МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра энергоресурсосберегающих процессов
в химической и нефтегазовой технологиях

Ю. О. Афанасьев
А. Р. Богомолов
Н. В. Тиунова

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «**Теоретические основы теплотехники**» для студентов направления **18.03.02** «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», по дисциплине «**Теплофизика**» для студентов направления **20.03.01** «Техносферная безопасность» всех форм обучения

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления подготовки 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» в качестве электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2017

Рецензент:
Азиханов С. С. – кандидат технических наук, доцент кафедры энергоресурсосберегающих процессов в химической и нефтегазовой технологиях

Афанасьев Юрий Олегович
Богомолов Александр Романович
Тиунова Наталья Владимировна

Методы измерения давлений: методические указания к лабораторной работе по дисциплине «**Теоретические основы теплотехники**» для студентов направления **18.03.02** «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», по дисциплине «**Теплофизика**» [Электронный ресурс] для студентов направления **20.03.01 «**Техносферная безопасность» всех форм обучения / Ю. О. Афанасьев, А. Р. Богомолов, Н. В. Тиунова; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows XP ; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания к выполнению лабораторной работы составлены в соответствии с рабочими программами дисциплины «Теоретические основы теплотехники», «Теплофизика» и предназначены для студентов направлений подготовки **18.03.02** «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», **20.03.01 «**Техносферная безопасность» всех форм обучения

© КузГТУ, 2017
© Афанасьев Ю. О.,
Богомолов А. Р.,
Тиунова Н. В., 2017

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является изучение методов измерения давления, закрепление знаний по теме «Параметры состояния термодинамической системы», а также получение практических навыков работы с грузопоршневым манометром МП-60 при поверке трубчато-пружинных манометров.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Давление является одним из основных термических параметров состояния термодинамической системы, причем в термодинамике параметром состояния является только ***абсолютное давление*** (p_a), т.е. давление, при измерении которого за начало отсчета принимается абсолютный вакуум.

Физический смысл давления объясняется молекулярно-кинетической теорией, согласно которой абсолютное давление есть среднестатистический результат соударений со стенкой громадного числа движущихся хаотически молекул, т.е. абсолютное давление представляет среднестатистическую сумму импульсов ударов молекул о единицу площади в единицу времени.

В общем случае давление представляет собой силу F, направленную по нормали к поверхности и отнесенную к единице площади этой поверхности S:

$$p = \frac{\mathrm{d}F}{\mathrm{d}S} \quad \text{или} \quad p = \frac{F}{S}. \tag{1}$$

Давление в Международной системе единиц выражается в паскалях (1 Па = 1 Н/м^2) и представляет собой силу в 1 ньютон, действующую по нормали на площадь поверхности 1 м^2, отнесенную к этой поверхности.

Для измерения давления применяют ряд специальных приборов, различающихся по принципу действия и назначению.

По назначению приборы для измерения давления разделяют на:

- барометры – для измерения абсолютного атмосферного (барометрического) давления p_{am};
- манометры – для измерения так называемого ***избыточного давления*** p_u, фиксируют разность между абсолютным давлением p_a в месте измерения и внешним атмосферным (барометрическим) давлением p_{am} (рис. 1). Величина p_u называется также ***манометрическим***, или ***рабочим***, ***давлением***;

- вакуумметры – для измерения давления, меньшего атмосферного $p_в$, т.е. измеряется ***разрежение*** (***вакуум***);
- дифференциальные манометры – для измерения разности давлений Δp.

