

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Институт повышения квалификации
и переподготовки

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ

ПОСОБИЕ

**для слушателей специальности переподготовки
1-42 01 71 «Металлургическое производство
и материалобработка»
заочной формы обучения**

Гомель 2023

УДК 621.1.002.56(075.8)
ББК 31.32я73
Т34

*Рекомендовано кафедрой «Металлургия и технологии
обработки материалов» ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 11 от 08.11.2022 г.)*

Составитель *О. В. Герасимова*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Технология машиностроения»
ГГТУ им. П. О. Сухого, доц. *Г. В. Петришин*

Т34 **Теплотехнические приборы и измерения** : пособие для слушателей специальности 1-42 01 71 «Металлургическое производство и материалобработка» заоч. формы обучения / сост. О. В. Герасимова. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2023. – 30 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Приведены основные теоретические сведения по курсу «Теплотехнические приборы и измерения».

Для слушателей специальности 1-42 01 71 «Металлургическое производство и материалобработка» ИПКиП.

УДК 621.1.002.56(075.8)
ББК 31.32я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2023

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем, с помощью специальных технических средств.

Теплотехнические измерения служат для определения многих физических величин, связанных с процессами выработки и потребления тепловой энергии. Они включают определение число чисто тепловых величин (температура, тепловая энергия) и некоторые другие величины (давление, расход, количество, уровень, состав газа, концентрация). В энергетической промышленности теплотехнические измерения используются для повседневного контроля и наблюдения за работой и состоянием установленного на электростанциях оборудования. Большую роль технические измерения играют в устройствах автоматизации электрических станций (автоматическое регулирование и управление, технологическая защита, сигнализация).

Надежность и экономичная эксплуатация современных тепловых электростанций и малых котельных немыслима без применения значительного количества разнообразного по устройству, назначению и принципу действия приборов теплотехнического контроля.

Большинство современных теплотехнических приборов основано на применении электрических принципов измерения неэлектрических величин. Указанный принцип измерения, построенный на количественном соотношении между электрическими и неэлектрическими величинами, повышает точность и надежность измерений, упрощает устройство приборов и обеспечивает возможность передачи информации об измеряемом параметре на большие расстояния. Пневматические измерительные приборы применяют на взрывоопасных объектах.

Широкое применение для теплотехнических измерений получили автоматические электронные измерительные приборы, отличающиеся высокой точностью, чувствительностью и быстродействием.

Существуют следующие измерительные приборы, предназначенные для измерения теплотехнических параметров:

- температуры - термометры, пирометры;
- давления - манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры и барометры;
- расхода и количества - расходомеры, счетчики;
- уровня жидкости и сыпучих тел - уровнемеры, указатели уровня;
- состав дымовых газов - газоанализаторы;
- качество воды и пара - кондуктометры.

Теплотехнические измерения являются составной частью такой большой науки, как метрология.

1 ПОНЯТИЕ О ТЕМПЕРАТУРЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ШКАЛАХ

Температура - условная статистическая величина, прямо пропорциональная средней кинетической энергии частиц вещества (молекул или

атомов), так как согласно кинетической теории, температуру определяют как меру кинетической энергии поступательного движения молекул.

Измерение температуры на практике возможно лишь методом сравнения нагретости двух тел, причем степень нагретости одного из них предполагается известной. Для этого используют изменение, какого-либо физического свойства вещества, зависящего от температуры и легко поддающегося измерению, т.е. измерение температуры производится косвенным методом.

Температурная шкала - непрерывная совокупность чисел, линейно связанных с численными значениями какого-либо удобно и достаточно точно измеряемого физического свойства вещества; представляющего собой однозначную и монотонную функцию температуры.

Чтобы перейти к количественной оценке температуры, необходимо установить шкалу температур, т.е. выбрать начало отсчета и единицу измерения температур.

Для разметки температурной шкалы чаще всего использовали объемное расширение тел при нагревании, а за постоянные точки принимали температуру кипения воды t_2 и температуру таяния льда t_1 . На этом принципе основаны шкалы, созданные Фаренгейтом, Реомюром, Цельсием и Ломоносовым. Авторы приняли температуру таяния льда t_1 и температуру кипения воды t_2 , соответственно:

$$t_1 = +32^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C};$$
$$t_2 = 180^{\circ}\text{C}, 80^{\circ}\text{C}, 100^{\circ}\text{C}, 100^{\circ}\text{C}.$$

Соотношение между единицами измерения температуры следующее:

$$t^{\circ}\text{C} = 1,25^{\circ}\text{R} = 5(^{\circ}\text{F} - 32).$$

Термодинамическая шкала называется абсолютной, если в ней за нуль принять точку, которая лежит на $273,16^{\circ}\text{C}$ ниже точки плавления льда. Осуществить шкалу Кельвина невозможно, т.к. уравнение выведено из идеального цикла Карно. Однако термодинамическая шкала температур совпадает со шкалой газового термометра, заполненного идеальным газом. Известно, что некоторые реальные газы (водород, гелий, неон, азот) в широком интервале температур по своим свойствам незначительно отличаются от идеального газа. Так, например, шкала водородного термометра, с учетом поправки на отклонение водорода от идеального газа, представляет собой практически термодинамическую шкалу температур.

Газовые термометры очень точные приборы (погрешность их составляет 3-10 +2-10 К), но работать с ними очень сложно, и узок диапазон измеряемых температур, поэтому для промышленных измерений их применять нельзя.

В 1967 году Международный комитет мер и весов в соответствии с решением XIII Генеральной конференции по мерам и весам принял новую Международную практическую шкалу МПТШ-68. Она базируется на ряде воспроизводимых равновесных состояний, которым присвоены точные значения температур, т.е. на одиннадцати основных реперных (постоянных) точках. Но в связи с уточнением значения температуры кипения воды

(принятая $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, уточненная $t_2 = 99,974 \text{ }^\circ\text{C}$) с 1.01.90 года была введена новая Международная шкала температур МШТ-90.

В настоящее время человечество способно измерять температуру от 0,01 К до 100000 К (от $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$ до $99726,85 \text{ }^\circ\text{C}$). В диапазоне температур от 0,01 К до 13,81 К используются четыре практических температурных шкалы, а в диапазоне 13,81 К до 6300 К используется МШТ-90, с 6300 К - космическое измерение температур (такие значения температур в промышленности не встречаются).

Значения температуры между постоянными точками МШТ-90 получают по интерполяционным уравнениям, а измерения производят с помощью эталонных приборов. В качестве эталонных приборов для реализации МШТ-90 в диапазоне от $-259,23 \text{ }^\circ\text{C}$ до $630,74 \text{ }^\circ\text{C}$ используется платиновый термопреобразователь сопротивления, в диапазоне от $630,74 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1064,43 \text{ }^\circ\text{C}$ используется платинородий-платиновый термоэлектрический преобразователь, в диапазоне от $1064,43 \text{ }^\circ\text{C}$ до $6026,85 \text{ }^\circ\text{C}$ используется квазимонохроматический пирометр.

2 УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

В практике существует большое количество разнообразных устройств предназначенных для измерения температуры твердых, жидких и газообразных сред, использующих различные термометрические свойства (табл. 1) и носящих название термометр.

Таблица 1 – Промышленные устройства измерения температуры

Термометрическое свойство	Наименование устройства	Измерительный прибор	Диапазон измерения, $^\circ\text{C}$	
			Нижний	Верхний
Тепловое расширение	Термометры: жидкостные стеклянные дилатометрические биметаллические	-	-200	600
			0	400
			-60	300
Изменение давления в замкнутом объеме	Манометрические термометры (со спецнаполнителем)	-	-200	600 (1000)
Термоэлектрический эффект	Термоэлектрические преобразователи	Автоматический потенциометр, пирометрический милливольтметр	-200	2500
Изменение электрического сопротивления	Термопреобразователи сопротивления (по заказу)	Автоматический мост, логометр	-260	850 (1100)
Тепловое излучение	Пирометры: оптические радиационные	Автоматический потенциометр, пирометрический милливольтметр	700	6000
			30	3500

Термометр - устройство, предназначенное для измерения температуры путем преобразования ее в показания или в сигнал, который в свою очередь является известной функцией температуры.

Чувствительным элементом термометра называется его часть, которая преобразует тепловую энергию в другой вид энергии для получения информации о температуре.

Различают два вида термометров. Контактные - это термометры, чувствительный элемент которых входит в непосредственное соприкосновение с измеряемой средой и бесконтактные, чувствительный элемент которых не имеет непосредственного соприкосновения с измеряемой средой. Такие термометры называют пирометрами.

3 ЖИДКОСТНЫЕ СТЕКЛЯННЫЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Принцип действия жидкостных стеклянных термометров (ЖСТ) основан, на физическом свойстве тел изменять свой объем в зависимости от нагрева, и на различии коэффициентов объемного расширения жидкости $\alpha_{ж}$ и термометрического стекла $\alpha_{с}$.

В качестве термометрической жидкости применяются вещества, перечисленные в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристики термометрических жидкостей

Термометрическое вещество	аж, К-1	Предел измерения, °С
Ртуть	~16-10-5	-35-600
Спирт метиловый	~115-10-5	-80-80
Спирт этиловый	-103-10-5	-80-80
Керосин	~93-10-5	0-300
Пентан	-170-10-5	-190-20

Ртуть не смачивает стекло, практически не окисляется, легко получается в химически чистом виде, имеет значительный интервал между точкой плавления (-38,86 °С) и точкой кипения (356,6 °С). Верхний предел ртутных термометров можно расширять для технических термометров до 500 °С, для образцовых термометров до 600 °С. Это возможно за счет заполнения верхней части капилляра инертным газом под давлением до 2 МПа.

ЖСТ выпускают двух видов палочные и с вложенной шкалой.

