

1.1 Описание физической величины

Давление является одним из важнейших физических параметров, и его измерение необходимо как в расчетных целях, например для определения расхода, количества и тепловой энергии среды, так и в технологических целях, например для контроля и прогнозирования безопасных и эффективных гидравлических режимов напорных трубопроводов, используемых на предприятии.

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

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

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней:

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

Давление, измеряемое относительно вакуума, называют давлением абсолютным (ДА). Барометрическое давление (ДБ) - это абсолютное давление земной атмосферы. Оно зависит от конкретных условий измерения: температуры воздуха и высоты над уровнем моря. Давление, которое больше или меньше атмосферного, но измеряется относительно атмосферного, называют соответственно избыточным (ДИ) или давлением разрежения, вакуумметричес-

					2МСб1.2.09.010000ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Фамилия И.О.			1 Методы и средства измерения давления	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		Фамилия И.О.					1	18
<i>Н.контр.</i>		Фамилия И.О.				<i>Кафедра ТМ</i>		
<i>Утв.</i>								

ким (ДВ). Очевидно, что $ДА=ДБ+ДИ$ или $ДА=ДБ-ДВ$. При измерении разности давлений сред в двух различных процессах или двух точках одного процесса, причем таких, что ни одно из давлений не является атмосферным, такую разность называют дифференциальным давлением (ДД).

Единицы измерения давления определяются одним из двух способов:

1) через высоту столба жидкости, уравнивающего измеряемое давление в конкретном физическом процессе: в единицах водяного столба при 4°C (мм вод. ст. или м вод. ст.) или ртутного столба при 0°C (мм рт. ст.) и нормальном ускорении свободного падения;

2) через единицы силы и площади.

В Международной системе единиц (СИ), принятой в 1960 году, единицей силы является Н (ньютон), а единицей площади – м^2 . Отсюда определяется единица давления паскаль $\text{Па}=1 \text{ Н}/\text{м}^2$ и ее производные, например, килопаскаль ($1 \text{ кПа}=10^3 \text{ Па}$), мегапаскаль ($1 \text{ МПа}=10^3 \text{ кПа}=10^6 \text{ Па}$). Наряду с системой СИ в области измерения давления продолжают использоваться единицы и других, более ранних систем, а также внесистемные единицы.

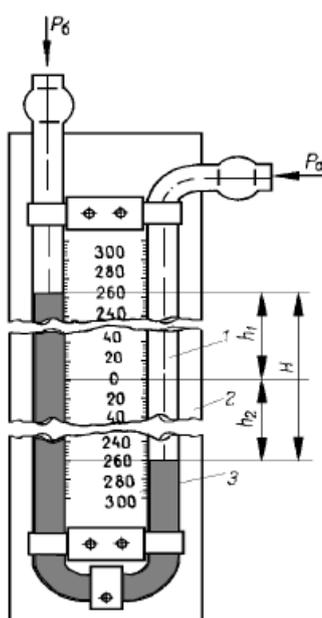
1.2 Методы и средства измерения давления

Для прямого измерения давления жидкой или газообразной среды соотображением его значения непосредственно на шкале, табло или индикаторе первичного измерительного прибора применяются манометры. Если отображение значения давления на самом первичном приборе не производится, но он позволяет получать и дистанционно передавать соответствующий измеряемому параметру сигнал, то такой прибор называют измерительным преобразователем давления (ИПД) или датчиком давления. Возможно объединение этих двух свойств в одном приборе (манометр-датчик).

					2МСБ1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

Переносной U-образный манометр (рисунок 2), представляющий собой согнутую в виде буквы U стеклянную трубку 1.

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



1 - трубка; 2 - доска; 3 - шкала

Рисунок 2 - U-образный манометр

Система находится в равновесии, если гидростатическое давление столба жидкости в открытом колене уравновешивается давлением в другом колене:

$$P_a S = P_6 S + H S g (\rho - \rho_1),$$

где P_a - абсолютное давление в аппарате или трубопроводе, Па;

P_6 - атмосферное давление, Па;

S - площадь сечения трубки, m^2 ;

									Лист
									4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

2МСБ1.2.09.010000ПЗ

H - разность уровней жидкости в обоих коленах или высота уравновешивающего столба жидкости, м;

ρ - плотность жидкости в манометре, кг/м³;

ρ_1 - плотность среды, находящейся над жидкостью в манометре, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Если давление в пространстве, скоторым соединен прибор, ниже атмосферного, то жидкость в трубках переместится в обратном направлении, и высота ее столба будет соответствовать разрежению (вакууму). Присоединив оба свободных конца трубки прибора к двум полостям с разными давлениями, можно по разности уровней жидкости в приборе определить разность давлений.

