

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по УР
канд.техн.наук, доцент
_____ А.Б. Ефременков
« ____ » _____ 200__ г.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу
«Гидравлика»

Юрга 2005

УДК 621.62

Изучение конструкций приборов для измерения давления: Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Гидравлика» для студентов дневной и вечерней форм обучения специальностей 651400-«Машиностроительные технологии и оборудование» 120500 «Оборудование и технология сварочного производства», 120100 «Технология машиностроения», 170100 «Горные машины и оборудование»; 660300-«Агроинженерия», 311900 «Технология обслуживания и ремонта машин в агропромышленном комплексе» . - Юрга: ИПЛ ЮТИ ТПУ, 2005. - 20 с.

Составитель

ассистент А.А. Казанцев

Рецензент

д.т.н., проф. каф. ТПМ ТПУ
Л.А. Саруев

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры горно-шахтного оборудования.
" 19 " 10 2005 г.

Зав. кафедрой
к.т.н., доцент

А.Б. Ефременков

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы: теоретическое изучение существующих видов и конструкций приборов для измерения давления.

Задачи работы:

- 1) изучить конструкции и принципы измерения давления различными видами приборов;
- 2) научиться определять назначение прибора по принципу действия и роду измеряемой величины.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

До начала работы студент обязан самостоятельно подготовиться к выполнению лабораторной работы: ознакомиться с настоящими методическими указаниями, усвоить теоретические сведения, назначение объекта исследования согласно п. 3, изучить положение об охране труда согласно п. 7 и подготовить бланк отчета согласно п. 5 настоящих методических указаний. В начале лабораторного занятия преподаватель выполняет контроль степени подготовленности каждого студента к выполнению работы. Студенты, уровень подготовленности которых не соответствует вышеизложенным требованиям, к выполнению работы не допускаются.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Давлением по определению называется сила, действующая на единицу поверхности тела:

$$p = \frac{F}{S} \quad (1)$$

В системе СИ единицей давления служит 1 Паскаль, равный силе в 1 Ньютон, действующей на площадь в 1 м^2 .

Измерения давления замечательны тем, что для них в технике и в практике сохранилось и используется большое количество внесистемных и жаргонных единиц. Например, принятой внесистемной единицей является один Торичелли (1 Тор), больше известный у нас как миллиметр ртутного столба.

Измерение давления высотой столба жидкости удобно и часто применяется в технике. Полезно запомнить, что давление, равное 1 кгс/см^2 (техническая атмосфера), соответствует весу столба воды основанием 1 см^2 высотой 10 м или же весу столба ртути высотой 735 мм. Физическая атмосфера ($1,033 \text{ кгс/см}^2$) определяется ртутным столбом в 760 мм. Поэтому, например, если давление в сосуде будет 2,5 ат, или, что то же самое $2,5 \text{ кгс/см}^2$, его можно определить так же, как давление, равное 25000 мм водного или 1837,5 мм ртутного столба.

Численная связь дана для плотности ртути $13,595 \text{ г/см}^3$ и ускорения свободного падения $g = 9,80655 \text{ м/с}^2$.

Часто употребляется внесистемная единица - бар, равная 10^5 Па.

Классификация приборов для измерения давления:

I. По принципу действия:

- 1) жидкостные (основанные на уравнивании давления столбом жидкости);
- 2) поршневые (измеряемое давление уравнивается внешней силой, действующей на поршень);
- 3) пружинные (давление измеряется по величине деформации упругого элемента);
- 4) электрические (основанные на преобразовании давления в какую-либо электрическую величину).

II. По роду измеряемой величины:

- 1) манометры (измерение избыточного давления);
- 2) вакуумметры (измерение давления разрежения);
- 3) мановакуумметры (измерение как избыточного давления, так и давления разрежения);
- 4) напорометры (для измерения малых избыточных давлений);
- 5) тягомеры (для измерения малых давлений разрежения);
- 6) тягонапорометры;
- 7) дифманометры (для измерения разности давлений);
- 8) барометры (для измерения барометрического давления).

Приборы для измерения давления в общем случае называются манометрами. В том случае, если манометры предназначены для измерения атмосферного давления, их называют барометрами. Если необходимо измерить давление ниже атмосферного, такие манометры называют вакуумметрами.

Манометры по принципу действия делятся на жидкостные, пружинные и электрические.

Вакуумметры делятся на жидкостные, деформационные, компрессионные, радиометрические, вязкостные, тепловые, ионизационные, магнито-разрядные и радиоизотопные.

Жидкостные манометры или вакуумметры - устройства, в которых давление среды уравнивается давлением столба жидкости, налитой в манометр.

Простейшим представителем приборов жидкостного типа является пьезометр, измеряющий давление в жидкости высотой столба той же жидкости. Пьезометр представляет собой стеклянную трубку небольшого диаметра (однако обычно не менее 5 мм), открытую с одного конца и вторым концом присоединенную к сосуду, в котором необходимо измерить давление; схема пьезометра приведена на рис. 1.

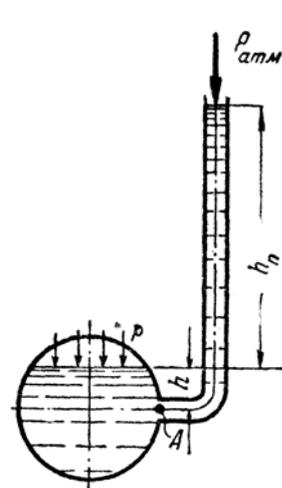


Рис. 1. Пьезометр

Если давление на поверхности жидкости в сосуде будет выше атмосферного, то жидкость в трубке пьезометра поднимется на некоторую высоту h_p . Значит, высота поднятия жидкости в пьезометрической трубке, так называемая пьезометрическая высота, - характеризует избыточное давление в сосуде и может служить мерой для определения его величины.