Заводы выпускают следующие разновидности термометров:

- технические ртутные со вложенной шкалой; при погружении в измеряемую среду нижней части термометра, прямые и угловые (90° и 135°) со шкалами -35-50°С и 0-50, 100, 150, ..., 500°С; с ценой деления до 50°С - 0,5°С и 1°С, постепенно возрастающей до 5°С и 10°С;
- технические не ртутные термометры, выпускаются в различном конструктивном исполнении, в том числе и с прикладной шкалой;
- электроконтактные ртутные с вложенной шкалой, с впаянными в капиллярную трубку контактами для замыкания столбиком ртути

электрической цепи, или с подвижным сигнальным контактом с верхним пределом до 300 °С;

- специальные термометры (медицинские, метеорологические и т.п.);

- лабораторные ртутные палочные и с вложенной шкалой, погружаемые в измеряемую среду до отсчитываемой отметки, с ценой деления 0,1 °С;

- термометры повышенной точности и эталонные ртутные термометры с верхним пределом измерения до 600 °С и ценой деления 0,01 °С.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности технического термометра не должен превышать цены деления шкалы. Например, для термометра с ценой деления 1°С с диапазоном измерения 0÷100 °С предел допускаемой основной абсолютной погрешности равен $\Delta_{\delta} = \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Для остальных ЖСТ допускаемые погрешности при одной и той же цене деления устанавливаются различными для различных температурных интервалов. Например: при цене деления 0,1 °С для интервала температур 0÷50° С предел допускаемой основной абсолютной погрешности равен $\Delta_{\delta} = \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, а для интервала температур 250÷300°С при той же цене деления $\Delta_{\delta} = \pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

Поверка показаний термометров производится методом сличения с эталонными приборами более высокого класса точности. В качестве рабочего эталона можно использовать лабораторные термометры с ценой деления 0,1 °С, а нагрев термометров производить в термостатах. Для температур -80 ÷ -1°С используется криостат, который заполняется этиловым спиртом или другой незамерзающей жидкостью; для 0°С - нулевой термостат заполненный смесью льда с водой; для +1 ÷ 100°С - водяной термостат; для +95 ÷ 300° С - масляный термостат; для +300 ÷ 600°С - солевой термостат. Все вышеперечисленное оборудование, применяемое для поверки термометров, можно заменить калибратором температуры.

4 МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Принцип действия манометрических термометров (МТ) основан на использовании зависимости между температурой и давлением термометрического вещества в замкнутой герметичной термосистеме.

Герметичная термосистема (рис. 1.1, а), заполненная термометрическим веществом, состоит из термобаллона 1, капилляра 2 и манометрической трубки 3. Сечения манометрической трубки показаны на рис. 2.2 в и г. В зависимости от термометрического вещества термосистемы манометрические термометры подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные (парожидкостные).

При нагревании термобаллона давление рабочего вещества внутри замкнутой системы повышается, что приводит к перемещению свободного конца манометрической трубки. Движение с помощью зубчатосекторного механизма, который состоит из поводка 5, зубчатого сектора 6 и шестеренки 7

передается на стрелку 8. Противодействующая пружина 9 предназначена для ликвидации люфтов в зубчато-секторной паре. Термобаллон изготавливается из нержавеющей стали, а капилляр из меди или стали диаметром $0,15 \div 0,5$ мм и длиной $1 \div 60$ м. Капилляр от повреждений защищен металлрукавом.

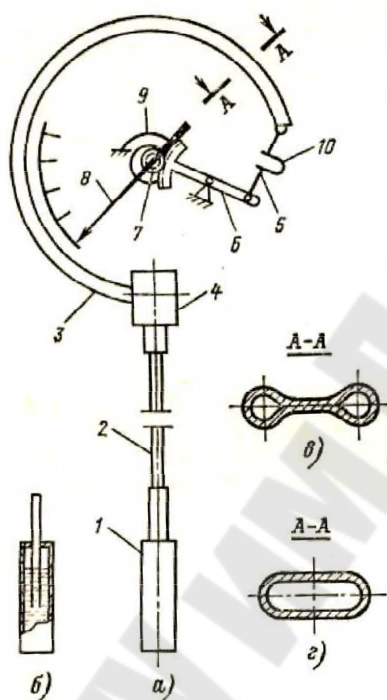


Рисунок 1 – Схема манометрического термометра 1 - термобаллон; 2 - капилляр; 3 - манометрическая трубка; 4 - штуцер; 5 - поводок; 6 - зубчатый сектор; 7 - шестеренка; 8 - стрелка; 9 - противодействующая пружина; 10 - термокомпенсатор

Газовые манометрические термометры позволяют измерять температуру в интервале $-200 \div 600$ °С. Термометрическое вещество - азот. При постоянном объеме газа зависимость давления в термосистеме от температуры измеряемой среды определяется линейным уравнением

Для ликвидации влияния атмосферного давления на показания манометрического термометра и увеличения рабочего давления, термосистему заполняют под некоторым начальным давлением P_H , значение которого зависит от диапазона измерения. Например, для манометрического термометра с диапазоном измерения $0-100$ °С $P_H = 3,8$ МПа, а с диапазоном измерения $0-600$ °С $P_H = 1,5$ МПа.

Для понижения температурной погрешности (от влияния температуры окружающей среды) в поводок устанавливается биметаллический термокомпенсатор 10.

Типы газовых манометрических термометров ТГП - термометр газовый показывающий; ТГС - термометр газовый сигнализирующий. Классы точности $K = 1; 1,5$.

Жидкостные манометрические термометры позволяют измерить

температуру в интервале $-150-300$ °С. Рабочее вещество - спирт пропиловый, метаксилол. При нагреве термобаллона от t_H до t_K жидкость начинает расширяться и термобаллон увеличивает свой объем. Вследствие этого из него будет вытесняться рабочая жидкость объемом

Известно, что изменение V жидкости при нагревании является линейной функцией температуры, поэтому шкала жидкостных манометрических термометров равномерная.

Для предохранения жидкости от закипания в термосистеме обеспечивается начальное давление порядка 1,5-2 МПа откуда следует, что и атмосферное давление не влияет на показания жидкостных манометрических термометров.

Типы жидкостных манометрических термометров ТЖП - термометр жидкостной показывающий; ТЖС - термометр жидкостной сигнализирующий. Классы точности $K = 1; 1,5; 2,5$.

Конденсационные манометрические термометры позволяют измерить температуру в интервале $-50^{\wedge}300$ °С. Рабочее вещество - ацетон, фреон-22, хлористый метил и другие низкокипящие жидкости.

Термобаллон конденсационного манометрического термометра на $2/3-3/4$ заполнен низкокипящей жидкостью (рис. 2, б), над которой образуется пар. Капилляр и манометрическая трубка заполнены этой же жидкостью. Давление в термосистеме зависит от давления пара в термобаллоне. Шкала конденсационных манометрических термометров неравномерная.

Типы конденсационных манометрических термометров ТКП - термометр конденсационный показывающий; ТКП 100Сг - термометр конденсационный показывающий и сигнализирующий. Классы точности $K = 1,5; 2,5; 4$.

Проверка показаний манометрических термометров производится методом сличения с использованием того же оборудования, что и при проверке ЖСТ.

5 ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Термоэлектрический преобразователь (ТЭП) - это первичный измерительный преобразователь температуры, в котором выходная величина формируется под воздействием термоэлектрического эффекта, и представляет собой механически прочную конструкцию удобную для монтажа.

Чувствительным элементом ТЭП является термопара, которая представляет собой термоэлектрическую цепь, состоящую из двух спаянных между собой разнородных проводника (рис. 3).

Принцип действия термопары основан на термоэлектрическом эффекте, который заключается в том, что в замкнутой цепи состоящей из двух или нескольких разнородных проводников возникает электрический ток, если хотя бы два места соединения (спая) проводников имеют разную температуру (основан на разности температур двух сред).

Конец термопары с температурой t называется горячим или рабочим, а

конец с температурой t_0 - холодным или свободным ($t > t_0$). Проводники А и В называются термоэлектродами.

Термоэлектрический эффект объясняется наличием в металлах свободных электронов, число которых в единице объема для различных металлов различно.

Предположим, что на свободном конце термопары электроны из металла А диффундируют в металл В в большем количестве, чем в обратном направлении, поэтому металл А заряжается положительно (+), а металл В - отрицательно (-). Электрическое поле, возникающее в месте соединения проводников, препятствует этой диффузии. Когда скорость диффузии электронов станет равной скорости их обратного перехода, под влиянием установившегося электрического поля наступит состояние подвижного равновесия. При таком состоянии между проводниками А и В возникает некоторая разность потенциалов, которая называется ТЭДС.

К эксперименту приходится прибегать потому, что электронная теория дает лишь физическое (качественное) объяснение термоэлектрического эффекта, в то время как количественному учету свободные электроны не поддаются.

6 СТАНДАРТНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Не каждая пара разнородных проводников пригодна для практического применения, поэтому современная техника предъявляет к материалам термоэлектродов следующие требования:

- устойчивость к воздействиям высоких температур;
- постоянство ТЭДС во времени;
- должна быть возможна большая величина ТЭДС;
- линейная и однозначная зависимость ТЭДС от температуры;
- небольшой температурный коэффициент и электрическое сопротивление, большая теплопроводность;
- воспроизводимость термоэлектрических свойств, обеспечивающих взаимозаменяемость термопар.

Всем указанным требованиям не удовлетворяет ни один из известных термоэлектродных материалов, поэтому на практике пользуются различными материалами в различных пределах измеряемых температур.