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

$$H = h_1 + h_2.$$

Чашечный манометр, является разновидностью U-образного (рисунок 3). Одно из колен чашечного манометра выполнено в виде сосуда (чашки) 1, диаметр которого больше диаметра трубки 2, представляющей собой другое колено. Полость с измеряемым давлением (большеатмосферного) соединяется с чашкой, а трубка соединяется с атмосферой. Так как площадь сечения чашки больше площади сечения трубки, жидкость под действием давления в чашке опускается на высоту h_1 , которая меньше высоты подъема в трубке h_2 . Обычно площадь сечения чашки значительно больше сечения трубки, поэтому величиной понижения уровня жидкости в чашке пренебрегают, и результат отсчитывают только по высоте столба жидкости в трубке от начального значения. Однако, при этом возникает погрешность, вызванная понижением уровня жидкости в чашке, что изменяет положение нуля шкалы. Например, при диаметре чашки D в десять раз большем диаметра трубки d , получим:

$$h_1 = 0,01h_2 ,$$

					2МСБ1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

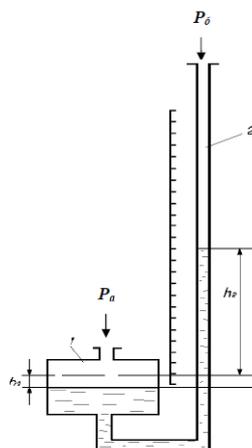
т. е. относительная погрешность составит 1%. Таким образом, погрешность прибора зависит от отношения площадей сечений трубки и чашки и может быть сколь угодно малой. На практике площади сечений чашки S и трубки s выбирают обычно такими, чтобы отношением s/S можно было пренебречь. В основном для чашечных приборов $s/S \leq 1/400$.

Давление определяется как:

$$P_{и} = P_{а} - P_{б} = h_2 g \left(1 + \frac{s}{S} \right) (\rho - \rho_1) .$$

К преимуществам таких приборов относят: малую погрешность, простоту устройства, дешевизну, быстроту установки и пуска, взрывобезопасность.

Недостатки этих манометров — плохая видимость шкалы, хрупкость вследствие наличия стеклянных частей, возможность выброса рабочей жидкости при внезапном увеличении давления, невозможность дистанционной передачи и автоматической записи показаний, незначительные пределы измерения.



1-чашка; 2-трубка

Рисунок 3-чашечный манометр

1.2.2 Деформационные датчики давления

В промышленной практике измерения давления и разности давлений — широкое применение получили деформационные (с упругим чувствительным

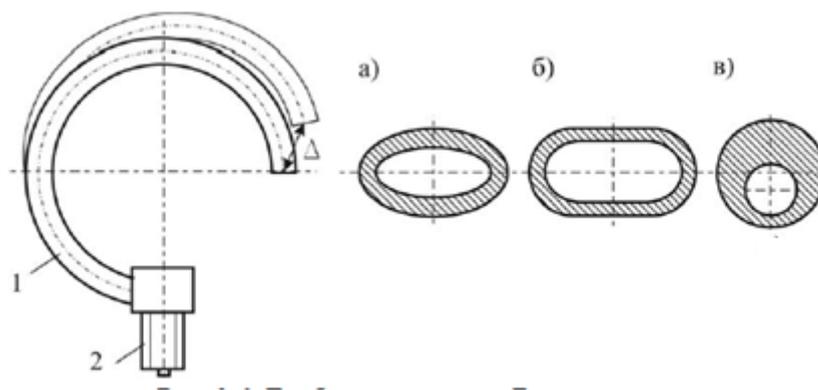
					2МСБ1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

элементом) приборы. В этих приборах давление определяется по деформации упругих чувствительных элементов или по развиваемой ими силе, которые преобразуются передаточными механизмами в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора.

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

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

Манометры с трубчатой пружиной - один из наиболее распространенных видов деформационных приборов. Чувствительным элементом таких приборов является согнутая по дуге окружности и запаянная с одного конца трубка 1 (трубка Бурдона) эллиптического, плоскоовального сечения или круглого сечения (рисунок 4). Третий вид трубок выполняют из легированной стали и используют для измерения высоких давлений (свыше 98 МПа).



1 – трубка; 2 – держатель

Рисунок 4 - Трубчатая пружина Бурдона:

- а – эллиптического сечения; б – плоскоовального сечения;
в – круглого сечения

Одним концом трубка заделана в держатель 2, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к полости, в которой измеряется давление. Внутри держателя есть канал, соединяющийся с внутренней полостью труб

					2МСб1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

ки. Если в трубку подать жидкость, газ или пар под избыточным давлением, то кривизна трубки уменьшается и она распрямляется; при создании разрежения внутри трубки кривизна ее возрастает, и трубка скручивается. Свойство изогнутой трубки некруглого сечения изменять величину изгиба при изменении давления обусловлено изменением формы сечения. Под действием давления внутри трубки эллиптическое или овальное сечение, деформируясь, приближается к круговому, что приводит к раскручиванию трубки, т.е. угловому перемещению ее свободного конца на небольшую величину Δ .

