

Измерение давления

- 1.1. Давление, его виды и единицы измерения
- 1.2 Классификация средств измерения давления
- 1.3 Установка и использование измерительных преобразователей давления
- 1.4 Рекомендации по выбору оборудования для измерения давления
- 1.5 Устройство и принцип работы преобразователей давления

1. Измерение давления

1.1. Давление, его виды и единицы измерения

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как в расчетных целях, например для определения расхода, количества и тепловой энергии среды, так и в технологических целях, например для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов напорных трубопроводов, используемых на предприятии. Рассмотрим основные понятия, связанные с давлением и его измерением.

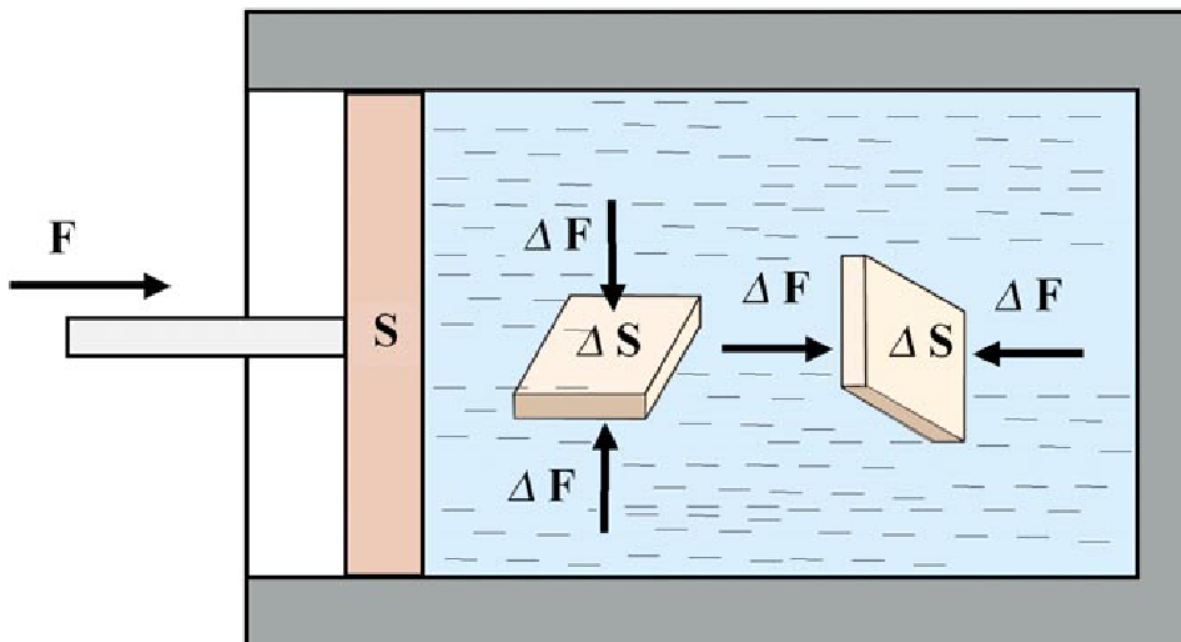
Давлением P называют отношение $P=F/S$ абсолютной величины нормального, то есть действующего перпендикулярно к поверхности тела, вектора силы F к площади S этой поверхности. Если сила равномерно распределена по площади, то указанное отношение задает точное значение давления в каждой ее точке, в противном же случае - только его среднее значение (точное значение меняется от точки к точке и определяется пределом отношения силы ΔF , приложенной на бесконечно малом участке поверхности, к его площади ΔS). В отличие от силы, величина которой может зависеть от размеров поверхности ее приложения, давление позволяет при рассмотрении взаимодействия физических тел исключить фактор площади, поскольку оно является удельной, то есть отнесенной к единице площади, силой.

Виды измеряемых давлений

Жидкие и газообразные среды характеризуются свойствами упругости - обратимого изменения объема, то есть уменьшения объема среды при сжатии ее под давлением и восстановления исходного объема при снятии этого давления, и текучести - обратимого изменения формы. В этих средах различают давление внешнее (поверхностное) - на границе (поверхности) сред - и внутреннее - внутри, в объеме или массе среды.

Внешнее давление P на поверхность S жидкой или газообразной среды, равное отношению нормальной составляющей суммы сил F , приложенной извне, к площади поверхности S , передается внутрь среды (рис. 1.1) без изменений и равномерно во все стороны. То есть порождаемое внутреннее давление направлено перпендикулярно к любой внутренней площадке среды $.S$, независимо от ее формы и положения в среде, а величина давления в среде пропорциональна величине выделенной площадки (закон Паскаля). Очевидно, что $P=F/S= \Delta F/\Delta S$ для любой точки среды. Внутреннее давление покоящихся жидких и газообразных сред зависит не только от внешнего давления, но и от веса самой среды. Эта зависимость наиболее существенна для жидкостей, обладающих большей плотностью, чем газы. Положение точки измерения относительно горизонтальных плоскостей - поверхностей равного давления - определяет весовую составляющую внутреннего давления - гидростатическое давление. Закон Паскаля справедлив не только для покоящихся, но и для движущихся сред, если их можно считать идеальными (отсутствует трение между слоями среды - вязкость). В вязких же движущихся средах величина внутреннего давления зависит от направления, и поэтому под внутренним давлением среды понимают его усредненное значение по трем взаимно перпендикулярным направлениям в точке измерения. Полное внутреннее давление в движущейся среде, например, горизонтального напорного трубопровода определяется

суммой внешнего, гидростатического и гидродинамического давления - скоростного напорного давления, а также потерями давления на трение по всей длине трубы и вихревыми потерями при изменениях величины и направления потока в гидравлических сопротивлениях - коленах, задвижках, диафрагмах. В напорных трубопроводах с энергоносителями измеряется, как правило, статическое давление, которое является разностью полного и динамического давлений; при этом скоростные характеристики потока учитываются в расходомерах и счетчиках при измерениях расхода и количества среды.



Условные обозначения: F - внешняя сила, S - свободная поверхность (площадь) среды, ΔF - сила давления на внутреннюю площадку ΔS .