Согласно ГОСТ Р 8.585-2001 - «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования» с 1.01.2001 разрешено изготовление и применение термопар десяти градуировок, технические характеристики которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики стандартных термопар

Тип ТЭП	Условные обозначения НСХ термопары		Материалы термоэлектродов		Диапазон измеряемых температур; °С	
	До 01.94	С 01.01	Положительный	Отрицательный	Длительно	Кратковрем.
ТВР	ВР(А)-1 ВР(А)-2 ВР(А)-3	А-1 А-2 А-3	Вольфрамрений Сплав ВР-5 (95%W+5% Re)	Вольфрамрений Сплав ВР-20 (80%W+20%Re)	0 * 2200 0 * 1800 0 * 1800	2500
ТПР	ПР(В)	В	Платинородий Сплав ПР-30 (70%Pt+30% Rh)	Платинородий Сплав ПР-6 (94%Pt+6% Rh)	300 * 1600	1800
ТПП	ПП(Б) ПП(Я)	С R	Платинородий Сплав ПР - 10 (90%Pt+10% Rh) Сплав ПР - 13 (87%Pt+13% Rh)	Платина ПлТ (Pt)	0 * 1300	1600
ТХА	ХА(К)	К	Хромель. Сплав никель - хром (90,5%Ni+9,5% Cr)	Алюмель. Сплав никель - алюминий (94,5% Ni+5,5%Al, Si, Mn, Co)	-200 * 1000	*1300
ТХКн	ХК(Е)	Е	Хромель	Константан Сплав(55%Cu, +45%Ni, Mn, Fe)	-200 * 700	900
ТХК	ХК(Ь)	L	Хромель	Капель Сплав медно - никелевый (56% Cu +44% Ni)	-200 * 600	800
ТНН	НН(К)	N	Никросил (84%Ni+16%Cr, Fe, Si, C, Mg)	Нисил (95%Ni+5%Cr, Si, Fe, C, Mg)	-270 * 1300	*1300
ТМК	МК(Т)	T	Медь М1 (Cu)	Константан	-270 * 350	400
ТЖК	ЖК(1)	J	Железо (Fe)	Константан	-200 * 700	900

При массовом производстве ТЭП трудно располагать термоэлектродными материалами строго постоянного химического состава, поэтому для стандартных ТЭП в ГОСТе предусмотрены допускаемые отклонения (погрешности) ТЭДС термопар в температурном эквиваленте от номинального значения. Значения пределов, допускаемых основных абсолютных погрешностей термопар приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Пределы допускаемых основных абсолютных погрешностей термомпар

Тип ТЭП	НСХ	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемых погрешностей, $\pm A_{td}$ °С
ТПП	S, R	2	0 т 600	1,5
		1	Свыше 600 т 1600 0 т 1100 Свыше 1100 т 1600	0,0025-t 1,0 1,0 + 0,003-(t - 1100)
ТХА ТНН	К	2	(-40) т 334 Свыше 334 т 1300	2,5 0,0075-t
		1	(-40) т 375 Свыше 375 т 1300	1,5 0,004-t
ТХК	L	3	(-200) т (-100) (-100) т 100 (-40) т 300 Свыше 300 т 800	1,5 + 0,01-t
		2		2,5 2,5 0,7 + 0,005-t
ТХК _н	E	2	(-40) т 334 Свыше 334 т 900	2,5 0,0075-t
		1	(-40) т 375 Свыше 375 т 800	1,5 0,004-t
ТВР	A	2	1000 т 2500	0,005-t
ТПР	B	3	300 т 800	4,0
		2	800 т 1800 600 т 1800	0,005-t 0,0025-t
ТМК	T	2	(-40) т 135 Свыше 135 т 400	1,0 0,0075-t
		1	(-40) т 125 Свыше 125 т 350	0,5 0,004-t
ТЖК	J	2	(-40) т 334 Свыше 334 т 900	2,5 0,0075-t
		1	(-40) т 375 Свыше 375 т 750	

7 ПИРОМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Принцип действия пирометров излучения основан на использовании теплового излучения нагретых тел. По сравнению с другими приборами, предназначенными для измерения температуры, пирометры излучения имеют некоторые преимущества. Во-первых, измерение основано на бесконтактном методе, а верхний предел измерения температуры теоретически не ограничен. Во-вторых, имеется возможность измерения температур пламени и высоких температур газовых потоков при больших скоростях, когда невозможно использовать контактные методы.

Теоретические основы измерения температуры по излучению.

Тепловое излучение представляет собой процесс распространения внутренней энергии излучаемого тела электромагнитными волнами. При поглощении их другими телами они вновь превращаются в тепловую энергию. При увеличении температуры нагретого тела и изменении его цвета быстро возрастает спектральная энергетическая яркость (СЭЯ), т.е. излучения определенной длины волны, а также увеличивается суммарное (интегральное) излучение. В соответствии с этими свойствами пирометры излучения делятся на квазимонохроматические и пирометры полного излучения.

8 ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

8.1 Основные понятия

Давление характеризуется силой, равномерно распределенной по поверхности, а единица давления есть единица силы, действующая равномерно на единицу площади. Давление определяется частным от деления нормальной к поверхности силы на площадь этой поверхности:

За единицу давления в международной системе единиц СИ принята единица Н/м² равная давлению, вызванному силой в 1 Н, равномерно распределенной по поверхности в 1 м. Эта единица называется Паскаль и обозначается Па. Временно допускаемая к применению единица давления - бар.

Чаще всего приборы, предназначенные для измерения давления, градуируются в кПа или в МПа, а также в практической системе единиц кгс/м² или кгс/см². Кроме того, в практике измерения давления используются и другие единицы измерения давления.

При выполнении расчетов, связанных с переводом давления из одной системы единиц в другую, рекомендуется пользоваться соотношениями, приведенными в табл. 5.

Таблица 5 – Соотношения между единицами давления

Единицы	Па	бар	кгс/м ² , мм.вод.ст.	кгс/см ²	мм.рт.ст.
1 Па	1	10 ⁻⁵	0,102	10,2 · 10 ⁻⁶	т
1 бар	10 ⁵	1	1,02 · 10 ⁴	1,02	750.06
1 кгс/м ² , мм.вод.ст.	9,807	0.9807 · 10 ⁻⁴	1	10 ⁻⁴	73,6 · 10 ⁻³
1 кгс/см ²	98070	0.98066	10 ⁴	1	735,6
1 мм.рт.ст.	133,3	1,333 · 10 ⁻³	13,6	13,6 · 10 ⁻⁴	1

При измерениях различают абсолютное, атмосферное, избыточное и вакуумметрическое давления.

Абсолютное давление - давление, значение которого при измерении

отсчитывают от давления, значение которого равно нулю. Абсолютное давление воздушной оболочки земли на ее поверхности называется атмосферным.

Избыточное давление определяется разностью между абсолютным и атмосферным давлением, т. е.

Если абсолютное давление меньше атмосферного, то избыточное давление отрицательное и называется вакуумметрическим или разрежением.

По принципу действия приборы, предназначенные для измерения давления, делятся на:

- жидкостные, в которых измеряемое давление уравнивается давлением столба жидкости;
- деформационные, где измеряемое давление определяется по величине деформаций различных упругих чувствительных элементов или по развиваемой ими силе;
- грузопоршневые, в которых измеряемое давление уравнивается давлением, создаваемым массой поршня и грузов;
- электрические, действие которых основано на измерении электрических свойств некоторых материалов при воздействии давления.

Приборы для измерения атмосферного давления, называются барометрами, избыточного давления - манометрами, вакуумметрического давления - вакуумметрами, разности давлений - дифманометрами. Приборы, предназначенные для измерения малых давлений, разрежений, давлений и разрежений газовых сред (до 40 кПа) называются напоромерами, тягомерами и тягонапоромерами.

Устройство перечисленных измерительных устройств давления разнообразно. Среди них можно выделить группу механических измерительных приборов и четыре группы измерительных преобразователей, выпускаемых отечественной промышленностью: с дифференциально-трансформаторными преобразователями, с компенсацией магнитных потоков, с электросиловой компенсацией и с тензопреобразователями.

8.2 Жидкостные манометры

В жидкостных манометрах измеряемое давление или разность давлений уравнивается гидростатическим давлением столба жидкости. В приборах используется принцип сообщающихся сосудов. Жидкостные манометры отличаются простотой устройства и повышенной точностью измерения. Применяются для поверки и калибровки приборов других систем, а также для технических измерений. В качестве рабочей жидкости используется спирт, ртуть и вода.

Двухтрубные жидкостные манометры. Для измерения давления и разность давлений используются двухтрубные манометры и дифманометры с видимым уровнем, часто называемыми U - образными. Принципиальная схема такого манометра приведена на рис. 2.

Двухтрубный манометр состоит из стеклянной U-образной трубки и доски со шкалой. В зависимости от соотношения давлений в правой и левой трубке изменяется уровень жидкости, которая показывает разницу уровней перепада давлений. Измеряемое избыточное давление, выраженное в Па.

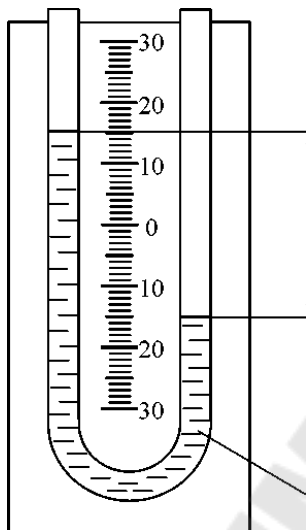


Рисунок 2 – Схема двухтрубного манометра

Верхний предел измерения манометров с водяным заполнением составляет 1 – 10 кПа, предел допускаемой основной приведенной погрешности измерения лежит, соответственно, в интервале 2 - 0,2 %. Определение значения давления по шкале U-образного манометра производится по двум уровням и оба значения складываются. Принято, что погрешность каждого отсчета при этом составляет ± 1 мм.

Однотрубные (чашечные) манометры. Для повышения точности отсчета разности высот уровней используются однотрубные (чашечные) манометры, в которых одна из трубок заменена сосудом, диаметр которого минимум в 20 раз больше диаметра измерительной трубки. Принципиальная схема данного манометра приведена на рис. 3.

