

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения**

высшего профессионального образования

**«Казанский национальный исследовательский технологический
университет»**

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ**

Методические указания к лабораторным работам

Нижекамск

2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Метрологическое обеспечение.....
2. Приборы для измерения давления
- 2.1. Пружинные манометры
- 2.2. Электрические манометры
- 2.2.1. Устройство преобразователя «Сапфир».....
- 2.2.2. Принцип работы преобразователя «Сапфир»
3. Описание установки и методика проведения работы
- 3.1. Схема лабораторного стенда
- 3.1.1. Описание работы стенда
- 3.1.2. Пружинный манометр
- 3.1.3. ЭКМ-1У
- 3.2. Порядок выполнения работы
- 3.3. Обработка результатов поверки
4. Контрольные вопросы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Тема: «Проверка пружинных датчиков давления МТП-160 и ЭКМ-1У.

Цель работы: Ознакомиться с устройством, принципом действия и методикой проверки пружинных манометров.

1. МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.

Метрология – наука об измерениях, методах, средствах достижения их единства и способах достижения требуемой точности. Под единством измерений понимается выражение величин в узаконенных единицах, что позволяет сравнивать данные, полученные в разных местах разными средствами измерения и в разное время.

Измерение – нахождение количественной характеристики опытным путем при помощи специальных технических средств.

Погрешность измерения – основная метрологическая характеристика измерительных преобразователей. Погрешность измерения характеризует близость измеренного значения истинному значению величины.

По форме представления различают абсолютную, относительную и приведенную относительную погрешности.

Абсолютная погрешность определяет точность измерения физической величины X и является оценкой абсолютной ошибки измерения:

$$\Delta X = X_0 - X,$$

где ΔX – абсолютная погрешность, X_0 – точное значение величины, X – измеренное значение величины.

Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности к тому значению, которое принимается за истинное:

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X}.$$

Относительная погрешность определяет качество измерения физической величины.

На практике используют *приведенную относительную погрешность*:

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X_n},$$

где X_n - максимальное значение диапазона измеряемой величины X .

В соответствии с ГОСТ 8.401-80 X_n принимается равным:

- большему из пределов измерений или большему из модулей пределов измерений для средств измерений (СИ) с равномерной или степенной шкалой, если нулевая отметка находится на краю или вне диапазона измерений;

- арифметической сумме модулей пределов измерений, если нулевая отметка находится внутри диапазона измерений;

- установленному номинальному значению для СИ с установленным номинальным значением измеряемой величины;

- всей длине шкалы для приборов с существенно неравномерной шкалой, при этом абсолютные погрешности также выражают в единицах длины;

- во всех остальных случаях нормирующее значение устанавливается стандартами для соответствующих видов СИ.

Приведенная погрешность - безразмерная величина (может измеряться в процентах).

Зависимость выходного сигнала измерительного преобразователя от его входного сигнала в установившемся состоянии называется *статической характеристикой* (рис. 1):

$y = f(x)$, где y – выходной сигнал, x – входной сигнал, f – известная функция.

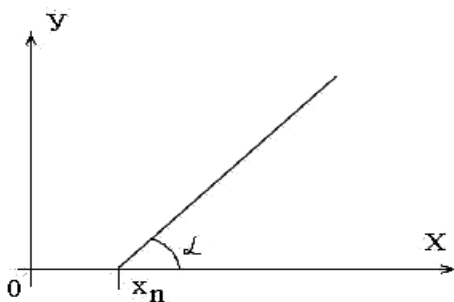


Рис. 1. Статическая характеристика измерительного преобразователя

Здесь x_n – порог чувствительности, характеризующий степень запаздывания изменения выходного сигнала от входного, $k \cdot \operatorname{tg} \alpha$ – чувствительность измерительного преобразователя.