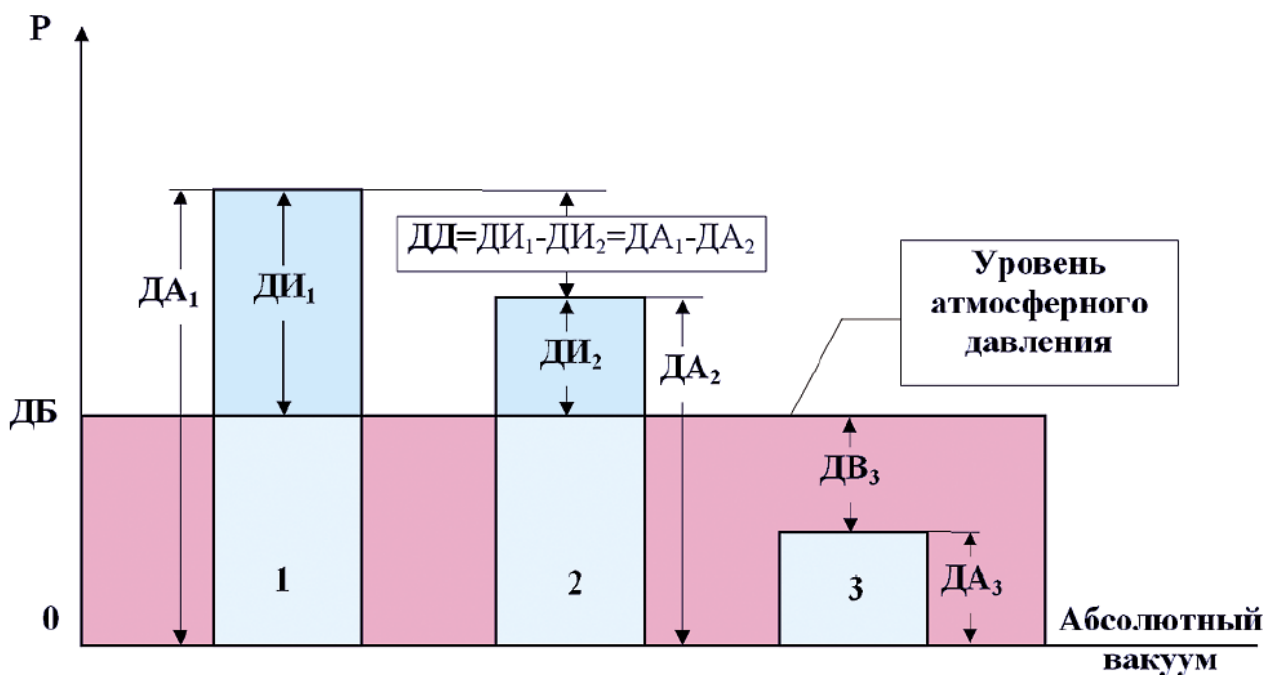
Рисунок 1.1 - Силы давления в жидкой и газообразной средах

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней (рис. 1.2):

1) уровня абсолютного вакуума, или абсолютного нуля давления - идеализированного состояния среды в замкнутом пространстве, из которого удалены все молекулы и атомы вещества среды,

2) уровня атмосферного, или барометрического, давления (ГОСТ 8.271_77). Давление, измеряемое относительно вакуума, называют **давлением абсолютным (ДА)**.

Барометрическое давление (ДБ) - это абсолютное давление земной атмосферы. Оно зависит от конкретных условий измерения: температуры воздуха и высоты над уровнем моря. Давление, которое больше или меньше атмосферного, но измеряется относительно атмосферного, называют соответственно **избыточным (ДИ)** или давлением разрежения, **вакуумметрическим (ДВ)**. Очевидно, что $ДА = ДБ + ДИ$ или $ДА = ДБ - ДВ$. При измерении разности давлений сред в двух различных процессах или двух точках одного процесса, причем таких, что ни одно из давлений не является атмосферным, такую разность называют **дифференциальным давлением (ДД)**.



Условные обозначения: P - давление, ДБ - давление барометрическое, ДА - давление абсолютное, ДИ - давление избыточное, ДВ - давление вакуумметрическое, ДД - давление дифференциальное.

Рисунок 1.2 - Виды измеряемых давлений в точках 1, 2, 3 физического процесса

Системные и внесистемные единицы измерения давления

Единицы измерения давления (СТ СЭВ 1052_89) определяются одним из двух способов: 1) через высоту столба жидкости, уравнивающей измеряемое давление в конкретном физическом процессе: в единицах водяного столба при 4°C (**мм вод. ст.** или **м вод. ст.**) или ртутного столба при 0°C (**мм рт. ст.**, или **Торр**) и нормальном ускорении свободного падения (в англоязычных странах используются соответствующие единицы **in H₂O**, **ft H₂O-дюйм вод. ст.**, **фут вод. ст.** и **in Hg - дюйм рт. ст.**; 1 дюйм=25,4 мм, 1 фут=30,48 см); 2) через единицы силы и площади.

В Международной системе единиц (СИ), принятой в 1960 году, единицей силы является Н (ньютон), а единицей площади - м². Отсюда определяется единица давления **паскаль** Па=1 Н/м² и ее производные, например, **килопаскаль** (1 кПа=10³ Па), **мегапаскаль** (1 МПа=10⁶ Па). Наряду с системой СИ в области измерения давления продолжают использоваться единицы и других, более ранних систем, а также внесистемные единицы.

В технической системе единиц МКГСС (метр, килограммсила, секунда) сила измеряется в килограммах силы (1 кгс.9,8 Н). Единицы давления в МКГСС - кгс/м² и кгс/см²; единица кгс/см² получила название **технической**, или **метрической атмосферы (ат)**. В случае измерения в единицах технической атмосферы избыточного давления используется обозначение «**ати**».

В физической системе единиц СГС (сантиметр, грамм, секунда) единицей силы является дина (1 дин=10⁻⁵ Н). В рамках СГС введена единица давления **бар** (1 бар=1 дин/см²). Существует одноименная внесистемная, метеорологическая единица **бар**, или **стандартная атмосфера** (1 бар=10⁶ дин/см²; 1 мбар = 10⁻³ бар = 10³ дин/см²), что иногда, вне контекста, вызывает путаницу. Кроме указанных единиц на практике используется такая внесистемная единица, как **физическая**, или **нормальная атмосфера (атм)**, которая эквивалентна уравнивающему столбу 760 мм рт. ст.

Иногда находят применение единицы давления из системы единиц МТС (метр, тонна,

секунда) **пьеза** (1 пз = 1 сн/м², где 1 сн = 108 дин - сила в 1 стен, сообщающая телу массой в 1 тонну ускорение 1 м/с²). В англоязычных странах широко распространена единица давления **пси** (psi=lbf/in²) - **фунт силы на квадратный дюйм** (1 фунт= 0,4536 кг). При измерении абсолютного и избыточного давления используются соответственно обозначения **psia** (absolute - абсолютный) и **psig** (gage - избыточный).

