·D _y	5·D _y
Двойное колено в одной плоскости 	8·D _y	15·D _y	Насос 	30·D _y	40·D _y
Двойное колено в разных плоскостях 	15·D _y	30·D _y	Насос Регулирующая задвижка 	30·D _y	40·D _y

Таблица 5.7.

Паспортные характеристики ультразвуковых расходомеров

Тип расходомера	d _y , мм	Объемный расход, м ³ /ч				Относительная погрешность измерения расхода δV, %
		V _{min}	V _t	V _{ном}	V _{max}	
1	2	3	4	5	6	7
ULTRAFLOW	15/20	0,006	-	0,6	1,05	± 5% при $V_{min} \leq V \leq 0,03V_{max}$ ± 2% при $0,03V_{max} \leq V \leq V_{max}$
	15/20	0,015	-	1,5	2,6	
	20	0,025	-	2,5	4,3	
	25	0,035	-	3,5	5,25	
	25	0,06	-	6	9	
	40	0,1	-	10	15	
	50	0,3	-	15	22,05	
	65	0,5	-	25	37,5	
	80	0,8	-	40	60	
	100	1,2	-	60	90	
	160	3	-	150	225	
250	8	-	400	800		

Продолжение таблицы 5.7.

1	2	3	4	5	6	7
УРСВ-010 М	10-4200	$0,0002d_y^2$	$0,001d_y^2$	-	$0,03d_y^2$	± 2 при $V_{\min} \leq V \leq V_t$ ± 1 при $V_t < V \leq V_{\max}$
УРСВ «Взлет МР»						
1. Z-схема	10-5000	$0,02d_y$	$0,1d_y$	-	$0,03d_y^2$	± 2 при $V_{\min} \leq V \leq V_t$
2. V-схема	10-5000	$0,15 \frac{d_y^2}{l}$	$0,8 \frac{d_y^2}{l}$	-	$0,12 \frac{d_y^2}{l}$	± 1 при $V_t < V \leq V_{\max}$
UFM 005	15	0,03	0,08	-	2	± 5 при $V_{\min} \leq V \leq V_t$ ± 2 при $V_t < V \leq V_{\max}$
	20	0,05	0,14	-	3,6	
	25	0,07	0,2	-	5	
	32	0,12	0,36	-	9	
	40	0,2	0,6	-	15	
	65	0,8	2,4	-	60	
	80	1,2	3,6	-	90	
	100	1,9	5,6	-	140	
	150	4,3	12,8	-	320	
СОНОКАЛ	200	7,5	22,4	-	560	± 5 при $V_{\min} \leq V \leq V_t$ ± 3 при $V_t < V \leq V_{ном}$ ± 1 при $V_{ном} < V \leq V_{\max}$
	32	0,7	1,1	8	11	
	40	1,1	1,8	15	30	
	50	1,7	2,6	22,5	45	
	65	2,6	4,4	37,5	75	
	80	5	8	60	120	
	100	9	15	140	220	
	125	12	21	150	300	
	150	18	30	225	450	
	200	24	40	375	780	
	250	40	67	600	1200	
	300	60	100	900	1800	
УРЖ2К	350	80	130	1200	2400	$\pm 1,5$ при $V_{\min} \leq V \leq 0,1V_{\max}$ ± 1 при $0,1V_{\max} < V \leq V_{\max}$
	400	100	170	1500	3000	
	15	0,03	0,08	-	3,5	
	20	0,05	0,14	-	5	
	25	0,07	0,2	-	8	
	32	0,12	0,38	-	20	
	40	0,2	0,8	-	58	
	50	0,7	2	-	85	
	65	1,1	3,2	-	144	
	80	1,7	4,8	-	218	
	100	2,8	8	-	360	
	150	6	17	-	765	
200	10,5	30	-	1360		
250-1000	17,7	51	-	2500-99000		

Основные источники погрешностей измерения расходов при помощи УЗР, основанных на перемещении акустических колебаний, можно классифицировать следующим образом:

1. Влияние профиля скорости на показания расходомера.
2. Изменение скорости ультразвука в измеряемой среде.
3. Паразитные акустические сигналы.
4. Асимметрия электронно-акустических каналов.

Рассмотрим более подробно каждый из этих четырех пунктов.

Влияние профиля скорости на показания расходомера.

Как было показано выше (ф. 5.20), при расчете объемного расхода используется поправочный коэффициент $k = \bar{w} / \bar{w}_D$, который называется гидродинамическим коэффициентом и который равен отношению средней по сечению канала скорости потока \bar{w} к средней диаметральной скорости потока \bar{w}_D .

Истинное значение этого коэффициента зависит от множества факторов, в частности, от профиля скорости потока в измерительном участке, и определяется, как правило, экспериментальным путем.

Истинное значение этого коэффициента особенно трудно определить при деформированном профиле потока и поэтому приходится прибегать к различным способам стабилизации профиля скорости потока.

Изменение скорости ультразвука в измеряемой среде.

Скорость ультразвука в жидкостях и газах зависит от термодинамических параметров: давления, температуры, удельного объема (плотность) и химического состава. Для конкретной жидкости скорость ультразвука зависит практически только от температуры.

Изменение скорости ультразвука имеет существенное значение лишь для фазовых и времяимпульсных расходомеров и практически не сказывается на показаниях частотных расходомеров.

Устранить влияние изменения скорости ультразвука на показания фазовых и времяимпульсных расходомеров можно двумя путями:

- применение схем коррекции;
- измерение массового расхода.

В первом случае вводится дополнительный акустический канал, перпендикулярный оси трубы, что позволит оценить изменение скорости ультразвуковых колебаний в зависимости от температуры потока.

Во втором случае для измерения массового расхода вводится дополнительный пьезоэлемент, предназначенный для измерения акустического сопротивления измеряемой среды, пропорционального " ρc ".

Паразитные акустические сигналы.

Паразитные акустические системы могут иметь различное происхождение. Так, например, при расположении пьезоэлементов снаружи трубы часть акустической энергии отражается от поверхности раздела труба-жидкость и распространяется в виде акустических колебаний в стенке трубы. Эти сигналы могут достигать приемного пьезоэлемента раньше акустических колебаний, проходящих через жидкость.

Для борьбы с этими помехами рекомендуется использовать следующее:

- оптимизация частоты измерительного сигнала и угла излучения;
- оптимизация диаметра пьезоэлемента и метода сочленения с трубопроводом.

Второй источник паразитных сигналов – возникновение ревербационной волны в результате отражения ультразвука от границ жидкости с пьезоэлементами. Основное значение имеет первый паразитный сигнал, приходящий на приемный пьезоэлемент после двукратного отражения: сначала от приемного, а затем от излучающего элемента.

Амплитуда и фаза ревербационной волны A_p и φ_p отличается от амплитуды и фазы основной волны A и φ . В результате возникает сдвиг фаз $\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi$, особенно неприятный для фазовых расходомеров. Чтобы этот сдвиг фаз был незначительным, рекомендуется иметь $A_p \leq 0,01A$. В частотных расходомерах ревербационный импульс может искажать фронт основного импульса, что приводит к преждевременному включению частотной схемы.

Асимметрия электронно-акустических каналов.

В двухлучевых расходомерах неизбежно возникает асимметрия акустических каналов, что может вызвать существенную погрешность измерения разности времени перемещения ультразвуковых колебаний по и против направления потока жидкости.

Несмотря на различные способы уменьшения погрешности от асимметрии каналов, устранить ее полностью невозможно. Поэтому в настоящее время для точного измерения расхода чаще используют одноканальные расходомеры.

Рассмотрим теперь второй класс расходомеров: расходомеры, основанные на эффекте Доплера.

5.2.4.4. Допплеровские расходомеры.

Принцип действия данного типа расходомеров основан на **эффекте Доплера** – изменение частоты колебаний, вызванное относительным движением источника и приемника.

На рис. 5.26 приведена принципиальная схема первичного преобразователя доплеровского расходомера с двумя пьезоэлементами.

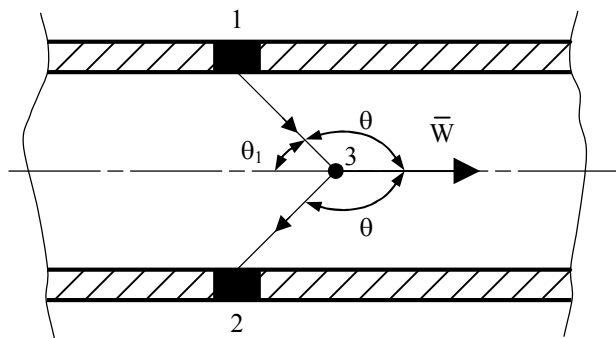


Рис. 5.26. Принципиальная схема первичного преобразователя доплеровского расходомера:

1 – излучатель; 2 – приемник; 2 – неоднородность потока.

В основе работы данного типа расходомеров лежит измерение разности частот $\Delta f = f_1 - f_2$, возникающей при отражении акустических колебаний от неоднородностей, содержащихся в измеряемом потоке жидкости.

Излучатель «1» посылает акустические колебания с частотой f_1 , которые распространяются в жидкости со скоростью c . Эти колебания отражаются от неоднородности потока «3» и с частотой f_2 поступают на приемник. Предположим, что угол излучения подобран таким образом, что луч направлен в центр потока (рис. 5.26).

Эффект Доплера описывается формулой:

$$f = f_0 \left[1 + \frac{w}{c} \cos \Theta \right], \quad (5.23)$$

в которой f_0 – частота колебаний в системе источника волны, а f – в системе наблюдателя, w – скорость движения наблюдателя, Θ – угол между направлением акустической волны и направлением движения наблюдателя.

В нашем случае (рис. 5.26) в соответствии с формулой (5.23) можно записать:

$$f_0 = f_1 \left[1 + \frac{w}{c} \cos \Theta \right], \quad (5.24)$$

$$f_2 = f_0 \left[1 + \frac{w}{c} \cos \Theta \right] \quad (5.25)$$

В первом случае наблюдатель находится в точке 3 и перемещается с потоком, а во втором случае наблюдатель находится в точке 2. В формулах (5.24) и (5.25) под f_0 понимается частота ультразвуковых колебаний, которые воспринимает наблюдатель, находящийся в точке 3. В обоих случаях источник (приемник) излучений и наблюдатель удаляются друг от друга и поэтому $f_0 < f_1$ и $f_2 < f_0$, так как $\Theta > 90^\circ$ и $\cos \Theta < 0$.

После несложных преобразований с использованием (5.24) и (5.25), принимая $[(w/c) \cos \Theta]^2 \ll 1$, можно показать, что

$$\Delta f = f_1 - f_2 = -2 \frac{w}{c} \cos \Theta = 2 \frac{w}{c} \cos \Theta_1 \quad (5.26)$$

Таким образом, разность частот Δf между частотой генерируемого сигнала f_1 и частотой приемного сигнала f_2 пропорциональна местной скорости измеряемой среды w в области пересечения ультразвуковых лучей, а, следовательно, и расходу.

Разностная доплеровская частота выделяется и обрабатывается в процессорной части расходомера. Объемный расход измеряемой среды вычисляется по средней по сечению потока скорости среды. Поэтому, как и для других расходомеров, измеряющих расход по методу «площадь-скорость», необходимо знать соотношение между скоростью отдельных частиц w (отражателей) и средней по сечению скоростью потока \bar{w} .

Зависимость между этими скоростями устанавливается при помощи гидродинамического коэффициента $k = \bar{w} / w$. Так, например, для турбулентного потока для частиц-отражателей, находящихся на расстоянии более $0,242R$ от стенки трубы, $k = 1$ (R – это радиус трубопровода).

Существуют доплеровские расходомеры, сканирующие поток, которые позволяют измерить скорость в ряде точек диаметрального сечения потока и построить профиль скорости в данном сечении. Для этого излучатель посылает в поток жидкости импульсы длительностью 0,1-1 мкс и частотой 15-23 кГц. Приемное устройство открывается лишь на мгновение через определенное время задержки после посылки импульса. Изменяя время задержки, можно получить информацию о скорости частиц, находящихся в разных точках сечения потока.

В большинстве случаев пьезоэлементы у доплеровских расходомеров помещают снаружи трубопровода. Это особенно необходимо при измерении расхода в загрязненных средах, однако при этом надо учитывать дополнительную погрешность, возникающую при преломлении луча в стенке трубы.

По сравнению с другими УЗР доплеровские имеют наименьшую точность, так как их выходной сигнал представляет спектр частот, возникающий вследствие сдвига исходной частоты не одной частицей, а рядом частиц, имеющих различные скорости.

Доплеровские расходомеры находят все более широкое распространение. Они применяются главным образом для измерения расхода различных жидкостей, суспензий, эмульсий, содержащих частицы, отличающихся по плотности от исходного вещества. Однако и естественных неоднородностей, содержащихся в жидкостях, бывает достаточно для проявления эффекта Доплера.

Отраженный сигнал можно получить также и от турбулентных пульсаций, однако минимальная скорость потока при этом не должна быть менее 1 м/с.

Для измерения относительно чистых сред рекомендуется устанавливать расходомеры за местными сопротивлениями, но при этом должны быть выдержаны длины прямолинейных участков l_1 и l_2 .

Отраженный сигнал может затухнуть во внутренних отложениях и наростах трубопровода. Поэтому перед установкой расходомера рекомендуется очистить внутреннюю поверхность трубопровода от ржавчины и наростов.

Одним из наиболее распространенных доплеровских расходомеров является отечественный расходомер – счетчик Днепр-7. Диапазон измерения расхода для этого расходомера приведен в табл. 5.8. В этой таблице максимальный расход рассчитан по формуле:

$$G_{\max} = 0,0042412 \times N \times d_y^2, \quad (5.27)$$

где d_y – условный диаметр трубопровода, N – номер диапазона измерения (1, 2, 4).

В табл. 5.9 приведены длины прямолинейных участков трубопровода до - l_1 и после - l_2 датчиков первичного преобразователя расходомера Днепр-7, которые необходимо соблюдать при монтаже данного расходомера.

Диапазон измерения расхода расходомера Днепр-7

d _y , мм	Диапазон измерения расхода, м ³ /ч					
	1		2 (основной)		4	
	G _{min}	G _{max}	G _{min}	G _{max}	G _{min}	G _{max}
1	2	3	4	5	6	7
20	0,05	1,7	0,1	3,4	0,2	6,8
25	0,08	2,7	0,16	5,3	0,32	10,6
32	0,13	4,3	0,26	2,7	0,52	17,4
40	0,2	6,8	0,41	13,6	0,81	27,1
50	0,32	10,6	0,44	21,2	1,27	42,4
65	0,54	17,9	1,08	35,8	2,15	34,7
80	0,84	27,1	1,63	54,3	3,26	108,6
100	1,27	42,4	3,54	84,8	5,09	169,6
125	1,99	66,3	3,58	132,5	7,95	265,1
150	2,86	35,4	5,73	190,9	11,45	384,7
200	5,09	109,6	60,18	359,3	20,36	678,6
250	7,95	265,1	15,9	530,2	31,84	1060,3
300	11,45	381,3	22,9	763,4	45,8	1526,8
350	15,59	519,5	71,17	1039,1	62,34	2078,2
400	20,36	638,4	40,72	1357,2	84,43	2714,3
500	31,81	1060,3	63,68	2120,6	123,23	4241,1
600	45,8	1526,8	31,61	3053,6	183,22	6103,3
700	62,34	2078,2	124,69	4156,3	249,38	8312,7
800	81,41	2714,3	162,86	5428,7	325,72	10857
1000	123,2	4241,1	254,67	8482,3	508,96	16964
1200	183,2	6107,3	366,41	12214	732,87	24429
1400	249,4	8312,7	498,35	16625	997,52	33250
1600	325,7	10857	651,44	21714	1302,88	43429

Длины прямолинейных участков l_1 и l_2 для расходомера Днепр-7
в зависимости от типа местных сопротивлений

Тип местного сопротивления	l_1/d_y	l_2/d_y
1. Колено, тройник в одной плоскости	21	не менее 5
2. Колено, тройник в разных плоскостях	48	
3. Диффузор	21	
4. Конфузор	10	
5. Полностью открытая задвижка	23	
6. Наполовину открытая задвижка	48	
7. Ответвление от основного потока при отношении площадей не более 1/3	8	

5.2.4.5. Достоинства и недостатки ультразвуковых расходомеров.

Из существующего множества различных типов акустических расходомеров наиболее широкое применение получили расходомеры с ультразвуковыми колебаниями, направленными по и против потока жидкости. Из данного типа расходомеров наиболее широкое распространение получил расходомер с частотно-импульсным методом измерения разности времени прохождения ультразвуковых колебаний. Он обеспечивает наибольшую точность измерения расхода: относительная погрешность измерения объемного расхода в этом случае не превышает 1 %.

Фазовые расходомеры имеют преимущество перед частотными при измерении загрязненных сред, а также при измерении малых скоростей потока жидкости: до 0,02 м/с. При измерении загрязненных жидкостей высокая частота акустических колебаний недопустима. Поэтому в этом случае преимущество на стороне фазовых расходомеров, работающих на значительно более длинных волнах, чем частотные. Причем во избежание загрязнения карманов желательно размещать пьезоэлементы снаружи трубы.

Времяимпульсные расходомеры из-за малой чувствительности плохо пригодны для труб малого диаметра.

Допплеровские расходомеры могут использоваться как при измерении расхода чистых жидкостей, так и при измерении загрязненных жидкостей, особенно различных пульп.

Достоинства акустических расходомеров:

1. Не нарушают целостности трубопроводов, не имеют движущихся частей, не вносят дополнительных гидравлических сопротивлений.
2. Высокое быстродействие.
3. Возможность измерения расходов неэлектропроводных жидкостей, в частности нефтепродуктов и агрессивных сред.
4. Широкий диапазон измерения расходов. Данные о диапазоне измерения различных типов акустических расходомеров приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10.

Диапазоны измерения расхода акустических расходомеров

Расходомер	UFM-5	ULTRA FLOW	Сонокал	УРЖ2К	Днепр-7
Диапазон измерения расхода G_{\min}/G_{\max}	1/75	1/75	1/25	1/125	1/33

Недостатки акустических расходомеров:

1. Большие длины прямолинейных участков трубопровода до и после первичного преобразователя расхода. При недостаточных длинах прямолинейных участков трубопровода возникают большие дополнительные погрешности измерения расхода, связанные с деформацией профиля скорости потока. Поэтому при сильно деформированных потоках жидкости необходимо применять дополнительные устройства, выравнивающие профиль скорости или использовать хордовые расходомеры.

2. Один и тот же расходомер нельзя использовать при измерении расхода чистых и грязных жидкостей. При измерении расхода чистых жидкостей используются высокие частоты акустических колебаний $f=0,1-1$ МГц, а при измерении расхода грязных жидкостей во избежание рассеяния и поглощения акустических колебаний используются низкие частоты – десятки килогерц. Дело в том, что при измерении загрязненных потоков необходимо, чтобы длина волны акустических колебаний превышала размер твердых или газообразных загрязнений.

