

# Лабораторная работа 1

## ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Выполнил студент гр. \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

**Ц е л ь:** изучение приборов для измерения давления в жидкости, поверка технического манометра с трубчатой пружиной и определение точности измерения давления манометром.

### Общие сведения

Гидростатическое давление  $p$  - плотность распределения нормальных сил в жидкости:

$$p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{F}{\Delta S},$$

где  $F$  - сила, действующая на выделенную в жидкости площадку  $\Delta S$ .

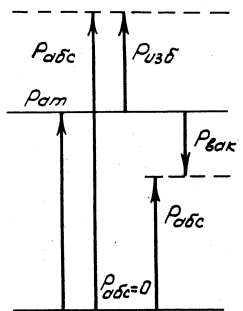


Рис. 1.1. Схема систем отсчета давления

Давление в любой точке жидкости действует нормально к элементарной площадке и не зависит от ее ориентации.

Для измерения давления применяются две системы отсчета (рис. 1.1). В одной давление отсчитывается от абсолютного нуля и называется абсолютным  $p_{абс}$ . В другой за начало отсчета принимается атмосферное давление  $p_{атм}$ . Тогда измеряемое положительное давление называется избыточным  $p_{изб}$ , или манометрическим, и представляет собой избыток абсолютного давления над атмосферным

$$p_{изб} = p_{абс} - p_{атм} \quad \text{при} \quad p_{абс} > p_{атм}.$$

Отрицательное избыточное давление называется вакуумметрическим, или вакуумом, и представляет собой недостаток абсолютного давления до атмосферного

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс} \quad \text{при} \quad p_{абс} < p_{атм}.$$

В системе СИ измерения давления -  $[Па] = 1 \text{ Н/м}^2$  (Паскаль),  $10^3 \text{ Па} = 1 \text{ кПа}$  и  $10^6 \text{ Па} = 1 \text{ МПа}$ .

Соотношение между другими единицами измерения давления:

1 техническая атмосфера = 1 кгс/см<sup>2</sup> = 10<sup>4</sup> кгс/м<sup>2</sup> = 9,81·10<sup>4</sup> Па. Последняя величина соответствует давлению столба воды высотой 10 м и ртути - 0,735 м.

Основное уравнение гидростатики определяет давление в произвольной точке покоящейся жидкости на глубине h:

$$p = p_0 + \rho gh = p_0 + \gamma h,$$

где  $p_0$  - давление на свободной поверхности жидкости;  $\gamma$  - удельный вес жидкости;  $\rho$  - плотность жидкости.

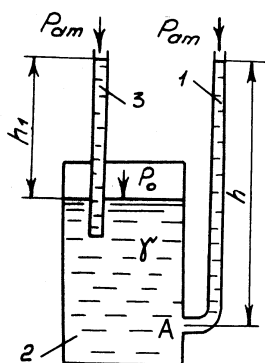


Рис. 1.2. Схема подключения пьезометров

### Классификация приборов

Приборы для измерения давления жидкости весьма разнообразны и классифицируются по различным признакам - принципу действия, роду измеряемой величины, классу точности, диапазону измеряемой величины.

По роду измеряемой величины приборы разделяют на 4 группы:

1. Барометры - приборы для измерения атмосферного давления.
2. Манометры и вакуумметры - приборы для измерения положительного избыточного давления и вакуума - отрицательного избыточного давления, взятого с положительным знаком. Приборы, измеряющие оба эти давления, называются мановакуумметрами.
3. Дифференциальные манометры - приборы для измерения разности давлений.
4. Приборы для измерения малых величин избыточного давления или вакуума - микроманометры.

Приборы для измерения давления имеют следующие классы точности: 0,005; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0. Приборы с классами точности 0,005...0,4 используются как образцовые, а остальные - как рабочие (или технические).

По принципу действия различают приборы жидкостные, пружинные, поршневые, электрические, комбинированные и др.

### Жидкостные приборы

Принцип их действия заключается в том, что измеряемое в точке подключения давление уравновешивается давлением столба жидкости, высота которого служит мерой давления.