Пьезометр является очень чувствительным и точным прибором, однако он удобен только для измерения небольших давлений; при больших давлениях трубка пьезометра является очень длинной, что осложняет измерения. В этих случаях применяют так называемые жидкостные манометры, в которых давление уравнивается не той жидкостью что и жидкость, находящаяся в сосуде, как это имеет место в пьезометре, а жидкостью большего удельного веса; обычно такой жидкостью является ртуть. Так как удельный вес ртути больше удельного веса воды в 13,6 раза, то при измерении одних и тех же значений трубка ртутного манометра оказывается значительно короче пьезометрической трубки и сам прибор получается более компактным.

Ртутный манометр (рис. 2) представляет собой обычно U-образную стеклянную трубку, изогнутое колено которой заполняется ртутью. Под действием давления в сосуде уровень ртути в левом колене манометра понижается, а в правом – повышается.

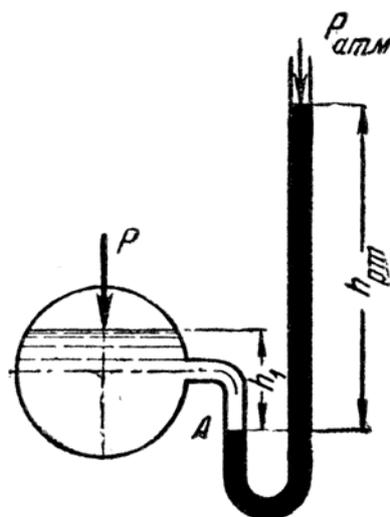


Рис. 2 Ртутный манометр

Для измерения больших давлений применяется поршневой манометр, представляющий собой обращенный гидравлический пресс.

Этот манометр (рис. 3) состоит из трубки А, через которую измеряемое давление p передается на поршень В, оканчивающийся широкой металлической пластинкой С. под ней находится каучуковая пластинка Д, соприкасающаяся с водой, заполняющей короткое колено манометра Е. Нижняя часть этого колена и открытая трубка Г заливаются ртутью.

Если обозначить: f – площадь поршня, F – площадь пластинки, h – высота ртути в манометрической трубке, $\gamma_{рт}$ – удельный вес ртути, то

$$p = \frac{F}{f} \cdot \gamma_{рт} \cdot h \quad (2)$$

Из этого выражения видно, что поршневой манометр при сравнительно малой высоте ртутного столба позволяет измерять весьма большие давления.

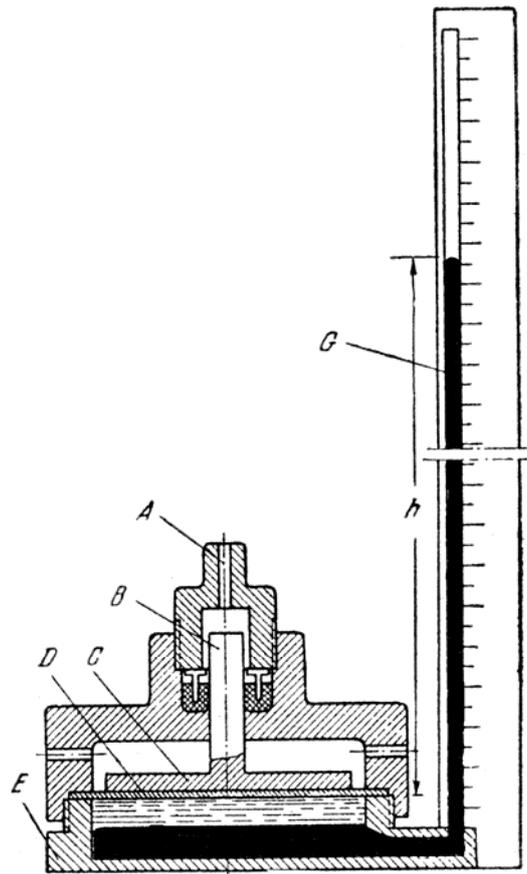


Рис. 3. Поршневой манометр.

В тех случаях, когда необходимо измерить не давление в сосуде, а разность давлений в двух сосудах или же в двух точках жидкости в одном и том же сосуде, применяют дифференциальные манометры. Дифференциальный манометр, присоединенный к двум сосудам А и В, представлен на рис. 4.

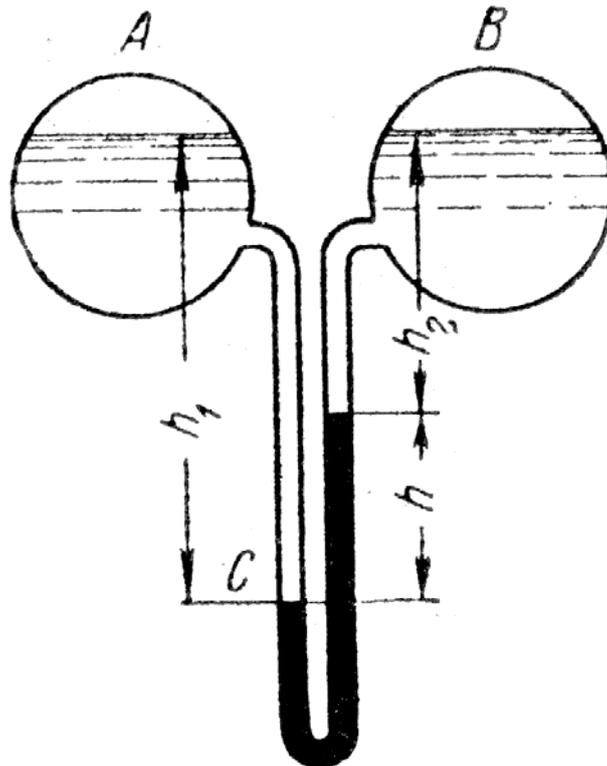


Рис. 4. Дифференциальный манометр

Здесь для давления p на уровне поверхности ртути в левом колене имеем:

$$p = p_A + \gamma_1 h_1 = p_B + \gamma_1 h_2 + \gamma_{pm} \cdot h \quad (3)$$

откуда

$$p_A - p_B = \gamma_1 (h_2 - h_1) + \gamma_{pm} \cdot h \quad (4)$$

или так как $h_2 - h_1 = -h$,

$$p_A - p_B = (\gamma_{pm} - \gamma_1) \cdot h \quad (5)$$

Таким образом, разность давлений определяется разностью уровней в двух коленах дифференциального манометра.

Для повышения точности измерений, а также при измерении незначительных по величине давлений применяются микроманометры. Одна из конструкций микроманометра – наклонный микроманометр – изображена на рис. 5. Он состоит из резервуара А, присоединяемого к сосуду, в котором измеряется давление, и манометрической трубки В, угол наклона которой к горизонту α можно менять.

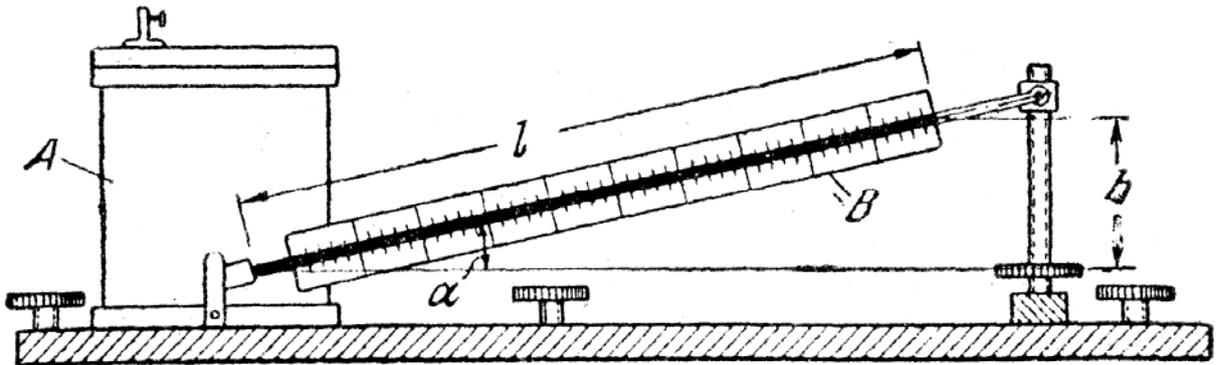


Рис. 5. Микроманометр.

Давление у основания трубки, измеряемое микроманометром, определяется выражением:

$$p = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

По сравнению с обычным манометром подобный микроманометр обладает значительно большей чувствительностью, так как он позволяет вместо малой высоты h отсчитывать длину l , тем большую, чем меньше угол α .

Разновидностями жидкостных манометров являются также манометр Мак-Леода, трубки Пито и трубки Вентури.

Обычные манометры, например жидкостные, очевидно, недостаточно чувствительны для вакуумной техники, где давления нередко соответствуют, скажем, одной миллионной миллиметра водяного столба. Вместо них применяются различные вакуумные манометры (вакуумметры), основанные на разных физических принципах. Однако почти все они не являются «абсолютными» приборами, т.е. требуют градуировки. Чаще всего для градуировки вакуумных манометров применяется простой ртутный манометр, предложенный еще в 1874 г. Мак-Леодом. В компрессионном манометре Мак-Леода (рис. 6) имеется стеклянный баллон известного объема, который сначала соединяют трубкой А с вакуумной системой, чтобы наполнить его газом, давление которого требуется измерить. Затем, поднимая уровень ртути в трубке, этот известный объем газа отсекают и сжимают в капилляре до значительно меньшего объема, в котором давление газа сильно повышается.

Манометр сконструирован так, что окончательное давление можно измерить по разности высот ртути в капиллярных трубках *C* и *D*, и эта величина совместно с значениями начального и конечного объемов позволяет вычислить первоначальное давление. Отношение объемов (до и после сжатия) можно сделать достаточно большим для измерения давлений порядка 10^{-8} атмосферного.

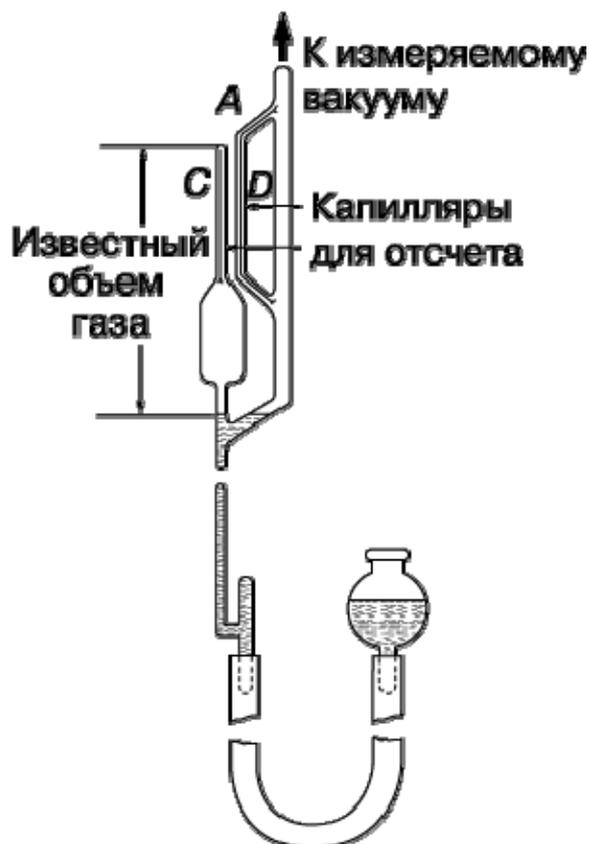


Рис. 6. Манометр Мак-Леода. При поднятии сосуда со ртутью малый объем газа, вошедший по трубке *A*, отсекается и сжимается в расширении слева. Давление сжатого газа измеряется по разности высот столбиков ртути в капиллярах *C* и *D*.

