

Государственное автономное образовательное учреждение
среднего профессионального образования Ленинградской области
Киришский политехнический техникум

**ПМ. 02 Обслуживание и настройка средств контроля и
автоматического регулирования**

Методическое пособие

« Первичные измерительные преобразователи давления»

для студентов среднего профессионального образования по специальности:

18.01.28 Оператор нефтепереработки

РАССМОТРЕНО

На заседании МК

Протокол № _____ от _____ 20 ____ г.

Председатель МК _____

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по УПР

М.В. Титова

« _____ » _____ 20 ____ г.

Методическое пособие составлено в соответствии с рабочей программой по ПМ. 02 Обслуживание и настройка средств контроля и автоматического регулирования в соответствии с ФГОС по специальности СПО 18.01.28 Оператор нефтепереработки

Разработчик:

Косарева И.Ю., преподаватель высшей категории

« _____ » _____ 2013г.

Пояснительная записка

Методическое пособие предназначено для изучения принципа действия и устройства прибора контроля основного параметра химико-технологического процесса: давления.

Содержание методического пособия основано на программе дисциплины «Обслуживание технических средств автоматизации», изучаемой студентами по специальности 18.01.28 Оператор нефтепереработки.

В методическом пособии содержатся основные методы и средства измерения давления.

Методическое пособие сопровождается контрольными вопросами для самопроверки и тестом.

Автоматический контроль является логически первой ступенью автоматизации, без успешного функционирования которых невозможно создание эффективных АСУ ТП.

Содержание

1. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ	3
1.1. Основные понятия.....	3
1.2. Виды измеряемых давлений.....	3
1.3. Классификация средств измерения давления	5
1.4. Жидкостные манометры	10
1.5. Деформационные датчики давления	12
1.6. Электрические датчики давления.....	16
1.6. 1. Емкостные преобразователи давления.....	17
1.6.2. Пьезоэлектрические преобразователи давления	18
1.6.3. Тензорезисторные преобразователи давления.....	20
1.7. Грузопоршневой манометр	24
Контрольные вопросы	25
Тест.....	26
Список литературы	

1. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

1.1 Основные понятия

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.

Давлением P называют отношение абсолютной величины нормального, то есть действующего перпендикулярно к поверхности тела, вектора силы F к площади S этой поверхности. При равномерном распределении сил давление равно частному от деления нормальной составляющей силы давления на площадь, на которую эта сила действует.

1.2 Виды измеряемых давлений

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней (рис 1):

- уровня абсолютного вакуума, или абсолютного нуля давления - идеализированного состояния среды в замкнутом пространстве, из которого удалены все молекулы и атомы вещества среды;
- уровня атмосферного, или барометрического давления (ГОСТ 8.271-77).

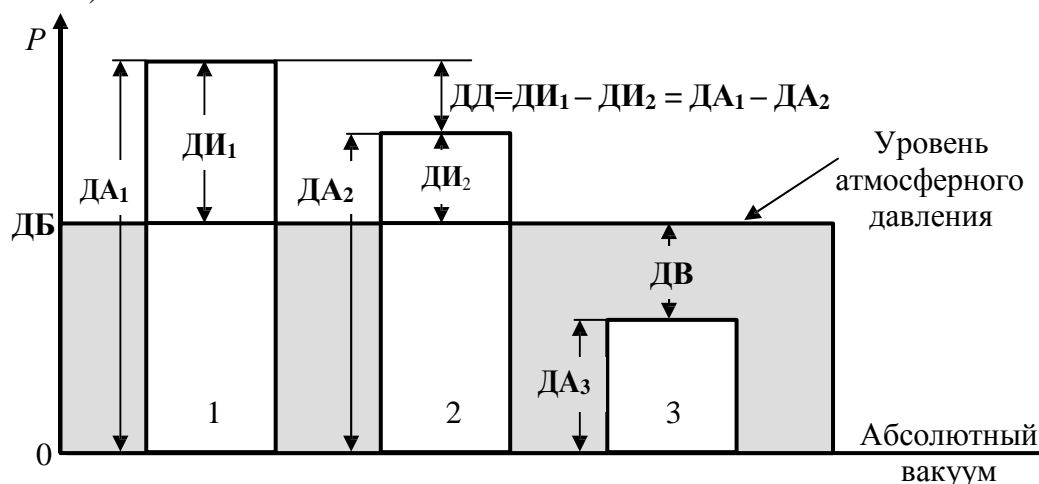


Рис. 1 Виды измеряемых давлений в точках 1, 2, 3
физического процесса:

$ДБ$ – давление барометрическое; $ДА$ – давление абсолютное;
 $ДИ$ – давление избыточное; $ДВ$ – давление вакуумметрическое; $ДД$ – давление дифференциальное

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).

1.3 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**. 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. 2).