В таблице 1.1 указаны коэффициенты перевода одних системных или внесистемных единиц давления в другие: например, одной технической атмосфере соответствует давление 0,980665 в барах (здесь бар является внесистемной единицей). В действительности не всегда требуется столь высокая точность перевода единиц, которая отражена в таблице 1.1. Для приблизительных оценок и расчетов давления с относительной погрешностью не более 0,5% полезно использовать следующие соотношения:

1 ат = 1 кгс/см² = 104 кгс/м² = 0,97 атм = 0,98×10³ мбар = 0,98 бар = 104 мм вод.ст. = 10 м вод.ст = 735 мм рт.ст. = 0,98×10⁵ Па = 98 кПа= 0,098 МПа

С ошибкой в 2% можно пренебречь разницей между технической атмосферой, стандартной атмосферой (баром) и десятой частью мегапаскаля (1 ат = 1 бар = 0,1 МПа), а с ошибкой в 3% - разницей между технической и физической атмосферами (1 ат = 1 атм). На практике из-за использования разнородного гидравлического и измерительного оборудования разных изготовителей и стран, причем нередко давнего года выпуска, потребность перевода одних единиц давления в другие возникает постоянно. Приведенные таблица и соотношения позволяют быстро справиться с такими задачами. Диапазон давлений, измеряемых в технике, достигает 17 порядков: от 10⁻⁸ Па в электровакуумном оборудовании до 10³ МПа при обработке металлов давлением. Материальным хранителем единиц давления являются первичные (национальные) и вторичные (рабочие) эталоны давления. Для поддиапазона 1-100 кПа избыточных, абсолютных и разностных давлений в качестве первичного эталона используется, как правило, ртутный двухтрубный (U-образный) манометр с лазерным считыванием высоты мениска (погрешность считывания не более 10⁻³ мм, а абсолютная суммарная погрешность прибора, учитывающая в том числе и влияние температуры, не превышает 0,0005% от верхней границы диапазона). Для поддиапазона 100 кПа-100 МПа применяются газовые грузопоршневые манометры (точность 0,0035-0,004% от показаний). Газовые и жидкостные грузопоршневые манометры используются и как рабочие эталоны для передачи единиц давления промышленным образцовым приборам (их точность 0,01-0,1%).

Таблица 1.1 - Таблица соответствия единиц давления

Системы единиц	Единицы давления	Па (Pa)	кгс/см ² (at)	бар (bar)	атм (atm)	мм рт. ст. (mm Hg)	мм вод. ст. (mm H ₂ O)	пси (psi)
СИ (SI)	1 Па=1 н/м ²	1	1,01972×10 ⁻⁵	10 ⁻⁵	0,98692×10 ⁻⁵	750,06×10 ⁻⁵	0,101972	1,45×10 ⁻⁴
МКГСС	1 ат=1 кгс/см ²	0,980665×10 ⁵	1	0,980665	0,96784	735,563	10 ⁴	14,223
Внесистемные	1 бар=10 ⁶ дин/см ²	10 ⁵	1,01972	1	0,98692	750,06	1,01972×10 ⁴	14,5
	1 атм=760 мм рт.ст.	1,01325×10 ⁵	1,0332	1,01325	1	760	1,0332×10 ⁴	14,696
	1 мм рт. ст.	133,322	1,35951×10 ⁻³	1,33322×10 ⁻³	1,31579×10 ⁻³	1	13,5951	0,019337
	1 мм вод. ст.	9,80665	10 ⁻⁴	9,80665×10 ⁻⁵	9,67841×10 ⁻⁵	7,3556×10 ⁻²	1	1,422×10 ⁻³
	1 psi=1 lbf/in ²	6,894×10 ³	≈0,07	6,894×10 ⁻²	0,068	51,715	703,08	1

1.2 Классификация средств измерения давления

Для прямого измерения давления жидкой или газообразной среды с отображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются **манометры** (ГОСТ 8.271-77). Если отображение значения давления на самом первичном приборе не производится, но он позволяет получать и дистанционно передавать соответствующий измеряемому параметру сигнал, то такой прибор называют **измерительным преобразователем давления (ИПД)**, или **датчиком давления**. Возможно объединение этих двух свойств в одном приборе (манометр-датчик).

Манометры классифицируют по принципу действия и конструкции, по виду измеряемого давления, по применению и назначению, по типу отображения данных и другим признакам (рис. 1.3). По принципу действия манометры можно подразделить на **жидкостные** (измеряемое давление уравнивается гидростатически столбом жидкости - воды, ртути - соответствующей высоты), **деформационные** (давление определяется по величине деформации и перемещения упругого чувствительного элемента УЧЭ - мембраны, трубчатой пружины, сильфона), **грузопоршневые** (измеряемое или воспроизводимое давление гидростатически уравнивается через жидкую или газообразную среду прибора давлением веса поршня с грузоприемным устройством и комплектом образцовых гирь), **электрические** (давление определяется на основании зависимости электрических параметров: сопротивления, емкости, заряда, частоты - чувствительного элемента ЧЭ от измеряемого давления) и другие (тепловые, ионизационные, термопарные и т.п.). В промышленности при локальных измерениях давлений энергоносителей в большинстве случаев используются деформационные манометры на основе одновитковой трубчатой пружины - трубки Бурдона - для прямопоказывающих стрелочных приборов или с многовитковыми пружинами для самопишущих манометров), но на смену им всё чаще приходят электрические манометры с цифровым табло и развитой системой интерфейсов.