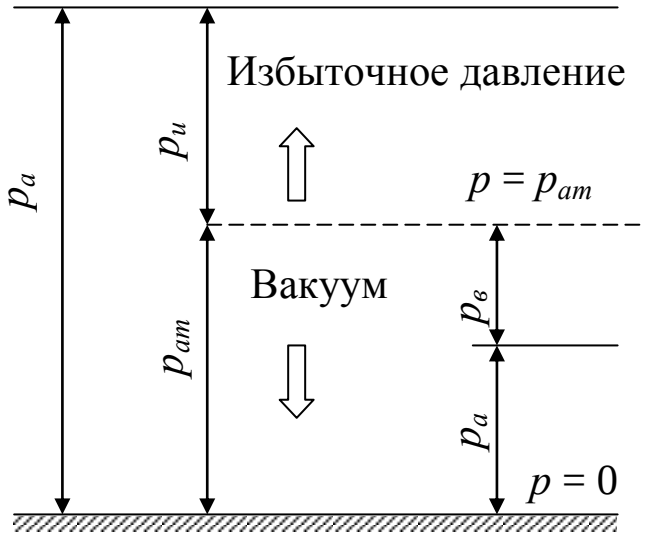


Рис. 1. К измерению давления и разрежения

По принципу действия приборы подразделяются на ***жидкостные***, у которых измеряемое давление (разность давлений) уравновешивается давлением столба жидкости (разностью давлений столбов жидкости), и ***пружинные*** (с упругим чувствительным элементом), у которых измеряемое давление определяется по деформации упругих чувствительных элементов или по развиваемой ими силе. Жидкостные и пружинные приборы обеспечивают измерение подавляющего большинства давлений, встречающихся на практике, от 10^{-2} до 10^{9} Па.

Для точных измерений в лабораторной практике и для поверки технических манометров применяют грузопоршневые манометры типов МП-60, МП-600 и МП-2500. Для измерения высоких давлений в лабораторных исследованиях используют электрические манометры.

Давление земной атмосферы (атмосферное давление) $p_{ат}$ зависит от высоты и метеорологических условий в данное время. В среднем на уровне моря атмосферное давление (нормальное давление или физическая атмосфера) равно

$$101325 \text{ Па} = 10332 \text{ кгс/м}^2 = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

В технической практике используется понятие технической атмосферы – давление, равное

$$98058 \text{ Па} = 10000 \text{ кгс/м}^2 = 1 \text{ атм.} = 735{,}5 \text{ мм рт. ст.}$$

В аппаратах и машинах давление может принимать различные значения. Если давление в аппарате больше атмосферного, то манометр измеряет избыточное давление, т.е. превышение его над атмосферным давлением:

$$p_и = p_a - p_{ат}. \qquad (2)$$

Для точного определения абсолютного давления p_a необходимы два прибора: манометр, измеряющий избыточное давление $p_и$, и барометр, измеряющий атмосферное давление $p_{ат}$. В технических измерениях при использовании приборов класса выше 1,5 принимается среднее атмосферное давление, и шкала прибора градуируется в единицах избыточного давления.

Если давление в аппарате меньше атмосферного, то для измерения давления применяют вакуумметры – приборы, показывающие разность между атмосферным и абсолютным давлениями (вакуум):

$$p_в = p_{ат} - p_a. \qquad (3)$$

2.1. ЖИДКОСТНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Жидкостные манометры применяются трех основных типов: U-образные, чашечные и микроманометры с наклонной трубкой.

В жидкостных U-образных манометрах (рис. 2, а) давление измеряемой среды определяется по формуле

$$p = p_1 - p_2 = \rho g h. \qquad (4)$$

Здесь ρ – плотность жидкости, залитая в манометр. В чашечных манометрах (рис. 2, б) отсчет уровня производится только в минусовом сосуде и рассчитывается по уравнению

$$p_1 - p_2 = h_1(1 + \frac{f}{F})\rho g, \qquad (5)$$

где f, F – площади сечений минусового и плюсового сосудов.

