

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

для практических занятий

по дисциплине
«Механика жидкости и газа»

Направление подготовки 08.03.01 «Строительство»
Направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 1: Жидкость

1.1. Теоретическая часть

Гидравлика – наука, изучающая законы равновесия и механического движения жидкостей и разрабатывающая методы применения этих законов для решения различных прикладных задач.

Жидкость есть физическое тело, обладающее двумя отличительными свойствами:

1. Она весьма мало изменяет свой объем при изменении давления или температуры (сходна в этом с твердыми телами).

2. Она обладает текучестью, благодаря чему жидкость не имеет собственной формы и принимает форму того сосуда, в который она помещена (в этом она сходна с газом).

Плотность характеризует распределение массы M жидкости или газа по объему W . В произвольной точке A плотность

$$\rho_A = \lim_{\Delta W \rightarrow 0} \Delta M / \Delta W,$$

где ΔM – элементарная масса, заключенная в элементарном объеме ΔW , который стягивается в точку A .

Плотность однородной жидкости равна отношению массы жидкости M к занимаемому ей объему W :

$$\rho = M / W.$$

Размерность плотности $[\rho] = M^1 \times L^{-3}$, где M – единицы массы, а L – единицы длины. В системе СИ $[\rho] = \text{кг/м}^3$ в технической системе $\text{кгс}\times\text{с}^2/\text{м}^4$.

Плотность жидкостей зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности при росте температуры. Плотность воды максимальна при $t = 4^\circ\text{C}$, в этом аномальность ее поведения. Для условий основных гидравлических расчетов плотность воды можно принимать равной 1000 кг/м^3 .

Удельный вес однородной жидкости определяется как отношение веса жидкости (газа) G к занимаемому объему W :

$$\gamma = G / W .$$

Учитывая, что $G = M \times g$, получим зависимость между плотностью и удельным весом, используемую в расчетах.

$$\gamma = \frac{G}{W} = \frac{Mg}{W} = \rho g, \text{ то есть } \gamma = \rho g .$$

Единицы удельного веса в системе СИ: Н/м³.

Относительным удельным весом жидкости называется отношение удельного веса жидкости $\gamma_{ж}$ при температуре t к удельному весу воды $\gamma_{в}$ при температуре 4°C:

$$\delta = \gamma_{ж} / \gamma_{в} .$$

Сжимаемость – свойство жидкостей изменять свой объем при изменении давления – характеризуется коэффициентом объемного сжатия (сжимаемости), представляющим относительное изменение объема жидкости, при изменении давления Δp на единицу:

$$\beta_w = - \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta p}, \text{ Па}^{-1},$$

где $\Delta W = W_1 - W$, $\Delta p = p_1 - p$ – изменения объема и давления;

W_1, W – соответственно объемы жидкости при конечном p_1 и начальном p давлениях.

Знак (-) указывает на то, что положительному приращению давления (увеличению) Δp соответствует отрицательное приращение (уменьшение) объема ΔW .

Учитывая неизменность массы, можно представить β_w несколько в ином виде:

$$- \frac{\Delta W}{W} = \frac{\Delta p}{\rho} \quad \text{и тогда} \quad \beta_w = \frac{1}{\rho} \frac{\Delta p}{\Delta p},$$

где $\Delta \rho = \rho_1 - \rho$ является изменением плотности;

ρ_1 – плотность при конечном давлении p_1 ;

ρ – плотность при начальном давлении p .

То есть коэффициент объемного сжатия определяет также относительное изменение плотности при изменении давления на единицу.

Величина, обратная объемному коэффициенту сжатия, называется объемным модулем упругости жидкости.

$$E_{жс} = \frac{1}{\beta_w},$$

или $E_{жс} = \rho \frac{\Delta p}{\Delta \rho}$, откуда $\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{E_{жс}}$.

Эти уравнения выражают закон Гука для жидкостей.

Объемный модуль упругости жидкости $E_{жс}$ зависит от температуры и давления, поэтому жидкости не всегда точно следуют закону Гука.

Сжимаемость жидкостей незначительна и в рассматриваемых в гидравлике явлениях, позволяет считать её несжимаемой, кроме отдельных случаев, которые оговариваются отдельно, например, гидравлический удар.

То есть это можно утверждать, когда давление незначительно. Но если бы вода была действительно абсолютно несжимаемой, то уровень воды в океанах поднялся примерно на 30 м.

Температурное расширение – это свойство жидкостей изменять свой объем при изменении температуры. Характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения (температурного расширения), представляющим относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на единицу и при постоянном давлении:

$$\beta_T = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta T}, K^{-1},$$

где $\Delta W = W_1 - W$ – изменение объема жидкости,

$\Delta T = T_1 - T$ – изменение температуры жидкости,

W_1, W – соответственно объемы жидкости при конечной T_1 и начальной T температурах.

Поверхностное натяжение. Капиллярные явления

Условия, в которых находятся молекулы жидкости в объеме и непосредственно у границ раздела жидкости с газом или твердыми стенками, отличаются. Система сил оказывается неравномерной, и появляется равнодействующая, направленная внутрь или наружу объема.

Система, находящаяся в равновесии, занимает то из возможных для нее положений, которое соответствует минимуму энергии. Эти силы направлены по касательной и называются силами поверхностного натяжения. Коэффициент поверхностного натяжения можно выразить:

$$\sigma = -R / L ,$$

где R – сила поверхностного натяжения,

L – длина линии, ограничивающая поверхность раздела.

Сила поверхностного натяжения оказывает на жидкость дополнительное давление, нормальное к её поверхности, и может быть определена по формуле:

$$\rho = 2\sigma / r ,$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения,

r – радиус трубки, в которой находится жидкость.

Размерность – СИ [Н/м], сГС – [дин/см]. Для системы вода–воздух при $t = 20^\circ \text{C}$ $\sigma = 0,073$ Н/м, ртуть–воздух – $\sigma = 0,48$ Н/м.

Силы молекулярного взаимодействия между жидкостью и твердыми стенками создают искривление свободной поверхности вблизи стенок (вогнутое или выпуклое, смачиваемое или несмачиваемое).

В результате этого уровень в капиллярах повышается или понижается. Высота капиллярного подъема (опускания) жидкости:

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g r} , \text{ м},$$

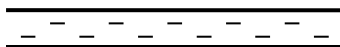
где r – радиус трубки,

θ – краевой угол.

При малых радиусах r подъем может быть значительным. Например, для воды высота капиллярного подъема: $h = 29,8 / d$, а для ртути – опускание $h = 10,15 / d$, где диаметр d принимается в мм.

Благодаря действию поверхностного натяжения объем жидкости, на который не действуют никакие другие силы, принимают сферическую форму. С этим свойством связана способность жидкости образовывать капли (рис. 1.1).

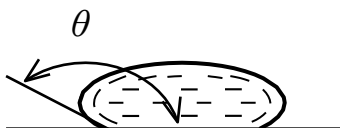
Полное смачивание $\theta = 0$



Частичное $\theta < \pi / 2$



Частичное несмачивание
 $\pi / 2 < \theta < \pi$



Полное несмачивание $\theta = \pi$

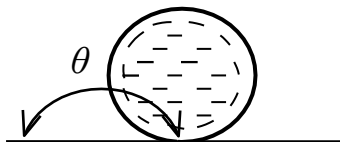


Рис. 1.1. Форма капли

1.2. Примеры решения задач

Задача 1.2.1. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $l = 1$ км для повышения давления до $p_2 = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Решение. Вместимость водовода

$$W_g = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 10^3 = 196,2 \text{ м}^3.$$

Объем воды ΔW , необходимый для подачи в водовод для повышения давления, найдем из соотношения для коэффициента объемного сжатия

$$\beta_w = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p} = \frac{\Delta W}{(W_g + \Delta W) \cdot \Delta p}.$$

Значения коэффициента объемного сжатия воды β_W , (Па^{-1}) в функции от давления и температуры примем по [3, прилож. I]:

$$\beta_W = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1},$$

тогда

$$\Delta W = \frac{W_{\text{с}} \cdot \beta_W \cdot \Delta p}{1 - \beta_W \cdot \Delta p} = \frac{196,2 \cdot 5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9 \left(1 - \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} \right)} = 0,492 \text{ м}^3.$$

Задача 1.2.2. Определить среднюю толщину $\delta_{\text{отл}}$ солевых отложений в герметичном водоводе внутренним диаметром $d_{\text{с}} = 0,3$ м и длиной $L = 2$ км (рис. 1.2). При выпуске воды в количестве $\Delta W = 50$ л давление в водоводе падает на величину $\Delta p = 1 \cdot 10^6$ Па. Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно.

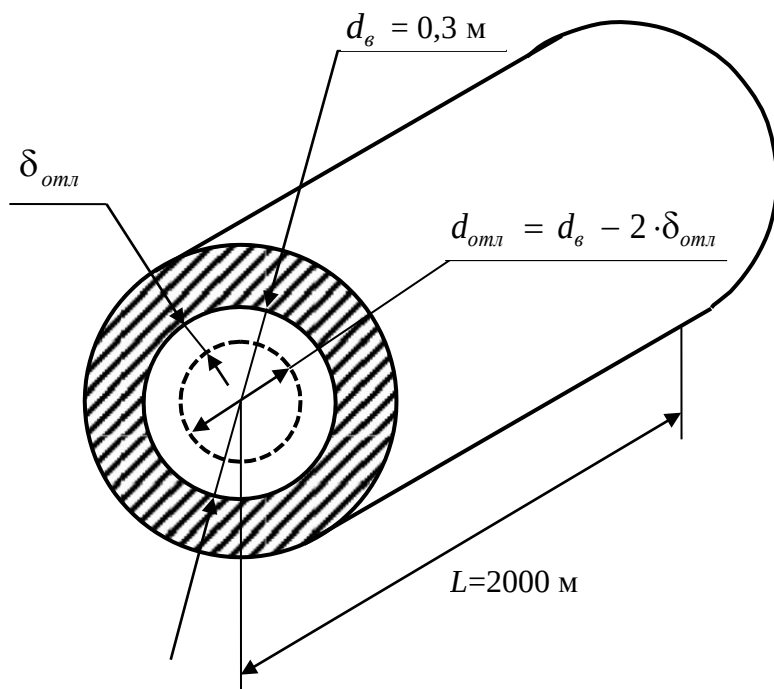


Рис. 1.2. К решению задачи 1.2.2

Решение. Объем воды в водоводе с отложениями

$$W = \frac{\Delta W}{\beta_w \cdot \Delta p}.$$

Коэффициент объемного сжатия воды [3, прилож. I]

$$\beta_w = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1},$$

тогда

$$W = \frac{\Delta W}{\beta_w \cdot \Delta p} = \frac{0,05 \cdot 2 \cdot 10^9}{1 \cdot 10^6} = 100 \text{ м}^3.$$

Средний внутренний диаметр водовода с отложениями

$$d_{\text{отл}} = \sqrt{\frac{4W}{\pi \cdot L}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 100}{3,14 \cdot 2 \cdot 10^3}} = 0,252 \text{ м}.$$

Средняя толщина отложений

$$\delta_{\text{отл}} = \frac{d - d_{\text{отл}}}{2} = \frac{0,3 - 0,252}{2} = 0,024 \text{ м} = 24 \text{ мм}.$$

Задача 1.2.3. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W = 0,4 \text{ м}^3$. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 20 до 90°C?

Решение. Плотность воды при температуре 20°C по интерполяционной формуле $\rho = 1003,1 - 0,1923 \cdot t - 2,503 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$ равна $\rho_{20^0} = 998 \text{ кг/м}^3$, масса воды $M = W \cdot \rho = 0,4 \cdot 998 = 399 \text{ кг}$, плотность воды при температуре 90°C $\rho_{90^0} = 965 \text{ кг/м}^3$.

Объем, занимаемый водой при $t = 90^\circ\text{C}$, составит

$$W = \frac{M}{\rho_{90^0}} = \frac{399}{965} = 0,414 \text{ м}^3.$$

Дополнительный объем составит $\Delta W = 0,414 - 0,4 = 0,014 \text{ м}^3$.

Задача 1.2.4. На сколько процентов увеличится начальный объем воды, спирта и нефти при увеличении температуры на 10 °C? (Коэффициенты температурного расширения: воды

$$\beta_{20^{\circ}C} = 0,00015 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}; \quad \text{спирта} \quad \beta_{20^{\circ}C} = 0,00110 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}; \quad \text{нефти} \\ \beta_{20^{\circ}C} = 0,00060 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})$$

Решение. Увеличение начального объема жидкости с увеличением температуры определим по уравнению коэффициента температурного расширения:

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta t}, \text{ K}^{-1}.$$

$$\text{Тогда для воды} \quad \frac{\Delta W_1}{W} = 0,00015 \cdot 10 = 0,0015 \text{ (0,15 \%);}$$

$$\text{спирта} \quad \frac{\Delta W_2}{W} = 0,00110 \cdot 10 = 0,011 \text{ (1,1 \%);}$$

$$\text{нефти} \quad \frac{\Delta W_3}{W} = 0,00060 \cdot 10 = 0,0060 \text{ (0,6 \%)}.$$

Задача 1.2.5. Определить давление внутри капли воды диаметром $d = 0,001$ м, которое создают силы поверхностного натяжения. Температура воды $t = 20$ °С.

Решение. Давление внутри капли определим по формуле Лапласа для криволинейных поверхностей:

$$P_{\text{нов}} = \frac{2\sigma}{r},$$

где σ – поверхностное натяжение, определяемое по формуле для воды при $t = 20$ °С, соприкасающейся с воздухом, $\sigma = 0,0726$ Н/м [3];
 r – радиус капли. Тогда

$$P_{\text{нов}} = \frac{2 \cdot 0,0726}{5 \cdot 10^{-4}} = 292 \text{ Па}.$$

Задача 1.2.6. Определить высоту подъема воды в стеклянном капилляре диаметром $d = 0,001$ м при температуре воды $t_1 = 20$ °С и $t_2 = 80$ °С.

Решение. Высоту капиллярного подъема определим по формуле [2, с. 11]

$$h_{\text{нод}} = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r}, \text{ м,}$$

где σ – поверхностное натяжение, $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м [3];

$\rho = 998$ кг/м³ – плотность воды.

$$\text{Тогда } h_{\text{нод}1} = \frac{2 \cdot 7,3 \cdot 10^{-2}}{998 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} \approx 0,029 \text{ м} \approx 2,9 \text{ см.}$$

Поверхностное натяжение воды при нагревании ее до 80 °С определяется по формуле зависимости поверхностного натяжения от температуры [2, с. 11]:

$$\sigma = \sigma_0 - \beta \cdot \Delta t, \text{ Н/м,}$$

где σ_0 – поверхностное натяжение при $t = 0$ °С, $\sigma_0 = 0,0726$ Н/м;

β – коэффициент температурного расширения воды,

$\beta = 0,00015$ °С⁻¹;

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 80 - 20 = 60^\circ\text{C}.$$

Тогда

$$\sigma_2 = 7,26 \cdot 10^{-2} - 0,00015 \cdot 60 = 6,3 \cdot 10^{-2} \text{ Н/м.}$$

Плотность воды по табл. [3] для $t_2 = 80$ °С $\rho_2 = 972$ кг/м³.

Высота капиллярного подъема воды при ее нагревании до 80 °С:

$$\frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r} = \frac{2 \cdot 6,3 \cdot 10^{-2}}{972 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}} = 0,026 \text{ м} = 2,6 \text{ см.}$$

$$h_{\text{нод}2} = \frac{2\sigma}{\rho \cdot g \cdot r} = \frac{2 \cdot 6,3 \cdot 10^{-2}}{972 \cdot 9,8 \cdot 5 \cdot 10^{-4}}$$

Таким образом, с увеличением температуры высота капиллярного подъема воды уменьшается.

Задача 1.2.7. Рассмотреть явление капиллярности в стеклянных пьезометрических трубках диаметрами $d_1 = 5$ мм, $d_2 = 2$ мм, $d_3 = 10$ мм для воды, спирта (рис. 1.3, а) и ртути (рис. 1.3, б)

$$(h_{\text{в.КАП}} = \frac{30}{d}, h_{\text{рт.КАП}} = -\frac{11,5}{d}, h_{\text{сп.КАП}} = \frac{10,15}{d}).$$

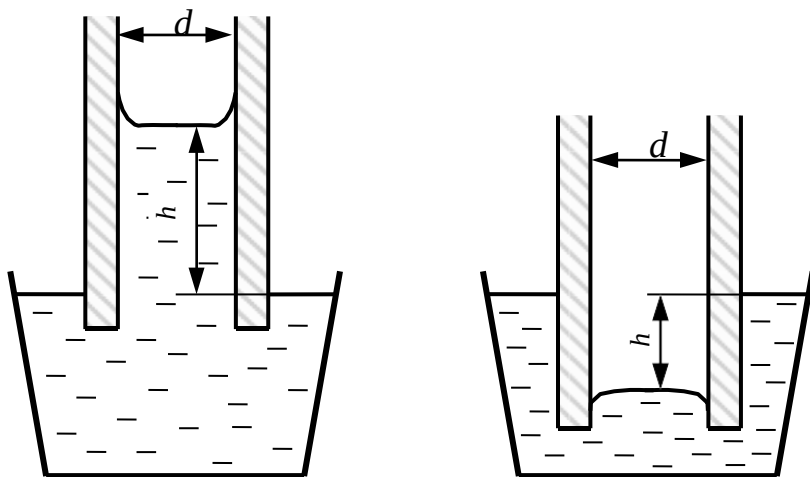


Рис. 1.3. Явление капиллярности в стеклянных пьезометрических трубках

Решение. Высоту капиллярного поднятия жидкости h в пьезометрической стеклянной трубке можно определить по формулам:

$$\text{для воды } h_{\text{В.КАП}} = \frac{30}{d}; \quad \text{для ртути } h_{\text{РТ.КАП}} = -\frac{11,5}{d}; \quad \text{для спирта}$$

$$h_{\text{СП.КАП}} = \frac{10,15}{d}.$$

$$\text{Тогда для воды } h_{\text{В.КАП 1}} = \frac{30}{5} = 6 \text{ мм}; \quad h_{\text{В.КАП 2}} = \frac{30}{2} = 15 \text{ мм};$$

$$h_{\text{В.КАП 3}} = \frac{30}{10} = 3 \text{ мм}.$$

$$\text{Для ртути } h_{\text{РТ.КАП 1}} = -\frac{11,5}{5} = -2,3 \text{ мм}; \quad h_{\text{В.КАП 2}} = -\frac{11,5}{2} = -5,75 \text{ мм};$$

$$h_{\text{РТ.КАП 3}} = -\frac{11,5}{10} = -1,15 \text{ мм}.$$

$$\text{Для спирта } h_{\text{СП.КАП 1}} = \frac{10,15}{5} = 2,03 \text{ мм}; \quad h_{\text{СП.КАП 2}} = \frac{10,15}{2} = 5,08 \text{ мм};$$

$$h_{\text{СП.КАП 3}} = \frac{10,15}{10} = 1,02 \text{ мм}.$$

Задача 1.2.8. Определить изменение давления в закрытом резервуаре с бензином с изменением температуры от 20 до 70°C.

Решение. Согласно закону Гука:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{E_{\text{ж}}},$$

Следовательно,

$$\Delta p = \frac{E_{\text{ж}} \cdot \Delta \rho}{\rho},$$

где $\Delta \rho$ – увеличение плотности;

ρ – плотность бензина;

$E_{\text{ж}}$ – объемный модуль упругости жидкости (для бензина $E_{\text{ж}} = 1,3 \cdot 10^3$ МПа).

Плотность нефтепродуктов при температуре t , °C определяется по формуле

$$\rho_t = \frac{\rho_{20^\circ\text{C}}}{1 + \beta_t (t - 20)},$$

где β_t – коэффициент температурного расширения, учитывающий относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1 °C; для нефтепродуктов $\beta_t = 0,0006$ °C⁻¹;

$\rho_{20^\circ\text{C}}$ – плотность рассматриваемого нефтепродукта при $t = 20^\circ\text{C}$; $\rho_{20^\circ\text{C}} = 800$ кг/м³ (справочная величина).

Следовательно

$$\rho_{70^\circ\text{C}} = \frac{\rho_{20^\circ\text{C}}}{1 + 0,0006(70 - 20)} = \frac{800}{1 + 0,03} = 776,7 \text{ кг/м}^3,$$

Тогда $\Delta \rho = 800 - 776,7 = 23,3$ кг/м³, а

$$\Delta p = \frac{23,3 \cdot 1,3 \cdot 10^3}{800} = 38 \text{ МПа.}$$

1.3. Контрольные задачи

Задача 1.3.1. Определить среднюю толщину $\delta_{отл}$ солевых отложений в герметичном водоводе внутренним диаметром $d_в = 0,2$ м и длиной $l = 3$ км (рисунок 1.4). При выпуске воды в количестве $\Delta W = 0,03$ м³ давление в водоводе падает на величину $\Delta p = 1 \cdot 10^6$ Па. Отложения по диаметру и длине водовода распределены равномерно.

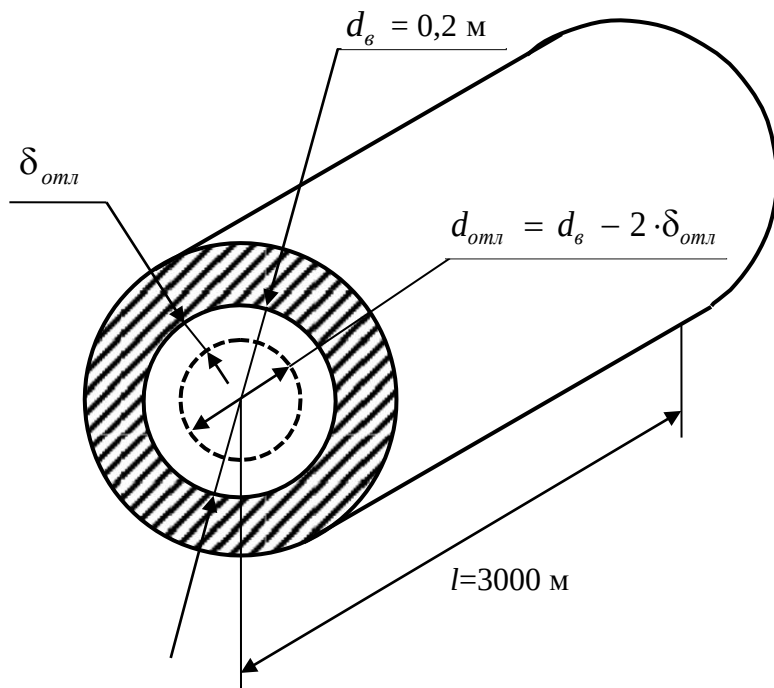


Рис. 1.4. К решению задачи 1.3.1

Задача 1.3.2. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 700$ мм и длиной $l = 500$ м для повышения давления до $p_2 = 2 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Задача 1.3.3. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W=100$ л. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 10 до 80°C ? Плотность воды определить по интерполяционной формуле $\rho=1003,1-0,1923 \cdot t-2,503 \cdot 10^{-3} \cdot t^2$, где t – температура в $^{\circ}\text{C}$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 2: Начало гидродинамики.

Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Виды гидростатического давления

2.1. Теоретическая часть

2.1.1. Основное уравнение гидростатики

Гидростатикой называется раздел гидравлики, рассматривающий равновесие жидкостей и их взаимодействие с твердыми стенками.

В покоящейся жидкости возможен лишь один вид напряжения – гидростатическое давление, силы вязкости в покое не проявляются.

Гидростатическое давление обладает тремя свойствами:

- гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует (по направлению к площадке, а не от нее);

- гидростатическое давление действует одинаково по всем направлениям, то есть не зависит от угла наклона площадки, на которую оно действует;

- гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве, то есть $p = f(x, y, z)$ и увеличивается с возрастанием глубины ее погружения.

Согласно основному закону гидростатики, давление в любой точке покоящейся жидкости складывается из давления на свободную поверхность жидкости p_0 и давления, зависящего от глубины

погружения h , то есть давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости ρgh . Аналитически основной закон гидростатики записан в виде формулы (2.1).

$$p = p_0 + \rho gh, \text{ Па.} \quad (2.1)$$

2.1.2. Закон Паскаля

Давление, приложенное к жидкости (внешнее давление), передается внутри жидкости во все стороны без изменения, то есть всякое изменение внешнего давления приводит к изменению давления в каждой точке жидкости. В гидравлике это понятие носит название закона Паскаля.

Закон Паскаля имеет широкое применение в технике и используется при конструировании гидравлических установок, действие которых основано на передаче давления внутри жидкости.

По этому принципу работают гидравлические аккумуляторы, гидравлический пресс, мультипликаторы, домкраты, и др. устройства.

2.1.3. Виды гидростатического давления

Гидростатическое давление делится на полное или абсолютное, избыточное и вакуум. Полное или абсолютное гидростатическое давление в любой точке или сечении жидкости равно внешнему давлению на ее свободной поверхности p_0 , сложенному с давлением столба жидкости ρgh :

$$p = p_0 + \rho gh.$$

Разность между абсолютным гидростатическим и атмосферным давлением называется избыточным или манометрическим давлением, характеризующим избыток давления по сравнению с атмосферным.

$$p_{абс} = p_{атм} + p_{изб},$$

$$p_{изб} = p_{абс} - p_{атм}.$$

Если на поверхности жидкости давление больше атмосферного, то избыточное давление в рассматриваемом случае будет равно:

$$p_{изб} = p_0 - p_{атм} + \rho gh,$$

таким образом, избыточное давление в этом случае создается как за счет веса столба жидкости ρgh , так и за счет разности давлений $\Delta p_0 = p_0 - p_{атм}$. В инженерной практике очень часто приходится встречаться со случаями, когда полное гидростатическое давление оказывается меньше атмосферного $p_{абс} < p_{атм}$. В таких случаях говорят о разрежении или вакууме. *Вакуумом* (вакуумметрическим давлением) называется разность между атмосферным и абсолютным давлением, характеризующая недостаток давления до окружающего атмосферного:

$$p_{вак} = p_{атм} - p_{абс}.$$

Взаимосвязь между абсолютным, избыточным и вакуумметрическим давлением изображена на рис. 2.1.

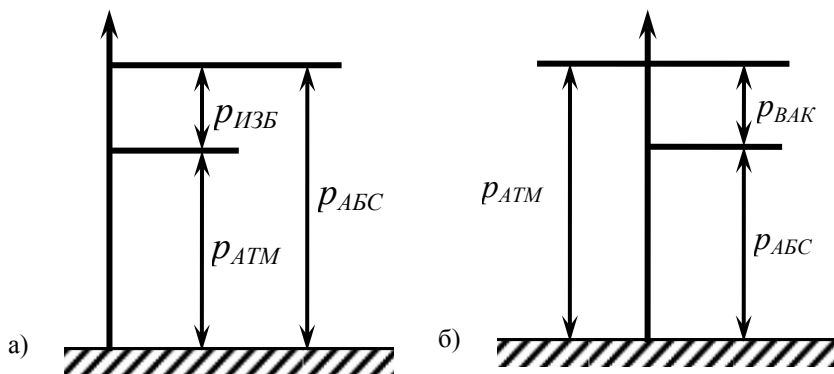


Рис. 2.1. Взаимосвязь между давлением: а) – абсолютным и избыточным; б) – абсолютным и вакуумметрическим

2.2. Примеры решения задач

Задача 2.2.1. Два горизонтальных цилиндрических трубопровода А и В содержат соответственно минеральное масло плотностью 900 кг/м^3 и воду плотностью 1000 кг/м^3 . Высоты жидкостей, представленные на рисунке 2.2, имеют следующие значения:

$h_m = 0,2 \text{ м}$; $h_{пт} = 0,4 \text{ м}$; $h_г = 0,9 \text{ м}$. Зная, что гидростатическое давление на оси в трубопроводе А равно $0,6 \cdot 10^5 \text{ Па}$, определить давление на оси трубопровода В.

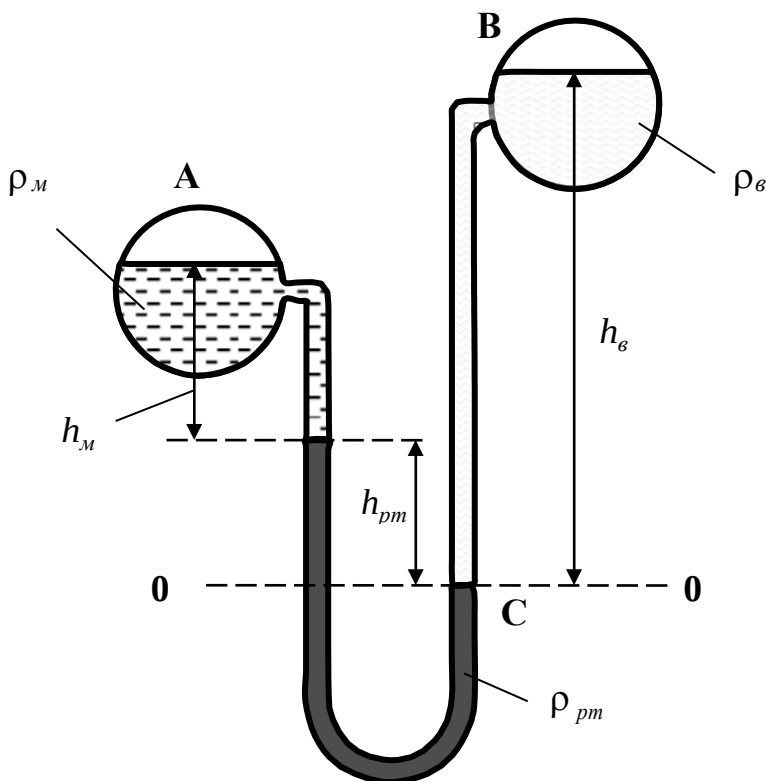


Рис. 2.2. К решению задачи 2.2.1

Решение. Через точку С проведем плоскость сравнения 0 – 0, для которой запишем равенство давлений:

$$p_m + \rho_m g h_m + \rho_{pm} g h_{pm} = \rho_в g h_в + p_в$$

Тогда

$$\begin{aligned} p_в &= p_m + \rho_m g h_m + \rho_{pm} g h_{pm} - \rho_в g h_в = \\ &= 0,6 \cdot 10^5 + 900 \cdot 9,81 \cdot 0,2 + 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,4 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,9 = 1,063 \cdot 10^5 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Задача 2.2.2. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,42$ м. Определить разрежение под поршнем (рис. 2.3).

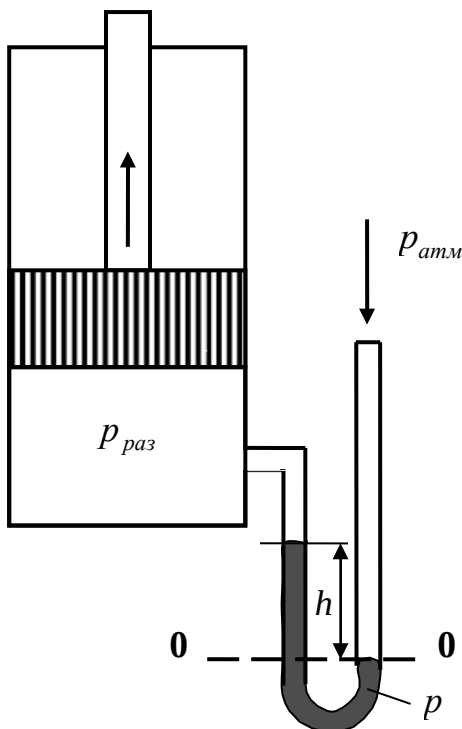


Рис. 2.3. К решению задачи 2.2.2

Решение. Разрежение под поршнем определим по формуле

$$p_{раз} = p_{атм} - p_{абс},$$

где $p_{атм}$ – атмосферное давление;

$p_{абс}$ – абсолютное давление в цилиндре,

$$p_{абс} = p_{атм} - \rho gh.$$

Тогда

$$p_{раз} = \rho gh = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,42 = 0,412 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Задача 2.2.3. Избыточное давление воды в океане на глубине $h = 300$ м равно $31,5 \cdot 10^5$ Па. Требуется определить: плотность морской воды на этой глубине в общем виде; плотность морской

воды на этой глубине в районах Северного полюса и экватора ($g_{пол} = 9,831 \text{ м/с}^2$; $g_{экв} = 9,781 \text{ м/с}^2$).

Решение. Плотность воды на глубине $h = 300 \text{ м}$ определим следующим образом:

$$\rho = \frac{p_{изб}}{g \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 300} = 1070 \text{ кг/м}^3.$$

Плотность воды в районе Северного полюса

$$\rho_{пол} = \frac{p_{изб}}{g_{пол} \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,831 \cdot 300} = 1068 \text{ кг/м}^3;$$

в районе экватора

$$\rho_{экв} = \frac{p_{изб}}{g_{экв} \cdot h} = \frac{31,5 \cdot 10^5}{9,781 \cdot 300} = 1073,5 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.2.4. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.4). Какова должна быть плотность глинистого раствора, применяемого при бурении (ρ_{min}), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 2500 \text{ м}$; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3200 \text{ м}$; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 600 \text{ м}$; плотность подземных вод $\rho_в = 1100 \text{ кг/м}^3$; плотность нефти $\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$.

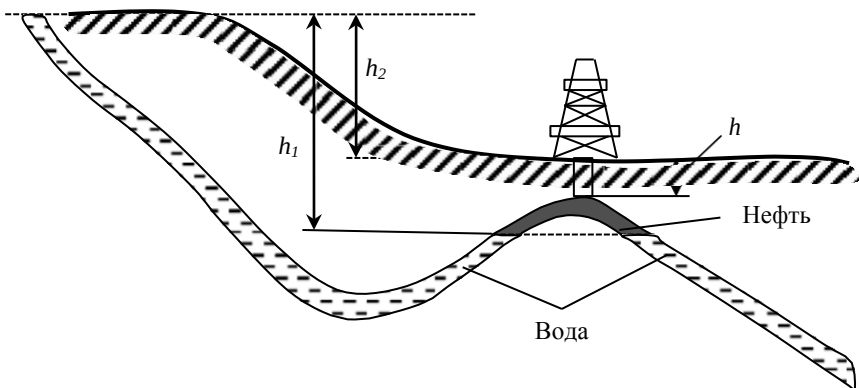


Рис. 2.4. К решению задачи 2.2.4

Решение. Составим уравнение равновесия системы грунтовые воды – нефть:

$$\rho_{\text{с}} g h_1 = \rho_{\text{мин}} g h + \rho_{\text{н}} g (h_1 - h_2 - h)$$

Отсюда

$$\rho_{\text{мин}} = \frac{\rho_{\text{с}} g h_1 - \rho_{\text{н}} g (h_1 - h_2 - h)}{g h} = \frac{1100 \cdot 10 \cdot 3200 - 850 \cdot 10 \cdot 100}{10 \cdot 2500} = 1374 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2.2.5. Для проведения опыта по сжатию используют поршневой пресс, имеющий размеры: диаметр цилиндра $D = 105$ мм, диаметр штока поршня $d_1 = 55$ мм. Насос, управляющий прессом, имеет поршень диаметром $d = 18$ мм и рычаги с размерами $a = 100$ мм и $b = 900$ мм (рис. 2.5). Определить давление p в гидравлической сети и усилие F на конце рычага насоса, если усилие сжатия $Q = 10^5$ Н.

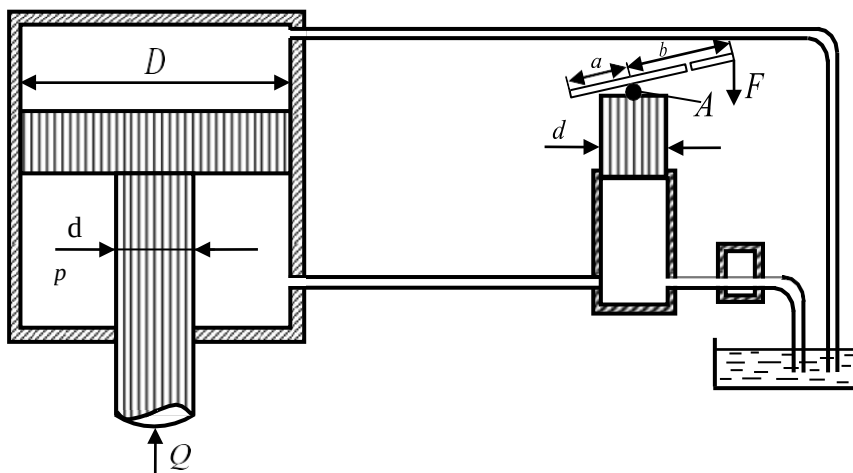


Рис. 2.5. К решению задачи 2.2.5

Решение. Усилие сжатия Q создает в гидравлической сети давление

$$p = \frac{Q}{S} = \frac{10^5}{\pi (D^2 - d^2)} = \frac{10^5}{3,14(0,105^2 - 0,055^2)} = 4 \cdot 10^6 \text{ Н / м}^2$$

Усилие, приложенное к рычагам пресса:

$$F(a + b) = Pa, \text{ откуда } F = \frac{1020 \cdot 0,1}{0,1 + 0,9} = 102H.$$

2.3. Контрольные задачи

Задача 2.3.1. В гидравлическом прессе площадь малого поршня $S_1 = 2 \text{ см}^2$, площадь большого – $S_2 = 200 \text{ см}^2$. Сила, действующая на малый поршень, $F_1 = 400 \text{ Н}$, на большой – $F_2 = 36 \text{ кН}$. Какой выигрыш в силе даёт этот пресс? Почему пресс не даёт максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнями и стенками пресса?

Задача 2.3.2. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,8 \text{ м}$. Определить разрежение под поршнем (рис. 2.6).

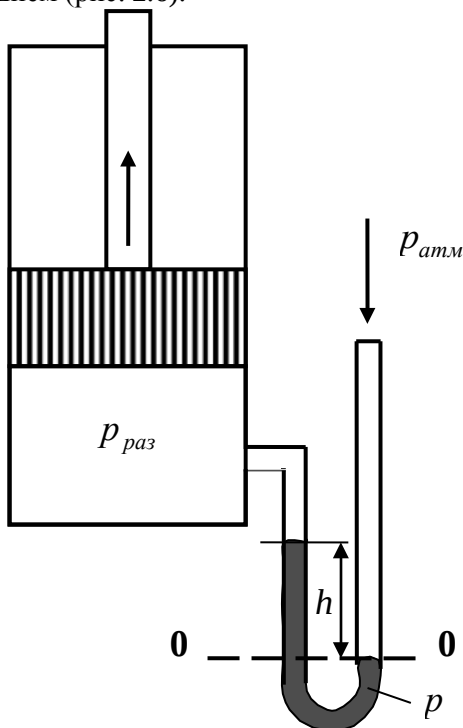


Рис. 2.6. К решению задачи 2.3.2

Задача 2.3.3. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.7). Какова должна быть плотность глинистого раствора, применяемого при бурении ($\rho_{\min}$), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 800$ м; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3000$ м; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 1000$ м; плотность подземных вод $\rho_s = 1100$ кг/м³; плотность нефти $\rho_n = 880$ кг/м³.