3. Дополнительные неучтенные погрешности, возникающие при эксплуатации ультразвуковых расходомеров:

3.1. Температурные, вызванные изменением скорости ультразвука в контролируемой среде при изменении температуры среды.

3.2. Погрешности, вызванные асимметрией электронно-акустических каналов. Идентичности невозможно достичь не только в двухканальных, но даже и в одноканальных схемах. Начальная асимметрия вызывает сдвиг нуля при неподвижной

жидкости, который может быть скомпенсирован. Однако при изменении скорости звука, например при изменении температуры среды, наличие асимметрии каналов преобразователя вызывает погрешности, не зависящие от скорости потока, которые проявляются в виде дрейфа нуля.

3.3. Ревербационные, вызванные наличием отражений ультразвуковых волн от поверхностей пьезоэлементов, звукопроводов и трубопроводов.

3.4. Гидродинамические, вызванные отклонением профиля скорости от расчетного.

4. Сложный процесс настройки расходомера.

5.2.5. Вихревые расходомеры.

Вихревыми называются расходомеры, основанные на зависимости расхода среды от частоты колебаний давления, возникающих в потоке в процессе вихреобразования.

Принцип действия вихревых расходомеров основан на измерении частоты следования вихрей дорожки Кармана, образующихся за телом специальной формы, расположенным поперек потока.

Английский ученый Карман определил условия устойчивого симметричного вихреобразования, при которых вихри разного направления вращения (по и против часовой стрелки) поочередно срываются с левой и правой поверхности обтекаемого тела и следуют далее по потоку в шахматном порядке в виде вихревой дорожки.

Вихрь представляет собой локальный элемент сферы, в котором полная энергия остается постоянной, но происходит перераспределение энергии: кинетическая увеличивается, а потенциальная (статическое давление) падает. Это местное снижение давления фиксируется сенсором давления, например, пьезоэлементом. Причем фиксируется не численное значение этого давления, а факт его изменения, свидетельствующий о появлении вихря.

Пьезодатчик преобразует давление в электрические импульсы, частота которых при $Re > 3800$ линейно зависит от средней скорости потока \bar{w} :

$$f = \frac{\bar{w}Sh}{b}, \quad (5.27)$$

где b – ширина тела обтекания, Sh – число Струхала. Как видно из (5.27), при $Sh = \text{const}$ частота вихреобразования f пропорциональна \bar{w} , поэтому, измерив f , можно определить \bar{w} , а зная сечение измерительного участка трубопровода D можно рассчитать объемный расход:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \bar{w} \quad (5.28)$$

На практике вместо (5.28) используют формулу

$$V = f/k, \quad (5.29)$$

где k – градуировочный коэффициент (количество импульсов на единицу объема), который зависит только геометрических размеров обтекаемого тела и не зависит от свойств и параметров измеряемой среды. Каждый расходомер калибруют индивидуально, однако при этом необходимо, чтобы число Струхала было постоянным во всем измеряемом диапазоне расходов.

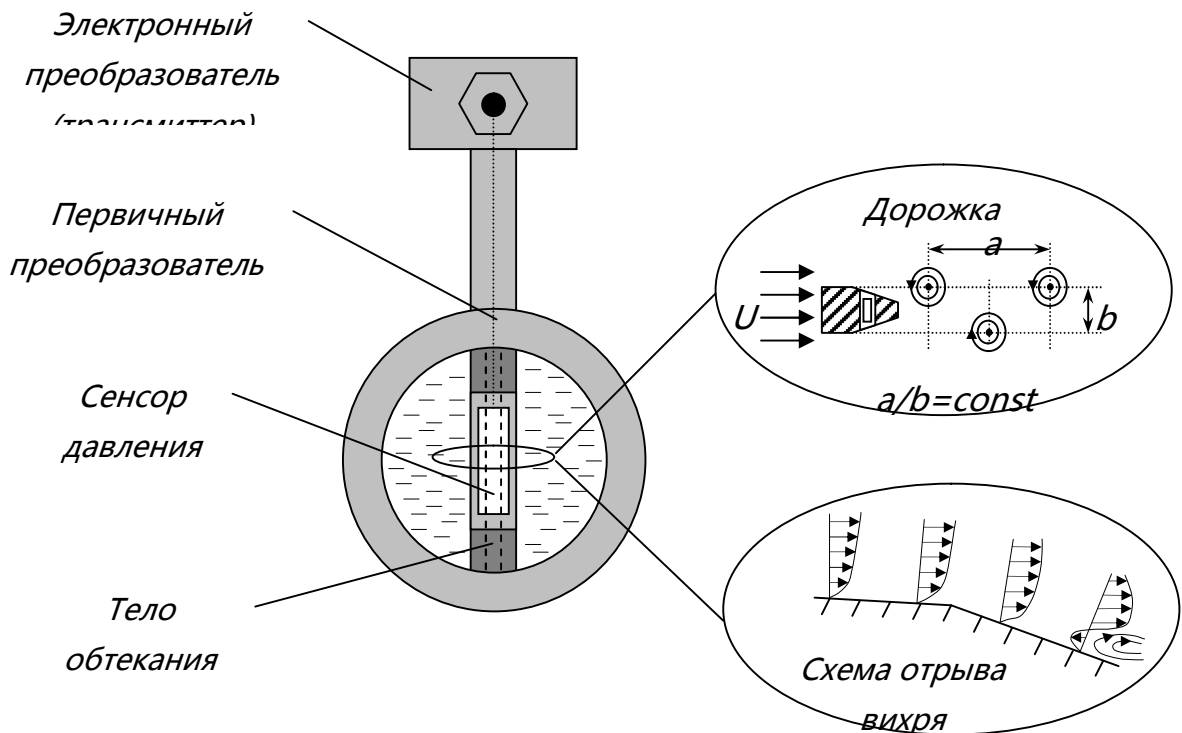


Рис. 5.27. Принципиальная схема вихревого расходомера

Типовая конструкция вихревого расходомера содержит первичный преобразователь и вторичный электронный блок. Первичный преобразователь представляет собой измерительный канал, внутри которого установлено обтекаемое тело с сенсором давления (рис. 5.27).

Сенсор устанавливается, как правило, внутри обтекаемого тела, а местные изменения давления среды передаются на него через защитную боковую поверхность обтекателя.

Имеется много способов преобразования вихревых колебаний в выходной сигнал. Некоторые их показаны на рис. 5.28.

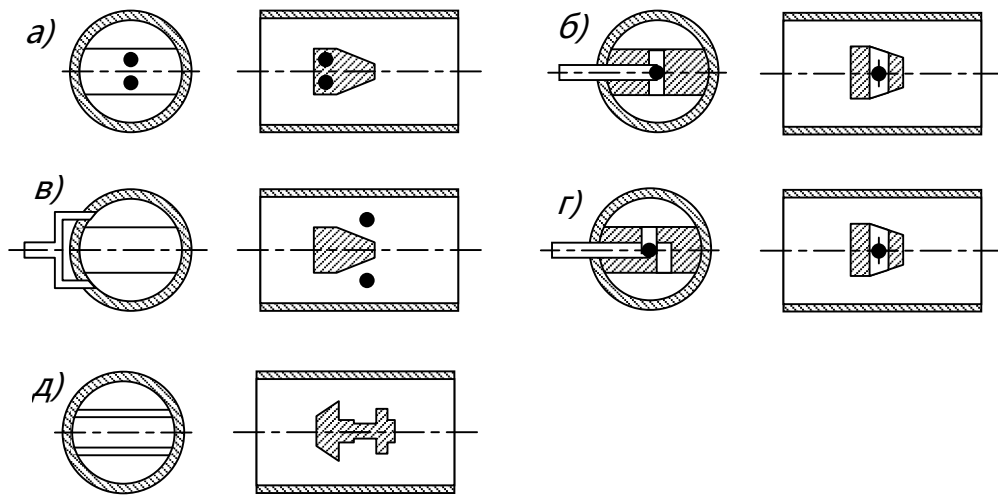


Рис. 5.28. Способы преобразования частоты вихрей в выходной сигнал

Как правило, все способы основаны на использовании периодических колебаний давления или скорости струй с обеих сторон обтекаемого тела.

В качестве чувствительного элемента часто применяют один или два полупроводниковых термоанемометра (рис.5.28а). На рис.5.28а два элемента термоанемометра помещены на лобовой стороне обтекаемого тела расходомера. Встречное их включение усиливает измерительный сигнал, а симметричное расположение способствует компенсации вредных помех.

На рис. 5.28б элемент термоанемометра помещен внутри сквозного отверстия в теле, а на рис.5.28в – в обводной трубке, исходящей снаружи трубопровода. При каждой пульсации давления с обеих сторон тела возникает движение через сквозное отверстие или через обводную трубку, вызывающее изменение сопротивления элемента термоанемометра. Если отверстия с противоположных частей тела соединить перпендикулярным сверлением, в котором поместить ферромагнитный шарик (рис.5.28г) или мембрану, то они станут колебаться с частотой пульсации давления, то есть с частотой срыва вихрей с обеих сторон тела. Эти колебания с помощью индуктивного или емкостного преобразователя преобразуются в выходной сигнал.

На рис. 5.28д обтекаемое тело трапециидальной формы соединено тонкой перемычкой с диском, способствующим усилению и стабилизации вихреобразования. На перемычке расположены терморезисторы, воспринимающие напряжение в ней,

возникающее при поперечных колебаниях тела под воздействием вихреобразования и превращающие их в выходной сигнал. Вместо тензорезисторов может быть применен струнный преобразователь напряжения в обтекаемом теле, как это сделано в расходомере фирмы «Фишер-Портер».

Преобразователь вихревого расходомера фирмы «Кент» имеет тело обтекания прямоугольной формы, боковые стороны которого частично по всей длине выполнены из упругих металлических мембран. Каждая из мембран вместе с расположенными на ней слоем масла (диэлектрик), плоского электрода и затем слоя изоляции образует конденсатор. Колебание давления с обеих сторон обтекаемого тела вызывают пульсацию мембран и изменение емкости конденсаторов, благодаря перетеканию масла из одного слоя в другой через соединительные каналы. Последние одновременно оказывают фильтрующее действие на высокочастотные колебания мембран, вызываемые различными помехами. Этот преобразователь называют интегрирующим, так как он реагирует на вихреобразование по всей длине тела, что способствует повышению точности и мало отзывается на помехи, вызываемые местными турбулентностями.

На рис. 5.29 приведена схема преобразователя с телом обтекания 1 трапециидальной формы, которое вибрирует в направлении, перпендикулярном к потоку, под влиянием пульсаций давления на его боковых сторонах.

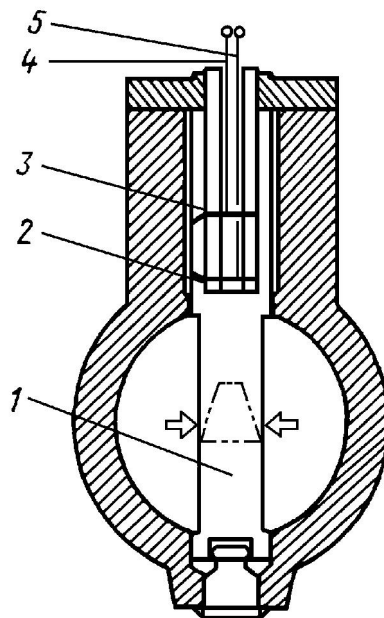


Рис. 5.29. Преобразователи вихревого расходомера с пьезоэлементами, реагирующими на вибрацию тела обтекания

Возникающие изгибные напряжения воспринимаются пьезоэлементами 2 и 3, электроды которых 4 и 5 включены навстречу друг другу. Благодаря этому, паразитные вибрации тела обтекания и трубопровода в направлении движения потока не сказываются на выходном канале – разности напряжений на пьезоэлементах 2 и 3.

На работу вихревых расходомеров могут оказывать влияние акустические и вибрационные помехи, создаваемые различными источниками – насосами и компрессорами, местными сопротивлениями, вибрирующими трубопроводами и т.п. Если частота вредных пульсаций отличается от частоты измерительного сигнала, то ее влияние можно устранить с помощью электрических фильтров. Сложнее это устранить, если эти частоты совпадают. Для борьбы с помехами целесообразно иметь два преобразователя, включенных встречно и установленных в точках, где пульсации полезного сигнала находятся в противофазе, а пульсационные помехи – в фазе. При этом полезные сигналы усиливаются, а помехи в значительной мере устраняются.

Для обеспечения точности при измерении расхода вихревыми расходомерами, необходимо выдерживать длины прямолинейных участков трубопровода до места установки расходомера l_1 и после места установки - l_2 . При этом прямой участок трубопровода должен иметь номинальный диаметр, соответствующий номинальному диаметру расходомера. Отметим, что достоверные данные о длине прямолинейных участков отсутствуют. В нормативно-технической документации на различные типы вихревых расходомеров приводятся статистически необоснованные данные об l_1 и l_2 , которые иногда прямо противоречат друг другу. Так, например, в инструкции по применению теплосчетчика «ДУМЕТІК-9412», в состав которого входят вихревые расходомеры, написано, что в независимости от видов местных сопротивлений до и после расходомера, при наличии конфузора перед расходомером $l_1 = 5d_y$, а $l_2 = 3d_y$, а при установке расходомера без конфузора $l_1 = 20d_y$, а $l_2 = 5d_y$.

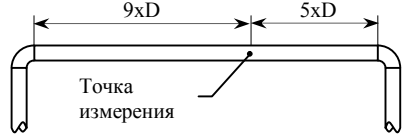
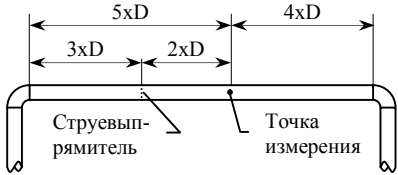
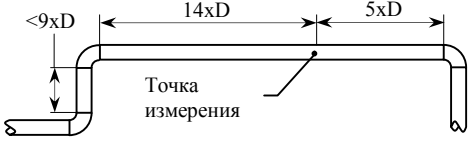
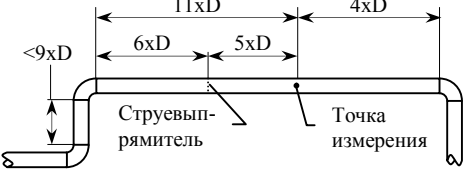
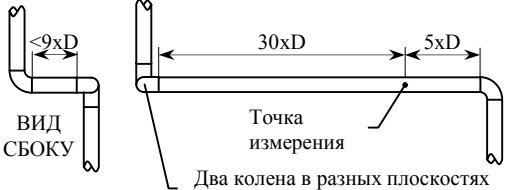
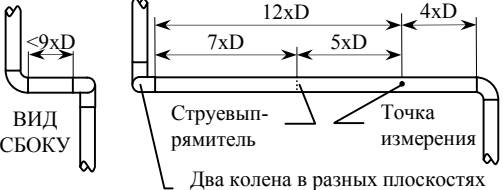
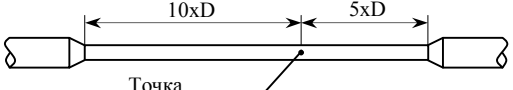
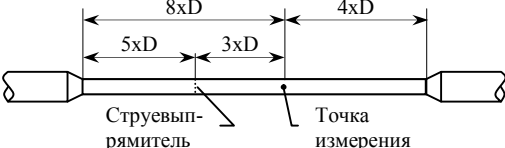
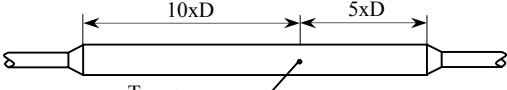
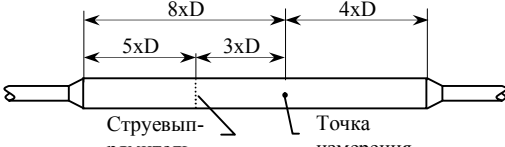
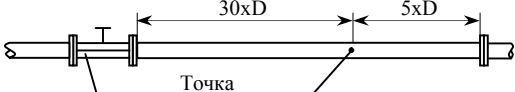
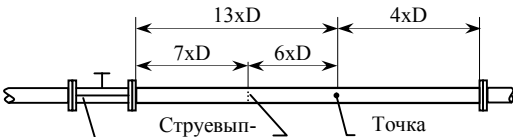
Однако, например, в инструкции по эксплуатации на вихревой расходомер «VORFLO» отмечено, что $l_1 = 10d_y$ и $l_2 = 5d_y$ при наличии конфузора перед расходомером, а при отсутствии же конфузора перед расходомером l_1 и l_2 зависят от видов местных сопротивлений до и после расходомера и могут составлять l_1 от 10 до 30 d_y , а l_2 от 5 до 10 d_y . Данные об l_1 и l_2 , аналогичные расходомеру «VORFLO» приведены в технических характеристиках на вихревой расходомер-счетчик «Hydro-Flow».

Поэтому, как выше сказано, достоверные данные о длинах прямолинейных участков l_1 и l_2 для вихревых расходомеров отсутствуют. Ростестом – Москва в 1995 г.

были проведены исследования с целью уточнения влияний местных сопротивлений на метрологические характеристики вихревого расходомера-счетчика PhD и вихревого погружного расходомера-счетчика V-Bar. Результаты исследований приведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11.

Минимальные требования к протяженности прямолинейных участков
до и после вихревых расходомеров

Без струевыпрямителя	Со струевыпрямителем
 <p>Точка измерения</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p>
 <p>Точка измерения</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p>
 <p>Точка измерения</p> <p>Два колена в разных плоскостях</p> <p>ВИД СБОКУ</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p> <p>Два колена в разных плоскостях</p> <p>ВИД СБОКУ</p>
 <p>Точка измерения</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p>
 <p>Точка измерения</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p>
 <p>Точка измерения</p> <p>Регулирующий клапан, поворотная заслонка, частично закрытый кран</p>	 <p>Струевыпрямитель</p> <p>Точка измерения</p> <p>Регулирующий клапан, поворотная заслонка, частично закрытый кран</p>

Технические характеристики наиболее распространенных вихревых расходомеров, входящих в состав теплосчетчиков, приведены в табл. 5.12.

Таблица 5.12.

Паспортные характеристики вихревых расходомеров

Расходомер	d _y , мм	Объемный расход		Относительная погрешность измерения объемного расхода δV , %
		мин	макс	
1	2	3	4	5
DOPB (теплосчетчик ТСЧ 1)	25	1,3	13	1,5
	32	2	20	
	50	5	50	
	80	18	180	
	100	20	200	
	150	45	450	
	200	80	800	
Таран-Т	15	0,12	4,8	
	20	0,2	8	
	25	0,32	13	
	32	0,5	20	
	50	1,3	52	
	65	2,2	88	
	80	3,3	132	
	100	5,25	210	
	150	12	480	
	200	21	840	
	300	47	1880	
DIMETIC-900	40	2	20	1,5
	50	4	40	
	80	10	100	
	100	16	160	
	150	20	200	
POCB	32	1,6	16	1,5
	40	3	32	
	50	4	50	
	80	8	125	
	100	12	200	
	150	20	400	
	200	40	800	
VORFLO	15-300	Подбирается по специальной методике. Диапазон измеряемых скоростей 0,5-9 м/с $20000 < R_e < 700000$		

Продолжение таблицы 5.12.