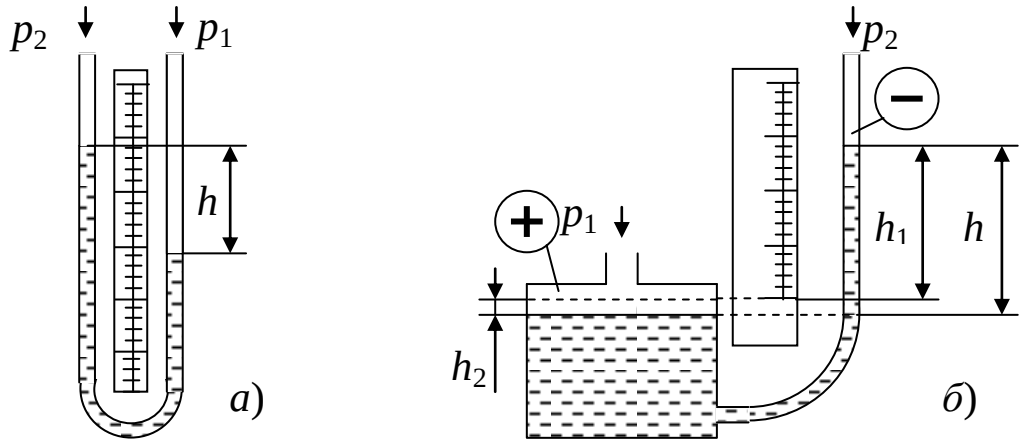


Рис. 2. Схемы U-образного (*а*) и чашечного (*б*) манометров

Если над уравновешивающей жидкостью расположена жидкая измеряемая среда плотностью ρ_c, то

$$p_1 - p_2 = h_1(1 + \frac{f}{F})(\rho - \rho_c)g. \quad (6)$$

Для измерения малых давлений или перепадов давлений (от 10^2 до $2 \cdot 10^3$ Па) применяют микроманометры с наклонной трубкой (рис. 3). Давление определяется по формуле

$$p = n(\sin\alpha + \frac{f}{F})\rho g. \quad (7)$$

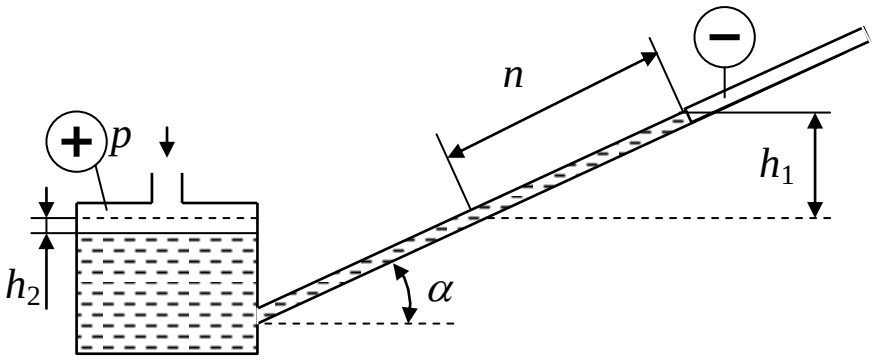


Рис. 3. Схема микроманометра с наклонной трубкой

Угол наклона трубки имеет несколько фиксированных значений, таких, что отсчитанные значения n умножаются на коэффициент из ряда: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6 и 0,8.

Пределы измерения этих манометров зависят от их геометрических размеров и плотности уравновешивающей жидкости и, как правило, не превышают 10^5 Па (750 мм рт. ст.). Погрешность измерения составляет ±2 мм для U-образных и ±1 мм для чашечных (однотрубных) манометров. Применение оптических устройств для отсчета уровня позволяет повысить точность измерения.

2.2. МАНОМЕТРЫ С УПРУГИМИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Приборы, использующие для измерения давления деформацию или изгибающий момент упругих чувствительных элементов, имеют очень широкий диапазон применения: от 10 до 10^9 Па.

В качестве упругого чувствительного элемента применяют трубчатую пружину, сильфон (гармониковая мембрана), плоскую упругую мембрану и комбинации этих элементов (рис. 4).