Процедура измерения состоит в том, что верхняя трубка манометра Мак-Леода соединяется с измеряемым объемом. Затем чашка со ртутью поднимается, ртуть заполняет объем манометра, оставляя «пузырь» в тонком капилляре. Давление в пузыре зависит не только от разности уровней в трубках, но и от соотношения объемов колбы и капилляра, которое может достигать до 1000. Таким образом можно измерить давление примерно в 1000 раз меньше, чем обычным жидкостным манометром без потери точности. Измерения манометром Мак-Леода громоздки, связаны с необходимостью работы с большими количествами ртути, но при этом этот метод позволяет получать наиболее достоверные результаты, т. к. ведутся прямые измерения давления.

Точность измерения давления жидкостными манометрами зависит от точности измерения уровня жидкости. В прецизионных манометрах отсчетные устройства дополняют нониусами или специальными зрительными трубами с измерительной шкалой. Такие приборы называются катетометрами.

Особый вид манометра представляют собой т.н. трубки Пито, представляющие собой дифференциальные манометры, измеряющие разность

давлений в струях жидкости или газа между статическим давлением и динамическим. Давление в движущемся потоке есть сумма внешнего давления P , статического (ρgh) и динамического давления $\rho v^2/2$, где h - глубина погружения; ρ - плотность жидкости; v - скорость потока. Согласно закону Бернулли, сумма этих давлений остается постоянной вдоль всего потока (струи) так, что:

$$P + \rho gh + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = Const \quad (7)$$

для любой точки потока.

Дифференциальный манометр в виде трубки Пито позволяет измерять разность давлений между точкой потока, в которой жидкость не движется, и точкой, где жидкость имеет максимальную скорость v . Схема трубки Пито дана на рис. 7.

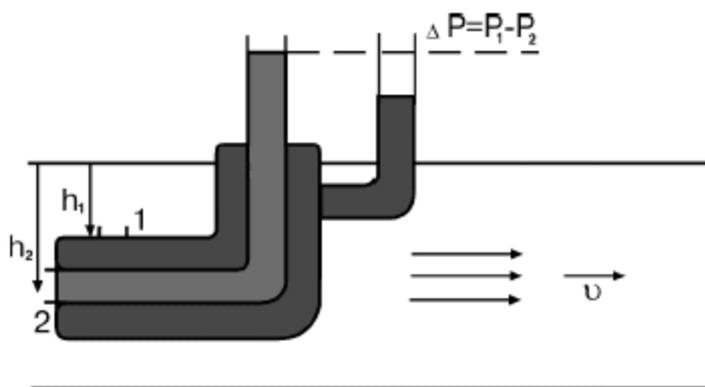


Рис. 7. Схема дифференциального манометра – трубки Пито

Уравнение измерения имеет вид:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = P_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} \quad (8)$$

Индекс 1 относится к точке 1 (отверстию) манометра на боковой стенке, где $V_1 = v$, индекс 2 относится к точке 2, где поток остановлен и $V_2 = 0$. Если положить, что разность статического давления ничтожна $\rho gh_1 = \rho gh_2$, то разность давлений ($P_1 - P_2$) оказывается однозначно связана со скоростью потока, т. е.:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (9)$$

Таким образом, трубка Пито – это манометр, позволяющий измерять скорость потока жидкости.

Другая полезная разновидность дифференциального манометра - так называемая трубка Вентури, представляющая собой два колена жидкостного манометра, разделенные мембраной с малым относительно основной трубы отверстием (рис. 8).

Несложные операции с использованием закона Бернулли и закона неразрывности струи приводят к простому соотношению между перепадом давления ΔP и скоростью потока:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = S \cdot \rho \cdot v_1^2 \left[\left(\frac{d_1}{d_2} \right)^4 - 1 \right], \quad (10)$$

где d_1 - диаметр трубы; d_2 - диаметр отверстия в диафрагме.

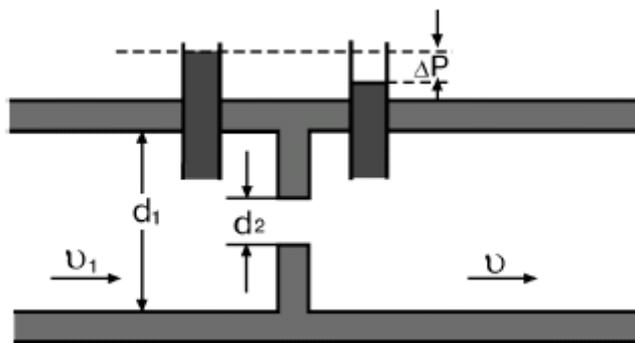


Рис. 8. Схема дифференциального манометра – трубка Вентури

Расход жидкости Q определяют из соотношения:

$$Q = a \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2P_1 - P_2}{\rho}} \quad (11)$$

Если измеряемое давление меньше атмосферного, т.е. в сосуде имеется вакуум, приборы, служащие для измерения давления называются вакуумметрами. Обычно, однако, вакуумметры измеряют не непосредственно давление, а вакуум, т.е. недостаток давления до атмосферного. Принципиально они ничем не отличаются от ртутных манометров и также представляют собой заполненную ртутью изогнутую трубку (рис. 9), один конец которой – А – соединяется с пространством В, где измеряется давление, а другой конец – С – открыт.