1	2	3	4	5
Hydro-Flow	25	0,16	8	1,0
	40	0,4	20	
	50	0,6	30	
	65	0,1	50	
	75	1,5	75	
	100	2,5	125	
	200	10	500	
	300	23	1150	
	400	40	2000	
Метран-300ПР	25	0,18	9	1,0-5,0
	32	0,25	20	
	50	0,4	50	
	80	1	120	
	100	1,5	200	
	150	5	400	
	200	6	700	
ВЭПС-Т(И)	20	0,16	4	1,0
	25	0,2	6,5	
	32	0,4	10	
	40	0,63	16	
	50	1	20	
	65	1,6	40	
	80	2,5	65	
	100	4	100	
	150	10	250	
ВЭПС-СР	20	0,3	8	
	25	0,4	10	
	32	0,5	15	
	40	0,8	25	
	50	1,0	32	
	80	2,5	80	
	100	5	160	
	150	12	400	
	200	20	630	
	250	32	1000	
	300	50	1600	

Отметим, что в табл. 5.12 три последних типа расходомеров являются комбинированными, а именно: Метран-300ПР – это вихревой расходомер с акустическим съемом сигнала, а ВЭПС-Т(И) и ВЭПС-СР – это вихревые расходомеры с электромагнитным съемом сигнала.

Вихревой расходомер должен устанавливаться на трубопроводе в соответствии со следующими правилами:

1. Расходомер может устанавливаться на горизонтальном, наклонном или вертикальном трубопроводе, но труба должна быть полностью заполнена водой.

2. В случае возможности выпадения осадка расходомер следует устанавливать на вертикальном участке трубопровода.

3. При возможности выделения воздуха, растворенного в воде, расходомер следует располагать в наиболее низкой части трубопровода для исключения дополнительной погрешности.

4. При установке расходомера после гидравлического сопротивления, являющегося источником кавитационного газовыделения (вентиль, кран, задвижка, отводящий патрубок и т.д.), необходимо установить перед расходомером вверх по потоку воздушный клапан или воздухоотделитель.

5. Направление потока воды должно совпадать со стрелкой на корпусе электронного блока.

Ни рис. 5.30 показаны места установки расходомеров на трубопроводах.

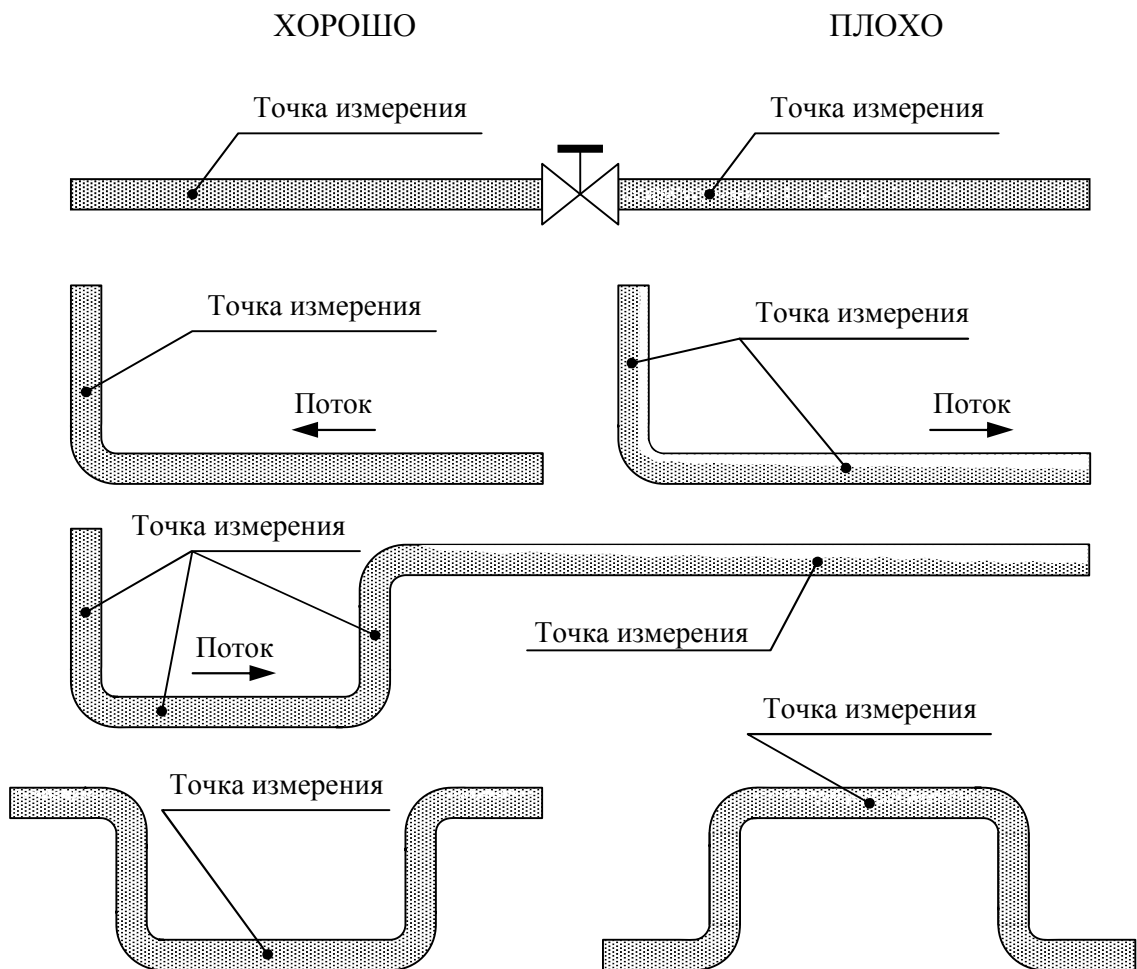


Рис. 5.30. Рекомендуемые правила размещения расходомеров на трубопроводе.

Рассмотрим достоинства и недостатки вихревых расходомеров.

Достоинства вихревых расходомеров:

1. Отсутствие подвижных частей.
2. Линейность шкалы.
3. Сравнительная несложность измерительной схемы.
4. Высокая точность измерений в диапазоне измеряемых расходов ($\delta G \leq 1,5\%$).
5. Частотный измерительный сигнал.
6. Отсутствие дрейфа нуля.
7. Независимость показаний от давления и температуры.

Недостатки вихревых расходомеров:

1. Значительные потери давления, достигающие до 30-50 кПа.
2. Относительно небольшой диапазон измерения расходов. В [24] указано, что вихревые расходомеры не применяются при $Re < 10^3 \div 10^4$, так как при этом отсутствует устойчивое вихреобразование. В паспорте на вихревой расходомер VORFLOW также указано, что он применяется при $Re > 20000$. Поэтому, исходя из этого обстоятельства, динамический диапазон измерения вихревых расходомеров G_{\min}/G_{\max} не должен превышать 1/10. В табл. 5.13 приведены динамические диапазоны измерения некоторых типов вихревых расходомеров, полученные на основе паспортных данных заводов-изготовителей.

Таблица 5.13

Диапазон измерения расхода вихревых расходомеров

Расходомер	ДОРВ	Таран	DIMETIC	РОСВ	Hydro-Flow	Метран	ВЭПС
G_{\min}/G_{\max}	1/10	1/40	1/10	1/10	1/50	1/50- 1/120	1/25

Как видно из табл. 5.13, для вихревых расходомеров типа Таран, Hydro-Flow, Метран, ВЭПС динамический диапазон значительно превышает 1/10, что вызывает определенные сомнения.

Так, например, входная поверка расходомера ВЭПС, проведенная на проливочном стенде Хабаровского центра энергоресурсосбережения, показала, что динамический диапазон для данного типа прибора составляет 1/10, а не 1/25, как это указано в паспортных данных.

3. Влияние на работу вихревых расходомеров вибрационных и акустических помех, создаваемых насосами, компрессорами, завихрителями, вибрирующими трубопроводами и т.д.

4. Влияние на работу некоторых типов расходомеров загрязнений, присутствующих в жидкостях.

Так, например, исследования, проведенные в Хабаровском центре энергоресурсосбережения, показали, что на метрологические характеристики вихревых расходомеров ВЭПС сильное влияние оказывают ферромагнитные частицы, содержащиеся в теплоносителе. Из-за налипания этих частиц на тело обтекания погрешность измерения расхода доходила до 70 %.

6. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ УЧЕТА ТЕПЛА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.

Ни для кого из специалистов не секрет, что теплосчетчик на метрологическом стенде и теплосчетчик в реальном контуре системы теплоснабжения это два разных прибора.

Кроме того, очевидно, что теплосчетчик, установленный в реальном контуре системы теплоснабжения, это вещь в себе, по крайней мере, до очередной поверки. На работу теплосчетчиков в реальных условиях эксплуатации влияют различные внешние факторы. Особенно сильно влияние внешних факторов сказывается на работе расходомеров, входящих в состав теплосчетчиков.

Исчерпывающий перечень факторов, влияющих на работу расходомеров различных типов, приведены в [27]. Однако даже эти многоопытные специалисты, обладающие энциклопедическими знаниями в области расходомерии, не могли себе представить истинного положения вещей и поэтому не могли оценить возможные влияния тех или иных факторов на работу расходомеров различных типов в условиях эксплуатации.

6.1. Факторы, влияющие на работу расходомеров в условиях эксплуатации.

По интенсивности влияния на работу расходомеров различных типов в реальных условиях эксплуатации внешние факторы можно расположить в следующем порядке [28]:

1. Изменение сечения измерительного участка трубопровода вследствие его «обрастания».
2. Качество теплоносителя: содержание в жидкости механических и газообразных примесей.

3. Отложение осадков и загрязнений на внутренних поверхностях измерительного участка и на датчиках, приводящих к искажению выходного сигнала.
4. Пульсации давления и расхода, вызванные местными гидравлическими сопротивлениями и другими факторами.
5. Несбалансированность фаз по нагрузкам и отсутствие качественного заземления, приводящая к возникновению электрического потенциала на трубопроводах.
6. Вибрация трубопроводов.

Рассмотрим подробнее влияние вышеперечисленных факторов на метрологические характеристики расходомеров.

6.1.1. Изменение сечения измерительного участка трубопровода в процессе эксплуатации.

Сужение сечения трубопроводов из-за «обрастания» наблюдается во всех без исключения системах теплоснабжения, состоящих из стальных труб. В большей или меньшей степени это сказывается на метрологических характеристиках любых типов расходомеров, установленных на данных трубопроводах.

Наиболее сильно изменяются метрологические характеристики расходомеров при сужении сечения измерительного канала. Особенно сильно это сказывается на метрологических характеристиках расходомеров, работающих по принципу площади-скорость (вихревые, ультразвуковые).

В меньшей степени это сказывается на метрологических характеристиках электромагнитных расходомеров, так как их измерительный канал футерован фторопластом и поэтому его сечение в процессе эксплуатации практически не изменяется.

Многолетние исследования специалистов Хабаровского центра энергоресурсосбережения показали, что «обрастание» трубопроводов происходит вследствие отложения на их поверхности осадков, состоящих из ржавчины, органических соединений и железноводных бактерий, причем «обрастают» в основном подающие трубопроводы, а «обратка» практически не «обрастает».

Причем, если трубопровод полностью заполнен теплоносителем, то отложения имеют рыхлый характер и их можно отделить от поверхности, например, путем обстукивания трубопроводов, или механическим путем, слив теплоноситель. Однако при соприкосновении с воздухом в течение 1-2 часов эти отложения превращаются в твердый осадок, который практически невозможно отделить от поверхности трубопроводов даже механическим путем.

Исследования показали, что интенсивность «обрастания» трубопроводов систем теплоснабжения г. Хабаровска составляет 20-50 % за отопительный сезон.

Как было отмечено выше, особенно сильно «обрастание» трубопровода сказывается на работе вихревых и ультразвуковых расходомеров, работающих по принципу площадь-скорость. В этом случае из-за сужения диаметра измерительного участка расходомера скорость в нем возрастает и, следовательно, возрастает и объемный расход, так как в память расходомера вводится первоначальный диаметр измерительного участка, который не корректируется в процессе эксплуатации расходомера, потому что отсутствуют точные методы измерения толщины осадочного слоя.

Надо отметить, что в некоторых расходомерах, в частности, в расходомерах УРЖК предлагается корректировать изменение диаметра измерительного участка путем периодического измерения внутреннего диаметра трубопровода с использованием специальной штанги, входящей в состав расходомера. Однако точность этих измерений чрезвычайно низка, так как осадочный слой, образующийся на внутренней поверхности измерительного участка трубопровода, очень неравномерен.

Изменение сечения измерительного участка вихревых и ультразвуковых расходомеров в процессе их эксплуатации, а, следовательно, и изменение их метрологических характеристик легко определить экспериментальным путем, например, путем обстучивания трубопроводов в месте установки датчиков.

В процессе эксплуатации этих расходомеров наблюдается гипотетическое увеличение водоразбора $\Delta M = M_1 - M_2$, хотя фактический водоразбор остается постоянным. Это происходит из-за увеличения M_1 , а M_2 при этом остается постоянной, так как обратный трубопровод практически не обрастает. Если обстучать трубопровод в месте установки датчиков, то отложения отделяются от поверхности трубопровода и в виде шлама сносятся потоком теплоносителя, а водоразбор при этом резко уменьшается.

Такая картина наблюдалась на объектах теплоснабжения г. Хабаровска, на которых были установлены системы учета тепла на базе ультразвуковых корреляционных расходомеров ДРК.

В течение месяца водоразбор на этих объектах увеличивался на 10-20 %, а после обстучивания уменьшался до первоначальной величины.

Изменение сечения измерительного участка трубопровода практически не сказывается на метрологических характеристиках классических электромагнитных расходомеров, так как их измерительный участок футерован диэлектриком (фторопласт, металлокерамика и т.д.), который не «обрастает».

Избавится от дополнительной погрешности, возникающей в процессе эксплуатации ультразвуковых и вихревых расходомеров из-за изменения сечения их измерительного участка, можно или путем футеровки его, например, эмалью или, изготовив его из материала, который не обрастает.

Отметим, что исследования Хабаровского центра энергоресурсосбережения показали, что измерительный участок, изготовленный из нержавеющей стали также обрастает, но в меньшей степени. Исследование ультразвуковых расходомеров с измерительными участками, футерованными слоем эмали толщиной 1-2 мм, показали, что в течение отопительного сезона не происходит «обрастание» измерительного участка, но эмаль при этом полностью исчезает с внутренней поверхности подающего трубопровода, а на обратном трубопроводе футеровка сохраняется.

В [29] показано, как влияют отложения на внутренней поверхности измерительного участка ультразвуковых расходомеров на их метрологические характеристики.

На основе проведенных исследований авторы [29] построили зависимость относительного завышения показаний ультразвуковых расходомеров $K = v'/v$ от относительной величины отложений $\sigma = \delta/D$ на внутренней поверхности измерительного участка. Эта зависимость приведена ниже на рис. 6.1.

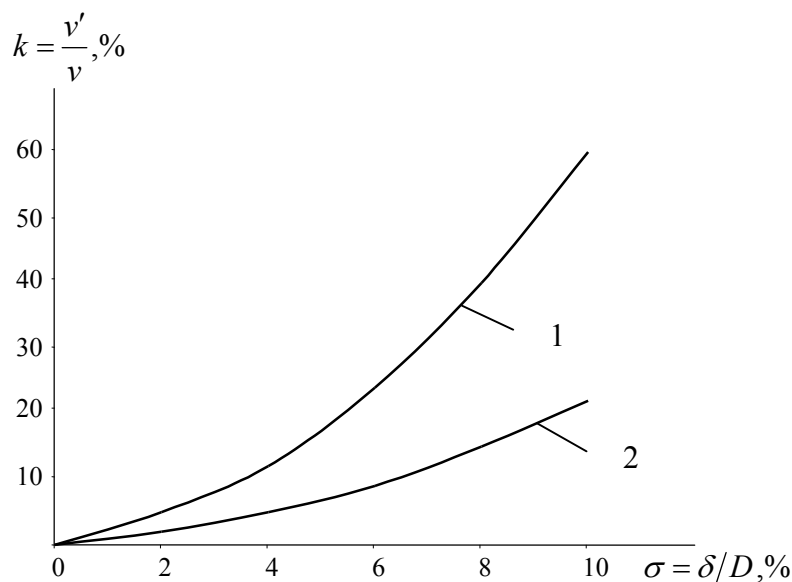


Рис. 6.1. Зависимость относительного завышения показаний ультразвуковых расходомеров от величины отложений:

1 – доплеровские и корреляционные расходомеры; 2 – ультразвуковые расходомеры.

Здесь v – фактический, а v' - завышенный расход, δ - толщина отложений, D - диаметр измерительного участка расходомера.

Авторы [29] предлагают следующие решения для уменьшения погрешности измерений расхода, связанной с влиянием отложений на поверхности измерительного участка расходомеров:

1. Для малых и средних диаметров (до 200 мм) применять измерительные участки со специальным внешним покрытием, исключающим появление отложений.
2. Предусматривать для измерительных участков малых и средних диаметров возможность контроля состояния, а также чистки внутренней поверхности.

6.1.2. Качество теплоносителя.

Качество теплоносителя влияет на метрологические характеристики практически всех типов расходомеров. Наличие в жидкости газообразных примесей особенно сильно сказывается на метрологических характеристиках ультразвуковых, тахометрических расходомеров и вихревых расходомеров с ультразвуковым съемом сигнала.

Для устойчивой работы ультразвуковых расходомеров (кроме доплеровских) количество газообразной фазы в теплоносителе не должно превышать 1% от общего объема протекающего теплоносителя, в противном случае возникает дополнительная погрешность, которая может достигать от 3 до 12 % [30,31].

Наличие газовой фазы в теплоносителе сильно сказывается на метрологических характеристиках тахометрических расходомеров. Например, наличие 5 % по объему воздуха в теплоносителе дает дополнительную погрешность при измерении расхода около 10 %.

Наличие газообразной фазы также сказывается и на метрологических характеристиках электромагнитных и вихревых расходомеров, хотя статистические данные по этому вопросу отсутствуют. Косвенным подтверждением этого обстоятельства служит то, что в инструкциях по монтажу и эксплуатации электромагнитных и вихревых расходомеров указывается, что расходомер должен быть установлен таким образом, чтобы весь трубопровод, на котором он установлен, был полностью заполнен теплоносителем, не содержащим газовой фазы.

Поэтому, для того, чтобы исключить дополнительную погрешность, возникающую при появлении двухфазного течения, необходимо расходомер устанавливать таким образом, чтобы полностью ликвидировать завоздушивание теплоносителя.

Наличие механических примесей в теплоносителе в виде твердых ферромагнитных частиц, продуктов коррозии и т.п., особенно сильно сказывается на метрологических

характеристиках тахометрических расходомеров и вихревых расходомеров с электромагнитным съемом сигнала типа ВЭПС.