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

Перемещение свободного конца до определенного предела пропорционально давлению $\Delta = k \cdot P$. При дальнейшем повышении давления линейная зависимость нарушается – деформация начинает расти быстрее увеличения давления. Предельное давление, при котором еще сохраняется линейная зависимость между перемещением конца трубки и давлением, называется пределом пропорциональности трубки P_p . Предел пропорциональности является важнейшей характеристикой трубки. При переходе давления за предел пропорциональности трубка приобретает остаточную деформацию и становится непригодной для измерения. Чтобы не допустить возникновения остаточной деформации, наибольшее рабочее давление P_{max} (разрежение или разность давлений) назначают ниже предела пропорциональности P_p . Отношение $P_p/P_{max} = k$ называется коэффициентом запаса. Во всех случаях коэффициент k должен быть больше единицы. Для максимального увеличения долговечности трубки и снижения влияния упругого последействия принимают $k = 1,35 \div 2,5$.

В соответствии с этой шкалу манометра (верхний предел измерения) выбирают таким образом, чтобы рабочий предел измерения (наибольшее рабочее давление) был не более $3/4$ верхнего предела измерения при посто-

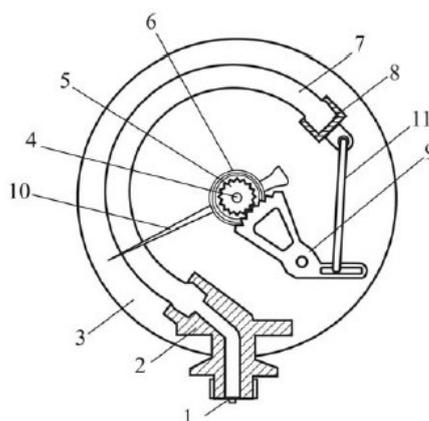
					2МСб1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

янном давлении и не более $2/3$ верхнего предела измерения при переменном давлении.

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

Перемещение Δ свободного конца трубки под действием давления весьма невелико, поэтому в конструкцию прибора введен передаточный механизм, увеличивающий масштаб перемещения конца трубки. Конструкция манометра с трибно-секторным передаточным механизмом показана на рисунке 5.

Манометры с трубчатой пружиной обычно изготовляют на давление до 1000 МПа.



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

Рисунок 5 - Манометр с трубчатой пружиной

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

					2МСБ1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Мембрана представляет собой тонкий диск определенного диаметра, выполненный из металла или специального упругого материала, который жестко закрепляется по периметру в измерительном блоке (рисунок 6). Под воздействием измеряемого давления

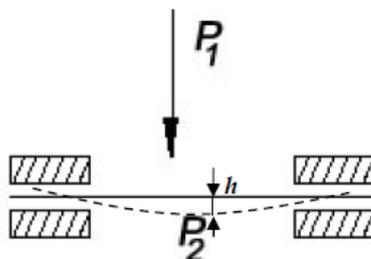


Рисунок 6 - Мембрана и ее прогиб

P_1 (при условии $P_1 > P_2$, где P_2 – внешнее давление) происходит прогиб мембраны на величину h , что в дальнейшем приводит к преобразованию этого перемещения во вращательное движение стрелки прибора.

Мембраны делят на упругие и «вялые». Упругие мембраны выполняют из тонких металлических пластин (сталь, бронза, латунь). Они обладают достаточно большой собственной жесткостью, их статические характеристики, представляющие зависимость перемещения h центра мембраны или развиваемой силы от давлений P_1 и P_2 или перепада $\Delta P = P_1 - P_2$, обычно нелинейные. Применяют плоские и гофрированные упругие мембраны (рисунок 7). Наличие гофров делает статическую характеристику мембраны более линейной.

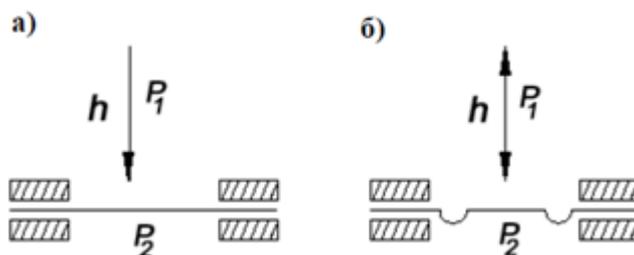


Рисунок 7 - Упругие мембраны: а – плоская; б – гофрированная

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

					2МСБ1.2.09.010000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10