Точность СИ – качество, отражающее близость к нулю его погрешности. Возникновение погрешности СИ объясняется рядом причин, в том числе приближенным расчетом характеристик, отличием параметров элементов и узлов прибора от требуемых расчетных значений, старением элементов и узлов, паразитными параметрами элементов, внутренними шумами, изменением влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала и др. Погрешности СИ оцениваются при его поверке.

Поверка средства измерений – совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям. Положительные результаты поверки средств измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Вариация показаний – наибольшая разность показаний прибора, полученная при прямом и обратном ходе измерений, для одного и того же действительного значения измеряемой величины:

$$B = x_{np} - x_{обр}.$$

Класс точности средства измерений – обобщенная характеристика прибора, характеризующая допустимые по стандарту величины основных и дополнительных погрешностей, влияющих на точность измерения.

Для стрелочных приборов принято указывать класс точности, записываемый в виде числа, например, 0,05 или 4,0. Это число дает максимально возможную погрешность прибора, выраженную в процентах от наибольшего значения величины, измеряемой в данном диапазоне работы прибора. Так, для вольтметра, работающего в диапазоне измерений 0 – 30 В, класс точности 1,0 определяет, что указанная погрешность при положении стрелки в любом месте шкалы не превышает 0,3 В. Соответственно, среднее квадратичное отклонение S прибора составляет 0,1 В.

Обычно цена наименьшего деления шкалы стрелочного прибора согласована с погрешностью самого прибора. Если класс точности используемого прибора неизвестен, за погрешность S прибора всегда принимают половину цены его наименьшего деления.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Давление является одним из важнейших параметров химико-технологических процессов. От величины давления часто зависит правильность процесса производства.

Давление определяется отношением силы, равномерно распределенной по площади и нормальной к ней, к величине этой площади:

$$P = \frac{F}{S} .$$

Различают абсолютное и избыточное давления.

Под **абсолютным давлением** ($P_{\text{абс}}$) аппарата понимают давление жидкости или газа на его стенки.

Разность между абсолютным ($P_{\text{абс}}$) и атмосферным ($P_{\text{атм}}$) давлениями, т.е. давлением окружающей среды, называется **избыточным давлением** $P_{\text{изб}}$ ($P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}$), причем под *абсолютным нулем* понимают давление в сосуде, из которого полностью выкачан воздух.

Основными единицами для измерения давления являются:

- ньютон на квадратный метр (Н/м^2) или паскаль (Па);
- техническая атмосфера (ат. или кгс/см^2);
- миллиметр водяного столба (мм вод.ст.);
- миллиметр ртутного столба (мм рт.ст.);
- физическая атмосфера (атм).

Соотношение между различными единицами давления приведены в табл. 1, где по вертикали даны наименования исходных единиц измерения, а по горизонтали – результаты, полученные после перевода их в другие единицы измерения.

Приборы, служащие для измерения давления, называются **манометрами**.

В зависимости от измеряемой величины приборы для измерения давления делят на:

- *манометры* – для измерения средних и больших избыточных давлений,
- *вакуумметры* – приборы для измерения средних и больших разрежений,
- *мановакуумметры* – для измерения средних и больших избыточных давлений и разрежений,
- *напоромеры* – для измерения малых (до 500 мм вод.ст.) избыточных давлений,
- *тягомеры* – для измерения малых (до нескольких мм вод.ст.) разрежений,
- *тягонапоромеры* – для измерения малых избыточных давлений и разрежений,
- *дифманометры* – для измерения разности (перепада) давлений,
- *барометры* – для измерения атмосферного давления.