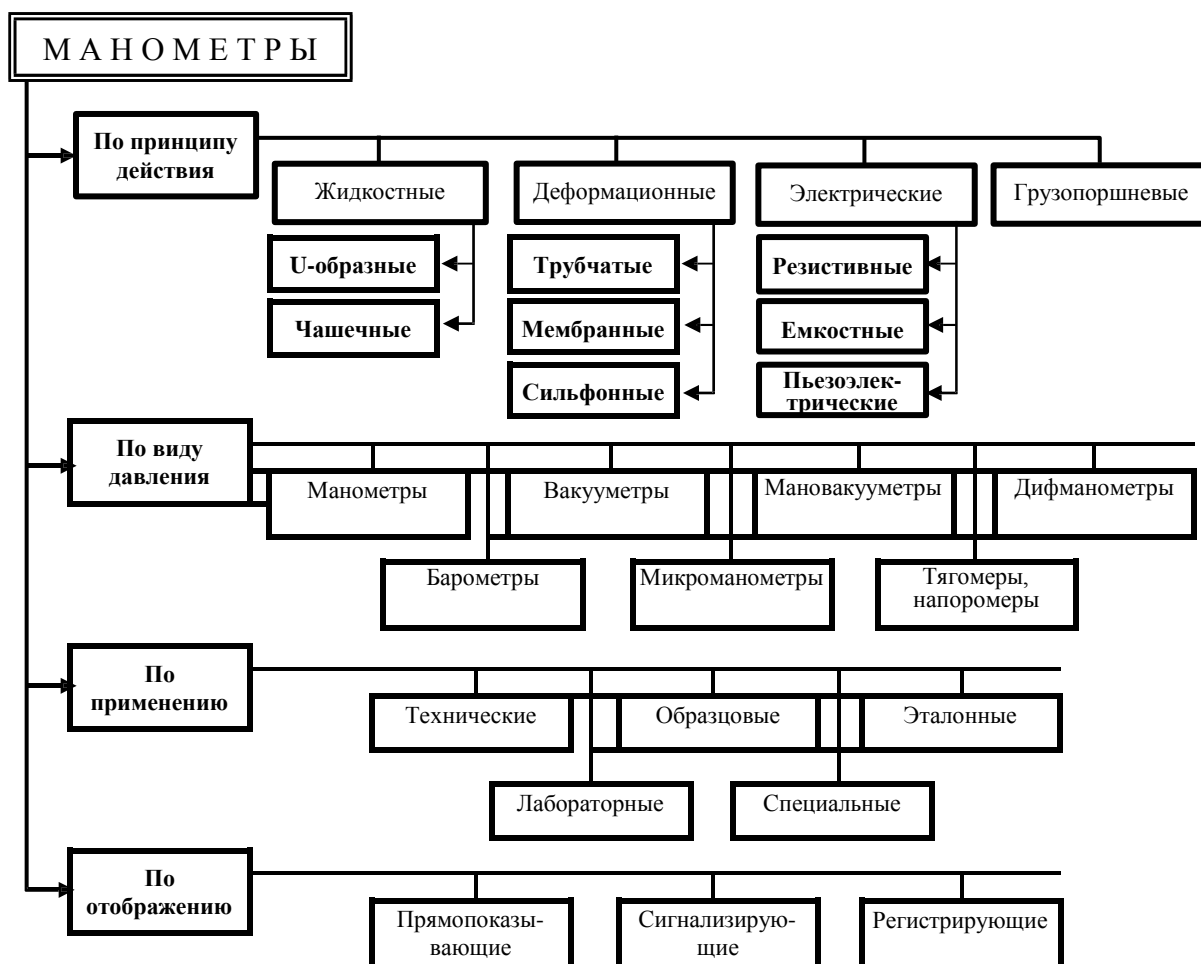


Рис. 2. Классификация манометров

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);
- электрические (давление определяется на основании зависимости электрических параметров: сопротивления, емкости, заряда, частоты – чувствительного элемента (ЧЭ) от измеряемого давления).
- грузопоршневые;

По **виду измеряемого давления** манометры подразделяют на:

- манометры (приборы для измерения избыточного и абсолютного давления);
- вакуумметры (приборы для измерения разрежения);
- мановакуумметры (приборы для измерения давления и разрежения);
- барометры (приборы для измерения атмосферного давления);
- дифференциальные манометры (дифманометры) (приборы для измерения разностного давления);
- напоромеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) избыточных давлений газовых сред);
- тягомеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) разрежений газовых сред);
- тягонапоромеры (приборы для измерения небольших (до 20-40 кПа) избыточных давлений и разрежений газовых сред);
- микроманометры (дифманометры с малым перепадом давления).

Технические характеристики всех этих средств измерения давления определяются соответствующими общими техническими условиями.

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);
- образцовые (для поверки рабочих манометров);
- эталонные (хранители единиц давления с целью передачи их образцовым приборам);
- специальные (применяются в экстремальных условиях: на железнодорожном транспорте, судах, котельных установках, при работе с кислотными и другими агрессивными средами).

По **типу отображения значений** измеряемого давления манометры подразделяют на:

- прямопоказывающие (с визуальным считыванием данных непосредственно по аналоговой (стрелочной) или цифровой шкале прибора);
- сигнализирующие (электроконтактные) (с выдачей управляющего электрического сигнала путем замыкания или размыкания контактов при достижении измеряемым давлением заранее установленного контрольного значения);
- 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.

Классифицируются эти приборы по принципу действия, виду измеряемого давления и типу выходного сигнала (рис.3). ИПД различаются, кроме того, по используемым единицам измерения и ряду основных технических параметров.

По **принципу действия** или **способу преобразования измеряемого давления в выходной сигнал** ИПД подразделяются, прежде всего, на:

- деформационные (деформационные перемещения упругого чувствительного элемента (мембраны, сильфона, трубки Бурдона) трансформируются с помощью дополнительных промежуточных механизмов и преобразователей в электрический или электромагнитный сигнал);

- электрические (измеряемое давление, оказывая воздействия на чувствительный элемент, изменяет его собственные электрические параметры: сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления).

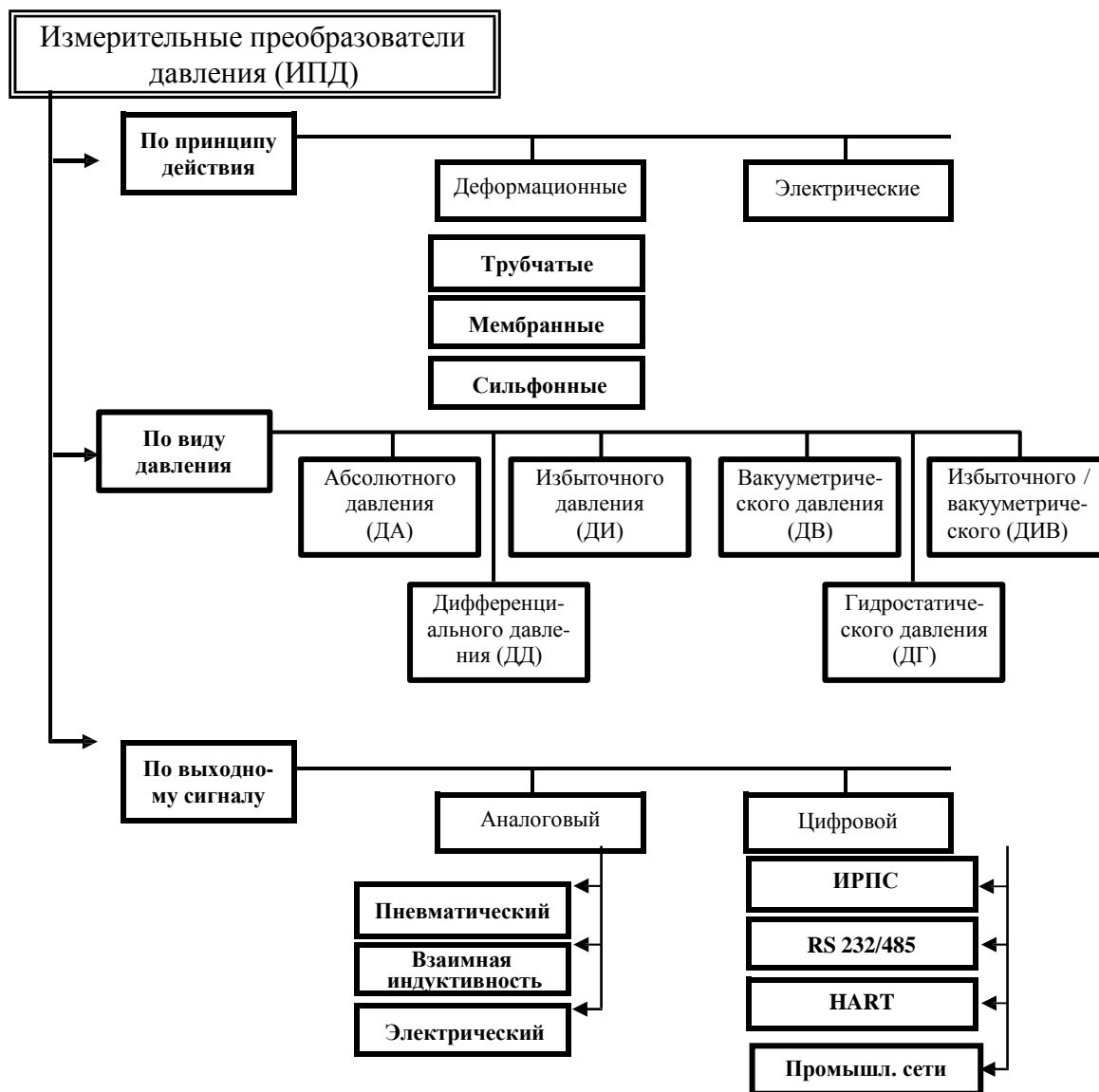


Рис.3. Классификация измерительных преобразователей давления

По *виду измеряемого давления* ИПД подразделяются на:

- преобразователи абсолютного давления (ДА);
- преобразователи избыточного давления (ДИ);
- преобразователи вакууметрического давления (ДВ);
- преобразователи избыточного/вакууметрического давления (ДИВ);
- преобразователи дифференциального давления (ДД);
- преобразователи гидростатического давления (ДГ).