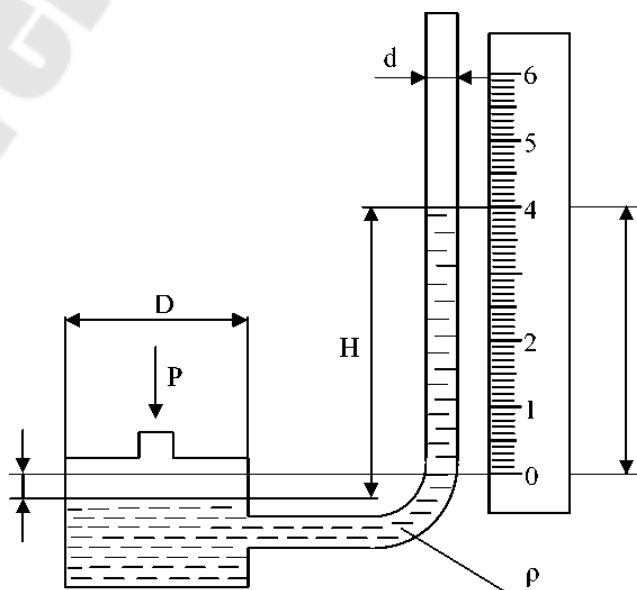


Рисунок 3 – Схема чашечного манометра

Измеряемое избыточное давление, выраженное в Па.

Однотрубные манометры с водяным заполнением имеют верхний предел измерения 1,6 - 10 кПа. При этом предел допускаемой основной приведенной погрешности измерения лежит, соответственно, в интервале 0,4 - 0,25 %.

Чашечный микроманометр с наклонной трубкой типа ММН.

Для измерения давления или разности давлений до 3 кПа (350 кгс/м) используются микроманометры. Принципиальная схема данного манометра приведена на рис. 3.

Высота столба жидкости в измерительной наклонной трубке будет равна:

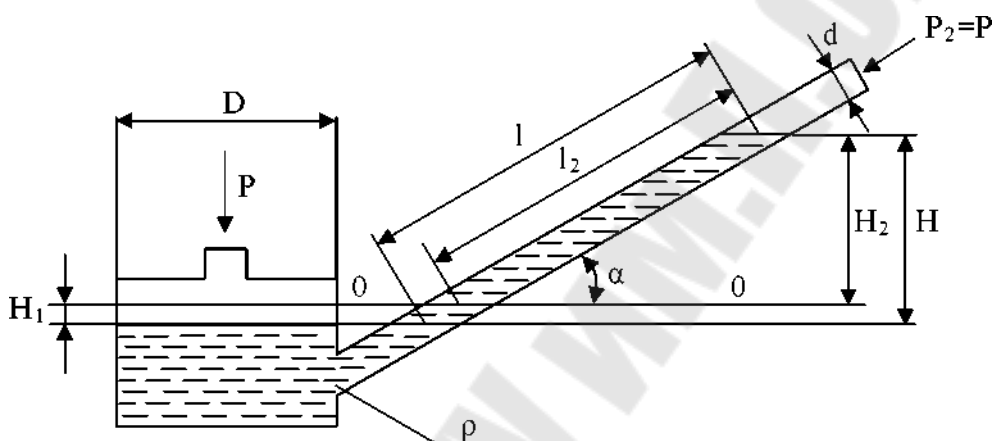


Рисунок 4 – Схема чашечного микроманометра

Чувствительность зависит от ρ . С другой стороны, ρ определяет диапазон измерений. Чем больше плотностью рабочей жидкости ρ , тем больше измеряемое давление. Таким образом, относительная погрешность отсчета от значения ρ не зависит. Поэтому для увеличения чувствительности, а, следовательно, и точности результата отсчета разработаны различные отсчетные устройства, которые позволяют производить отсчет с абсолютной погрешностью равной 0,1 - 0,2 мм. Диапазоны измерений жидкостных манометров определяются высотой столба жидкости H , т. е. размером манометра, и плотностью рабочей жидкости ρ .

8.3 Упругие чувствительные элементы деформационных манометров

Деформационные измерительные устройства широко применяются для измерения давления и перепада давления, благодаря простоте и большому диапазону измерения от нескольких Па до 1000 МПа.

Принцип действия данных устройств основан на уравнивании силы, создаваемой давлением измеряемой среды на упругий чувствительный элемент (УЧЭ) силами упругих деформаций различных по конструкции УЧЭ. Эта деформация в виде линейных или угловых перемещений передается показывающей или самопишущей части прибора. При снятии давления УЧЭ за счет упругой деформации возвращается в исходное положение. Структурная схема технического манометра приведена на рис. 4.

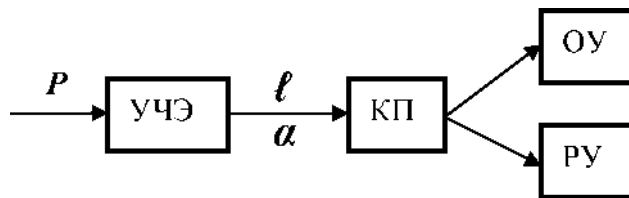


Рисунок 5. Структурная схема манометра:

УЧЭ - упругий чувствительный элемент; КП - кинематическая передача;
 ОУ - отсчетное устройство; РУ - регистрирующее устройство

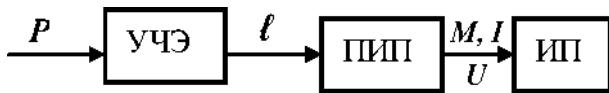


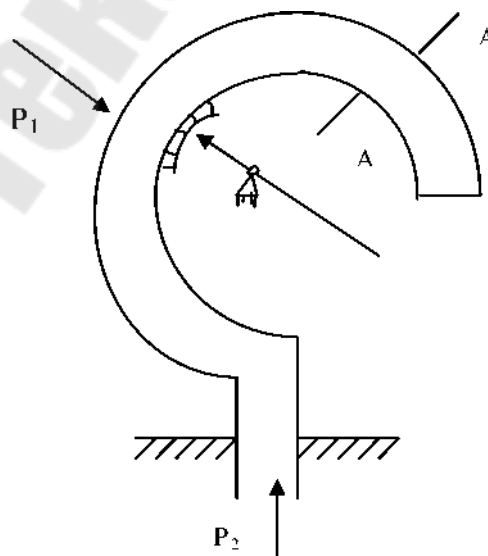
Рисунок 6 – Структурная схема дистанционного манометра:

УЧЭ - упругий чувствительный элемент; ПИП - передающий измерительный преобразователь; ИП - измерительный прибор

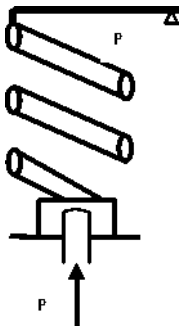
Перемещение УЧЭ может быть преобразовано в электрический или пневматический сигнал для дистанционной передачи его на измерительный прибор (ИП) или другое средство измерения или управления. В этом случае УЧЭ и устройство, преобразующее его перемещение в электрический сигнал, располагаются в одном корпусе, и эта конструкция называется первичным измерительным преобразователем давления. Структурная схема дистанционного манометра, состоящего из первичного измерительного преобразователя давления и ИП, приведена на рис. 5.

В деформационных измерительных устройствах, предназначенных для измерения давления и перепада давления, в качестве УЧЭ (рис. .6) используются: одновитковая трубчатая пружина; многовитковая трубчатая пружина; упругая гофрированная мембрана; мембранная коробка; двойная (сдвоенная) мембранная коробка; пружинно - мембранные ЧЭ с вялой мембраной и сильфон.