Таблица 1 Единицы измерения давления

	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техническая атмосфера (at, ат)	Физическая атмосфера (atm, атм)	Миллиметр ртутного столба (mmHg, мм рт. ст.)	Миллиметр водного столба (mmH ₂ O, мм вод. ст.)
1 Па	1 Н/м ²	10 ⁻⁵	10,197·10 ⁻⁶	9,8692·10 ⁻⁶	7,5006·10 ⁻³	0,10197
1 бар	10 ⁵	1 бар	1,0197	0,98692	750,06	1,0197·10 ⁴
1 ат	98066,5	0,980665	1 кгс/см ²	0,96784	735,56	10 ⁴
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760	1,0333·10 ⁴
1 mmHg	133,322	1,3332·10 ⁻³	1,3595·10 ⁻³	1,3158·10 ⁻³	1 mmHg	13,595
1mmH₂O	9,8066	9,8066·10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	9,678·10 ⁻⁵	7,356·10 ⁻²	1 mmH ₂ O

По принципу действия различают следующие приборы для измерения давления: жидкостные, пружинные, поршневые, электрические и радиоактивные.

Жидкостные приборы. В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается гидростатическим давлением столба рабочей жидкости, в качестве которой применяется спирт и др. Существует несколько конструктивно отличающихся друг от друга видов жидкостных приборов: двухтрубный U-образный манометр, однотрубный чашечный манометр или манометр с наклонной трубкой. Он используется для измерения давления до 2-3 кгс/см² при проверочных, наладочных и научно-исследовательских работах.

Пружинные приборы. В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается силами упругого противодействия различных чувствительных элементов (трубчатые пружины, мембраны, сильфоны и т.п.), деформация которых, пропорциональная измеряемому параметру, передается посредством системы рычагов на стрелку или перо прибора. При снятии давления чувствительный элемент вследствие упругой деформации возвращается в свое первоначальное положение. Благодаря простоте и надежности конструкции, наглядности показаний и широким пределам измерения пружинные приборы нашли широкое применение для измерения и регистрации давления и разрежения.

Поршневые манометры. В этих приборах измеряемое давление определяется по величине нагрузки, действующей на поршень определенной площади, перемещаемой в заполненном маслом цилиндре. Поршневые манометры имеют высокий класс точности, равный 0,02; 0,05; 0,2, в поэтому они обычно применяются для проверки других видов манометров.

Электрические приборы. Действие этих приборов основано на измерении электрических свойств (сопротивления, емкости, индуктивности и т.п.) некоторых металлов при воздействии на них внешнего давления.

Пьезоэлектрические приборы. В этих приборах используется пьезоэлектрический эффект, заключающийся в возникновении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварц, сегнетова соль, турмалин) при приложении к ним силы в определенном направлении.

Радиоактивные приборы. В этих приборах измеряемое давление определяется измерением степени ионизации, производимой излучениями и рекомбинацией ионов.

Три последние группы приборов применяются для измерения давления при измерении быстроменяющихся давлений и очень высоких давлений (десятки тысяч атмосфер).

В настоящее время на предприятиях химической промышленности наибольшее распространение получили пружинные и электрические приборы для измерения давления, разрежения, абсолютного давления и перепада давления.

2.1. ПРУЖИННЫЕ МАНОМЕТРЫ (ДЕФОРМАЦИОННЫЕ)

По виду чувствительного элемента деформационные приборы делятся на следующие группы: приборы с трубчатой пружиной (рис. 2, а, б); мембранные приборы, у которых упругим элементом служит мембрана (рис. 2, е), анероидная или манометрическая коробка (рис. 2, г, д), блок анероидных или манометрических коробок (рис. 2, е, ж); пружинно-мембранные с гибкой мембраной (рис. 2, з); приборы с упругой мембраной (сильфоном) (рис. 2, и); пружинно-сильфонные (рис. 2, к).