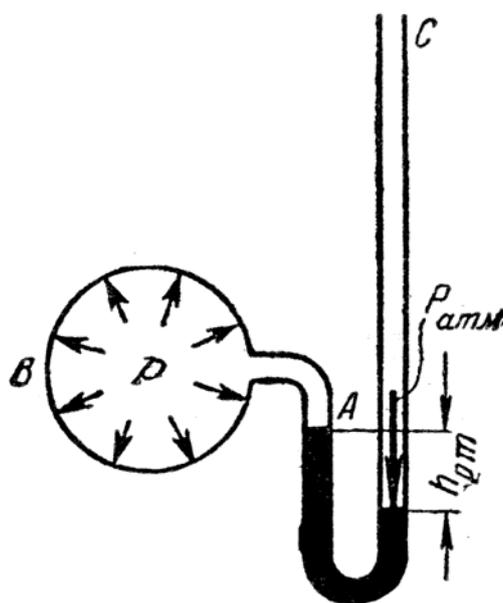


Рис. 9 Вакуумметр.

Пусть, например, измеряется давление газа в сосуде В; в этом случае получаем:

$$p_{атм} = p + \gamma_{рт} \cdot h_{рт} \quad (12)$$

Откуда

$$p = p_{атм} - \gamma_{рт} h_{рт} \quad (13)$$

Высоту

$$h_{рт} = \frac{p_{атм} - p}{\gamma_{рт}} \quad (14)$$

соответствующую вакууму в сосуде ($p_{\text{вак}}=p_{\text{атм}}-p$), обычно называют вакуумметрической высотой и обозначают через $h_{\text{вак}}$. Отсюда видно, что величину вакуума также можно измерять высотой столба жидкости. Так, например, если показание ртутного вакуумметра $h_{\text{рт}}=50$ см, то вакуум $p_{\text{вак}}=\gamma_{\text{рт}} \cdot h_{\text{рт}}=0,0136 \cdot 50=0,68$ кгс/см².

Для измерения давления ниже атмосферного (измерения вакуума), кроме жидкостных и деформационных вакуумметров, используется еще целый ряд устройств, принципиально отличающихся от рассмотренных выше. Такими вакуумметрами являются радиометрические приборы, вязкостные, ионизационные, магнитные, электроразрядные манометры.

Действие вязкостного вакуумметра основано на измерении времени затухания колебания кварцевой нити или по закручиванию неподвижно закрепленного элемента от подвижного, вращающегося в разреженном газе. Здесь рабочими элементами обычно служат диски. Диапазон измерений таких вакуумметров составляет ($1 \div 10^{-5}$) Па или ($10^{-2} \div 10^{-7}$) Тор. .

В тепловых вакуумметрах используется эффект зависимости теплопроводности разреженного газа от давления. Манометр представляет собой спай термодпары, нагреваемый слабым электрическим током по схеме, изображенной на рис. 10

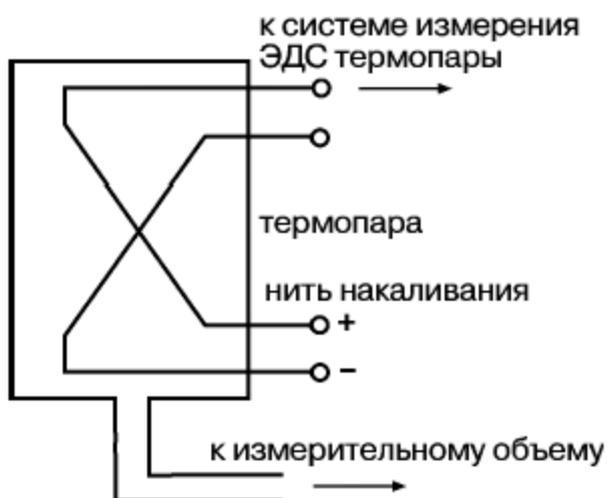


Рис. 10. Схема термодпарного датчика давления

Термодпарные вакуумметры позволяют измерять вакуум в диапазоне $10^{-2} \div 10^{-4}$ Тор.

В ионизационных вакуумметрах мерой давления является величина ионного тока, возникающего под действием электрического тока, приложенного между нагретым катодом и цилиндрическим анодом, окружающим катод. Диапазон измерений ионизационного вакуумметра составляет $10^{-2} \div 10^{-5}$ Тор или ($1 \div 5 \cdot 10^{-6}$ Па).

В магнитном электроразрядном вакуумметре используется зависимость от давления тока самостоятельного разряда, возникающего в разреженном газе в скрещенных магнитном и электрическом полях. Существует несколько типов магнитных электроразрядных манометров: манометр Пеннинга с параллельными плоскими электродами и инверсионно-магнетронный манометр, в котором анод и катод представляют собой два соосных цилиндра.

Вакуумметры различных типов позволяют измерять давление в широких пределах изменения от атмосферного давления до давления 10^{-13} Тор (10^{-11} Па).

Не всегда манометры и вакуумметры обязательно заполняются ртутью. В отдельных случаях, в зависимости от назначения и условий работы, для этой цели могут быть использованы и другие жидкости. При этом, однако, следует иметь в виду, что для заполнения вакуумметров нельзя использовать летучие жидкости (спирт, эфир), так как при пониженном давлении они будут сильно испаряться и могут закипеть.