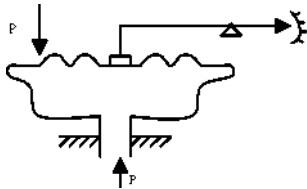
1. Одновитковая трубчатая пружина



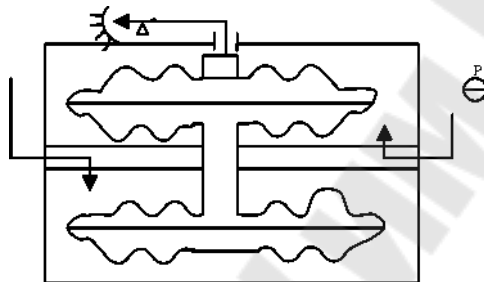
2. Многовитковая трубчатая пружина



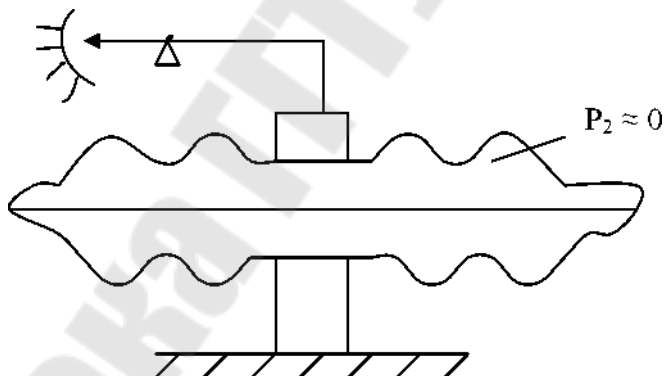
3. Мембранная коробка



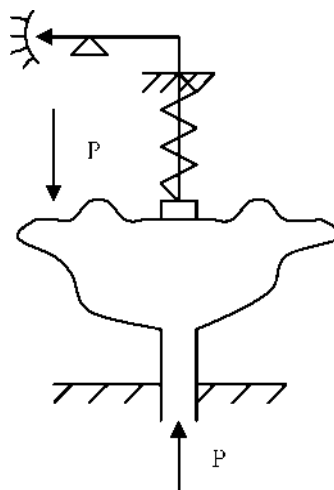
4. Упругая гофрированная мембрана

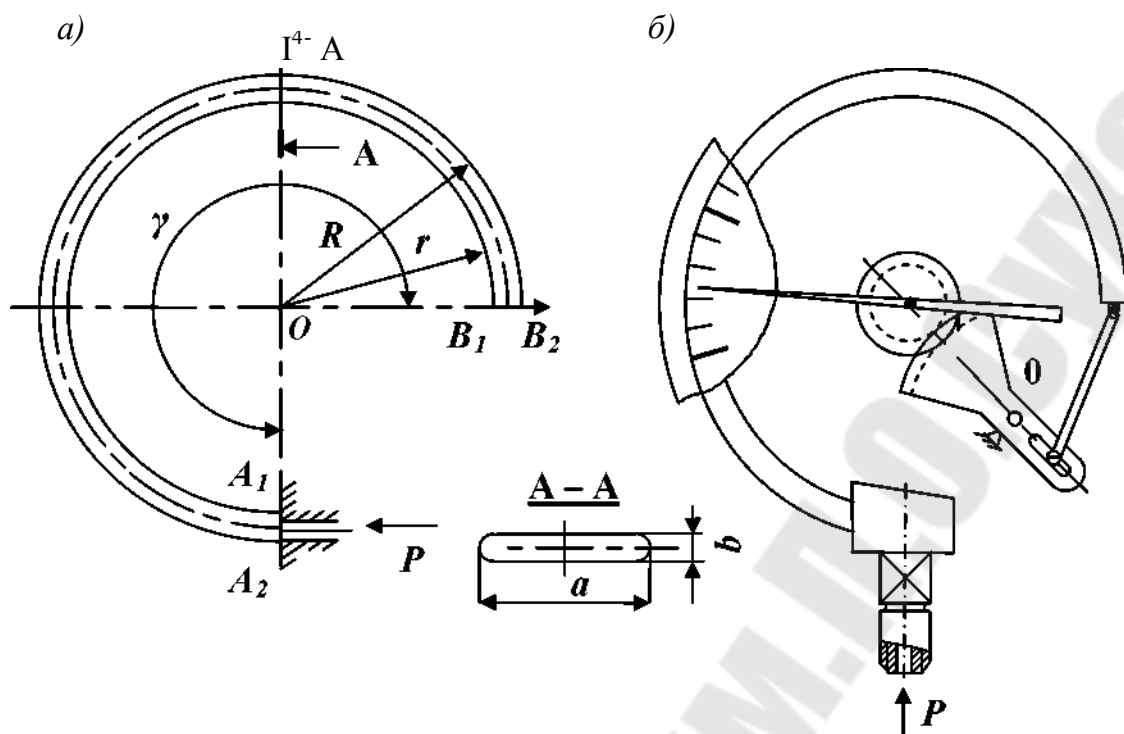


5. Двойная (сдвоенная) мембранная коробка также, как и у обычных мембранных коробок, бывают двух типов.



6. пружинно - мембранные ЧЭ с вялой мембраной





7. Сильфон

Рисунок 7 – Манометр с одновитковой трубчатой пружиной
 а) схема одновитковой трубчатой пружины, б) показывающий манометр с одновитковой трубчатой пружиной

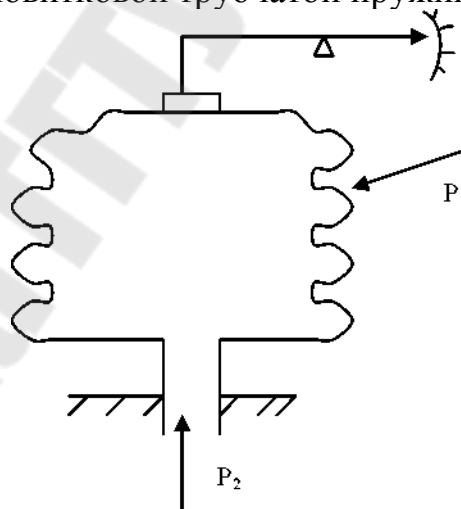


Рисунок 8 – Конструкции упругих чувствительных элементов

8.4 Манометры с одновитковой трубчатой пружиной

Наибольшее распространение в практике измерения избыточного давления нашли показывающие манометры (механические) с одновитковой трубчатой пружиной. Схема одновитковой трубчатой пружины и показывающий манометр с одновитковой трубчатой пружиной приведены на рис. 7.

Под действием P измеряемой среды одновитковая трубчатая пружина раскручивается, и ее свободный конец перемещается, вызывая перемещение

стрелки.

Рассмотрим конструкцию чувствительного элемента манометра, выполненную в виде трубчатой пружины (рис. 7 а).

Трубчатая пружина представляет собой изогнутую в виде дуги окружности полу трубку плоскоовального или эллиптического сечения. Один конец такой трубки неподвижно закреплен, а другой запаян и имеет возможность свободно перемещаться в пространстве.

Измеряемое давление подается во внутреннюю полость пружины, при этом ее свободный конец перемещается. При измерении избыточного давления пружина раскручивается, а при измерении разрежения - скручивается. Направление перемещения свободного конца трубки обусловлено увеличением малой оси сечения трубки под влиянием избыточного давления и уменьшением при воздействии разрежения. При этом длина трубки остается практически постоянной.

Трубка согнута по кругу под углом $\gamma = 270^\circ$. Трубка плоскоовального или эллиптического сечения под действием давления, действующего равномерно на стенки трубки, стремится принять круглую форму, при этом малая ось эллипса увеличивается, увеличивается, уменьшается, а большая ось уменьшается. Тогда как длины дуг остаются практически постоянными.

После деформации трубки под воздействием измеряемого давления трубчатая пружина манометра уменьшает свою кривизну, раскручиваясь в определенном направлении.

На рис. 7, б приведена схема деформационного манометра с трубчатой пружинной. Перемещение стрелки осуществляется с помощью зубчато-секторного передаточного механизма, соединенного со свободным концом чувствительного элемента. Зазоры в зубчатосекторной паре выбираются за счет спиральной пружины (на схеме не показана).

Манометры с одновитковой трубчатой пружинной делятся на технические общего и специального назначения; электроконтактные; с контрольной стрелкой (котловые); контрольные и образцовые (рабочие эталоны).

Технические манометры общего и специального назначения

Это показывающие приборы, класса точности 1; 1,5; 2; 2,5 и 4. Корпуса технических манометров окрашиваются, как правило, в черный или серый цвет, за исключением манометров для измерения давления газов. Например, манометры, предназначенные для измерения давления кислорода окрашиваются в голубой цвет, аммиака в желтый, ацетилена в белый, водорода в темно зеленый и горючих газов в красный цвет. Диаметры корпусов манометров могут быть 40, 60, 100, 160 и 250 мм.

Пределы измерения манометров выбираются из ряда: $(0,6; 1; 1,6; 2,5; 4) \cdot 10^n$, где $n < 2$. Максимальный верхний предел измерения технических манометров составляет 250 МПа.

Типы: МПЗ - У..; МП4 - У...

Электроконтактные манометры (ЭКМ) предназначены для измерения давления и передачи информации его предельных значений в

схемы защиты, сигнализации или управления. Отличаются от технических манометров наличием специальных электроконтактов и глубиной корпуса. Схема ЭКМ приведена на рис. 9.

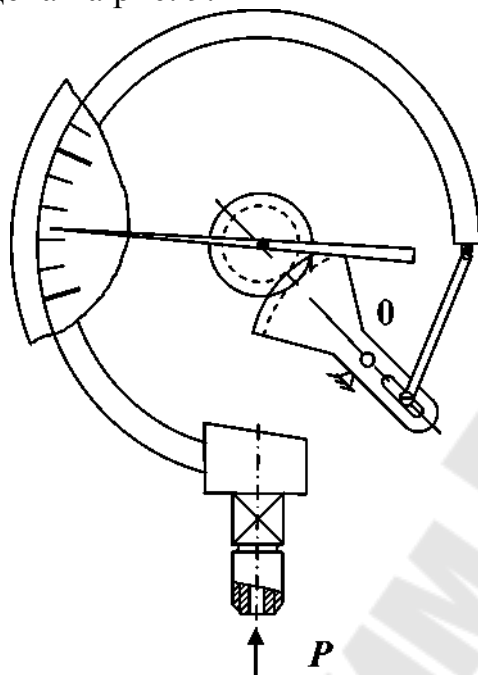


Рисунок 9 – Схема электроконтактного манометра 1, 3 - электроконтакты; 2 - стрелка с электроконтактами

Установка контактов 1, 3 может быть произведена на любые отметки рабочей части шкалы манометра вращением винта в головке, который находится на лицевой стороне ЭКМ. Типы: ЭКМ-160; ДМ2005Сг; ДМ2010Сг.

Манометры с контрольной стрелкой. Предназначены для измерения давления пара в барабане котла. Они снабжены дополнительной красной стрелкой, которая фиксирует максимальное давление и обратно не возвращается. Типа М-250 с диаметром корпуса 250 мм и классом точности 1,5.

Контрольные манометры являются переносными приборами и предназначены для периодических точных измерений давления, а также для поверки технических манометров на объекте. Верхний предел измерения 0,06 - 160 МПа. Тип МКО или МТИ с классом точности 0,6.

Образцовые манометры. Образцовые деформационные манометры применяются в качестве рабочих эталонов для поверки и калибровки технических манометров, а также для точных измерений давления в лабораторных условиях. Типа МО или ВО (вакуумметр образцовый) с верхним пределом измерения 0,1 - 60 МПа и классом точности 0,16; 0,25 и 0,4. Шкала градуируется в условных делениях, число которых может быть равно 100, 250 или 300.

8.5 Манометры дистанционные

Расстояния от места отбора давления до измерительного прибора не

должно превышать 40 м. На ТЭС блочные щиты управления (БЩУ) могут находиться на расстоянии 100 - 200 м от объекта, в этом случае применяются дистанционные манометры, которые состоят из двух измерительных устройств: первичного измерительного преобразователя давления (датчика) и измерительного прибора. Структурная схема дистанционного манометра представлена на рис. 10.