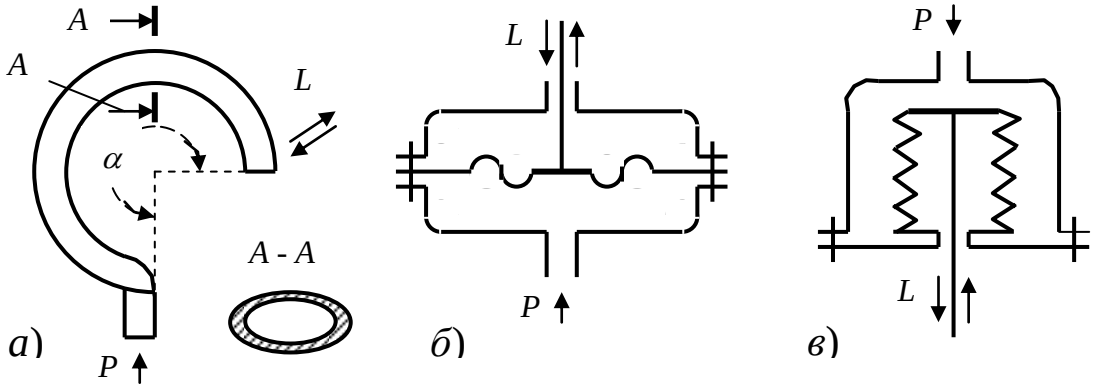


Рис. 4. Схемы упругих чувствительных элементов:
а – трубчатая пружина; *б* – плоская мембрана; *в* – сильфон

В этих приборах измеряемое давление *P* или разрежение уравновешивается силами упругого противодействия чувствительных элементов (рис. 4), деформация которых *L*, пропорциональная измеряемому параметру, посредством рычагов передается на стрелку или перо прибора. При снятии давления чувствительный элемент возвращается в первоначальное положение вследствие упругой деформации. Благодаря простоте и надежности конструкции, наглядности показаний, малым габаритам, высокой точности и широким пределам измерения эти приборы нашли широкое применение для измерения и регистрации давления или разрежения [2].

2.3. ГРУЗОПОРШНЕВЫЕ МАНОМЕТРЫ

В этих приборах измеряемое давление определяется по величине нагрузки, действующей на поршень определенной площади. Грузопоршневые манометры имеют высокие классы точности и широкий диапазон измерения. Обычно они применяются для поверки манометров других видов. Подробное описание изложено в разделе 3.

2.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАНОМЕТРЫ

Действие этих приборов основано на зависимости электрических параметров преобразователя давления от измеряемого давления. К ним относятся пьезоэлектрические манометры, манометры сопротивления, ионизационные манометры и т.д. Подробное описание этих приборов приведено в [2].

3. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

На специальном лабораторном стенде должна быть выполнена тарировка (поверка) промышленного показывающего трубчато-пружинного манометра, определены погрешности измерений и установлен класс точности прибора.

3.1. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение физических величин не может быть произведено абсолютно точно из-за несовершенства методов и средств измерений, из-за влияния условий измерений, индивидуальных особенностей оператора и других случайных причин.

Возникающие при этом отклонения результатов измерений от истинных значений измеряемой величины называют погрешностями измерений, которые могут быть выражены в виде абсолютных или относительных величин.

Абсолютная погрешность Δ, выражаемая в единицах измерений, представляет собой разность между измеряемым значением (показанием прибора) x и действительным значением измеряемой величины X:

$$\Delta = x - X\,. \tag{8}$$

Относительная погрешность γ, выражаемая в процентах, есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{X} = \frac{(x - X)\cdot 100}{X},\ \%\ . \tag{9}$$

Погрешности измерений в зависимости от характера расчетов делятся на систематические, грубые, случайные и динамические.

Вариация показаний приборов возникает при наличии гистерезисных явлений в упругих чувствительных элементах манометров.

Вариация показаний приборов рассчитывается по максимальной разности показаний манометра, полученных при повышении и понижении давлений при одном и том же значении действительного давления:

$$\nu = \left| p_{i1} - p_{i2} \right|, \tag{9, а}$$

где p_{i1}, p_{i2} – соответственно показания прибора, полученные при повышении и понижении давления при одном и том же значении действительного давления.

Для каждого прибора в зависимости от его назначения, качества и диапазона показаний устанавливается допускаемая основная погреш-

ность, характеризующая наибольшее возможное отклонение показаний прибора от действительного значения (в обе стороны).