По *выходному сигналу* ИПД подразделяются на:

- аналоговые (измеряемое давление преобразуется в аналоговый унифицированный пневматический или электрический сигнал);
- 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.

1.4 Жидкостные манометры

Жидкостные манометры отличаются простотой конструкции и сравнительно высокой точностью измерения. Их широко применяют как в качестве переносных (лабораторных), так и технических приборов для измерения давления.

Переносной **U-образный манометр**, представляющий собой согнутую в виде буквы U стеклянную трубку 1 показан на рис.4.

Трубка закреплена на доске 2 со шкалой 3, расположенной между коленами трубки, и заполнена жидкостью (спиртом, водой, ртутью). Один конец трубки соединен с полостью, в которой измеряется давление, другой конец трубки сообщается с атмосферой. Под действием измеряемого давления жидкость в трубке перемещается из одного колена в другое до тех пор, пока измеряемое давление не уравновесится гидростатическим давлением столба жидкости в открытом колене.

Система находится в равновесии, если гидростатическое давление столба жидкости в открытом колене уравновешивается давлением в другом колене. Если давление в пространстве, с которым соединен прибор, ниже атмосферного, то жидкость в трубках переместится в обратном направлении и высота ее столба будет соответствовать разрежению (вакууму).

Присоединив оба свободных конца трубки прибора к двум полостям с разными давлениями, можно по разности уровней жидкости в приборе определить разность давлений.

Прибор наполнен жидкостью до нулевой отметки шкалы. Для определения высоты столба жидкости необходимо делать два отсчета (снижения в одном колене, подъема в другом) и суммировать замеренные величины, т.е. $H = h_1 + h_2$.

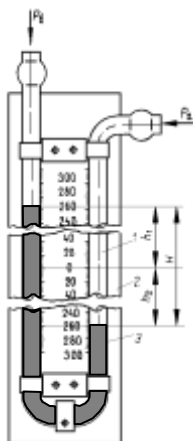


Рис.4. U-образный манометр

Чашечный манометр, являющийся разновидностью U-образного, показан на рис.5. Одно из колен чашечного манометра выполнено в виде сосуда (чашки) 1, диаметр которого больше диаметра трубки 2, представляющей собой другое колено. Полость с измеряемым давлением (больше атмосферного) соединяется с чашкой, а трубка соединяется с атмосферой. Так как площадь сечения чашки больше площади сечения трубки, жидкость под действием давления в чашке опускается на высоту h_1 , которая меньше высоты подъема в трубке h_2 . Обычно площадь сечения чашки значительно больше сечения трубки, поэтому величиной понижения уровня жидкости в чашке пренебрегают, и результат отсчитывают только по высоте столба жидкости в трубке от начального значения. Однако, при этом возникает погрешность, вызванная понижением уровня жидкости в чашке, что изменяет положение нуля шкалы.

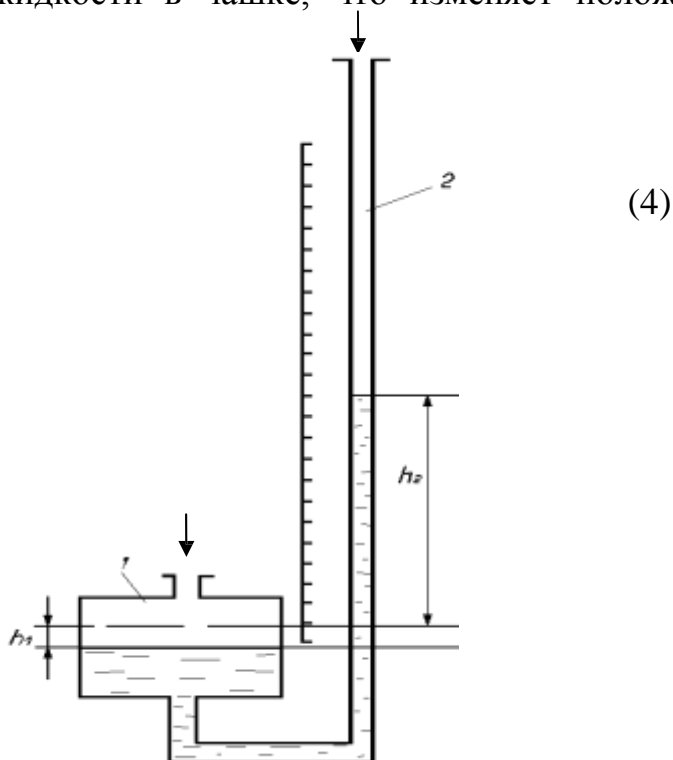


Рис.5 Чашечный манометр

1.5 Деформационные датчики давления

В промышленной практике для измерения давления и разности давлений широкое применение получили деформационные приборы. В этих приборах давление определяется по деформации упругих чувствительных элементов или по развиваемой ими силе, которые преобразуются передаточными механизмами в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора.

По виду упругого чувствительного элемента пружинные приборы делятся на следующие группы:

- приборы с трубчатой пружиной;
- мембранные приборы;
- сильфонные приборы.

Манометры с трубчатой пружиной - один из наиболее распространенных видов деформационных приборов. Чувствительным элементом таких приборов является согнутая по дуге окружности и запаянная с одного конца трубка 1 (трубка Бурдона) эллиптического, плоскоовального сечения или круглого сечения (рис. 6). Третий вид трубок выполняют из легированной стали и используют для измерения высоких давлений (свыше 98 МПа).