Пьезометр применяется для измерения положительных и отрицательных избыточных давлений и представляет собой прозрачную трубку, один конец которой открыт и сообщается с атмосферой, а второй подсоединен к месту измерения давления (рис.1.2). По показаниям пьезометров 1 и 3 определяются положительные избыточные давления соответственно в точке A и на свободной поверхности  $p_0$ :

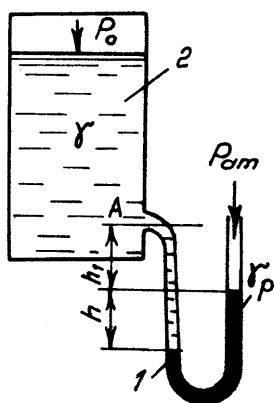


Рис. 1.3. Схема подключения U-образного мановакуумметра

U-образный мановакуумметр (рис.1.3) отличается от него тем, что в нем используется рабочая жидкость, удельный вес

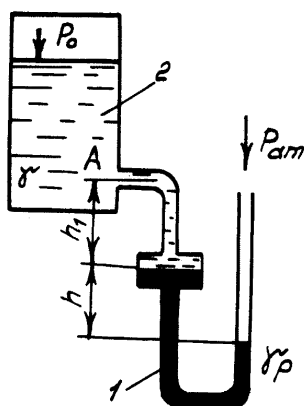


Рис. 1.4. Схема подключения чашечного мановакуумметра

которой  $\gamma_p$  значительно превышает удельный вес  $\gamma$  жидкости в сосуде. Это позволяет уменьшить высоту подъема жидкости в приборе, а соответственно - и его габариты, и увеличить диапазон измеряемых давлений.

Избыточное давление в точке A определяется из выражения

$$p_A = \rho_p g h - \rho g (h + h_1).$$

Чашечный мановакуумметр (рис.1.4) представляет собой модификацию U-образного прибора, у которого одно из колен заменено чашкой. Ее диаметр велик по сравнению с диаметром трубки, что позволяет пренебречь изменением уровня жидкости в чашке, принимая его за "0" отсчета. При необходимости поправку можно учесть, исходя из равенства изменения объемов жидкости в трубке и чашке.

По показаниям прибора (рис. 1.4) отрицательное избыточное давление в точке A находится по зависимости

$$P_A = - \rho_p g h - \rho g h_1 = - g(\rho_p h + \rho h_1) = - (\gamma_p h + \gamma h_1).$$

При положительном избыточном давлении в точке присоединения прибора уровень рабочей жидкости в трубке будет выше уровня в чашке, а разность  $(\gamma_p h - \gamma h_1)$  - положительной.

Дифференциальный манометр (рис. 1.5) обоими концами изогнутой прозрачной трубки 1 присоединяется к точкам, разность давлений в которых

$$p_A = \rho g h = \gamma h; \quad p_0 = \rho g h_1 = \gamma h_1,$$

где  $\rho$  и  $\gamma$  - плотность и удельный вес в сосуде и пьезометрических трубках.

Для измерения отрицательного избыточного давления пьезометрическая трубка должна быть изогнута и подключена к месту измерения давления, таким образом, как это показано на рис. 1.2. При этом уровень жидкости (той же самой, что и в сосуде) в правом открытом конце пьезометра будет ниже, чем в точке подсоединения прибора, который будет называться U-образным пьезометром.

необходимо определить.

В приведенном примере это разность давлений  $p_1$  и  $p_2$  на уровнях центров сосудов 3 и 2, заполненных одинаковой жидкостью с плотностью  $\rho$ .

Поверхностью равного давления будет горизонтальная плоскость 0-0, в которой давления, создаваемые столбами жидкости в левой и правой трубках, будут одинаковы. Это условие записывается уравнением:

$$p_2 + \rho g(z_2 - \Delta h) + \rho_p g \Delta h = p_1 + \rho g z_1,$$

из которого получаем после некоторых преобразований:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = (\rho_p - \rho)g \Delta h - \rho g(z_1 - z_2),$$

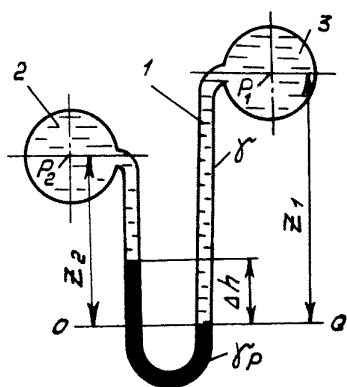


Рис.1.5. Схема подключения дифманометра

т. е. для определения разности давлений в точках присоединения прибора необходимо знать не только его показания  $\Delta h$ , но и разность высот  $(z_1 - z_2)$  мерных точек.