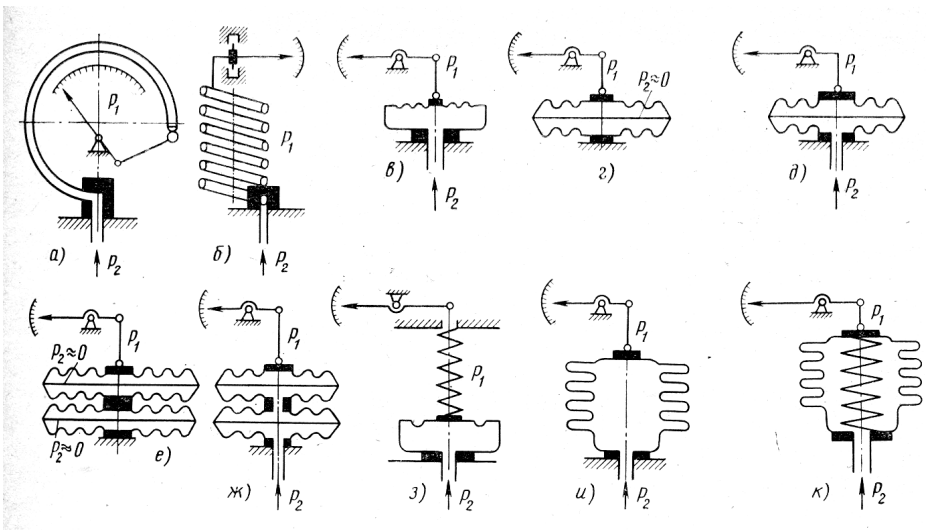


Рис. 2. Пружинные приборы

В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается силами упругого противодействия различных чувствительных элементов (трубчатой пружины, мембраны, сильфона и т.п.), деформация которых, пропорциональная измеряемому параметру, передается посредством системы рычагов на стрелку или перо прибора. При снятии давления чувствительный элемент вследствие упругой деформации возвращается в свое первоначальное положение. Благодаря простоте и надежности конструкции, наглядности показаний и широким пределам измерения пружинные приборы нашли широкое применение для измерения и регистрации давления и разрежения.

2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАНОМЕТРЫ

Действие приборов этой группы основано на прямом или косвенном преобразовании давления в электрический параметр, функционально связанный с давлением.

К данному классу относятся индуктивные, емкостные (изменение емкости), тензорезисторные (изменение сопротивления), пьезоэлектрические (изменение ЭДС) манометры.

Примером электрических российских манометров служат преобразователи серии «Сапфир» и заменяющей их серии «Метран». Работа этих преобразователей основана на тензорезисторном эффекте, то есть изменения электросопротивления чувствительного элемента при изменении давления.

3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

На лабораторном стенде «Поверка и калибровка датчиков давления в лабораторных условиях», можно осуществлять поверку и калибровку датчиков давления.

Лабораторный стенд представляет собой совокупность приборов для местного измерения давления. Он состоит из компрессора, создающего давление в сети, и показывающих пружинных манометров.

В результате лабораторной работы предстоит сделать вывод о пригодности поверяемых приборов к дальнейшей эксплуатации. Пригодность устанавливается методом сравнения текущих метрологических характеристик с номинальными, то есть произвести их поверку.

В рамках данной лабораторной работы проводится поверка пружинных датчиков давления МТП-160 и ЭКМ – 1У.