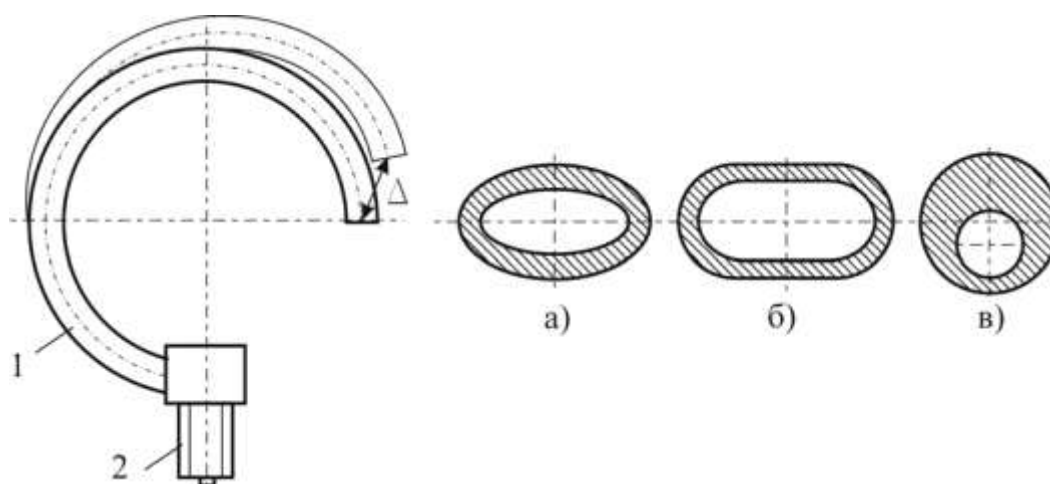


Рис. 6. Трубчатая пружина Бурдона:

а – эллиптического сечения; б – плоскоовального сечения; в – круглого сечения
1 – трубка; 2 – держатель

Одним концом трубка заделана в держатель 2, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к полости, в которой измеряется давление. Внутри держателя есть канал, соединяющийся с внутренней полостью трубки. Если в трубку подать жидкость, газ или пар под избыточным давлением, то кривизна трубки уменьшается и она распрямляется; при создании разрежения внутри трубки кривизна ее возрастает, и трубка скручивается. Свойство изогнутой трубки некруглого сечения изменять величину изгиба при изменении давления обусловлено изменением формы сечения. Под действием давления внутри трубки эллиптическое или овальное сечение, деформируясь, приближается к круговому, что приводит к раскручиванию трубки, т.е. угловому перемещению ее свободного конца на небольшую величину Δ .

В трубках круглого сечения, благодаря эксцентричному каналу, избыточное давление, действуя на заглушку свободного конца трубки, создает момент, вызывающий уменьшение ее кривизны. Это перемещение в определенных пределах пропорционально измеряемому давлению.

Верхние пределы измерения манометра выбирают из ряда: (1; 1,6; 2,5; 4 и 6) $\cdot 10^n$, где n - целое положительное или отрицательное число.

Перемещение Δ свободного конца трубки под действием давления весьма невелико, поэтому в конструкцию прибора введен передаточный механизм, увеличивающий масштаб перемещения конца трубки. Конструкция манометра с трибно-секторным передаточным механизмом показана на рис. 7.

Манометры с трубчатой пружиной изготовляют на давление до 1000 Мпа.

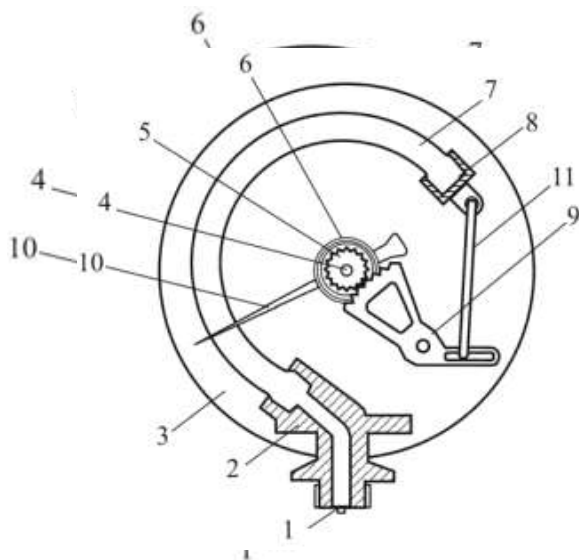


Рис. 7. Манометр с трубчатой пружиной:

1 – ниппель; 2 – держатель; 3 – корпус; 4 – ось; 5 – шестерня; 6 – пружина; 7 – трубчатая пружина; 8 – запаянный конец; 9 – зубчатый сектор; 10 – стрелка; 11 – тяга.

Мембранные приборы. Приборы с чувствительным элементом в виде плоских и гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков применяют для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифманометры).

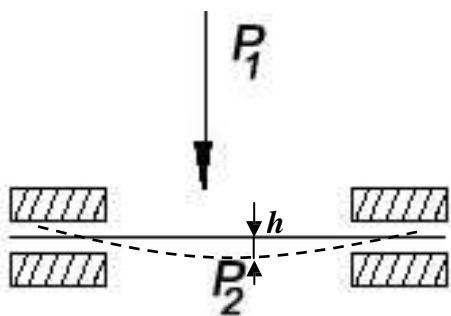


Рис. 8. Мембрана и ее прогиб

Мембрана представляет собой тонкий диск определенного диаметра, выполненный из металла или специального упругого материала, который жестко закрепляется по периметру в измерительном блоке (рис. 8). Под воздействием измеряемого давления P_1 (при условии $P_1 > P_2$, где P_2 – внешнее давление) происходит прогиб мембраны на величину h , что в дальнейшем приводит к преобразованию этого перемещения во вращательное движение стрелки прибора.

Мембраны делят на упругие и «вялые». Упругие мембраны выполняют из тонких металлических пластин (сталь, бронза, латунь). Они обладают достаточно большой собственной жесткостью, их статические характеристики, представляющие зависимость перемещения h центра мембраны или развиваемой силы от давлений P_1 и P_2 или перепада $\Delta P = P_1 - P_2$, обычно нелинейны. Применяют плоские и гофрированные упругие мембраны (рис.9, а,б). Наличие гофров делает статическую характеристику мембраны более линейной.

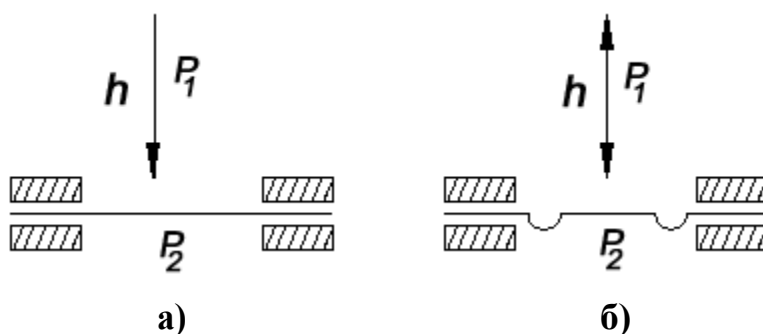


Рис. 9. Упругие мембраны:
а – плоская; б – гофрированная

Упругие мембраны используют, преимущественно, как чувствительные элементы в первичных преобразователях, например, в дифманометрах.

«Вялые» мембраны выполняют из прорезиненной тонкой ткани (капрон, шелк, полотно). К ним предъявляют два требования - отсутствие собственной жесткости и большая прочность. Эти требования вытекают из основного назначения «вялых» мембран – преобразовывать большие перепады давлений в силу при крайне малых перемещениях (порядка сотых долей мм). «Вялые» мембраны обычно снабжены металлическим жестким центром. Они также могут быть плоскими и гофрированными.