Для увеличения точности при измерении малых давлений в газах (до  $5 \cdot 10^3$  Па) применяют чашечные микроманометры с наклонной трубкой (рис. 1.6).

При измерении положительного избыточного давления  $p_0$  чашка 1 заполнена рабочей жидкостью, сообщается с местом его измерения в какой-либо газовой среде, а верхний конец наклонной трубки 2 - с атмосферой.

Под действием давления жидкость в трубке перемещается на величину  $l$ , а значение измеряемого давления определяется из выражения

$$p_0 = \rho g l \sin \alpha,$$

где  $\alpha$  - угол наклона трубки относительно горизонтальной плоскости.

Благодаря простоте устройства, высокой точности измерений давления и стабильности обеспечения этой точности с течением времени, жидкостные приборы стали широко применяться в лабораторной практике, а также как образцовые при проверке и градуировке шкал других приборов для измерения давления.

Практически точность измерения давления жидкостными приборами определяется главным образом точностью измерения высот.

Ошибки в величинах определения плотностей, неточности градуировки шкал обычно незначительны.

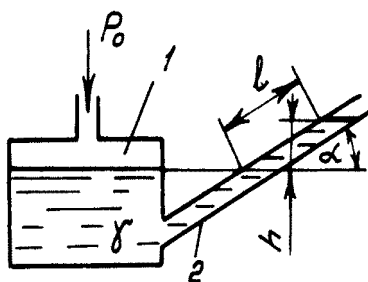


Рис. 1.6. Микроманометр

К недостаткам жидкостных приборов следует отнести их хрупкость, не-транспортабельность, узкий диапазон измеряемых давлений, не превышающих 0,4 МПа для ртутных манометров, громоздкость. При использовании ртути и других тяжелых жидкостей, пары которых ядовиты, необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие контакт этих жидкостей с атмосферой и выброс в нее.

### Пружинные приборы

Их работа основана на использовании закона Гука при деформациях под действием давления других элементов приборов - пружин, которые могут быть выполнены в виде изогнутой трубки, мембраны, сильфона и пр.

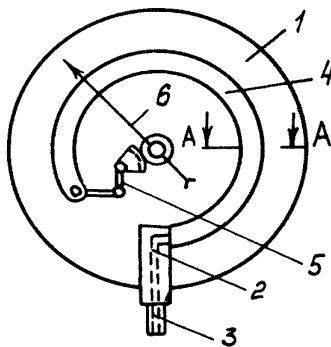


Рис. 1.7. Схема манометра с трубчатой пружиной

Манометр с одновитковой трубчатой пружиной (рис.1.7) представляет собой помещенную в корпус 1 изогнутую по окружности трубку 4 с овальной формой в поперечном сечении. Один конец ее запаян и через передаточный механизм 5 соединен со стрелкой 6. Второй конец закреплен на держателе 2 со штуцером 3, с помощью которого прибор устанавливается в место измерения давления.

При положительном избыточном давлении трубка под его воздействием частично распрямляется, и ее деформация передается на стрелку, которая поворачивается на некоторый угол, пропорциональный измеряемому давлению.

В вакуумметре под воздействием атмосферного давления, большего внутреннего давления трубка сгибается.

Некоторые трубчатые приборы, называемые мановакуумметрами, измеряют положительное избыточное давление и вакуум.

В зависимости от материала, формы и размеров упругого элемента трубчатые манометры общетехнического назначения имеют шкалы с предельными значениями от 0,05 до 1000 МПа.