Применение рассмотренных приборов жидкостного типа, в том числе и ртутных, ограничивается областью сравнительно небольших давлений; главным образом они применяются в лабораторной практике, где используются весьма широко благодаря своей простоте и высокой точности измерения. В тех случаях, когда необходимо измерять большие давления, применяют приборы второго типа – механические, из которых наибольшим распространением на практике пользуется пружинный манометр, схематически представленный на рис.11 а. Он состоит из полой тонкостенной изогнутой латунной трубки А, один конец которой запаян. Этот конец соединяется при помощи цепи В с зубчатым механизмом С; второй – открытый – конец трубки сообщается с сосудом, в котором производятся замеры давления. Через этот конец в трубку А поступает жидкость. Под действием давления пружина частично распрямляется и посредством зубчатого механизма приводит в движение стрелку, по отклонению которой судят о величине давления. Такие манометры обычно снабжаются градуированной шкалой, показывающей давление в атмосферах, а иногда оборудуются самописцами.

Существуют также так называемые мембранные манометры, в которых жидкость производит давление на тонкую металлическую пластинку или пластинку из прорезиненной материи – мембрану. Получающаяся при этом деформация мембраны посредством системы рычагов передается стрелке, указывающей величину давления. Схема подобного манометра изображена на рис. 11 б. Общий вид прибора представлен на рис. 11 в.

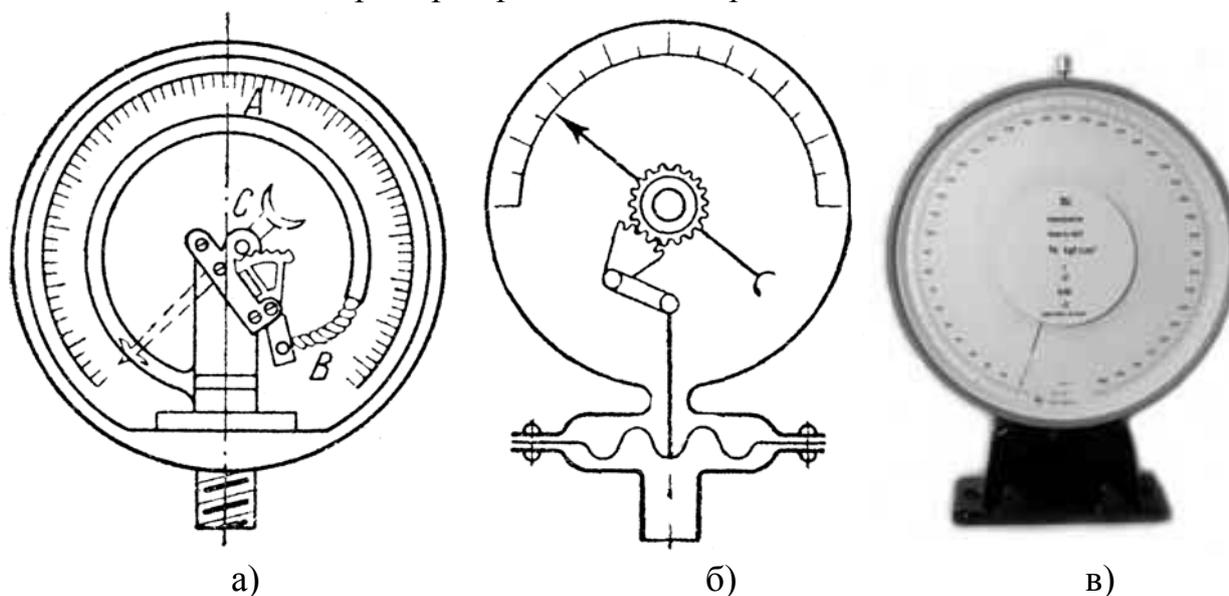


Рис. 11. а) – пружинный манометр, б) мембранный манометр, в) общий вид

Менее распространены электрические приборы, действующие, в основном, по принципу изменения емкости в электрической цепи (емкостные приборы) или изменения сопротивления проводника с изменением давления, а также по принципу пьезометрического эффекта.

Часто применяют механико-электрические приборы, в которых в качестве чувствительного элемента (датчика) используется мембрана. Мембрана под действием измеряемого давления деформируется и через передаточный механизм перемещает движок потенциометра, включаемого вместе с указателем в электрическую схему.

Во многих случаях требуется подать сигнал при достижении определенного давления. Для этой цели применяют манометры с одним или двумя электроконтактами (рис. 12). Такие манометры применяют для давлений до 800 кгс/см^2 . Погрешность измерения их обычно составляет 1%.



Рис. 12 Электроконтактные манометры.

Присоединение манометра к системе обычно осуществляется трубопроводом с наружным диаметром 5 мм и внутренним 1,5-2 мм.

Пружинные манометры строятся на давление до 16000 кгс/см^2 . Электрические манометры, показания которых зависят от величины электрического сопротивления металлических сплавов, а также пьезометрические манометры, основанные на определении количества электричества, возникающего в пластине кристалла в зависимости от приложенной к этой пластине силы, строятся для давлений до 30000 кгс/см^2 . Для измерения более высоких давлений в основном применяются манганиновые приборы.

Электрические манометры - устройства, в которых информация о давлении воспринимается как изменение какого-либо электрического параметра, например сопротивления или разности потенциалов. Это может быть камера с проводящим, чаще всего с угольным порошком, сопротивление которого зависит от положения гибкой мембраны. Это может быть камера, наполненная кремнийорганической жидкостью. Тогда под действием разности давлений (рис. 13) появляется разность потенциалов, пропорциональная давлению.