Величина прогиба мембраны является сложной функцией действующего на нее давления, ее геометрических параметров (диаметра, толщины, числа и формы гофров), а также модуля упругости материала мембраны. Число, форма и размеры гофра зависят от назначения прибора, пределов измерения и других факторов. Гофрировка мембраны увеличивает ее жесткость, т.е. уменьшает прогиб при одинаковом давлении. Из-за сложности расчета в большинстве случаев характеристику мембраны подбирают опытным путем.

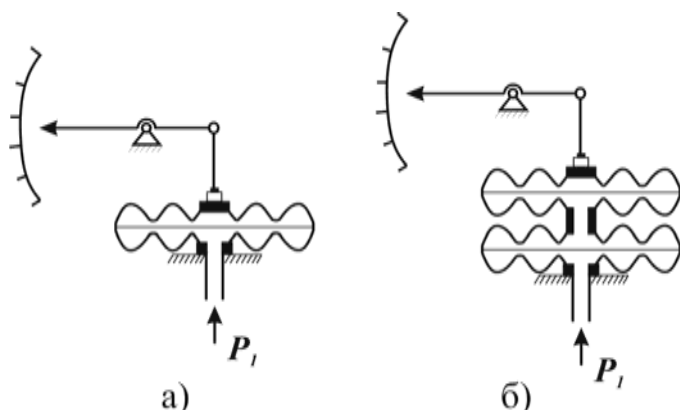


Рис. 10. Мембранные чувствительные элементы:

а – мембранная коробка; б – мембранный блок

Для увеличения прогиба в приборах для малых давлений (разрежений) мембраны попарно соединяют (сваркой или пайкой) в мембранные коробки (рис. 10,а), а коробки – в мембранные блоки (рис. 10,б).

Сильфонные приборы. Сильфон – это тонкостенная металлическая камера с гофрированной боковой поверхностью (рис. 11). Изготавливают сильфоны из латуни, а также из нержавеющей стали или бериллиевой бронзы. Они применяются в качестве чувствительных элементов приборов давления, которые своевременно и точно реагируют на изменение давления.

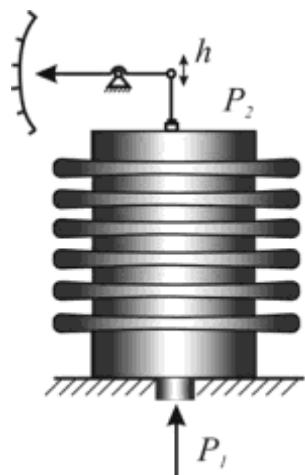


Рис. 11. Сильфон

При действии нагрузки (внешнего P_2 или внутреннего P_1 давления) длина сильфона изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от направления приложенной силы. Наличие гофров позволяет перемещать подвижную часть сильфона на значительное расстояние (десятки миллиметров) без заметного изменения его характеристик. Выходная координата сильфона - перемещение h , входные - давления P_1 и P_2 или их разность ΔP .

Существенными недостатками сильфонов являются значительный гистерезис и некоторая нелинейность характеристики. Для увеличения жесткости, уменьшения влияния гистерезиса и нелинейности часто внутрь сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину. В этом случае характеристика сильфона изменяется, так как к жесткости сильфона добавляется жесткость пружины. Жесткость пружины обычно в несколько раз превышает жесткость сильфона, благодаря чему резко уменьшается влияние гистерезиса сильфона и некоторой нелинейности его характеристики. Расчетные формулы основных размеров сильфонов весьма сложны и не всегда подтверждаются опытом. Обычно диаметр сильфонов находится в пределах 20 - 80 мм.

1.6 Электрические датчики давления

В данных приборах измеряемое давление, оказывая воздействия на чувствительный элемент, изменяет его собственные электрические параметры: сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления. Подавляющее большинство современных общепромышленных ИПД реализовано на основе трех основных принципов:

1) **емкостные** – используют упругий чувствительный элемент в виде конденсатора с переменным зазором: смещение или прогиб под действием прилагаемого давления подвижного электрода-мембраны относительно неподвижного изменяет его ёмкость;

2) **пьезоэлектрические** – основаны на зависимости поляризованного заряда или резонансной частоты пьезокристаллов: кварца, турмалина и других от прилагаемого к ним давления;

3) **тензорезисторные** – используют зависимость активного сопротивления проводника или полупроводника от степени его деформации.

В последние годы получили развитие и другие принципы работы ИПД: волоконно-оптические, индукционные, гальваномагнитные, объемного сжатия, акустические, диффузионные и т.д.

На сегодняшний день самыми популярными в России являются тензорезисторные ИПД.

1.6.1 Емкостные преобразователи давления

Принцип действия емкостных преобразователей основан на изменении емкости переменного конденсатора C под воздействием преобразуемой неэлектрической величины (например, давления). Емкость конденсатора зависит от таких параметров как расстояние между пластинами (обкладками) δ , площадь пластин S , диэлектрическая постоянная между пластинами E .

Наибольшее применение в системах автоматики получили плоскопараллельные и цилиндрические преобразователи. На рис. 12 схематически изображено устройство плоскопараллельных емкостных преобразователей, основанных на трех принципах: изменении величины зазора δ между пластинами (обкладками) конденсатора, причем одной из пластин может быть поверхность объекта (детали), не входящего в состав преобразователя (рис. 12, а); изменении площади S перекрытия пластин в результате их относительного смещения (рис. 12, б); изменении диэлектрической проницаемости материала E (рис. 12, в).

Характеристика управления емкостного плоскопараллельного преобразователя с изменяющимся воздушным зазором определяется выражением:

$$C = \frac{E \times S}{\delta} \tag{5}$$

где C - емкость конденсатора, Ф; δ - расстояние между обкладками, м; E - абсолютная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками, Ф/м; S — площадь обкладок, м².

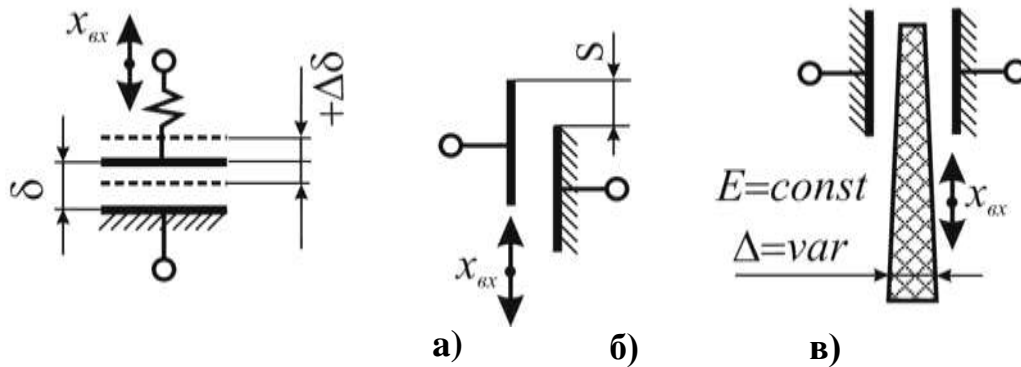


Рис.12. Емкостные преобразователи:

а - с изменяющейся величиной зазора; б - с изменяющейся площадью;
в - с изменяющейся диэлектрической проницаемостью

В первом случае емкость изменяется по гиперболическому закону, во втором и третьем – линейно.