Метрологические характеристики тахометрических расходомеров (водосчетчиков) при измерении расходов теплоносителя, содержащего механические примеси, изменяются в процессе эксплуатации по следующим причинам:

1. Механический износ отдельных деталей и узлов водосчетчиков при соприкосновении их с твердыми частицами.
2. Налипание ферромагнитных частиц на магнитную полумуфту крыльчатки, что приводит к возрастанию трения о крышку измерительной камеры.
3. Возрастание трения в червячной паре, передающей вращательный момент от турбинки к магнитной полумуфте.

Исследования, проведенные специалистами ХЦЭС [30], показали, что метрологические характеристики вихревых расходомеров с электромагнитным съемом сигнала ВЭПС очень сильно зависят от наличия в теплоносителе ферромагнитных частиц, налипающих на тело обтекания в зоне действия постоянного магнита, что приводит к искажению показаний расходомера. Как показали исследования [30], погрешность расходомеров ВЭПС в процессе эксплуатации возрастала по мере налипания частиц от 2 до 68 %.

Необходимо отметить, что налипание ферромагнитных частиц происходит при малых и средних расходах, а при увеличении расхода до значений, близких к максимальному, эти частицы смываются потоком жидкости и метрологические характеристики расходомера восстанавливаются.

Причем без проведения специальных исследований отследить это волнообразное изменение метрологических характеристик расходомера ВЭПС невозможно.

Для того, чтобы избавиться от дополнительных погрешностей, вызываемых наличием механических примесей в теплоносителе, необходимо перед расходомерами устанавливать специальные магнитомеханические фильтры.

6.1.3. Отложение осадков и загрязнений на внутренней поверхности измерительного участка и датчиках, искажающих рабочий сигнал.

В процессе эксплуатации расходомеров на внутренней поверхности их измерительных участков, на датчиках и электродах образуются осадки (отложения) в виде ржавчины, нефтепродуктов, железноводных бактерий и других типов загрязнений.

Это приводит, с одной стороны, к сужению сечения измерительного участка и, следовательно, к изменению метрологических характеристик расходомеров (это подробно

рассмотрено в п. 6.1.1), а с другой стороны, к искажению выходного сигнала и неконтролируемому изменению статической характеристики расходомеров.

Все это требует более детальной количественной и качественной оценки этих явлений.

В последнее время в печати появились публикации о влиянии отложений на метрологические характеристики электромагнитных расходомеров [32–35]. В [34] показано, что влияние отложений на метрологические характеристики расходомеров зависит от химического и структурного состава отложений, их электропроводности в сухом и смоченном состоянии. Причем отмечено, что кристаллические микропористые неорганические осадки влияют существенно меньше, чем аморфные и органические.

Эксплуатационные испытания, проведенные специалистами Хабаровского центра энергоресурсосбережения на объектах г. Бикина Хабаровского края, оснащенных теплосчетчиками КМ-5 на базе электромагнитных расходомеров, показали следующую картину.

В процессе эксплуатации на футерованной фторопластом внутренней поверхности измерительных участков расходомеров образовалась тонкая (менее 1 мм) пленка черного цвета, по консистенции похожая на нефтепродукты. Вследствие этого метрологические характеристики расходомеров изменились, что было выявлено путем проведения контрольных проливов на поверочном стенде.

Отметим также, что в процессе испытаний было выявлено следующее явление: метрологические характеристики расходомера восстанавливались при соприкосновении пленки с воздухом в течение 2-3 часов, т.е. по мере высыхания пленки. При этом после установки «неочищенного» расходомера в контур системы теплоснабжения его метрологические характеристики оставались неизменными. При установке же в контур системы теплоснабжения «очищенного» расходомера (измерительный участок очищался от пленки механическим путем) на его измерительном участке снова появлялась пленка, и его метрологические характеристики опять изменялись.

Отметим, что вышеприведенная картина наблюдается только на объектах г. Бикина, где установлено шесть узлов учета с теплосчетчиками КМ-5. На объектах же г. Хабаровска, где установлено более 200 теплосчетчиков КМ-5, эффект изменения метрологических характеристик из-за образования токопроводящих отложений не наблюдался.

Все это лишний раз подтверждает результаты, полученные специалистами фирмы «ASWEGA» [34].

Авторы [34] предлагают для уменьшения влияния отложений на метрологические характеристики расходомеров в процессе эксплуатации следующее:

- нанести на поверхность электродов изоляционное покрытие микропористого строения;
- вынести электроды из зоны интенсивного движения жидкости и ее примесей путем углубления их в стенку трубы;
- отделить электроды от движущейся жидкости проницаемыми перегородками или сетками с управляемым потенциалом;
- вывести электроды из зоны действия магнитного поля.

В [35] отмечено, что осадки, образующиеся на стенках канала и на электродах в процессе эксплуатации электромагнитных расходомеров, вызывают изменение коэффициента передачи и, следовательно, метрологических характеристик расходомера. В этой же работе отмечается, что периодическая очистка внутренней поверхности канала и электродов – это дорогое удовольствие и ее не следует проводить без надобности. А рационально установить периодичность очистки очень сложно. Поэтому в данной работе предлагается автоматически контролировать процесс изменения электрических свойств канала электромагнитных расходомеров. Причем отмечается, что способы контроля зависят от характера осадков.

В этой работе предлагаются две принципиальные схемы контроля изменения электрических параметров канала ЭМР:

- для непроводящих осадков, на электродах, шунтирующих или ослабляющих выходной сигнал;
- для проводящих осадков на стенках канала, уменьшающих основной сигнал.

6.1.4. Прочие факторы, влияющие на метрологические характеристики расходомеров.

К этим факторам относятся:

- пульсации давления и расхода;
- несбалансированность фаз по нагрузкам;
- вибрация трубопроводов;
- температура теплоносителя.

Рассмотрим эти факторы подробнее. Пульсации давления и расхода теплоносителя, вызываемые большими местными гидравлическими сопротивлениями, особенно сильно оказывают влияние на работу тех вихревых расходомеров, которые не используют в процессе преобразования сигнала спектральные методы, позволяющие осуществлять его цифровую фильтрацию и выделять по определенным критериям основную (рабочую)

частоту. Простой подсчет импульсов, генерируемых преобразователем, в случае зашумленного сигнала может привести к очень большой (десятки процентов) погрешности измерений расхода.

К аналогичным результатам приводят электрические помехи сетевой частоты и ее гармоник при эксплуатации электромагнитных расходомеров. Отсутствие качественного контура заземления объекта, на котором установлен теплосчетчик, и несбалансированность фаз по нагрузкам приводит к возникновению больших уравнивающих токов по нулевому проводу и соединенным с ним трубопроводом системы теплоснабжения, что приводит к изменению метрологических характеристик электромагнитных расходомеров.

Вибрации трубопроводов, обусловленные их некачественной подвеской и прокладкой, весьма неприятны для ультразвуковых расходомеров с многоходовым трактом луча. Они способны полностью расфокусировать систему отражателей (зеркал). Также неприятны вибрации трубопроводов и для вихревых расходомеров, не имеющих систему фильтрации шумов. Это влияние наблюдали специалисты Хабаровского центра энергоресурсосбережения при эксплуатации теплосчетчика DIMETIC с вихревыми преобразователями расхода, установленного в гостинице «Турист» г. Хабаровска.

Вихревые расходомеры в гостинице установлены на трубопроводах системы теплоснабжения в колодце на расстоянии около 20 м от здания теплового пункта. При проведении ремонтных работ в тепловом пункте при работающей системе теплоснабжения наблюдались резкие изменения показаний расходомеров, которые исчезали после окончания работ.

Температура теплоносителя влияет на метрологические характеристики практически всех типов расходомеров. Однако достоверные статистические данные о влиянии температуры измеряемой среды на погрешность измерения расхода на сегодняшний день отсутствуют.

Это связано с тем, что на сегодняшний день в России практически отсутствуют горячеводные проливочные стенды, на которых можно было бы провести полномасштабные горячеводные испытания расходомеров различных типов в широком диапазоне измеряемых расходов. Единственная в России горячеводная проливочная установка, позволяющая проводить полномасштабные испытания расходомеров, имеется сегодня в г. Мытищи.

Влияние температуры на метрологические характеристики расходомеров рассмотрено в работах [28,36,37]. Особенно сильно влияние температуры сказывается на метрологических характеристиках двухканальных теплосчетчиков [37].

Влияние температуры на метрологические характеристики расходомеров двухканальных теплосчетчиков наиболее сильно проявляется в виде изменения показаний разности масс $M_{nom} = M_1 - M_2$ в процессе эксплуатации при неизменных параметрах системы теплоснабжения.

Как показали исследования различных авторов [31,36,37], в процессе эксплуатации при неизменных нагрузках потребителя ($M_{звс} = \text{const}$, $M_{ym} = 0$), разность масс теплоносителя, прошедших по подающему M_1 и обратному M_2 трубопроводах постоянно возрастает (теплосчетчики с тахометрическими расходомерами) или постоянно уменьшается и даже становится отрицательной (теплосчетчики с электромагнитными расходомерами). Это обстоятельство можно объяснить только влиянием температуры на метрологические характеристики расходомеров: расходомер, установленный на подающем трубопроводе, работает при температурах 70-130⁰С, а расходомер, установленный на обратном трубопроводе – при температурах 30-70⁰С.

Влияние температуры на метрологические характеристики электромагнитных расходомеров можно объяснить следующим образом [28]. Фторопластовое покрытие измерительного канала этих расходомеров в рабочем интервале температур сетевой воды имеет коэффициент температурного расширения в 4-15 раз больший, чем у стали. При жестком закреплении с концов фторопластовая втулка из-за температурного расширения деформируется во внутреннее пространство трубопровода, сужая его сечение и увеличивая скорость потока.

Влияние температуры на метрологические характеристики тахометрических расходомеров можно, очевидно, объяснить деформацией турбинки (крыльчатки) из-за температурного расширения. Чем выше температура теплоносителя, тем сильнее деформируется турбинка, и тем сильнее изменяются метрологические характеристики расходомера.

Отметим, что, так как все типы расходомеров в России в соответствии с НТД проливаются холодной водой, в паспортах этих приборов дополнительная температурная погрешность не указывается.

Отметим также, что в Германии все расходомеры проливаются на горячеводных установках. При этом для того, чтобы уменьшить температурную погрешность, расходомеры, устанавливаемые в подающем трубопроводе системы теплоснабжения, проливают при температуре около 90⁰С, а расходомеры, устанавливаемые в обратном трубопроводе системы теплоснабжения, проливают при температуре около 40⁰С.

6.2. Результаты эксплуатационных исследований систем учета тепла.

Определить функции влияния вышеперечисленных внешних факторов на метрологические характеристики систем учета в процессе их эксплуатации можно только опытным путем. Для этого необходимо проводить лабораторные и натурные эксплуатационные исследования.

Такие исследования проводились специалистами Хабаровского центра энергоресурсосбережения в течение последних шести лет [30,31].

Для проведения эксплуатационных испытаний в Хабаровском центре энергоресурсосбережения был создан специальный испытательный стенд.

Испытательный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис. 6.2 представляет собой два специально оборудованных участка трубопроводов (подающий и обратный) системы теплоснабжения производственного здания Хабаровского центра энергоресурсосбережения, на которых последовательно с образцовыми преобразователями расхода (поз. 1, 2 на рис. 6.2) устанавливаются специальные кассеты (поз. 9, 10) с испытываемыми преобразователями расхода.

Система теплоснабжения производственного здания ХЦЭС зависимая с открытым водоразбором на нужды ГВС. Качество сетевой воды низкое: в сетевой воде содержится большое количество механических примесей, солей железа, воздуха, илистых компонентов. Максимальное значение температуры сетевой воды в подающем трубопроводе 95°C , максимальный расход сетевой воды 3,0 т/ч, минимальный 0,2 т/ч, расход воды на ГВС менее 10 % от расхода теплоносителя в подающем трубопроводе. Диаметр условного прохода подающего и обратного трубопроводов системы теплоснабжения равен 50 мм. Перепад давлений в подающем и обратном трубопроводах 0,2-0,3 Мпа.

Расход теплоносителя через приборы регулируется шаровым регулирующим краном (поз. 31). система теплоснабжения гидравлически сбалансирована, так что дросселирование потока жидкости на выходе из системы в достаточно широком диапазоне не нарушает ее работоспособности.

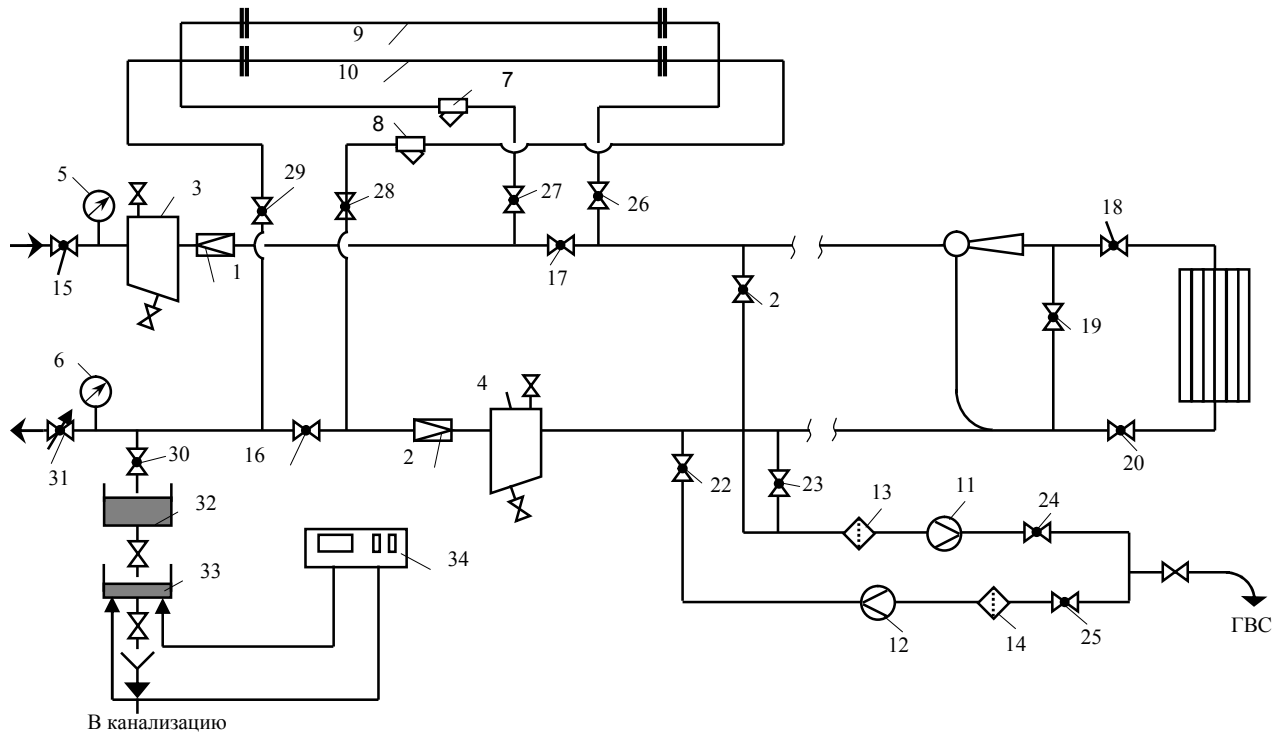


Рис. 6.2. Принципиальная схема испытательного стенда:

1, 2 – сужающие устройства; 3, 4 – грязевик; 5, 6 – манометр; 7, 8 – магнитомеханический фильтр; 9, 10 – кассета с испытуемыми датчиками расхода; 11, 12 – водосчетчик; 13, 14 – проточный фильтр; 15-30 – шаровый кран; 31 – регулирующий шаровый кран; 32 – накопительный бак; 33 – мерный бак; 34 – весоизмерительное устройство.

Система теплоснабжения может работать в двух режимах:

1. Обычном, когда теплоноситель по обратному трубопроводу возвращается на источник.
2. Экспериментальном, когда теплоноситель через перемычку (кран 19) поступает из подающего в обратный трубопровод и затем через кран 30 поступает в накопительный бак 32, а из него в мерный бак 33, установленный на электронных весах 34.

Переключение системы из одного режима в другой осуществляется кранами 18, 19, 20, 30, 31. В экспериментальном режиме можно оценить показания испытуемых приборов, установленных в кассетах 9, 10 и образцовых приборов 1, 2 методом прямого взвешивания.

В качестве образцовых преобразователей расхода используются сужающие устройства (диафрагма с камерой) с дифманометрами EJA-110A корпорации Йокोगава-Электрик (Япония). Эти сужающие устройства вместе с прямыми участками изготовлены из нержавеющей стали. В качестве вторичного прибора используется тепловычислитель СПТ 961.

Погрешность измерения массы такой системой в рабочем диапазоне $G_{\min}/G_{\max}=1/10$ не превышает 0,5 %. При этом необходимо отметить, что дифманометры ЕЖА-110А отличаются высокой стабильностью метрологических характеристик.

Испытуемые преобразователи расхода устанавливаются в кассетах 9, 10 (рис. 6.2) последовательно друг за другом в строгом соответствии с Инструкциями по монтажу и эксплуатации этих приборов. В кассете могут устанавливаться одновременно от 1 до 6 различных типов преобразователей расхода. При испытаниях на подающем трубопроводе было установлено 7 преобразователей, а на обратном - 6 (см. рис. 6.3 и 6.4).

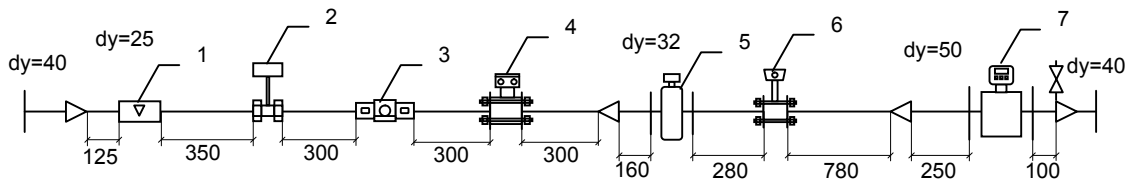


Рис. 6.3. Схема установки испытываемых преобразователей в подающем трубопроводе (поз. 9 на рис. 1).
Здесь: 1 – ULTRAFLOW, 2 – ВЭПС, 3 – ДРК-В, 4 – ППР (СТЭМ), 5 – ПРП (ТЭМ-05М),
6 – Метран-300ПР, 7 – КМ-5.

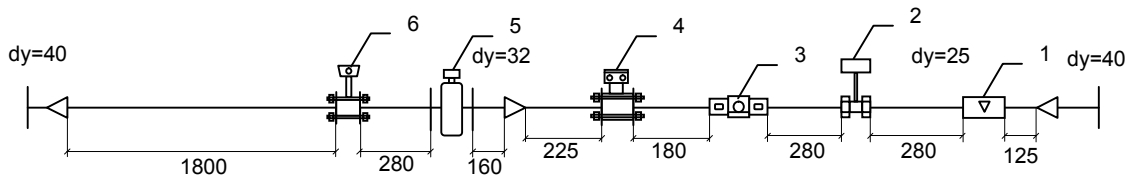


Рис. 6.4. Схема установки испытываемых преобразователей в обратном трубопроводе (поз. 10 на рис. 1).
Здесь: 1 – ULTRAFLOW, 2 – ВЭПС, 3 – ДРК-В, 4 – ППР (СТЭМ), 5 – ПРП (ТЭМ-05М), 6 – Метран-300ПР.