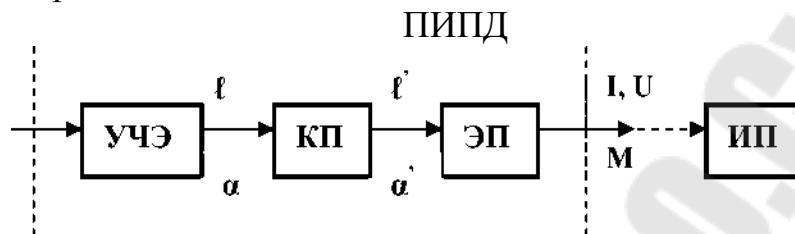


Рисунок 10 – Структурная схема дистанционного манометра КП - кинематическая передача, ЭП - электронный преобразователь, ПИПД - первичный измерительный преобразователь давления

Электронные преобразователи бывают пяти видов: дифференциально-трансформаторный преобразователь (ДТП), с компенсацией магнитных потоков, с электросиловой компенсацией, тензопреобразователи и ферродинамические.

Преобразователи давления с ДТП типа МЭД и МИД. В качестве УЧЭ в них используется одновитковая трубчатая пружина. К запаянному концу пружины присоединяется плунжер (ферродинамический сердечник) ДТП с нормированной взаимной индуктивностью между первичной и вторичной обмотками $M = 10$ мГн при давлении равном верхнему пределу измерения. Схема первичного измерительного преобразователя давления приведена на рис. 10.

8.6 Преобразователи с компенсацией магнитных потоков

Предназначены для преобразования давления (или перепада давления) в унифицированный токовый сигнал 0-5; 4-20 мА.

В качестве передающего преобразователя для измерения давления применяются пружинные манометры с компенсацией магнитных потоков типа МПЭ - МИ, с пределами измерения: 0,1-60 МПа. Они предназначены для преобразования линейного перемещения ЧЭ в унифицированный сигнал постоянного тока 0-5; 4-20 мА. Преобразователи с компенсацией магнитных потоков (КМП), используются также для измерения разрежения, малых давлений и разрежений газовых сред, расхода методом переменного перепада давления и уровня.

Преобразователи с КМП

Измеряемые параметры:

- I. давления до 40 кПа, разрежения. Типы: ДСЭН - МН, ДСЭН - МИ. УЧЭ является сильфон.
- II. давления свыше 40 кПа. Типы: МПР - МН. УЧЭ - одновитковая

трубчатая пружина.

III. расход (метод перепада давления). Типы: ДМЭР - МИ, ДСЭР - МИ. УЧЭ - двойная мембранная коробка (М), сильфон (С), расход (Р).

IV. уровень (гидростатические уровнемеры). ДМЭУ - МИ. УЧЭ - сдвоенная мембранная коробка.

V. перепад давления. ДМЭ - МИ. УЧЭ - сдвоенная мембранная коробка.

$I = 0-5; 4-20$ мА, ИП: КСУ; диск 250; А 100; технограф; КП 1 Т.

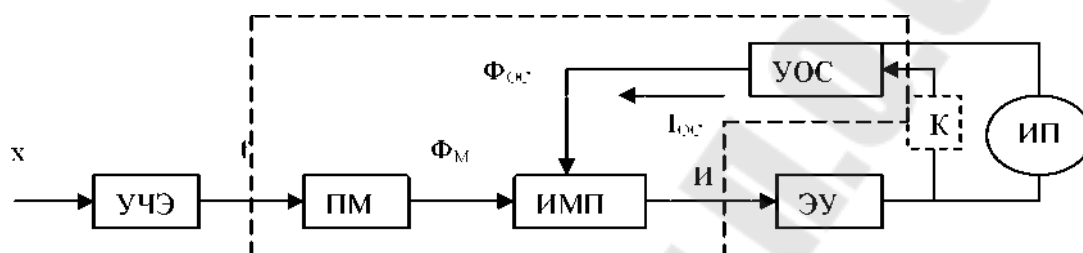


Рисунок 11 – Структурная схема преобразования с КМП:

ММП - магнитомодуляционный преобразователь; ПМ- постоянный магнит; ИМП - индикатор магнитных потоков; УОС - устройство обратной связи; ЭУ - электронный усилитель; К - квадратор - устройство, предназначенное для извлечения корня из входного параметра; ИП - измерительный прибор.

Методика измерения давления

При выборе места отбора давления необходимо чтобы:

- в месте отбора давления отсутствовали возмущения течения измеряемой среды,

- устройства отбора давления не вызывало бы само по себе возмущение течения потока,

- края отборного отверстия со стороны протекающей среды не выступали бы в нее, так как они могут вызвать трудно учитываемую погрешность за счет динамического давления.

При измерении давлений за счет влияния динамического давления движущейся среды, часто возникают дополнительные погрешности.

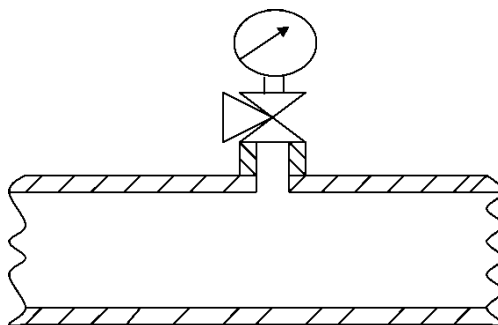


Рисунок 12 – Самая простая схема установки манометра

Например, при движении воздуха со скоростью 25 м/с и давлении

близком к атмосферному, при этом $\rho = 1 \text{ кг/м}^3$, то

Если само измеряемое давление невелико 300 МПа, то погрешность будет составлять более 100%. Это следствие просунутой в трубу трубки.

Измерение расхода

Основные понятия

Расходом вещества называется количество вещества, проходящего через данное сечение канала в единицу времени, а измерительный прибор служащий для измерения расхода - расходомер (ГОСТ 15528).

Массовый расход измеряется в кг/с, объемный - м³/с, приборы градуируются часто в т/ч, м³/ч.

В зависимости от метода измерения выпускаются следующие расходомеры:

1) переменного перепада давления, основанные на зависимости расхода от перепада давления на СУ вследствие частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую;

2) скоростного напора для измерения расхода по динамическому напору потока с помощью пневмометрических трубок Пито-Прандтля;

3) переменного уровня, основанные на зависимости свободном истечении ее через отверстие в дне или боковой стенке (расходомеры обтекания, ротометры);

4) постоянного перепада давлений, основанные на зависимости расхода вещества от вертикального перемещения тела (поплавка), изменяющего площадь проходного сечения прибора таким образом, что перепад давлений по обе стороны поплавка остается постоянным.

5) тахометрические (турбинные, шариковые и т.п.), преобразующие скорость потока в угловую скорость вращения обтекаемого элемента (турбинки, шарика);

6) электромагнитные, преобразующие скорость движущейся в магнитном поле электропроводящей жидкости в ЭДС.

7) ультразвуковые расходомеры, основанные на эффекте переноса звуковых колебаний движущейся средой.

Существует понятие количества вещества. Количество вещества можно измерить в единицах массы [кг, т], либо в единицах объема [м³, л]. Приборы применяемые для измерения количества вещества называются счетчиками вещества (счетчики). В каждом конкретном случае следует добавлять наименование контролируемой физической величины. Например: «водосчетчик» или «расходомер перегретого пара».

Расходомеры переменного перепада давления (РППД)

Наиболее распространенным методом измерения расхода жидкости, пара и газа является метод переменного перепада давления.

Принцип действия РППД основан на измерении перепада давления, который является функцией расхода измеряемой среды.

В качестве стандартных СУ (первичных преобразователей) используются диафрагмы, сопла ИСА 1932, трубы Вентури.

В состав РППД входят следующие основные элементы:

- 1) Первичных измерительный преобразователь - СУ.
- 2) Соединительное устройство - импульсные линии, передающие AP от СУ к дифманометру - расходомеру.

- 3) Измерительный прибор (преобразователь), предназначенный для измерения расхода (преобразования AP в другую форму сигнала, удобную для дальнейшей передачи на ИП).

РППД пригодны для измерения расхода при соблюдении следующих условий измерения:

- 1) Характер движения среды в прямых участках трубопровода до и после СУ должен быть установившемся.

- 2) Среда должна быть однофазной и фазовое состояние потока не должно применяться при его течении через СУ.

- 3) Во внутренней полости прямых участков трубопроводов до и после СУ не должны скапливаться осадки в виде пыли, песка, металлических предметов и других видов загрязнений.

- 4) На поверхностях СУ не должны образовываться отложения, изменяющие его конструктивные размеры и геометрию.

Уравнение расхода

Теория и основные уравнения измерения расхода по методу переменного перепада давления одинаковы для стандартных СУ всех видов. Различаются лишь некоторые коэффициенты в уравнениях, определяемые опытным путем.

Выведем уравнение расхода для случая, когда в трубопроводе установлена диафрагма и по трубопроводу протекает несжимаемая жидкость, плотность которой до и после сужения остается неизменной.

Выделим в трубопроводе два сечения: I - сечение в котором еще нет влияния СУ на характер потока; II - сечение в системе наибольшего сжатия струи на некотором расстоянии от диафрагмы.