Приведенная основная погрешность прибора δ определяется:

$$\delta = \pm \frac{\Delta_{\max}}{p_k - p_n} \cdot 100, \ \%, \qquad (10)$$

где p_k, p_n – конечное и начальное значения шкалы прибора.

По приведенной основной погрешности δ измерительные приборы разделяются на различные классы точности, условное обозначение которых соответствует размеру этой погрешности. Так, например, приборы, приведенные основные погрешности δ которых равны ±0,6 % и ±2,5 %, относятся соответственно к классам точности 0,6 и 2,5. Согласно государственному стандарту измерительные приборы могут иметь следующие классы точности: 0,01; 0,015; 0,02; 0,025; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Обычно класс прибора указывается на его циферблате.

3.2. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторная работа выполняется на стенде, схема которого приведена на рис. 5. Стенд изготовлен на базе грузопоршневого манометра МП-60 и предназначен для поверки промышленных манометров.

Лабораторный стенд состоит из:

а) измерительной колонки 10 с простым поршнем, снабженным грузоприемным устройством для непосредственного соосного наложения на него концентрических грузов;

б) гидропресса (устройства для создания предварительного давления);

в) трубопроводов и запорной арматуры.

Масляный бачок 1 служит для заполнения грузопоршневого манометра трансформаторным маслом, а вентиль 2 отключает бачок от остальной части гидропресса. Вентили 3 отключают поверяемые манометры 5 от гидросистемы. Вентили 9 отключают грузовую измерительную колонку.

Для поверки манометров открывают вентиль 2 масляного бачка и заливают масло в бачок 1. Винт пресса 7 вращается против часовой стрелки до предела посредством маховика 8 и гидросистема стенда заполняется маслом. Закрывают вентиль 2 масляного бачка и, вращая маховик 8 по часовой стрелке, устанавливают необходимое поверочное давление, которое уравновешивается грузами 11 измерительной колон-

ки 10. Во время измерения давления поршень с грузами измерительной колонки должен вращаться с угловой скоростью от 30 до 120 оборотов в минуту, в зависимости от нагрузки (при малых нагрузках скорость вращения должна быть большей во избежание быстрой остановки). Поршень в это время обязательно должен находиться во взвешенном состоянии в пределах своего рабочего хода, который определяется указателем – меткой «Б» (рис. 5).