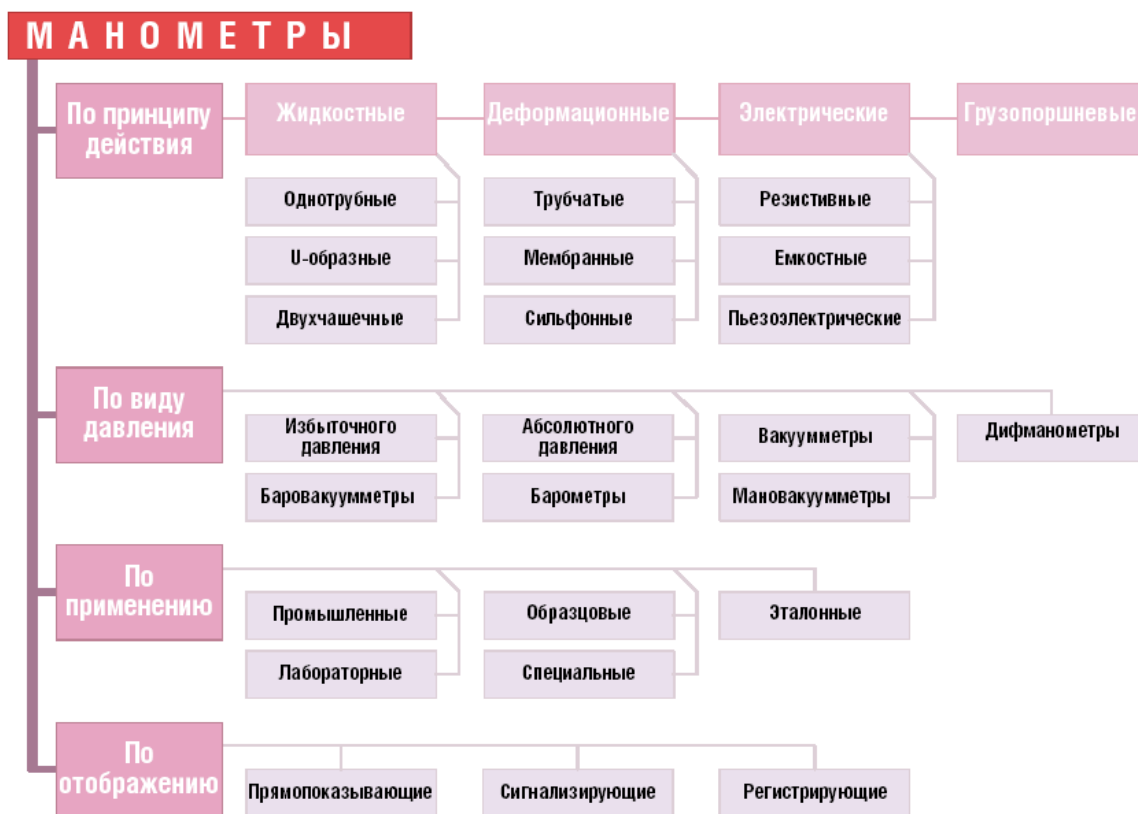


Рисунок 1.3 - Классификация манометров

По виду измеряемого давления манометры подразделяют на приборы измерения избыточного и абсолютного давления - собственно манометры, разрежения - **вакуумметры**, давления и разрежения - **мановакуумметры**, атмосферного давления - **барометры** и разностного давления - **дифференциальные манометры** (дифманометры). Манометры, вакуумметры и мановакуумметры для измерения небольших (до 20-40 кПа) давлений газовых сред называют соответственно **напоромерами**, **тягомерами** и **тягонапоромерами**, а дифманометры с таким диапазоном измерения - **микроманометрами** (ГОСТ 8.271-77). Технические характеристики всех этих средств измерения давления определяются соответствующими общими техническими условиями (ГОСТ 2405-88, ГОСТ 18140-81 и другими).

По области применения манометры подразделяют на **общепромышленные**, или технические, работающие в промышленных условиях (при перепадах температур и влажности окружающей среды, вибрациях, загрязнении внешней среды и т.п.), **лабораторные** (приборы повышенной точности для использования в комфортных и стабильных условиях лабораторий), **специальные** (применяются в экстремальных условиях: на железнодорожном транспорте, судах, котельных установках, при работе с кислотными и другими агрессивными средами), **образцовые** (для поверки рабочих манометров) и **эталонные** (хранители единиц давления с целью передачи их образцовым приборам).

По типу отображения значений измеряемого давления манометры подразделяют на **прямопоказывающие** - с визуальным считыванием данных непосредственно по аналоговой (стрелочной) или цифровой шкале прибора, на **сигнализирующие** (электроконтактные) - с выдачей управляющего электрического сигнала путем замыкания или размыкания контактов при достижении измеряемым давлением заранее установленного контрольного значения, на **регистрирующие** (самопишущие) - с записью в память значений давления как функции времени и их отображением на электронном табло. Манометры выполняют функцию локального контроля и в большинстве случаев из-за отсутствия возможности дистанционного доступа к их показаниям (за исключением манометров с унифицированным выходным электрическим сигналом) не могут использоваться для целей современной автоматизации. Такую возможность обеспечивают измерительные преобразователи давления (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 - Классификация измерительных преобразователей давления

По способу обработки и отображения измеряемого давления ИПД подразделяют на **первичные** (формируют для дистанционной передачи выходной сигнал, соответствующий измеряемому давлению) и **вторичные** (получают сигнал от первичных преобразователей, обрабатывают его, накапливают, отображают и передают на более высокий уровень системы). Современная тенденция развития ИПД заключается в их «интеллектуализации» на базе микроэлектронной технологии и микропроцессорной техники, предполагающей передачу части функций системы управления вторичным преобразователям, а некоторых традиционных функций вторичных преобразователей - первичным. Известны десятки способов преобразования давления в электрический сигнал, но только некоторые из них получили широкое применение в общепромышленных ИПД. По принципу действия, или способу преобразования измеряемого давления в выходной сигнал, первичные ИПД подразделяют прежде всего на **деформационные** и **электрические**. В первых деформационные перемещения УЧЭ (мембраны, сильфона, трубки Бурдона) трансформируются с помощью дополнительных промежуточных механизмов и преобразователей (например, магнитотранзисторного или оптоэлектронного) в электрический или электромагнитный сигнал, а во вторых измеряемое давление, оказывая воздействия на ЧЭ, изменяет его собственные электрические параметры: сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления. Подавляющее большинство современных общепромышленных ИПД реализованы на основе **ёмкостных** (используют УЧЭ в виде конденсатора с переменным зазором: смещение или прогиб под действием прилагаемого давления подвижного электрода-мембраны относительно неподвижного изменяет ёмкость УЧЭ), **пьезоэлектрических** (основаны на зависимости поляризованного заряда или резонансной частоты пьезокристаллов: кварца, турмалина и других - от давления) или **тензорезисторных** (используют зависимость активного сопротивления проводника или полупроводника от степени его деформации) принципах. В последние годы получили развитие и другие принципы создания ИПД: волоконно_оптические, гальваномагнитные, объёмного сжатия, акустические, диффузионные и т.д.

На сегодняшний день самыми популярными в СНГ являются тензорезисторные ИПД. Тензорезисторные чувствительные элементы ТРЧЭ (в переводной литературе их иногда называют пьезорезисторными, не надо путать с пьезоэлектрическими) представляют собой металлическую и/или диэлектрическую измерительную мембрану, на которой размещаются тензорезисторы (чаще всего в виде уравновешенного измерительного моста) с контактными площадками для проводного подключения к внутренней или внешней электроизмерительной схеме - электронному блоку обработки. Деформация мембраны под воздействием внешнего давления P приводит к локальным деформациям тензорезисторного моста и его разбалансу - изменению сопротивления, которое измеряется электронным блоком (рис. 1.5).