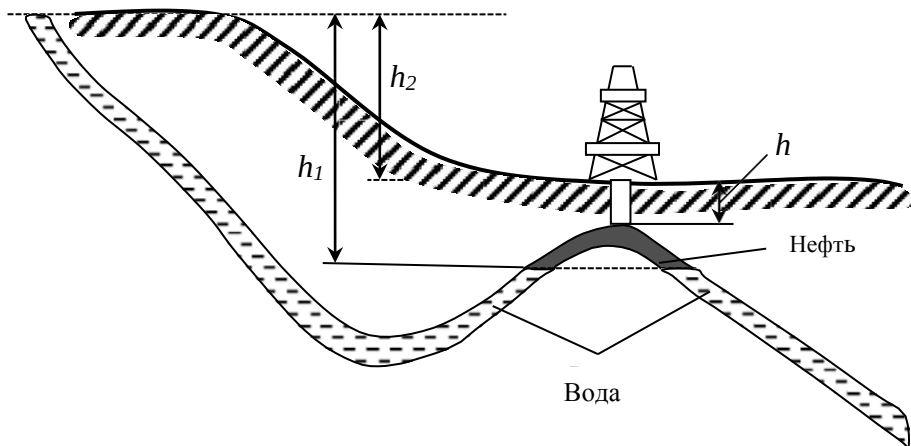


Рис. 2.7. К решению задачи 2.3.3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема: 3 Гидравлические сопротивления

Сила давления жидкости на плоскую и криволинейную стенку

Теоретическая часть

Сила давления на плоскую стенку. Положение центра давления

Определим, как рассчитывается сила гидростатического давления на плоскую стенку, которая наклонена под углом α , при одностороннем воздействии жидкости (рис. 3.1). Одну координатную ось направим вдоль стенки, а другую по линии пересечения стенки со свободной поверхностью. Для удобства развернем проекцию стенки в плоскость чертежа. Выделим на ней фигуру площадью ω . Между любой координатой y и глубиной погружения h существует следующая связь: $h = y \cdot \sin \alpha$.

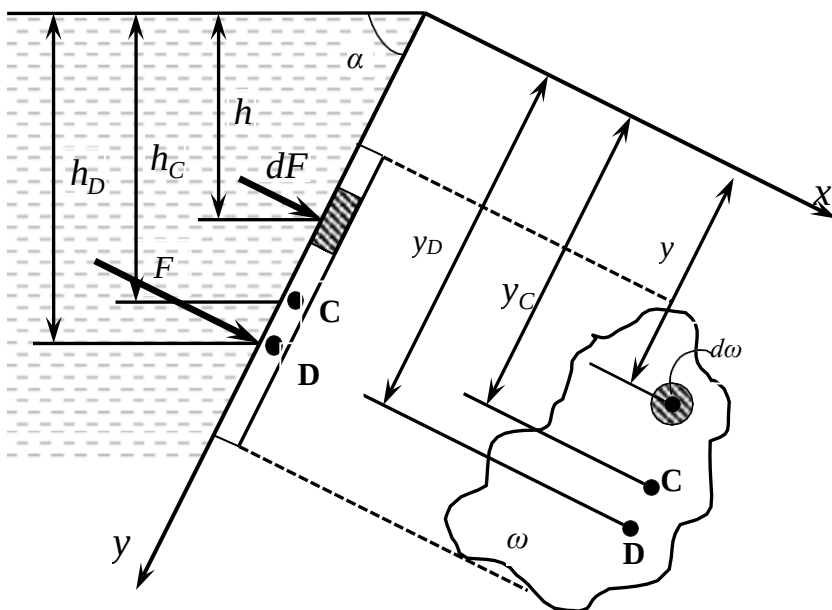


Рис. 3.1. К определению силы давления на плоскую стенку

На каждый бесконечно малый элемент площади $d\omega$ действует элементарная сила $dF = P \cdot d\omega$, а давление в центре тяжести $d\omega$ равно $P = \rho gh = \rho gy \cdot \sin\alpha$.

Тогда элементарная сила $dF = \rho gy \cdot \sin\alpha \cdot d\omega$.

Суммарная сила давления на всю площадь ω может быть получена интегрированием по площади ω :

$$F = \int_{\omega} dF = \rho g \cdot \sin\alpha \int_{\omega} y \cdot d\omega,$$

где $\int_{\omega} y \cdot d\omega$ – статический момент площади относительно оси х.

Известно, что статический момент площади равен произведению координаты центра тяжести на площадь фигуры:

$$\int_{\omega} y \cdot d\omega = y_c \cdot \omega = S_x,$$

откуда можно записать, что суммарная сила гидростатического давления равна:

$$F = \rho g y_c \cdot \sin\alpha \cdot \omega \text{ или } F = p_C \cdot \omega,$$

где p_C – давление в центре тяжести.

Таким образом, *сила гидростатического давления на плоскую поверхность равна произведению гидростатического давления в центре тяжести этой поверхности на ее площадь.*

Центром давления называется точка приложения полной силы гидростатического давления, действующей на данную поверхность.

Для определения положения центра давления воспользуемся известной теоремой статики: момент равнодействующей силы равен сумме моментов сил ее составляющих.

$$\text{То есть } F \cdot y_D = \int_{\omega} dF \cdot y.$$

Из этого выражения можно найти искомую координату центра давления (точки **D**):

$$y_D = \frac{\int dF \cdot y}{F} = \frac{\rho g \cdot \sin \alpha}{\rho g \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{\int y^2 \cdot d\omega}{\int y \cdot d\omega} = \frac{J_x}{S_x},$$

где J_x – момент инерции площади относительно оси x .

Но момент инерции относительно любой оси может быть выражен через момент инерции относительно центральной оси J_0 (оси, проходящей через центр тяжести фигуры).

$$J_x = a^2 \cdot \omega + J_0,$$

где a – расстояние между осями (в нашем случае $a = y_C$).

$$\text{Тогда } y_D = \frac{y_C \cdot \omega + J_0}{y_C \cdot \omega} \text{ или } y_D = y_C + \frac{J_0}{y_C \cdot \omega}.$$

Используя уравнение связи между глубиной h и координатой y , получим уравнение для определения глубины погружения центра давления:

$$h_D = h_C + \frac{J_0}{h_C \cdot \omega}.$$

Это выражение показывает, что центр давления лежит всегда ниже центра тяжести (кроме давления на горизонтальную плоскость, когда они совпадают).

Сила давления на криволинейные поверхности

Рассмотрим цилиндрическую поверхность **AB**, на которую слева действует жидкость (рис. 3.2). Ширина ее равна единице длины. Выделим на этой поверхности элементарную площадку $d\omega$.

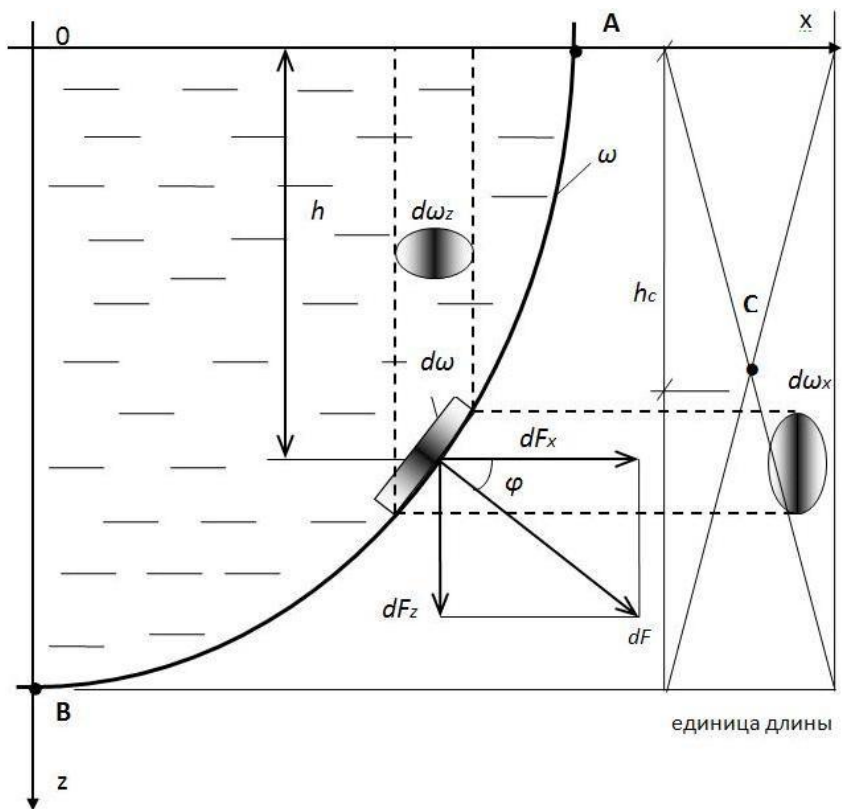


Рис. 3.2. Сила давления на криволинейную поверхность

Определим силу избыточного гидростатического давления на эту площадь. Разложим силу dF на горизонтальную и вертикальную составляющие dF_x и dF_y .

$$dF_y = 0,$$

$$dF_x = dF \cdot \cos \varphi = \rho g h \cdot d\omega \cdot \cos \varphi,$$

где $d\omega_x = d\omega \times \cos \varphi$ – проекция элементарной площадки на плоскость, перпендикулярную оси x .

Просуммировав все элементарные силы по всей площади, получим

$$\int_{\omega} dF_x = \rho g \int_{\omega} h \cdot d\omega_x,$$

где $\int_{\omega} h \cdot d\omega_x$ – статический момент площади ω_x относительно оси x .

Преобразуем это уравнение (аналогично рассмотренному уравнению для плоской стенки) и в результате получим:

$$F_x = \rho g h_c \cdot \omega_x.$$

Горизонтальная составляющая силы гидростатического давления на криволинейную поверхность равна силе давления на ее вертикальную проекцию ω_x .

Вертикальная составляющая силы давления равна:

$$dF_z = dF \sin\varphi = \rho g h \cdot d\omega \cdot \sin\varphi.$$

Произведение $d\omega \cdot \sin\varphi$ равно площади проекции $d\omega$ на горизонтальную плоскость $d\omega_z$.

$$\text{Тогда } dF_z = \rho g h \times d\omega_z.$$

Произведение $h \cdot d\omega_z$ представляет собой элементарный объем жидкости dV , лежащей между площадкой $d\omega$ и свободной поверхностью жидкости.

Просуммировав элементарные силы, получим:

$$F_z = \int_{\omega} dF_z = \int_{\omega} \rho g dV = \rho g V; \quad F_z = \rho g V,$$

где V – объем тела давления; $\rho g V$ – вес тела давления.

То есть вертикальная составляющая F_z равна весу жидкости, заключенной в теле давления.

Величина результирующей силы может быть найдена сложением векторов составляющих или по теореме Пифагора:

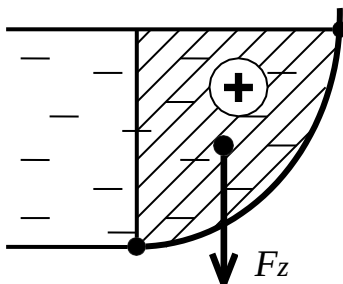
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}.$$

Направление результирующей силы гидростатического давления определяется углом наклона φ к горизонту, тангенс которого находят из силового треугольника:

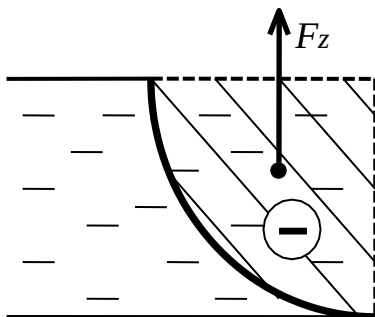
$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{F_z}{F_x}.$$

Следует помнить, что вертикальная составляющая может быть направлена либо вверх, либо вниз, в зависимости от положения поверхности по отношению к жидкости.

Правило знаков:



– если объем тела давления реален (жидкость расположена сверху), то направление силы – вниз (сила положительна), и она численно равна весу жидкости в объеме так называемого положительного (действительного) тела давления;



– если объем тела давления фиктивный (жидкость находится снизу), то направление силы – вверх (сила отрицательна), и она численно равна весу жидкости в объеме так называемого отрицательного (фиктивного) тела давления.

Примеры решения задач

Задача 3.2.1. Рассчитать манометрическое давление p_m и силу давления, действующую на верхнюю крышку сосуда, полностью заполненного водой (рис 3.3), если вес сосуда $G = 5 \cdot 10^4$ Н; диаметр поршня, действующего на жидкость, $d = 0,2$ м; площадь сечения поршня $S_1 = \frac{3,14d^2}{4}$.

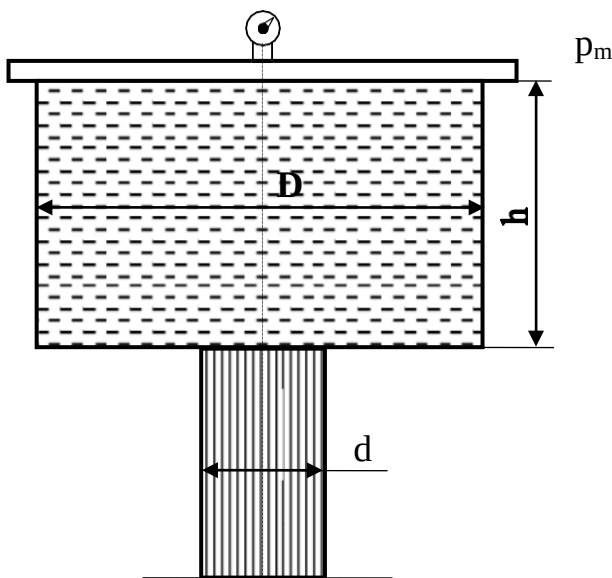


Рис. 3.3. К решению задачи 3.2.1

Решение. Манометрическое давление создается только весом сосуда, т. е.

$$p_m = \frac{G}{S_1} = \frac{5 \cdot 10^4}{3,14 \cdot 0,01} = 15,9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2,$$

тогда сила давления, действующая на верхнюю крышку,

$$P = p_m S_2 = 15,9 \cdot 10^5 \frac{\pi D^2}{4} = 15,9 \cdot 10^5 \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} = 19,97 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Задача 3.2.2. Определить силу давления на вертикальную стенку ABCD сосуда, полностью заполненного водой (рис. 3.4), и положение центра давления, если $L = 32 \text{ м}$; $l = 26 \text{ м}$; $h = 18 \text{ м}$; $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$; $g = 10 \text{ м/с}^2$.

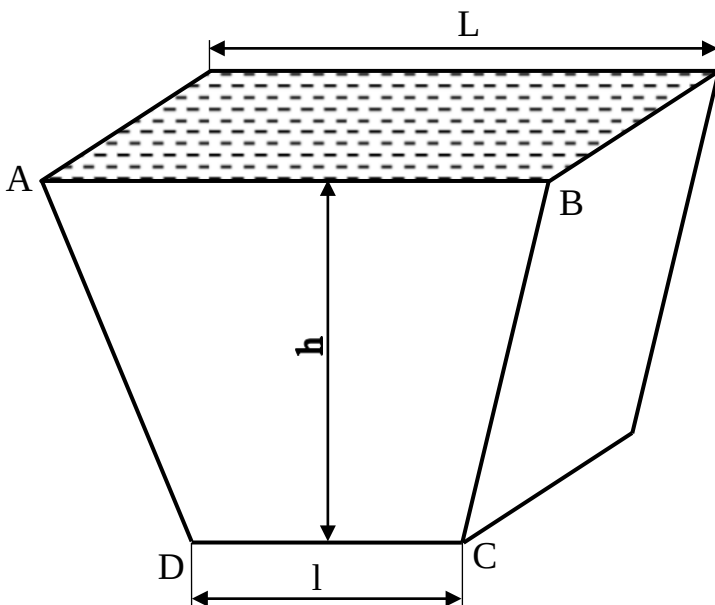


Рис. 3.4. К решению задачи 3.2.2

Решение. Сила давления на вертикальную стенку составит

$$P = (p_0 + \rho g h_g) S, \text{ Н,}$$

где S – площадь вертикальной стенки (в данном случае это трапеция), $S = (L + l) \frac{h}{2} = (32 + 26)9 = 522 \text{ м}^2$;

p_0 – атмосферное давление на свободной поверхности воды;

h_g – координата центра тяжести вертикальной стенки,

$$h_g = \frac{h}{3} \frac{2l + L}{l + L} = \frac{18(52 + 32)}{3(26 + 32)} = 8,7 \text{ м.}$$

Сила давления на вертикальную стенку

$$P = \rho g h_g S = 10^4 \cdot 8,7 \cdot 522 = 454 \cdot 10^5 \text{ Н.}$$

Положение центра давления вертикальной стенки – трапеции:

$$h_c = \frac{h}{2} \frac{3l + L}{2l + L} = \frac{9 \cdot 110}{84} = 11,8 \text{ м.}$$

Задача 3.2.3. Определите силу F , необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной $b = 4$ м и высотой $H = 5,5$ м (рис. 3.5) при глубине воды слева $h_1 = 5$ м, справа $h_2 = 2$ м; $\rho = 1000$ кг/м³; $g \sim 10$ м/с².

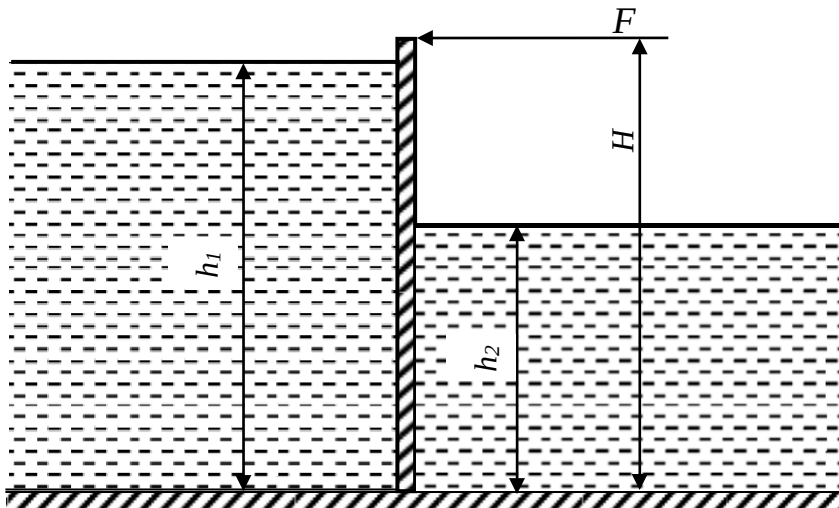


Рис. 3.5. К решению задачи 3.2.3

Решение. Запишем равенство моментов сил, действующих на стенку:

$$FH + P_2(h_2 - h_{c2}) = P_1(h_1 - h_{c1}).$$

Глубина центра тяжести вертикальной стенки:

$$\text{слева } h_{g1} = \frac{1}{2} h_1 = 2,5 \text{ м};$$

$$\text{справа } h_{g2} = \frac{1}{2} h_2 = 1,0 \text{ м}.$$

Определим силы давления:

$$P_1 = \rho g h_{g1} S_1 = 10^3 \cdot 10 \cdot 2,5(4 \cdot 5) = 5 \cdot 10^5 \text{ Н};$$

$$P_2 = \rho g h_{g2} S_2 = 10^3 \cdot 10 \cdot 1(4 \cdot 2) = 0,8 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Координаты центра давления (стенка вертикальная прямоугольная):

$$h_{1c} = \frac{2}{3} h_1 = 3,33 \text{ м}; \quad h_{2c} = \frac{2}{3} h_2 = 1,33 \text{ м}.$$

Тогда:

$$F = \frac{5 \cdot 10^5 (5 - 3,33) - 0,8 \cdot 10^5 (2 - 1,33)}{5,5} = 1,42 \cdot 10^5 \text{ Н}.$$

Задача 3.2.4. Определить силу суммарного давления воды на плоский щит, перекрывающий канал, и усилие, которое необходимо приложить для подъема щита. Ширина канала $b = 1,8 \text{ м}$, глубина воды в нем $h = 2,2 \text{ м}$. Вес щита $G = 15 \text{ кН}$. Коэффициент трения щита по опорам $f = 0,25$ (рис. 3.6).

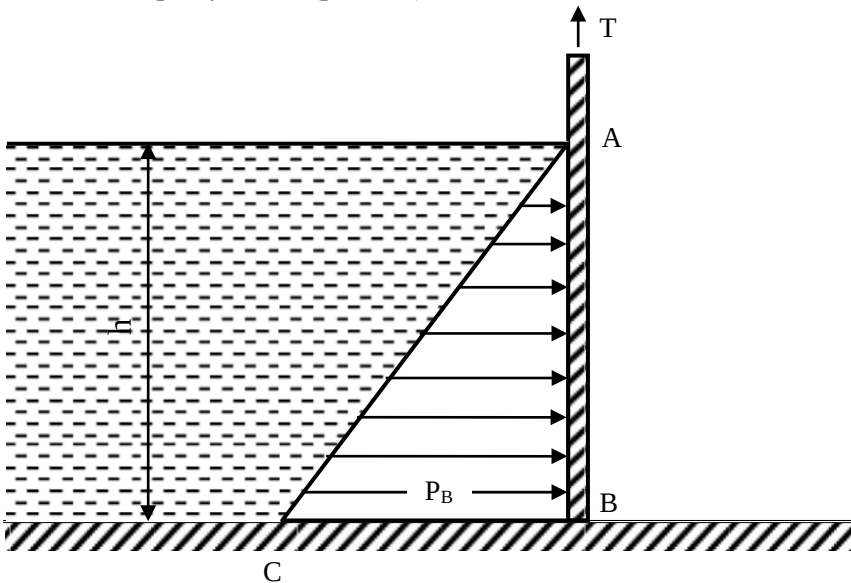


Рис. 3.6. К решению задачи 3.2.4

Решение. Силу суммарного давления на щит определим по формулам

$$P = p_c \omega = \rho g h_g b h = \frac{\rho g h^2 b}{2}.$$

Построим эпюру избыточного гидростатического давления.

В точке В гидростатическое давление $p_B = \rho g h$.

Отложим от точки В в направлении, перпендикулярном щиту, величину p_B (со стороны действия давления) и соединим начало полученного вектора (точку С) с точкой А. Полученный треугольник АВС – эпюра гидростатического давления.

По эпюре гидростатического давления определим силу суммарного давления на щит, равную объему этой эпюры:

$$p = \omega_{ABC} b = \frac{AB \cdot BC}{2} b = \frac{\rho g h^2 b}{2}.$$

Полученная формула аналогична записанной ранее. Подставив в эту формулу заданные величины, найдем

$$P = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2,2^2 \cdot 1,8}{2} = 42,7 \cdot 10^3 \text{ Н} = 42,7 \text{ кН}.$$

Определим усилие, необходимое для подъема щита:

$$T = G + fP = 15 + 0,25 \cdot 42,7 = 25,6 \text{ кН}.$$

Задача 3.2.5. Щит, перекрывающий канал, расположен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту и закреплен шарнирно к опоре над водой (рис. 3.7). Определить усилие, которое необходимо приложить к тросу для отрывания щита, если ширина $b = 2$ м, глубина воды перед щитом $H_1 = 2,5$ м, после щита $H_2 = 1,5$ м.

Шарнир расположен над высоким уровнем воды на расстоянии $H_3 = 1$ м. Весом щита и трением в шарнире можно пренебречь.

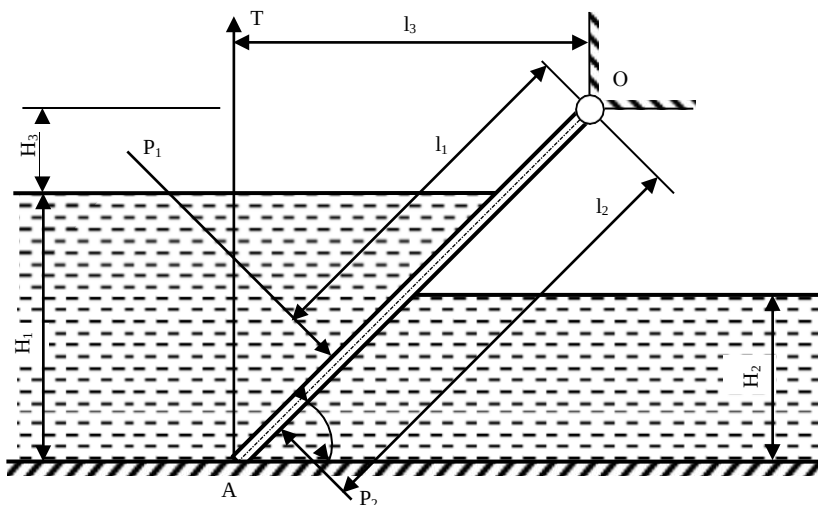


Рис. 3.7. К решению задачи 3.2.1

Решение. Сила суммарного давления воды:

слева

$$P_1 = p \omega = \rho g \frac{H_1}{2} b \frac{H_1}{\sin \alpha} = \frac{\rho g H_1^2 b}{2 \sin \alpha} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 2,5^2 \cdot 2}{2 \sin 45^\circ} = 86,7 \text{ кН.}$$

справа

$$P_2 = \frac{\rho g H_{21}^2 b}{2 \sin \alpha} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5^2 \cdot 2}{2 \sin 45^\circ} = 31,25 \text{ кН.}$$

Расстояние от шарнира до центров приложения сил давления:

$$l_1 = \frac{H_3}{\sin \alpha} + \frac{2H_1}{3 \sin \alpha} = \frac{1}{\sin 45^\circ} + \frac{2 \cdot 2,5}{3 \sin 45^\circ} = 3,77 \text{ кН;}$$

$$l_2 = \frac{H_1 + H_3 - H_2}{\sin \alpha} + \frac{2H_2}{3 \sin \alpha} = \frac{2,25 + 1 - 1,15}{\sin 45^\circ} + \frac{2 \cdot 1,5}{3 \sin 45^\circ} = 4,23 \text{ кН.}$$

Составим уравнение моментов сил относительно шарнира O:

$$M_0 = -P_1 l_1 + P_2 l_2 + T l_3 = 0.$$

Так как $\alpha = 45^\circ$, то $l_3 = H_1 + H_3$.

Следовательно,

$$T = \frac{P_1 l_1 - P_2 l_2}{l_3} = \frac{86,7 \cdot 3,77 - 31,25 \cdot 4,23}{2,5 + 1} = 58,5 \text{ кН.}$$

Контрольные задачи

Задача 3.3.1. В плотине сделан прямоугольный проём размером $H \times C$, через который вода поступает к турбине. При ремонте турбины этот проем закладывается семью специальными балками – шандорами. Размер каждой шандоры $h \times B = 1,2 \times 3,4$ м. Все шандоры имеют по две пары катков (см. рис. 3.8).

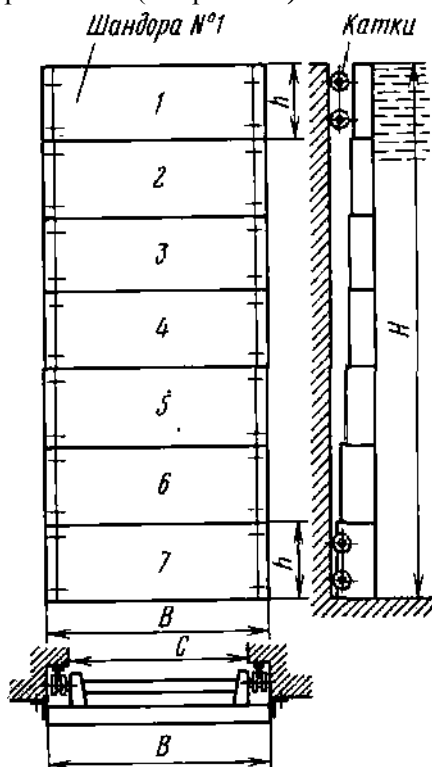


Рис. 3.8. К решению задачи 3.3.1

1. Определить силы давления воды P_1 и P_7 на первую и седьмую шандоры и максимальные изгибающие моменты M_1 и M_7 для этих шандор, считая катки расположенными на концах

шандор, а шандоры – свободно опертыми. Изгибающий момент определяется по формуле $M = \frac{P \cdot L}{8}$, Н·м.

2. Найти расстояния Δh_1 и Δh_7 между центром давления и центром тяжести смоченной поверхности для первой и седьмой шандор.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 4 Основы расчета трубопроводных систем

Закон Архимеда. Плавание тела

4.1. Теоретическая часть

4.1.1. Закон Архимеда

Закон Архимеда о силе, действующей на погруженное в воду тело, был сформулирован Архимедом за 250 лет до н. э.

На погруженное в жидкость тело действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной этим телом.

Рассмотрим силы, действующие на погруженное в жидкость тело (рис. 4.1):

- сила давления сверху $F_1 = \rho g H_1 \Omega$,
- сила давления снизу $F_2 = \rho g H_2 \Omega$,
- сила давления со стороны F_n ,
- сила веса тела G .

Сумма сил давления со стороны боковых граней равна нулю (т. к. они равны по величине, но направлены в разные стороны).

Суммарная сила давления на погруженное тело – выталкивающая сила (сила Архимеда) равна:

$$F = F_2 - F_1 = \rho g \Omega (H_2 - H_1) = \rho g H \Omega,$$

где $H \Omega$ – объем тела V .

Тогда сила Архимеда $F_{арх} = \rho g H \Omega = \rho g V$.

4.1.2. Плавание тела

Из закона Архимеда следует, что на тело, погруженное в жидкость, в конечном счете действуют две силы: сила тяжести (вес тела) G и выталкивающая архимедова сила $F_{арх}$. При этом могут иметь следующие основные случаи (рис. 4.2).

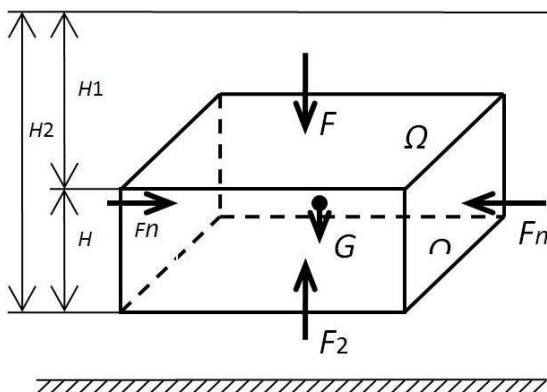


Рис. 4.1. К выводу закона Архимеда

1. Если плотность жидкости и тела одинаковы ($\rho = \rho_{\text{тела}}$), то наблюдается безразличное равновесие, т. к. $G = F_{\text{арх}}$, т. е. тело можно поместить на любую глубину, и оно не будет ни всплывать, ни тонуть.

2. Если плотность жидкости меньше плотности тела ($\rho < \rho_{\text{тела}}$), то сила веса больше выталкивающей силы $G > F_{\text{арх}}$ и их равнодействующая направлена вниз. Тело будет тонуть.

3. Если плотность жидкости больше плотности тела ($\rho > \rho_{\text{тела}}$), вес меньше выталкивающей силы $G < F_{\text{арх}}$. Погруженное в жидкость тело будет всплывать до тех пор, пока вследствие выхода части его над поверхностью жидкости архимедова сила не уравнивает вес тела. Тело будет плавать на поверхности.

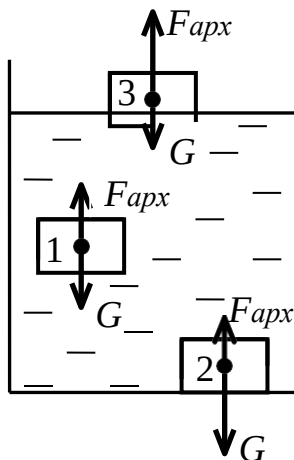


Рис. 4.2. Плавание тел

4.2. Примеры решения задач

Задача 4.2.1. В обычных условиях человек поднимает без труда стальную гирию массой $m_1 = 30$ кг. Стальную гирию какой массы человек может поднять без труда под водой, если $\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³; $\rho_{\text{ст}} = 7,8 \cdot 10^3$ кг/м³?

Решение. Согласно закону Архимеда:

$$W_1 = \frac{1}{\rho_B m_1}; \quad W_2 = \frac{1}{\rho_{cm} m_2},$$

где W_1 – объем стальной гири; W_2 – объем воды в объеме стальной гири, причем $W_1 = W_2$, или $\frac{1}{\rho_B m_1} = \frac{1}{\rho_{cm} m_2}$.

Следовательно, масса воды в объеме стальной гири

$$m_2 \frac{m_1 \rho_B}{\rho_{cm}} = \frac{30 \cdot 1000}{7800} = 3,8 \text{ кг},$$

тогда масса гири, которую человек может поднять под водой, составит

$$m = m_1 + m_2 = 30 + 3,8 = 33,8 \text{ кг}.$$

Задача 4.2.2. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3,5$ м (рис. 4.3) наполнена песком относительной плотностью $\rho_n = 2,0$ кг/м³ и весом $G = 1440 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h ; объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала $h = 1,2$ м ($\rho_e = 1000$ кг/м³).

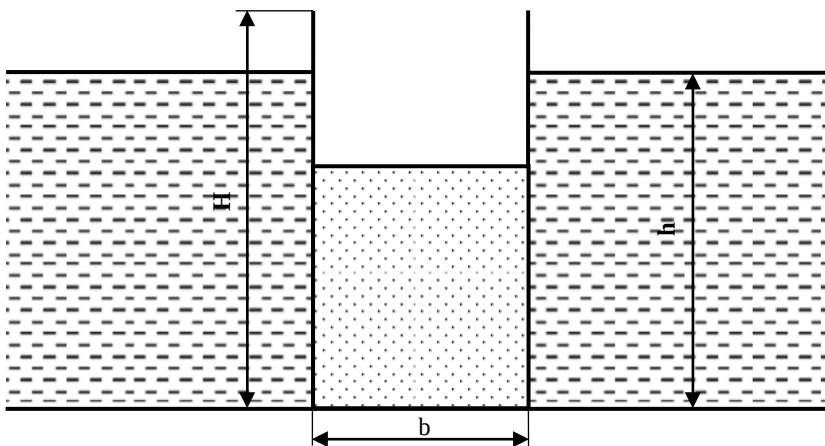


Рис. 4.3. К решению задачи 4.2.2

Решение. Согласно закону Архимеда:

$$G = P_A,$$

где $G = \rho_n g W_n$; $P_A = \rho_s g W_{\bar{o}}$; $W_{\bar{o}} = lbh$.

Отсюда $h = \frac{W_{\bar{o}}}{\rho_s g lb}$.

так как $W_{\bar{o}} = \frac{G}{\rho_s g}$,

то $h = \frac{G}{\rho_s g lb} = \frac{1440 \cdot 10^4}{10^3 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 8} = 3 \text{ м.}$

Определим количество песка при $h = 1,2 \text{ м}$:

$$P_A = \rho_s g W_{\bar{o}} = 10^4 (60 \cdot 8 \cdot 1,2) = 576 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Так как $G = P_A$ и $G = \rho_n g W_n$, то $W_n = \frac{576 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^4} = 288 \text{ м}^3$.

Задача 4.2.3. Лодка плавает по воде (рис. 4.4). Определить глубину погружения H . Сколько человек (массой 67,5 кг каждый) может разместиться в лодке при условии, что она не погрузится полностью (плотность лодки $\rho_{\text{лс}} = 700 \text{ кг/м}^3$); $h = 0,3 \text{ м}$; $a = 0,3 \text{ м}$; $b = 5 \text{ м}$?

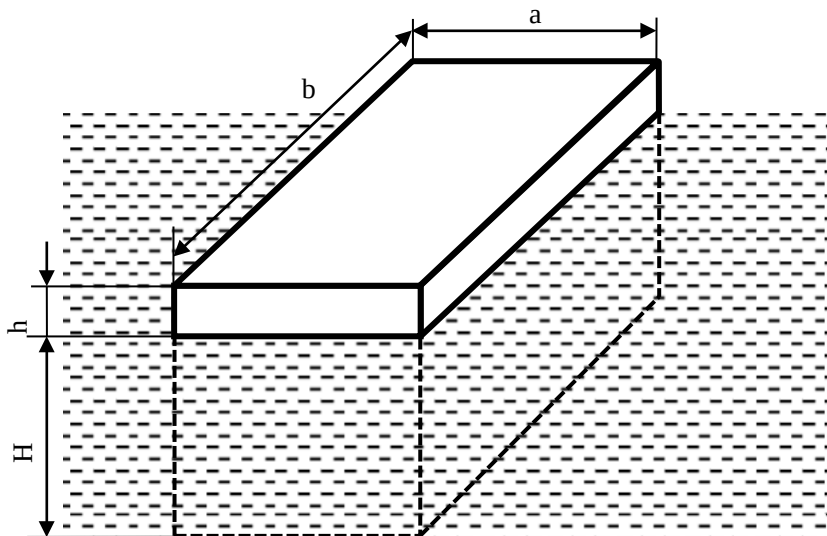


Рис. 4.4. К решению задачи 4.2.3

Решение. Согласно закону Архимеда, $G = P_A$, где

$$G = \rho_{\text{мв}} g((H + h)ab) = 700 \cdot 10(H + 0,3) \cdot 0,3 \cdot 0,5 = 10500(H + 0,3);$$

$$P_A = \rho_{\text{в}} g H a b = 0,7 \cdot 1000 \cdot 10((H + 0,3)0,3 \cdot 5) = 15000 \text{ Н},$$

откуда $H = 0,7 \text{ м}$.

Вес лодки с людьми составит

$$G_{\text{мв}} + \sum G_{\text{чел}} = P_A;$$

$$\sum G_{\text{чел}} = P_A - G_{\text{мв}} = [\rho_{\text{в}} g(ab(H + h))] -$$

$$- [\rho g(ab(H + h))] = 10^4 \cdot 1,5 - 0,7 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 45 \cdot 10^4$$

Отсюда

$$n = \frac{\sum G_{\text{чел}}}{67,5g} = \frac{45 \cdot 10^2}{67,5 \cdot 10} = 6 \text{ чел.}$$

4.3. Контрольные задачи

Задача 4.3.1. Медный шар $d = 100 \text{ мм}$ весит в воздухе $45,7 \text{ Н}$, а при погружении в жидкость $40,6 \text{ Н}$. Определить плотность жидкости.

Задача 4.3.2. Покоящийся на неподвижном поршне и открытый сверху и снизу сосуд массой $m = 16 \text{ кг}$ состоит из двух цилиндрических частей, внутренние диаметры которых $D = 0,5 \text{ м}$ и $d = 0,3 \text{ м}$ (см. рисунок 4.5). Определить какой минимальный объем W воды должен содержаться в верхней части сосуда, чтобы сосуд всплыл над поршнем. Трением сосуда о поршень пренебречь.

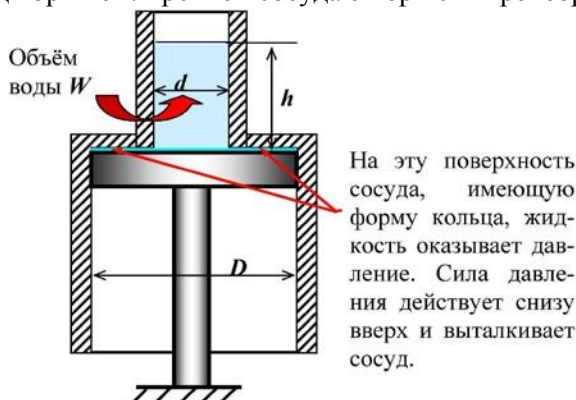


Рис. 4.5. К решению задачи 4.3.2

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 5 Неустановившееся движение жидкости

Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли

5.1. Теоретическая часть

5.1.1. Уравнение неразрывности (сплошности)

Основываясь на законе сохранения вещества, на предположении о сплошности течения и на свойстве трубки тока (ее непроницаемости) можно утверждать, что расход во всех сечениях элементарных струек один и тот же (рис. 27).