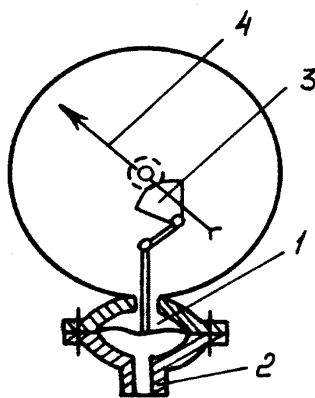


Рис. 1.8. Схема манометра с мембраной

В приборах с мембранной пружиной (рис. 1.8) упругий элемент - мембрана - представляет собой гофрированную, металлическую, круглую пластинку 1, защемленную между фланцами.

Под действием давления жидкости, поступающей через штуцер 2, мембрана прогибается и ее деформация передается на стрелку 4 прибора. Мембранные приборы применяются для измерения вакуума и избыточного давления, не превышающего 2,5 МПа.

Ценными качествами пружинных приборов являются портативность, универсальность, простота устройства и применения, огромный диапазон из-

меряемых давлений. К основным недостаткам этих приборов следует отнести нестабильность их показаний, называемую остаточными деформациями упругого элемента и изменением его механических характеристик, износом передаточного механизма и пр., что вынуждает периодически поверять пружинные приборы.

### Лабораторная установка и порядок поверки манометров

Для технических приборов целью поверки является подтверждение установленного для них класса точности, указанного на циферблате, а для лабораторных - определение величин поправок давления  $\Delta p$ , компенсирующих систематическую погрешность при различных его значениях. В этом случае результат поверки представляют в виде графика зависимости  $\Delta p = f(p)$ .

При поверке любого манометра (назовем его рабочим) его показания сравнивают с показаниями образцового, верхний предел измеряемого давления которого должен быть выше, чем у рабочего, а максимальная абсолютная систематическая погрешность ниже не менее чем в четыре раза. В качестве образцового может быть использован грузопоршневой, пружинный или (при малых давлениях) жидкостный манометр.

Установка для поверки пружинных манометров (рис. 1.9) включает в себя образцовый грузопоршневой 1 и пружинный 9 манометры, бачок с маслом 8, поверяемый рабочий манометр 10 и прессовое устройство 3, с помощью которого в системе создается необходимое давление.

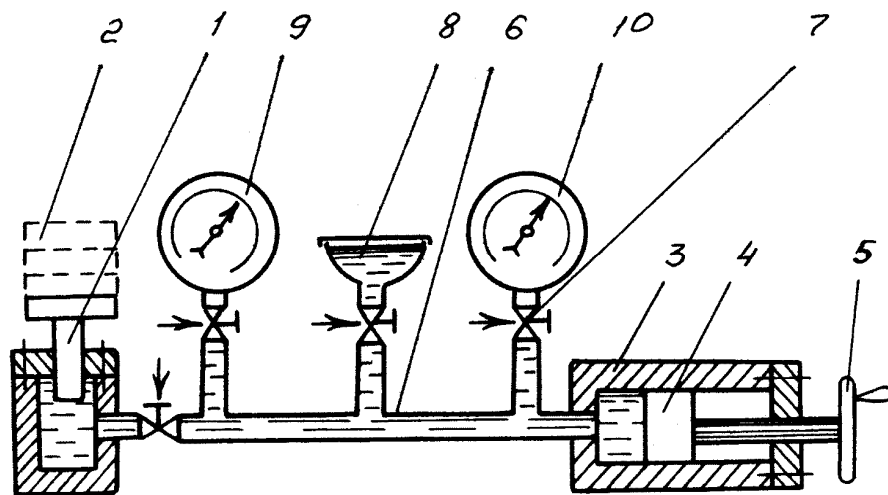


Рис. 1.9. Схема установки для поверки пружинных манометров

Сообщение каждого элемента установки с масляной системой осуществляется с помощью соответствующего вентиля. Все устройства размещены на подставке, имеющей уровни и ножки, выполненные в виде микрометрических винтов.

В грузопоршневом манометре (рис. 1.9) сила давления масла на хвостовик подвижного поршня, герметичность которого обеспечивается только за

счет точности и чистоты изготовления, уравнивается весом поршня и эталонных грузов 2, размещенных на его грузоприемной тарелке.

При известных значениях площади поперечного сечения поршня и весе грузов определение давления не вызывает затруднения. Для снижения силы трения поршня он должен приводиться во вращение со скоростью 0,5...2 об/с.