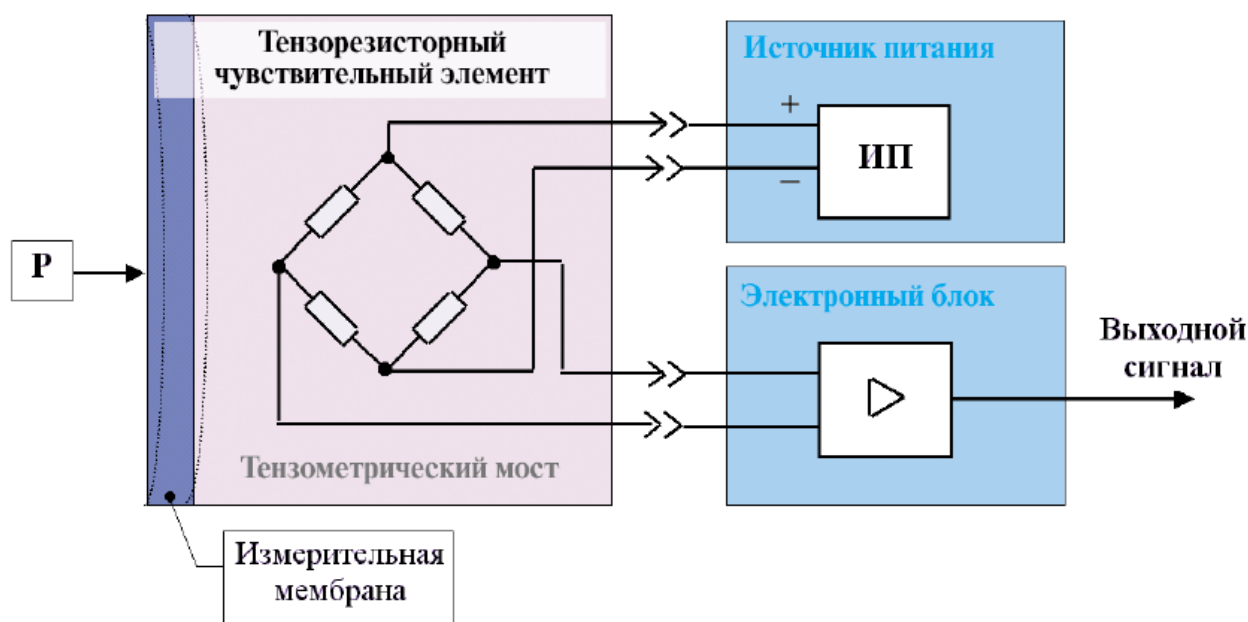


Рисунок 1.5 - Структурная схема первичного тензорезисторного ИПД

Тензорезисторы (ТР) выполняются как из металла (проволочные, фольговые или пленочные), так и из полупроводника (поликристаллические из порошкообразного полупроводника и монокристаллические из кристалла кремния). Поскольку чувствительность полупроводниковых ТР в десятки раз выше, чем у металлических, и, кроме того, интегральная технология позволяет в одном кристалле кремния формировать одновременно как тензорезисторы, так и микросэлектронный блок обработки, то в последние годы получили преимущественное развитие интегральные полупроводниковые ТРЧЭ. Такие элементы реализуются либо по технологии диффузионных резисторов с изоляцией их от проводящей кремниевой подложки р-п переходами - технология «кремний на кремнии», либо по гетерозепитаксиальной технологии «кремний на диэлектрике» на стеклокерамике, кварце или сапфире. Для ТРЧЭ, особенно полупроводниковых, существенно влияние температуры на упругие и электрические характеристики ТР, что требует применения специальных схем температурной компенсации погрешностей (в частности, с этой целью в расширенной схеме тензомоста используются компенсационные резисторы и терморезисторы). Особенно широкое применение в изготовлении общепромышленных ИПД в силу своих высоких механических, изолирующих и теплоустойчивых качеств получила технология КНС - «кремний на сапфире».

По выходному сигналу ИПД подразделяются на **аналоговые** и **цифровые**. Основной парк действующих ИПД относится к аналоговым с унифицированным токовым сигналом 0...5, 0...20 или 4...20 мА. В последнее десятилетие наметился переход к ИПД с цифровым выходом. Широкое распространение получил цифровой **протокол HART**. Этот открытый стандартный гибридный протокол двунаправленной связи предусматривает передачу цифровой информации поверх стандартного аналогового сигнала 4-20 мА. Бурно развивается системная интеграция первичных преобразователей с использованием различных разновидностей промышленных сетей Foundation Fieldbus, ModBus, Profibus и др.). При этом используется полностью цифровой коммуникационный протокол для передачи информации в обоих направлениях между ИПД и системами управления, существенно облегчая взаимозаменяемость приборов разных мировых производителей. В отечественных цифровых ИПД пока преобладают такие цифровые интерфейсы, как ДДПК (двоично-десятичный параллельный код), ИРПС (интерфейс радиальный последовательный) и RS-232C.

ИПД различаются, кроме того, по видам измеряемого давления, используемым единицам измерения и ряду основных технических параметров (ГОСТ 22520-85): диапазону измеряемого давления (выбирается для каждой модели из стандартного ряда

давлений), пределу основной допускаемой погрешности (определяется при нормальной температуре +25°C от верхнего предела диапазона измерения и включает в себя, как правило, погрешности от гистерезиса ЧЭ, его линейности и воспроизводимости результатов измерения), пределу дополнительной температурной погрешности (этот предел задается от изменения температуры относительно нормальной на каждые 10 или 28°C или на весь температурный диапазон работы), допустимому рабочему диапазону температур окружающей среды (иногда дополнительно указывают допустимый диапазон температур технологического процесса или измеряемой среды и корпуса прибора), динамическому диапазону измерения давлений (отношению максимального значения измеряемого давления к минимальному), стабильности метрологических характеристик во времени (как процент от верхнего предела диапазона измерения в течение 6 или 12 месяцев), устойчивости к вибрациям, защите от высокочастотных помех, климатическим и взрывозащищенным исполнениям (ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 14254-96), требованиям к источнику питания и по другим параметрам.

Таблица 1.2 Характеристики наиболее распространённых моделей общепромышленных ИПД