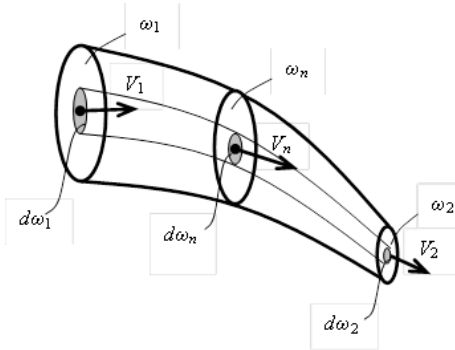


Рис. 5.1. К уравнению неразрывности

$dQ = V_1 d\omega_1 = V_2 d\omega_2 = const.$
Это и есть уравнение неразрывности (сплошности) для элементарной струйки, которое формулируется так:
элементарный расход жид-

кости при установившемся движении есть величина постоянная для всей элементарной струйки.

Аналогичное уравнение составим и для потока конечных размеров, введя среднюю скорость.

$$Q = V_1 \omega_1 = V_2 \omega_2 = V_3 \omega_3 = \dots = V_n \omega_n = const.$$

Уравнение неразрывности для потока жидкости читается так:
расход жидкости через любое сечение потока при установившемся движении есть величина постоянная.

5.1.2. Уравнение Бернулли

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущемуся потоку жидкости. Оно устанавливает связь между удельной потенциальной, удельной кинетической энергией и удельной энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивлений движению жидкости, на участке от сечений 1–1 до N–N.

Для установившегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1–1 до сечения 6–6, (рис. 4.1) уравнение Бернулли представлено в виде формулы (4.1).

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = z_6 + \frac{p_6}{\rho g} + \frac{\alpha_6 \cdot v_6^2}{2g} + h_{1-6}, \quad (4.1)$$

где z_1 и z_6 – высота центров тяжести живых сечений 1–1 и 6–6 по отношению к горизонтальной плоскости сравнения, м;

v_1 и v_6 – средняя скорость движения жидкости в живых сечениях 1–1 и 6–6, м;

p_1 и p_6 – давление в центрах тяжести сечений 1–1 и 6–6, Па;

α_1 и α_6 – коэффициент Кориолиса (учитывает неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока реальной жидкости); $\alpha = 2$ – для ламинарного режима движения жидкости; $\alpha = 1$ – для турбулентного режима движения;

h_{1-6} – потери напора на преодоление сопротивлений движению жидкости, м.

Уравнение Бернулли имеет энергетический и геометрический смысл. Энергетический смысл заключается в том, что каждый член уравнения представляет собой удельную энергию – энергию, отнесенную к единице веса жидкости, а геометрический смысл заключается в том, что каждый член представляет собой высоту:

z – удельная потенциальная энергия положения или геометрическая высота;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота;

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия или скоростная высота (скоростной напор).

Сумма геометрической высоты z и пьезометрической высоты $\frac{p}{\rho g}$ называется пьезометрическим напором (удельной потенциальной энергией).

Линия, изображающая изменение удельной потенциальной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется пьезометрической линией.

Линия, изображающая изменение полной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется напорной линией.

В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока, происходит перераспределение удельной потенциальной $z + \frac{p}{\rho g}$ и

удельной кинетической $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ энергии. При уменьшении площади

живого сечения потока увеличивается средняя скорость потока v и, следовательно, возрастает удельная кинетическая энергия $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$, а потенциальная энергия $z + \frac{p}{\rho g}$, соответственно, уменьшается (см. рис. 5.2).

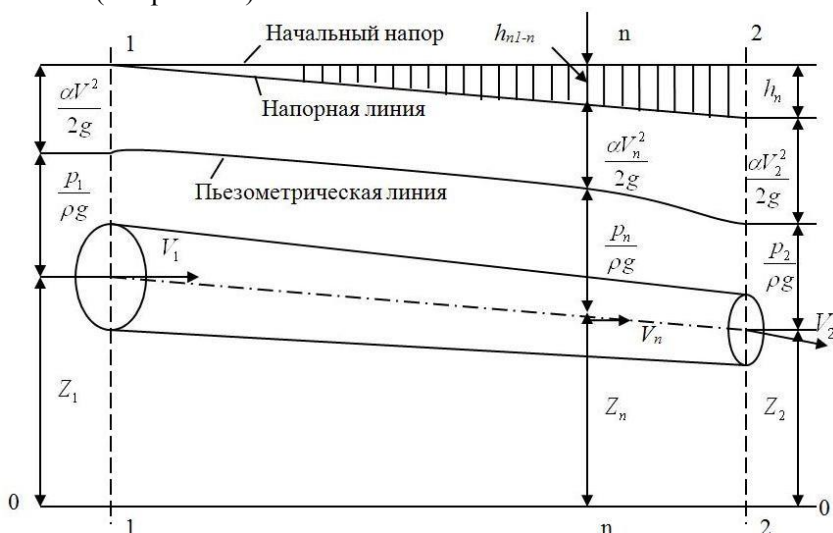


Рис. 5.2. Пример построения пьезометрической и напорной линии для реальной жидкости

Гидродинамический напор (полная удельная энергия) по направлению движения потока реальной жидкости непрерывно уменьшается из-за наличия сил внутреннего трения и трения жид-

кости о стенки трубопровода, в то время как пьезометрический напор не всегда уменьшается.

Пьезометрическая высота $\frac{p}{\rho g} \left(\frac{p}{\gamma} \right)$ измеряется с помощью

прозрачных трубок (пьезометров), герметически присоединенных к отверстию в стенке трубопровода.

Для измерения полной энергии используются гидродинамические трубки (ГДТ или трубки Пито) с нижним концом, погруженным на ось трубопровода и отогнутым против направления движения жидкости (см. рис. 5.3). Уровень воды в ГДТ поднимается выше, чем уровень в пьезометрах на величину скоростной высоты $\propto v^2$

$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$ (см. рис. 5.4).

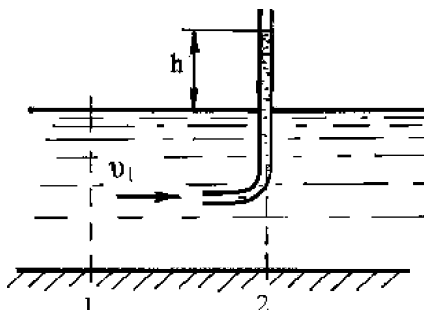


Рис. 5.3. Схема трубки Пито

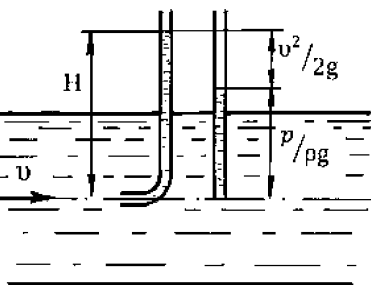


Рис. 5.4. Схема трубки Пито-Прандтля

При решении задач можно воспользоваться схемой к уравнению Бернулли (приложение А).

5.2. Примеры решения задач

Задача 5.2.1. Расход идеальной жидкости относительно плотности $\delta = 0,860$ в расширяющемся трубопроводе с диаметром $d_1 = 480$ мм (сечение 1 – 1) и $d_2 = 945$ мм (сечение 2 – 2) равен $Q = 0,18$ м³/с (рис. 5.5). Разница в позициях центра сечений равна 2 м. Показания манометра в сечении 1 – 1 равно $p_1 = 3 \cdot 10^5$ Н/м². Определить скорость жидкости в сечениях 1 – 1 и 2 – 2; давление p_2 в сечении 2 – 2.

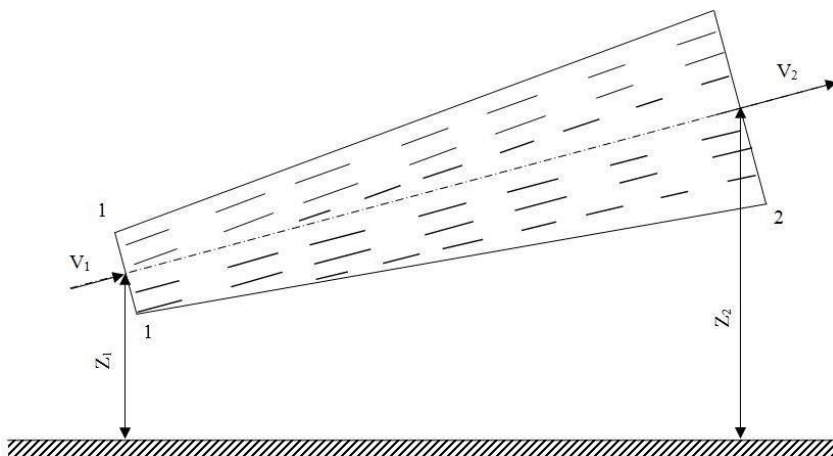


Рис. 5.5. К решению задачи 5.2.1

Решение. Сечение 1 – 1 проведем через место подключения манометра, а плоскость О – О расположим на уровне z_1 и z_2 от центров сечений 1–1 и 2–2, тогда

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = 0,995 \text{ м/с}; \quad v_2 = \frac{4Q}{\pi d_2^2} = 0,257 \text{ м/с}.$$

Относительная плотность жидкости $\delta = \frac{\rho_{жс}}{\rho_6}$, откуда

$$\rho_{жс} = \rho_6 \delta = 10^3 \cdot 0,860 = 860 \text{ кг/м}^3.$$

Используем уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \Delta h.$$

Предположив, что режим течения турбулентный ($\alpha_1 = \alpha_2 = 1$), и пренебрегая потерями ($\Delta h = 0$), получим

$$\begin{aligned} p_2 &= p_1 + \rho_{жс} g \Delta z + \frac{\rho_{жс}}{2} (v_1^2 - v_2^2) = 3 \cdot 10^5 + \\ &+ 860 \cdot 10 \cdot 2 + \frac{860}{2} (0,995^2 - 0,257^2) = \\ &= 3 \cdot 10^5 + 0,17 \cdot 10^5 + 0,004 \cdot 10^5 = 3,174 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2. \end{aligned}$$

Задача 5.2.2. Вода протекает по водомеру Вентури, состоящему из трубы диаметром $D_1 = 20$ см, в которую вставлен участок трубы диаметром $D_2 = 10$ см (см. рис. 5.6). Пренебрегая сопротивлением, определить расход воды, если в пьезометрах Π_1 и Π_2 разность показаний $h = 0,25$ м.

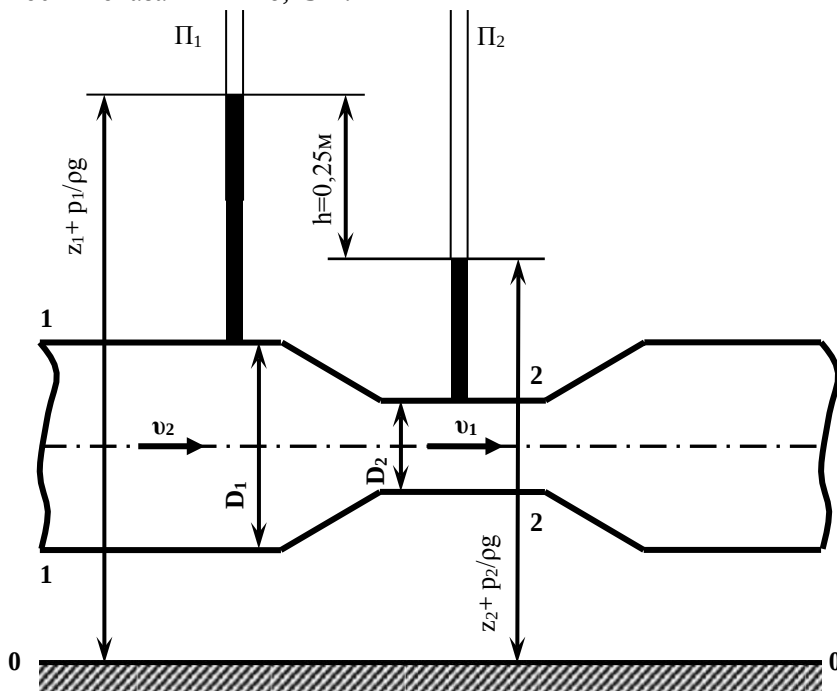


Рис. 5.6. К решению задачи 5.2.2

Решение. Составим уравнение неразрывности и уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2:

$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 ;$$

$$z_1 + \frac{p}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

или

$$v_1 \frac{\pi D^2}{4} = v_2 \frac{\pi D^2}{4} ;$$

$$h + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

так как $\left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right) = h.$

Преобразуя эти уравнения, получим

$$v_1^2 D_1^2 = v_2^2 D_2^2;$$

откуда

$$v_1 = v_2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad (5.4)$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = h. \quad (5.5)$$

Подставив (5.4) в (5.5), получим

$$\frac{v_2^2 - v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}{2g} = h, \text{ или } \frac{v_2^2 \left[1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \right]}{2g} = h.$$

Отсюда

$$\frac{v_2^2 - v_2^2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}{2g} = h, \text{ или } v_2 = \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}}.$$

Расход определим по формуле

$$Q = \omega_2 v_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{1 - \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25}{1 - \left(\frac{0,1}{0,2} \right)^4}} = 0,018 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В действительности расход будет несколько меньше вследствие потерь энергии, которыми пренебрегаем для упрощения решения.

5.3. Контрольные задачи

Задача 5.3.1. Труба, по которой течет масло, имеет переменное сечение. Определить скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении $v_1 = 0,05$ м/с; $d_1 = 0,2$ м; $d_2 = 0,1$ м.

Задача 5.3.2. По трубопроводу диаметром $d = 150$ мм перекачивается нефть плотностью $\rho = 800$ кг/м³ в количестве 1200 т в сутки. Определить секундный объемный расход нефти Q и среднюю скорость ее течения v .

Задача 5.3.3. По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 0,2$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус равен $R = 0,015$ м.

Задача 5.3.4. Определить на какую высоту поднимется вода в трубке, один конец которой присоединен к суженному сечению трубопровода, а другой коней опущен в воду (см. рис. 5.7). Расход воды в трубе $Q = 0,025$ м³/с; избыточное давление $p_1 = 49$ кПа; диаметры $d_1 = 100$ мм и $d_2 = 50$ мм. Потерями напора пренебречь.

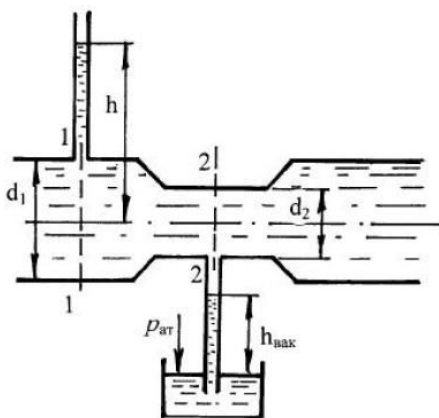


Рис. 5.7. К решению задачи 5.3.4

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 6 Истечение жидкости через отверстия и насадки

Режим течения жидкости в трубах

Теоретическая часть

Одна из основных задач гидравлики – оценка потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений, возникающих при движении реальных жидкостей в различных гидравлических системах.

Чтобы правильно определить эти сопротивления, прежде всего необходимо составить ясное представление о механизме самого движения жидкости. При исследовании вопроса приходим к заключению о существовании двух различных, резко отличающихся режимов движения: ламинарного (слоистого) и турбулентного (вихревого). При ламинарном движении частицы жидкости движутся без перемешивания, их траектории не пересекаются, наблюдается слоистое перемещение.

Ламинарный режим наблюдается преимущественно при движении вязких жидкостей – нефть, битум, смазочные масла и др. или при движении любых жидкостей с малыми скоростями.

Турбулентный режим характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости и имеет место при сравнительно больших скоростях и малой вязкости.

Существование того или иного режима движения жидкости определяется значением критерия Рейнольдса (Re). В общем случае критерий Рейнольдса вычисляется по формуле (6.1).

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}, \text{ или } Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu} \quad (6.1)$$

где v – средняя скорость движения жидкости, м/с;

l – определяющий геометрический размер, м. Для трубопроводов круглого сечения принимается диаметр d , а для открытых потоков – гидравлический радиус R (отношение площади к смоченному периметру χ);

ν (греч. «ню») – кинематический коэффициент вязкости, м²/с;

μ (греч. «мю») – динамический коэффициент вязкости, Па·с;

ρ – плотность движущейся жидкости, кг/м³.

Таким образом, для трубопроводов круглого сечения крите-

рий Рейнольдса (Re) определяется по формуле (6.2).

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (6.2)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Критерий Рейнольдса (Re) – это безразмерный комплекс физических величин. С физической точки зрения число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и вязкости (внутреннего трения), действующими в потоке. Когда преобладают силы вязкости (число Рейнольдса мало), частицы жидкости движутся параллельно не перемешиваясь.

Если же преобладают инерционные силы (когда число сравнительно велико), то упорядоченность движения частиц нарушается, они движутся хаотично.

Опытами установлено, что при $Re < 2320$ в круглой цилиндрической трубе наблюдается устойчивое ламинарное течение (см. рис. 6.1).



Рис. 6.1. Ламинарный режим движения жидкости

При $Re > 2320$ слоистое движение нарушается, и при $2320 < Re < 10\,000$ имеет место так называемый переходный режим, для которой характерна перемежающаяся турбулентность, то есть периодическое изменение характера течения с ламинарного на турбулентное. Ламинарное течение может сохраняться и при $Re > 2300$, но оно будет неустойчивым, и при небольших возмущениях (толчки, вибрации) сразу же переходит в турбулентное. При $Re > 10\,000$ наблюдается турбулентный режим движения жидкости (см. рис. 6.2).

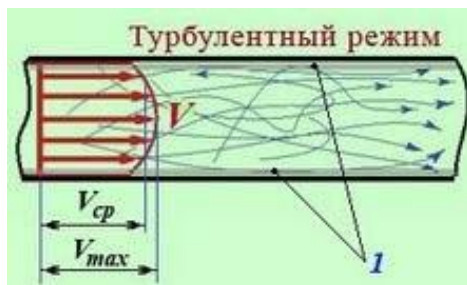


Рис. 6.2. Турбулентный режим движения жидкости

Числа Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного режима к переходному и от переходного к турбулентному, носят название критических значений числа Рейнольдса – $Re_{кр1}$ и $Re_{кр2}$.

Например, для труб круглого сечения первое и второе (или нижнее и верхнее) критические значения числа Рейнольдса следующие $Re_{кр1} = 2320$ и $Re_{кр2} = 10\,000$ (см. рис. 6.3).

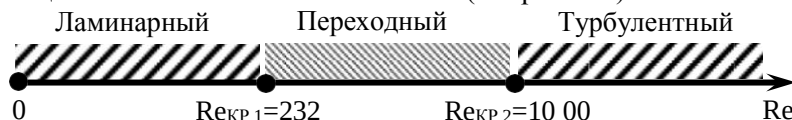


Рис. 6.3. Зависимость критерия Рейнольдса и режимов движения жидкости для трубопроводов круглого сечения

Критическому значению числа Рейнольдса соответствует критическая скорость движения жидкости, характеризующая смену режима движения жидкости:

– для трубопроводов круглого сечения

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} \cdot d}{\nu}; \quad (6.3)$$

– для открытых потоков

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} \cdot R}{\nu}. \quad (6.4)$$

где $v_{кр}$ – критическая скорость, соответствующая смене режимов движения жидкости, м/с.

d – внутренний диаметр трубы, м.

R – гидравлический радиус открытого потока, м.

Критическое значение числа Рейнольдса для открытых потоков равно 500 ($Re_{кр} = 500$).

5.4. Примеры решения задач

Задача 6.2.1. Определить число Рейнольдса и режим движения воды в водопроводной трубе диаметром $d = 300$ мм при расходе $Q = 0,136$ м³/с и температуре воды 10 °С.

Решение. Определим живое сечение потока

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} = 0,071 \text{ м}^2.$$

Тогда средняя скорость движения воды в трубе

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,136}{0,071} = 1,92 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{1,92 \cdot 0,03}{1,306 \cdot 10^{-6}} = 441\,000,$$

где $\nu = 1,306 \cdot 10^{-6}$ м²/с [1].

Режим движения воды турбулентный, поскольку

$$Re = 441\,000 > Re_{кр} = 2320.$$

5.5. Контрольные задачи

Задача 6.3.1. Определить режим движения и объемный расход нефти в трубопроводе диаметром $d = 400$ мм при скорости движения $v = 0,13$ м/с. Кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 0,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

Задача 6.3.2. Для квадратной трубки, сторона которой $a = 10$ мм, определить критическую скорость движения $v_{кр}$ воды при температуре $t = 20$ °С ($\nu = 0,01$ Ст), воздуха при $p = 0,1$ МПа и $t = 20$ °С ($\mu = 1,82 \cdot 10^{-4}$ П и $\rho = 1,17$ кг/м³) и турбинного масла при $t = 20$ °С ($\nu = 1$ Ст), приняв $Re_{кр} = 2000$.

Задача 6.3.3. По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм транспортируется нефть. Определить критическую скорость, соответствующую переходу ламинарного движения жидкости в турбулентное. Коэффициент кинематической вязкости принять равным $\nu = 8,1 \cdot 10^{-6}$ м²/с, критическое значение числа Рейнольдса – $Re_{кр} = 2300$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Тема 7 Подобие гидромеханических процессов

Гидравлические потери

Теоретическая часть

Потери напора по длине

Движение всякой вязкой жидкости по трубопроводу сопровождается потерей напора по длине, возникающей вследствие трения жидкости о стенки трубопровода, трения между слоями движущейся жидкости, а также турбулентного перемешивания. Кроме того, величина потерь зависит также от формы, размеров и шероховатости труб, а также от скорости движения и вязкости жидкости.

Потеря напора – есть часть механической энергии жидкости, которая ввиду работы сил трения, распределенных по длине потока (потери по длине), а также сосредоточенных в отдельных участках потока (местные потери), переходит в тепло и необратимо тратится.

Потери напора по длине h_{TP} , для установившегося турбулентного режима движения жидкости определяется по формуле Дарси-Вейсбаха (7.1).

$$h_{TP} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2a}, \quad (7.1)$$

где h_{TP} – потери напора;

L – длина трубопровода;

λ – коэффициент гидравлического трения;

v – средняя скорость потока;

d – диаметр трубопровода.

Коэффициент гидравлического трения λ учитывает влияние на потерю напора по длине таких факторов, которые не получили отражения в формуле Дарси-Вейсбаха в явном виде. Важнейшим из этих факторов является вязкость жидкости и состояние стенок трубы. При турбулентном режиме движения коэффициент гидравлического трения, как установлено теорией подобия, в общем случае зависит от двух безразмерных параметров числа Рейнольдса

Re и относительной шероховатости $\frac{K_s}{d}$:

$$\lambda = f \left(\text{Re}, \frac{K_{\Sigma}}{d} \right). \quad (7.2)$$

Коэффициент гидравлического трения λ экспериментально определяется на основании соотношения, получаемого из формулы (7.1) Дарси-Вейсбаха.

$$\lambda = \frac{h_{TP} \cdot d \cdot 2g}{L \cdot v^2}, \quad (7.3)$$

Таким образом, коэффициент гидравлического трения можно определить по измеренным величинам потери напора и скоростного напора на экспериментальном участке трубопровода.

Внутренняя структура потока и характеристика шероховатости поверхности трубы (относительная шероховатость) обуславливают четыре типа зависимости коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса и относительной шероховатости.

1. Ламинарный режим ($\text{Re} < 2300$). Обтекание выступов шероховатости стенок трубы плавное, вследствие чего относительная шероховатость не влияет на величину коэффициента λ , т.е. $\lambda = f(\text{Re})$. Этот коэффициент зависит только от скорости потока и определяется по формуле Пуазейля (7.4)

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (7.4)$$

2. Гидравлически гладкие трубы ($4000 < \text{Re} < 10^5$). Поток состоит из турбулентного ядра и ламинарного пристеночного подслоя. Толщина ламинарного подслоя больше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ не зависит от относительной шероховатости, а зависит только от числа Re , т.е. $\lambda = f(\text{Re})$. Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Блазиуса (7.5)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (7.5)$$

3. Доквадратичная область (шероховатых труб) $10^5 < \text{Re} < 500d/K_{\Sigma}$. Толщина ламинарного подслоя соизмерима с величиной значения абсолютной шероховатости. Отдельные выступы выходят за пределы ламинарного подслоя и влияют на сопротивление

движению. Коэффициент гидравлического трения λ зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости:

$$\lambda = f \left(\text{Re}, \frac{K_s}{d} \right). \quad (7.6)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Альтшуля (7.7).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (7.7)$$

4. Квадратичная (автомодельная) область ($\text{Re} > 500 \cdot d/K_s$) Развитый турбулентный режим. Толщина ламинарного слоя уменьшается по мере увеличения Re и намного меньше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ зависит только от относительной шероховатости K_s/d :

$$\lambda = f \left(\frac{K_s}{d} \right). \quad (7.8)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Шифрисона (7.9).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_s}{d} \right)^{0,25}. \quad (7.9)$$

Особо следует выделить область, соответствующую переходному режиму ($2300 < \text{Re} < 4000$). Для этой области характерна перемежающаяся турбулентность, т.е. постоянно происходит изменение структуры потока из ламинарной в турбулентную и обратно коэффициент Дарси λ можно определить по формуле Френкеля (7.10).

$$\lambda = \frac{2,7}{\text{Re}^{0,53}}. \quad (7.10)$$

Местные потери напора

При движении реальной жидкости по трубопроводам, помимо потерь на трение по длине, могут возникнуть еще так называемые местные потери напора. Причиной этих потерь, например, в трубопроводах, являются различного вида конструктивные вставки, необходимость установки, которых вызывается условиями сооружения и эксплуатации трубопровода. К ним относятся: колена, тройники, вентили, сужения, расширения трубопроводов и т. д. Так, колено устанавливается в случае необходимости поворота

трубопровода, тройник – для присоединения к основному трубопроводу ответвления, задвижка и вентиль – для изменения пропускной способности трубопровода.

Конструктивные вставки изменяют живое сечение потока, что приводит к изменению скорости движения жидкости как по величине, так и по направлению, а также приводят к отрыву транзитной струи от стенок русла и возникновению вихреобразований (см. рис. 7.1).

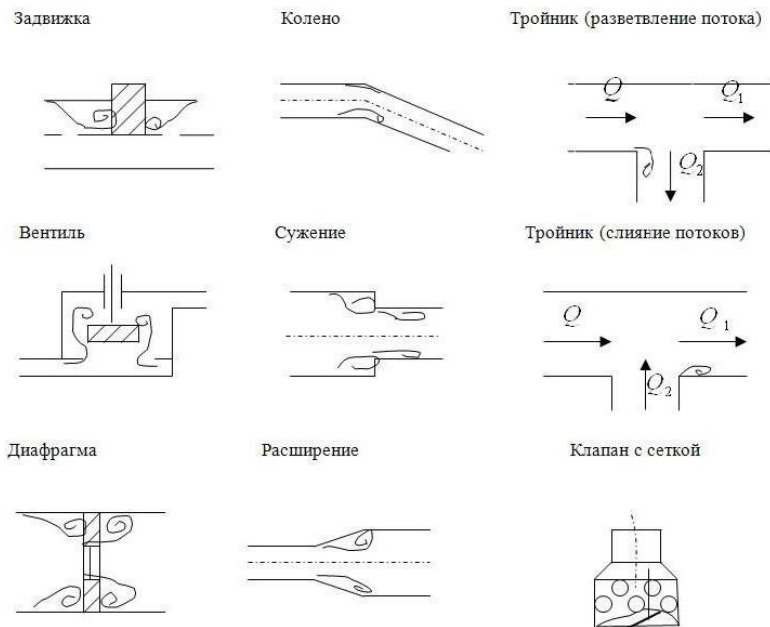


Рис. .1. Примеры местных гидравлических сопротивлений

При турбулентном режиме движения жидкости местные потери напора пропорциональны квадрату скорости и вычисляются по формуле Дарси (7.11).

$$h_M = \zeta \frac{v^2}{2a}, \quad (7.11)$$

где ζ – безразмерный коэффициент местного сопротивления;

v – средняя скорость движения жидкости за местным сопротивлением, м/с.

Величина коэффициента ζ определяется опытным путем и зависит от характера и конструктивного оформления местного сопротивления и при турбулентном режиме движения практически не зависит от числа Рейнольдса. В общем случае значения коэффициента местных сопротивлений приводятся в справочниках.

При решении задач можно воспользоваться схемой к определению потерь напора в круглых трубах (приложение Б).

Примеры решения задач

Задача.1. Вентиляционная труба диаметром $d = 0,1$ м имеет длину $l = 100$ м. Определить потери давления, если расход воздуха, подаваемый по трубе, равен $Q = 0,078$ м³/с. Давление на выходе равно атмосферному ($p_{AT} = 0,1$ МПа). Местные сопротивления по пути движения воздуха отсутствуют. Кинематическая вязкость воздуха при $t = 20^\circ\text{C}$ составляет $\nu = 15,7 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Средняя шероховатость выступов $\Delta = 0,2$ мм, плотность воздуха $\rho = 1,18$ кг/м³.

Решение.

Скорость воздуха в трубе равна:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,078}{3,14 \cdot 0,1^2} = 10 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,1}{15,7 \cdot 10^{-6}} = 69000.$$

Режим течения жидкости – турбулентный ($Re > 10\,000$ и $Re < 500d/K_\gamma = 500 \frac{100}{0,2} = 250\,000$, т.е. $10^5 < Re < 500d/K_\gamma$), поэтому ко-

эффициент гидравлического трения определим по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,2}{100} + \frac{68}{69000} \right)^{0,25} = 0,0257.$$

Потери давления на трение по длине определим по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{TP} = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}, \text{ откуда}$$

$$\Delta p = \lambda \frac{l v^2}{d 2} \rho = 0,0257 \cdot \frac{100}{0,1} \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 1,18 = 1,5 \text{ кПа.}$$

Задача .2. При внезапном расширении трубы от $d = 50$ мм до $D = 150$ мм происходит увеличение давления, которому соответствует разность показаний пьезометров $\Delta h = 80$ мм (см. рис. 7.2). Определить скорости v_1 и v_2 и расход жидкости. Учеть потери на внезапное расширение по формуле $h_M = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \frac{v_1^2}{2g}$.

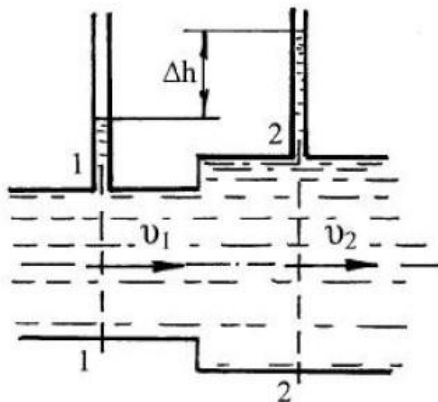


Рис. 7.2. К решению задачи 7.2.2

Решение.

Составим уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 относительно горизонтальной осевой линии трубопровода ($z_1 = z_2 = 0$):

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_M.$$

Потери на внезапное расширение h_M определим по формуле, данной в условии задачи.

$$h_M = \left(1 - \frac{S_1^2}{S_2^2} \right) \frac{v^2}{2g}, \text{ м.}$$

Учтем также, что $\Delta h = \frac{p_2}{\rho g} - \frac{p_1}{\rho g}$. Выразим любую скорость (например, v_2) из уравнения неразрывности (постоянства) расхода:

$$v_2 = v_1 \frac{d^2}{D^2}, \text{ м/с.}$$

С учетом вышеизложенного уравнения Бернулли примет вид:

$$\Delta h = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} - h_M = \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_1^2 \left(\frac{d^2}{D^2} \right)^2}{2g} - \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right) \frac{v_1^2}{2g}.$$

Откуда скорость v_1 будет равна:

$$v_1 = \sqrt{\frac{\Delta h \cdot 2g}{1 - \left(\frac{d^2}{D^2} \right)^2 - \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2}} = \sqrt{\frac{0,08 \cdot 2 \cdot 9,8}{1 - \left(\frac{50^2}{150^2} \right)^2 - \left(1 - \frac{50^2}{150^2} \right)^2}} = 2,83 \text{ м/с.}$$

$$v_2 = v_1 \frac{d^2}{D^2} = 2,83 \cdot \frac{50^2}{150^2} = 0,31 \text{ м/с.}$$

Расход жидкости определим из уравнения расхода:

$$Q = v_1 S_1 = v_2 S_2 = 2,83 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 5,55 \text{ л/с.}$$

Контрольные задачи

Задача 1. Водовод диаметром $d = 0,05$ м имеет длину $l = 200$ м. Определить потери давления, если расход воздуха, подаваемый по трубе, равен $Q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Местные сопротивления по пути движения воздуха отсутствуют. Кинематическая вязкость воды при $t = 10^\circ\text{C}$ составляет $\nu = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Средняя шероховатость выступов $\Delta = 0,25$ мм, плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Задача 2. При внезапном расширении трубы от $d = 100$ мм до $D = 250$ мм происходит увеличение давления, ко-

торому соответствует разность показаний пьезометров $\Delta h = 150$ мм (см. рис. 7.3). Определить скорости v_1 и v_2 и расход жидкости. Учесть потери на внезапное расширение по формуле

$$h_M = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right) \frac{v_1^2}{2g}.$$

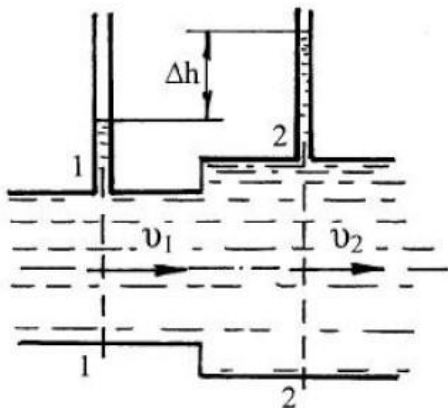


Рис. 7.3. К решению задачи 7.3.2

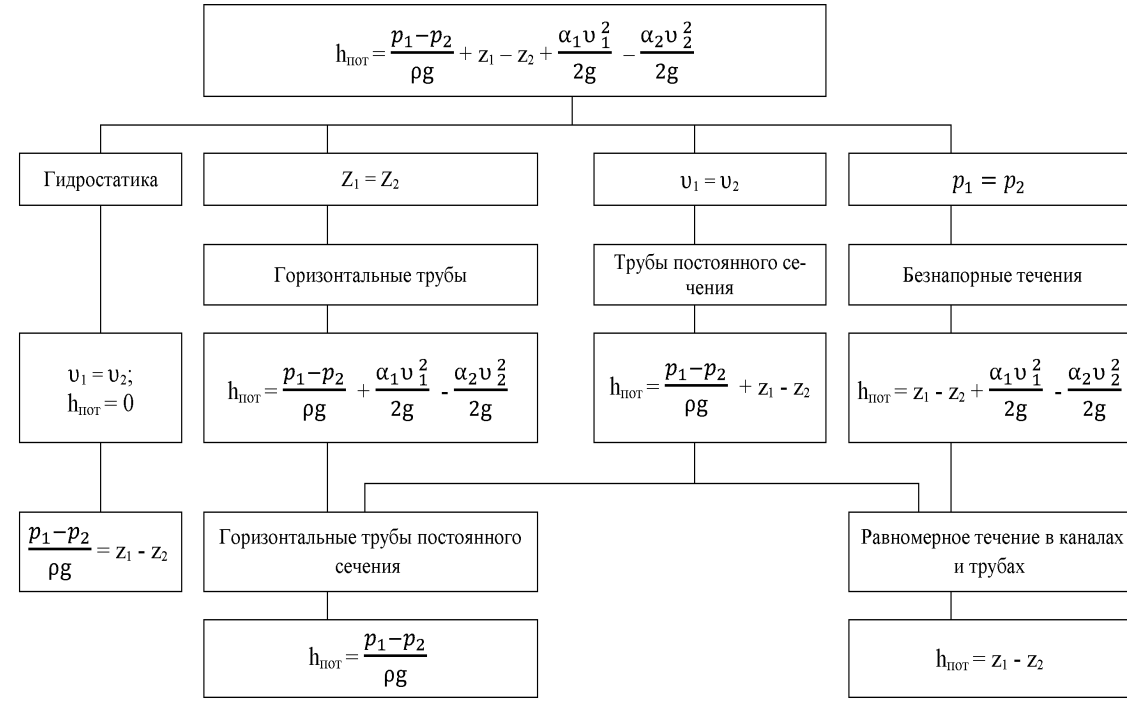


Схема к уравнению Бернулли

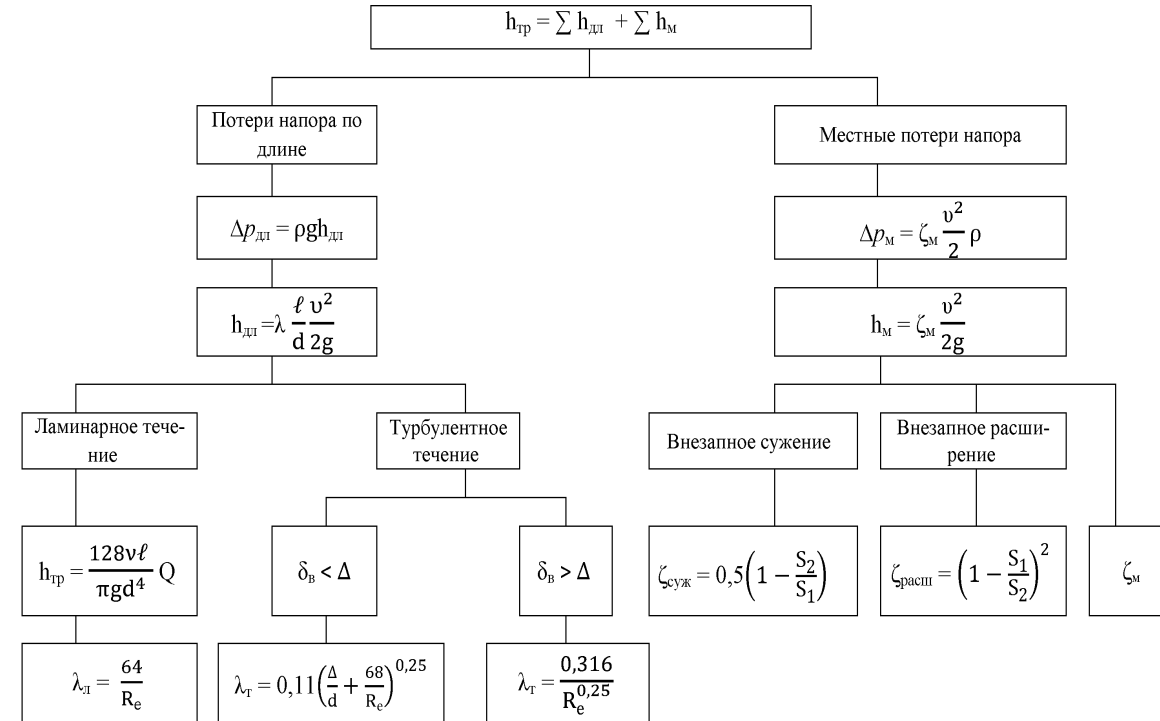


Схема к определению потерь напора в круглых трубах

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

для проведения
лабораторных работ
по дисциплине
«Механика жидкости и газа»

Направление подготовки 08.03.01 «Строительство»
Направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Определение кинематического коэффициента вязкости вискозиметром Энглера

1.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Определение вязкости жидкости при различных температурах и построение температурной кривой $\nu = f(T)$.

