

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Плотность однородного жидкого тела – отношение его массы к объему:

$$\rho = \frac{m}{W},$$

где m – масса однородного жидкого тела, кг; W – объем жидкого тела, м³.

Плотность пресной воды при температуре $t = 4$ °С $\rho = 1000$ кг/м³.

Для сжимаемых жидкостей (газов) чаще всего используют величину обратную плотности – *удельный объем* – объем, содержащий единицу массы:

$$\vartheta = \frac{1}{\rho}, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Удельный вес жидкости – отношение веса жидкого тела к его объему

$$\gamma = \frac{G}{W} \text{ или } \gamma = \frac{mg}{W} = \rho g,$$

где G – вес жидкого тела, Н; W – объем жидкого тела, м³, g – ускорение свободного падения, м/с².

Для пресной воды $\gamma_{\text{в}} = 9810$ Н/м³.

Относительный вес жидкости – отношение веса данной жидкости к весу такого же объема дистиллированной воды при $t = 4$ °С.

$$\delta = \frac{\gamma_{\text{ж}}}{\gamma_{\text{в}}} = \frac{\rho_{\text{ж}}g}{\rho_{\text{в}}g} = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}},$$

где $\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес жидкости, Н/м³; $\gamma_{\text{в}}$ – удельный вес воды, Н/м³; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, кг/м³.

Температурное расширение – изменение объема жидкости в связи с изменением температуры. Характеризуется *коэффициентом температурного расширения*.

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt},$$

где β_t – коэффициент температурного расширения, град⁻¹; W – объем жидкости до изменения температуры, м³; dW – изменение объема, м³; dt – изменение температуры, °С.

Сжимаемость – свойство жидкости изменять свой объем при изменении давления. Характеризуется **коэффициентом объемного сжатия**:

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp},$$

где W – объем жидкости до изменения давления, м³; dW – изменение объема, м³; dp – изменение давления, Па.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, называется **модулем объемной упругости жидкости**:

$$E_{\text{ж}} = \frac{1}{\beta_p}.$$

Вязкость – это способность жидкости оказывать сопротивление скольжению одного слоя жидкости относительно другого. Различают динамическую μ и кинематическую ν вязкости. Первая входит в закон жидкого трения Ньютона, выражающий касательное напряжение τ через поперечный градиент скорости du/dy :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}.$$

Кинематическая вязкость связана с динамической соотношением

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

¹ Здесь и в последующих задачах атмосферное давление принимается равным 1 технической атмосфере = 98,1 кПа.

2. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Гидростатическое давление p жидкости в данной точке – это физическая величина, которая равна пределу, с соотносящимися силой давления P к площади ω , на которую она действует, при стремлении ω к нулю:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta\omega} \right). \quad (2.1)$$

В жидкости, находящейся в состоянии абсолютного равновесия (неподвижна относительно Земли или движется равномерно, без ускорения и прямолинейно), любая горизонтальная плос-

кость является поверхностью равных давлений, но по мере того как перемещение осуществляется вниз, давление увеличивается линейно пропорционально удельному весу или плотности. При перемещении вверх давление в жидкости убывает столь же интенсивно. Эта зависимость носит название основного уравнения гидростатики, алгебраически записывается следующим образом:

$$p = p_0 + \gamma h, \quad (2.1)$$

где p – давление в некоторой (нижележащей) точке жидкости, Па; p_0 – давление на свободной поверхности жидкости (в вышележащей точке), Па; h – заглубление рассматриваемой точки под уровень свободной поверхности (расстояние между рассматриваемыми точками жидкости по вертикали), м.

При определении силы гидростатического давления, как правило, оперируют манометрическим (избыточным) давлением или вакуумом, так как атмосферное давление действует на расчетную конструкцию со всех сторон и поэтому его можно не принимать во внимание. При определении силы давления часто используется так называемая пьезометрическая плоскость или плоскость атмосферного давления – горизонтальная плоскость, проходящая через уровень жидкости в пьезометре, присоединенном к сосуду. Поверхность жидкости на уровне пьезометрической плоскости подвергается лишь воздействию атмосферного давления. Если сосуд с жидкостью открыт (на свободную поверхность действует атмосферное давление), то пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью жидкости. В случае же герметично закрытого сосуда она может располагаться выше или ниже свободной поверхности. В общем случае расстояние по вертикали до пьезометрической плоскости определяется по формуле

$$h = \frac{p}{\gamma}.$$

Расстояние h откладывается от той точки жидкости, давление в которой равно p , вверх, если оно манометрическое, и вниз – в случае вакуума.

Задания для самостоятельной работы

Задача 2.1

Определить высоту h , на которую поднимается жидкость в пьезометре (рис. 2.1), если избыточное давление в точке присоединения пьезометра $p =$ кПа. Относительный вес жидкости $\delta =$. Удельный вес воды $\gamma_v = 9,81$ кН/м³.

Таблица 2.1 – Таблица исходных данных к заданию для самостоятельной работы

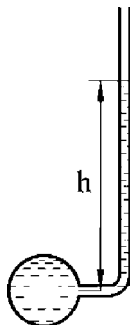
№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
δ	1,0							0,9						
p , кПа	49	68,8	88,3	108	128	147	167	49	68,8	88,3	108	128	147	167
№ вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
δ	0,8							0,7						
p , кПа	49	68,8	88,3	108	128	147	167	49	68,8	88,3	108	128	147	167

Задача 2.2.