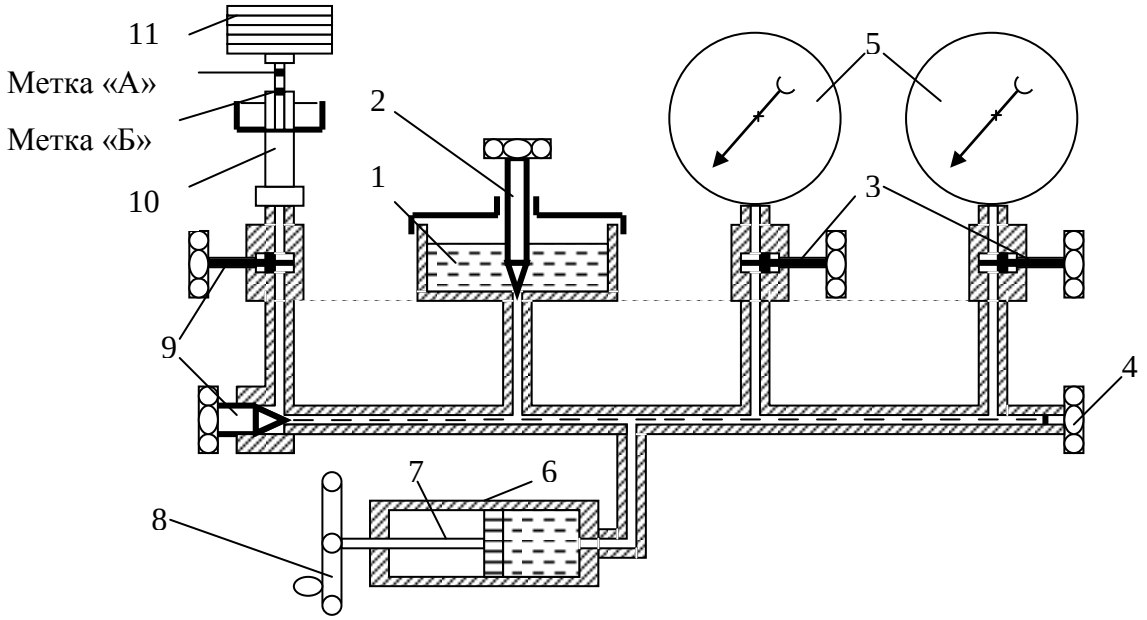


Рис. 5. Принципиальная схема лабораторного стенда:
1 – масляный бачок; 2 – запорный вентиль масляного бачка;
3 – запорные вентили к манометрам; 4 – сливная пробка;
5 – манометры; 6 – цилиндр пресса; 7 – винт пресса; 8 – маховик пресса; 9 – запорные вентили измерительной колонки;
10 – измерительная колонка; 11 – грузы

Грузопоршневой манометр МП-60, на базе которого создан стенд, выпускается с массой грузоприемного устройства и поршня, а также массой грузов, соответствующей значению нормального ускорения свободного падения тел (g = 9,8066 м/с^2). В местах эксплуатации грузопоршневых манометров вес грузов и вес грузоприемной части с поршнем должны быть приведены в соответствие со значением местного ускорения свободного падения тел. Отклонение значения ускорения, принятого в расчете при подгонке грузов, от действительного ускорения не должно превышать 0,005 % для манометров класса 0,05 и 0,02 % для манометров класса 0,2.

Вместо подгонки грузов допускается вводить поправки к показаниям манометра. При этом величина поправки Δp должна быть:

$$\Delta p = p\left(\frac{g}{9{,}8066} - 1\right), \qquad (11)$$

где p – измеряемое давление, кгс/см^2; g – ускорение свободного падения тел в месте измерения, м/с^2 (например, для Москвы g = 9,8156 м/с^2).

При отклонении температуры окружающего воздуха от нормальной (20±5 °С) для манометров класса 0,05 должна вводиться поправка:

$$\Delta p = p(\alpha_1 + \alpha_2)(20 - t), \qquad (12)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты линейного расширения материалов цилиндра и поршня; t – температура окружающего воздуха, °С.

Для приборов МП-60:

$$\alpha_1 = 18{,}5 \cdot 10^{-6}, \qquad \alpha_2 = 12{,}0 \cdot 10^{-6}.$$

Прилагаемые к прибору грузы должны иметь номер, совпадающий с номером прибора, так как грузы подгоняются к каждому прибору индивидуально.

Для получения требуемого давления на тарелку кладут такое количество грузов, чтобы указанные на них давления и давления грузоприемной части с поршнем в сумме составляли измеряемую величину.

3.3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Прежде чем приступить к выполнению работы, следует изучить устройство лабораторного стенда, назначение его элементов, изучить и строго выполнять правила техники безопасности (раздел 4).

Для записи измеряемых величин перед началом опытов подготавливается журнал наблюдений (приложение).

Далее необходимо открыть вентиль масляного бачка 2 и проверить уровень масла в бачке 1. Уровень масла должен быть не более 15 мм от верхнего края бачка при крайнем левом положении винта пресса (при вращении маховика пресса по часовой стрелке). Медленно вращая маховик пресса против часовой стрелки до упора (при открытом вентиле 2 бачка), заполняют маслом систему. После этого вентиль 2 закрывается при закрытой крышке бачка (в дальнейшем находится в закрытом положении). Вентиль 2 разрешается открывать только при крайнем правом положении винта пресса.

Давление в системе создается вращением по часовой стрелке маховика пресса, а понижается вращением против часовой стрелки.