Обозначим: S_1 , S_0 , S_2 - площади поперечного сечения соответственно: трубопровода, отверстия диафрагмы и наиболее суженного

Места отбора давления

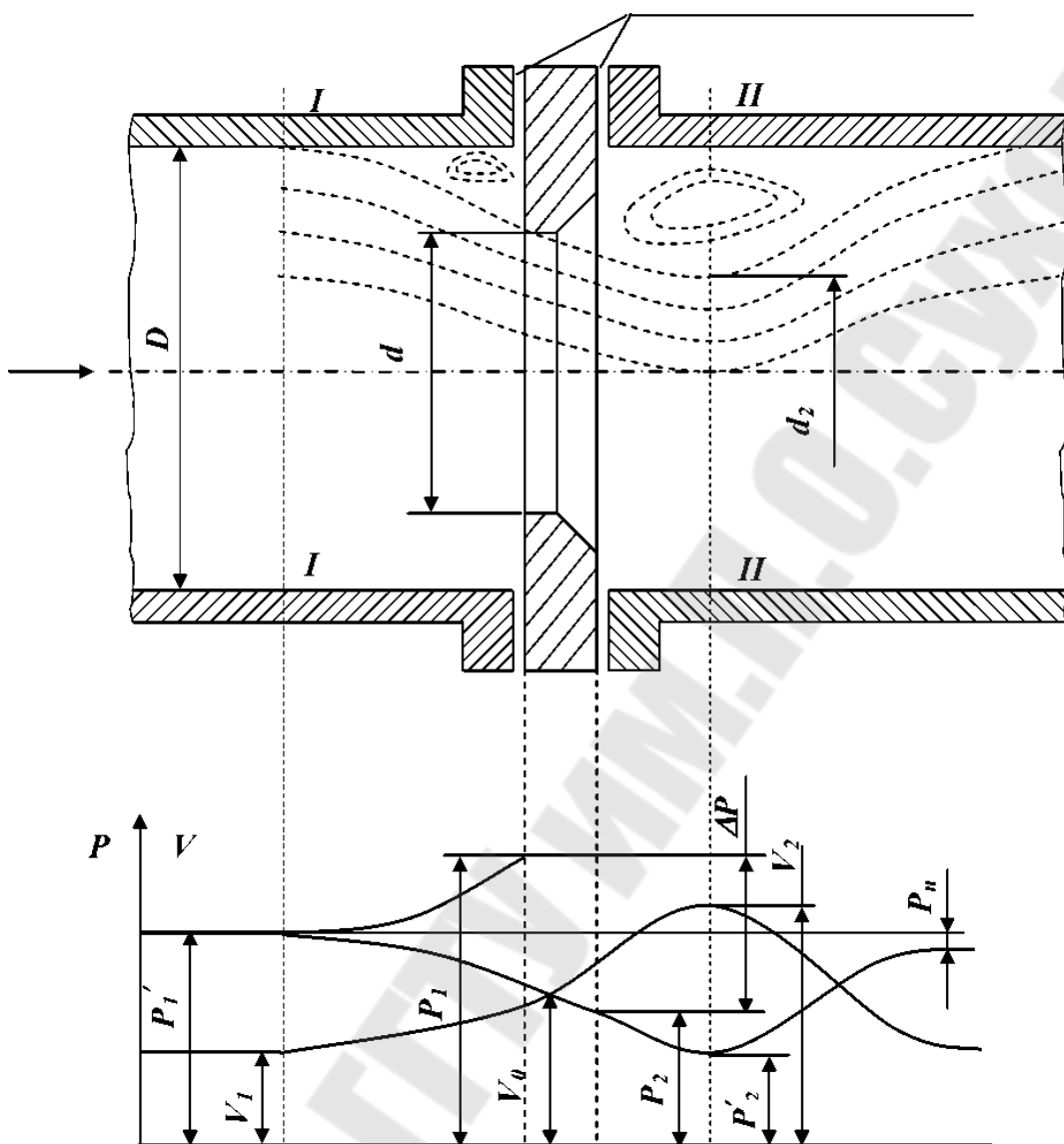


Рисунок 13

Для несжимаемой жидкости при постоянной плотности с учетом потерь и неравномерности распределения скоростей для сечения I и II горизонтального трубопровода напишем уравнение Бернулли:

скоростей по сечению потока, обусловленное вязкостью жидкости и трением о стенки трубопровода; 2) измерение давления не в центре потока, а у стенок трубопровода; 3) введение в уравнение расхода сечения S_0 вместо неопределенного наименьшего сечения струи S_2 . Для сопел и труб Вентури сечение наиболее суженой части потока практически можно принять равным сечению цилиндрической части для СУ различных типов определяется опытным путем. На основании опытных данных получены эмпирические формулы для расчетов.

При измерении расходов сжимаемых сред (газов и паров), необходимо учитывать уменьшение плотности ρ вследствие понижения давления при прохождении через СУ, в результате чего расход несколько уменьшится.

Требования к изготовлению и установке, методика расчета СУ изложены в ГОСТ 8.563.1-97 «Измерение расхода и количества жидкостей и

газов методом переменного перепада давления» (РД 50-213-80, правила 28-64, 27-54) введенного с 1.01.99 г.

При изготовлении и установке стандартных СУ в трубопроводах должны соблюдаться определенные требования, не соблюдение которых существенно влияют на погрешность измерения расхода.

Что значит угловой и фланцевый способ отбора перепада давления? Диафрагма представляет собой тонкий диск, имеющий круглое отверстие d_{20} , центр которого должен совпадать с центром сечения трубы.

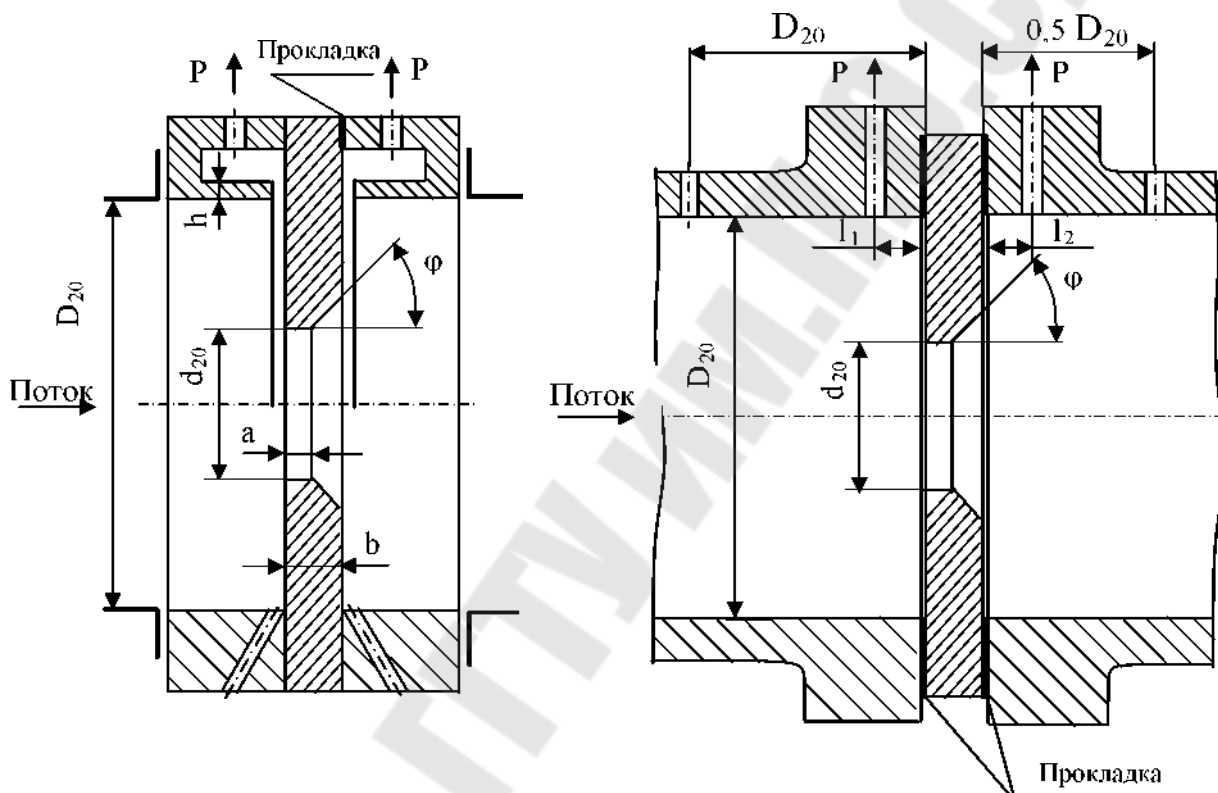


Рисунок 14 – Угловые способы отбора АР Рисунок 15 – Фланцевый способ отбора АР и трехрадиусный

Линии, по которым АР от СУ передается к дифманометру (ДМ) не должны вносить дополнительных погрешностей в измерение расхода, поэтому они заполняются однофазной средой одинаковой плотности в обеих линиях. При измерении расхода жидкости в них должны отсутствовать «газовые мешки», а при измерении расхода газа - скопление конденсата. Для этого соединительные линии должны быть либо вертикальными, либо наклонными с уклоном не менее 1: 10, причем на концах наклонных участков должны быть газо - или конденсатосборники. Импульсные трубки должны располагаться рядом, чтобы избежать неодинакового их нагрева или охлаждения, что может привести к неодинаковой плотности среды в них и, следовательно, к дополнительной погрешности. При измерении расхода пара важно обеспечить равенство и постоянство уровней конденсата в обеих линиях, что достигается применением конденсационных сосудов.

При измерении расхода перегретого пара неизолированные соедини-

тельные линии оказываются заполненными конденсатором. Очевидно, что во избежании дополнительной гидростатической погрешности уровень конденсата и его температура в обеих линиях должны быть одинаковыми при любом расходе. Для стабилизации верхних уровней конденсата в обеих соединительных линиях вблизи СУ устанавливаются конденсационные сосуды.

1. СУ
2. Запорный вентиль
3. Продувной вентиль
4. Конденсационный сосуд
5. Отстойник
6. Газосборники

При измерении расхода газа - ДМ рекомендуется устанавливать выше СУ, чтобы конденсат образовавшийся в соединительных линиях стекал в трубопровод, отбор АР в верхней половине трубопровода, прокладку соединительных линий желательно производить вертикально или с наклоном в сторону трубопровода.

Кроме вышеуказанных нестандартных СУ для измерения расхода методом переменного перепада давления применяются:

- 1) диафрагмы с входным конусом;
- 2) диафрагмы с двойным конусом;
- 3) комбинированные и цилиндрические сопла;
- 4) сопло «половина круга»
- 5) сегментные и эксцентрические сопла;
- 6) щелевые диафрагмы.

Дифманометры состоят из следующих основных узлов:

- измерительного блока с вентильной головкой;
- магнитомодуляционного преобразователя (ММП);
- усилительного устройства.