Модель										
Технические характеристики	MT-100	Сапфир-22МТ	Сапфир-22МП	ИНСАР	Метран-43, -45	Метран-1151 (Alphaline 1151)	Fisher-Rosemount 2088	Honeywell ST 3000/STD924	Siemens SITRANS P серии МКII, DS, НК	Siemens SITRANS P серия Z
Назначение*	ДИ, ДВ, ДИВ	ДА, ДИ, ДВ, ДИВ, ДД	ДА, ДИ, ДВ, ДИВ, ДД	ДИ, ДД	ДИ, ДВ, ДИВ, ДД	ДА, ДИ, ДД	ДА, ДИ	ДД	ДА, ДИ, ДД	ДА, ДИ
Верхний предел измерения*	ДИ: 16 кПа, ..., 100 МПа	ДА: 4,0 кПа, ..., 2,5 МПа	ДА: 4,0 кПа, ..., 2,5 МПа	4, ..., 250 кПа	ДИ: 0,1 кПа, ..., 60 МПа	0,5 кПа, ..., 40 МПа	7 кПа, ..., 27,5 МПа	ДД: 62, ..., 1000 мбар	30 мбар, ..., 400 бар	1, ..., 400 бар
	ДВ: 16, ..., 250 кПа	ДИ: 0,25 кПа, ..., 100 МПа	ДИ: 0,16 кПа, ..., 100 МПа		ДВ: 0,1, ..., 100 кПа					
	ДИВ: 8,0 кПа, ..., 3,9 МПа	ДВ: 0,4, ..., 100 кПа	ДВ: 0,25, ..., 100 кПа		ДИВ: 0,08, ..., 530 кПа					
		ДИВ: 0,2 кПа, ..., 2,4 МПа	ДИВ: 0,125 кПа, ..., 2,4 МПа		ДД: 0,1 кПа, ..., 25 МПа					
Предел основной погрешности, %	±0,25; ±0,5; ±1,0	±0,25; ±0,5; ±0,2; ±0,4; ±0,15; ±0,6	±0,1; ±0,15; ±0,25; ±0,5; ±0,2; ±0,4	±0,5; ±1,0; ±1,5	±0,25; ±0,5; ±1,0	±0,1; ±0,25	±0,2	±0,1; ±0,075	±0,1; ±0,25	±0,25
Диапазон рабочих температур, °С	-30...+50; -10...+80; -50...+80; +5...+50		-30...+50; -40...+80; +5...+50; -10...+80	+5...+50	-42...+70; -42...+50; -30...+50; -10...+50; +5...+50; +5...+70	-40...+93	-40...+85	-40...+85	-30...+85 (температура хранения: -50...+85°C; температура контролируемой среды: -40...+100°C)	-25...+85 (температура хранения: -50...+100°C; температура контролируемой среды: -30...+120°C)
Выходной сигнал	I=0...5; 4...20 мА			I=0...5; 4...20 мА U=0...5 В	I=0...5; 4...20; 0...20 мА	I=4...20; 10...50 мА U=0,8...3,3; 1...5 В HART-протокол	I=4...20 мА U=1...5 В HART-протокол	I=4...20 мА DE-протокол HART-протокол Foundation Fieldbus (FF)	I=4...20 мА HART-протокол PROFIBUS-PA	I=4...20 мА
Напряжение питания, В	=36 для I=0...5 мА		=36 для 4-проводной линии =16...36 для 2-проводной линии	=36; 24/50 Гц	=36	=12...45	=10,5...36	=11...42	=11...45	=10...36
	=15...42 для I=4...20 мА					=30...85			=11...30	
Масса, кг	1,0; 1,6	1,0; ...; 12,1	2,0; ...; 12,8	1,5	1, ...; 6,5	5,4	0,9	4,1	1,5	0,25

* См. условные обозначения на рис. 1.2

1.3 Установка и использование измерительных преобразователей давления

Установка конкретного ИПД для измерения давления в напорном трубопроводе должна производиться таким образом, чтобы исключить или свести к минимуму влияние на процесс измерения и эксплуатации прибора таких дестабилизирующих и опасных факторов, как а) высокие температуры среды энергоносителя и внешней окружающей среды, б) вибрации трубопровода, в) химическая агрессивность среды энергоносителя, г) взрывоопасность среды энергоносителя и внешней среды, д) электромагнитные помехи и радиация. С учетом предельных характеристик ИПД и конкретных условий окружающей среды преобразователи устанавливаются и закрепляются либо непосредственно на трубе в месте измерения давления, либо дистанционно на настенной панели с подводкой к

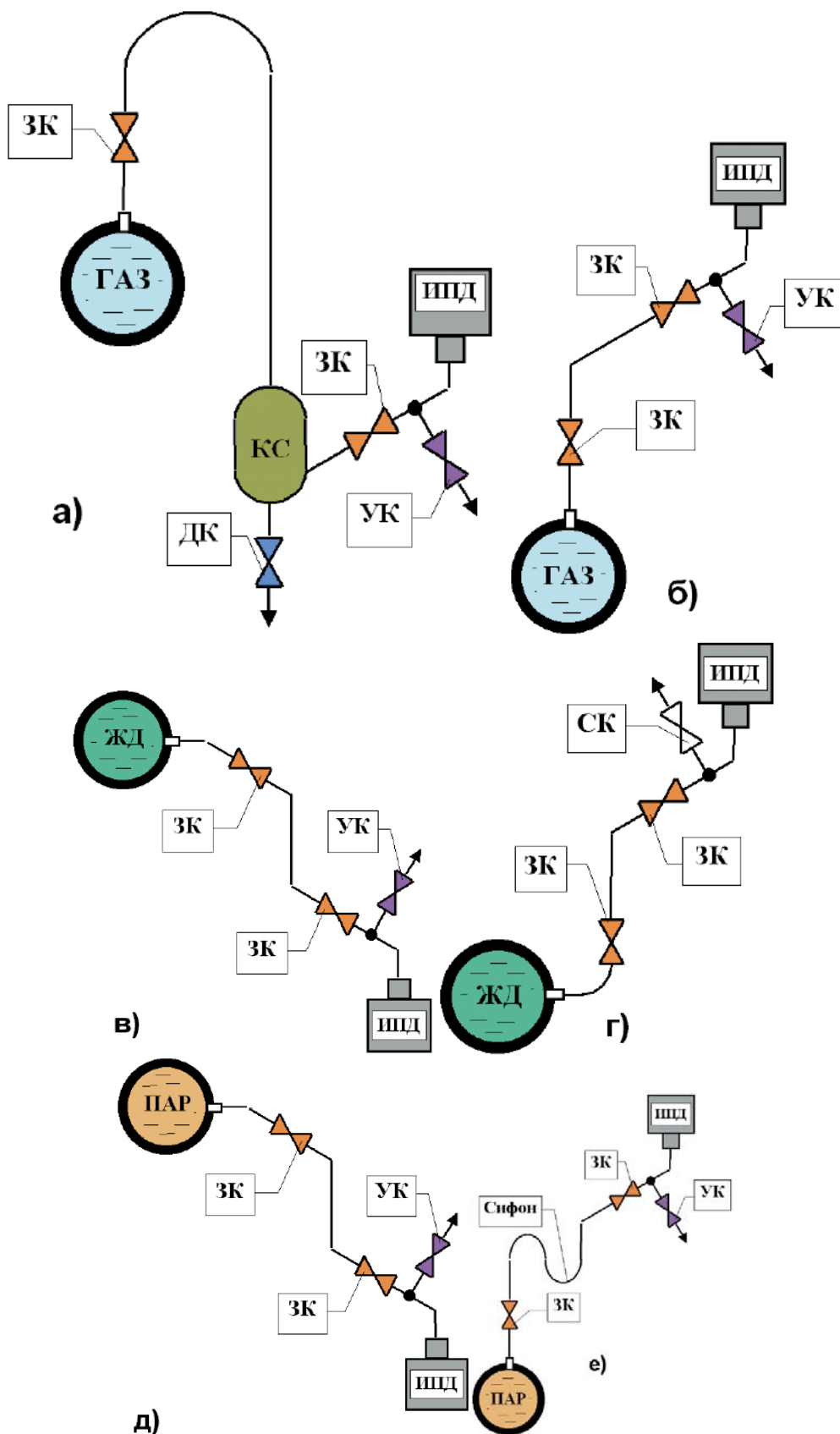
измеряемой среде посредством соединительных трубок (рукавов) и, если необходимо, разделителей мембранных (РМ) или сосудов уравнивающих и уравнивающих конденсационных. Кроме того, как в первом, так и во втором случаях подключение ИПД осуществляется, как правило, через вентильный (клапанный) блок, позволяющий, во-первых, отключить через запорный вентиль прибор от точки измерения, во-вторых, с целью контроля и поверки прибора в рабочих условиях подключить параллельно прибору через уравнивающий вентиль другой контрольный (образцовый) прибор или другую среду (например, атмосферный воздух), в-третьих, через спусковой (продувочный или дренажный) вентиль удалить скопившийся газ или конденсат из измерительной полости прибора или соединительной трубки.