Вначале измерений поршень измерительной колонки должен вращаться с угловой скоростью от 30 до 120 об/мин. Медленно повышая давление в системе, добиваются положения поршня измерительной колонки 10 во взвешенном состоянии в пределах своего рабочего хода, который определяется указателем – меткой «Б» на штоке поршня. В этом случае давление в системе будет равно 1 кгс/см^2. На грузоприемное устройство измерительной колонки кладут груз весом 1 кг, повышают давление до положения поршня измерительной колонки во взвешенном состоянии и производят считывание показаний поверяемых манометров. Постепенно увеличивая вес грузов измерительной колонки, производят поверку всей шкалы поверяемых манометров. Полученные результаты поверки заносят в журнал наблюдений.

Так как в трубчатых пружинных манометрах имеет место неравенство упругих деформаций при их нагрузке и разгрузке, то показания манометров поверяются при постепенно увеличивающемся и постепенно уменьшающемся давлении масла. Наибольшая разность показаний v, полученная в этом случае при одном и том же значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях, называется вариацией показаний поверяемого прибора.

Поверка производится в 10 отметках шкалы прибора через одинаковые промежутки сначала при возрастании, а затем при понижении давления для тех же отметок. Абсолютная и относительная погрешности измерений определяются по наибольшему отклонению показаний манометра от действительного значения давления. При достижении конечной отметки шкалы поверяемый манометр следует выдержать под этим давлением в течение 5 минут с целью определения упругого последействия чувствительного элемента при последующем понижении давления.

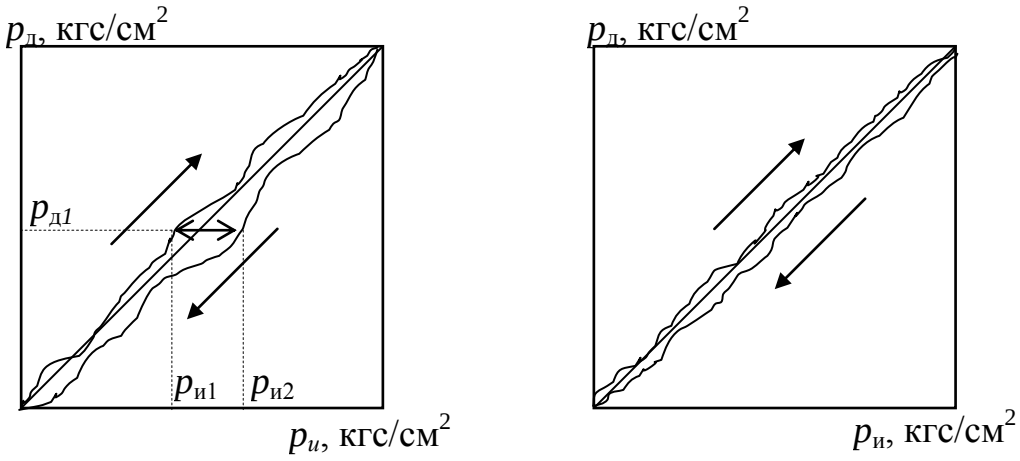
3.4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные показания поверяемых манометров в сопоставлении с действительным давлением в системе позволяют вычислить погрешности: – абсолютную, относительную и приведенную основную [(формулы (8), (9), (10)]. Максимальное полученное в опыте численное значение приведенной основной погрешности является фактическим классом точности поверяемого манометра – его следует сопоставить с паспортным классом точности поверяемого манометра.

Эти данные заносятся в журнал наблюдений.

Далее по результатам поверки строится график – характеристика поверяемого манометра (пример – рис. 6). По оси ординат откладывают действительное давление $P_д$ (по грузам измерительной колонки), а по оси абсцисс – показания поверяемого манометра $P_и$.

По графику на рис 6 вычисляется вариация показаний поверяемых манометров по формуле (9, а).