Основными достоинствами емкостных преобразователей являются: высокая чувствительность (до 500 В/мм); простота конструкции; малые размеры и масса; малая инерционность; высокая точность и стабильность характеристик.

К недостаткам следует отнести: большое внутреннее сопротивление; влияние на работу преобразователя паразитных емкостей (требуется экранировка); необходимость усиления снимаемого сигнала; потребность источника напряжения высокой частоты; сильное влияние изменения температуры, влажности и загрязненности окружающей среды; для достижения максимальной чувствительности монтаж следует производить короткими проводами, что не всегда удобно.

1.6.2 Пьезоэлектрические преобразователи давления

Действие пьезоэлектрических преобразователей основано на свойстве некоторых кристаллических веществ создавать электрические заряды под действием механической силы. Это явление, называемое пьезоэффектом, характерно для кристаллов кварца, турмалина, сегнетовой соли, титаната бария и некоторых других веществ. Особенностью пьезоэффекта является его безынерционность. Заряды возникают мгновенно в момент приложения силы.

Это обстоятельство делает пьезоэлектрические приборы незаменимыми при измерении и исследовании быстропротекающих процессов, связанных с изменением давления (индицирование быстроходных двигателей, изучение явлений кавитации, взрывных реакций и т.п.).

Для изготовления пьезоэлектрических датчиков наиболее широко применяют кварц, сочетающий хорошие пьезоэлектрические свойства с большой механической прочностью, высокими изоляционными свойствами и независимостью пьезоэлектрической характеристики в широких пределах от изменения температуры.

Пьезоэлектрическая постоянная кварца практически не зависит от температуры до 500°C . При температуре выше 500°C она быстро уменьшается и при температуре 570°C становится равной нулю, т. е. кварц теряет пьезоэлектрические свойства. Пьезоэлектрические приборы позволяют измерять давление до 100МПа .

1.6.3 Тензорезисторные преобразователи давления

В основе работы тензопреобразователей (тензорезисторов) лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при их механической деформации.

По способу закрепления на чувствительных элементах датчиков они делятся на наклеиваемые и ненаклеиваемые, по конструктивному выполнению – на проволочные, фольговые, полупроводниковые.

Проволочные тензопреобразователи (рис. 14) конструктивно представляют собой отрезок тонкой проволоки l (диаметром 0,02...0,05 мм), которая зигзагообразно наклеена на тонкую бумажную или пленочную основу (подложку) 2. Сверху проволока также закрыта тонкой бумагой или лаковой пленкой 3, или фетром. Для включения в измерительную схему к концам проволоки припаиваются медные выводы 4.

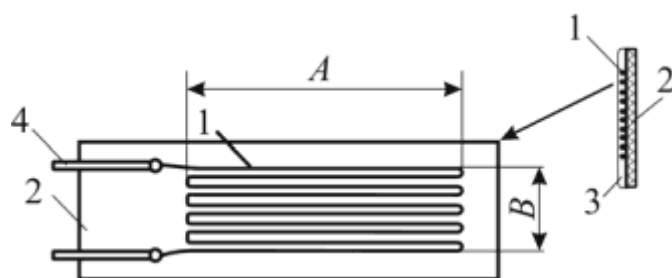


Рис. 14. Проволочный тензопреобразователь:
1 – проволока; 2 – подложка;
3 – защитная пленка; 4 – медные выводы

Измерительной базой преобразователя является длина петель решетки A , величина которой лежит в пределах 1,5...100 мм. Ширина решетки B равна 5...10 мм. Номинальное сопротивление 10...1000 Ом, номинальный ток – 30 мА.

Фольговые тензопреобразователи (рис. 15) представляют собой дальнейшее развитие проволочных. В них вместо решеток из проволоки применяют решетку из фольги толщиной 0,004...0,012 мм. Рисунок решетки выбирают таким, чтобы можно было снизить деформации, которая в фольговых тензопреобразователях практически сводится к нулю. На рис. 3.15,а представлена типовая форма фольгового тензопреобразователя, на рис. 3.15,б – короткобазовый преобразователь, на рис. 3.15,в – для наклейки на круглую мембрану.

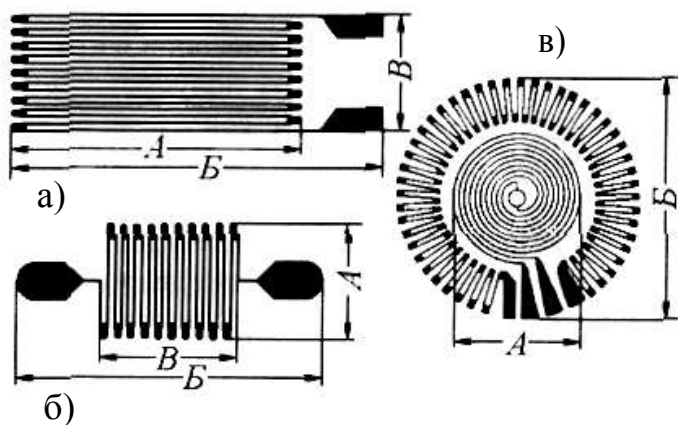


Рис. 15. Фольговые тензопреобразователи:
а – типовой; б – короткобазовый;
в – круговой

Фольговые тензопреобразователи могут пропускать больший ток, чем проволочные, благодаря большей площади поперечного сечения проводника при тех же размерах решетки и большей теплоотдаче, улучшающей теплообмен, вследствие большей площади прилегания к деформируемой детали (чувствительному элементу датчика). Благодаря этому можно увеличить значение номинального тока до 0,2 А. Сопротивление фольговых тензопреобразователей равно 30...250 Ом.

В качестве материала решеток проволочных и фольговых тензопреобразователей применяются как чистые металлы (серебро, платина, медь), так и сплавы (константан, нихром, манганин и др.).

Основными достоинствами проволочных и фольговых тензопреобразователей являются: практически полное отсутствие их влияния на деформацию детали; линейность характеристики; низкая стоимость.

Основным недостатком является относительно низкий температурный диапазон работоспособности: от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$.

Полупроводниковые тензопреобразователи отличаются от проволочных и фольговых большим (до 50%) изменением сопротивления при деформации и более высоким пределом чувствительности к температуре (в 10...20 раз).

Их преимущества заключаются в более высоком (в 60 раз) коэффициенте тензочувствительности, малых размерах (длина базы $A = 3...10$ мм), больших значениях выходного сигнала.