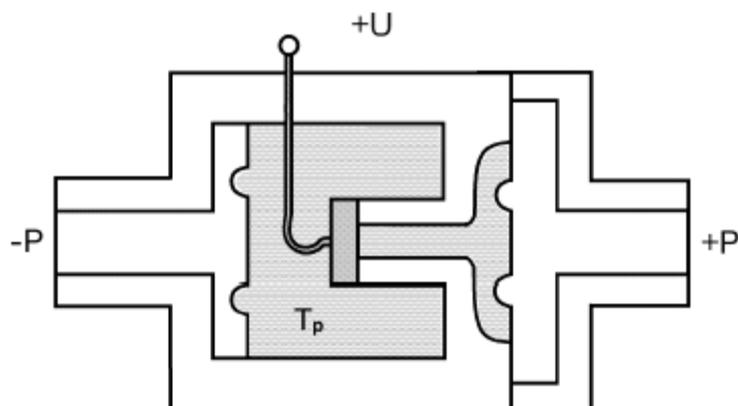


Рис. 13. Схема датчика давления типа «Сапфир».

Tr – тензорезистор, полость заполнена кремнийорганической жидкостью



Рис. 14. Электрические манометры

Манометры пружинные электрические малогабаритные типа МПЭ-МИ. предназначены для измерения избыточного давления неагрессивных жидких или газообразных сред и преобразования его в унифицированный электрический токовый сигнал. Применяются в комплекте с вторичными приборами и другими устройствами автоматики в системах управления, работающими от стандартного входного сигнала 0 ... 5, 0 ... 20 или 4 ... 20 мА постоянного тока.

Принцип действия манометров (рис. 15) основан на преобразовании перемещения упругого чувствительного элемента 1 под действием измеряемого давления в токовый сигнал с помощью малогабаритного магнито-модуляционного преобразователя (ММП-М) с компенсацией магнитных потоков 2 и усилителя.

Технические характеристики МПЭ-МИ

Верхние пределы измерений избыточного давления 100, 160, 250, 400, 600 кПа; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 40; 60 МПа.

Пределы допустимой основной погрешности не более $\pm 1,0$; $\pm 1,5$ % верхних пределов измерений. Зона нечувствительности манометров не более 0,1% верхнего предела измерения. Дополнительная погрешность манометров, вызванная изменением температуры окружающего воздуха в рабочем диапазоне 5 ... 60°C на каждые 10°C, не превышает $\pm 0,5$; $\pm 0,6$; $\pm 0,75$ %

диапазона измерения выходного сигнала (основная погрешность соответственно 0,6; 1,0; 1,5%).