Как видно из рис. 6.3 и 6.4, на испытательном стенде Хабаровского центра энергоресурсосбережения прошли испытания практически все типы преобразователей расхода:

- электромагнитные (СТЭМ, ТЭМ-05М, КМ-5);
- ультразвуковые (ULTRAFLOW);
- вихревые (Метран-300ПР);
- вихревые с электромагнитным съемом сигнала (ВЭПС-ТИ);
- вихревые корреляционные (ДРК-В).

Перед проведением эксплуатационных испытаний проводился входной контроль всех испытываемых преобразователей расхода с целью уточнения их паспортных метрологических характеристик.

Входной контроль проводился на проливочном стенде «ХЦЭС» в соответствии с методикой поверки, утвержденной для данного вида преобразователей. По результатам входного контроля на каждый испытуемый расходомер был составлен паспорт, в котором указывались паспортные характеристики расходомера, средства поверки, соответствие паспортных и фактических характеристик, прикладывался протокол поверки.

Все испытуемые преобразователи расхода, показанные на рис. 6.3, 6.4, кроме ПРП (ТЭМ-05М) и Метран-300ПР прошли входной контроль, который показал, что у всех, без исключения, заявленный диапазон измерения расходов не соответствует фактическому, полученному при входном контроле. При этом наиболее широкий диапазон измерения расхода имеет КМ-5: при заявленном диапазоне $G_{\min}/G_{\max}=1/1000$ входной контроль показал, что фактический диапазон равен 1/200.

При проведении испытаний использовались два метода:

1. Метод сличения.
2. Метод прямого взвешивания.

В первом случае в качестве эталонного прибора использовались образцовые преобразователи расхода на базе сужающих устройств с дифманометрами EJA-110A. Результаты испытаний для этого случая приведены в [30,31].

Во втором случае использовался мерный бак, взвешиваемый на электронных весах. Результаты испытаний для этого случая приведены в табл. 6.1-6.2.

Таблица 6.1.

Результаты испытаний преобразователей расхода, полученные методом прямого взвешивания.

Дата: 9.02.2002 г. $M_{636}=3,214$ т, $t=89^{\circ}\text{C}$, $\tau=140$ мин.

Преобразователь расхода	M_1 , т	M_2 , т	$\delta M_1 = \frac{ M_{636} - M_1 }{M_{636}}, \%$	$\delta M_2 = \frac{ M_{636} - M_2 }{M_2}, \%$
СУ + EJA-110A	3,2	3,18	0,4	1,0
ULTRAFLOW	3,53	3,57	9,8	11,2
ВЭПС-ТИ	3,2	3,43	0,4	6,4
ДРК-В	3,27	3,37	1,8	4,9
СТЭМ	3,31	3,27	3,1	1,6
ТЭМ-05М	3,23	3,24	0,5	0,8

Результаты испытаний преобразователей расхода, полученные методом
прямого взвешивания.

Дата: 22.03.2002 г. $M_{636} = 3,259$ т, $t = 60^0\text{C}$, $\tau = 150$ мин.

Преобразователь расхода	M_1 , т	M_2 , т	$\delta M_1 = \frac{ M_{636} - M_1 }{M_{636}}, \%$	$\delta M_2 = \frac{ M_{636} - M_2 }{M_{636}}, \%$
СУ + EJA-110A	3,26	3,28	0,03	0,6
ULTRAFLOW	3,42	3,41	4,9	4,7
ВЭПС-ТИ	3,29	4,03	0,9	23,6
ДРК-В	3,31	3,41	1,6	4,6
СТЭМ	3,32	3,28	1,8	0,6
ТЭМ-05М	3,17	3,2	2,7	1,9
Метран-300ПР	3,34	-	2,4	-
КМ-5	-	3,27	-	0,6

В табл. 6.1-6.2 использованы следующие обозначения: M_1 и M_2 – масса теплоносителя, прошедшего по подающему и обратному трубопроводам за время τ и измеренная с помощью преобразователей расхода, установленных на этих трубопроводах. M_{636} – масса теплоносителя, поступившего в мерный бак за время τ и измеренная с помощью электронных весов.

Экспериментальные исследования, проведенные путем сличения показаний испытуемых преобразователей расхода с образцовыми (эталонными), показали:

1. Преобразователи расхода ДРК-В, ВЭПС-ТИ, ULTRAFLOW через некоторое время после начала эксплуатации регистрируют «отрицательный» водоразбор, что не соответствует реальному положению вещей. Горячее водоснабжение Хабаровского центра энергосбережения работает по открытой схеме и поэтому водоразбор не может быть «отрицательным». Все остальные испытуемые преобразователи расхода фиксируют положительный водоразбор, что соответствует реальной картине.

2. Относительная погрешность измерения массы теплоносителя

$$\delta M = \frac{|M - M_{эм}|}{M_{эм}} \quad (6.1)$$

для преобразователей ВЭПС, ДРК, СТЭМ, ТЭМ, Метран и ULTRAFLOW и по подающему и по обратному трубопроводу превышает допустимое значение, равное $\pm 2 \%$.

3. Наибольший разброс значений относительной погрешности наблюдается для преобразователей ВЭПС: $\delta M_1 = (6-8)\%$, $\delta M_2 = (5-9)\%$. Причем в некоторые моменты времени погрешность измерения массы теплоносителя, прошедшей по обратному трубопроводу, достигает 50% и более, а затем уменьшается до $\pm 0,5\%$. Это связано с периодическим налипанием ферромагнитных частиц на тело обтекания и уносом их потоком теплоносителя. При этом заметим, что перед испытываемыми преобразователями расхода были установлены магнито-механические фильтры.

Результаты контрольных проверок испытываемых и образцовых преобразователей расхода, проведенные методом взвешивания и приведенные в табл. 6.1 и 6.2 показали: у всех исследованных преобразователей расхода, кроме расходомера переменного перепада, после 4-5 месяцев эксплуатации наблюдались метрологические отказы: относительная погрешность измерения расхода превышала допустимое значение, равное $\pm 2\%$.

В общем, на основании проведенных эксплуатационных испытаний можно сделать следующее заключение:

1. Фактический диапазон измерения расходов, полученный в ходе испытаний, для всех исследованных преобразователей расхода не соответствует паспортному.

2. Относительная погрешность измерения массы теплоносителя всех, без исключения, преобразователей расхода изменяется во времени и в процессе их эксплуатации выходит за допустимое значение, равное $\pm 2\%$. Кроме расходомера переменного перепада давления: для этого расходомера погрешность измерения массы также меняется во времени, но не выходит за допустимые рамки.

3. В процессе эксплуатации у всех испытываемых преобразователей расхода, кроме расходомера переменного перепада, происходит изменение массы теплоносителя $M_{\text{звс}} = M_1 - M_2$, используемого на нужды горячего водоснабжения. Причем у некоторых испытываемых преобразователей расхода (ДПК, ВЭПС, ULTRAFLOW) $M_{\text{звс}}$ даже изменяло знак с плюса на минус. Следует отметить, что реальный расход теплоносителя на нужды ГВС в течение всего испытательного периода оставался практически постоянным.

Все вышеизложенное в п. 3 связано, по-видимому, с влиянием температуры на метрологические характеристики расходомеров. Данное утверждение подтверждается испытаниями преобразователей расхода на горячеводном стенде. Эти испытания проводились в Мытищинской теплосети, но автор данной книги не имеет, к сожалению, результатов данных исследований. Как было доложено на семинаре в 2003 г. в г. Новосибирске, температура в большей или меньшей степени влияет на все, без исключения, преобразователи расхода.

Поэтому, чтобы исключить влияние температуры, необходимо в процессе поверки подбирать расходомеры в пару, поверяя их на различных температурах. Однако это возможно только при наличии горячеводных стендов и соответствующей методике.

Поскольку в России, в соответствии с нормативными документами, поверка преобразователей расхода происходит на холодной воде, то подбирать и составлять пары расходомеров в этом случае нецелесообразно, так как в процессе эксплуатации этих расходомеров произойдет рассогласовывание пары.

В Германии же подбор расходомеров в пары происходит следующим образом: расходомер, который планируется установить в подающем трубопроводе, проливается при $t = 80 \pm 10^{\circ}\text{C}$, а расходомер для обратного трубопровода – при $t = 40 \pm 10^{\circ}\text{C}$. Затем из пролитых таким образом расходомеров составляется пара.

Отметим также, что в некоторых странах (Германия, Нидерланды, США) установлены разные нормы погрешностей при эксплуатации и при выходе прибора из производства. При этом допустимая погрешность в процессе эксплуатации в 1,5-2 раза выше, чем у новых приборов. Если в условиях России допустимую погрешность в процессе эксплуатации увеличить в 2-3 раза по сравнению с нормативной $\pm 2\%$, то, как следует из результатов испытаний, фактически все испытываемые расходомеры в процессе их эксплуатации не выйдут за эти нормы.

6.3. Соответствие фактического межповерочного интервала паспортному и надежность систем учета.

В условиях рыночной экономики и обострившейся борьбы за рынки сбыта многие фирмы-изготовители теплосчетчиков при мягкой позиции Госстандарта завышают межповерочный интервал (МПИ) теплосчетчиков. Поскольку зарубежные теплосчетчики имеют МПИ равный 4-5 лет, то и Российские фирмы-изготовители теплосчетчиков стараются «выторговать» у Госстандарта МПИ такой же длительности.

В табл. 6.3. приведены результаты поверки приборов, проведенные сервисными центрами и территориальными ЦСМ.

Как видно из результатов эксплуатационных испытаний (глава 6.2), метрологические характеристики испытанных преобразователей расхода вышли за метрологические допуски по истечению 4-5 месяцев с момента начала их эксплуатации.

Результаты очередных поверок, проведенные по окончании МПИ и приведенные в табл. 6.3, показывают, что не более чем у 45 % преобразователей расхода и теплосчетчиков длительность МПИ соответствует паспортному (3-4 года).

Результаты поверки преобразователей расхода и теплосчетчиков

Тип прибора	Процент приборов, прошедших поверку			Организация
	После 1 года	После 2-х лет	По окончании МПИ	
ВКОС	-	-	0	Теплосеть-Сервис [38]
SA-94	-	-	43	Теплоучетсервис [35]
	-	-	34	Теплосеть-Сервис
	-	-	43	ХЦЭС
ВСТ	-	-	46	Теплосеть-Сервис
	-	0	0	ХЦЭС
	-	41	-	Укр ЦСМ
КМ-5	-	-	8	ХЦЭС

Из всего вышеизложенного можно сделать вывод: не существует теплосчетчиков, длительность МПИ которых при использовании их в Российских системах теплоснабжения составляет 3 и более лет.

Необходимо, по видимому, устанавливать для теплосчетчиков, планируемых к использованию в России, длительность МПИ сначала один год, а потом корректировать длительность МПИ в процессе их эксплуатации.

Одним из главных показателей, характеризующих работу систем учета, является надежность. Однако вопросы надежности, как метрологической, так и механической являются сегодня наиболее узким местом.

Оценить надежность систем учета можно одним из следующих способов:

1. Проведение специальных испытаний.
2. Обработка статистических данных о неисправностях систем учета в процессе их эксплуатации.
3. Обработка статистических данных очередных поверок.

Рассмотрим подробнее каждый из этих способов.

Способ 1. Проведение специальных испытаний.

Выбирается партия из 20-30 штук систем учета различных типов, например: 20-30 шт. на базе тахометрических преобразователей расхода; 20-30 шт. на базе электромагнитных; 20-30 шт. на базе вихревых преобразователей расхода и т.д.

Перед проведением испытаний каждый из приборов проходит входной контроль и на каждый прибор заполняется паспорт, в который вносятся следующие данные:

- результаты входного контроля;
- результаты внеочередных поверок, не менее 1 раза в отопительный период;
- результаты выходного контроля после окончания отопительного периода;

- тип и количество неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации приборов;

- тип и количество нештатных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации.

Проанализировав полученные данные по окончанию отопительного сезона можно оценить эксплуатационную надежность каждого типа испытуемых систем учета.

Способ 2. Обработка статистических данных о неисправностях систем учета в процессе их эксплуатации.

В этом случае территориальный орган Госстандарта или Госэнергонадзора или какая-либо другая организация, имеющая доступ к статистическим данным об эксплуатации теплосчетчиков, собирает и обрабатывает статистические данные об эксплуатации теплосчетчиков того или иного типа и выявленных при этом неисправностей в их работе.

Проведенная специалистами Хабаровского центра энергоресурсосбережения обработка статистических данных о неисправностях систем учета на базе электромагнитных теплосчетчиков, проявившихся в процессе их эксплуатации в течение двух отопительных сезонов показала, что надежность теплосчетчиков SA-94 (выборка из 84 шт.) составляет около 93 %, а надежность теплосчетчиков КМ-5 (выборка из 380 шт.) составляет около 80 %.

Способ 3. Обработка статистических данных очередных проверок.

В этом случае территориальный орган Госстандарта может обобщить статистические данные, полученные в результате периодической проверки теплосчетчиков после окончания их межповерочного интервала, и на основании этих данных вынести решение о корректировке межповерочного интервала (МПИ) того или иного типа теплосчетчиков.

Так, например, Хабаровский ЦСМ на основе статистических данных, полученных в процессе проверки тахометрических и электромагнитных теплосчетчиков, вынес решение о корректировке МПИ тахометрических и электромагнитных теплосчетчиков, используемых в г. Хабаровске. В соответствии с этим решением МПИ для теплосчетчиков на базе тахометрических расходомеров установлен 1 год (вместо 3-5 лет), а для электромагнитных теплосчетчиков – 2 года (вместо 3-4 лет).

6.4. Сервисное обслуживание системы учета тепла.

Как видно из вышеизложенного, надежность систем учета тепла не превышает 60-80 %. Поэтому остро встает вопрос о поддержании работоспособности этих систем в процессе их эксплуатации, а этого можно добиться только при их техническом обслуживании.

Сегодня ни у кого из специалистов в области учета тепла не возникает вопроса о необходимости технического обслуживания эксплуатируемых систем учета тепла, так как ни одна из этих систем в российских условиях не обладает 100-процентной или даже 90-процентной надежностью.

Однако даже при сверхнадежном оборудовании иногда возникают дефекты и требуется их локализация и устранение. Причем эти дефекты чаще всего возникают из-за ненадлежащих условий его эксплуатации.

Кроме того, иногда возникают ситуации, при которых создается иллюзия неправильной работы оборудования, а истинная причина заключается в нарушении допустимых режимов функционирования теплового узла.

Так, например, наиболее часто при эксплуатации систем учета встречаются следующие нештатные ситуации:

1. Превышение расхода в обратном трубопроводе над прямым (отрицательный водоразбор);
2. Значительное превышение расхода в подающем трубопроводе над расходом в обратном в закрытой системе теплоснабжения;
3. Очень большой (малый) водоразбор горячей воды в открытой системе теплоснабжения.

Анализ данных ситуаций говорит о том, что не всегда эти ситуации связаны с дефектами систем учета. Их можно объяснить следующими причинами:

1. Отмеченное выше превышение расхода укладывается в допустимую погрешность узла учета.
2. В системе теплоснабжения имеются утечки.
3. Методическая погрешность измерения расхода горячей воды, когда он определяется не показанием водосчетчика, установленного в системе ГВС, а по разности показаний двух водосчетчиков, установленных в подающем и обратном трубопроводах системы теплоснабжения.

Сервисное обслуживание систем учета тепла состоит из двух блоков:

1. Техническое обслуживание, включающее в себя следующие виды работ:

- диагностика работы узла учета, выявление и ликвидация нештатных ситуаций;
- текущий ремонт и при необходимости замена отдельных блоков и узлов измерительного комплекса;
- реконфигурация системы учета в межотопительный период;
- ремонт, юстировка и поверка приборов в межотопительный период.

2. Дополнительные сервисные услуги:

- инструктаж и обучение специалистов потребителя тепла работе с измерительным комплексом;
- автоматизированный съем информации с теплосчетчика и составление отчета о теплопотреблении абонента за расчетный период в соответствии с требованиями энергоснабжающей организации;
- выявление нарушений договорных обязательств со стороны энергоснабжающей организации и потребителя, доведение этой информации до абонента;
- оказание помощи потребителю в разрешении конфликтных ситуаций с энергоснабжающей организацией;
- оказание помощи потребителю по нахождению и ликвидации непроизводительных потерь тепла и воды.

Поясним вышеизложенное подробнее.

Диагностические работы включают в себя:

- диагностику работы измерительного комплекса при помощи специального оборудования и в соответствии со специальными методиками;
- выявление сбоев и нештатных ситуаций в процессе эксплуатации измерительного комплекса и ликвидации их на месте без демонтажа измерительного комплекса.

Под текущим ремонтом понимается замена отдельных блоков или узлов измерительного комплекса на месте его эксплуатации без демонтажа и поверки, например, замена предохранителей, блоков питания и т.д. Сюда же включаются работы по ремонту узлов учета в процессе их эксплуатации в сервисной мастерской с последующей калибровкой и поверкой.

Под реконфигурацией системы учета понимается изменение конфигурации измерительного комплекса в межотопительный период. Реконфигурация производится только у тех потребителей, которые потребляют горячую воду в межотопительный период.

В этом случае возможны два варианта реконфигурации:

1. Основной узел учета отключен, а расход воды на нужды ГВС и тепло, уносимое горячей водой, учитываются при помощи дополнительного узла учета, состоящего из

тепловычислителя, двух водосчетчиков и двух преобразователей температуры, установленных в основном и циркуляционном контуре системы ГВС.

2. Учет ГВС ведется по основному узлу учета, который переключается на режим «Лето».

Работы, проводимые в межотопительный период, включают в себя: демонтаж измерительного комплекса, калибровку и юстировку отдельных узлов, поверку и монтаж у потребителя измерительного комплекса и постановку его на повторный учет в энергосберегающей организации.

Расшифруем подробнее дополнительные сервисные услуги.

Сервисная организация проводит инструктаж и обучение специалистов потребителя работе с измерительным комплексом: снятие текущих и архивных данных с теплосчетчика, ведение журнала данных учета потребления тепла и воды в соответствии с Правилами учета и требованиями энергоснабжающей организации, обучение работе с программным обеспечением теплосчетчика.

Автоматизированный съем информации с теплосчетчика может осуществляться двумя способами:

- при помощи специальной программы съема данных и ноутбука, это может делать или специалист сервисной организации или специалист, обученный представителем потребителя;

- дистанционно по модемной связи, причем информация по модемной связи может поступать на ПК потребителя или на сервер сервисной организации: специальная программа обрабатывает полученные данные и формирует отчет о теплопотреблении абонента за расчетный период в соответствии с Правилами и требованиями энергоснабжающей организации, причем отметим, что в различных регионах России эти требования и форма отчета разные.