1.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Одним из основных свойств жидкости является вязкость.

Вязкостью называется способность жидкости оказывать сопротивление относительному смещению слоев. Сила сопротивления сдвигу слоев называется силой внутреннего трения.

При прямолинейном слоистом движении широкого класса жидкостей сила внутреннего трения между смещающимися слоями выражается формулой Ньютона-Петрова (1.1).

$$F = \mu S \frac{\partial v}{\partial n}, \text{ Н}, \quad (1.1)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости жидкости, Па·с.

S – площадь соприкасающихся слоев жидкости, м².

$\frac{\partial v}{\partial n}$

– градиент скорости, являющийся показателем интенсивности изменения величины скорости по нормали к ее направлению, с⁻¹.

Динамический коэффициент вязкости μ , являющийся основной количественной характеристикой вязкости жидкостей и газов, численно равен силе трения, возникающей на единичной площади при единичном градиенте скорости. Наряду с динамическим коэффициентом вязкости μ в технических дисциплинах широко используют кинематический коэффициент вязкости ν , определяемый соотношением (1.2).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (1.2)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Единица измерения кинематического коэффициента вязкости ν в системе СИ – м²/с, а в системе СГС («сантиметр грамм секун-

да») – Ст (в «стоксах»): $1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, внесистемная единица – градус Энглера.

Единица измерения динамического коэффициента вязкости μ в системе СИ – Па·с, а в системе СГС – П (в «пуáзах») $1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па·с}$.

Жидкости, для которых выполняется уравнение Ньютона–Петрова, называются ньютоновскими, остальные неньютоновскими.

Для определения вязкости применяют вискозиметры различных систем: Энглера, капиллярные, шариковые, ротационные.

1.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Вискозиметр Энглера применяется для определения вязкости капельных жидкостей, вязкость которых выше вязкости воды. Он относится к разряду условных приборов, в которых вязкость определяется по отношению к вязкости известной жидкости (дистиллированной воды). Вискозиметр представляет собой два концентрически вставленных друг в друга резервуара (рис. 1.1). Основной частью вискозиметра является латунная ванна (1) (ее вместимость до остриев штифтов составляет 240 см^3) с вмонтированным в ее дно суживающимся насадком (3) из нержавеющей стали. Площади сечения насадка на входе и выходе постоянны и соответственно равны $6,6 \text{ мм}^2$ и $6,16 \text{ мм}^2$. На внутренней поверхности ванны имеется три заостренных крючка-штифта (4), с помощью которых осуществляется контроль уровня замеряемой жидкости. Входное отверстие насадка закрывается стержнем (7). Сосуд имеет крышку (5) с отверстиями для запорного стержня и термометра (6). Латунная ванна помещается в водяную баню (2), которая оборудована электроподогревающим устройством (9) и мешалкой. Температура воды в бане контролируется с помощью термометра (6). Имеется круглая площадка для мерного стакана (8) емкостью 200–500 мл.

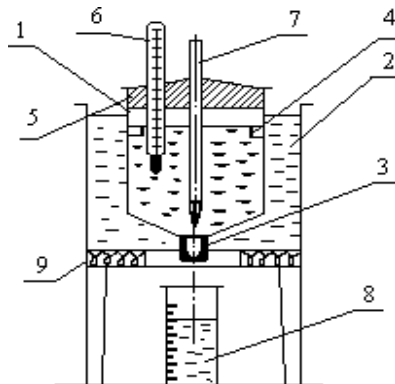


Рис. 1.1. Схема вискозиметра Энглера

1.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

1.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом опыта необходимо установить прибор в строго горизонтальное положение. Воду, находящуюся в бане, подогреть последовательно до заданной температуры и поддерживать эту температуру в процессе проведения опыта, постоянно перемешивая жидкость (воду).

Входное отверстие насадка закрыть стержнем и во внутренний резервуар залить исследуемую жидкость с условием, чтобы свободная поверхность жидкости в ванне касалась остриев всех трех штифтов. Затем ванну закрыть крышкой, вставить термометр и, после стабилизации температуры по всему объему исследуемой жидкости, открыть входное отверстие насадка для выпуска жидкости, одновременно включив секундомер.

По достижении уровня жидкости в мерном стакане отметки 200 мл, секундомер выключить. (При изменении вязкости масла пена, находящаяся выше уровня, в расчет не принимается). Измерения производить только при условии непрерывности струи. Если жидкость вытекает по каплям, то измерения вязкости производить

при высоких температурах, когда будет соблюдаться условие непрерывности. В этом случае вязкость жидкости при более низких температурах вычисляют графически или аналитически.

При определении вязкости очень густых жидкостей можно измерить время истечения 100 мл и умножить на коэффициент 2,35, что приблизительно соответствует времени истечения 200 мл этой жидкости. При каждой температуре жидкости опыты повторяются. Данные опыта заносят в табл. 1.1.

Условная вязкость испытываемой жидкости характеризуется градусами Энглера.

Число градусов Энглера определяется отношением времени истечения (в секундах) 200 мл испытуемой жидкости при данной температуре из вискозиметра типа ВУ (Энглера) ко времени истечения (в секундах) 200 мл дистиллированной воды из того же прибора при нормальной температуре (20 °C) и находится по формуле (1.3).

$$^{\circ}E = \frac{\tau_{ж}}{\tau_{пр}}, \quad (1.3)$$

где $\tau_{ж}$ – время истечения 200 мл испытываемой жидкости через насадок при заданной температуре, с;

$\tau_{пр}$ – время истечения 200 мл дистиллированной воды при 20 °C, $\tau_{пр} = 52$ с.

Для перехода от условной вязкости $^{\circ}E$ к кинематическому коэффициенту вязкости ν воспользуемся формулой (1.4).

$$\nu = 0,0732 \cdot ^{\circ}E - \frac{0,0631}{^{\circ}E}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (1.4)$$

После обработки опыта строится температурная кривая $\nu = f(T)$.

Таблица 1.1

Обработка данных опыта

Величина	Обозначение	Единицы измерения	Опыты			
			1	2	3	4
Температура жидкости	t	°С				
Объем	V	мл				
Время истечения	$\tau_{ж}$	с				
Вязкость в градусах Энглера	$^0E = \frac{\tau_{ж}}{\tau_{пр}}$	—				
Кинематический коэффициент вязкости	$\nu = 0,0732 \cdot ^0E - \frac{0,0631}{^0E}$	м²/с				

1.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерченная принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный в графическом редакторе на ПК.

Отчет может быть выполнен на ПК и распечатан на листах формата А4.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

1.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Жидкость (основные понятия). Физические свойства жидкости: плотность, удельный вес, сжимаемость (закон Гука).

2. Вязкость жидкости. Коэффициенты, характеризующие вязкость жидкости; их единицы измерения и формула взаимосвязи.

3. Каков физический смысл динамического коэффициента вязкости?

4. Сила внутреннего трения жидкости, формула ее определения.
5. Какими приборами измеряется вязкость жидкости?
6. Температурное расширение. Сжимаемость.
7. Поверхностное натяжение и капиллярные явления в жидкости. Растворимость газов в жидкостях (закон Генри).

8. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $l = 1$ км для повышения давления до $\Delta p = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь

$$(\beta_w = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1}).$$

9. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды $W = 0,4$ м³. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с 20 до 90 °С?

$$(\rho_{20^\circ} = 998 \text{ кг/м}^3, \rho_{90^\circ} = 965 \text{ кг/м}^3)$$

10. Определить высоту подъема воды в стеклянном капилляре диаметром $d = 0,001$ м при температуре воды $t_1 = 20$ °С и $t_2 = 80$ °С.

($\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м; $\sigma = \sigma_0 - \beta \cdot \Delta t$, где σ_0 – поверхностное натяжение при $t = 0$ °С, $\sigma_0 = 0,0726$ Н/м; $\beta = 0,00015$ °С⁻¹; $\rho = 972$ кг/м³ – плотность воды при $t = 80$ °С).

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование работы гидравлического пресса

2.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Изучить устройство, принцип действия гидравлического пресса; рассчитать силы и выигрыш в силе.

2.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

В покоящейся жидкости возможен лишь один вид напряжения – гидростатическое давление, силы вязкости в покое не проявляются.

Гидростатическое давление обладает тремя свойствами:

- гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует (по направлению к площадке, а не от нее);

- гидростатическое давление действует одинаково по всем направлениям, то есть не зависит от угла наклона площадки, на которую оно действует;

- гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве, то есть $p = f(x, y, z)$ и увеличивается с возрастанием глубины ее погружения.

Согласно основному закону гидростатики, давление в любой точке покоящейся жидкости складывается из давления на свободную поверхность жидкости p_0 и давления, зависящего от глубины

погружения h , то есть давления, обусловленного весом вышележащих слоев жидкости ρgh . Аналитически основной закон гидростатики записан в виде формулы (2.1).

$$p = p_0 + \rho gh, \text{ Па.} \quad (2.1)$$

Давление, приложенное к жидкости (внешнее давление), передается внутри жидкости во все стороны без изменения, то есть всякое изменение внешнего давления приводит к изменению давления в каждой точке жидкости. В гидравлике это понятие носит название закона Паскаля.

Закон Паскаля имеет широкое применение в технике и используется при конструировании гидравлических установок, действие которых основано на передаче давления внутри жидкости.

По этому принципу работают гидравлические аккумуляторы, гидравлический пресс, мультипликаторы, домкраты, и др. устройства. Рассмотрим принцип действия и устройство гидравлического пресса.

2.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Принципиальная схема пресса показана на рис. 2.1. Пресс состоит из двух цилиндров, соединенных системой трубок. В малом цилиндре находится поршень Π_1 с рычагом, имеющим неподвижную шарнирную опору, а в большом цилиндре – поршень Π_2 со столом, на котором помещается прессуемое тело.

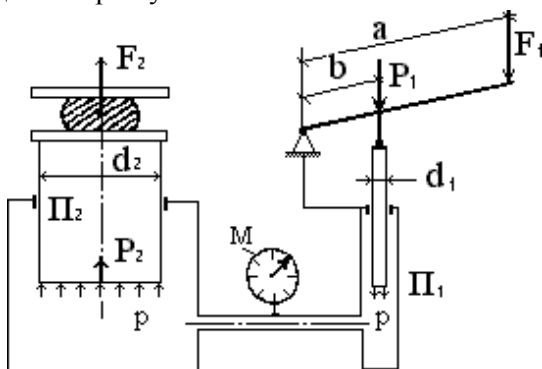


Рис. 2.1. Принципиальная схема гидравлического пресса

Возвратно-поступательным движением рычага с малым поршнем Π_1 накачивают жидкость в полость под большим поршнем Π_2 . Давление в системе регистрируется манометром М. Помимо этого пресс снабжен шариковыми клапанами (на схеме не показаны), которые предотвращают возврат жидкости в бачок и под малый поршень.

2.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

2.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Если к рукоятке рычага приложить силу F_1 , то согласно «золотому правилу механики» (правилу рычага) на малый поршень передается сила P_1 , определяемая по формуле (2.2).

$$P_1 = \frac{F_1 \cdot a}{b}, \text{ Н}, \quad (2.2)$$

где a – длина рукоятки рычага,

b – длина плеча малого поршня.

Сила P_1 создает гидростатическое давление p , вычисляемое по уравнению (2.3).

$$p = \frac{P_1}{S_1}, \text{ Па}, \quad (2.3)$$

где S_1 – площадь сечения малого поршня Π_1 (см. рис. 2.1), определяемое по уравнению (2.4).

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.4)$$

Давление жидкости p передается без изменения под поршень Π_2 большего диаметра (см. рис. 2.1). Пренебрегая практически незначительной поправкой на разность высотных положений нижних поверхностей поршней, получаем силу давления P_2 на больший поршень по формуле (2.5).

$$P_2 = p \cdot S_2, \text{ Н}, \quad (2.5)$$

где S_2 – площадь сечения большого поршня, определяемая по уравнению (2.6).

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.6)$$

Учитывая потери на трение в движущихся частях и утечки жидкости введением КПД (η), получим значение силы F_2 , сжимающей прессуемое тело, по формуле (2.7).

$$F_2 = \eta \cdot P_2, \text{ Н}. \quad (2.7)$$

КПД прессы обычно принимают равным $\eta = 0,8 \div 0,85$.

Выигрышем в силе гидравлического пресса называют отношение силы F_2 , прессующей тело, к силе F_1 , приложенной к рычагу.

Выигрыш в силе определяется по формуле (2.8).

$$W = \frac{F_2}{F_1}, \quad (2.8)$$

или

$$W = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\eta \cdot P_2}{P_1} = \eta \frac{p \cdot S_2}{p \cdot S_1} = \eta \frac{S_2}{S_1}.$$

Максимальный теоретический же выигрыш в силе можно найти, записав отношение площадей поршней, по формуле (2.9).

$$W = \frac{S_2}{S_1}. \quad (2.9)$$

Но пресс не дает такого выигрыша в силе из-за наличия сил трения, которые снижают «эффективность» гидравлического пресса и учитывается в расчетах КПД установки.

В лабораторной работе по известному давлению жидкости в системе p необходимо определить действующие силы F_1 , P_1 , P_2 , F_2 и выигрыш в силе W , для четырех значений давления в системе. Вычисления сводятся в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходных данных и обработки измеренных величин опыта

Заданные и вычисленные величины	Обозначение	Единица измерения	Опыты			
			1	2	3	4
Заданные давления в системе	p	$\times 10^5$ Па	2	4	6	8
Измеряемая длина рукоятки рычага	a	м				
Измеряемая длина плеча малого поршня Π_1	b	м				
Измеряемый диаметр малого поршня Π_1	d_1	м				
Измеряемый диаметр большого поршня Π_2	d_2	м				
Площадь малого поршня Π_1	$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$	м ²				

Продолжение таблицы 2.1

Площадь большого поршня P_2	$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$	m^2				
Сила на малом поршне	$P_1 = p \cdot S_1$	Н				
Сила на большом поршне	$P_2 = p \cdot S_2$	Н				
Усилие, прилагаемое к рукоятке рычага	$F_1 = \frac{P_1 \cdot b}{a}$	Н				
Сила, сжимающая прессуемое тело	$F_2 = \eta \cdot P_2$	Н				
Выигрыш в силе	$W = \frac{F_2}{F_1}$	–				
Теоретический максимальный выигрыш в силе	$W = \frac{S_2}{S_1}$	–				

2.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчена принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

2.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидростатическое давление и его свойства.
2. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля и примеры его применения.
3. Виды гидростатического давления, эпюры гидростатического давления.
4. Приборы для измерения давления.
5. Сила гидростатического давления на плоскую стенку. Положение центра давления.

6. Сила давления на криволинейные поверхности.

7. Плавание тел. Закон Архимеда.

8. В гидравлическом прессе площадь малого поршня $S_1=2\text{ см}^2$, площадь большого – $S_2=200\text{ см}^2$. Сила, действующая на малый поршень, $F_1=400\text{ Н}$, на большой – $F_2=36\text{ кН}$. Какой выигрыш в силе даёт этот пресс? Почему пресс не дает максимального (наибольшего) выигрыша в силе? Какой выигрыш в силе должен был бы давать этот пресс при отсутствии силы трения между поршнями и стенками прессы?

9. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием $h = 0,42\text{ м}$. Определить разрежение под поршнем (рис. 2.2).

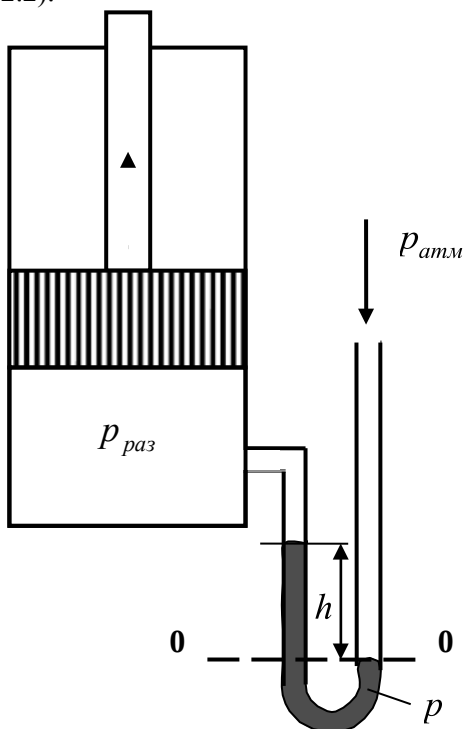


Рис. 2.2

10. Грунтовые воды, формирующие систему с нефтяным пластом, выходят на поверхность (рис. 2.3). Какова должна быть

плотность глинистого раствора, применяемого при бурении ($\rho_{\min}$), чтобы не было фонтанирования нефти при вскрытии пласта? Глубина скважины $h = 2500$ м; расстояние между уровнем выхода подземных вод на поверхность и границей вода – нефть $h_1 = 3200$ м; расстояние между уровнем выхода грунтовых вод на поверхность и устьем скважины $h_2 = 600$ м; плотность подземных вод $\rho_v = 1100$ кг/м³; плотность нефти $\rho_n = 850$ кг/м³.

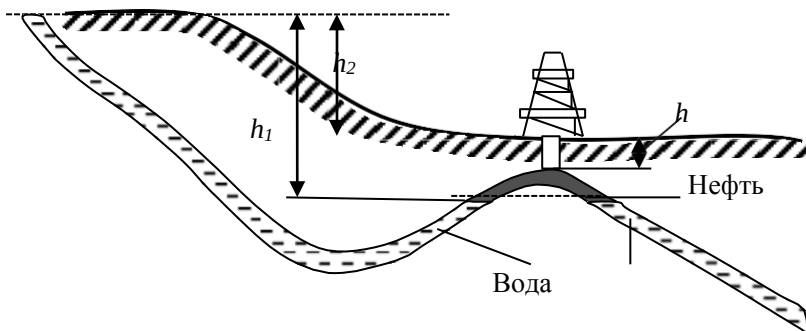


Рис. 2.3

11. Избыточное давление воды в океане на глубине $h = 300$ м равно $31,5 \cdot 10^5$ Па. Требуется определить: плотность морской воды на этой глубине в общем виде; плотность морской воды на этой глубине в районах Северного полюса и экватора ($g_{\text{пол}} = 9,831$ м/с²; $g_{\text{экв}} = 9,781$ м/с²).

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Исследование режимов движения жидкости

3.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Визуальное наблюдение ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, а также смены режимов. Вычисление по опытным данным значений критерия Рейнольдса (Re) при наблюдаемых режимах.

3.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Одна из основных задач гидравлики – оценка потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений, возникающих при движении реальных жидкостей в различных гидравлических системах.

Чтобы правильно определить эти сопротивления, прежде всего, необходимо составить ясное представление о механизме самого движения жидкости. При исследовании вопроса приходим к заключению о существовании двух различных, резко отличающихся режимов движения: ламинарного (слоистого) и турбулентного (вихревого). При ламинарном движении частицы жидкости движутся без перемешивания, их траектории не пересекаются, наблюдается слоистое перемещение.

Ламинарный режим наблюдается преимущественно при движении вязких жидкостей – нефть, битум, смазочные масла и др. или при движении любых жидкостей с малыми скоростями.

Турбулентный режим характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости и имеет место при сравнительно больших скоростях и малой вязкости.

Существование того или иного режима движения жидкости определяется значением критерия Рейнольдса (Re). В общем случае критерий Рейнольдса вычисляется по формуле (3.1).

$$Re = \frac{v \cdot l}{\nu}, \text{ или } Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu} \quad (3.1)$$

где v – средняя скорость движения жидкости, м/с;

l – определяющий геометрический размер, м. Для трубопроводов круглого сечения принимается диаметр d , а для открытых потоков – гидравлический радиус R (отношение площади к смоченному периметру χ);

ν (греч. «ню») – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$;
 μ (греч. «мю») – динамический коэффициент вязкости, $\text{Па}\cdot\text{с}$;
 ρ – плотность движущейся жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таким образом, для трубопроводов круглого сечения критерий Рейнольдса (Re) определяется по формуле (3.2).

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (3.2)$$

где d – внутренний диаметр трубы, м.

Критерий Рейнольдса (Re) – это безразмерный комплекс физических величин. С физической точки зрения число Рейнольдса характеризует соотношение между силами инерции и вязкости (внутреннего трения), действующими в потоке. Когда преобладают силы вязкости (число Рейнольдса мало), частицы жидкости движутся параллельно не перемешиваясь.

Если же преобладают инерционные силы (когда число сравнительно велико), то упорядоченность движения частиц нарушается, они движутся хаотично.

Опытами установлено, что при $Re < 2320$ в круглой цилиндрической трубе наблюдается устойчивое ламинарное течение (см. рис. 3.1).



Рис. 3.1. Ламинарный режим движения жидкости

При $Re > 2320$ слоистое движение нарушается, и при $2320 < Re < 10\,000$ имеет место так называемый переходный режим, для которой характерна перемежающаяся турбулентность, то есть периодическое изменение характера течения с ламинарного на турбулентное. Ламинарное течение может сохраняться и при $Re > 2300$, но оно будет неустойчивым, и при небольших возмущениях (толчки, виб-

рации) сразу же переходит в турбулентное. При $Re > 10\,000$ наблюдается турбулентный режим движения жидкости (см. рис. 3.2).

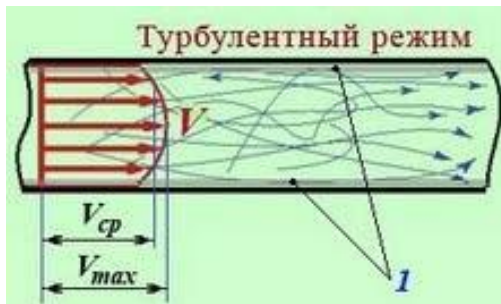


Рис. 3.2. Турбулентный режим движения жидкости

Числа Рейнольдса, при котором происходит переход от ламинарного режима к переходному и от переходного к турбулентному, носят название критических значений числа Рейнольдса – $Re_{кр1}$ и $Re_{кр2}$.

Например, для труб круглого сечения первое и второе (или нижнее и верхнее) критические значения числа Рейнольдса следующие $Re_{кр1} = 2320$ и $Re_{кр2} = 10\,000$ (см. рис. 3.3).

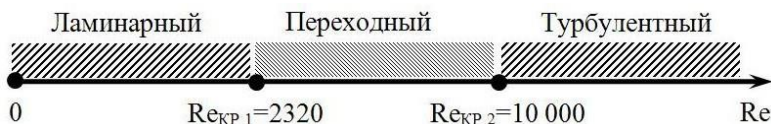


Рис. 3.3. Зависимость критерия Рейнольдса и режимов движения жидкости для трубопроводов круглого сечения

Критическому значению числа Рейнольдса соответствует критическая скорость движения жидкости, характеризующая смену режима движения жидкости:

– для трубопроводов круглого сечения

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} \cdot d}{\nu}; \quad (3.3)$$

– для открытых потоков

$$Re_{кр} = \frac{v_{кр} \cdot R}{\nu}. \quad (3.4)$$

где $U_{кр}$ – критическая скорость, соответствующая смене режимов движения жидкости, м/с.

d – внутренний диаметр трубы, м.

R – гидравлический радиус открытого потока, м.

Критическое значение числа Рейнольдса для открытых потоков равно 500 ($Re_{кр} = 500$).

3.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, заполняемого водой, и сосуда 4, в который наливают красящие вещества. Труба 2 имеет на конце кран 3, позволяющий регулировать расход и скорость движения жидкости. Измерение расхода жидкости осуществляется объемным способом при помощи мерного бака 7. Труба 2 для осуществления плавного входа в нее имеет входную воронку, из сосуда 4 подведена тонкая трубка 5 с зажимом 6, по которой в поток подаются красящие вещества (рис. 3.2).

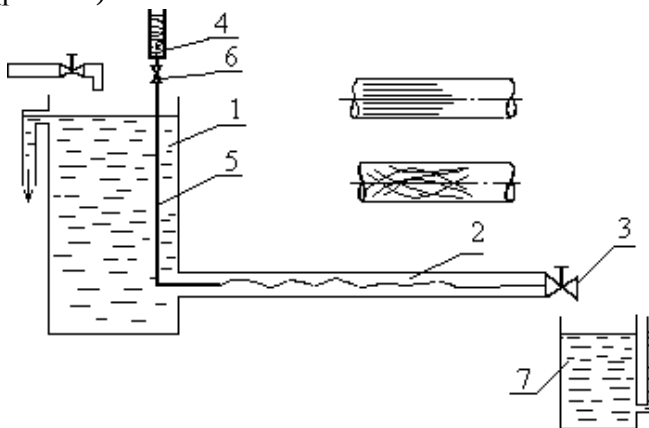


Рис. 3.2. Принципиальная схема лабораторной установки

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу так- же можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена на рис. 3.3.

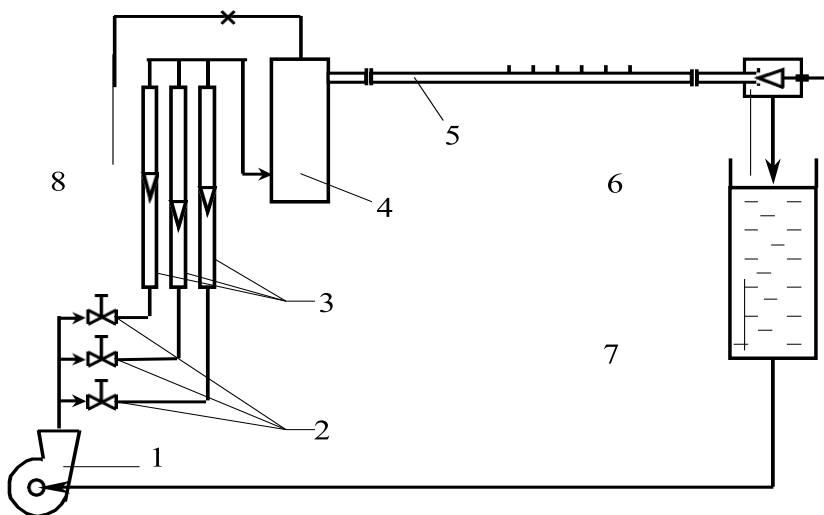


Рис. 3.3. Универсальный лабораторный стенд: 1 – насос, 2 – регулирующие вентили, 3 – система ротаметров, 4 – компенсационный бак, 5 – лабораторный модуль, 6 – игольчатый вентиль, 7 – сливной бак, 8 – воздухоотводчик с пережимом

Путем смены лабораторного модуля 5, этот стенд можно подготовить для изучения различных гидравлических процессов.

3.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

3.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Во время опыта уровень воды в баке 1 поддерживается постоянным с помощью перелива. Опыт начинается с малых скоростей, для этого кран 3 немного открывают и одновременно пускают красящие вещества через трубку 5. В стеклянной трубе должна быть видна окрашенная струйка, которая легко выделяется в движущемся потоке. Следовательно, движущаяся струйка, которая не перемешивается с соседними струйками, т.е. наблюдается струйное движение, называемое ламинарным. Увеличивая степень от-

крытия крана 3 увеличивают скорость движения жидкости до тех пор, пока струйка красящего вещества не начнет теряться в общем потоке жидкости, т. е. происходит переход из ламинарного режима в турбулентный. Дальнейшим открытием крана устанавливают скорость движения, соответствующую установившемуся турбулентному течению, струйка совершенно исчезает, поток окрашивается равномерно.

В каждом опыте производят замеры температуры, времени полного или частичного заполнения мерного бака, объема мерного бака. Результаты заносят в табл. 3.1. Опыт, соответствующий переходу из ламинарного в турбулентный режим, производят 3 раза для более точного установления критического числа Рейнольдса.

Таблица 3.1

Обработка результатов опыта

Величины	Обозначения	Единицы измерения	Опыты		
			1	2	3
Режим движения жидкости	–	–			
Объем жидкости в мерном баке	V	м^3			
Время заполнения мерного бака	τ	с			
Температура в напорном баке	t	$^{\circ}\text{C}$			
Объемный расход жидкости	$Q = \frac{V}{\tau}$	$\text{м}^3/\text{с}$			
Средняя скорость	$v = \frac{Q}{S}$	$\text{м}/\text{с}$			
Кинематический коэффициент вязкости	ν	$\text{м}^2/\text{с}$			
Число Рейнольдса	$\text{Re} = \frac{v d}{\nu}$	–			

Постоянные величины: диаметр трубы – $d = 2,5$ см; площадь сечения – $S = \pi d^2/4 \text{ м}^2$.

3.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: но-

мер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

3.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидродинамика (основные понятия и определения).
2. Расход жидкости. Классификация расходов. Уравнение постоянства расхода.

3. Режимы движения жидкости. Критерий определения режима движения жидкости.

4. Особенности течения жидкости при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости.

5. Физический смысл критерия Рейнольдса.

6. Определить режим движения и объемный расход нефти в трубопроводе диаметром $d = 400$ мм при скорости движения $v = 0,13$ м/с. Кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 0,3 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

7. Определить число Рейнольдса и режим движения воды в водопроводной трубе диаметром $d = 300$ мм при расходе $Q = 0,136$ м³/с и температуре воды 20 °С ($\nu = 1,306 \cdot 10^{-6}$ м²/с для воды при $t = 20$ °С).

8. Для квадратной трубки, сторона которой $a = 10$ мм, определить критическую скорость движения $v_{кр}$ воды при температуре $t = 20$ °С ($\nu = 0,01$ Ст), воздуха при $p = 0,1$ МПа и $t = 20$ °С ($\mu = 1,82 \cdot 10^{-4}$ П и $\rho = 1,17$ кг/м³) и турбинного масла при $t = 20$ °С ($\nu = 1$ Ст), приняв $Re_{кр} = 2000$.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли

4.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

На напорном трубопроводе переменного сечения проследить по приборам переход энергии в потоке из потенциальной в кинетическую. По опытным данным построить линии полного и пьезометрического напоров.

4.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения энергии применительно к движущему потоку жидкости. Оно устанавливает связь между удельной потенциальной, удельной кинетической энергией и удельной энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивлений движению жидкости, на участке от сечений 1–1 до N–N.

Для установившегося потока вязкой жидкости, движущейся от сечения 1–1 до сечения 6–6, (рис. 4.1) уравнение Бернулли представлено в виде формулы (4.1).

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = z_6 + \frac{p_6}{\rho g} + \frac{\alpha_6 \cdot v_6^2}{2g} + h_{1-6}, \quad (4.1)$$

где z_1 и z_6 – высота центров тяжести живых сечений 1–1 и 6–6 по отношению к горизонтальной плоскости сравнения, м;

v_1 и v_6 – средняя скорость движения жидкости в живых сечениях 1–1 и 6–6, м;

p_1 и p_6 – давление в центрах тяжести сечений 1–1 и 6–6, Па;

α_1 и α_6 – коэффициент Кориолиса (учитывает неравномерность распределения скоростей по живому сечению потока реальной жидкости); $\alpha = 2$ – для ламинарного режима движения жидкости;

$\alpha = 1$ – для турбулентного режима движения;

h_{1-6} – потери напора на преодоление сопротивлений движению жидкости, м.

Уравнение Бернулли имеет энергетический и геометрический смысл. Энергетический смысл заключается в том, что каждый член уравнения представляет собой удельную энергию – энергию,

отнесенную к единице веса жидкости, а геометрический смысл заключается в том, что каждый член представляет собой высоту:

z – удельная потенциальная энергия положения или геометрическая высота;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления или пьезометрическая высота;

$\frac{v^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия или скоростная высота (скоростной напор).

Сумма геометрической высоты z и пьезометрической высоты

$\frac{p}{\rho g}$ называется пьезометрическим напором (удельной потенциальной энергией).

Линия, изображающая изменение удельной потенциальной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется пьезометрической линией.

Линия, изображающая изменение полной энергии по длине потока относительно условной горизонтальной плоскости (плоскости сравнения), называется напорной линией.

В зависимости от изменения живого сечения вдоль потока, происходит перераспределение удельной потенциальной $z + \frac{p}{\rho g}$ и

удельной кинетической $\frac{v^2}{2g}$ энергии. При уменьшении площади

живого сечения потока увеличивается средняя скорость потока v и, следовательно, возрастает удельная кинетическая энергия

$\frac{v^2}{2g}$, а потенциальная энергия

z

$z + \frac{P}{\rho g}$, соответственно, умень- —

шается.

Гидродинамический напор (полная удельная энергия) по направлению движения потока реальной жидкости непрерывно уменьшается из-за наличия сил внутреннего трения и трения жид-

кости о стенки трубопровода, в то время как пьезометрический напор не всегда уменьшается.

Пьезометрическая высота $\frac{p}{\rho g} \left(\frac{p}{\gamma} \right)$ измеряется с помощью

прозрачных трубок (пьезометров), герметически присоединенных к отверстию в стенке трубопровода.

Для измерения полной энергии используются гидродинамические трубки (ГДТ или трубки Пито) с нижним концом, погруженным на ось трубопровода и отогнутым против направления движения жидкости. Уровень воды в ГДТ поднимается выше, чем уровень в пьезометрах на величину скоростной высоты $\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$.

4.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, напорного вентиля 2, из труб 3, 4 и 5, мерного бака 6, расходного вентиля 7, пьезометрических трубок 8 и гидродинамических трубок (трубок Пито) 9, холостого водослива 10 и питающей трубы 11 (рис. 4.1).

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе 3 на рис. 3.3.

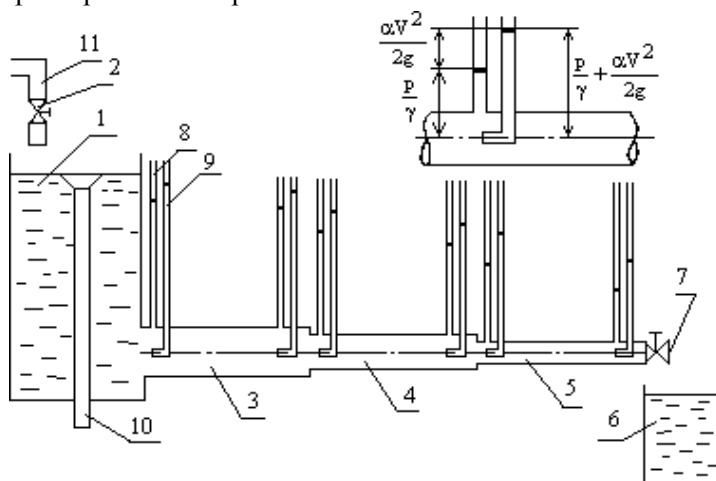


Рис. 4.1. Принципиальная схема лабораторной установки

4.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

4.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Медленно открыть напорный вентиль 2, заполняя трубы водой. До начала работы необходимо убедиться в том, что в пьезометрах 8 и гидродинамических трубках 9 отсутствует воздух, для чего сравнивают между собой показания всех пьезометров и трубок Пито. Уровни в них должны быть на одной и той же высоте.

Для проведения опытов производится открытие вентиля 7, устанавливается расход Q .

После установления уровня жидкости в трубках, измеряются и записываются показания уровней в пьезометрических 8 и гидродинамических 9 трубках в каждом сечении. Результаты замеров заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

*Экспериментальные значения и результаты
обработки опытных данных*

Название измерительных и вычисленных величин	Обозначение	Размерность	Точка присоединения пьезометра и ГДТ			
			1	2	3	4
Диаметр трубопровода на участке	d	мм				
Геометрическая высота	z	см				
Показания пьезометрических трубок	$z + \frac{p}{\rho g}$	см				
Показания гидродинамических трубок (ГДТ)	$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$	см				
Скоростной напор	$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g}$	см				
Потери напора на участке	h_{1-4}	см				

По полученным данным на листе миллиметровой бумаги в исследуемых сечениях вверх от плоскости сравнения 0–0 откладываются пьезометрические и гидродинамические высоты, т. к. трубопровод горизонтальный, то $z_1=z_2=...=z_6=0$.

Соединяя полученные точки, строят опытные пьезометрическую и напорную линии (линию удельной потенциальной энергии и линию полной удельной энергии).

4.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный на миллиметровой бумаге или на ПК.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

4.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Уравнение Бернулли для струйки и потока идеальной и реальной жидкости.

2. Энергетический смысл уравнения Бернулли и входящих в него слагаемых.

3. Геометрический смысл уравнения Бернулли и входящих в него слагаемых.

4. Построение пьезометрической и напорной линий для случая реальной жидкости.

5. Вода протекает по водомеру Вентури, состоящему из трубы диаметром $D_1=20$ см, в которую вставлен участок трубы диаметром $D_2=10$ см (см. рис. 4.2). Пренебрегая сопротивлением, определить расход воды, если в пьезометрах Π_1 и Π_2 разность показаний $h=0,25$ м.

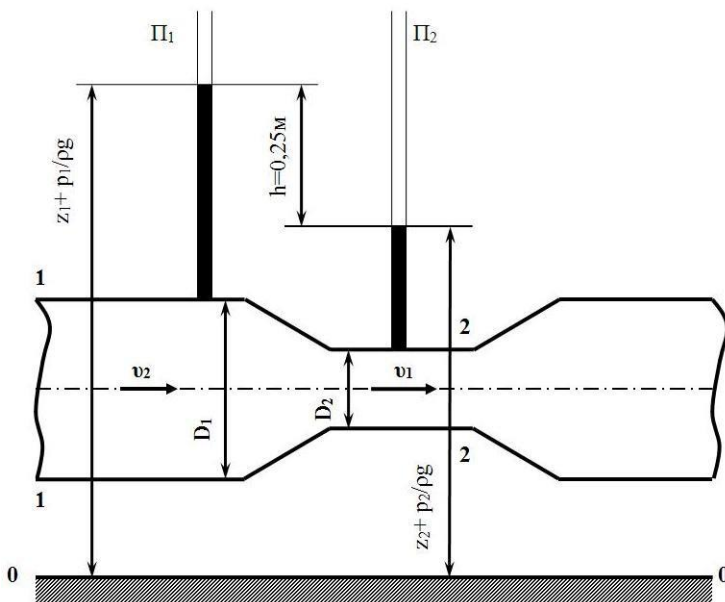


Рис. 4.2. К решению задачи 5

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Определение потерь напора по длине при установившемся турбулентном течении жидкости

5.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Экспериментально определить потери напора и найти численное значение коэффициента гидравлического сопротивления трения для прямолинейного участка трубопровода постоянного диаметра с установившимся в нем турбулентным движением воды. Выяснить области сопротивления, в которых проводится опыт, и подобрать формулы для вычисления коэффициентов λ .

5.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Движение всякой вязкой жидкости по трубопроводу сопровождается потерей напора по длине, возникающей вследствие трения жидкости о стенки трубопровода, трения между слоями движущейся жидкости, а также турбулентного перемешивания. Кроме того, величина потерь зависит также от формы, размеров и шероховатости труб, а также от скорости движения и вязкости жидкости.

Потеря напора – есть часть механической энергии жидкости, которая ввиду работы сил трения, распределенных по длине потока (потери по длине), а также сосредоточенных в отдельных участках потока (местные потери), переходит в тепло и необратимо теряется.

Потери напора по длине h_{TP} , для установившегося турбулентного режима движения жидкости определяется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{TP} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (5.1)$$

где h_{TP} – потери напора;

L – длина трубопровода;

λ – коэффициент гидравлического трения;

v – средняя скорость потока;

d – диаметр трубопровода.