При измерении давления химически агрессивных сред необходимо либо использовать ИПД с соответствующими защитными характеристиками (например, с защитным фторопластовым слоем наружной стороны измерительной мембраны или со встроенной внутренней защитно-разделительной мембраной из коррозионно-стойкого материала типа, например, титана или тантала), либо применять внешние выносные РМ, которые могут соединяться с ИПД непосредственно через штуцер прямым монтажом или капиллярным монтажом через соединительную трубку. Использование внешних РМ позволяет применять обычные ИПД в условиях, превышающих их защитные характеристики: в агрессивной среде, при наличии в среде твердых осадков и абразивов, в вязкой среде (например, мазуте), при повышенных санитарно-гигиенических требованиях к процессу измерения (среды медицинских или пищевых продуктов). Внешние разделители содержат, как правило, замкнутую полость между двумя разделительными мембранами, наполненную инертной жидкостью (например силиконовым маслом). Передача давления от РМ к измерительной мембране ИПД через соединительные трубки также осуществляется посредством жидкости, заполняющей эти трубки.

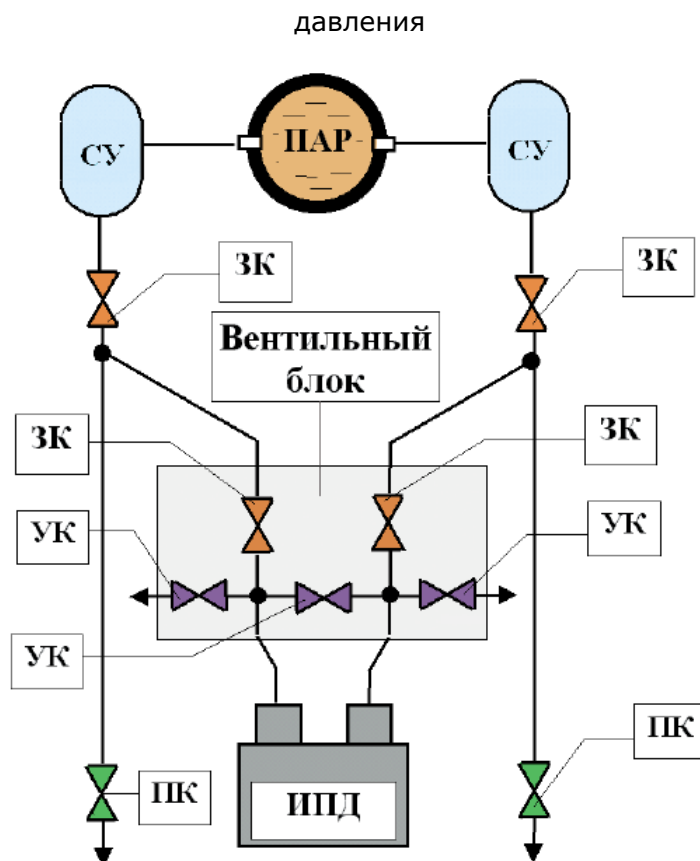
На практике часто вместо РМ используются устаревшие безмембранные разделительные сосуды, в которых часть сосуда заполняется измеряемой средой, а другая часть со стороны ИПД и соединительной трубки - передаточной, или разделительной жидкостью. Такое решение при измерении жидких сред может со временем привести к смешиванию в результате диффузии измеряемой и разделительной сред, то есть утрате самой разделительной функции с соответствующими последствиями, а при измерении газовых сред - к диффузии газа в разделительную среду с переводом ее в двухфазное состояние с потерей функции несжимаемости, что ведет к росту погрешности измерения давления.

Соединительные трубки (металлические) используются прежде всего с целью снижения температуры измерительной или передаточной среды до допустимого температурного диапазона работы конкретного ИПД. Для этого трубки выполняются без тепловой изоляции, а их длина выбирается таким образом, чтобы в месте установки прибора температура среды не превышала допустимого значения. При длинной соединительной трубке (обычно ее длина не превышает нескольких десятков метров) у места ее присоединения к трубопроводу устанавливается дополнительный запорный вентиль для отключения трубки в случае аварии. Трубки не должны вносить дополнительные погрешности в измерение давления, и с этой целью их надлежит заполнять однофазной несжимаемой передаточной средой, а также присоединять к трубопроводу и прокладывать так, чтобы исключить образование в них двухфазных сред - газоздушных пузырей («газовых мешков») при измерении давления жидких сред или конденсата при измерении давления газовых сред (рис. 1.7, 1.8). Это достигается подключением трубок к горизонтальному трубопроводу с середины его профиля при измерении давления жидких сред и сверху - при измерении газовых сред, а также прокладкой соединительных трубок с уклоном в сторону, обеспечивающую удаление газов (уклон вниз) или конденсата (уклон вверх) в измеряемую среду трубопровода. В этих же целях необходимо размещать ИПД для жидких сред ниже уровня отбора давления, а для газовых сред - выше этого уровня. Если такие условия трудновыполнимы, то в соединительных линиях предусматривают газосборники со спусковыми клапанами (их функцию в ряде случаев могут выполнять уравнивающие клапаны) или конденсатосборники с дренажными клапанами (вентильями) для периодического удаления побочной среды. Соединительные трубки должны быть защищены от переменных воздействий внешних источников тепла

или холода (за исключением естественного постоянного теплообмена с окружающей средой).



Условные обозначения: ЗК - запорный клапан, УК - уравнильный клапан, СК - спусковой клапан, ДК - дренажный клапан, КС - конденсационный сосуд, ЖД - жидкость.
 Рис. 1.7 - Схемы установки ИПД (ДИ/ДА) на трубопровод для измерения давления газа, жидкости и пара при размещении ИПД ниже (а, в, д) или выше (б, г, е) уровня отбора



Условные обозначения: ЗК - запорный клапан, ПК - продувочный клапан, УК - уравнивательный клапан, СУ - сосуд уравнивательный.