Основными функциональными элементами схемы являются:

- чувствительный элемент (ЧЭ), преобразующий измеряемый параметр (АР) в перемещение (e);
- постоянный магнит (ПМ), преобразующий перемещение в управляющий магнитный поток (Φ_M);
- индикатор магнитных потоков (ИПМ), преобразующий разность Φ_M и потока обратной связи Φ_{OC} в электрический сигнал рассогласования в виде напряжения U ;
- усилительное устройство (УУ), предназначенное для усиления сигнала рассогласования U и получения выходного сигнала постоянного тока I ;
- устройство обратной связи (УОС), предназначенное для создания магнитного потока обратной связи Φ_{OC} при протекании в нем выходного сигнала I ;
- квадратор (К), предназначенный для извлечения корня квадратного из значения выходного сигнала I ;

такие же, как и у «Сапфира -22ДД»

Расходомеры постоянного перепада

К приборам постоянного перепада давления относятся ротаметры, поршневые и поплавковые расходомеры.

Ротаметры

Ротаметры используются в промышленных и лабораторных установках для измерения небольших объемных расходов жидкостей (верхние пределы ротаметров по воде находятся в пределах от 0,04 до 16 м³/ч) или газов (верхние пределы измерения ротаметров по воздуху находятся в пределах от 0,063 до 40 м³/ч) в вертикальных трубопроводах диаметром от 4 до 100 мм.

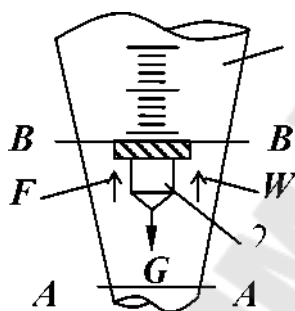


Рисунок 16 – Направление потока среды

В простейшем случае ротаметр представляет собой вертикальную коническую (расходящуюся вверх) стеклянную трубку 1, внутри которой располагается поплавок 2.

Поплавки могут иметь различную форму. Одной из форм является цилиндрическая, с нижней конической частью и верхним бортиком с вырезанными на нем косыми канавками.

Контролируемая среда при протекании через эти канавки обеспечивает вращение поплавка, при этом он центрируется по оси трубки и устраняется трение его о стенки.

Между бортиком поплавка и стенкой трубки образуется кольцевой зазор площадью, при прохождении через который поток жидкости сужается и, таким образом, возникает разность между давлением P_1 в сечении AA до начала сужения и давлением P_2 в самом узком сечении BB кольцевого потока. С подъемом поплавка площадь увеличивается, что в случае неизменного расхода приведет к уменьшению разности $P_1 - P_2$.

Принцип действия ротаметра основан на уравнивании при любом расходе силы тяжести поплавка силами, действующими на него со стороны движущейся среды - жидкости или газа. При этом вертикальное положение поплавка будет однозначно связано с расходом.

Перепад давления на поплавке оказывается независимым от расхода. Поэтому ротаметры относятся к группе расходомеров постоянного перепада. Действие ротаметра можно пояснить, используя последнее уравнение.

Ротаметры, делятся на 2 группы:

- 1) для жидкостей, которые градуируются по воде;
- 2) для газов, которые градуируются по воздуху.

Если такие ротаметры используются для измерения расхода других сред, то в их показания необходимо вводить поправку k . Если вязкости измеряемой и градуировочной среды близки, то поправочный коэффициент k рассчитывают по формуле и показания ротаметра умножаются на k .

Ротаметры со стеклянной конусной трубкой применяются для измерения расхода прозрачных жидкостей и газов, находящихся под давлением не более 0,6 МПа (6 кгс/см). Шкала наносится непосредственно на трубку, отсчет производится по верхней кромке поплавка.

Для измерения расхода сред с большим избыточным давлением 6,4 МПа (64 кгс/см) используются ротаметры с металлической конической трубкой. Обычно такие ротаметры снабжаются ДТП и работают в комплекте с вторичным прибором ($k=2,5$).

Материал поплавков: сталь, алюминий, бронза, эбонит, пластмассы - не должен подвергаться коррозии и вступать в химические реакции с контролируемой средой.

Достоинства ротаметров:

- 1) простота устройства;
- 2) возможность измерения малых расходов и на трубопроводах малых диаметров;
- 3) практически равномерная шкала.

Недостатки ротаметров:

- 1) необходимость установки только на вертикальных трубопроводах, когда среда течет снизу вверх;
- 2) непригодность для измерения расхода сред с высокими давлениями и температурами.

Тахометрические расходомеры

К ним относятся: турбинные, шариковые и камерные. Тахометрические преобразователи расхода могут использоваться как в счетчиках количества, так и в расходомерах.

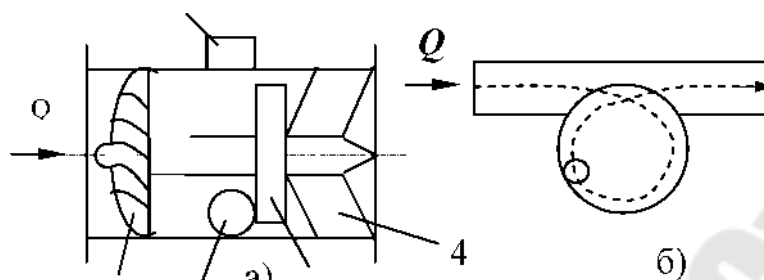
Турбинные расходомеры применяются для измерения расхода жидкостей обладающих смазывающей способностью (нефтепродукты), а также для горячей воды.

Существует серийно выпускаемые расходомеры с основной погрешностью $\pm 0,5\%$.

Шариковые тахометрические расходомеры

Шариковыми называются тахометрические расходомеры, подвижным элементом которых является шарик, непрерывно движущийся в одной плоскости по внутренней поверхности корпуса под воздействием предварительно закрученного потока. Скорость движения шарика пропорциональна объемному расходу. Шар под действием центробежной силы прижимается к внутренней поверхности корпуса, а под действием осевой составляющей скорости потока к ограничительному кольцу, т.е. шару

кроме сил вязкого трения жидкости, необходимо преодолевать силы трения о



поверхность корпуса и ограничительного кольца.

Рисунок 17

1 - формирователь потока; 2 - шарик; 3 - кольцо; 4 - струевыпрямитель;
5 - преобразователь.

Устройство расходомера для измерения
а) больших расходов, б) малых расходов

Камерными называются расходомеры и счетчики, имеющие один или несколько подвижных элементов, которые при движении отмеряют определенные объемы жидкости. Эти элементы движутся непрерывно со скоростью пропорциональной объемному расходу. В промышленности применяются в основном камерные счетчики. Точность их высокая: для жидкости 0,5-1% для газа 1-1,5%.

Под действием разности давлений $P_1 - P_2$ возникает вращающий момент, который вращает шестерню 3, при этом шестерня 1 - ведомая. Происходит поочередное заполнение и опорожнение измерительных камер 2. Посредством магнитной муфты движение от одной из шестерен передается на счетный механизм. Счетчики жидкости с овальными шестернями предназначены для жидкостей с вязкостью от $55 \cdot 10^{-6}$ до $3 \cdot 10^{-4}$ м²/с с $t = -40$ до $+120$ С и $P = 64$ кгс/см для труб диаметром 100 мм погрешность 0,5%.

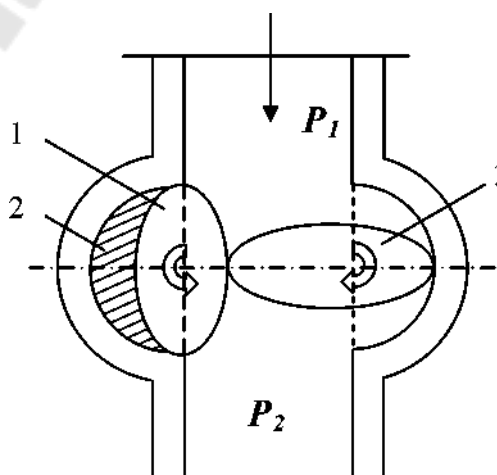
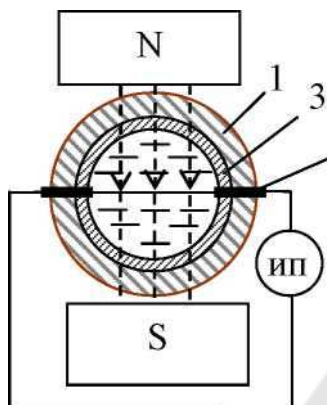


Рисунок 18.

Электромагнитные расходомеры

Принцип действия их основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения



жидкости.

Рисунок 19

Корпус 1 преобразователя, изготовленный из немагнитного материала и покрытый изнутри электрической изоляцией 2, расположен между полюсами постоянного магнита.

Через стенку корпуса по диаметру введены электроды 3, находящиеся в электрическом контакте с жидкостью. Силовые линии магнитного поля направлены \pm плоскости, проходящей через ось трубы и линию электродов.

В соответствии с законом электромагнитной индукции при асимметричном профиле скоростей в жидкости между электродами будет наводиться ЭДС.

Ультразвуковые расходомеры

Звуковые колебания высокой частоты (20 кГц и выше), создаваемые электроакустическим вибратором (излучателем), проходят по текущей через трубопровод среде и регистрируются приемником, отстоящим от излучателя на расстоянии L .

Достоинства ультразвуковых расходомеров:

- возможность бесконтактного измерения расхода любых сред (по способу, основанному на измерении смещения потоком ультразвуковой волны, направленной A к направлению движения среды);
- высокое быстродействие, позволяющее измерять пульсирующие расходы с частотой пульсаций до 10000 Гц.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ

Пособие

**для слушателей специальности переподготовки
1-42 01 71 «Металлургическое производство
и материалообработка»
заочной формы обучения**

Составитель Герасимова Ольга Валентиновна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 15.02.23.

Рег. № 96Е.

<http://www.gstu.by>