3.1.СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

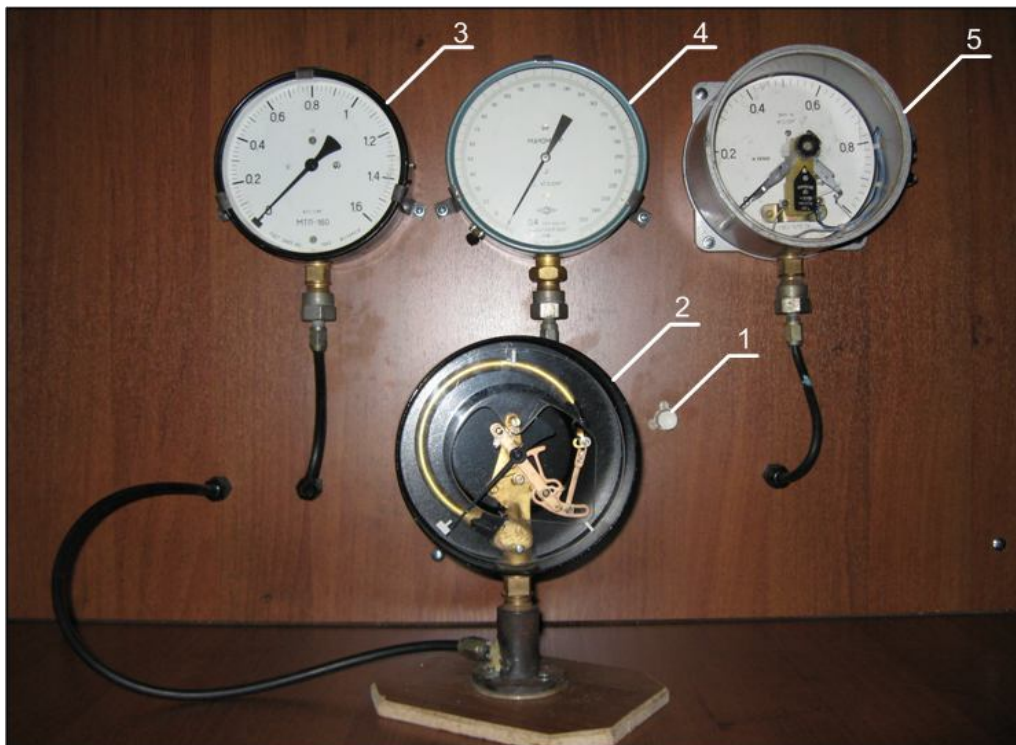


Рис.3. Внешний вид лабораторного стенда измерения давления.

Схема лабораторного стенда представлена на рис. 3.

Стенд состоит из редуктора, задающего величину давления(1), манометра, показывающего работу пружинного измерительного механизма (2), поверяемого пружинного манометра МТП-160 (3), образцового манометра (4), и поверяемого электроконтактного манометра ЭКМ – 1У (5).

Поверка средств измерений – установление пригодности средства измерений к применению на основании

экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия установленным требованиям.

Средство измерения признается пригодным к дальнейшей эксплуатации в том случае если максимальные реальные погрешность и вариация поверяемого прибора не превышают допустимых значений, обусловленных классом точности средства измерения.

Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному контролю и надзору

3.1.1. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ СТЕНДА

Для создания давления используется *источник давления*, представленный компрессором, нагнетающим давление воздуха. Из компрессора через задатчик (поз. 1) воздух подается на поверяемые датчики и эталонный датчик давления. (Рис. 4). Манометры в схеме подключены параллельно.

В качестве *поверяемых датчиков* используются:

1) Манометр технический пружинный с верхним пределом измерения $1,6 \text{ кгс/см}^2$ (МТП - 160). Класс точности поверяемого манометра 1,5 (поз. 3).

Для наглядности работы пружинных манометров представлен датчик МТП – 160 без верхней крышки (поз. 2).

2) Электроконтактный манометр с верхним пределом измерения 1 кгс/см^2 и одной уставкой (перемещаемым по шкале контактом) (ЭКМ – 1У). Класс точности 1,5. (поз. 5)

В качестве *эталонного датчика* используется Манометр измерительный (МИ) (поз. 4) с верхним пределом измерения 1 кгс/см² и классом точности 0,4.