Рис. 1.8 - Схема установки ИПД (ДД) на трубопровод для измерения давления пара при размещении ИПД ниже уровня отбора давления

При измерении давления водяного пара с использованием соединительных трубок невозможно избежать образования двухфазной среды в процессе охлаждения пара и передачи его давления через трубки на удалённый ИПД. Поэтому здесь ставится задача резкого перехода от пара к конденсату, который становится несжимаемой передающей разделительной средой. С этой целью передача давления осуществляется либо через трубку с сифоном (U-образным или кольцевым), в котором скапливается охлаждающийся конденсат, играющий роль водяного затвора, или через трубку с уравнивательным конденсационным сосудом, который поддерживает постоянный уровень конденсата в системе передачи давления пара (рис. 1.7 д, е). Особенно важно поддержание постоянства и равенства уровней конденсата в соединительных трубках при измерении дифманометром перепада давления пара на сужающем устройстве (диафрагме) в расходомерах переменного перепада давления (рис. 1.8).

В АСКУЭ измерение давлений энергоносителей необходимо производить как в расчетных, так и в технологических целях. Так, согласно российским «Правилам учета тепловой энергии и теплоносителей», действует требование регистрации давления сетевой (теплофикационной) воды в подающем и обратном трубопроводах на узле учета потребителя, причем это требование не связано с точностью учета теплоносителя (при обычном давлении вода несжимаема), а носит технологический характер - контроль режима теплоснабжения и обязательств энергоснабжающей организации. Аналогичные цели преследует измерение давления в трубопроводах холодного и горячего водоснабжения, в мазутопроводах. Вместе с тем измерение давления в трубопроводах газо- и пароснабжения принципиально важно, в первую очередь, для учета расхода и количества энергоносителя, а также соответствующего тепла (при учете перегретого пара без измерения давления не обойтись, а при учете насыщенного пара можно выбрать на альтернативной основе измерение либо давления, либо температуры). Типовые величины

давлений, измеряемых в рамках АСКУЭ промпредприятия, обычно принадлежат диапазону 0...20 ати (0...2 МПа).

1.4 Рекомендации по выбору оборудования для измерения давления

1. Выбор первичных (измерительных преобразователей давления или цифровых манометров с унифицированным электрическим сигналом) средств измерения давления и вторичных средств АСУ ТП или АСКУЭ предприятия должен производиться не случайным, фрагментарным, а системным образом в рамках единого и полного проекта, учитывающего как существующее, ранее смонтированное оборудование, так и установку нового.

2. Выбор первичных средств измерения давления должен осуществляться в зависимости от их применения для коммерческого или технического учета энергоносителей, а также от их использования для измерения давления в расчетных или технологических целях. В случае коммерческого учета следует выбирать приборы более высокого класса по точности, надежности и стабильности, чем в случае технического и тем более технологического контроля.

3. Выбор или модернизация первичных средств измерения давления должен обязательно выполняться с учетом их совместимости (информационной, электрической, сетевой) с устройствами среднего уровня АСУ ТП или АСКУЭ (контроллерами, многофункциональными преобразователями).

4. Выбор первичных средств измерения давления должен производиться с учетом соответствия их характеристик конкретным задачам, условиям и особенностям эксплуатации (вид среды, предполагаемый диапазон давления и температуры, требуемая точность, наличие дестабилизирующих факторов, необходимый тип выходного сигнала и т.п.). Следует особое внимание уделять анализу характеристик надёжности и помнить, что самый дорогой путь - это выбор устройства по минимальной стоимости.

5. Монтаж первичных средств измерения давления должен производиться с учетом всех дестабилизирующих факторов и с использованием, если необходимо, дополнительных средств: вентильных блоков, разделителей мембранных, сосудов уравнивающих, соединительных трубок и т.д.

1.5 Устройство и принцип работы преобразователей давления

Преобразователи давления - это аналоговые или электронные устройства, основной функцией которых является постоянное и непрерывное преобразование физического показателя давления в унифицированный выходной сигнал электрического тока. В основном прибор используется для таких типов давления, как абсолютное или избыточное давление, давление разрежения, гидростатического давления, а также для измерения разности давлений для нейтральной и агрессивной среды.

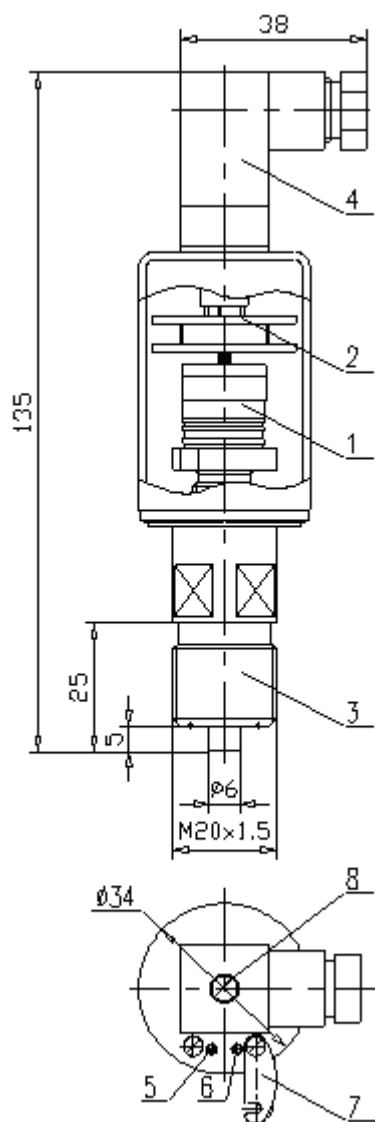
Преобразователи давления в основном используются в промышленности на автоматизированном производстве, для постоянного автоматического контроля и регулирования давления различных жидкостей и газов, необходимых для нормальной работы, а также для передачи сигнала о состоянии того или иного газа (или жидкости) в центр автоматической системы управления.

Данные приборы остро необходимы даже в таких опасных отраслях промышленности, как взрывоопасная нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленности, и в энергетике (в атомных электростанциях).

Преобразователи давления выпускаются для измерения относительного (избыточного) или абсолютного давления. Разница - относительное не учитывает давление атмосферы. То есть в помещении, на улице, в баке без давления он будет показывать 0 бар.

Абсолютное давление - в таких же условиях будет показывать 1 атмосферу. Наиболее часто используются преобразователи давления для измерения относительного давления.

Преобразователи давления очень просты в конструктивном исполнении, следствием чего и является их надежность, точность измеряемых показаний и дешевизна. Датчик представляет собой единую конструкцию состоящую из первичного мембранного тензопреобразователя давления 1 (тензопреобразователя) и электронного блока 2. Измеряемое давление воздействует непосредственно через мембрану на тензопреобразователь. Электрический сигнал тензопреобразователя передается в электронный блок, в котором он преобразуется в унифицированный токовый выходной сигнал.



- 1 - Тензопреобразователь
- 2 - Электронный блок
- 3 - Штуцер
- 4 - Разъем
- 5 - Корректор нуля "0"
- 6 - Корректор диапазона "Δ"
- 7 - Задвижка
- 8 - Винт крепления разъема

Рисунок 1.9 - Типовая схема устройства малогабаритного преобразователя давления