Наиболее сильно тензоэффект выражен в таких полупроводниковых материалах, как германий, кремний, антимонид индия, фосфид индия, арсенид галлия, антимонид галлия. Для тензопреобразователей чаще применяют германий и кремний в виде пластин толщиной 0,03...0,2 мм, шириной 0,5...1 мм и длиной (базой) 3...15 мм.

Существует несколько способов изготовления полупроводниковых тензопреобразователей: вырезание из полупроводникового монокристалла; выращивание монокристалла посредством конденсации паров; нанесение на некоторые виды подложек тонких пленок со свойствами монокристаллов; получение диффузионным способом. Особенно широкое применение в изготовлении общепромышленных тензорезисторных ИПД в силу своих высоких механических, изолирующих и теплоустойчивых качеств получила технология КНС — «кремний на сапфире». Упрощенная конструкция чувствительного элемента тензопреобразователя, основанного на данной технологии, представлена на рис. 16. Чувствительный элемент состоит из сапфировой подложки 3, на которую диффузионным способом нанесены тензорезисторы 4. Подложка припаяна твердым припоем 2 к титановой мембране 1.

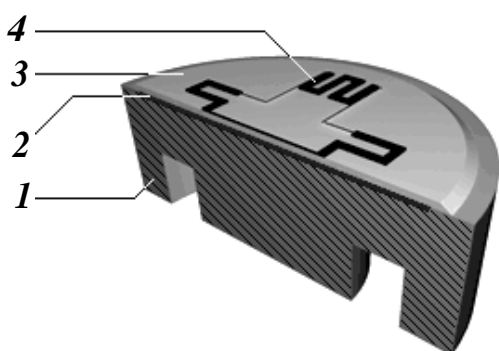


Рис. 16. Чувствительный элемент полупроводникового тензопреобразователя:

1 – титановая мембрана; 2 - серебростержащий припой; 3 – сапфировая подложка; 4 – тензорезисторы

Чувствительный элемент включается в общую измерительную цепь преобразователя давления, структурная схема которого представлена на рис. 17.

Деформация измерительной мембраны под воздействием внешнего давления P приводит к локальным деформациям тензорезисторного моста, состоящего из постоянных тензорезисторов R_2 , R_3 , R_4 и переменного R_1 . В результате происходит разбаланс моста, который преобразуется электронным блоком и в унифицированный выходной электрический сигнал.

К преимуществам данного типа чувствительных элементов можно отнести достаточно высокий температурный диапазон работоспособности (от -160 до $+1500^\circ\text{C}$), хорошую защищенность чувствительного элемента от воздействия любой агрессивной среды, налаженное серийное производство, низкую стоимость.

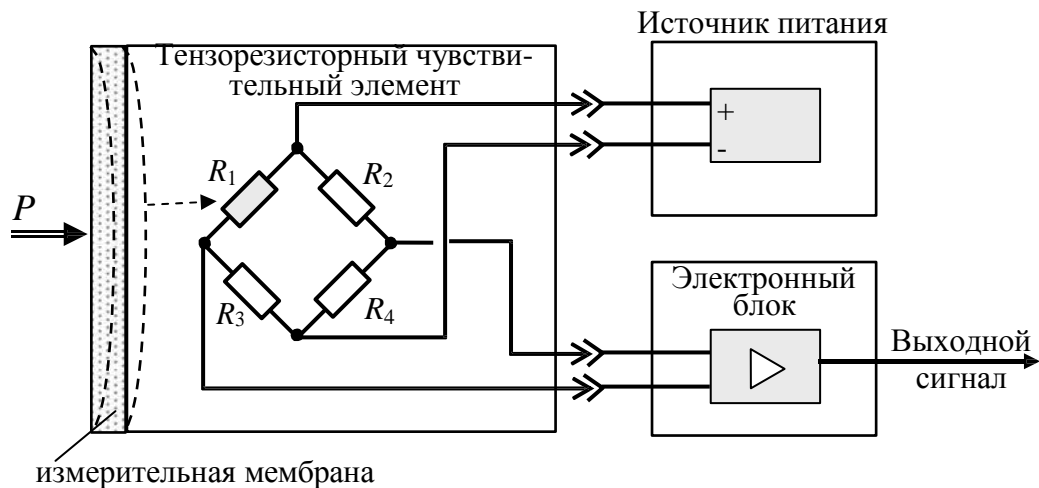


Рис. 17. Структурная схема тензорезисторного преобразователя давления

Основными недостатками полупроводниковых тензопреобразователей являются: малая гибкость, небольшая механическая прочность, нелинейность характеристики, нестабильность параметров.

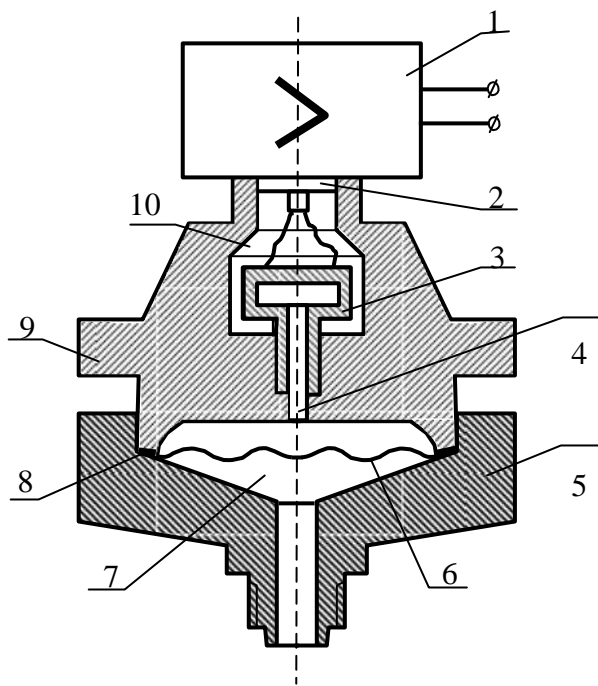


Рис. 18. Конструкция измерительного преобразователя давления:

- 1 – электронный блок; 2 – гермовывод;
- 3 – тензопреобразователь; 4 – канал; 5 – фланец; 6 – измерительная мембрана; 7 – измерительная камера; 8 – прокладка;
- 9 – основание; 10 – внутренняя полость.

Несмотря на данные недостатки, основная масса датчиков давления в нашей стране выпускаются на основе тензорезисторных чувствительных элементов. Конструкция одной из моделей такого датчика представлена на рис. 18.

Мембранный тензопреобразователь 3 размещен внутри основания 9. Внутренний канал 4 тензопреобразователя заполнен кремнийорганической жидкостью и отделен от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 6, приваренной по наружному контуру к основанию 9. Полость 10 сообщена с окружающей атмосферой. Измеряемое давление по-

дается в камеру 7 фланца 5, который уплотнен прокладкой 8. Измеряемое давление воздействует на мембрану 6 и через жидкость воздействует на мембрану тензопреобразователя, вызывая ее прогиб и изменение сопротивления тензорезисторов. Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронный блок 1 по проводам через гермовывод 2.