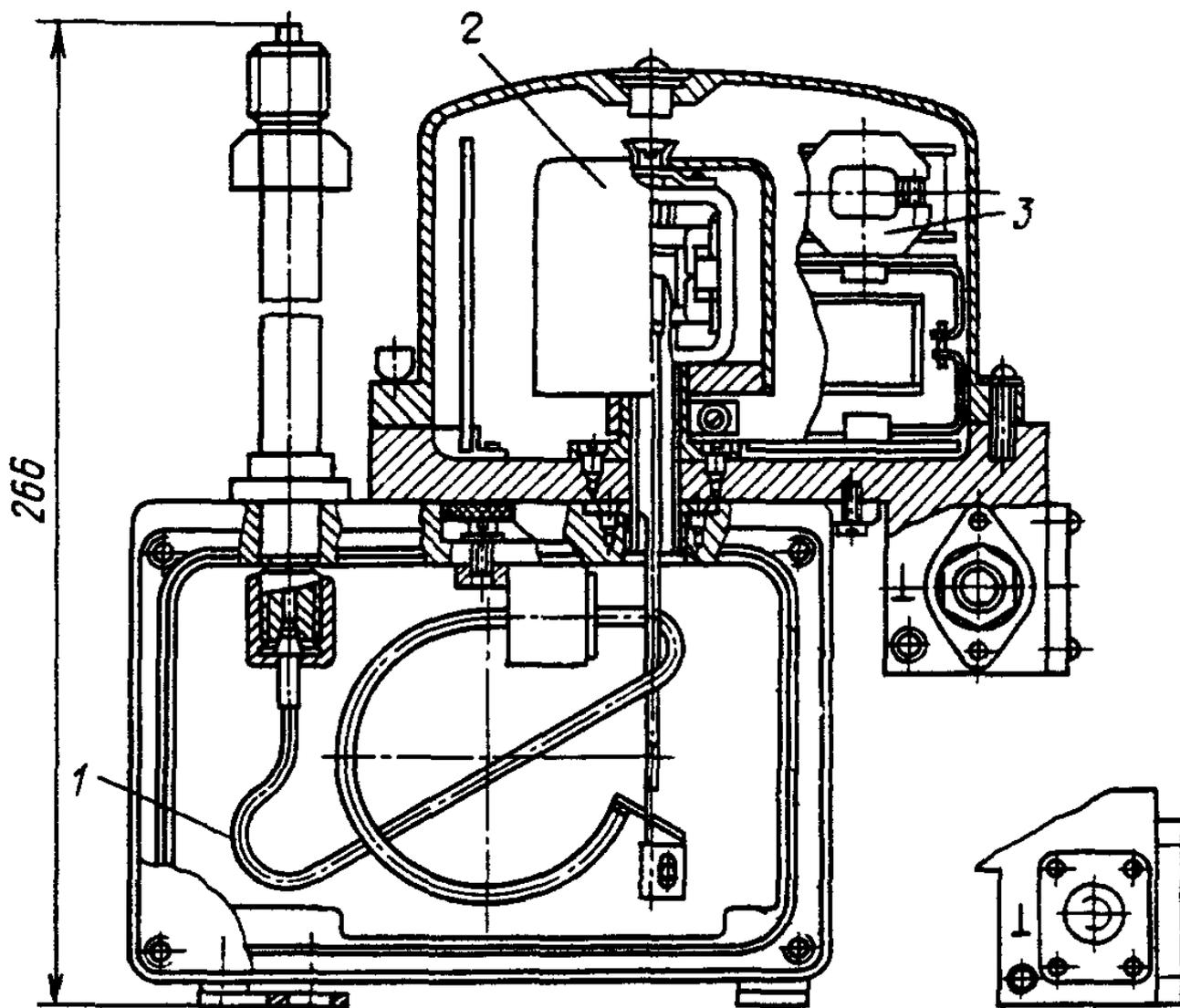


Рис. 15 Конструкция манометра типа МПЭ-МИ

Промышленно изготавливаются многочисленные датчики на основе тензорезисторов - сопротивлений, изменяющихся в зависимости от разности давлений, различного рода пьезоэлектрики с прямым пьезоэффектом - появлением разности потенциалов между поверхностями кристаллов при наличии разности давления между ними.

Для измерения давления ниже атмосферного (измерения вакуума), кроме жидкостных и деформационных вакуумметров, используется еще целый ряд устройств, принципиально отличающихся от рассмотренных выше. Такими вакуумметрами являются радиометрические приборы, вязкостные, ионизационные, магнитные, электроразрядные манометры.

В радиометрическом манометре используется радиометрический эффект - возникновение силы отталкивания между двумя близко расположенными пластинами в разреженном газе, находящимся при разных температурах. Холодная пластина со стороны, обращенной к горячей пластине, бомбардируется молекулами с большей энергией, чем те же молекулы с

противоположной стороны. В результате между пластинами возникает сила отталкивания. При низких давлениях эта сила на единицу площади равна

$$F = \frac{1}{2} \cdot P \left(\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} - 1 \right) \quad (15)$$

Измерения проводятся по отклонению пластины при создании вакуума. Наиболее известные вакуумметры такого типа были созданы датским физиком Кнудсенем.

Также существует новое поколение манометров – цифровые (рис. 16). Сейчас они получили наибольшее распространение в автомобильных компрессорах с точностью измерения до 0,01 ат.



Рис. 16. Электронный (цифровой) манометр.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1 Ознакомиться с организацией проведения работы по п.2;
- 4.2 Ознакомиться с характеристикой, назначением и областью применения объекта исследования по п.3;
- 4.3 Оформить отчет по лабораторной работе по п.5;
- 4.4. Проанализировать полученную информацию и сделать выводы по работе по п.6;
- 4.5 Ознакомиться с типовыми вопросами для самоконтроля п.8 и проверить свои знания.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется индивидуально для каждого студента на двойном тетрадном листе. При необходимости вкладываются дополнительные листы.

- 5.1. Титульный лист (см. Приложение А);
- 5.2. Цель работы;
- 5.3. Наименование и характеристика приборов;
- 5.4. Эскизы приборов (рис. 1, рис. 4, рис. 9, рис.11а или 11 б);
- 5.5. Выводы и обобщения по лабораторной работе.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОБОБЩЕНИЯМ И ОЦЕНКАМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТЫ

Результаты проделанной работы записываются в вывод. В выводе необходимо дать обоснование данным, полученным при измерении. Обосновать назначение исследуемых режущих инструментов, указать, к какой разновидности по классификации относится исследуемый инструмент.

7. ОХРАНА ТРУДА И ПРАВИЛА ПОВЕДЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ

Соблюдать общие правила техники безопасности при работе в лаборатории (инструкция и журнал находятся в лаборатории).

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

8.1. Классификация приборов для измерения давления по принципу действия.

8.2. Классификация приборов для измерения давления по роду измеряемой величины.

8.3. Принцип работы пьезометра.

8.4. Принцип работы ртутного манометра.

8.5. Принцип работы поршневого манометра.

8.6. Принцип работы дифференциального манометра.

8.7. Принцип работы микроманометра.

8.8. Принцип работы вакуумметра.

8.9. Принцип работы пружинного и мембранного манометров.

8.10. Принцип работы манометра Мак-Леода, область применения.

8.11. Достоинства и недостатки жидкостных приборов для измерения давления.

8.12. Область применения электрических приборов для измерения давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башта Г. М. Гидравлика. – М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.
2. Большаков В. А., Попов В. Н. Гидравлика. Общий курс : Учебник для вузов. - К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989. -215 с.
3. Рабинович Б. З. Гидравлика. Общий курс: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Машиностроение, 1988. – 410 с.
4. Холин К. М., Никитин О. Ф. Основы гидравлики и объемные гидроприводы: Учебник для учащихся средних спец. учеб. заведений. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 264 с.

Форма титульного листа отчета по лабораторной работе

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Механико-машиностроительный факультет
Кафедра ГШО

Гидравлика

Лабораторная работа №

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИБОРОВ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Исполнитель

Студент гр. _____ (дата) (подпись) И.О. Фамилия

Руководитель

(должность, ученая степень, звание) (дата) (подпись) И.О. Фамилия

Юрга 200__

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРИБОРОВ
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ
методические указания

Составитель: Казанцев Антон Александрович

Подписано к печати 1.06.2006
Формат 60x84x16. Бумага офсетная.
Плоская печать. Усл. печ. л. 1,16 Усл. изд. л. 1,05
Тираж 25 экз. Заказ № 393 Цена свободная.
ИПЛ ЮТИ ТПУ. 652000, г. Юрга, ул. Московская, 17