Измерительный комплекс фиксирует нарушения договорных обязательств как со стороны энергоснабжающей организации (неудовлетворительное качество теплоносителя – параметры теплоносителя (давление, температура) ниже договорных), так и со стороны потребителя (превышение температуры обратной воды, превышение максимального расхода теплоносителя по сравнению с договорными величинами и т.д.) Сервисная организация, проанализировав полученную информацию, доводит ее до сведения потребителя и помогает ему устранить причины нарушения договорных обязательств с его стороны.

При возникновении конфликтных ситуаций между потребителем и энергоснабжающей организацией, например, различная трактовка нестандартных ситуаций,

возникающих в процессе эксплуатации, сервисная организация выступает как третья сторона, объективно трактующая возникшую ситуацию.

Одной из функций сервисной организации является оказание помощи потребителю в ликвидации непроизводительных потерь тепла и воды (утечка через неплотности и запорную арматуру, теплопотери трубопроводов системы теплоснабжения, проходящих через неотапливаемые помещения (подвалы, чердаки) и регулировка системы теплоснабжения с целью создания одинаковых комфортных условий в отапливаемых помещениях и снижения при этом общего теплопотребления здания.

Существуют две формы сервисного обслуживания:

1. Абонентское обслуживание.
2. Обслуживание по фактическим отказам.

При первой форме обслуживания клиент вносит определенную плату, и сервисная организация гарантирует ему бесперебойную работу измерительного комплекса. В этом случае сервисная организация осуществляет техническое обслуживание измерительного комплекса, заменяя или ремонтируя, в случае необходимости, отдельные блоки или узлы и несет при этом ответственность за нарушение нормативных сроков ремонта и предъявление штрафных санкций со стороны энергоснабжающей организации к клиенту. В этом случае техническое обслуживание включает в себя все виды работ, перечисленные ранее. Как правило, при этом осуществляются и дополнительные сервисные услуги, оплата которых включается в стоимость обслуживания.

При второй форме обслуживания потребитель осуществляет текущее техническое обслуживание за счет собственных сил и средств. При выходе приборов из строя потребитель обращается в региональное представительство (сервисный центр) фирмы-изготовителя данного типа теплосчетчиков с просьбой произвести ремонт. При этом сроки ремонта согласовываются с потребителем, а при невозможности отремонтировать прибор на месте он отправляется на фирму-изготовитель. В этом случае, если сроки ремонта превысят нормативные, установленные в Правилах учета или других региональных документах, потребитель будет рассчитываться с энергоснабжающей организацией не по показаниям теплосчетчика, а по договорным величинам и потребитель понесет финансовые потери.

7. УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ У ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Под индивидуальными потребителями понимаются собственники или наниматели жилой площади в многоквартирном жилом доме, т.е. ниже речь идет о поквартирном учете тепла и воды.

Задача поквартирного учета имеет несколько аспектов: правовой, технический и организационный. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Правовой аспект.

Базовым вопросом при решении задачи поквартирного учета является вопрос: «Может ли собственник или наниматель одной квартиры быть в юридических отношениях с энергоснабжающей организацией?»

В соответствии с Гражданским кодексом (ст. 539 п.2) договор энергоснабжения не может быть заключен энергоснабжающей организацией с конечным абонентом (квартирой), так как она **не присоединена непосредственно** к сетям энергоснабжающей организации. Кроме того, в соответствии с Правилами учета [1], приборы учета тепла должны устанавливаться на границе балансовой принадлежности, которая в данном случае проходит по задвижкам на входе в дом, а не квартиру!

Технический аспект.

Во-первых, большинство существующих на сегодняшний день квартир имеют однотрубную постоянную систему отопления, причем в каждой комнате может проходить несколько стояков. Поэтому для данных квартир классические теплосчетчики, состоящие, как минимум из одного расходомера и двух термопреобразователей, абсолютно неприемлемы.

Во-вторых, даже и в этих квартирах и в новом жилье, имеющем двухтрубную систему теплоснабжения с поквартирной разводкой, при организации поквартирного учета возникает вопрос: «Кто будет платить за отопление мест общего пользования (лестничные клетки, подвалы, чердаки, общие коридоры и т.д.)?»

В-третьих, квартирные теплосчетчики имеет смысл устанавливать лишь при наличии технических средств, позволяющих жильцам влиять на объем теплопотребления. Загвоздка же в том, что в условиях централизованного теплоснабжения и регулирование должно быть централизованным, хотя бы в масштабах всего дома. Иначе, перекрыв свои батареи, вы перегреете соседние квартиры и вернете на ТЭЦ «недоиспользованный» теплоноситель, а энергоснабжающая организация это не приветствует.

В-четвертых, даже в случае наличия поквартирных регуляторов при любой разводке и любом методе учета выявится следующий факт – теплотребление «северных» и угловых квартир будет больше. Но, так как именно они будут обеспечивать меньшее потребление остальных квартир дома, являясь для них своеобразным «тепловым щитом», то при оплате тепла понятия «приборной» и «социальной» справедливости приходят в противоречие друг с другом.

Организационный аспект.

Квартира не существует автономно, она является частью многоквартирного дома, в котором, кроме квартир, имеется внутридомовое инженерное оборудование (лифтовое хозяйство, трубопроводы горячей и холодной воды, отопления, канализации, электропроводка и т.д.), которое является частью общего имущества, необходимого для функционирования дома в целом.

Указанное оборудование требует постоянного обслуживания, и кто-то должен об этом заботиться. Когда есть один собственник всего дома, то это его забота. В тех же зданиях, где нет единого собственника, а это практически все здания, которые были государственной или кооперативной собственностью и в которых часть квартир или все квартиры приватизированы, необходимо создание некоторого объединения собственников жилья. Законодательством такое объединение определено как «Товарищество собственников жилья» (ТСЖ).

Энергоснабжающая организация рассчитывается с ТСЖ по домовым теплосчетчикам, учитывающим объем услуг на дом в целом. Затем стоимость этих услуг распределяется между всеми собственниками и нанимателями отдельных квартир или помещений.

Названное ТСЖ, как правило, не имеет в своем составе специалистов, которые могут принимать технические решения по вопросам эксплуатации и модернизации инженерных систем здания, выбора, установки и эксплуатации приборов учета энергоносителей и т.д.

Однако, в соответствии с Федеральным законом «О товариществах собственников жилья», ТСЖ вправе нанимать специализированные организации, которые могут решать организационные и технические задачи.

Если для решения технических задач уже сегодня существуют строительные и монтажные организации, то для решения организационных вопросов должны появиться компании, **управляющие эксплуатацией жилых зданий.**

И если жильцы хотят платить за реально потребленное тепло и управлять этим потреблением, то между ними (жильцами) и энергоснабжающей организацией должна

возникнуть некая грамотная и хорошо оснащенная биллинговая (расчетно-измерительная) или сервисная компания.

Только при таком подходе возможно обеспечить учет в старых (однотрубных) и в новых (двухтрубных) квартирах, решив при этом вопросы с подъездами, коридорами, «тепловыми щитами» и пр. Попутно, кстати, будут нейтрализованы и организационные проблемы учета тепла и воды, такие как съем показаний с приборов, организация ремонта и поверки и пр.

Из всего вышеизложенного следует вывод: поквартирный учет «силами граждан» невозможен в принципе.

Для организации учета у индивидуальных потребителей (поквартирного учета) следует использовать следующую схему:

- установка подомовых приборов учета на тепло и воду, по которым оплачивается стоимость услуг энергоснабжающей организации;
- распределение стоимости потребленного тепла и воды между квартиросъемщиками по определенному алгоритму, который может быть различным в разных домах.

Существует несколько алгоритмов распределения затрат за потребленное тепло и массу теплоносителя между отдельными квартирами. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

При всех существующих алгоритмах распределения затрат между квартирами необходимо сначала из общей суммы затрат вычленить ту часть стоимости тепла и воды, которая не зависит от теплопотребления квартир – так называемые **постоянные расходы**, т.е. общедомовые расходы. Величина этих постоянных расходов зависит от условий в конкретном здании и квалифицированно ее оценить могут только технические специалисты. Как показывает многолетний опыт, размер постоянных расходов колеблется в пределах 20-50 % от общего потребления жилого объекта. Когда процент постоянных расходов для здания определен, эта часть стоимости энергии распределяется между жильцами пропорционально квадратным метрам жилой площади.

Остальная часть стоимости энергии распределяется между жильцами согласно ниже приведенным алгоритмам.

Алгоритм 1. Отсутствуют приборы учета на отопление и на горячую воду.

В этом случае затраты на отопление можно распределить между жильцами пропорционально общей площади квартиры, а затраты на ГВС – пропорционально количеству жильцов в данной квартире. Основной недостаток этого алгоритма – это то, что он не стимулирует энергосбережение и не ведет к сокращению оплаты.

Алгоритм 2. Квартиры оборудованы тепло - и водосчетчиками.

В этом случае распределение затрат производится с учетом показаний этих приборов. Достоинство этого алгоритма в том, что появляется экономический интерес в снижении объемов получаемых жильцами услуг и, следовательно, к уменьшению платежей.

Алгоритм 3. Квартиры оборудованы водосчетчиками для учета горячей воды и «распределителями затрат на отопление».

В этом случае распределение затрат на оплату горячей воды производится на основании водосчетчиков, а распределение затрат на отопление в соответствии с показаниями «распределителей затрат на отопление».

Распределители затрат на отопление бывают двух типов: электронные и испарительные.

Испарительные распределители устроены по принципу зависимости испарения жидкости от изменения действующей на нее температуры. В качестве жидкости используется безопасное для жизнедеятельности человека вещество – метилбензоат. Это вещество находится в открытой ампуле, которая специально градуируется.

Таким образом, в зависимости от количества испарившейся жидкости, по градуированной шкале можно определить условное количество тепла, отданное за определенный период. Градуировочная шкала может представлять собой обычную линейку.

К самому большому достоинству испарительных распределителей относится их низкая стоимость. К недостаткам можно отнести невозможность дистанционного снятия показаний.

Электронные распределители устроены по принципу регистрации температуры, интегрируемой по времени. В каждом электронном распределителе есть два датчика температуры, один из которых регистрирует температуру поверхности радиатора, а второй температуру помещения. В память прибора вводятся дата кодирования, дата снятия показаний, номер прибора, оценочные коэффициенты (конверсионный фактор) и т.д. Съём данных с распределителя происходит через опто связь. Проконтролировать правильность съема можно с помощью жидкокристаллического дисплея, которым оснащены все электронные распределители.

К достоинству электронных распределителей относятся удобство и быстрота обслуживания, более широкий диапазон, чем у испарительных распределителей, возможность диспетчеризации, а также длительный срок эксплуатации (до 10 лет).

К недостаткам можно отнести более высокую стоимость, чем у испарительных распределителей.

Распределители затрат на отопление фиксируют, сколько тепла выделил каждый отопительный прибор (радиатор). Но их показания не являются абсолютными, а зависят от типа и размеров радиатора, на котором установлен распределитель. Для того, чтобы устранить эту разницу, т.е. как бы «уравновесить» показания на разных радиаторах, для каждого радиатора существует свой специальный коэффициент – так называемый конверсионный фактор. Такие коэффициенты экспериментально рассчитаны для большинства радиаторов и помещены в специальную базу данных. Только после того, как показания распределителя будут умножены на конверсионный фактор, получается действительная величина теплотребления в данном помещении. Однако эта величина будет измерена не в привычных единицах (Дж или ккал), а в некоторых условных единицах, которые называются единицами потребления.

Просуммировав число единиц потребления по всем помещениям во всех квартирах в доме, и разделив ее на общую сумму теплотребления жилых помещений, получим цену одной единицы потребления в данном доме за данный период. Умножив эту цену на сумму единиц потребления для каждой квартиры, получим стоимость тепла, потребленного этой квартирой.

Рассмотрим данную схему расчета в виде формул.

Стоимость потребленного тепла данным объектом

$$C_1 = PQ_1 \quad (7.1)$$

Стоимость потребленного тепла общими нежилыми помещениями объекта

$$C_2 = PQ_2 \quad (7.2)$$

Стоимость тепла, потребленного жилыми помещениями (квартирами)

$$C = C_1 - C_2 \quad (7.3)$$

В этих формулах: Q_1 – количество теплоты, потребленное объектом, рассчитанное по показаниям общего теплосчетчика, установленного на вводе в здание; P – цена единицы теплоты; Q_2 – количество теплоты, потребленное общими нежилыми помещениями объекта, рассчитываемое по формуле

$$Q_2 = KQ_1, \quad (7.4)$$

где $K=0,2-0,5$ – коэффициент постоянных расходов, рассчитываемый для каждого конкретного объекта индивидуально.

Далее находится цена единицы потребления для данного объекта за расчетный период:

$$Ц = C / a, \quad (7.5)$$

где $a = \sum_{i=1}^m B_i$ - сумма единиц потребленной энергии по всем жилым помещениям (квартирам) объекта, m – количество квартир. Затем рассчитывается оплата за отопление для i -й квартиры:

$$C_i = Ц B_i, \quad (7.6)$$

где $B_i = \sum_{i=1}^n B_i$ - сумма единиц потребления для данной квартиры, n – количество радиаторов в данной квартире.

На этом расчет стоимости тепла для каждой квартиры заканчивается. Этот расчет производится один раз в год после окончания отопительного сезона, а с энергоснабжающей организацией, как правило, рассчитываются ежемесячно. Для этого в течение года жильцы ежемесячно должны вносить фиксированную предоплату за отопление, например, по установленным нормативам.

В конце года, когда будет вычислена реальная стоимость тепла, производится перерасчет.

Процедура сбора информации с приборов индивидуального потребления тепла называется биллингом, а специализированные организации, предоставляющие такие услуги, биллинговыми. Чтобы производить такие услуги, необходимо иметь специальную расчетную программу и специальную технологию проведения расчетов.

Данные алгоритмы охватывают не все ситуации, которые могут иметь место в реальности. Например, не все квартиры, а только часть оборудованы водосчетчиками, распределителями тепла или теплосчетчиками, наличие в здании не только квартир, но и помещений, арендуемых в других целях. Поэтому могут быть использованы и другие алгоритмы распределения, моделирующие ситуации, встречающиеся в реальной жизни.

Но главное, что, в конечном счете, оплата за тепло в большинстве случаев ставится в прямую зависимость от количества потребленного тепла. И это является надежным стимулом экономии энергии.

В Европе история индивидуального учета насчитывает уже более 20 лет. Во многих странах, например в Дании и Германии, распределители затрат на радиаторах и ежегодный индивидуальный перерасчет оплат за тепло давно стали неотъемлемой частью быта жильцов. Показатели экономии за тепло, достигаемые за счет поквартирного учета в

странах Западной и Восточной Европы, колеблются в пределах 20-50 %, срок окупаемости оборудования оценивается в 1,5-3 года.

Что касается российских условий, то ориентиром могут служить результаты применения систем поквартирного учета на Украине и в Белоруссии. На одном жилом объекте в Киеве применение поквартирного учета в 1996-97 г.г. дало экономию 54 %, на объектах в Минске в течение 2-х последних лет экономия энергии составила 20-30 % [40].

В России поквартирный учет внедрен в городах Дубна, Самара, Курчатов, Челябинск [40], Омск [41], Москва.

В Омске для распределения затрат на тепло по отдельным квартирам используется алгоритм № 3 в усовершенствованном варианте, когда составляющая постоянных расходов не выделяется, а косвенным образом распределяется между всеми квартирами. Суть его в следующем [41]:

На основании показаний домового теплосчетчика Q за расчетный период τ находится средний коэффициент теплоотдачи отопительного прибора:

$$\alpha = \frac{Q}{\tau \sum_{i=1}^n F_i \Delta t_i}, \quad (7.7)$$

где n – число всех отопительных приборов в доме; F_i – площадь i -го отопительного прибора; $\Delta t_i = t_{ni} - t_{Bi}$ – разность температур между поверхностью отопительного прибора t_{ni} и температурой воздуха в отапливаемом помещении.

Измеренное на вводе в здание теплосчетчиком общее количество теплоты Q равно сумме теплопотреблений всех помещений в доме (квартиры, подъезды, лестничные клетки, чердаки и т.д.).

По среднему коэффициенту теплоотдачи α определяется количество тепла, использованное каждой j -ой квартирой:

$$Q_j = \alpha \tau \sum_{i=1}^m F_i \Delta t_i, \quad (7.8)$$

где m – число приборов отопления, установленное в данной квартире (помещении).

При этом должно удовлетворяться условие:

$$Q = \sum_{j=1}^k Q_j, \quad (7.9)$$

где k – количество квартир (помещений) в данном доме.

При реализации этого способа производится однотипная установка термодатчиков: по одному на каждый отопительный прибор – для определения температуры его

поверхности и на уровне пола – для определения температуры воздуха. Датчики подключаются к квартирным приборам учета (КПУ). Квартирные приборы учета постоянно фиксируют температуру на поверхности теплообменного аппарата и температуру воздуха на уровне пола в помещении и передают из значения в домовый концентратор (ДК). Последний связан с домовым теплосчетчиком и получает от него информацию о тепловой энергии, потребленной для отопления дома. В ДК также введены сведения о поверхности всех отопительных приборов и о месте их установки. В ДК производятся вычисление среднего коэффициента теплоотдачи по (7.7) и определение потребления тепловой энергии на отопление каждого помещения и квартиры по (7.8). Последняя информация передается в КПУ, где производится ее накопление.

В [42] описана оригинальная система поквартирного учета тепла типа «групповой теплосчетчик – индивидуальные датчики температуры». Система построена следующим образом. В каждой квартире на каждом из стояков при вводе в квартиру в области межэтажного перекрытия устанавливается высокоточный погружной датчик температуры, подключенный к устройству обработки информации. При этом датчик, измеряющий температуру на выходе из квартиры, является одновременно датчиком температуры на входе в следующую квартиру по данному стояку.

Долевое участие в потреблении тепла j -ой квартиры от i -го стояка рассчитывается по формуле:

$$Q_{ji} = \frac{\Delta t_{ji}}{\Delta t_i} Q_i, \quad (7.10)$$

где Δt_i - разность температур между входом и выходом i -го стояка; Δt_{ji} - разность температур по i -му стояку на входе и выходе из j -ой квартиры; Q_i – полное количество теплоты, прошедшее по i -му стояку.

Полное количество тепла, потребленное j -ой квартирой, от всех стояков, проходящих через нее Q_j , рассчитывается по формуле:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n Q_{ji}, \quad (7.11)$$

где n – число стояков в квартире.

В подъезде здания устанавливается групповой теплосчетчик на каждый стояк однотрубной системы (может быть установлен многоканальный теплосчетчик на несколько стояков) с одним преобразователем расхода и двумя датчиками температуры на входе и выходе из стояка.

Групповой теплосчетчик рассчитывает количество теплоты, прошедшее по данному стояку Q_i и передает эти данные через интерфейс связи на устройство обработки информации. Датчики температуры, установленные в каждой квартире также соединены с устройством обработки информации через интерфейсные блоки.