1.7. Грузопоршневой манометр

Принцип действия грузопоршневого манометра основан на уравновешивании сил, создаваемых, с одной стороны, измеряемым давлением, а с другой стороны - грузами, действующими на поршень, помещенный в цилиндр (рис 19).

Прибор состоит из колонки 7 с цилиндрическим шлифованным каналом и поршня 6, несущего на своем верхнем конце тарелку 4 для нагружения ее эталонными грузами 5. Поршень 1 винтового пресса служит для подъема и опускания поршня 6 так, чтобы при любых нагрузках поршень 6 был погружен в цилиндр примерно на 2/3 своей высоты.

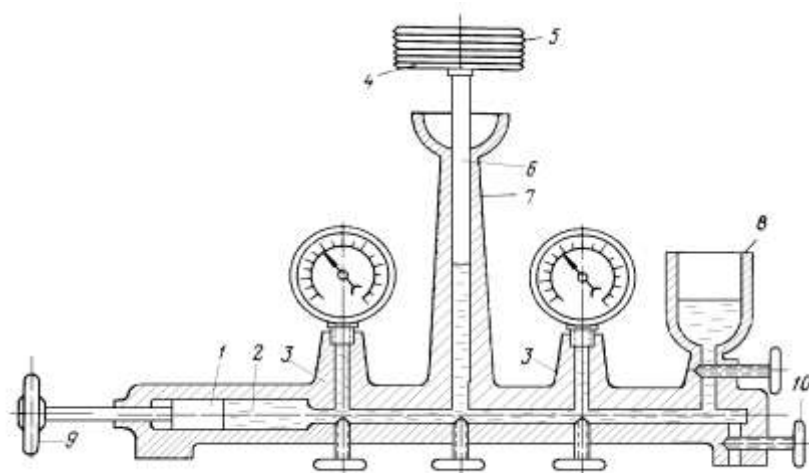


Рис.19. Грузопоршневой манометр:

1,6 – поршень; 2 – камера; 3 – штуцер; 4 – тарелка; 5 - грузы;
7 – колонка; 8 – воронка; 9 – маховик; 10 - вентиль

Камеру 2 поршневого манометра заполняют трансформаторным, вазелиновым или касторовым маслом через воронку 8. Давление в системе создают с помощью винта с маховиком 9 и поршня 1. Штуцеры 3 служат для установки поверяемого и образцового манометров. Вентиль 10 предназначен для слива масла. В процессе измерений для устранения вредных сил трения поршня 6 о стенки цилиндрического канала колонки 7 поршень 6 вручную приводят во вращение.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют единицы измерения давления?
2. Как классифицируются средства измерения давления?
3. Как классифицируются манометры?
4. Что такое измерительный преобразователь давления и какие преобразователи вы знаете?
5. Что произойдет, если U-образный манометр соединить с полостью, давление в которой ниже атмосферного?
6. От чего зависит погрешность чашечного манометра?
7. Что является чувствительным элементом в деформационных приборах?
8. Назовите недостатки мембранных и сильфонных чувствительных элементов приборов.
9. Сравните коэффициенты преобразования мембраны, мембранной коробки, мембранного блока.
10. Основным критерий выбора деформационных преобразователей давления для измерений?
11. Выйдет ли из строя мембранный блок дифманометра, если перепад давления на нем превысит верхний предел измерения?
12. Почему в мембранном разделителе нельзя применять жесткую мембрану?
13. Что такое коэффициент запаса деформационного чувствительного элемента?
14. Что такое жесткость сильфона?
15. Где должен быть расположен манометр по отношению к месту отбора, если измеряемая среда - жидкость?
16. Можно ли дифманометром измерить давление, разрежение?
17. Какие электрические датчики давления вы знаете?
18. На чем основан принцип действия пьезоэлектрических датчиков давления? Емкостных датчиков давления?
19. Что лежит в основе работы тензорезисторных преобразователей?
20. Какие существуют тензорезисторные преобразователи?
21. Принцип действия грузопоршневого манометра?
22. Область применения грузопоршневых манометров?

Тест

1. Приборы, измеряющие давление выше атмосферного называют:
А) Вакуумметрами
Б) Напоромерами
В) Манометрами

2. Чувствительный элемент деформационного манометра
А) Трубка Бурдона
Б) Мембрана
В) Плунжер

3. Манометр с трубкой Бурдона используют
А) Для агрессивных жидкостей
Б) Для вязких жидкостей
В) Для воды

4. Чем заполняют корпуса манометров, установленных в системах с высокой вибрацией?
А) Спирт
Б) Глицерин
В) Вода

5. Для локального контроля давления используют
А) Датчики давления
Б) Реле давления
В) Манометры

6. Для управления и контроля порогового значения давления используют
А) Реле давления
Б) Датчики давления
В) Манометры

7. Датчики давления оснащены
А) Диафрагмой
Б) Интегральным преобразователем
В) Микропроцессором
Г) Сильфоном

8. В какой цвет окрашивают корпус манометра при измерении давления водорода?
А) Голубой
Б) Темно-зеленый
В) Белый

9. Для защиты приборов давления от высокой температуры используют:

- А) Вентилятор
- Б) Устройство с фреоном
- В) Сифонную трубку

10. При сильной пульсации давления для сглаживания колебаний стрелки перед прибором устанавливают:

- А) Трубку с малым сечением
- Б) Фильтр
- В) Дроссель

Список литературы

1. Баранов И. Н. Создание полупроводниковых датчиков давлений на основе структуры "кремний на диэлектрике" // Автоматизация и управление в технических системах, 2005. - Вып. 24.
2. Бармин А.В. Радарные системы контроля уровня. //Современные технологии автоматизации. №4, 2002.
3. Белевцев А. и др. Термоэлектрические преобразователи температуры. Теория, практика, развитие. //Современные технологии автоматизации. №2, 2004.
4. Гордов А.Н., Жагулло О.М., Иванова А.Г. Основы температурных измерений. - М., Энергоатомиздат, 1992.
5. Государственный стандарт РФ ГОСТ 8.585-2001. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. – Москва: Госстандарт России, 2001.
6. Гуртовцев А. Измерение давления в автоматизированных системах. //Современные технологии автоматизации. №4, 2001.
7. Жданкин В.К. Сигнализаторы изменения уровня. //Современные технологии автоматизации. №2, 2002.
8. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: Учебник.- 4-е изд., стер.- М.: Альянс, (гриф МО), 2008.
9. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования – М.: Стандартинформ, 2007.
10. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.2-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.
11. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.3-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.
12. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.586.4-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования– М.: Стандартинформ, 2007.

13. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для вузов – М.: Издательский центр «Академия», 2003.
14. Тематический каталог ПГ «Метран», 2007.
15. Тематический каталог фирмы «Krohne», 2006.
16. Технические измерения и приборы. Часть 1. Измерение теплоэнергетических параметров: Учебное пособие для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств»/ Н.В. Чистофорова, А.Г.Колмогоров. – Ангарск, АГТА, 2008. – 200 с.
17. Яковлев В. Структура измерительной системы на базе пассивных датчиков. // Современные технологии автоматизации. №1, 2002.