Коэффициент гидравлического трения λ учитывает влияние на потерю напора по длине таких факторов, которые не получили отражения в формуле Дарси-Вейсбаха в явном виде. Важнейшим из этих факторов является вязкость жидкости и состояние стенок

трубы. При турбулентном режиме движения коэффициент гидравлического трения, как установлено теорией подобия, в общем случае зависит от двух безразмерных параметров числа Рейнольдса

Re и относительной шероховатости $\frac{K_{\Sigma}}{d}$:

$$\lambda = f\left(Re, \frac{K_{\Sigma}}{d}\right). \quad (5.2)$$

Коэффициент гидравлического трения λ экспериментально определяется на основании соотношения, получаемого из формулы (5.1) Дарси-Вейсбаха.

$$\lambda = \frac{h_{TP} \cdot d \cdot 2g}{L \cdot v^2}, \quad (5.3)$$

Таким образом, коэффициент гидравлического трения можно определить по измеренным величинам потери напора и скоростного напора на экспериментальном участке трубопровода.

Внутренняя структура потока и характеристика шероховатости поверхности трубы (относительная шероховатость) обуславливают четыре типа зависимости коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса и относительной шероховатости (см. рис. 5.1).

$lg(100\lambda)$

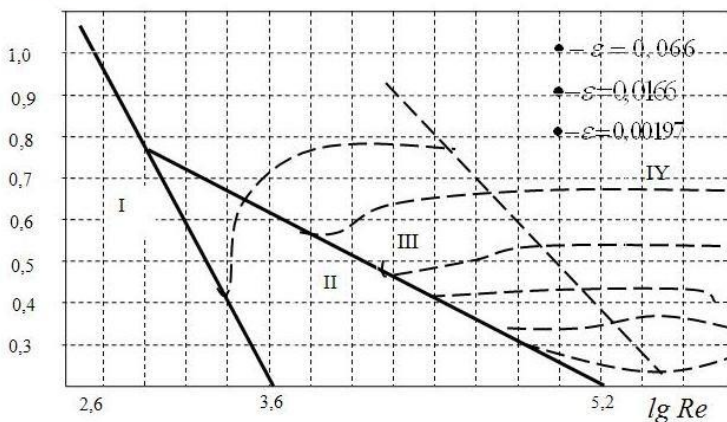


Рис. 5.1. графики Никурадзе: ламинарный режим ($lg Re < 3,4$ или $Re < 2320$), зона гладких труб ($4000 < Re < 10d/K_{\Sigma}$); зона шероховатых труб ($10d/K_{\Sigma} < Re < 500d/K_{\Sigma}$); квадратичная (автомодельная) зона ($Re > 500 d/K_{\Sigma}$)

1. Ламинарный режим ($Re < 2300$). Обтекание выступов шероховатости стенок трубы плавное, вследствие чего относительная шероховатость не влияет на величину коэффициента λ , т.е. $\lambda = f(Re)$. Этот коэффициент зависит только от скорости потока и определяется по формуле Пуазейля (5.4)

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (5.4)$$

2. Гидравлически гладкие трубы ($4000 < Re < 10^5$). Поток состоит из турбулентного ядра и ламинарного пристеночного подслоя. Толщина ламинарного подслоя больше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ не зависит от относительной шероховатости, а зависит только от числа Re , т.е. $\lambda = f(Re)$. Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Блазиуса (5.5)

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (5.5)$$

3. Доквадратичная область (шероховатых труб) $10^5 < Re < 500d/k_s$. Толщина ламинарного подслоя соизмерима с величиной значения абсолютной шероховатости. Отдельные выступы выходят за пределы ламинарного подслоя и влияют на сопротивление движению. Коэффициент гидравлического трения λ зависит как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости:

$$\lambda = f\left(Re, \frac{k_s}{d}\right). \quad (5.6)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Альтшуля (5.7).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (5.7)$$

4. Квадратичная (автомодельная) область ($Re > 500 \cdot d/k_s$) Развитый турбулентный режим. Толщина ламинарного слоя уменьшается по мере увеличения Re и намного меньше среднего значения абсолютной шероховатости. Поэтому коэффициент λ зависит только от относительной шероховатости k_s/d :

$$\lambda = f \left(\frac{Re}{d} \right). \quad (5.8)$$

Коэффициент гидравлического трения λ определяется по формуле Шифрисона (5.9).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_9}{d} \right)^{0,25}. \quad (5.9)$$

Особо следует выделить область, соответствующую переходному режиму ($2300 < Re < 4000$). Для этой области характерна перемежающаяся турбулентность, т. е. постоянно происходит изменение структуры потока из ламинарной в турбулентную и обратно коэффициент Дарси λ можно определить по формуле Френкеля (5.10).

$$\lambda = \frac{2,7}{Re^{0,53}}. \quad (5.10)$$

5.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, уровень воды в котором поддерживается холостым сливом 2. Опытный участок трубопровода 4 длиной L , в котором в начальном и конечном сечениях установлены пьезометры 5 и 6. Из трубопровода через кран 3 вода поступает в мерную емкость 7 (рис. 5.2).

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе 3 на рис. 3.3.

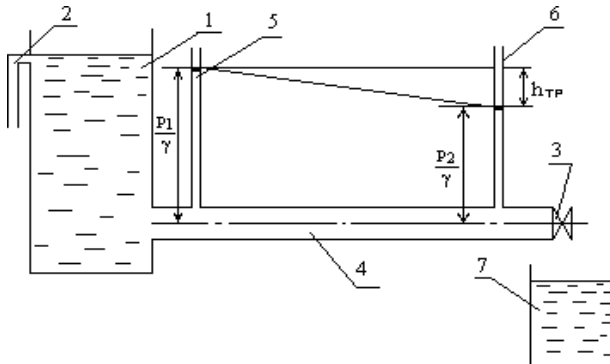


Рис. 5.2. Принципиальная схема лабораторной установки

5.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

5.3. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- устанавливается постоянный напор в питающем баке 1;
- открывается кран 3 в конце трубопровода – устанавливается равномерный турбулентный режим движения;
- замеряется температура воды, определяется кинематический коэффициент вязкости;
- записываются показания пьезометров в начальном и конечном сечениях;
- объемным способом определяется расход Q , для чего замеряется время τ заполнения мерного бака некоторого объема V ;
- опыты повторяются 3 раза при различных расходах, расход меняется открытием крана 3;
- результаты заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1

*Экспериментальные значения и результаты
обработки опытных данных*

Название измеренных вычисленных величин	Обозначение	Размерность	Опыты		
			1	2	3
Экспериментальные значения по результатам наблюдений					
Длина трубопровода	L	м			
Диаметр трубопровода	d	м			
Объем воды в мерном баке	V	м ³			
Температура воды	t	°C			
Время проведения опыта	τ	с			
Показания пьезометров	$\frac{p_1}{\gamma}$	см			
	$\frac{p_2}{\gamma}$	см			

Продолжение таблицы 5.1

Результаты обработки опытных данных					
Площадь сечения	$S = \frac{\pi d^2}{4}$	м ²			
Кинематический коэффициент вязкости	ν	м ² /с			
Расход воды	$Q = \frac{V}{\tau}$	м ³ /с			
Средняя скорость	$v = \frac{Q}{S}$	м/с			
Потери на трение	$h_{тр} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$	см			
Коэффициент трения	λ по ф-ле (5.3)	–			
Критерий Рейнольдса	$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$	–			

По результатам вычислений строят график $\lambda = f(Re)$ и определяют область сопротивления.

5.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости. К отчету прилагается график, выполненный на миллиметровой бумаге или ПК.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

5.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Понятие о гладких и шероховатых трубах.
2. Влияние шероховатости и режима движения на коэффициент трения (графики Никурадзе).
3. Какие причины вызывают потери напора на трение?
4. Формула Дарси-Вейсбаха, обозначить входящие в нее величины.
5. Какие бывают области сопротивления при движении жидкости?
6. Понятие об экономически наивыгоднейшем диаметре трубопровода.
7. Классификация трубопроводов. Основные формулы для расчета трубопроводов.
8. Труба, по которой течет масло, имеет переменное сечение. Определить скорость во втором сечении, если скорость в первом сечении $v_1 = 0,05$ м/с; $d_1 = 0,2$ м; $d_2 = 0,1$ м.
9. По трубопроводу диаметром $d = 150$ мм перекачивается нефть плотностью $\rho = 800$ кг/м³ в количестве 1200 т в сутки. Определить секундный объемный расход нефти Q и среднюю скорость ее течения v .

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

**Определение местных потерь напора
при установившемся турбулентном режиме
движения жидкости**

6.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

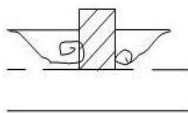
Найти численные значения коэффициента местного сопротивления ζ шарового крана в зависимости от степени его открытия, проводя серию экспериментов.

6.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

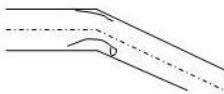
При движении реальной жидкости по трубопроводам, помимо потерь на трение по длине, могут возникнуть еще так называемые местные потери напора. Причиной этих потерь, например, в трубопроводах, являются различного вида конструктивные вставки, необходимость установки, которых вызывается условиями сооружения и эксплуатации трубопровода. К ним относятся: колена, тройники, вентили, сужения, расширения трубопроводов и т. д. Так, колено устанавливается в случае необходимости поворота трубопровода, тройник – для присоединения к основному трубопроводу ответвления, задвижка и вентиль – для изменения пропускной способности трубопровода.

Конструктивные вставки изменяют живое сечение потока, что приводит к изменению скорости движения жидкости как по величине, так и по направлению, а также приводят к отрыву транзитной струи от стенок русла и возникновению вихреобразований.

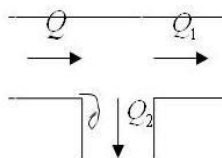
Задвижка



Колено



Тройник
(разветвление потока)



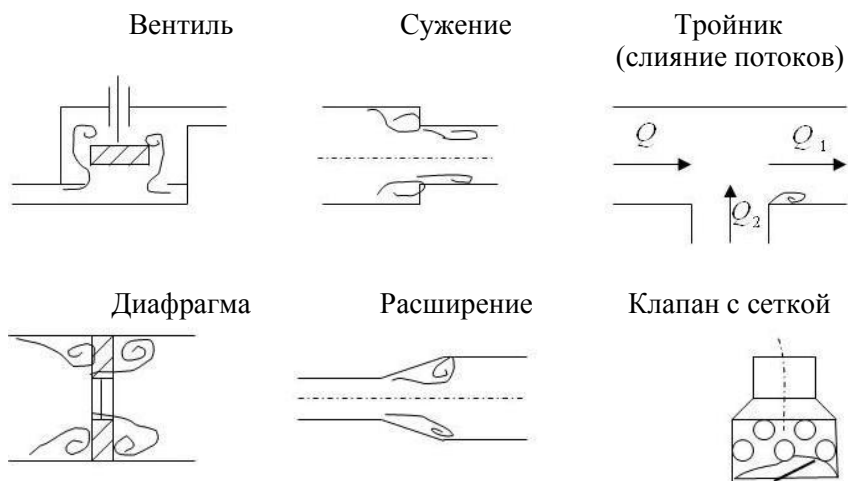


Рис. 6.1. Примеры местных гидравлических сопротивлений

При турбулентном режиме движения жидкости местные потери напора пропорциональны квадрату скорости и вычисляются по формуле Дарси (6.1).

$$h_M = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (6.1)$$

где ζ – безразмерный коэффициент местного сопротивления;

v – средняя скорость движения жидкости за местным сопротивлением, м/с.

Величина коэффициента ζ определяется опытным путем и зависит от характера и конструктивного оформления местного сопротивления и при турбулентном режиме движения практически не зависит от числа Рейнольдса. В общем случае значения коэффициента местных сопротивлений приводятся в справочниках.

6.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Установка состоит из напорного бака 1, уровень воды в котором можно поддерживать во время опыта постоянным, благодаря системе перелива 2.

Напорный бак соединен с опытным участком трубопровода 4, в котором в качестве местного сопротивления использован шаровой кран 6. Измерение расхода жидкости осуществляется с помо-

щью мерной емкости 7. До и после крана устанавливается два пьезометра 5 для замера потерь напора. На шаровом кране установлен измерительное приспособление, с помощью которого можно определить степень открытия крана (рис. 6.2).

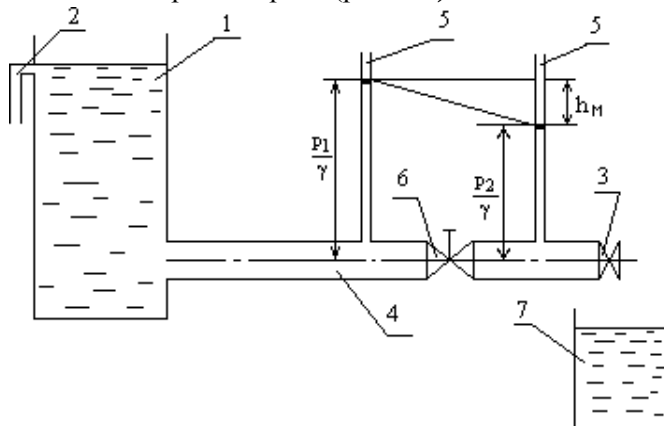


Рис. 6.2. Принципиальная схема лабораторной установки

По усмотрению преподавателя эту лабораторную работу можно выполнять на лабораторном стенде, схема которого приведена в лабораторной работе 3 на рис. 3.3.

6.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 кафедры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

6.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- открывают напорный кран 3 и при полностью открытом кране 6, устанавливают турбулентный режим движения жидкости;
- устанавливают определенную степень открытия крана 6 по измерительному приспособлению;

– записывают показания пьезометров до и после крана $\frac{p_1}{\square}$ и $\frac{p_2}{\square}$, измеряют объемным способом расход жидкости $Q = \frac{V}{\square}$, для

чего определяют время заполнения τ мерного бака объемом V ;

– вычисляют среднюю скорость жидкости $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$, где d – внутренний диаметр трубопровода;

– наблюдения и измерения повторяются при различных степенях открытия крана,

– вычисляют значения напора местного сопротивления – шарового крана по формуле (6.2)

$$h_M = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}, \text{ см} \quad (6.2)$$

– вычисляют коэффициент местного сопротивления по формуле (6.3)

$$\zeta = h_M \frac{2g}{v^2}, \quad (6.3)$$

– результаты измерений и вычислений заносят в табл. 6.1.

Таблица 6.1

*Экспериментальные значения и результаты
обработки опытных данных*

Назначение измеренных и вычисленных величин	Обозначение	Размерность	Степень открытия шарового крана		
Экспериментальные значения по результатам наблюдений					
Показания пьезометров: первого	$\frac{P_1}{\gamma}$	м			
	$\frac{P_2}{\gamma}$	м			
второго					
Замеряемый объем жидкости	V	м ³			
Время наполнения мерной емкости	τ	с			

Продолжение таблицы 6.1

Результаты обработки опытных данных					
Потери напора	$h_M = \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$	м			
Расход жидкости	$Q = \frac{V}{\tau}$	м ³ /с			
Средняя скорость движения	$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$	м/с			
Опытный коэффициент местного сопротивления	$\zeta_{on} = h_M \frac{2g}{v^2}$	–			

6.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняется в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерченная принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

6.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Формула Вейсбаха, обозначить входящие в нее величины.
2. Виды гидравлических сопротивлений. Сложение потерь напора.
3. Местные сопротивления. Причина местных потерь напора.
4. Основные задачи при расчете и проектировании трубопроводов.
5. Простой трубопровод. Расчет простого гидравлически короткого трубопровода.
6. Сложный трубопровод. Расчет сложного трубопровода (последовательное и параллельное соединение).
7. Расчет сложного трубопровода (сложное соединение).

8. Гидравлический удар в трубопроводе.

9. По полностью затопленному трубопроводу перекачивается жидкость со скоростью $v = 0,2$ м/с. Определить расход жидкости Q , если гидравлический радиус равен $R = 0,015$ м.

10. По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм транспортируется нефть. Определить критическую скорость, соответствующую переходу ламинарного движения жидкости в турбулентное. Коэффициент кинематической вязкости принять равным $\nu = 8,1 \cdot 10^{-6}$ м²/с, критическое значение числа Рейнольдса – $Re_{кр} = 2300$.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
**Определение коэффициентов истечения
для отверстия и насадков**

7.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Определить по опытным данным коэффициент скорости, расхода, сжатия при истечении из круглого отверстия в тонкой стенке и насадков. Сравнить значения полученных коэффициентов со справочными данными.

7.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Малыми отверстиями называются такие, при истечении через которые скорость движения жидкости во всех точках живого сечения струи и плоскости отверстия можно считать практически одинаковой.

Отверстие считается круглым малым, если соблюдается неравенство (7.1), и квадратным малым, если – (7.2).

$$d \leq 0,1 H, \quad (7.1)$$

$$a \leq 0,1 H, \quad (7.2)$$

где d – диаметр отверстия, м,

H – напор над центром тяжести отверстия, м,

a – сторона квадрата, м.

Насадком называется короткая труба, геометрически присоединенная к отверстию в тонкой стенке, для которой соблюдается равенство (7.3).

$$l = (3 \div 5) d, \text{ м.} \quad (7.3)$$

где l – длина насадка, м,

d – диаметр насадка, м.

Наиболее распространенными в практике являются: цилиндрические, конические и коноидальные. Цилиндрические разделяются на внешние (насадок Вентури) и внутренние (насадок Борда); конические насадки могут быть сходящимися и расходящимися.

При истечении жидкости из резервуара через отверстия и насадки потенциальная энергия жидкости преобразуется в кинетическую энергию струи, частично расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений.

Струя, вытекающая из отверстия, сжимается, и на некотором расстоянии от него сечение струи минимальное. Это сечение называется сжатым сечением ω_C . Отношение площади сжатого сечения ω_C к площади отверстия ω_O называется коэффициентом сжатия ε , рассчитываемое по уравнению (7.4).

$$\varepsilon = \frac{\omega_C}{\omega_O}. \quad (7.4)$$

Сжатие струи вызвано инерцией частиц жидкости, подходящих к отверстию из резервуара по различным направлениям, в том числе по радиальным или близким к ним.

При истечении из насадков струя тоже сжимается, но это сжатие происходит внутри насадка, а на выходе из насадка струя заполняет все его сечение, то есть коэффициент сжатия $\varepsilon \approx 1$.

Для определения скорости при истечении жидкости через незатопленное отверстие в тонкой стенке используется уравнение Бернулли, написанное для двух сечений. Одно выбирается на свободной поверхности жидкости, другое – в сжатом сечении струи относительно плоскости сравнения, проходящей через центр тяжести отверстия.

$$H_0 + \frac{p_0}{\rho g} = \frac{p_C}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (7.5)$$

где H_0 – геометрический напор, м,

p_0, p_C – давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре и давление среды, в которую происходит истечение, Па,

v – скорость в сжатом сечении, м/с,

ζ – коэффициент сопротивления входа.

Из уравнения найдем скорость жидкости по формуле (7.6)

$$v = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} \cdot \sqrt{2gH}, \text{ м/с}, \quad (7.5)$$

где $H = H_0 + \frac{p_0 - p_C}{\rho g}$ – действующий напор, м.

Величину $\sqrt{\frac{1}{1+\zeta}}$ называют коэффициентом скорости и обозначают φ . Таким образом, коэффициент скорости φ определяется по уравнению (7.6).

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1+\zeta}} = \frac{v}{\sqrt{2gH}}. \quad (7.6)$$

Следовательно, коэффициент скорости φ представляет собой отношение действительной скорости истечения v к скорости истечения идеальной жидкости $(\sqrt{2gH})$.

Для насадки коэффициент скорости вычисляется по уравнению (7.7).

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta + \zeta_{BP} + \lambda \frac{l}{d}}}. \quad (7.7)$$

где ζ_{BP} – коэффициент внезапного расширения от сжатого сечения до полного сечения насадки,

λ – коэффициент гидравлического трения,

l – длина насадки, м,

d – диаметр насадки, м.

Произведение коэффициентов сжатия и скорости называют коэффициентом расхода $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$. Он также определяется выражением (7.8).

$$\mu = \frac{Q}{\omega_o \sqrt{2gH}} = \frac{Q}{Q_T}. \quad (7.8)$$

Коэффициент расхода μ представляет собой отношение действительного расхода Q к расходу идеальной жидкости Q_T , который находится по уравнению (7.9).

$$Q_T = \omega_o \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.9)$$

Отсюда можно видеть, что $\mu < 1$. Величина μ зависит главным образом от степени сжатия струи (значение коэффициента φ

близко к единице), которая в свою очередь зависит от расположения отверстия относительно боковых стенок и дна сосуда.

В зависимости от удаления отверстия от боковых стенок и дна сосуда различают типы сжатия струи: совершенное, несовершенное, полное, неполное. Наибольшее по величине сжатие струи получается в случае совершенного сжатия, когда отверстие расположено достаточно далеко от боковых стенок и дна сосуда.

Расход через отверстие или насадок определяется по формуле (7.10).

$$Q_T = \mu \omega_o \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.10)$$

7.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Опытная установка состоит из напорного бака 1 с боковым отверстием, отводящего лотка 2, мерного бака 3, набором сменных насадков 5, стекла 4 со шкалами для отсчета координат точек струи.

Напорный бак наполняется из водонапорной трубы 6 до постоянного уровня H . Этот уровень поддерживается в процессе опыта при помощи холостого слива 7 (рис. 7.1).

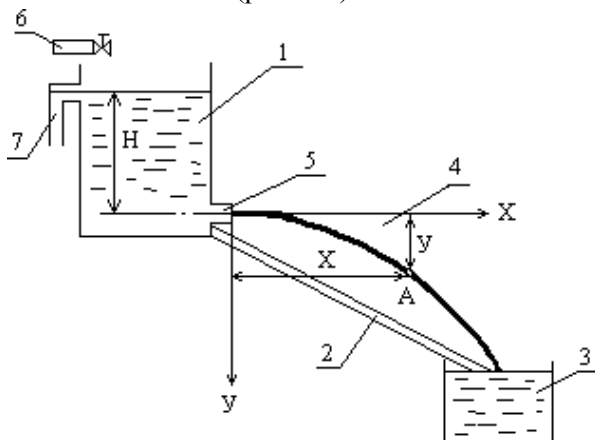


Рис. 7.1. Принципиальная схема лабораторной установки

7.4. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 11–106 ка-

федры «Теплогазоснабжение и экспертиза недвижимости», утвержденной 26.02.2008 года.

7.5. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Устанавливается отверстие или насадок в гнезде напорного бака. Открывается пробка отверстия или насадка, и поддерживается постоянный уровень воды в напорном баке, после чего производят следующие замеры:

- продолжительности τ заполнения водой некоторого объема V ;
- координат X и Y траектории вытекающей струи в любой точке, по которым рассчитывают действительную скорость истечения воды через отверстие или насадок;
- напора жидкости, по водомерному стеклу или переливу.

Диаметр отверстия или насадка измеряют перед началом опыта. Данные заносятся в табл. 7.1.

Производится обработка полученных данных, и подсчитываются относительные отклонения опытных коэффициентов от справочных.

Таблица 7.1

Обработка результатов опытов

Величина	Обозначение	Единица измерения	Тип отверстия или насадка		
Диаметр входного отверстия	d	мм			
Напор жидкости	H	см			
Продолжительность опыта	τ	с			
Объем жидкости	V	см ³			
Координаты точки струи	X	см			
	Y	см			
Площадь отверстия	$S = \frac{\pi d^2}{4}$	см ²			
Скорость опытная	$v = X \left(\frac{g}{2Y} \right)^{0,5}$	см/с			
Скорость теоретическая	$v_T = \sqrt{2gH}$	см/с			

Продолжение таблицы 7.1

Расход опытный	$Q = \frac{V}{\tau}$	см ³ /с			
Расход теоретический	$Q_T = v_T S$	см ³ /с			
Коэффициент скорости	$\varphi = \frac{v}{v_T}$	–			
Коэффициент расхода	$\mu = \frac{Q}{Q_T}$	–			
Коэффициент сжатия	$\varepsilon = \frac{\mu}{\varphi}$	–			
Относительные отклонения	$\Delta\mu = \frac{\mu_{СПР} - \mu_{ОП}}{\mu_{СПР}}$	–			
	$\Delta\varphi = \frac{\varphi_{СПР} - \varphi_{ОП}}{\varphi_{СПР}}$	–			

7.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА И ЕГО ФОРМА

Отчет по лабораторной работе выполняются в тетради или на листах формата А4. При этом в отчете должны быть записаны: номер и наименование лабораторной работы, цель работы, начерчены принципиальная схема опыта или опытной установки, таблица для записи основных параметров установок и опытных данных, необходимые расчетные зависимости.

Выполнив все необходимые записи показаний измерительных приборов, надо произвести вычисления, занести в таблицу, сделать краткие выводы по работе (в часы лабораторных занятий или часы самостоятельной работы).

Работа должна быть защищена и подписана преподавателем, под руководством которого она проводилась.

7.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Классификация отверстий и насадков. Структура потока в различных насадках.
2. Параметры и коэффициенты характеризующие истечение жидкостей из отверстий и насадков.
3. Истечение через малое отверстие в тонкой стенке.

4. Моделирование, основные понятия. Подобие.
5. Теоремы подобия.
6. Классификация гидромашин.
7. Основные энергетические параметры насосов.

Защита работы проводится в виде собеседования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Изучение устройства и определение характеристик редукционного клапана

8.1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ

Научиться практически снимать гидравлические характеристики – потери давления по длине трубы и на местных сопротивлениях (гидроаппаратах) Δp в зависимости от расхода жидкости Q на примере гидродросселя.

8.2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Гидродроссель – это местное гидравлическое сопротивление, предназначенное для снижения давления в потоке рабочей жидкости (рис. 8.1).



Рис. 8.1. Гидродроссель

Гидродроссель – регулируемое местное сопротивление, при этом поток жидкости, проходящий через него, не влияет на величину проходного сечения.

Одними из наиболее часто используемых являются щелевые (крановые) гидродроссели (рис. 8.2). В дросселях такого типа изменение площади проходного сечения осуществляется поворотом на некоторый угол запорно-регулирующего элемента (крана). При высоких давлениях в системе для поворота крана приходится прилагать значительные усилия, что является недостатком такого дросселя.

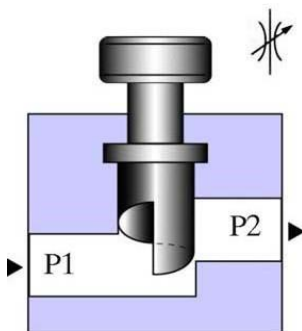


Рис. 8.2. Щелевой (крановый) гидродроссель

Падение давления рабочей жидкости в дросселе определяется по формуле (8.1).

$$\Delta p_{др} = \frac{\rho}{2 \cdot \mu_{др}^2 \cdot S_{др}^2} \cdot Q^2, \text{ Па}, \quad (8.1)$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м^3 ,

$S_{др}$ – площадь проходного сечения дросселя, м^2 ,

Q – объемный расход, $\text{м}^3/\text{с}$,

$\mu_{др}$ – коэффициент расхода дросселя (определяется экспериментально).

Как видно, падение давления пропорционально квадрату расхода, поэтому такие дроссели часто называют квадратичными. График данной зависимости называется характеристикой гидродросселя.

По техническим причинам в лабораторной работе снимается совместная характеристика дросселя и трубопровода, на котором он установлен. Тем не менее, падением давления, обусловленным действием силы трения в трубопроводах, можно пренебречь, поскольку в нашем случае оно существенно меньше $\Delta p_{др}$.

Задание

Опытным путем снять суммарную гидравлическую характеристику трубопровода и установленного на нем дросселя. С этой целью:

- собрать гидросхему на испытательном стенде;
- провести измерения;

– построить гидравлическую характеристику (график зависимости $\Delta p = f(Q)$) трубопровода с установленным на нем дросселем.

Сделать выводы о степени соответствия экспериментальной характеристики теоретической зависимости.

Порядок выполнения работы

Соберите на стенде схему испытаний согласно рис. 8.3. Включите насосную станцию. Закройте полностью переливной клапан 3. Регулировочным краном дросселя 4 установите давление $P_2 = 35 - 40$ бар.

С помощью регулировочного винта клапана 3 установите давление $P_2 = 10$ бар и, используя секундомер и мерный бак, определите расход. Для этого одновременно закройте кран 2 и включите секундомер. Определите время поступления в мерный бак двух литров масла. При этом зафиксируйте величины давлений P_2 и P_3 . Результаты измерений занесите в табл. 8.1.

Далее регулировочным винтом клапана 3 поднимите давление на 5 бар и вновь определите расход. Опыты проводятся до давления $P_2 = 35$ бар включительно.

После выполнения всех измерений постройте график зависимости $\Delta p = f(Q)$, имея в виду, что при нулевом расходе $\Delta p = 0$. Убедитесь, что Δp пропорционально квадрату расхода, что характерно для местных гидравлических сопротивлений. Это можно сделать, например, с помощью программы MS Excel, построив соответствующую линию тренда (рис. 8.4, 8.5).

Таблица 8.1

Результаты измерений

P_2 , бар	10	15	20	25	30	35
t , сек (объем $W=2$ л)						
$Q=W/t$, л/с						
P_3 , бар						
ΔP , бар						

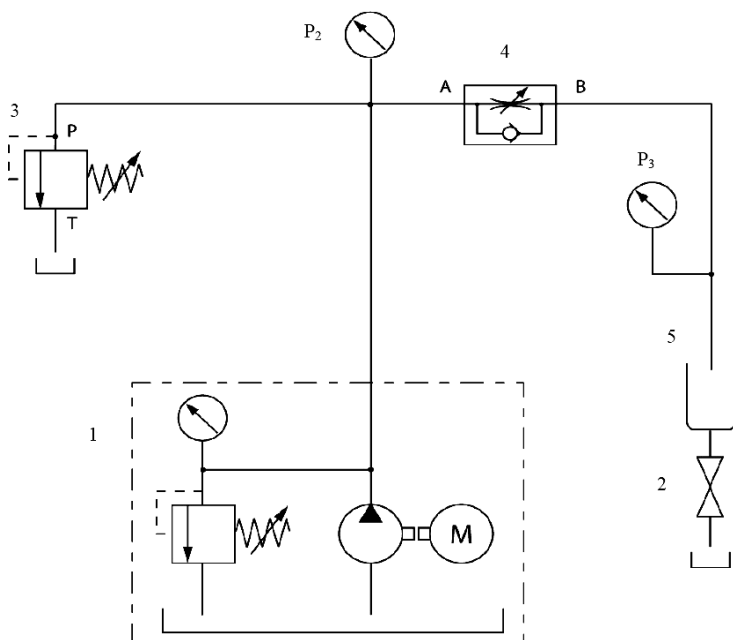


Рис. 8.3. Гидравлическая схема: 1 – насосная станция; 2 – кран мерного бака, 3 – переливной клапан, 4 – дроссель с обратным клапаном, 5 – мерный бак

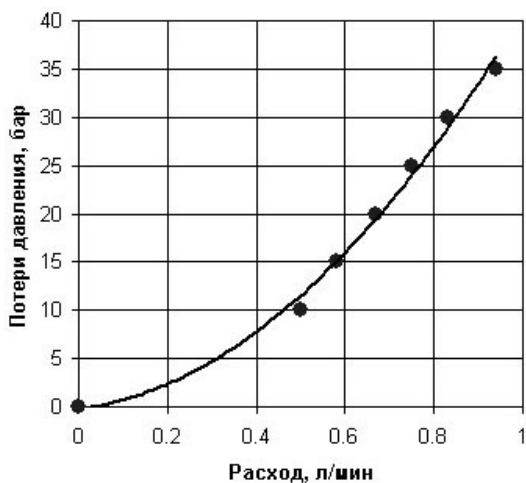


Рис. 8.4. Экспериментальный график зависимости $\Delta p = f(Q)$ для трубопровода с установленным на нем гидродросселем

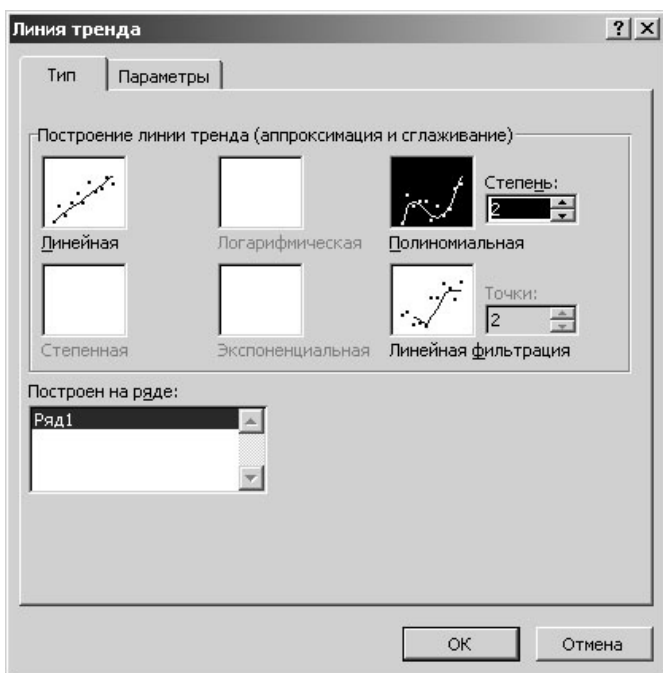


Рис. 8.5. Выбор типа линии тренда в программе MS Excel

8.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАЩИТА РАБОТЫ

1. Гидродроссель.
2. Формула определения падения давления рабочей жидкости в гидродросселе.
3. Характеристика гидродросселя.
4. Методика выполнения лабораторной работы.

Защита работы проводится в виде собеседования.
рис. 9.4, б.)

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
для расчетно-графической работы по дисциплине
«Механика жидкости и газа»

Направление подготовки 08.03.01 «Строительство»
Направленность (профиль) «Теплогазоснабжение и вентиляция»

В методических указаниях дается перечень тем и вопросов предмета механика жидкости и газа. Изложение материала представлено в последовательности свойственной традиционно излагаемой в различных учебниках. В начале изучаются темы равновесия как “капельной жидкости”, так и “сжимаемой жидкости”- газа. В последующем рассматриваются законы движения жидкости и их приложение к ряду практических случаев (движение в трубопроводах, истечение из отверстий и насадков, обтекание твердых тел и др.)

Контрольные задания на выполнение расчетно-графических работ охватывают весь курс “Механика жидкости и газа” и позволяют на конкретных практических задачах закрепить полученные теоретические знания.

Содержание

1. Общие методические указания

1.1 Основные свойства жидкостей и газа

1.2 Гидростатика

1.3 Гидродинамика

1.3.1. Потери напора при установившемся движении жидкости

1.3.2. Установившееся движение в напорных трубопроводах

1.3.3. Истечение жидкости из отверстий и насадок

1.3.4. Гидравлический удар

1.4 Относительное движение тела

1.5 Основы гидромеханического моделирования

1.6 Равномерное движение жидкости в открытых руслах

2. Задания расчётно-графической работы по курсу «Механика жидкости и газа»

3. Методические указания для решения задач

ЛИТЕРАТУРА

1. Общие методические указания

Механика жидкости и газа – наука, рассматривающая основные законы движения и равновесия жидкостей (как капельных, так и газообразных), а также их силовое взаимодействие с твердыми телами. Это одна из наук, составляющих фундамент инженерных знаний. Она необходима для решения многих технических вопросов в области санитарной техники, теплогазоснабжения и вентиляции. Расчет всевозможных трубопроводов (воздухопроводы, водопроводы, газопроводы, паропроводы и т.д.), конструирование гидравлических и воздухоудных машин (насосы, компрессоры, вентиляторы и пр.), проектирование котельных агрегатов, печных и сушильных установок, воздухо- и газоочистных аппаратов, теплообменных аппаратов, расчет многих отопительных и вентиляционных устройств требуют четкого понимания законов механики жидкости и газа.

Программа курса предусматривает изучение теоретического материала и решения практических задач.

При изучении материала по учебнику студент должен особое внимание обратить на проработку основных положений темы (раздела), используя для этой цели методические указания, основные предназначения которых – облегчить работу с книгой.

Курс целесообразно изучать последовательно по темам (разделам), руководствуясь программой и методическими указаниями. Сначала следует изучить теоретическую часть раздела, затем решить и проанализировать приведенные в учебнике и задачниках примеры и задачи с решениями. Учебный материал можно считать проработанным и усвоенным только при условии, если студент умеет правильно применять теорию для решения практических задач.

1.1 Основные свойства жидкостей и газа

Механика жидкости является инженерной (технической) дисциплиной, так как ее выводы направлены на решение технических задач. Это одна из наук составляющих фундамент инженерных знаний. Она выросла из двух отраслей научного знания: эмпирической гидравлики и классической гидромеханики. Указанные дисциплины в настоящее время могут рассматриваться как разделы единой науки- механики жидкости.

История развития механики жидкости подробно описана во многих учебника, поэтому данный вопрос не рассматривается в методических указаниях.

Изучение механики жидкости и газа требует знания основных свойств жидкости. Жидкости с точки зрения механических свойств разделяются на два класса: малосжимаемые (капельные) и сжимаемые (газообразные).

С позиции физики капельная жидкость значительно отличается от газа; с позиции механики жидкости различие между ними не так велико, и часть закона, справедливая для капельных жидкостей, могут быть приложена и к газам в случаях, когда сжимаемость жидкости можно пренебречь (например, при расчете вентиляционных каналов)

Основные свойства жидкостей, существенные при рассмотрении задачи механики жидкости, это плотность и вязкость.

Плотностью жидкости ρ называется ее масса, заключенная в единице объема

$$\rho = \frac{M}{W} . \quad (1)$$

В практических приложениях о массе жидкости судят по ее весу. Вес жидкости, приходящийся на единицу объема, называется удельным весом

$$g = \frac{G}{W} . \quad (2)$$

Сжимаемость капельных жидкостей под действием давления характеризуется коэффициентом объемного сжатия b_w

$$b_w = - \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta p} . \quad (3)$$

Температурное расширение капельных жидкостей характеризуется коэффициентом температурного расширения b_t

$$b_t = \frac{1}{W} \frac{\Delta W}{\Delta T} . \quad (4)$$

В отличие от капельных жидкостей газы характеризуются значительной сжимаемостью и высокими значениями коэффициента температурного расширения. Зависимость плотности газов от давления и температуры устанавливается уравнением состояния

$$\rho = \frac{p}{RT} . \quad (5)$$

Так как объем газа в большой мере зависит от температуры и давления, выводы, полученные при изучении капельных жидкостей можно распространять на газы в случае, если изменения давления и температуры незначительны. Практически газ можно принимать несжимаемым при скоростях движения, не превышающих 100 м/с.

Вязкость жидкостей. Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу. Все реальные жидкости обладают определенной вязкостью, которая проявляется в виде внутреннего трения при относительном перемещении смежных частиц жидкости. Наряду с легко подвижными жидкостями (например, водой, воздухом) существуют очень вязкие жидкости, сопротивление которых сдвигу весьма значительно (глицерин, тяжелые масла и др.). Таким образом, вязкость характеризует степень текучести жидкости или подвижности ее частиц.

Сопротивляемость жидкости сдвигу характеризуется так называемой динамической или абсолютной вязкостью. Динамическая вязкость обозначается символом η измеряется в Н·с/м² или Па·с.

Наряду с понятием абсолютной или динамической вязкости в гидравлике находит применение понятие кинематической вязкости, представляющей собой отношение абсолютной вязкости к плотности

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} . \quad (6)$$

Она измеряется в м²/с.

Необходимо, при изучении свойств жидкости, знать капиллярные явления, а также особые состояния: кавитация, аэрация и захват потоком твердых частиц.