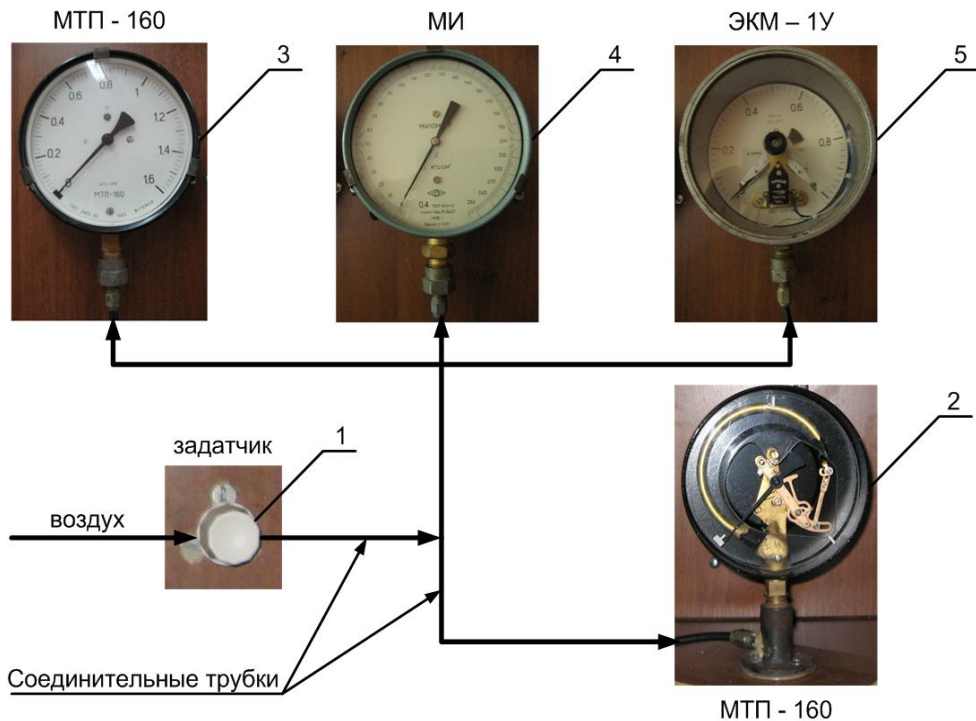


Рис.4. Принципиальная схема работы стенда.

3.1.2. ПРУЖИННЫЕ МАНОМЕТРЫ

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной (рис. 5) имеют наибольшее распространение среди пружинных приборов. Чувствительным элементом этих манометров является трубчатая пружина 2, представляющая собой полую трубку овального или эллиптического сечения, согнутую по дуге

окружности на $180-270^\circ$ (рис. 6). При этом малая ось эллипса трубки (а) расположена параллельно, а большая (b) - перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 6). Один конец трубчатой пружины жестко соединен с держателем 1, укрепленным винтами в круглом корпусе 3 манометра.

Держатель имеет резьбовой ниппель с отверстием, предназначенным для крепления прибора на трубопроводе или аппарате, в котором измеряется давление. Свободный конец трубчатой пружины закрыт пробкой 6 с шарнирной осью и запаян. Посредством поводка свободный конец пружины связан с передаточным механизмом 7, состоящим из латунного зубчатого сектора и сцепленной с ним шестеренки, на оси которой насажена стрелка 4. Для устранения мертвого хода стрелки, вызванного наличием люфтов в соединениях,