В качестве измерителей температуры в квартире применяются пьезорезонансные термометры с частотным выходным сигналом с разрешающей способностью $0,02^{\circ}\text{C}$ и подобранными характеристиками в пределах стояка.

Устройство информации периодически опрашивает датчики температуры и групповой теплосчетчик и рассчитывает часовое теплopotребление j -й квартиры по i -му стояку в соответствии с формулой (7.10) и затем суммирует тепло по всем стоякам для каждой квартиры (формула 7.11).

Эти данные с устройства обработки информации поступают в ЭВМ по ее запросу, и ЭВМ рассчитывает месячное теплopotребление для каждой квартиры.

В каждой квартире устанавливается индикатор теплopotребления (дисплей), соединенный с ЭВМ, по которому жилец может получить данные о теплopotреблении своей квартиры за расчетный период (сутки, месяц).

Данная система поквартирного учета тепла может объединяться с системами учета холодной и горячей воды, газа, электричества. При этом индикатор величины потребления данного теплоносителя может быть единым.

При данной системе учета поквартирного теплopotребления постоянные (общедомовые) расходы включены в стоимость затрат на оплату тепла для каждой квартиры.

Преимущества данной системы учета:

- относительно низкая стоимость – 800-900 рублей на квартиру, без учета ЭВМ;
- система пригодна как для новых домов, так и для старого жилого фонда;
- измерение полностью автоматизировано, вплоть до выписки счетов за тепло;
- исключена возможность искажения показаний погружных датчиков температуры жильцами.

Внедрение данной системы предполагалось начать в начале 1998 г. [42], однако автор не располагает сведениями о внедрении данной системы.

8. ИСКАЖЕНИЕ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ТЕПЛА И ВОДЫ.

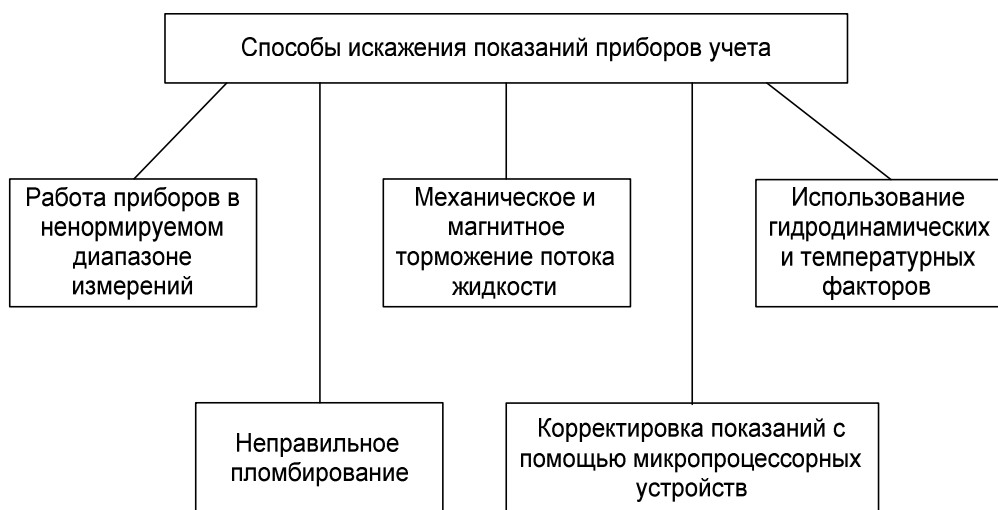
Достоверный учет расхода энергоресурсов является одним из необходимых условий проведения успешной энергосберегающей политики. В России с ее удаленными территориями, технологическими и социальными проблемами задача учета энергоресурсов исключительно важна не только для контроля за их экономным использованием, но и для борьбы с распространенными и часто изощренными хищениями. Масштаб этих хищений огромен, по оценкам [43] они эквивалентны около 50% добываемого в стране органического топлива.

Для борьбы с этими хищениями следует знать методы так называемого «несанкционированного» изменения показаний приборов учета в процессе их эксплуатации, т.е. фальсификацию данных приборного учета.

Слово фальсификация происходит от латинского *talsifico* – «подделываю» и означает:

1. Злостное, преднамеренное искажение данных;
2. Изменение с корыстной целью вида или свойств предмета – подделку.

То есть, под фальсификацией в дальнейшем будем понимать преднамеренное искажение данных теплосчетчиков, осуществляемое с корыстной целью [44]. Типичные способы искажения показаний приборов учета тепла и воды описаны в [43–45]. Их можно классифицировать следующим образом:



Рассмотрим каждый из этих способов.

1. Работа приборов в ненормируемом диапазоне измерений.

В соответствии с нормативно-технической документацией на водосчетчики и расходомеры погрешность измерения этих приборов нормируется в диапазоне от минимального до максимального расхода. Вне этого диапазона погрешность не нормируется. Однако существует еще и порог чувствительности, ниже которого эти приборы не фиксируют водоразбор. Поэтому, установив на трубопроводе «переразмеренный» водосчетчик и работая в зоне ниже порога чувствительности, где водосчетчик не фиксирует водоразбор, можно на законных основаниях не платить за водопотребление.

Так, например, для квартирных водосчетчиков предел чувствительности не превышает 15 л/ч, а в диапазоне от 15 л/ч до 60 л/ч погрешность измерения не нормируется. Таким образом, можно «украсть» на законных основаниях от 360 до 1440 литров воды за сутки. Это самый простой способ хищения. При этом порог чувствительности можно увеличить несущественно.

Так, например, порог чувствительности тахометрического водосчетчика можно увеличить, установив его вертикально, а не горизонтально, а нижний предел измерения расхода вихревого водосчетчика с электромагнитным съемом сигнала можно увеличить, используя внешнее магнитное поле, об этом речь пойдет ниже.

2. Механическое и магнитное торможение потока.

Перед тахометрическими водосчетчиками обычно устанавливается сетчатый фильтр с пробкой. К стакану сетчатого фильтра привязывается тонкая проволока или леска и пропускается в трубу по ходу воды. Проволока (леска) тормозит вращение турбинки (крыльчатки) и показания водосчетчика занижаются.

Используется также торможение крыльчатки путем установки наружных магнитов, положение которых определяется опытным путем.

Для искажения («корректировки») показаний электромагнитных расходомеров снаружи датчика расходомера устанавливаются дополнительные магнитные катушки, напряжение на которые подается в противофазе напряжению катушек расходомера. Таким способом подавляется полезный сигнал, и занижаются показания расходомера. Однако, этот способ пока не получил широкого распространения, так как требует определенной квалификации исполнителей.

При использовании вихревых водосчетчиков с постоянным магнитным полем возбуждения имеются возможности для фальсификации регистрируемого счетчиком нижнего предела измерения по порогу чувствительности. Для этого применяют набор

постоянных магнитов, расположение которых выбирают опытным путем. Таким способом возможно значительно поднять нижнюю границу диапазона измерений. Так, например, если электронный преобразователь вихревого счетчика настроен на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$, то с искусственной компенсацией магнитного поля срабатывание может происходить при значительно большем расходе, например, при $4 \text{ м}^3/\text{ч}$.

3. Использование гидродинамических и температурных факторов.

Одним из самых доступных способов изменения показаний приборов с помощью подручных сантехнических средств – изменить эпюру скоростей и закрутку потока с помощью нестандартной уплотнительной прокладки, устанавливаемой между прямым участком на входе потока в датчик и самим датчиком.

Конструкции и материалы прокладок могут быть самыми различными. Можно уменьшить внутренний диаметр прокладки и даже выполнить винтовую нарезку с закруткой потока. Если прокладка мягкая, то она начнет вибрировать и вызывать пульсацию потока. Это может снизить эффект, так как пульсации потока приводят, например, к завышению показаний тахометрических водосчетчиков. Если прокладка имеет внутреннюю винтовую нарезку и представляет завихритель потока, но неправильно сконструирована, то это может вызвать дополнительное падение давления и шум в трубопроводе. Завихритель потока можно устанавливать и перед прямым участком по потоку, особенно если допускается небольшая длина участка $l_1 = (3 - 5)d_y$.

Загрязненные фильтры, загрязненные внутренние поверхности трубопроводов, частично открытая запорная арматура, установленная вблизи датчика расхода, также вызывает изменение эпюры скоростей и приводит к искажению показаний. Так, например, вследствие частичного засорения входного фильтра показания теплосчетчика в одной из московских гостиниц были занижены на 30 %.

Завоздушивание потока с помощью центробежного насоса, установленного в магистрали, или внешнего компрессора также вызывает изменение показаний приборов учета. При этом объемный счетчик отображает не только объем жидкости, но и объем закачанного с жидкостью воздуха. Особенно сильно завоздушивание потока сказывается на работе ультразвуковых расходомеров.

Объяснить завоздушивание можно следующим образом. В воде имеется растворенный воздух в количестве до 3 % по объему (при атмосферном давлении), а при сильной встряске он выделяется. Чтобы избавиться от этого явления, надо или насос менять, или расход уменьшать, или счетчик устанавливать по потоку до насоса.

Следующий способ искажения показаний теплосчетчиков – манипуляция с термопреобразователями. Очень простой и эффективный способ занижения показаний

теплосчетчика – замена термометров сопротивления одного номинала другим или подключение параллельно термопреобразователю, установленному на подающий трубопровод, резистора определенного номинала. Такое включение занижает температуру воды в подающем трубопроводе, причем величина снижения регулируется подбором номинала резистора. Длина линий связи термопреобразователя с тепловычислителем может составлять десятки метров и поэтому обнаружить подключение резистора практически невозможно.

4. Неправильное пломбирование.

Наличие мягких пломб на узлах теплосчетчиков позволяет делать оттиски с пломб, вскрывать пломбы и вносить коррективы в показания теплосчетчика. После чего теплосчетчик снова пломбируется.

Однако даже при наличии твердых пломб существует множество способов «перепломбирования» узлов учета при сохранении целостности пломбы.

Кроме того, существуют компоненты узлов учета, которые, в принципе, не пломбируются, но, используя которые можно безнаказанно похищать воду. Например, квартирный узел учета холодной и горячей воды включает в себя шаровый кран, сетчатый фильтр с пробкой, водосчетчик и шаровый кран. Монтажные сгоны должны пломбироваться, чтобы нельзя было демонтировать водосчетчик и установить вместо него вставку. Однако остается сетчатый фильтр, который нельзя пломбировать, так как при периодическом его засорении, что в наших условиях происходит достаточно часто, жилец сам выкручивает пробку, достает и промывает сетчатый стакан. Потребитель (жилец) вкручивает на место снятой сливной гайки фильтра гибкий шланг и получает воду в обход счетчика. Если придет инспектор «Водоканала» или энергоснабжающая организация для проверки водосчетчиков, то его достаточно подержать за дверь пару минут, а за это время вывернуть гайку шланга и вкрутить пробку назад.

Существуют и другие способы «корректировки» данных, связанные с неправильным пломбированием отдельных узлов теплосчетчиков.

Рассмотрим, к примеру, преобразователь расхода ПРЭМ, верхняя крышка данного прибора, под которой находится переключатель импульсов, не пломбируется госповерителем и поэтому, сняв верхнюю крышку прибора, можно изменить цену импульса прибора, не повредив при этом пломбу госповерителя.

Рассмотрим теперь семейство тепловычислителей типа ВКТ (фирма «Теплоком»), у которых одна и та же кнопка выполняет две функции одновременно: функцию калибровки (режим «Поверка») и функцию изменения базы данных (режим «Настройка»). Эта кнопка

при поверке не пломбируется госповерителем. Она пломбируется после монтажа тепловычислителя на объекте представителем энергоснабжающей организации. Поэтому, несмотря на то, что прибор опломбирован госповерителем, существует возможность с помощью данной незапломбированной кнопки войти в режим «Поверка» и перекалибровать теплосчетчик. В этом случае теплосчетчик после поверки и теплосчетчик на объекте – это будут два абсолютно разных прибора, хотя при этом пломба госповерителя не повреждена.

Аналогичным образом устроены и другие типы теплосчетчиков, например, теплосчетчик «Взлет-ТСР».

5. Корректировка показаний с помощью микропроцессорных устройств.

Все приведенные выше способы «энергосбережения» не идут ни в какое сравнение с возможностями корректировки показаний с помощью микропроцессорных устройств.

Большинство расходомеров и любой тепловычислитель или информационно-вычислительный блок (ИВБ) – это программируемые контроллеры, т.е. маленький компьютер. И помимо достоверного воспроизведения объективной реальности (измерения), эти устройства могут легко и просто создавать свою виртуальную реальность.

Как отмечено в [45], цифровые устройства позволяют обманывать с невиданными ранее возможностями. Это очень точное описание ситуации, складывающейся в теплоучете в последние годы.

Действующие Правила учета [1] требуют измерения и регистрации большого количества величин. Эти требования можно реализовать только на базе цифровых приборов (устройств). За прошедшие 7-8 лет в Госреестр средств измерений РФ внесено около 500 теплосчетчиков и расходомеров, большинство из которых цифровые.

Неслучайно в ГОСТ Р 51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения» содержится требование: «программное обеспечение теплосчетчиков должно обеспечивать защиту от несанкционированного вмешательства в условиях эксплуатации».

В самом деле, теплосчетчик – это прибор, используемый, как правило, для коммерческого учета, т.е. некий аналог кассового аппарата, который, как и кассовый аппарат, должен иметь фискальную память, защищенную от несанкционированного доступа. Однако, в отличие от кассовых аппаратов, большинство теплосчетчиков не имеет защиты памяти от несанкционированного доступа.

До настоящего времени ни один из государственных центров испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) такие испытания не проводит, хотя новые приборы постоянно вносятся в Госреестр средств измерений РФ.

Что сегодня происходит на практике? Теплосчетчик, как любой цифровой прибор, имеет соответствующее программное обеспечение. Потребитель обычно вместе с теплосчетчиком приобретает и программное обеспечение, при помощи которого он может вывести данные из памяти прибора через интерфейс на компьютер, в локальную сеть или принтер. Это потребительская программа. Но на предприятии-изготовителе существует, кроме того, калибровочное программное обеспечение, которое используется для настройки прибора при выходе из производства, а также для корректировки калибровочных коэффициентов, когда прибор не прошел очередную поверку. Понятно, что калибровочные программы должны быть недоступны широкому кругу лиц и должны находиться только у производителя и лицензированных ремонтных предприятий.

К сожалению, сейчас сложилась иная ситуация. Изготовители приборов нередко передают калибровочные программы внедренческим предприятиям. Это происходит потому, что качество приборов оставляет желать лучшего.

В процессе эксплуатации характеристики датчиков теплосчетчиков «плывут», появляются сверхнормативные расхождения показаний расходомеров в подающем и обратном трубопроводах, «зависает» программное обеспечение и т.д. У энергоснабжающих организаций появляются сомнения в достоверности показаний приборов. И тогда сервисная фирма или потребитель обращаются на завод-изготовитель с просьбой отремонтировать гарантийный прибор. Изготовитель не заинтересован в том, чтобы его прибор имел плохую репутацию в регионе, где он эксплуатируется, и передает сервисной фирме калибровочную программу. Представитель сервисной фирмы загружает программу в ноутбук, подключает ноутбук через интерфейсный разъем к теплосчетчику, снимает и анализирует архивные данные. В случае необходимости он изменяет калибровочные коэффициенты, вводит их новые значения в память теплосчетчика. В результате таких «наладочных» работ нуждающийся в ремонте теплосчетчик снова «хорошо показывает» или начинает давать занятную «экономия».

Интерфейсный разъем не может быть опломбирован энергоснабжающей организацией, поскольку он предназначен для периодического съема архивов при подготовке ежемесячных отчетов. Сервисная фирма также заинтересована в наличии у нее такой программы с тем, чтобы у поставщика и потребителя не было претензий к точности выполняемых измерений и качеству обслуживания приборов. Потребитель тепловой энергии заинтересован в сотрудничестве с сервисной фирмой, имеющей калибровочную

программу, для исключения конфликтов с энергоснабжающей организацией при сбоях в работе прибора и в отдельных случаях для решения вопросов «практического энергосбережения».

Таким образом, и изготовители приборов, и сервисные (внедренческие) фирмы и потребители тепла заинтересованы в негласном распространении специальных программ, способных в обход существующих защит, блокировок и пломб проникать в память микропроцессорных вычислителей. Понятно, какими будут результаты коммерческого учета при таком единстве интересов.

Даже если прибор импортный и фирменную калибровочную программу получить невозможно, программное обеспечение теплосчетчика взламывается, составляется собственная калибровочная программа.

У некоторых цифровых теплосчетчиков доступ в память возможен даже с клавиатуры самого прибора. Для входа в калибровочную программу достаточно нажать некоторую комбинацию клавиш на лицевой панели прибора.

При анализе результатов измерений, накопленных теплосчетчиком на месте их эксплуатации, факты несанкционированного вмешательства в метрологические или эксплуатационные настройки становятся очевидными. Однако доказать факт несанкционированного доступа, а особенно его преднамеренный характер, практически невозможно.

А теперь вопрос, который задается постоянно: но ведь теплосчетчики испытываются и сертифицируются Госстандартом, получают экспертное заключение Энергонадзора, проходят периодическую поверку! – как при всем этом могут получить путевку в жизнь лживые, оборудованные «тайными входами» или обеспеченные «потайными алгоритмами» приборы? Ответим – очень и очень просто, ибо:

Во-первых, никто, нигде и никогда не сумеет проверить соответствие того программного обеспечения (ПО), что было «зашиито» в теплосчетчик, переданный на испытания, тому ПО, которое «Шьется» в серийно выпускаемые и продаваемые приборы! Одна лишняя команда, один отличающийся параметр в программе, и перед вами – уже совсем другой теплосчетчик!

Во-вторых, никто не в состоянии изучить, испытать, проверить всю программу, зашитую в прибор. Вряд ли у Госстандарта или иных экспертных структур будет время и возможности восстановить ПО хотя бы одного теплосчетчика из машинных кодов и найти в нем «тайные лазейки»; вряд ли «нечестный» производитель предоставит на экспертизу «честные» исходные тексты своих программ. Таким образом, даже если на экспертизу

взят прибор с «реального объекта», проверка его ПО «на честность» практически невозможна.

Что же делать, как жить дальше? Как можем мы применять теплосчетчики, не будучи ни на йоту уверенными в их адекватности? Какая нужна экспертиза, какой порядок сертификации, как гарантировать «перенос» результатов испытаний типа на всю массу выпускаемых приборов данного типа? К сожалению, автор не нашел ответа на эти вопросы. Можно предложить следующее. Поскольку функционально структура и состав вычислителей известны, то можно написать программное обеспечение для них, абстрагируясь от конкретных марок и моделей, но пользуясь лишь предоставляемыми производителями «железа» аппаратными драйверами. А писать его могут не только производители приборов. Это должно привести к улучшению качества.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПРИБОРОВ УЧЕТА.