Однородная жидкость, строго говоря, имеет прерывную (дискретную) структуру. Однако при решении различных гидравлических задач пренебрегают отмеченным обстоятельством и рассматривают жидкость как сплошную (непрерывную) среду – континуум.

Что касается сил, действующих на жидкость, то их можно разделить на две различные группы: внутренние силы и внешние силы.

Внутренние силы это силы взаимодействия между материальными частицами жидкости.

Внешние силы – силы, приложенные к частицам рассматриваемого объема жидкости со стороны других вещественных тел. Они в свою очередь разделяются на две группы: силы массовые (если $\rho = \text{const}$, то их называют объемными, это собственный вес, силы инерции); силы поверхностные – атмосферное давление, силы трения, реактивная сила.

1.2 Гидростатика

В гидростатике изучается жидкость, находящаяся в покое. Основным понятием гидростатики является понятие гидростатического давления в данной точке покоящейся жидкости и обозначается буквой p , для краткости именуют просто гидростатическим давлением.

В случае покоящейся жидкости гидростатическим давлением p в данной точке называют скалярную величину, равную модулю (значению) напряжения s в рассматриваемой точке

$$p = s. \quad (7)$$

При изучении этого раздела необходимо знать два основных свойства.

Если на некоторую массу жидкости не действовали и не действуют внешние силы, то каждая частица этой массы или остается неподвижной относительно данной системы координат, или движется прямолинейно с одинаковой для всех частиц скоростью, так что взаимное расположение этой массы жидкости остается неизменным. Такое механическое состояние называется равновесным иначе, жидкость находится в состоянии покоя.

При действии на покоящуюся жидкость с той или иной внешней объемной силой дифференциальные уравнения равновесия имеют вид

$$\begin{cases} X - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ Y - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ Z - \frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{cases}. \quad (8)$$

Уравнения (8) были получены Л. Эйлером в 1755 г. и носят названия дифференциальных уравнений покоя жидкости.

Преобразовав эти уравнения можно получить основное уравнение гидростатики в дифференциальной форме.

$$dp = r (Xdx + Ydy + Zdz). \quad (9)$$

В уравнениях (8) и (9) величины X , Y , Z есть проекции величины объемной силы на соответствующую ось.

При решении уравнения (9) имеем две неизвестные p и r , поэтому для определенности решения необходимо иметь еще одно независимое уравнение, в качестве которого используется так называемое

характеристическое уравнение.

Для капельной жидкости характеристическим уравнением является уравнение

$$r = \text{const}; \quad (10)$$

а для газа – уравнение Бойля-Мариотта

$$\frac{r}{p} = RT. \quad (11)$$

Проинтегрировав уравнение (9) в случае действия только одной внешней силы, силы тяжести, получим уравнение:

$$p = p_0 + r gh. \quad (12)$$

где p – гидростатическое давление на глубине h ; — внешнее давление на поверхности жидкости; p_0 – внешнее поверхностное давление.

Важным аспектом при изучении давления является знание избыточного давления, пьезометрической высоты, величины вакуума.

Сила гидростатического давления, действующая на плоскую стенку, определяется по формуле

$$F = g \cdot w \cdot h_{ц.т.}, \quad (13)$$

где $h_{ц.т.}$ – глубина погружения центра тяжести данной плоской фигуры под уровень; w – площадь этой фигуры.

Величина этой силы может быть определена графоаналитическим способом

$$P = S \cdot p_c, \quad (14)$$

где S – площадь эпюры давления на плоскую поверхность; p_c – давление в центре тяжести сечения.

Для прямоугольной фигуры силу гидростатического давления можно определить, как аналитическим, так и графоаналитическим способами. При этом сила гидростатического давления может определяться путем построения эпюры давления на прямоугольную фигуру. Сила давления равна площади эпюры умноженной на ширину стенки. Точка приложения силы находится в центре тяжести эпюры.

Для прямоугольной стенки эпюрой является прямоугольный треугольник, а центр тяжести находится на высоте $2/3$ от вершины треугольника. Методику определения p_c и $l_{ц.т.}$ при графоаналитическом можно изучить в [2] стр. 30–32.

В случае криволинейной фигуры сила гидростатического давления определяется как геометрическая сумма двух сил P_x и P_z

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (15)$$

где P_x – горизонтальная составляющая силы гидростатического давления; P_z – вертикальная составляющая.

Передача давления при помощи жидкости часто находит применение в практике машиностроения. Встречаются следующие простейшие гидравлические машины: гидравлические прессы, мультипликаторы (увеличители давления), домкраты, подъемники. Во всех этих машинах используется гидравлический принцип

$$\frac{P_1}{S_1} = \frac{P_2}{S_2} = \text{const}, \quad (16)$$

или

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot S_2}{S_1}, \quad (17)$$

Здесь P_1 и P_2 сила гидростатического давления, действующая, соответственно на площадь S_1 и S_2 .

Газы относятся к сжимаемым жидкостям, и уравнения равновесия (покоя) отличаются от таковых для капельной жидкости лишь тем, что они должны учитывать сжимаемость газов. Поэтому полученные ранее дифференциальные уравнения равновесия являются общими (8) для капельной жидкости и газов.

В свою очередь, для газов справедливы следующие уравнения:
дифференциальное уравнение равновесия

$$dp = r (Xdx + Ydy + Zdz); \quad (18)$$

характеристическое уравнение

$$r = f(p, T); \quad (19)$$

и уравнение поверхности уровня

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0; \quad (20)$$

При равновесии газа гидростатическое давление в точке изменяется только с высотой расположения этой точки $p = f(z)$.

Эту зависимость находим путём совместного решения основного дифференциального уравнения гидростатики и характеристического уравнения. Как известно, последнее определяет собой связь между плотностью, давлением и температурой. Уравнение состояния газа записывается в виде

$$\frac{r}{p} = RT. \quad (21)$$

Изотермический процесс – процесс изменения давления и объёма газа при поддержании одной и той же температуры, т.е. этот процесс сопровождается теплообменом.

Адиабатический процесс представляет собой случай изменения давления в условиях отсутствия теплообмена.

Адиабатический процесс является частным случаем более общего политропного процесса.

Во всех случаях при изменении давления плотность газа изменяется. Однако во многих случаях на практике изменение плотности бывает столь незначительным, что без существенной погрешности можно принять

$$r = \text{const}.$$

1.3 Гидродинамика

Одним из основных уравнений гидродинамики является уравнение постоянства расхода (уравнение неразрывности), которое для плавно изменяющегося и параллельноструйного движения может быть представлен в виде

$$v \cdot w = \text{const}, \quad (22)$$

(вдоль потока), откуда для двух сечении 1–1 и 2–2 получим

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad (23)$$

средние скорости потока обратно пропорциональны площадям живых сечений.

Следует пояснить, что уравнение постоянства расхода справедливо только при соблюдении ряда допущений, на которых основан логический вывод этого уравнения.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера дают общую зависимость между скоростями и ускорениями движущихся частиц жидкости и силами, действующими на эти частицы. Интегрирование этих уравнений для элементарной струйки идеальной жидкости приводит к основному уравнению гидродинамики - уравнению Бернулли, которое можно получить также и непосредственно, применив к бесконечно малому объему жидкости теоремы механики, например, теорему живых сил.

Уравнение Бернулли представляет собой частный случай закона сохранения энергии. Все члены уравнения Бернулли отнесены к единице веса жидкости, поэтому все виды энергии в этом уравнении имеют линейную размерность. При рассмотрении уравнения Бернулли для простейшего случая движения элементарной струйки невязкой (идеальной) жидкости следует уяснить геометрический и физический (энергетический) смысл уравнения в целом и его отдельных членов, а также обратить внимание на условия применимости уравнения Бернулли к элементарной струйке. Уметь строить пьезометрическую и напорную линия. При распространении уравнения Бернулли для элементарной струйки на поток реальной жидкости возникает ряд трудностей, которые преодолеваются введением соответствующих ограничений и поправок. Уравнение Бернулли составляется для двух живых сечений потока, в которых течение параллельноструйное или плавно изменяющееся. Живые сечения здесь плоские, поэтому отсутствуют ускорения вдоль живых сечений, а из массовых сил действует только сила тяжести. Следовательно, в этих сечениях (участках) справедливы законы гидростатики, в частности постоянство гидростатического напора для всех точек живого сечения относительно любой плоскости сравнения. Между плавно изменяющимися течениями (участками) потока, связанными уравнением Бернулли, поток может быть и резко изменяющимся. При определении кинетической энергии потока по средней скорости в данном сечении вводится поправка в виде коэффициента Кориолиса, учитывающего неравномерность распределения скоростей по живому сечению.

При решении практических инженерных задач уравнение Бернулли и уравнение постоянства расхода используются совместно. При этом они составляют систему из двух уравнений, позволяющую решать задачи с двумя неизвестными.

Если для струйки идеальной жидкости уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения механической энергии, то для потока реальной жидкости оно является уравнением, баланса энергии с учетом

гидравлических потерь. Гидравлическими потерями называется работа сил трения, затраченная на перемещение единицы веса жидкости из одного сечения в другое. Энергия потока, израсходованная на работу сил трения, превращается в тепловую энергию и рассеивается в пространстве.

Уравнения, относящиеся к капельной жидкости, записываются в виде

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f. \quad (24)$$

Уравнение Бернулли для газов записывается в виде: при адиабатическом процессе

$$g z_1 + \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} + \frac{v_1^2}{2} = g z_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g h_f, \quad (25)$$

или

$$g z_1 + \frac{k}{k-1} R T_1 + \frac{v_1^2}{2} = g z_2 + R T_2 + \frac{v_2^2}{2} + g h_f; \quad (26)$$

при изотермическом процессе

$$g z_1 + R T \ln p_1 + \frac{v_1^2}{2} = g z_2 + R T \ln p_2 + \frac{v_2^2}{2} + g h_f; \quad (27)$$

политропный процесс

$$g z_1 + \frac{n}{n-1} R T_1 + \frac{v_1^2}{2} = g z_2 + \frac{n}{n-1} R T_2 + \frac{v_2^2}{2} + g h_f. \quad (28)$$

В данных уравнениях h_f – потери удельной энергии; R – удельная газовая постоянная; k – показатель адиабаты; n – показатель политропы.

1.3.1. Потери напора при установившемся движении жидкости

Для использования уравнения Бернулли при решении практических инженерных задач, необходимо знать гидравлические потери (потери напора), имеющие место при движении жидкости. Эти потери в значительной степени зависят от того, будет ли режим движения в потоке турбулентным или ламинарным

Наличие того или иного режима в трубопроводе обуславливается соотношением трех факторов, входящих в формулу безразмерного критерия Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{n}, \quad (29)$$

где v – средняя скорость движения жидкости; d – диаметр трубопровода; n – коэффициент кинематической вязкости.

При изучении режимов движения жидкости следует уяснить различия в структуре потоков. Нужно знать формулу критерия Рейнольдса и его критическое значение, отчетливо представлять его физический смысл

В ламинарном потоке частицы жидкости движутся слоями с различными скоростями параллельно оси трубы без перемешивания. В таком потоке касательные напряжения подчиняются закону Ньютона. Используя общий закон распределения касательных напряжений и закон Ньютона, можно получить дифференциальное уравнение, из которого строго математически выводятся основные закономерности ламинарного движения: распределение скоростей по живому сечению трубопровода; максимальная и средняя скорости; коэффициент Кориолиса α ; закон сопротивления трения (формула Пуазейля); коэффициент гидравлического трения l в формуле Дарси.

Теоретические результаты хорошо подтверждаются опытом для потоков, в которых отсутствует теплообмен с окружающей средой. Из формулы Пуазейля следует, что потери напора на трение по длине трубопровода пропорциональны средней скорости потока и коэффициенту кинематической вязкости жидкости.

Турбулентный поток характеризуется беспорядочным, хаотичным движением частиц жидкости. Из-за сложности явления до сих пор не создано достаточно удовлетворительной теории турбулентного движения, которая непосредственно вытекала бы из основных уравнений гидродинамики и хорошо подтверждалась опытом (как для ламинарного движения). Поэтому все выводы и расчетные соотношения получены экспериментально и в результате теоретического исследования упрощенных моделей турбулентного течения.

Прежде всего, следует уяснить механизм турбулентного перемешивания и пульсации скоростей. Далее рассмотрите структуру и физическую природу касательных напряжений, которые определяются как сумма напряжений, вызванных действием сил вязкости и обусловленных турбулентным перемешиванием. Определение последних основано на

полуэмпирических теориях Прандтля и Кармана, получивших дальнейшее развитие в трудах других ученых.

Потери на трение по длине определяются по формуле Дарси которая может быть получена из соображений размерности

$$h_l = l \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g} \quad (30)$$

Центральным вопросом темы является определение коэффициента гидравлического трения l в формуле Дарси. В общем случае коэффициент l является функцией числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости k_s/d

$$l = f(Re; \frac{k_s}{d}), \quad (31)$$

где k_s – эквивалентная шероховатость; d – диаметр трубопровода.

Наиболее полно зависимость (31) раскрывается графиком Никурадзе, который получен экспериментально на трубах с искусственной зернистой равномерной шероховатостью. На графике можно выделить пять зон, каждая из которых характеризуется определенной внутренней структурой потока и в

соответствии с этим определенной зависимостью l от Re и $\frac{k_s}{d}$.

1. Зона изменения Re от 0 до 2320. Ламинарный режим потока. Здесь $l = f(Re)$ и коэффициент гидравлического трения определится по формуле Пуазейля

$$l = 64 Re. \quad (32)$$

2. Зона изменения Re от 2320 до 4000. Неустойчивая зона перемежающейся турбулентности, когда на отдельных участках возникают области турбулентного режима, которые разрастаются, а затем исчезают и снова появляются. Изменение структуры потока сопровождается колебаниями величины l . Зона не рекомендуется для применения в гидравлических системах.

3. Зона чисел Re от 4000 до $10 \frac{k_s}{d}$. Поток характеризуется турбулентным ядром и пристенным (пограничным) ламинарным слоем, который затопливает шероховатости внутренней поверхности трубы, ввиду чего коэффициент l не зависит от $\frac{k_s}{d}$ и зависит только от Re . Здесь трубы работают как "гидравлически гладкие". Для этой зоны коэффициент гидравлического трения определится по формуле Блазиуса

$$l = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (33)$$

4. Зона, в которой $l = f(\text{Re}; \frac{k_s}{d})$. Пределы зоны определяются соотношением $10 \frac{k_s}{d} < \text{Re} < 500 \frac{k_s}{d}$. Переходная зона к "гидравлически шероховатым" трубам. Пристенный ламинарный слой равен (или меньше) высоте выступов шероховатости.

5. Зона больших чисел $\text{Re} > 500 \frac{k_s}{d}$ и, следовательно, интенсивной турбулентности. Трубы "гидравлически шероховатые". Коэффициент l не зависит от Re и является функцией только $\frac{k_s}{d}$.

Как показали более поздние исследования, результаты экспериментов Никурадзе для "гидравлически шероховатых" труб нельзя перенести на трубы с естественной шероховатостью. Оказалось, что в четвертой и пятой зонах общий характер зависимости (30) сохраняется, но вид кривых на графике для различных типов шероховатостей получается различным, т. е. на

l влияет не только величина $\frac{k_s}{d}$, но и характер шероховатости стенок труб.

Для реальных технических труб с естественной шероховатостью для определения l в четвертой зоне может быть рекомендована формула Альтшуля

$$l = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (34)$$

а для пятой зоны — формула Шифринсона

$$l = 0,11 \left(\frac{k_s}{d} \right)^{0,125}. \quad (35)$$

Здесь k_s — эквивалентная абсолютная шероховатость, т. е. такая равномерная зернистая шероховатость Никурадзе, которая при расчетах дает такой же коэффициент l , как и естественная шероховатость.

Отметим, что при малых $\text{Re} < 10 \frac{k_s}{d}$ формула (33) переходит в формулу

(32) для гидравлически гладких труб, а при больших $\text{Re} > 500 \frac{k_s}{d}$ обращается

в формулу (34) для вполне "гидравлически шероховатых" труб.

Вместо расчетных формул (33), (34) и (35) для определения l можно пользоваться графиком Г.А.Мурина.

Местные сопротивления представляют собой короткие участки трубопроводов, на которых происходят изменения величины и направления скоростей потока, вызванные изменением размеров и формы сечения трубопровода, а также направления его продольной оси. Потери энергии в местных сопротивлениях, отнесенные к единице веса протекающей жидкости, называются местными потерями напора. Потери в местных

сопротивлениях делятся на потери трения и вихревые потери. Следует рассмотреть, как эти факторы проявляются в конкретных местных сопротивлениях.

В общем случае коэффициент местного сопротивления z , (в формуле для определения потерь в местных сопротивлениях) зависит от формы местного сопротивления, относительной шероховатости стенок, распределения скоростей в граничных сечениях потока перед местным сопротивлением и после него и от чисел Рейнольдса. Следует уяснить, как эта общая зависимость конкретизируется для различных зон турбулентного течения и при ламинарном течении. Отметим, что в технических установках в большинстве случаев имеет место турбулентный режим, соответствующий пятой зоне квадратичного сопротивления, где коэффициент z , не зависит от Re и где проявляется автомодальность. Если в трубопроводе до и после местного сопротивления имеет место ламинарный режим (жидкости с повышенной кинематической вязкостью), то в местных сопротивлениях, как правило, возникает турбулентное течение.

Весьма существен вопрос о взаимном влиянии местных сопротивлений. Простое суммирование потерь в местных сопротивлениях (так называемый принцип наложения потерь) дает правильные результаты, если сопротивления расположены друг от друга на расстоянии, превышающем длину взаимного влияния, составляющую $(30...40)d$.

1.3.2. Установившееся движение в напорных трубопроводах

При расчете трубопроводов следует различать два случая:

1-й случай, когда местные потери напора $\sum h_j$ отсутствуют или ими можно пренебречь

$$\sum h_j < 0,05 h_l. \quad (36)$$

В этом случае практически имеем потери по длине h_l и они определяются по формуле

$$h_l = \frac{Q^2}{K^2} l. \quad (37)$$

2-ой случай, когда имеются местные потери напора $\sum h_j$, причем ими нельзя пренебречь по сравнению с потерями по длине h_l .

Потери по длине h_l удобнее определять по формуле Вейсбаха-Дарси для трубопровода

$$h_l = l \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}. \quad (38)$$

Что касается местных потерь напора $\sum h_j$, то каждая такая гидравлическая потеря h_j определяется по зависимости Вейсбаха

$$h_j = z \frac{v^2}{2g}. \quad (39)$$

Необходимо знать расчет коротких и длинных трубопроводов как простых, так и сложных.

При рассмотрении простых коротких трубопроводов возможны случаи истечения жидкости в атмосферу и под уровень. При истечении в атмосферу используется уравнение Бернулли, которое записывается в виде:

$$H = h_f + \frac{v^2}{2g}; \quad (40)$$

а при истечении под уровень

$$z = h_f. \quad (41)$$

Расчет простых длинных трубопроводов нужно вести в зависимости от их соединения, т.е. при последовательном или параллельном соединении.

В случае переменного расхода по длине трубы его величину необходимо определять по формуле

$$Q_{\text{расч}} = Q_T + 0,55 \cdot q \cdot l. \quad (42)$$

Сложные трубопроводы могут быть незамкнутыми, иначе тупиковыми замкнутыми, иначе, кольцевыми.

Расчет тупиковой сети основан на выборе и расчете магистрали, а затем ответвлений. Для кольцевой сети необходимо знать основы расчета.

Расчет газопроводов под углом зрения гидравлических расчетов следует различать два случая: движение при малых относительных перепадах давления между начальным и конечным сечениями $\frac{\Delta p}{p}$; при больших

относительных перепадах $\frac{\Delta p}{p} > 8\%.$

В первом случае возможно пренебречь сжимаемостью газа, т.е. считать плотность газа неизменной по всей длине трубопровода; тогда расчет принципиально не отличается от расчетов для несжимаемых жидкостей.

Формулы для определения потерь на трение и местных потерь в этом случае принимают вид:

$$\Delta p_{\text{тр}} = l \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2}; \quad (43)$$

$$\Delta p_{\text{м}} = z \cdot \frac{v^2}{2}. \quad (44)$$

В длинных трубопроводах потери давления на местные сопротивления невелики по сравнению с потерями давления на трение, и здесь можно полагать

$$\Delta p_{\text{пот}} = \Delta p_{\text{тр}} = l \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2}. \quad (45)$$

Эту формулу можно переписать с учетом коэффициента λ , определенного по формуле Альтшуля:

$$\Delta p_{\text{пот}} = 7 \left(\frac{k_3}{d} + 1922 \frac{d}{Q} \right)^{0.25} \frac{Q^2}{d^2} g l. \quad (46)$$

Во втором случае расчета трубопроводов для газов при больших перепадах давления нельзя полагать плотность газа постоянной по длине трубопровода. В этом случае потери давления нужно определять по формуле:

$$p_1 - p_2 = \frac{2}{2 - \frac{\Delta p}{r_1}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2}. \quad (47)$$

или с учетом l

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{L} = 1.45 \left(\frac{k_3}{d} + 1922 \frac{du}{Q} \right)^{0.25} \frac{Q^{0.25}}{d^2} g. \quad (48)$$

1.3.3. Истечение жидкости из отверстий и насадок

Отверстие называется малым, если можно пренебречь, изменением давления по его площади. Насадками называются небольшие по длине трубы $l = (3 \dots 6)d$, присоединенные к таким отверстиям. Прежде всего, следует

уяснить характер и особенности движения жидкости, в процессе истечения (сжатые струи, образование вакуума).

В гидравлике истечения через отверстия и насадки есть много общего. Скорость истечения и вытекающий расход рассчитываются по общим формулам, выведенным на основе уравнения Бернулли, причем потери при истечении определяются как местные потери. Общими являются также гидравлические характеристики (коэффициенты расхода, скорости, сжатия, сопротивления).

Следует знать физический смысл коэффициентов сжатия, скорости и расхода, зависимость их числовых значений от типа и формы отверстий и насадков и от критерия Рейнольдса. Нужно также обратить внимание на то,

что при $Re > 10^5$ влияние сил вязкостного трения на коэффициенты истечения практически отсутствует (квадратическая зона сопротивления). При этом коэффициенты истечения зависят только от формы отверстий и насадков. Это позволяет с успехом использовать отверстия с острой кромкой и с насадками в качестве измерителей расхода.

При истечении при переменном напоре (опорожнение сосудов) расчетными являются формулы для определения времени опорожнения.

Основной расчётной формулой истечения является

$$Q = m w \sqrt{2gH_0}. \quad (49)$$

Процесс истечения газа с термодинамической точки зрения можно считать адиабатическим, так как на весьма коротком пути от резервуара до выходного сечения влиянием теплообмена между выходящим газом и внешним пространством можно пренебречь.

Скорость течения газа из отверстия без учёта потерь при адиабатическом процессе можно определить по формуле Сен-Венана

$$v_2 = \sqrt{\frac{2}{k-1} \frac{p_1}{r_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (50)$$

Если произвести некоторые преобразования, и, считая, что $v_2 \ll C$ (здесь C скорость распространения звука в покоем газе) эта формула примет вид

$$v_2 = \sqrt{2 \frac{p_1 - p_2}{r_1}}, \quad (51)$$

т.е. аналогичной формулы для капельной жидкости.

1.3.4. Гидравлический удар

Гидравлический удар чаще всего возникает в случае быстрого закрытия или открытия затвора, управляющего потоком в трубопроводе. Различают прямой удар, когда время закрытия затвора меньше фазы гидравлического удара (время пробега ударной волны от затвора к резервуару и обратно), и не прямой удар, при котором время закрытия затвора больше фазы гидравлического удара

Формула Н.Е. Жуковского

$$p = r \cdot C \cdot v. \quad (52)$$

дает зависимость величины ударного повышения давления p от плотности жидкости r , скорости распространения ударной волны C , уменьшения скорости в трубе перед краном вследствие его закрытия v . Формула применима для расчета прямого и непрямого удара и учитывает как сжатие

жидкости, так и растяжение стенок трубы при ударном повышении давления.

После уяснения физической сущности гидравлического удара и методов его расчета следует рассмотреть меры борьбы с ним

Гидравлическим ударом называется повышение или понижение давления в напорном трубопроводе, вызванное изменением во времени (в некотором сечении трубопровода) скорости движения жидкости. Явление гидравлического удара было теоретически и экспериментально изучено в конце XIX века Н.Е. Жуковским в связи с многочисленными авариями московского водопровода.

1.4 Относительное движение тела

Движение твердых тел в жидкости (обтекание жидкостью твердых тел) представляет одну из важнейших проблем гидромеханики. Основной задачей при этом является определение сил, которые возникают при относительном движении тела и жидкости. Тело, движущееся в жидкости, встречает со стороны последней сопротивление, для преодоления которого нужно приложить некоторую силу. Таким будет, например, сопротивление, которое встречает при своем движении самолет, автомобиль или поезд со стороны

воздуха, корабль или подводная лодка со стороны воды. В случае когда тело неподвижно, а жидкость обтекает его, наоборот, тело оказывает сопротивление движению жидкости, на преодоление которого затрачивается часть энергии потока обтекающей жидкости. Примером этого является давление ветра на здание, обтекание мостового быка водой и т. п.

Полное сопротивление тела F определяется как сумма силы сопротивления давления $F_{\text{давл}}$ и силы трения $F_{\text{тр}}$

$$F = F_{\text{тр}} + F_{\text{давл}}. \quad (53)$$

1.5 Основы гидромеханического моделирования

Различают два вида моделирования. 1 – физическое моделирование; 2 – математическое моделирование.

Мы будем рассматривать только физическое моделирование, т.е. в этом случае на модели воспроизводится изучаемое явление с сохранением его физических свойств.

Основой такого моделирования относящегося к механике жидкости и газа является "теория подобия".

При физическом моделировании гидравлических явлений удобно различать геометрическое, кинематическое, динамическое подобия. Эти подобия необходимо изучить и уметь применять при исследованиях на практике.

1.6 Равномерное движение жидкости в открытых руслах

В случае равномерного безнапорного движения жидкости пьезометрическая линия совпадает с поверхностью, т.е. соблюдаются следующие условия

$$i = i_{\text{п}} = J. \quad (54)$$

где i – уклон дна русла; $i_{\text{п}}$ – уклон свободной поверхности; J – гидравлический уклон.

Это условие соблюдается при постоянных: расходе Q , площади живого сечения w , шероховатости n , смоченной поверхности русла по длине, а также при отсутствии местных сопротивлений.

Расчет каналов производится по формуле Шези

$$Q = C w \sqrt{R i}, \quad (55)$$

где C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус.

При гидравлическом расчете каналов необходимо определять коэффициент Шези C . Для его определения существует ряд формул. Наиболее часто используемые – это формула Н.Н.Павловского и И.И.Агроскина. Кроме того, при расчете каналов используются зависимости:

$$v = C \sqrt{R i}; \quad (56)$$

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}; \quad (57)$$

$$h_l = i \cdot l = \frac{v^2}{C^2 R} l. \quad (58)$$

Наиболее часто встречающиеся поперечные сечения это трапециидальное, прямоугольное, треугольное и параболическое. Гидравлические элементы этих сечений: площадь живого сечения w , смоченный периметр c , гидравлический радиус R , ширина канала (трапециидального) по дну b , коэффициент заложения откоса (трапециидальный) m . Необходимо знать эти элементы и уметь определять их величины по соответствующим формулам.

Поперечный профиль живого сечения, имеющий наибольший гидравлический радиус и пропускающий расход при наименьшем сечении, называется гидравлически наивыгоднейшим профилем. Для трапециидальных каналов

$$R_{\text{гн}} = \frac{w_{\text{гн}}}{c_{\text{гн}}} = \frac{h_{\text{гн}}}{2}. \quad (59)$$

Из сказанного можно сделать следующий вывод: что среди ряда рассматриваемых вариантов поперечных сечений имеется такой промежуточный, для которого средняя скорость v оказывается максимальной

$$v = v_{\text{max}}, \quad Q \quad (60)$$

а следовательно, площадь живого сечения w , равная $\frac{Q}{v}$ — минимальной

$$w = w_{\text{min}}, \quad (61)$$

В разделе «Гидравлически наивыгоднейшее сечение» необходимо уяснить понятие относительной ширины по дну $b_{\text{гн}}$

$$b_{\text{гн}} = \frac{b}{h_{\text{гн}}}. \quad (62)$$

2. Задания расчётно-графической работы по курсу «Механика жидкости и газа»

Каждый студент решает по 5 задач в каждом семестре. В четвёртом семестре первых пять задач (в таблице до двойной линии), в пятом последующих пять задач (табл. 1).

Номер задач определяются по последней цифре зачётной книжки.

Таблица 1. Номера задач для выполнения расчётно-графических работ

Последняя цифра зачётной книжки	Номер задач									
1	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46
2	2	7	12	17	22	27	32	37	42	47
3	3	8	13	18	23	28	33	38	43	48
4	4	9	14	19	24	29	34	39	44	49
5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
6	1	10	14	18	25	29	33	37	42	46
7	2	9	13	17	24	28	32	36	43	47
8	2	8	12	16	23	27	31	40	44	48
9	4	7	15	20	22	30	35	39	45	50
0	5	6	11	19	21	26	34	38	41	49

Решение задач производится по вариантам, которые представлены в каждой задаче, и выполняется по предпоследней цифре номера зачётной книжки.

Расчётно-графическое задание выполняется на стандартных листах бумаги формата А4 согласно стандарту БрГТУ.

При оформлении задач необходимо привести номер задачи, условие и исходные данные к задаче. Решение задачи необходимо начинать с представления расчётной схемы, а сам расчёт сопровождаться пояснением со ссылкой на используемую справочную литературу.

Задача № 1.

Определить давление газа в баллоне по показанию h двухжидкостного чашечного микроманометра, заполненного жидкостями имеющими плотность ρ_1 и ρ_2 , если задано d и D .

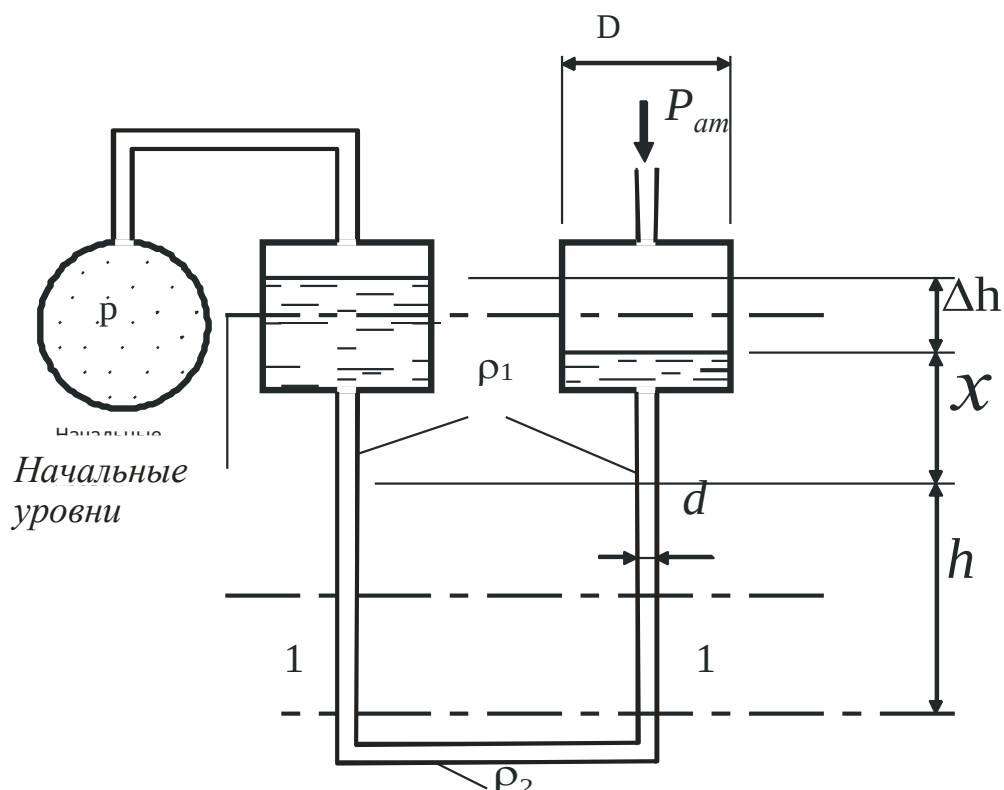


Рисунок 1. Расчетная схема к задаче №1

Таблица 2. Расчетная схема к задаче №1

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,2	0,3	0,4
$d, мм$	5	6	7	8	9	10	1	4	5	6
$\rho_2, кг/м^3$	1000	1000	1000	900	900	900	1260	1260	1260	1260
$\rho_1, кг/м^3$	790	680	700	740	870	790	1030	1000	960	740
$h, м$	0,20	0,30	0,4	0,3	0,2	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4

Задача № 2.

Заполненный атмосферным воздухом тонкостенный колокол, диаметром D и высотой H опускается в воду под действием собственного веса. Считая закон сжатия воздуха под колоколом изотермическим, найти глубину погружения колокола h .

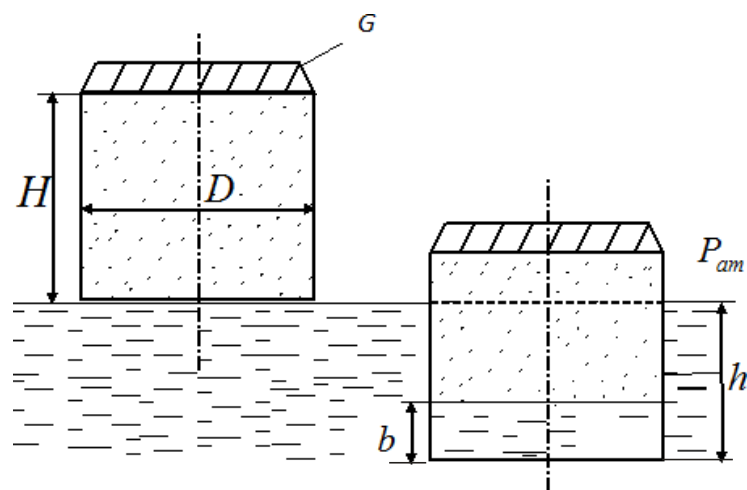


Рисунок 2. Расчетная схема к задаче №2

Таблица 3. Исходные данные к задаче №2

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5
$H, м$	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0
$G, Н$	10,0	15,0	20,0	30,0	50,0	50,0	40,0	60,0	65,0	70,0

Задача № 3.

Каково показание x ртутного барометра, помещённого в водолазном колоколе, если поверхность воды в колоколе на h ниже уровня моря, а показания барометра на поверхности моря $p_{ат}$? Как установится ртуть в трубке манометра с «постоянным» нулём, если манометр присоединить к крану А колокола? Как она установится, если манометр присоединить к крану В? Считать, что при измерениях соединительная трубка ведущая к чашке прибора, заполнена водой.

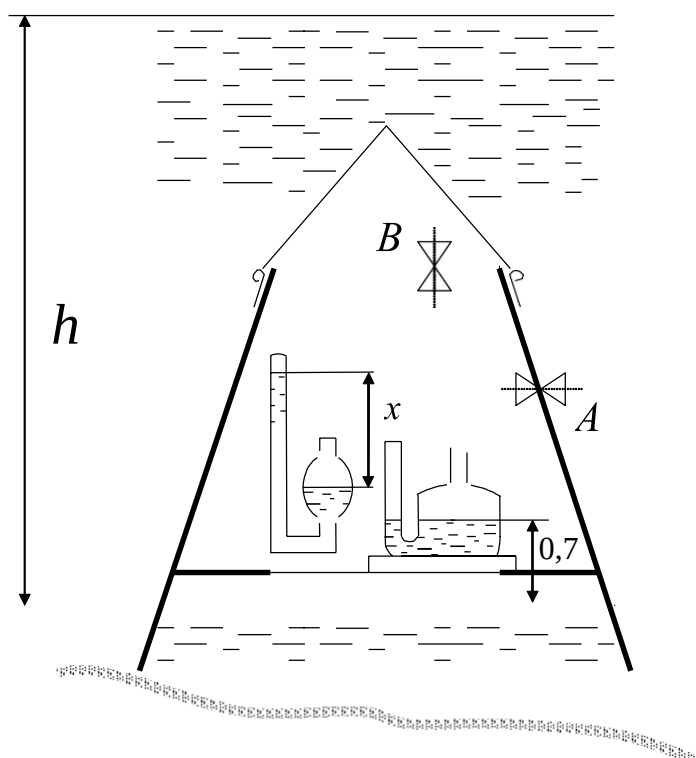


Рисунок 3. Расчетная схема к задаче №3

Таблица 4. Исходные данные к задаче №3

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h, \text{ м}$	10	11	12	12,5	13	13,5	14	10	12	11
$\rho, \text{ кг/м}^3$	1000	998	999	1020	1030	1000	1020	998	1000	1020
$p_{\text{атм}}, \text{ мм рт. ст.}$	740	750	755	760	740	760	770	755	730	735

Задача № 4.

Найти давление p в резервуаре В, если избыточное давление на поверхности воды в резервуаре А равно $p_{\text{атм}}$, разности уровней ртути в двухколенном дифференциальном манометре h_1 и h_2 , а линия ртути в левой трубке манометра ниже уровня воды на h . Пространство между уровнями ртути в манометре заполнено спиртом.

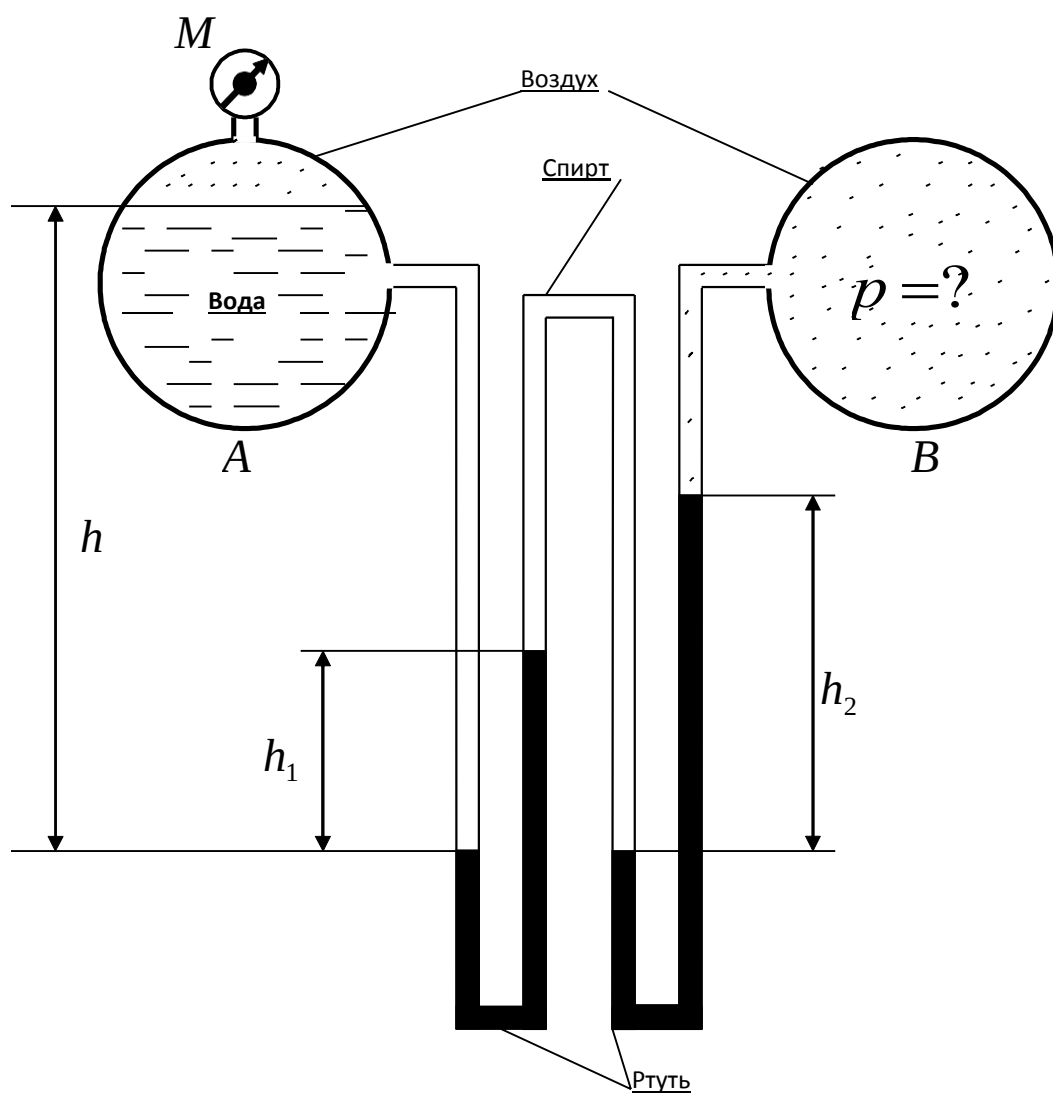


Рисунок 4. Расчетная схема к задаче №4

Таблица 5. Исходные данные к задаче №4

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_m, \text{кПа}$	25	30	40	50	60	65	70	25	35	45
$h_2, \text{мм}$	200	215	230	240	250	250	230	210	220	235
$h_1, \text{мм}$	250	275	290	300	315	300	315	260	270	280
$h, \text{м}$	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8

Задача № 5.