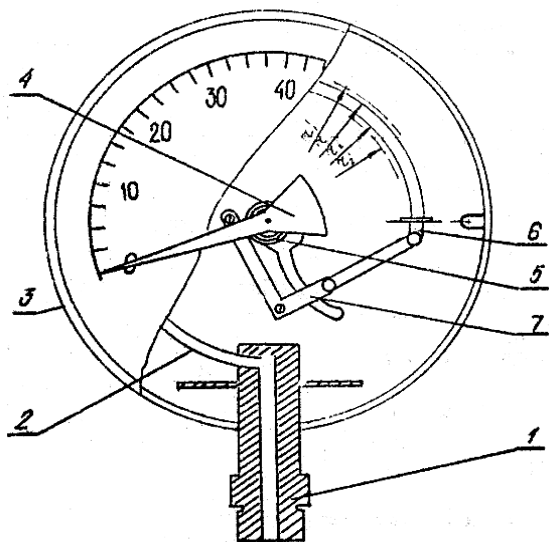


Рис. 5. Манометр с одновитковой трубчатой пружиной

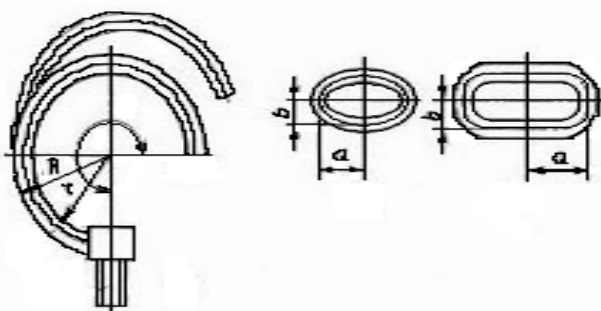


Рис. 6. Одновитковая трубчатая пружина

передаточный механизм снабжен упругим спиральным волоском 5, изготовленным из фосфористой бронзы. Под давлением среды, сообщающейся с внутренней полостью трубчатой пружины, последняя несколько распрямляется, свободный конец через передаточный механизм вызовет перемещение стрелки по шкале прибора. Раскручивание трубчатой пружины, согнутой по дуге окружности, вызвано тем, что при подаче в нее давления трубчатая пружина стремится превратить свое эллиптическое сечение в круглое. При этом малая ось эллипса, расположенная в плоскости чертежа, увеличивается, и наружные волокна пружин переходят на большой радиус окружности R , по которой она согнута, а внутренние волокна – на меньший радиус r (рис. 6). Так как длина трубчатой пружины остается неизменной, а один его конец жестко заделан в держателе, то в пружине возникают внутренние напряжения, приводящие к ее раскручиванию и перемещению свободного конца. Свободный конец трубчатой пружины и, следовательно, стрелка прибора перемещаются пропорционально изменению измеряемого давления, поэтому манометр имеет равномерную шкалу. На рис. 6 изображена схема трубчатой пружины, ее эллиптическое поперечное сечение и плоскоовальное поперечное сечение.

3.1.3. ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫЕ МАНОМЕТРЫ (ЭКМ – 1У)

Электроконтактные манометры используют для сигнализации о достижении минимального или максимального рабочего давления (уставки) (ЭКМ – 1У) или для двухпозиционного регулирования (ЭКМ – 2У). Причем в качестве уставок могут выступать как минимальное и максимальное значения параметра, так и предминимальное – минимальное или предмаксимальное и максимальное значения параметра .

Показывающие приборы применяют чаще всего в качестве местных приборов. Электроконтактный манометр по принципу действия аналогичен показывающему манометру с одновитковой трубчатой пружиной. Для сигнализации предельных значений в нем предусмотрен контактный механизм, электрическая схема которого аналогична применяемой в манометрических термометрах. Особенностью ЭКМ является то, что этот контактный манометр может работать только при плавном (без пульсаций) изменении давления. Устройство электроконтактного манометра представлено на рисунке 7.

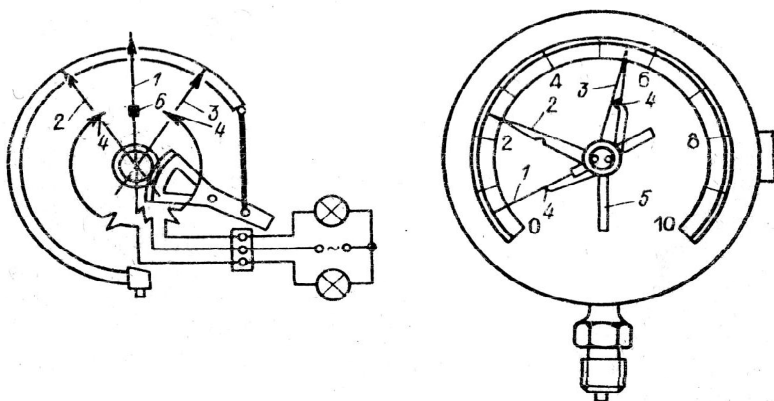


Рис.7 Устройство ЭКМ-1У.