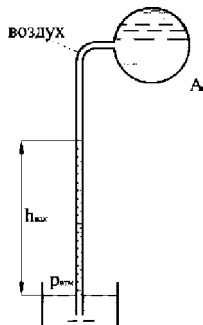
Определить при помощи жидкостного вакуумметра вакуум и абсолютное давление в сосуде A , заполненном воздухом (рис. 2.2), при показании вакуумметра $h_v =$ мм. Относительный вес жидкости $\delta =$. Атмосферное давление $p_{\text{атм}} = 98,1$ кПа = 98,1 кН/м².

Таблица 2.2 – Таблица исходных данных к заданию для самостоятельной работы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
h_v , мм	300	400	500	600	700	800	1000	300	400	500	600	700	800	1000
δ	1,0							0,9						
№ вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
h_v , мм	300	400	500	600	700	800	1000	300	400	500	600	700	800	1000
δ	0,8							0,7						



**Рисунок 2.1 – К задаче 2.1
для самостоятельной работы**



**Рисунок 2.2 – К задаче 2.2
для самостоятельной работы**

Задача 2.3

Определить избыточное и абсолютное давление в точке *A* закрытого резервуара с водой (рис. 2.3), если высота столба ртути в трубке дифманометра $h =$ мм, а линия раздела между ртутью и водой расположена ниже точки *B* на величину $h_1 =$ мм. Точка *B* выше точки *A* на величину $h_2 =$ мм.

**Таблица 2.3 – Таблица исходных данных к заданию
для самостоятельной работы**

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
h , мм	0,4							0,5						
h_1 , мм	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
h_2 , мм	1,0							0,8						
№ вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
h , мм	0,6							0,7						
h_1 , мм	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
h_2 , мм	0,5							0,4						

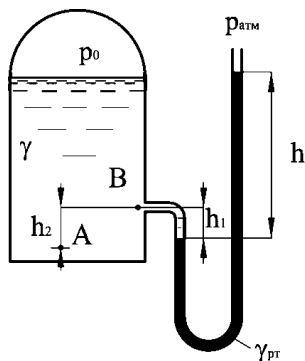


Рисунок 2.3 – К задаче 2.3 для самостоятельной работы

Задача 2.4

Два резервуара, основания которых расположены в одной горизонтальной плоскости, заполнены жидкостями, имеющими разные удельные веса, соединены изогнутой трубкой, в которой находится некоторое количество ртути между точками A и B и воздушный пузырь между точками B и C (рис. 2.4). Определить показания манометров левого p_1 и правого p_2 , если в пьезометре, отходящем от правого резервуара, уровень свободной поверхности находится на высоте h_6 над плоскостью оснований резервуаров. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Таблица 2.4 – Таблица исходных данных к заданию для самостоятельной работы

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\gamma_1, \text{кН/м}^3$	10	10	10	10	10	12	12	12	12	10	10	10	10	10
$\gamma_2, \text{кН/м}^3$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	22	22	22	22	22
$\rho_{рт}, \text{кг/м}^3$	13 600													
$h_1, \text{мм}$	2	2,1	2,2	2,4	2	2,1	2,4	2,3	2,2	2,2	2,3	2,1	2,4	2,1
$h_2, \text{мм}$	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4
$h_3, \text{мм}$	2,5	2,5	2,4	2,3	2,5	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3
$h_4, \text{мм}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$h_5, \text{мм}$	2,3	2,3	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3
$h_6, \text{мм}$	2,8	3	3	3	2,8	3	3	3	3	4	4	4	4	3
№ вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$\gamma_1, \text{кН/м}^3$	15	15	15	15	15	17	17	17	17	17	17	17	17	17
$\gamma_2, \text{кН/м}^3$	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	27	27	27	27

$\rho_{пр}, \text{кг/м}^3$	13 600													
$h_1, \text{мм}$	2,2	2,3	2,1	2,4	2,1	2,2	2,3	2,1	2,4	2,1	2,2	2,6	2,1	2,4
$h_2, \text{мм}$	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6
$h_3, \text{мм}$	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,7	2,3
$h_4, \text{мм}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8
$h_5, \text{мм}$	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,3	2,2
$h_6, \text{мм}$	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4,3

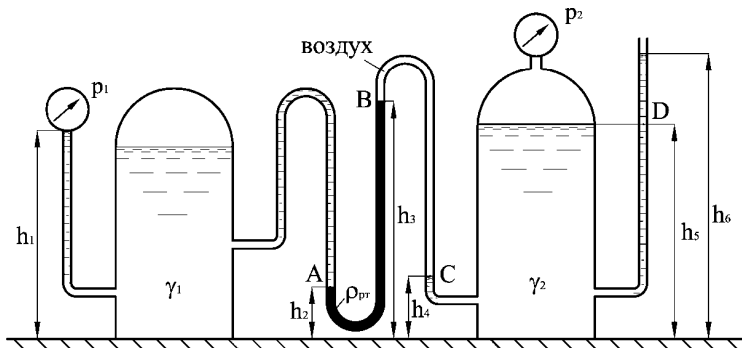


Рисунок 2.4 – К задаче 2.4 для самостоятельной работы