На какой высоте h установится вода в трубке, первоначально заполненной водой, а потом опрокинутой и погруженной открытым концом под уровень воды, если атмосферное давление P_a и температура воды $t = 4^\circ\text{C}$. Как изменится высота h , если температура повысится до 20°C , до

80°C ? Давление насыщенных паров при $t = 4^\circ\text{C}$, $P_{\text{н.п.}} = 618 \text{ Па}$, при $t = 20^\circ\text{C}$, $P_{\text{н.п.}} = 2310 \text{ Па}$, при $t = 80^\circ\text{C}$, $P_{\text{н.п.}} = 47400 \text{ Па}$.

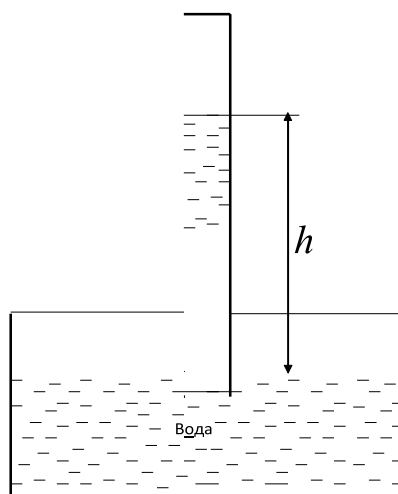


Рисунок 5. Расчетная схема к задаче №5

Таблица 6. Исходные данные к задаче №5

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$P_{\text{атм.}}, \text{мн. рт. ст.}$	735,6	740	745	750	755	760	765	77	730	752

Задача № 6.

Тонкостенный газгольдер, имеющий диаметр D и вес G , наполнен светильным газом. Пренебрегая трением, определить вес грузов Q необходимый для поддержания в газгольдере давления $P_{\text{и}}$, и образующуюся при этом разность h уровней воды в резервуаре и газгольдере. Какова предельная величина давления для данного газгольдера?

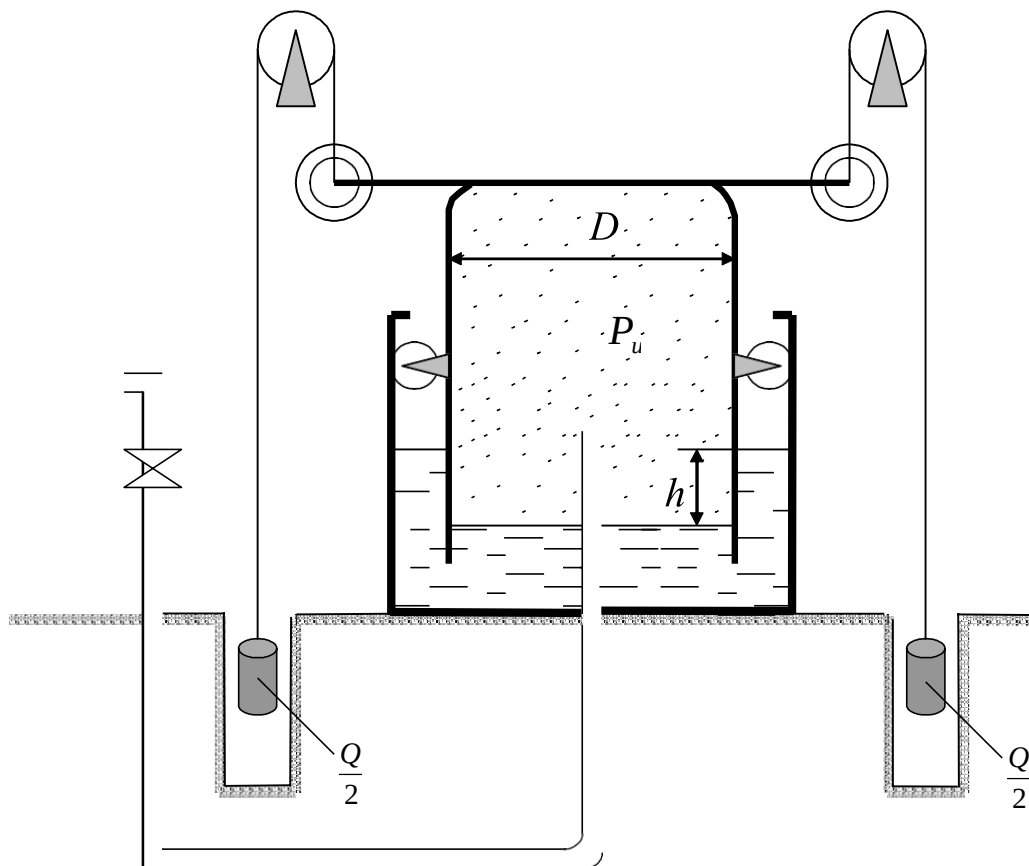


Рисунок 6. Расчетная схема к задаче №6

Таблица 7. Исходные данные к задаче №6

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$D, м$	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	12,0	12,8	13,2	13,6	14,0
$G, кН$	450	500	550	600	625	400	460	470	490	500
$P_u, кПа$	2,0	2,2	2,4	2,5	2,6	2,0	2,1	2,3	3,0	2,2

Задача № 7.

Определить тягу Δp (разность давлений) в точке котла и передтопочной дверкой D , если высота котла и дымовой трубы h . Дымовые газы имеют температуру $t_1, ^\circ C$. Температура наружного воздуха $t_2, ^\circ C$.

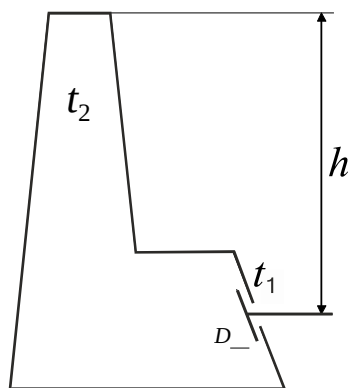


Рисунок 7. Расчетная схема к задаче №7

Таблица 8. Исходные данные к задаче №7

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h, м$	15	17	19	20	21	23	15	16	25	18
$t_2, ^\circ C$	250	260	270	280	290	300	310	320	300	300
$t_1, ^\circ C$	16	17	19	20	20	21	22	22	18	19

Задача № 8.

Газовый стояк заполнен газом, расположен внутри 12-этажного здания для распределения газа по этажам. Стояк является частью газопровода природного газа с плотностью ρ_2 . В стояке на уровне первого этажа манометрическое давление p_m . Определить возможность подъёма газа по данному стояку?

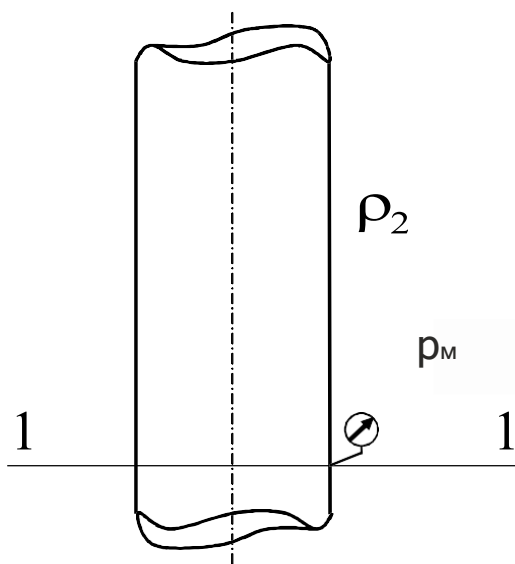


Рисунок 8. Расчетная схема к задаче №8

Таблица 9. Исходные данные к задаче №8

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Кол-во этажей	5	4	6	10	5	9	12	5	9	11
$r_2, \text{кг} / \text{м}^3$	0,70	0,75	0,80	0,70	0,85	0,80	0,70	0,80	0,75	0,80
$p_m, \text{кПа}$	10	15	18	20	15	10	15	25	20	10

Задача № 9.

Определить давление p на высоте H над уровнем моря, если давление на уровне моря p_0 , а температура t . Задачу решить для случая, когда $p=\text{const}$ и при изотермическом процессе. Какова разность изменения давления?

Таблица 10. Исходные данные к задаче №9

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, \text{м}$	500	600	800	550	650	700	750	900	1000	950
$p_0, \text{кПа}$	98,1	100	110	105	102	103	98,1	101	101	110
$t, ^\circ\text{C}$	22	24	25	26	27	29	23	24	22	27

Задача № 10.

Определить разность давления внутреннего и наружного воздуха на высоте точек А и В для замкнутой камеры имеющей небольшое отверстие в стене. Температура воздуха внутри камеры t , а снаружи t_0 ; высота h_1 и h_2 .

Давление наружного воздуха для уровня отверстия p_0 . Считая, что воздух внутри и снаружи находится в равновесии. Плотность наружного воздуха $\rho_0 = 1,175 \text{ кг} / \text{м}^3$.

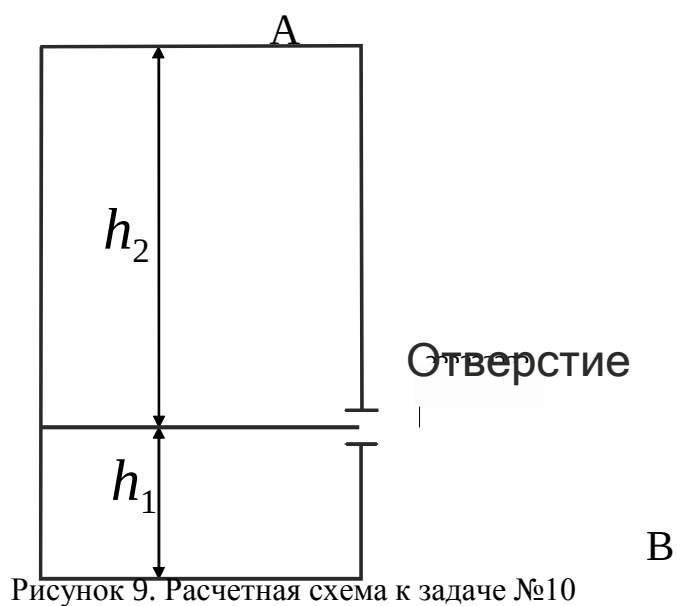


Таблица 11. Исходные данные к задаче №10

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t, ^\circ\text{C}$	22	24	25	26	28	23	21	27	24	22
$t_0, ^\circ\text{C}$	0	2	4	6	2	3	0	2	4	1
$p_0, \text{кПа}$	98	98,1	100	98,1	101	102	103	101	103	102
$h_1, \text{м}$	10	12	14	10	15	10	11	12	15	10
$h_2, \text{м}$	2	3	5	3	7	2	4	5	6	3

Задача № 11.

Определить силу давления и её точку приложения на затвор, перекрывающей отверстие донного водовыпуска, в двух случаях: затвор прямоугольный; затвор треугольный, вершиной вверх.

Ширина затвора b , глубина погружения его верхней кромки l и нижней h . Угол наклона затвора α . За затвором воды нет.

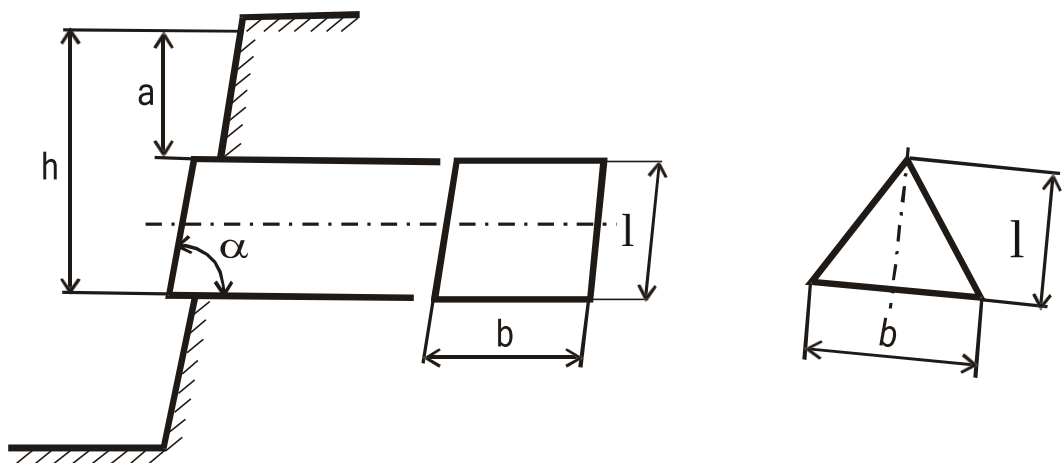


Рисунок 10. Расчетные схемы к задаче №11

Таблица 12. Исходные данные к задаче №11

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$b, м$	1,0	3,0	2,5	3,0	4,5	6,0	3,2	8,4	5,0	2,5
$l, м$	0,8	0,9	0,1	1,2	0,7	0,8	0,9	1,4	1,1	0,8
$h, м$	2,0	4,0	5,0	4,5	6,2	10,0	7,5	10,2	9,5	5,5
$a, град$	60	45	60	45	60	45	35	45	60	45

Задача 12.

Стальной трубопровод диаметром d должен выдержать гидростатическое давление p . Допустимое напряжение σ . Определить минимальную толщину стенок трубопровода δ с учетом запаса на коррозию.

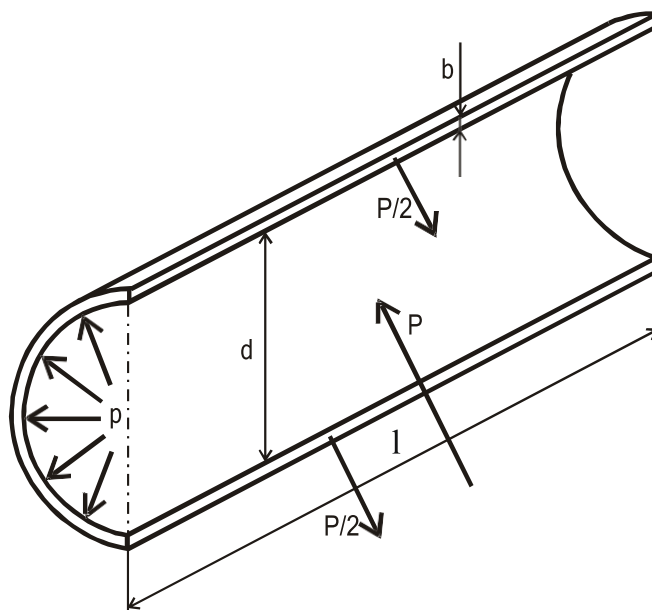


Рисунок 11. Расчетная схема к задаче 12

Таблица 13. Исходные данные к задаче №12

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	0,8	0,6	0,7	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,7
σ , кгс/см ²	1400	1200	1300	900	1500	1350	1460	1680	850	1350
p , кгс/см ²	25,0	20,0	22,0	15,0	30,0	28,0	30,0	35,0	25,0	30,0

Задача 13.

Определить аналитическим и графоаналитическим способами положение центра давления и величину силы давления воды на прямоугольную вертикальную стенку шириной b , если глубина воды перед стенкой h_1 , а за стенкой h_2 .

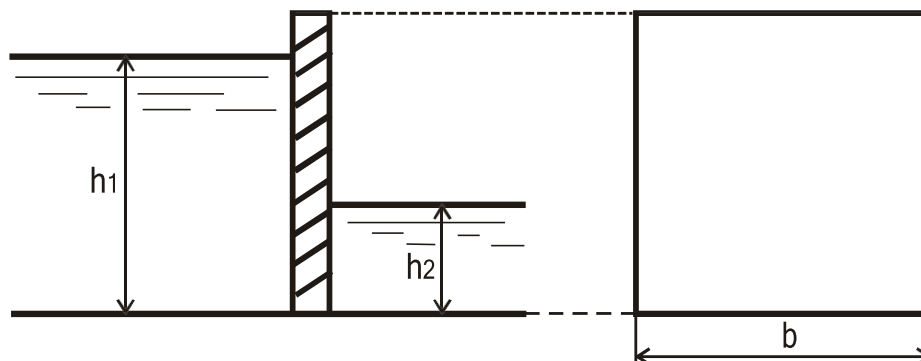


Рисунок 12. Расчетная схема к задаче №13

Таблица 14. Исходные данные к задаче №13

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
b , м	2,0	4,0	5,0	7,0	3,0	5,0	8,0	3,0	4,0	10,0
h_1 , м	3,0	6,0	8,0	9,0	7,0	9,0	11,0	6,0	9,0	12,0
h_2 , м	6,5	1,0	2,0	2,5	1,5	3,0	3,5	1,6	3,5	4,0

Задача 14.

Сила давления воды через обшивку прямоугольного щита высотой H и шириной b передается на четыре горизонтальные балки. На каких расстояниях x от свободной поверхности следует их расположить, чтобы они были нагружены одинаково. Найти силу давления воды P на весь щит и максимальный изгибающий момент M на балках, считая их свободно опертыми на концах.

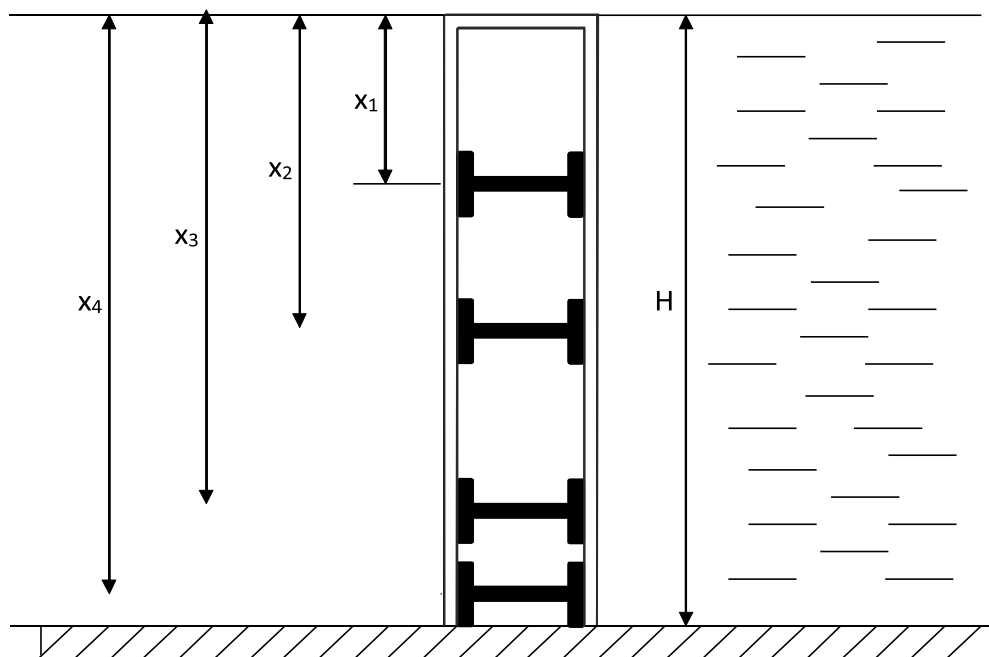


Рисунок 13. Расчетная схема к задаче №14

Таблица 15. Исходные данные к задаче №14

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	4	5	4,5	8	7	6	7	5,5	9	8,5
b , м	5	7	6,5	6	7	4	5	6	6	5

Задача 15.

Щитовой затвор должен автоматически опрокидываться для пропуска воды при уровне последней h_1 . Щит поворачивается на цапфах O диаметром $d=0,4$ м, имеющих коэффициент трения скольжения f . Ширина щита b , его

угол наклона α . Найти на каком расстоянии x должна быть расположена ось поворота щита, если под щитом имеется постоянный уровень воды h_2 , и определить силу P , воспринимаемую его опорами в момент опрокидывания.

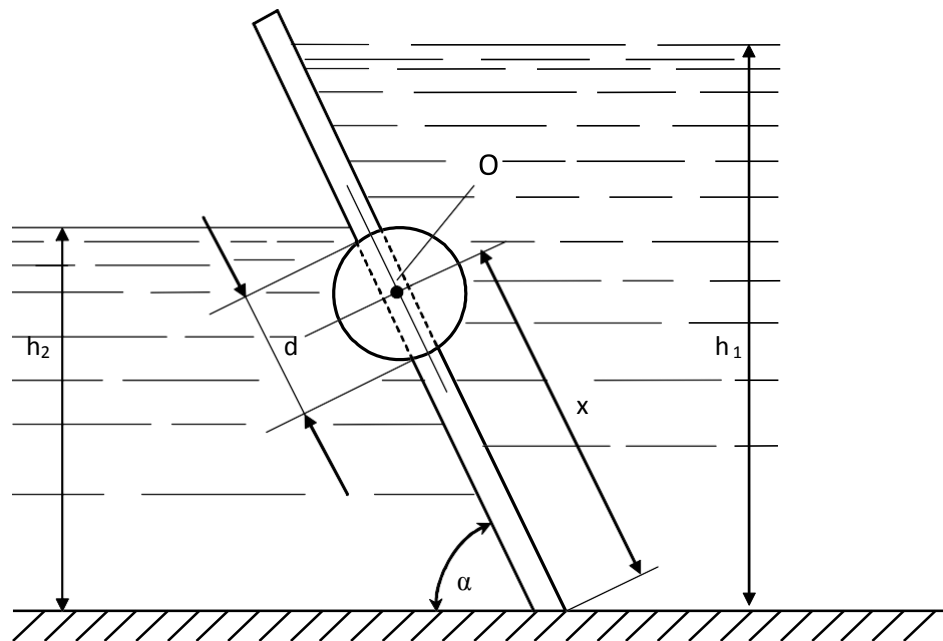


Рисунок 14. Расчетная схема к задаче №15

Таблица 16. Исходные данные к задаче №15

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_1 , м	76	77	76,5	78	9	10	7,5	11	8,5	10,5
h_2 , м	3	3,5	3,2	4	4,5	5	3,7	5,5	4,2	5
f	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2
b , м	8	8	7	8	8	8	7	7	8	8
α , °	60	45	45	30	60	60	45	30	60	45

Задача 16.

Определить силу суммарного давления на секторный затвор и ее точку приложения. Глубина воды перед затвором h , длина затвора L , угол затвора α .

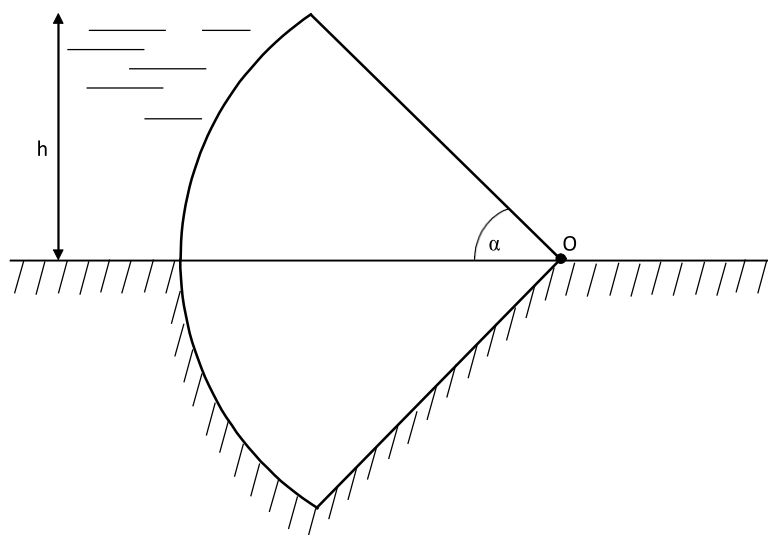


Рисунок 15. Расчетная схема к задаче №16

Таблица 17. Исходные данные к задаче №16

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	4	6	5	6	7	8	5	4	5	4
L , м	5	6	6	8	7	8	5	7	8	6
α , град	45	30	60	45	60	30	30	60	45	45

Задача 17.

В прямоугольном окне вертикальной стенки резервуара установлен на цапфах цилиндрический затвор диаметром D и длиной b .

Определить:

- 1) Усилие на цапфах и момент от воздействия воды на затвор в изображенном на эскизе положении при h .
- 2) Какими будут усилия на цапфах и момент, если повернуть затвор на 180° .

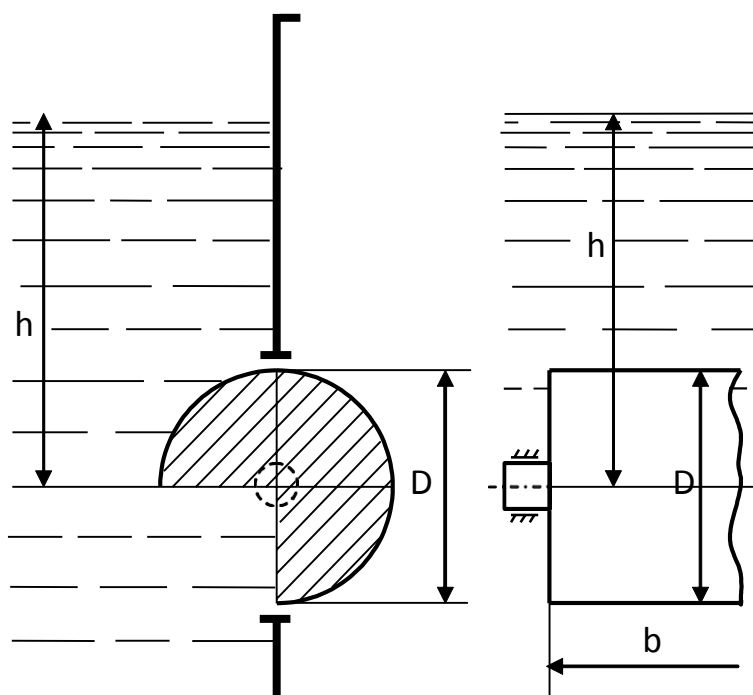


Рисунок 16. Расчетная схема к задаче №17

Таблица 18. Исходные данные к задаче №17

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	0,8	1,0	1,5	1,2	1,4	1,3	1,5	0,9	1,0	1,1
b , м	3	4	5	4	4	3	5,0	4	3	4
h , м	1	2,0	2,5	2,6	2,1	2,2	1,5	1,55	1,5	2,0

Задача 18.

Смотровой люк, устроенный в боковой стенке бензорезервуара, перекрывается полусферической крышкой диаметром d .

Определить открывающее P_x идвигающее P_z усилия, воспринимаемые болтами, если уровень бензина над центром отверстия H , а манометрическое давление паров бензина равно p_0 . Удельный вес бензина $\gamma=6867 \text{ Н/м}^3$.

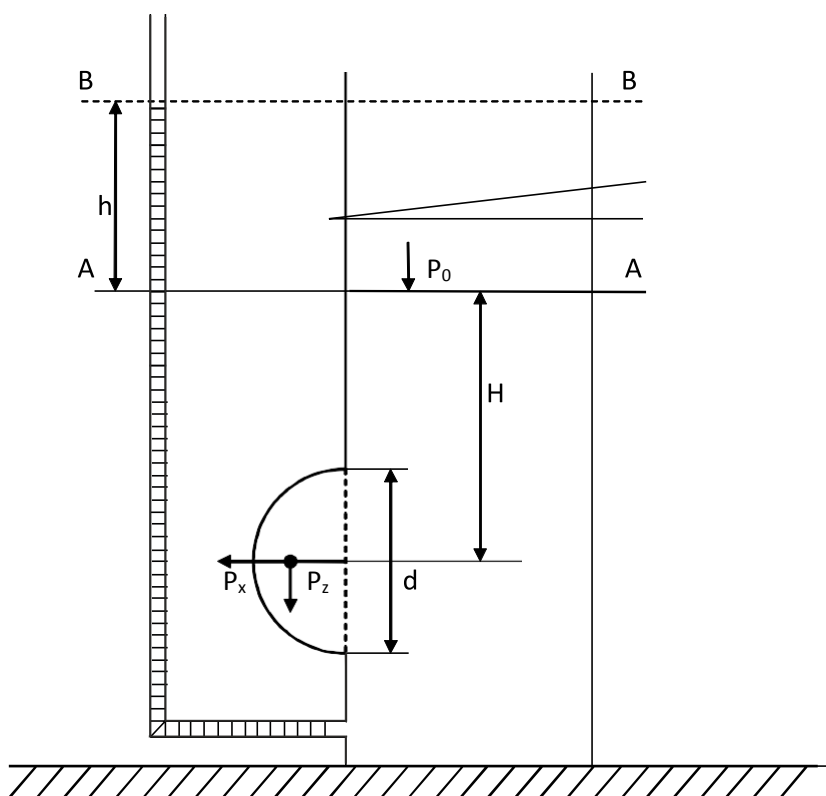


Рисунок 17. Расчетная схема к задаче №18

Таблица 19. Исходные данные к задаче №18

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	0,6	0,75	0,8	0,9	0,6	0,7	0,5	0,8	0,45	0,5
H , м	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	3,0	3,0	5,0	4,0	3,0
p_0 , кПа	4,8	5,0	5,5	6,0	5,0	5,6	4,0	2,0	4,5	4,6

Задача 19.

Показания манометра, присоединенного к днищу бака, равно p_m . Найти давление воздуха, находящегося под водой, если h_1 и h_2 .

Определить растягивающее и сдвигающее усилия болтов, крепящих к вертикальной стенке бака коническую крышку с размером d и e ; весом крышки пренебречь.

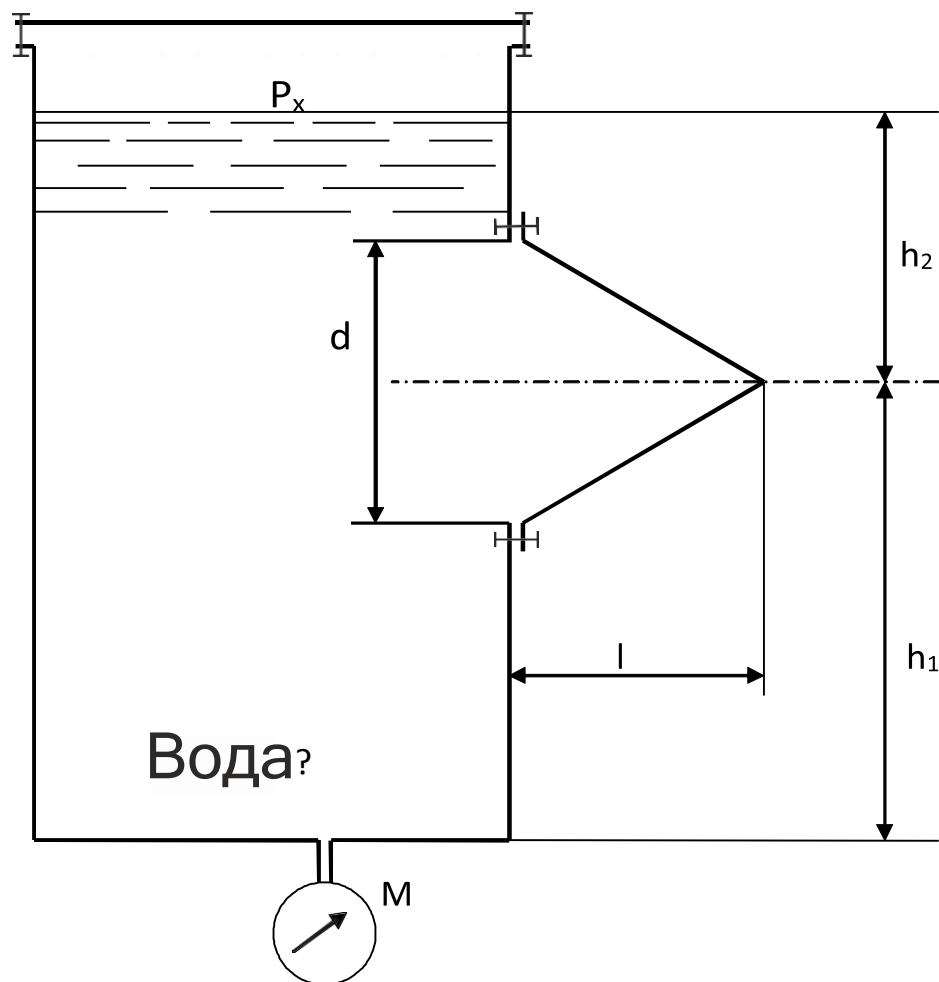


Рисунок 19. Расчетная схема к задаче №20

Таблица 21. Исходные данные к задаче №20

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_1 , м	1	2	3	4	1,5	2,5	3,5	4,5	5	5,5
D , м	3	4	5	6	7	3	4	5	6	7
p_M , кПа	40	50	30	35	45	55	60	40	25	30

Задача 21.

По трубопроводу, имеющему сужение, протекает идеальная жидкость расходом Q . Показания пьезометров h_1 и h_2 , диаметр суженной части d_2 . Определить диаметр d_1 трубопровода, построить пьезометрическую и напорную линии для участка трубопровода между пьезометрами. Как изменяется диаметр трубы, если жидкость будет реальной, а потери напора между сечениями составят h_f .

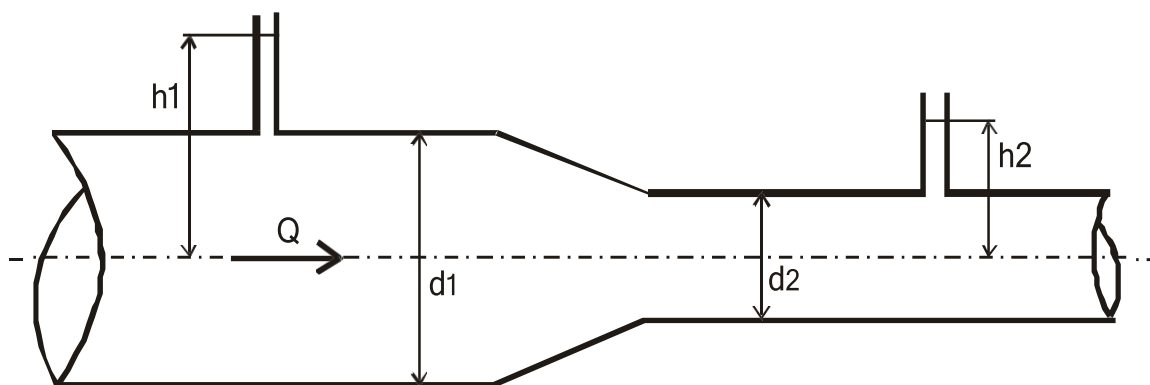


Рисунок 20. Расчетная схема к задаче №21

Таблица 22. Исходные данные к задаче №21

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	10	19	80	86	40	6	25	52	20	15
H_1 , м	3,0	3,5	4,2	3,6	2,8	1,4	3,5	4,8	2,4	4,0
H_2 , м	2,0	3,0	3,4	2,7	2,4	1,1	3,1	3,9	1,8	2,2
D_2 , мм	50	80	150	150	125	50	100	125	80	50
h_f , м	2,1	2,8	3,0	2,2	2,4	2,6	2,7	1,5	1,9	2,0

Задача 22.

По наклонному трубопроводу диаметром d подается вода в количестве Q . Давление воды в начальном участке сечения трубопровода p_1 . Определить давление во втором сечении, учитывая, что центр тяжести второго сечения расположен на 5 м ниже центра тяжести начального сечения, а потери напора h_f . Начертить пьезометрическую линию для участка трубопровода между сечениями. Как изменится давление, если сечения будут расположены на одном уровне?

Таблица 23. Исходные данные к задаче №22

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	200	250	125	150	250	300	125	100	80	350
Q , л/с	45	50	30	20	60	50	15	12	80	90
p_1 , кН/м ²	100	98	122	58	132	160	180	98,4	105	93,5
h_f , м	0,8	2,0	3,0	1,5	2,5	4,0	5,0	3,5	4,5	1,0

Задача 23.

Трубопровод, имеющий в сечении 1–1 диаметр d_1 , постепенно расширяется до диаметра d_2 в сечении 2–2. Центр тяжести сечения 1–1 расположен на z ниже центра сечения 2–2. Расход воды, пропускаемый по трубопроводу, равен Q . Принимая величину потерь равной h_f , определить

разность давления между сечениями 1–1 и 2–2 и построить напорную линию для участка трубопровода между сечениями 1–1 и 2–2.

Таблица 24. Исходные данные к задаче №23

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	100	200	250	300	300	150	200	250	300	200
d_2 , мм	400	500	350	450	500	300	450	450	450	500
Q , м ³ /с	0,2	0,3	0,15	0,25	0,34	0,11	0,23	0,35	0,24	0,35
h_f , м	0,1	0,25	0,15	0,3	0,2	0,14	0,18	0,25	0,26	0,3
z , м	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5,0	3,0	3,5	3,0

Задача 24.

По горизонтальной трубке переменного сечения (d_1 , d_2 , d_3) протекает идеальная жидкость плотностью $\rho=1000$ кг/м³ с расходом Q . Давление в сечении 1–1 – p .

Определить пьезометрические высоты в сечениях 1–1, 2–2, 3–3 и построить напорную и пьезометрическую линии для участка трубопровода между указанными сечениями. Как изменятся высоты в сечениях, если жидкость реальная, а потери между сечениями составят соответственно h_{f1} и h_{f2} .

Таблица 25. Исходные данные к задаче №24

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , кг/см ²	3,0	2,6	3,1	3,3	2,5	2,9	4,0	3,5	4,1	2,7
d_1 , мм	100	150	100	200	200	250	250	200	200	250
d_2 , мм	25	40	50	50	75	40	100	75	40	50
d_3 , мм	75	75	75	100	100	100	150	100	75	75
Q , л/с	10	18	12	24	35	16	40	35	15	20
h_{f1} , м	0,3	0,5	0,45	0,2	0,18	0,4	0,6	0,4	0,45	0,16
h_{f2} , м	0,4	0,6	0,65	0,3	0,25	0,2	0,3	0,3	0,55	0,25

Задача 25.