3.2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с принципом действия, конструкцией датчиков давления.
2. Перед началом проведения поверки необходимо убедиться в герметичности системы. Для этого проводится внешний осмотр стенда на предмет утечки воздуха.
3. Если значение давления превышает ноль, то необходимо с помощью задатчика изменить его значение. Затем установить первое поверяемое значение из табл. 2.
4. При достижении показаний эталонного прибора к заданным в таблице 2 снять показания. Полученные данные с МТП-160 и ЭКМ – 1У поочередно занести в табл. 2.
5. Выполнить поверку оставшихся значений давления при прямом ходе, указанных в таблице 2 путем постепенного добавления давления воздуха с помощью задатчика 1(см. рис. 1).
6. Выдержать поверяемый прибор на предельном значении давления в течение 3 минут и провести поверку датчика при тех же значениях давления при обратном ходе, постепенно уменьшая давление воздуха.
При понижении давления необходимо, чтобы стрелка подходила к контрольной точке справа, и не опускалась ниже контрольной точки до снятия показаний.
7. Результаты измерений при прямом и обратном ходе записать в табл. 2.
8. Рассчитать абсолютную погрешность, приведенную относительную погрешность, вариацию показаний для каждого датчика по формулам, указанным в разделе 1.

9. Заполнить табл. 2. и привести пример расчета для проверки правильности наименований.
10. Составить отчет о проведенной работе, который должен в себе содержать:
 - название темы лабораторной работы;
 - цель работы;
 - схемы поверяемых приборов;
 - схему установки для поверки приборов;
 - выводы о проделанной работе (см. раздел 3.3.«Обработка результатов поверки»).

3.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

По результатам поверки необходимо:

1. Сделать заключение о пригодности датчика к эксплуатации с указанием датчика, его типа, модели, класса точности, диапазона измерения;
2. Обосновать сделанное заключение в соответствии с методикой проведения проверки;
3. Построить график зависимости погрешности датчика от давления.

Таблица 2 Результаты поверки

Контролируемая точка шкалы		Измеренные значения давления (поверяемый датчик МТП-160)		Измеренные значения давления (поверяемый датчик ЭКМ-1У)	
%	Поверяемые значения (Эталонный прибор) кгс/см ²	ПХ	ОХ	ПХ	ОХ
		Р, кгс/см ²	Р, кгс/см ²	Р, кгс/см ²	Р, кгс/см ²
Начальная					
25±5%					
50±5%					
75±5%					
Конечная					

Продолжение таблицы 2

Контролируемая точка шкалы	Погрешности,				Вариация кгс/см ²
	Абсолютная, кгс/см ²		Приведенная, %		
	ПХ	ОХ	ПХ	ОХ	
Начальная					
25±5%					
50±5%					
75±5%					
Конечная					

Здесь ПХ – прямой ход, ОХ – обратный ход

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое давление? Какие существуют виды давлений?
2. В чем суть работы пружинных и электрических датчиков давления? В чем их недостатки и преимущества?
3. Что измеряют барометры и тягомеры?
4. Расшифровать сокращения Метран - ДИ, Метран - ДА, Метран - ДВ, Сапфир - ДУ, Сапфир - ДГ, Сапфир - ДИВ.
5. Что означают обозначения Ех и Вн в обозначениях приборов?
6. Как работает тензопреобразователь?
7. Работа преобразователей давления.
8. Схема и состав стенда.
9. Принцип работы стенда.
10. Что такое поверка и калибровка средств измерений?
11. Порядок поведения поверки.
12. Что такое класс точности? Каким образом, зная класс точности, определить пригодность прибора к работе?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. Учебник для вузов по специальности «Автоматизация и комплексная механизация химико-технологических процессов». 3-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.
2. Лапшенков Г.И., Полоцкий Л. М. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. Технические средства и лабораторные работы. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 288 с.
3. МЕТРАН. Датчики давления. Комплектные поставки. Тематический каталог №1 выпуск 4. Челябинск. – 238 с.