Решение проблемы приборного учета энергосбережения начинается с выбора номенклатуры приборов учета. При этом необходимо для каждого конкретного случая выбрать оптимальный метод измерения и тип прибора, т.е. необходимо выбрать теплосчетчик, который бы оптимально подходил к конкретным финансовым возможностям и специфическим условиям предприятия. Критерии выбора теплосчетчиков приведены в [46,47]. Надо сказать, что выбор теплосчетчика – не простой вопрос. Дело в том, что, в отличие от зарубежных стран, системы теплоснабжения в России не закрытые, а открытые или «условно закрытые», т.е. закрытые, но с утечками. Поэтому в условиях России невозможно обойтись традиционным теплосчетчиком для закрытой системы с одним водосчетчиком. Кроме того, необходимо учитывать гамму конкретных факторов, ограничивающих в той или иной степени свободу выбора теплосчетчика. Например, отсутствие приспособленного помещения, малый располагаемый напор, малые скорости потока теплоносителя, короткие длины прямых участков трубопровода, надежность в эксплуатации, отсутствие подготовленного персонала, условия эксплуатации, диапазон измерений и т.п.

Увеличение спроса на приборы учета тепла и воды стимулировало появление на рынке большого числа приборов для этих целей. Непрофессионалу в этом море предложений весьма трудно разобраться и грамотно осуществить выбор конкретных средств учета. Целесообразно обратиться к специализированной организации, занимающейся внедрением и сервисным обслуживанием приборов в данном конкретном регионе.

Рассмотрим подробнее технические, эксплуатационные и метрологические характеристики, которые необходимо учитывать при выборе средств учета.

1. Погрешность измерений массы. Большинство теплосчетчиков обеспечивают измерение массы теплоносителя с относительной погрешностью $\pm 2 \%$, что соответствует установленной норме [1]. Однако часто, например, в открытых системах или системах ГВС с циркуляцией, необходимо измерять не массу теплоносителя, а разность масс. В этом случае для того, чтобы уменьшить погрешность измерения разности масс, необходимо выбрать более высокоточные приборы, которые позволяют измерять массу теплоносителя с относительной погрешностью 0,5 и 1,0 %.

2. Диапазон измерений расхода. Большинство теплосчетчиков имеют диапазон измерений расхода не более 1/25. У большинства из них наибольший расход соответствует скорости потока воды 10 м/с и более, а наименьший расход, который возможно корректно измерить, соответствует скорости не более 0,4 м/с. На практике, из-за малых располагаемых напоров в системе теплоснабжения у потребителей фактическая скорость воды колеблется в пределах от 0,1 до 0,5 м/с. Следовательно, не все теплосчетчики обладают необходимым диапазоном измерения расхода. Кроме того, при переходе с зимнего на летний режим работы системы теплоснабжения, расход уменьшается в 3-5 раз. Следовательно, диапазон измерения 1/25 оказывается недостаточен и возникает необходимость установки двух комплектов приборов. Поэтому необходимо выбирать теплосчетчики с диапазоном измерения 1/50, 1/100, 1/200 и более, погрешность измерения которых в данном диапазоне не превышает 2 %.

3. Потери давления. Преобразователи расхода, входящие в состав теплосчетчиков и устанавливаемые на трубопроводах, обладают гидравлическим сопротивлением, что создает потери давления на них. Поэтому при малых располагаемых напорах необходимо использовать полнопроходные (без занижения диаметра трубопровода) электромагнитные или ультразвуковые преобразователи расхода, которые не создают потерь давления.

4. Длины прямых участков трубопроводов. Многие типы преобразователей расхода требуют для корректных измерений наличия существенных длин прямых участков до и после места их установки. Особенно это относится к ультразвуковым расходомерам и расходомерам переменного перепада давления. Но на практике при отсутствии приспособленных помещений не всегда возможно удовлетворить эти требования.

5. Каналы измерений. Современные теплосчетчики представляют собой комплексные измерительные системы, которые могут обслуживать одновременно учет по двум и более тепловым вводам и по магистрали ГВС. В этом случае теплосчетчик

становится универсальным и может удовлетворить требования самых разнообразных потребителей теплоты.

6. Наличие системы диагностики. Большинство теплосчетчиков снабжено системой самодиагностики, которая обеспечивает периодическую автоматическую проверку состояния прибора и выдает сведения о характере возникших отказов, времени начала отказов и их длительности. Одновременно приборы могут регистрировать нештатные ситуации, возникающие в системе теплоснабжения, такие как выход текущего значения расхода за пределы установленного для прибора диапазона или за пределы введенных в память прибора уставок, отключение электропитания, небаланс масс в трубопроводах и т.д.

7. Энергонезависимость. Энергонезависимость надо рассматривать с двух позиций: перерывы сетевого (220 в) электропитания и безопасность эксплуатации. С перерывами электропитания можно бороться, используя блоки бесперебойного питания, а безопасность важна при эксплуатации теплосчетчиков, установленных в сырых и влажных помещениях (подвалах), а также на социальных объектах: детские сады, школа и т.д.

8. Условия эксплуатации. При выборе теплосчетчиков необходимо принимать во внимание условия их эксплуатации. Так, например, при вероятности наличия в воде механических и газовых примесей не рекомендуется использовать ультразвуковые и тахометрические теплосчетчики. Предпочтительнее в этом случае электромагнитные и вихревые теплосчетчики. При наличии же в воде ферромагнитных примесей не рекомендуется использовать тахометрические и вихревые с электромагнитным съемом сигнала теплосчетчики. При наличии в сетевой воде примесей, ведущих к образованию пленки или осадка на внутренней поверхности трубопроводов не рекомендуется использовать электромагнитные теплосчетчики и т.д.

9. Комплектность поставки. При использовании единых теплосчетчиков или составных теплосчетчиков, получаемых от единого поставщика гарантируется совместимость его блоков и элементов и работоспособность их в совокупности. В противном случае возможны недоразумения, связанные с адаптацией теплосчетчика к конкретным условиям применения и не проявляющиеся на этапе ввода в эксплуатацию.

10. Межповерочный интервал. Поскольку межповерочный интервал является экономической категорией (затраты на проведение периодической поверки составляют до 10 % стоимости теплосчетчика), то понятно, что необходимо выбирать теплосчетчики с наибольшим межповерочным интервалом. Сегодня он составляет для разных теплосчетчиков от 2-х до 5-ти лет.

11. Наличие и глубина архива. Практически все современные теплосчетчики осуществляют архивирование информации с возможностью последующего извлечения архивных данных либо непосредственно с прибора, либо с помощью дополнительных терминалов. При этом важнейшим фактором является возможность вывода архивных данных на табло прибора.

12. Стоимость и надежность. Стоимость комплекта различных теплосчетчиков колеблется в широком диапазоне и зависит от тепловой нагрузки здания, количества каналов измерений теплоты, необходимости измерения давления в трубопроводе, наличия дополнительного внешнего оборудования (принтер, модем), поставщика (отечественный, зарубежный) и других факторов. Стоимость теплосчетчика напрямую коррелирует с надежностью. Как правило, чем дешевле теплосчетчик, тем он менее надежен. Например, электромагнитные преобразователи расхода ведущих зарубежных производителей (Англия, Германия, Япония) в 2-4 раза дороже, чем аналогичные изделия отечественных фирм и фирм из постсоветского пространства (Эстония, Белоруссия, Украина). Однако их надежность на порядок выше и их фактический межповерочный интервал соответствует заявленному, например 4-5 лет. Фактический же межповерочный интервал преобразователей, изготовленных отечественными производителями, не превышает, как правило, 1-2 года при заявленном 3-4 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. - М.: Изд-во МЭИ, 1995.
2. ГОСТ Р51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения». – М.: Госстандарт России, 2001.
3. Глухов А.П., Канев С.Н. Некоторые аспекты применения новых правил учета тепловой энергии и теплоносителя для открытых систем теплоснабжения. // Сб. «Внедрение коммерческого учета энергоносителей». Материалы четвертого семинара, 23-24 апреля, СПб.: МЦЭНТ, 1996.
4. Лупей А.Г. О правилах учета тепловой энергии и теплоносителя и проблемах их применения. // Сб. «Внедрение коммерческого учета энергоносителей». Материалы четвертого семинара, 23-24 апреля, СПб.: МЦЭНТ, 1996.
5. Беляев Б.М., Лисенков А.И. О корректировке «Правил учета тепловой энергии и теплоносителя». // Сб. «Внедрение коммерческого учета энергоносителей». Материалы четвертого семинара, 23-24 апреля, СПб.: МЦЭНТ, 1996.
6. Глухов А.П., Канев С.Н. О некоторых противоречиях, связанных с применением новых «Правил учета тепловой энергии и теплоносителя». // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы пятого научно-технического семинара, 27-29 мая, СПб.: МЦЭНТ, 1997.
7. Фаликов В.С. Требования к новым правилам учета тепла у потребителей. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы шестого научно-технического семинара, 11-13 ноября, СПб.: МЦЭНТ, 1997.
8. Рябинкин В.Н. Основные принципы измерения и определения количества теплоты и теплоносителя по новым «Правилам учета тепловой энергии и теплоносителя». // Сб. «Внедрение коммерческого учета энергоносителей». Материалы четвертого семинара, 23-24 апреля, СПб.: МЦЭНТ, 1996.
9. Черноморченко С.И. К учету температуры холодной воды. // Сб. «Внедрение коммерческого учета энергоносителей». Материалы четвертого семинара, 23-24 апреля, СПб.: МЦЭНТ, 1996.
10. Медведев В.А. Теплосчетчики в открытых системах теплоснабжения: проблемы и решения. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы шестнадцатой международной научно-практической конференции, 3-5 декабря, СПб.: Изд-во «Борей-Арт», 2002.
11. ГОСТ Р51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. Общие технические условия», М. Госстандарт России, 2000.

12. Лисенков А.И. Некоторые замечания по ГОСТ Р51649-2000 на теплосчетчики. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы двенадцатой международной научно-практической конференции, 28-30 ноября, СПб.: Политехника, 2000.
13. Карпович А.К., Устьянцева О.Н. О ГОСТ на теплосчетчики. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы тринадцатой международной научно-практической конференции, 24-26 апреля, СПб.: Политехника, 2001.
14. Лачков В.И. Предложения по ГОСТ Р51649-2000 на теплосчетчики. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы тринадцатой международной научно-практической конференции, 24-26 апреля, СПб.: Политехника, 2001.
15. Каханков А.Е. О ГОСТе Р51649-2000 «Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы тринадцатой международной научно-практической конференции, 24-26 апреля, СПб.: Политехника, 2001.
16. Анисимов Д.Л. К обсуждению ГОСТ Р51549-2000 на теплосчетчики. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы тринадцатой международной научно-практической конференции, 24-26 апреля, СПб.: Политехника, 2001.
17. Карпович А.К., Устьянцева О.Н. К вопросу о единстве измерений ТЭР. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы пятнадцатой международной научно-практической конференции, 23-25 апреля, СПб.: Политехника, 2002.
18. Ми 2412-97 «Рекомендация. ГСИ. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя». М., ВНИИМС, 1997.
19. ГОСТ Р 8.591-2002 «ГСИ. Теплосчетчики двухканальные для водяных систем теплоснабжения. Нормирование пределов допускаемой погрешности при измерении потребленной абонентами тепловой энергии». – М.: Госстандарт России, 2002.
20. ГОСТ Р 8.592-2002 «ГСИ. Тепловая энергия, потребляемая абонентами водяных систем теплоснабжения. Типовая методика выполнения измерений». – М.: Госстандарт России, 2002.
21. Зуев П.И., Туберт С.А. Метрологические аспекты приборного учета тепловой энергии и потерь теплоносителя в водяных системах теплоснабжения. // Материалы пятнадцатой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 23-25 апреля, СПб.: Политехника, 2002.
22. Мишустин В.И., Чистяков Ю.А. Существующие нормативные документы по определению погрешностей измерений количества теплоты и массы теплоносителя в системах водяного теплоснабжения. // Материалы семнадцатой международной научно-

- практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 22-24 апреля, СПб.: Политехника, 2003.
23. Новицкий П.В. Практические пути повышения точности учета тепловой энергии и теплоносителя. // Материалы пятого научно-технического семинара «Коммерческий учет энергоносителей», 27-29 мая, СПб.: МЦЭНТ, 1997.
24. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. – СПб.: Политехника, 2002.
25. ГОСТ 8.563.1-3.-97. ГСИ. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. – М.: Изд-во стандартов, 1998.
26. ГОСТ 26969-86.
27. Бирюков Б.В., Данилов М.А., Кивилис С.С. Испытания расходомеров. Москва, Издательство стандартов, 1987.
28. Таранин В.Д. О метрологическом обеспечении теплосчетчиков. Законодательная и прикладная метрология, М., № 3, 1999.
29. Вагин Н.И., Куклин Д.Е., Хазанов С.В. Влияние отложений на показания ультразвуковых расходомеров. // Материалы десятой Международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 23-25 ноября, СПб.: Политехника, 1999.
30. Канев С.Н., Глухов А.П., Старовойтов А.А. Результаты эксплуатационных испытаний систем учета тепла. // Материалы девятой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 20-22 апреля, СПб., Политехника, 1993.
31. Глухов А.П., Канев С.Н., Старовойтов А.А. Эксплуатационные испытания измерительных комплексов учета тепла и воды. // Материалы одиннадцатой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 25-27 апреля, СПб.: Политехника, 2000.
32. Кузовков В.М., Ковригин С.Б. Электромагнитные расходомеры: проблемы и перспективы. // Материалы девятой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 20-22 апреля, СПб., Политехника, 1999.
33. Межбура В.И. Электромагнитный расходомер для магнитных жидкостей. // Материалы десятой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 23-25 ноября, СПб., Политехника, 1999.
34. Межбура В.И. Электрохимический барьер в электромагнитных расходомерах. // Материалы двенадцатой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 23-25 апреля, СПб., Политехника, 2002.

35. Балтушникас Д., Вирбалис Ю.А., Григонене О., Рачкене Р. Контроль электрических свойств канала электромагнитных расходомеров в процессе работы. // Материалы семнадцатой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 22-24 апреля, СПб., Борей-Арт, 2003.
36. Лачков В.И. О влиянии изменения сопротивления катушки электромагнитного расходомера на результаты измерений. // Материалы двенадцатой международной научно-практической конференции «совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара», 23-25 апреля, СПб., Борей-Арт, 2002.
37. Лупей А.Г. О влиянии температуры на погрешность измерений расхода теплоносителя. // Материалы тринадцатой международной научно-практической конференции «Коммерческий учет энергоносителей», 24-26 апреля, СПб., Борей-Арт, 2001.
38. Франгулян Л.А. Современное состояние и тенденции развития работ по специализированному техническому обслуживанию абонентских узлов учета тепловой энергии и теплоносителя. // Теплоснабжение. Информационный бюллетень Госэнергонадзора, № 3-4, 2001.
39. Данилов Е.А., Бригаденко И.Н., Иванова Г.М., Парамонова Е.Ю. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал теплосчетчиков при расширенном диапазоне измерения расхода. // Энергосбережение, № 5, 2003.
40. Никитина С.В. Индивидуальный поквартирный учет потребления тепла и воды – прямой путь к экономии энергии и снижению оплат за отопление. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы седьмой международной научно-практической конференции, 21-23 апреля, СПб.: Политехника, 1998.
41. Рябинкин В.Н. Некоторые вопросы учета отопления квартир. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы четырнадцатой международной научно-практической конференции, 27-29 ноября, СПб.: Борей-Арт, 2001.
42. Малхазов Ю.С., Козобродов В.А., Гуревич В.М., Проворов М.А. Система поквартирного учета энергоресурсов. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы седьмой международной научно-практической конференции, 21-23 апреля, СПб.: Политехника, 1998.
43. Андреев И.П. Осторожно: учет расхода энергоносителей под угрозой несанкционированных вмешательств недобросовестных потребителей. // Ежеквартальный бюллетень «Энергетическая эффективность», Москва, ЦЭНЭФ, октябрь-декабрь, 2000.
44. Анисимов Д.Л. Теплосчетчики: о фальсификациях и спекуляциях. // Сб. «Совершенствование измерений расхода, регулирования и коммерческий учет

энергоносителей». Материалы 3-го международного научно-практического форума двух конференций», 2-4 декабря, СПб.: Борей-Арт, 2003.

45. Каргопольцев В.П., Лупей А.Г. О некоторых методах «экономии» при ведении коммерческого учета воды и тепла. // Энергосбережение, № 6, 2003.

46. Курносов Н.М., Звенигородский Э.Г. Критерии выбора и состояния рынка приборов учета тепловой энергии и теплоносителей. // Энергосбережение, № 6, 1999.

47. Лачков В.Н. О критериях выбора теплосчетчика для систем водяного теплоснабжения. // Сб. «Коммерческий учет энергоносителей». Материалы пятнадцатой международной научно-практической конференции, 23-25 апреля, СПб.: Борей-Арт, 2002.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ	2
2. ТЕРМИНОЛОГИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	2
2.1 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	3
2.2 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	5
2.2.1 Параметры	5
2.2.2 Индексы	5
3. НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ	6
4. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ И РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ	13
5. СИСТЕМЫ УЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ. 18	
5.1. Преобразователи температуры	20
5.2. Преобразователи расхода	29
5.2.1. Расходомеры перепада давления	32
5.2.1.1. Соединительные и вспомогательные устройства расходомеров	39
переменного перепада давления.	39
5.2.1.2. Дифференциальные манометры	41
5.2.1.3. Преимущества и недостатки расходомеров переменного перепада давления.	42
5.2.1.4. Расходомеры переменного перепада давления на базе усредняющих напорных	
трубок.	42
5.2.2. Тахометрические расходомеры и счетчики	44
5.2.3. Электромагнитные преобразователи расхода.	55
5.2.4. Ультразвуковые преобразователи расхода	60
5.2.4.1. Фазовые ультразвуковые расходомеры	66
5.2.4.2. Частотные ультразвуковые расходомеры	67
5.2.4.3. Времяимпульсные ультразвуковые расходомеры	67
5.2.4.4. Допплеровские расходомеры	74
5.2.4.5. Достоинства и недостатки ультразвуковых расходомеров	78
5.2.5. Вихревые расходомеры	80
6. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ УЧЕТА ТЕПЛА В УСЛОВИЯХ	
ЭКСПЛУАТАЦИИ	90
6.1. Факторы, влияющие на работу расходомеров в условиях эксплуатации	90
6.1.1. Изменение сечения измерительного участка трубопровода в процессе эксплуатации	
.....	91
6.1.2. Качество теплоносителя.	94
6.1.3. Отложение осадков и загрязнений на внутренней поверхности измерительного	
участка и датчиках, искажающих рабочий сигнал	95
6.1.4. Прочие факторы, влияющие на метрологические характеристики расходомеров	97
6.2. Результаты эксплуатационных исследований систем учета тепла	100
6.3. Соответствие фактического межповерочного интервала паспортному и надежность	
систем учета.	106
6.4. Сервисное обслуживание системы учета тепла	109
7. УЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ И МАССЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ	113
У ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	113
8. ИСКАЖЕНИЕ ПРИБОРНОГО УЧЕТА ТЕПЛА И ВОДЫ	122
9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПРИБОРОВ УЧЕТА	129