Грузопоршневые манометры являются приборами высокой точности (классы от 0,005 до 0,2) и применяются главным образом для поверки пружинных манометров, градуировки их шкал, тарировки датчиков и пр.

В данной лабораторной работе мы не будем им пользоваться, и в качестве истинных значений давления примем показания образцового пружинного манометра 9.

### **Условия и порядок выполнения работы**

При поверке механических манометров должны выполняться следующие условия:

установка должна быть расположена в зоне, свободной от вибраций, и с помощью микрометрических винтов выставлена в горизонтальное положение по уровням;

температура окружающей среды должна находиться в пределах 17...23 °С;

отсчет показаний каждого прибора производить после легкого постукивания по нему согнутым пальцем;

при отсчете луч зрения наблюдателя должен быть перпендикулярен циферблату прибора и проходить при этом через указательный конец стрелки;

показания приборов отсчитываются с точностью до 0,1 деления шкалы.

### **Манометр поверяют в такой последовательности**

1. Записать номер, ГОСТ, класс точности и предельное значение шкалы поверяемого манометра;
2. Назначить поверяемые точки шкалы прибора, которые должны быть равномерно распределены по ней. Число поверяемых точек зависит от класса точности прибора. Манометры класса 4...6 поверяют в трех точках; 1...2,5 - в пяти, классов 0,5 и выше - в десяти точках;
3. Закрывать вентили у всех манометров (рис. 1.9);
4. Заполнить цилиндр маслом, для чего установить поршень (при открытом вентиле бачка) сначала в крайнее левое положение, затем медленным вращением маховика перевести в крайнее правое положение;
5. Открыть вентили пружинных манометров и записать первоначальный отсчет по их шкалам в протокол;
6. Закрывать вентиль бачка и создать поршнем последовательно через определенный интервал сначала плавно повышающееся, затем плавно понижающееся давление в пределах всей шкалы рабочего манометра и записать показания давления поверяемого и образцового манометров в протокол;

7. Последние два пункта повторить.

### **Обработка результатов измерений**

Вычислить среднее арифметическое из показаний поверяемого манометра при данном давлении

$$p_{cp} = \frac{p_n + p_p + p_n^* + p_p^*}{4},$$

где  $p_n$  - показания поверяемого манометра при наборе давления;  $p_n^*$  - то же после постукивания по циферблату;  $p_p$  - показания поверяемого манометра при разгрузке;  $p_p^*$  - то же после постукивания по циферблату поверяемого манометра.

Вычислить абсолютную и относительную систематическую погрешности измерений при каждом значении  $p_o$ :

$$\Delta p = p_{cp} - p_o; \quad \delta = \left( \frac{\Delta p}{p_o} \right) \cdot 100\%.$$

где  $p_o$  - показания образцового манометра.

Определить класс точности поверяемого манометра:

$$K = \frac{\Delta p_{max}}{N} \cdot 100,$$

где  $N$  - верхний предел шкалы прибора. По результатам вычислений построить график  $\Delta p = f(p_{cp})$ .

Результаты вычислений заносятся в таблицу 1.1

### **Содержимое отчета**

Отчет должен содержать наименование и цель работы, рисунки жидкостных и механических приборов, схему экспериментальной установки, порядок проведения работы, расчетные формулы, таблицу с измеренными и расчетными величинами, график зависимости  $\Delta p = f(p_{cp})$ , выводы по работе.



Таблица 1.1.

## Измеряемые и расчетные величины

Номер замера	Измеренные величины					Расчетная величина		
	$p_o$	$p_n$	$p_p$	$p_n^*$	$p_p^*$	$p_{cp}$	$\Delta P$	$\delta$
	кг/см <sup>2</sup>					кг/см <sup>2</sup>	%	
1								
2								
3								
4								
5								

**Контрольные вопросы**

1. Что такое абсолютное, избыточное, вакуумметрическое давление?
2. Объясните преимущества и недостатки механических манометров.
3. Что такое класс точности прибора?
4. Объясните цель поверки прибора.
5. Как воспользоваться зависимостью  $\Delta p = f(p_{cp})$ ?