а) *б*)

Рис. 6. Характеристики поверяемых манометров:
а – технический; *б* – образцовый

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Прежде чем приступить к выполнению работы, необходимо изучить устройство лабораторного стенда и правила техники безопасности при работе в лаборатории. Запрещается:

а) оставлять стенд, находящийся под давлением, без присмотра;

б) открывать запорный вентиль масляного бачка, когда система находится под давлением;

в) повышать давление в системе, если поршень с грузами измерительной колонки находится в крайнем верхнем положении.

Следует помнить, что резкое изменение давления, а также повышение его выше максимального давления поверяемых манометров может вызвать поломку приборов.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляют на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

а) титульный лист установленной формы;

б) краткое изложение теоретических положений;

в) принципиальную схему лабораторной установки;

г) заполненную таблицу «Журнал наблюдений»;

д) численный пример обработки результатов поверки с целью нахождения класса точности поверяемых манометров;

е) графики характеристик поверяемых манометров.

Чертежи, схемы, таблицы и графики следует оформлять в соответствии с ГОСТ 2105–95 «Общие положения».

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие величины называются термодинамическими параметрами?
2. Какие вы знаете экстенсивные и интенсивные свойства веществ?
3. Какие термодинамические параметры относятся к основным?
4. Что называется абсолютным давлением? Его размерность.
5. Какова взаимосвязь между абсолютным, избыточным давлением и давлением разрежения?
6. Какие существуют приборы для измерения давления и разрежения?
7. По какому принципу работают жидкостные манометры?
8. Какое давление измеряют жидкостные манометры?
9. Принцип действия манометров с упругими чувствительными элементами.
10. Принцип действия грузопоршневого манометра.
11. Какие вам известны электрические манометры?
12. Что такое абсолютная, относительная и приведенная основная погрешности измерений и как они вычисляются?
13. Как определяется класс точности измерительного прибора?
14. Что такое вариация показаний прибора и чем она вызывается?

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Круглов, Г. А. Теплотехника [Текст] : учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 208 с. – Доступна электронная версия: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=3900

2. Теплотехника [Текст] : учебник для инж.-техн. специальностей вузов / под ред. А. П. Баскакова. – Москва : БАСТЕТ, 2010. – 328 с.

3. Мазур, Л. С. Техническая термодинамика и теплотехника [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Биотехнология» / Л. С. Мазур. – Москва : ГЭОТАР-МЕД, 2003. – 352 с.

4. Основы теплотехники и энергосбережение [Текст] : учеб. пособие [для студентов 170500 (240801) «Машины и аппараты химических производств» и 100700 (140104) «Промышленная теплоэнергетика»] / П. Т. Петрик [и др.]; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т», Каф. процессов, машин и аппаратов хим. пр-в. – Кемерово, 2006. – 244 с. – Доступна электронная версия: http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90128&type=utchposob:common

5. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140100 «Теплоэнергетика» / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – Москва : МЭИ, 2008. – 496 с.

6. Рабинович, О. М. Сборник задач по технической термодинамике [Текст] : учеб. пособие для энергомашиностроит. техникумов / О. М. Рабинович. – Москва : Машиностроение, 1973. – 344 с.

7. Кудинов, В. А. Теплотехника [Текст] : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров в области технических наук / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. – Москва : КУРС, 2015. – 424 с.

Приложение

Журнал наблюдений

№ опыта	Суммарная масса грузов, кг	Давление в системе, кгс/см^2	Показания поверяемых манометров p_u, кгс/см^2				Погрешность поверяемых манометров			
			Образцовый		Технический		Образцовый		Технический	
			При повышении давления	При понижении давления	При повышении давления	При понижении давления	Абсолютная погрешность Δ, кгс/см^2	Относительная погрешность γ, %	Абсолютная погрешность Δ, кгс/см^2	Относительная погрешность γ, %
1. 2. 3. . . . 10.										

Приведенная основная погрешность образцового манометра $\delta_о$, % –

Приведенная основная погрешность технического манометра $\delta_т$, % –

Вариация показаний образцового манометра $\nu_о$, кгс/см^2 –

Вариация показаний технического манометра $\nu_т$, кгс/см^2 –