Вода течет по трубопроводу диаметром d со скоростью v . Внизу вода растекается во все стороны по радиусу между двумя круглыми параллельными пластинками диаметром D , расположенными на расстоянии a одна от другой. Пренебрегая потерями напора, определить давление в точках В, отстоящих на расстоянии $D/4$ от центра А, считая, что вода вытекает в атмосферу.

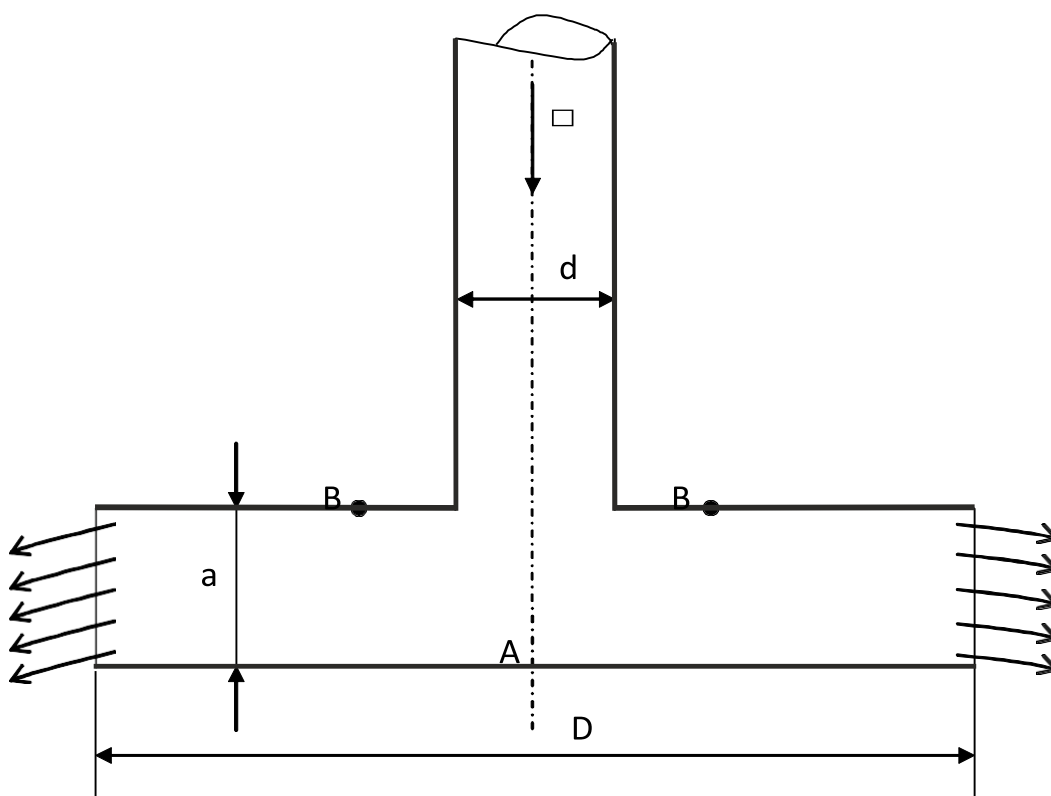


Рисунок 21. Расчетная схема к задаче №25

Таблица 26. Исходные данные к задаче №25

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	150	175	200	250	300	100	125	150	175	200
v , м/с	5	6	3	3	3	6	5	4	5	3
D , мм	800	825	850	900	1000	700	725	650	775	800
a , мм	30	35	40	30	30	30	35	35	40	40

Задача 26.

Определить диаметр трубы для пропуска расхода воды Q при заданной глубине h и длине трубы L . Уровень в резервуаре постоянный, скоростным напором в резервуаре пренебречь. На каком расстоянии от конца трубы находится сечение, в котором вакуум равен $0,5 \cdot 10^4$ Н/м². Коэффициент Дарси рассчитать по формуле:

$$l = 0,02 + 0,0005/d.$$

$L, \text{ м}$	90	80	70	60	50	40	30	20	15	75
----------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Задача 28.

На берегу реки предполагается установить насос для подачи воды из реки расходом Q . Определить расстояние от оси насоса до уровня воды в реке h_b . Длина всасывающей трубы L , трубы стальные новые. На всасывающей трубе установлен приемный клапан с сеткой, имеются три поворота трубы под углом 90° , с закруглением r/R_3 . Допустимая вакуумметрическая высота $h_{\text{вак}}$.

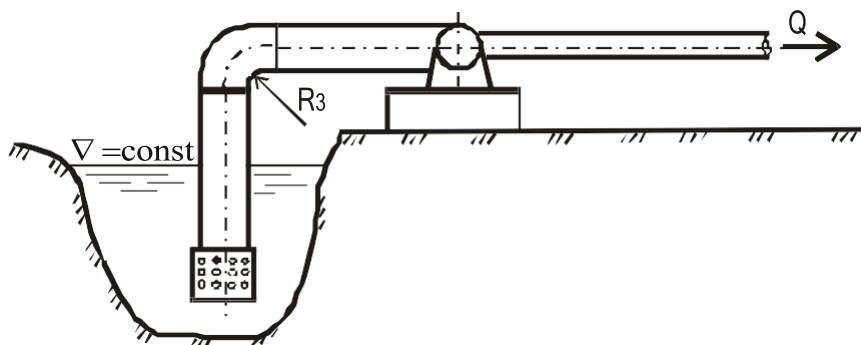


Рисунок 24. Расчетная схема к задаче №28

Таблица 29. Исходные данные к задаче №28

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,008	0,009	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,025	0,030
$L, \text{ м}$	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8
r/R_3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$h_{\text{вак}}, \text{ дм}$	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,4	5,8

Задача 29.

Определить разность уровней в баке Z , которая обеспечивает расход воды Q по трубопроводу диаметром d . Степень открытия задвижки на трубопроводе a/d . Длина трубы L . На трубопроводе имеются четыре поворота с углами 90° со степенью закругления $r/R_3=0,7$. Скоростными напорами в баках пренебречь.

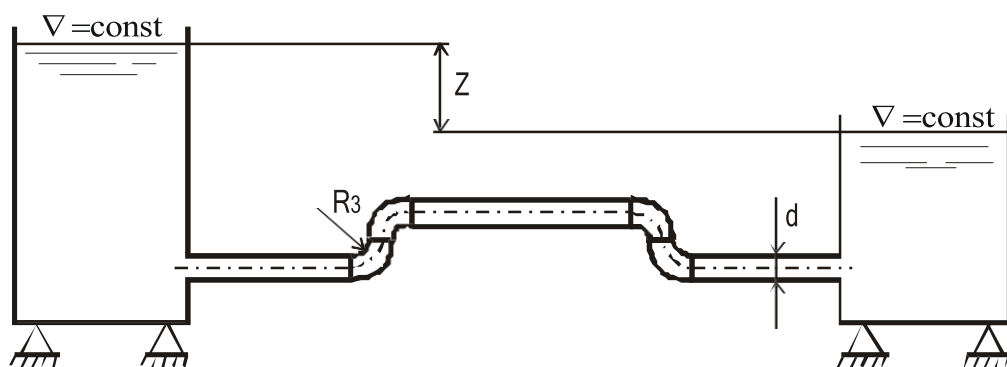


Рисунок 25. Расчетная схема к задаче №29

Таблица 30. Исходные данные к задаче №29

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,025
$d, \text{ м}$	0,10	0,08	0,06	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
a/d	1/4	3/8	4/8	5/8	3/4	7/8	1	1/4	3/8	1/2
$L, \text{ м}$	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180

Задача 30.

По сифонному трубопроводу, для которого задан напор H , необходимо подавать расход воды Q при условии, что вакуумметрическая высота в сечениях трубопровода не превосходила $h_{\text{вак}}=7$ м. Опасное сечение С–С расположено выше начального уровня воды на h , длина восходящей линии трубопровода до этого сечения равна L_1 , а нисходящей линии L_2 . Трубопровод снабжен задвижкой и приёмным клапаном с сеткой. Повороты трубы в вертикальной плоскости равны $\alpha_1=30^\circ$ и $\alpha_2=40^\circ$.

Определить диаметр трубопровода $d=d_1=d_2$ и коэффициент сопротивления задвижки ζ , удовлетворяющие условиям задачи. Построить напорную линию по длине трубопровода.

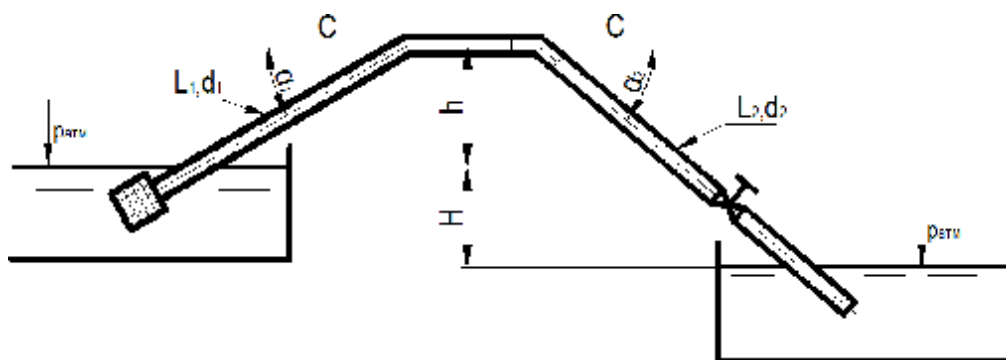


Рисунок 26. Расчетная схема к задаче №30

Таблица 31. Исходные данные к задаче №30

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H , м	6	7	5	8	6,5	9	7,5	5,5	10	8,5
Q , л/с	50	55	45	60	70	65	75	60	80	60
h , м	4	4,5	4	5	4	5	5	4	4	4
L_1 , м	100	120	100	150	100	120	100	150	140	120
L_2 , м	60	70	50	60	50	70	60	80	70	60

Задачи 31–35.

Определить отметку воды в баке (∇_B) водонапорной башни и построить пьезометрическую линию по магистрали 1-2-3-4 при $q'=0,5$ л/с; q_4 ; q_6 ; q_5 . Произвести расчет ответвлений.

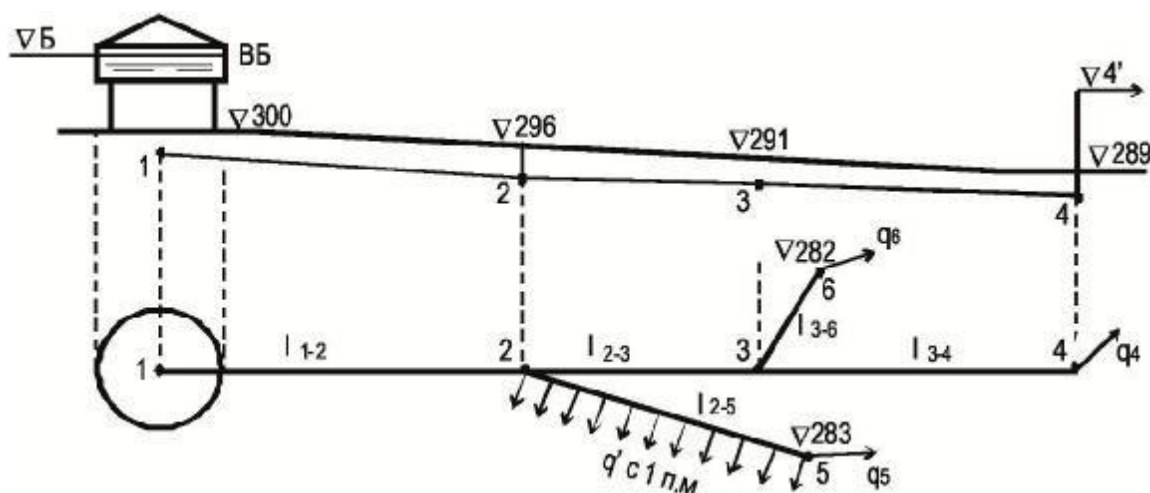


Рисунок 27. Расчетная схема к задачам №№ 31–35

Таблица 32. Исходные данные к задачам №№ 31–35

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l_{1-2} , м	150	300	120	370	350	600	500	460	420	380
l_{2-3} , м	200	350	230	180	200	200	450	380	320	450
l_{3-4} , м	300	400	170	230	150	150	150	270	480	200
l_{2-5} , м	400	200	400	200	300	300	200	180	180	160
l_{3-6} , м	350	150	300	150	180	250	180	320	240	210
q_4 , л/с	6	8	9	10	6,5	7	7,5	8,5	9,5	11
q_6 , л/с	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
q_5 , л/с	4	5	6	7	8	9	10	11	3	4
∇_4' , м	10	6	4	4	8	4	8	4	6	4
∇_6' , м	12	8	8	6	10	10	10	6	10	12

$\nabla_5', \text{ м}$	8	10	10	8	6	12	10	12	10	10
------------------------	---	----	----	---	---	----	----	----	----	----

Примечание: для задач 31, 32, 33 34 35 табличные значения задачи 31–35 умножить, соответственно, на 1,1; 1,2; 1,3; 1,4.

Задача № 36.

В стальной трубопровод диаметром d и длиной l поступает сжатый воздух под избыточным давлением p_1 . Температура воздуха t . Скорость в начале трубопровода v_1 . Определить массовый расход воздуха M и давление в конце трубки p_2 .

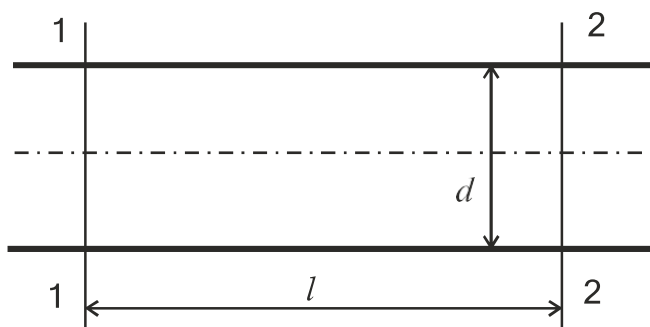


Рисунок 28. Расчетная схема к задаче №36

Таблица 33. Исходные данные к задаче №36

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{ мм}$	80	100	125	150	175	200	250	300	350	400
$l, \text{ м}$	80	100	110	120	150	100	115	125	140	160
$p_1, \text{ кПа}$	800	900	950	900	960	800	900	950	980	990
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	10	20	30	25	20	10	40	10	20	30
$v_1, \text{ м / с}$	25	30	25	20	22	15	16	20	15	15

Задача № 37.

Подобрать диаметры стального трубопровода для газопровода высокого давления состоящего из трёх последовательно соединённых участков, расход газа при нормальных условиях Q , давления в p_1, p_2, p_3, p_4 длины трубопроводов L_1, L_2, L_3 плотность газа при нормальных условиях $r = 0,79 \text{ кг / м}^3$, кинематическая вязкость $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$.

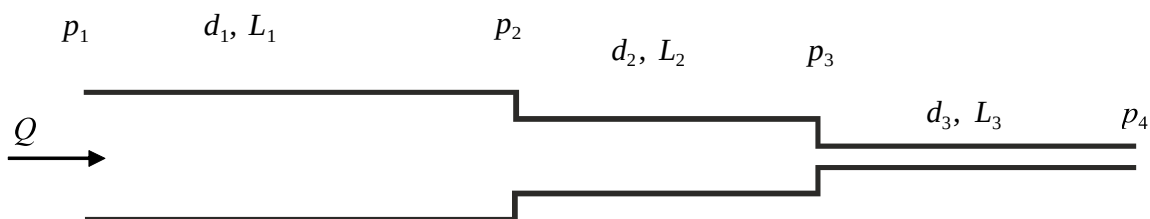


Рисунок 29. Расчетная схема к задаче №37

Таблица 34. Исходные данные к задаче №37

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, л / с$	20	22	18	15	12	16	17	21	14	13
$p_1, кПа$	980	990	800	700	900	980	950	750	500	550
$p_2, кПа$	950	960	780	680	880	960	920	700	560	530
$p_3, кПа$	930	940	760	660	860	940	800	690	540	510
$p_4, кПа$	920	930	750	650	830	920	770	670	520	490
$L_1, м$	1100	1000	800	900	1200	700	1100	1000	900	800
$L_2, м$	1300	1200	1000	1200	1400	800	1500	1300	1000	1100
$L_3, м$	1600	1400	1200	1500	1600	1000	1500	1600	1400	1500

Задача № 38.

Определить расход в параллельных ветвях газопровода Q_1 и Q_2 и суммарный расход газа Q , если начальное давление p_n , конечное p_k , диаметр ветвей d_1 и d_2 , длина ветвей $L_1=1000м$, $L_2=2000м$. Трубы стальные, плотность газа $\rho = 0,72 кг / м^3$ и кинематическая вязкость $\nu = 15 \cdot 10^{-6} м^2 / с$ (при нормальных условиях). Расчёт провести по формулам и монограммам.

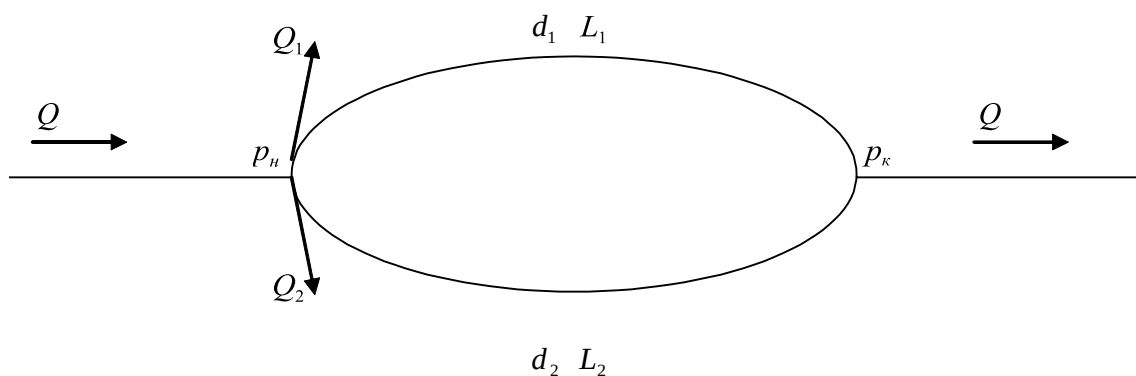


Рисунок 30. Расчетная схема к задаче №38

Таблица 35. Исходные данные к задаче №38

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_n, \text{кПа}$	990	960	930	900	850	830	800	750	720	700
$p_k, \text{кПа}$	930	920	900	870	810	800	770	700	700	650
$d_1, \text{м}$	0,108	0,112	0,095	0,083	0,121	0,06	0,076	0,112	0,89	0,152
$d_2, \text{м}$	0,102	0,219	0,168	0,152	0,245	0,159	0,180	0,245	0,219	0,273
$L_1, \text{м}$	1100	1200	1300	1400	1150	1250	1350	1550	1600	1700
$L_2, \text{м}$	2000	2000	2150	2500	2150	2100	2200	2500	2600	2500

Задача № 39.

Определить потери давления в системе магистрального газопровода, если давление в начале трубопровода p_1 , диаметр трубопровода: d_1, d_2, d_3 ; L_1, L_2, L_3 ; плотность газа принять при нормальных условиях; расход газа Q .

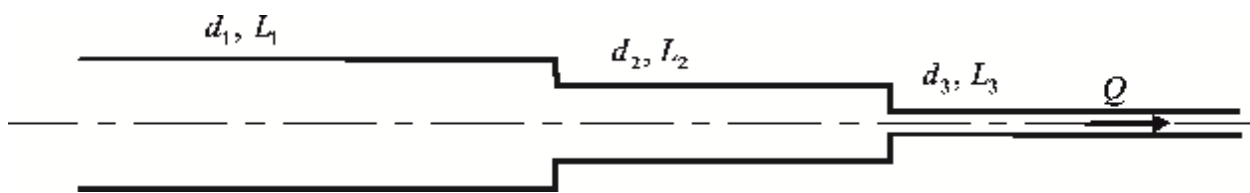


Рисунок 31. Расчетная схема к задаче №39

Таблица 36 Исходные данные к задаче №39

Величина	Вариант (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_1, \text{кПа}$	500	600	700	550	650	750	400	450	200	550
$d_1, \text{м}$	0,5	0,6	0,7	0,55	0,65	0,75	0,4	0,45	0,3	0,35
$d_2, \text{м}$	0,3	0,4	0,5	0,35	0,45	0,55	0,25	0,3	0,2	0,25

$d_3, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25	0,35	0,1	0,15	0,1	0,15
$L_1, \text{ м}$	1000	1100	1200	1050	1150	1250	900	950	800	850
$L_2, \text{ м}$	500	600	700	550	650	750	450	500	400	450
$L_3, \text{ м}$	100	200	300	150	250	350	80	100	100	150
$Q, \text{ л / с}$	11000	12000	1300	1150	1250	1350	1000	1050	900	950

Задача № 40.

Определить расход газа Q в системе газопровода, состоящей из последовательно соединенных стальных трубопроводов диаметрами d_1, d_2, d_3 . Длина трубопроводов: L_1, L_2, L_3 . Абсолютное давление в начальном сечении p_1 ; общий перепад давления Δp ; температура 0°C ; плотность газа принять приведенной к нормальным условиям; кинематическую вязкость принять по справочникам.

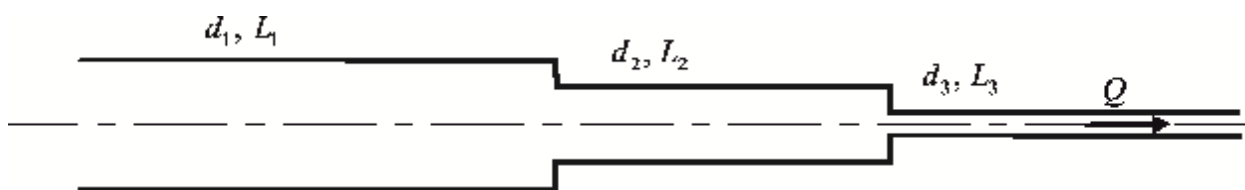


Рисунок 32. Расчетная схема к задаче №40

Таблица 37 Исходные данные к задаче №40

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\Delta p, \text{ кПа}$	400	450	420	410	300	350	250	270	280	300
$d_1, \text{ м}$	0,5	0,6	0,7	0,55	0,65	0,75	0,4	0,45	0,3	0,35
$d_2, \text{ м}$	0,3	0,4	0,5	0,35	0,45	0,55	0,25	0,3	0,2	0,25
$d_3, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,15	0,25	0,35	0,1	0,15	0,1	0,15
$L_1, \text{ м}$	1000	1100	1200	1050	1150	1250	900	950	800	850
$L_2, \text{ м}$	500	600	700	550	650	750	450	500	400	450
$L_3, \text{ м}$	100	200	300	150	250	350	80	100	100	150
$p_1, \text{ МПа}$	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6	2,7	1,9	1,8	1,7	1,6

Задача № 41.

Вода сливается из бака А в бак В по трубопроводу диаметром d и полной длиной равной $2 \cdot L$. Из бака В вода выливается в атмосферу через цилиндрический насадок такого же диаметра d . Определить какой напор H нужно поддерживать в баке А чтобы уровень в баке В находился на высоте h .

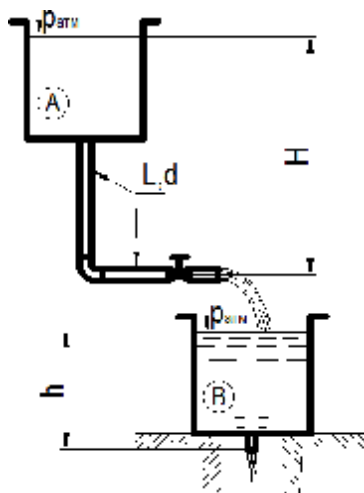


Рисунок 33. Расчетная схема к задаче №41

Таблица 38 Исходные данные к задаче №41

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	50	60	80	25	32	40	75	60	50	80
h , м	2,0	1,0	1,5	2,5	2,2	2,0	1,8	2,0	1,5	2,0
$2 \cdot L$, м	8	9	10	5	6	7	8	8	10	11

Задача № 42.

Определить расход воды через отверстие с острой кромкой диаметром d , если показания манометра М перед отверстием равно p_M и высота расположения манометра над осью трубы h .

Как изменится расход, если к отверстию присоединить цилиндрический насадок (пунктиром)? Для насадка найти показания манометра, при котором произойдет срыв режима работы, принимая, что срыву соответствует абсолютное давление в сжатом сечении струи, равное нулю. Давление на выходе из насадка – атмосферное.

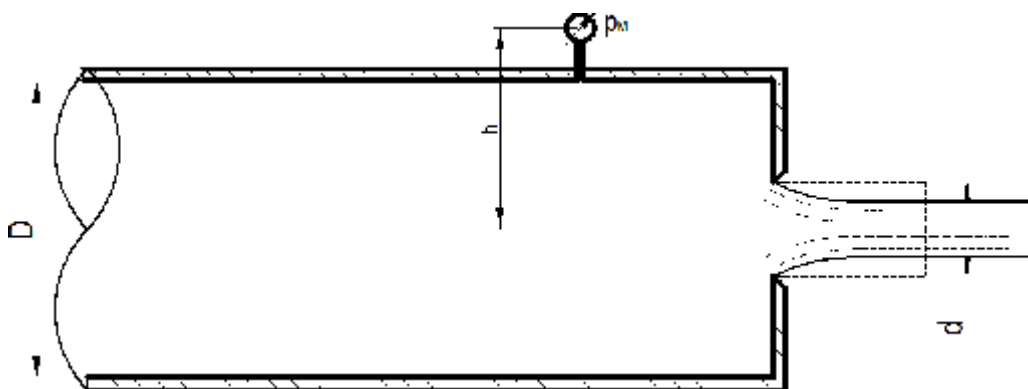


Рисунок 34. Расчетная схема к задаче №42

Таблица 39. Исходные данные к задаче №42

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	120	100	125	150	80	60	100	120	125	80
D , мм	200	200	200	250	250	175	300	300	250	200
p_M , МПа	0,1	0,15	0,12	0,2	0,15	0,1	0,2	0,15	0,2	0,17
h , м	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4	0,45	0,55	0,65	0,75

Задача № 43.

Вода из верхней секции замкнутого бака перетекает в нижнюю секцию через отверстие d_1 , а затем через цилиндрический насадок d_2 вытекает в атмосферу.

Определить расход через насадок, если при установившемся режиме известно показание манометра M , а уровни в водомерных стеклах для каждой секции соответственно равны h_1 и h_2 .

Найти при этом избыточное давление p_x над уровнем воды в нижней секции бака.

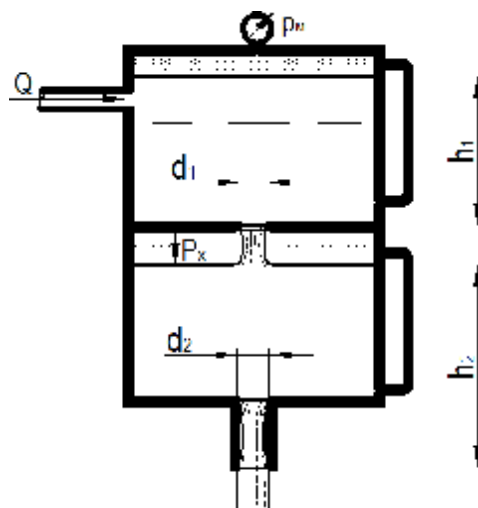


Рисунок 35. Расчетная схема к задаче №43

Таблица 40. Исходные данные к задаче №43

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1 , мм	30	35	40	45	50	30	25	35	20	40
d_2 , мм	20	25	30	35	40	25	20	25	10	32
h_1 , м	2,0	1,8	1,5	1,0	1,0	3,0	2,1	1,8	2,0	1,0
h_2 , м	3,0	2,8	2,5	2,0	2,0	4,0	3,1	3,5	3,0	2,5
p_M , кПа	50	45	40	35	30	60	65	50	60	40

Задача № 44.

Для насадка, составленного из двух цилиндрических патрубков диаметрами d и D , определить коэффициент сопротивления и расхода.

Найти величину предельного напора $H_{\text{пр}}$ в случае истечения воды в атмосферу, принимая, что при $H=H_{\text{пр}}$ вакуумметрическая высота в наименьшем сечении потока достигает $h_{\text{вак}}$.

Построить напорную линию.

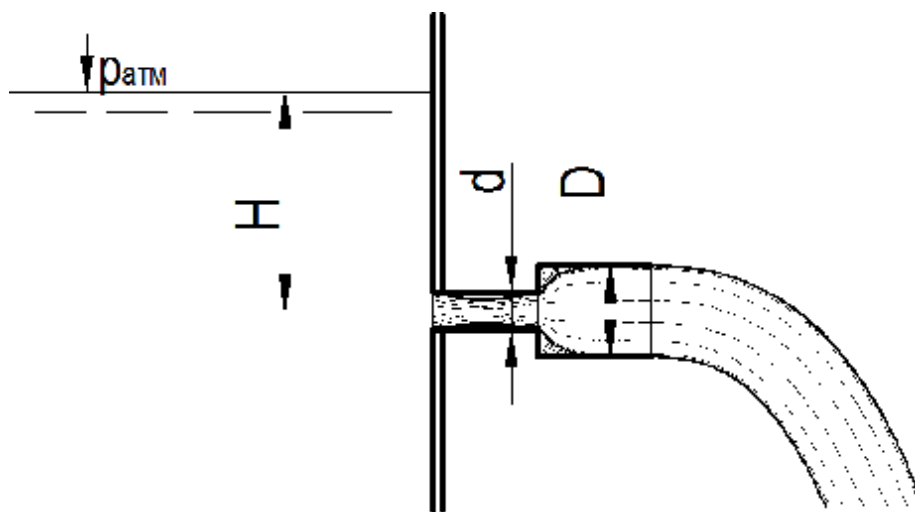


Рисунок 36. Расчетная схема к задаче №44

Таблица 41. Исходные данные к задаче №44

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	30	40	50	60	20	35	45	55	30	40
D , мм	60	70	80	100	50	70	80	90	50	60
$h_{\text{вак}}$, м в. ст.	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8

Задача № 45.

В бак, разделенный на две секции перегородкой, имеющей круглое отверстие диаметром d с острой кромкой, поступает вода в количестве Q . Из каждой секции вода вытекает через цилиндрический насадок, диаметр которого равен диаметру отверстия в перегородке.

Определить расход через каждый насадок при установившемся режиме, предполагая, что отверстия в перегородке являются затопленными.

Как надо изменить диаметр насадка в левой секции, чтобы расходы через оба насадка стали равными между собой?

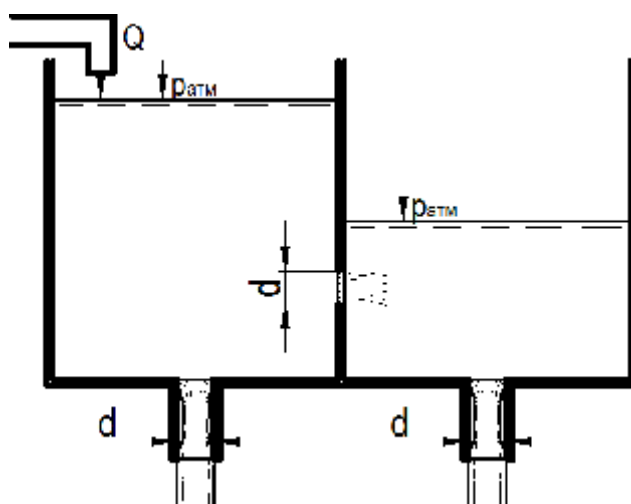


Рисунок 37. Расчетная схема к задаче №45

Таблица 42. Исходные данные к задаче №45

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	100	50	60	75	50	40	45	50	55	65
Q , л/с	80	40	45	50	60	30	35	45	50	55

Задача № 46.

В стальном трубопроводе длиной L , диаметром d и толщиной δ расход воды Q . Расчётная температура воды $t^\circ\text{C}$. Определить наименьшее время закрывания задвижки $t_{\min}$, чтобы повышение давления в конце трубопровода, вызванное гидравлическим ударом было не более $\Delta p_{\max}$. Чему будет равно повышение давления в случае мгновенного закрывания задвижки в трубопроводе?

Таблица 43. Исходные данные к задаче №46

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L , м	250	300	350	280	400	500	450	420	550	200
d , м	0,15	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3	0,3	0,2	0,3	0,175
Q , м ³ /с	0,08	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	0,2	0,18	0,25	0,2
δ , мм	0,05	0,5	0,3	0,05	0,1	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05
t , °C	18	20	22	25	28	20	20	15	20	20
Δp , кПа	300	400	350	380	390	400	200	250	300	300

Задача № 47.

В конце системы, состоящей из двух последовательно соединенных стальных трубопроводов установлена задвижка.

Определить повышение давления перед задвижкой при её закрывании, если время закрывания t ; расход воды Q ; диаметры трубопроводов d_1, d_2 ; длины l_1, l_2 . Определить наименьшее время закрывания задвижки, исключая прямой гидравлический удар. Толщина стенок трубопровода δ , температура воды T .

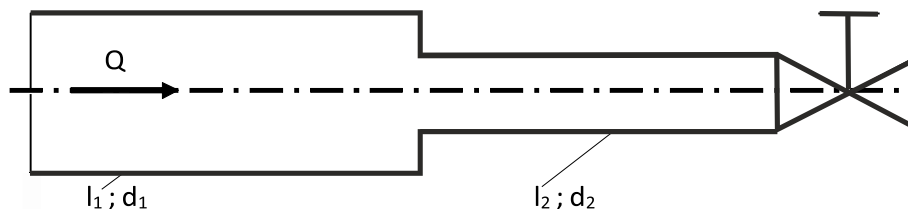


Рисунок 38. Расчетная схема к задаче №47

Таблица 44. Исходные данные к задаче №47

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачётной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t, c	0,2	0,3	0,25	0,4	0,35	0,45	0,2	0,3	0,35	0,25
$Q, м^3/с$	0,02	0,025	0,025	0,03	0,02	0,04	0,015	0,05	0,045	0,03
$d_1, м$	0,2	0,25	0,2	0,3	0,15	0,2	0,01	0,03	0,035	0,3
$d_2, м$	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,1	0,008	0,15	0,2	0,15
$l_1, м$	200	250	300	350	200	400	250	400	300	300
$l_2, м$	400	350	400	420	300	250	10	200	150	100
$\delta, мм$	5,5	5	8	8	8	10	5	10	8	5
$T, °C$	21	20	15	10	4	10	18	15	20	10

Задача № 48.

Какую ширину по дну должен иметь трапециевидный канал длиной L , если для пропуска расхода Q , при глубине наполнения h используется разность отметок дна H ? Коэффициент шероховатости $n=0,020$.

Таблица 45. Исходные данные к задаче №48

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$L, км$	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0	6,0	9,0	10,0	12,0	11,0
$Q, м^3/с$	10	15	12	19	30	9	18	6	40	5
$h, м$	1,2	1,8	1,4	2,0	2,7	1,4	1,6	1,1	4,3	1,0
$H, м$	2,0	3,2	6,0	4,8	3,0	9,6	4,5	4,2	3,6	5,0
Грунты	песок мелк.	супесь	суг-линок	песок средн.	супесь плотн.	суг-линок	тяж. сугл.	торф	глина	сугл. легкий

Задача № 49.

Определить глубину трапецеидального канала, который пропускает расход Q , ширина по дну b . Уклон дна канала i проверить из условия неразмыва русла канала.

Таблица 46. Исходные данные к задаче №49

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	0,5	0,8	1,2	1,5	3,0	3,5	4,0	2,0	1,0	5,0
b , м	0,4	0,6	0,6	0,6	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	2,0
i	0,0003	0,0004	0,0005	0,0006	0,0008	0,001	0,002	0,0008	0,0004	0,001
Грунты	песок пылев.	глина	супесь	суг-линок	песок мелк.	песок средн.	песок крупн.	суг-линок	гравий	глина
Условия содержания канала	норм. состояние	выше средн.	сред-ние	плохие	сред-ние	срав-нительно плохие	выше средн.	норм. сост.	затя-нут илист. плен-кой	выше средн.

Задача № 50.

Рассчитать трапецеидальный канал при известных величинах: Q , m , n , i ,

β .

Таблица 47. Исходные данные к задаче №49

Величины	Варианты (предпоследняя цифра зачетной книжки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	1,0	1,5	1,76	2,0	2,2	1,8	5,0	18,0	20,0	3,0
i	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0007	0,0008	0,0010	0,0006
n	0,020	0,014	0,017	0,0275	0,025	0,0275	0,030	0,020	0,025	0,0225
β	2,6	3,8	2,2	3,1	1,95	2,5	3,4	4,2	4,5	3,0
Грунты	сугл. средн.	супесь	песок мелк.	песок крупн.	супесь плотн.	торф	глина	сугл. легкий	песок крупн.	песок средн.

3. Методические указания для решения задач

Задача 1

Для решения задачи необходимо применить закон равновесия несжимаемой жидкости для плоскости 1-1 для левой и правой трубки с чашками

$$p_{\text{лев}} = p_{\text{прав}}. \quad (63)$$

Выразив $p_{\text{лев}}$ и $p_{\text{прав}}$ через соответствующие параметры получим уравнение с двумя неизвестными. Для определения Δh необходимо применить уравнение постоянства объёма жидкости в системе:

$$\frac{\rho D^2}{4} \Delta h = \frac{\rho D^2}{4} h. \quad (64)$$

Решая совместно уравнения (63) и (64) определяется p .

Задача 2

Решая задачу необходимо составить уравнения равновесия колокола

$$F_{\text{дав}} = G. \quad (65)$$

и уравнение равновесия жидкости по уровню воды в колоколе на высоте b . Полученные уравнения содержат три неизвестные. Поэтому необходимо записать третье уравнение изотермического процесса сжатия воздуха. Решая совместно три этих уравнения, получим искомую величину h . Зная величину

h и предположив, что $h = H$ можно найти максимальный вес колокола G_{max} , при котором он целиком погрузится в воду.

Задача 3

Давление воздуха в колоколе

p_x , при его погружении на глубину 12 м,

с одной стороны, и, абсолютное давление со стороны воды на её уровне в колоколе, равны. Записав уравнение равновесия, где давление внутри водолазного колокола измеряется ртутным барометром и оно равно

$$P_x = g_{\text{рт}} x. \quad (66)$$

Из уравнения равновесия определяем показания ртутного манометра x . Для определения показания ртутного манометра с «постоянным» нулём после подсоединения его к кранам также составляются уравнения равновесия со стороны воды через краны на поверхность ртути и со стороны колокола нартуть в трубке манометра. При составлении уравнения необходимо учесть, что поверхность ртути в манометре находится на высоте 0,7 м от уровня воды в колоколе.

Задача 4

Давление воздуха в резервуаре В необходимо определить из уравнения равновесия составленного для трёх жидкостей: воды, ртути и спирта.

Наметив плоскость, например, по нижнему уровню ртути записывают уравнения слева от плоскости и справа.

Задача 5

Высоту столба жидкости H в опрокинутой трубке определяют из уравнения равновесия составленного по уровню воды в резервуаре. При составлении уравнения необходимо учесть, что в трубке образуется вакуум, величина которого зависит от температуры воды, т.е. давления насыщенных паров и плотности жидкости.

Задача 6

Составляется уравнение равновесия со стороны светильного газа и воды, а также со стороны груза и веса газгольдера:

$$P_u = g \cdot h; \quad (67)$$

$$P_u \cdot w + Q = G. \quad (68)$$

Из этих уравнений определяется h и Q . Предельная величина давления определяется из учёта веса газгольдера и груза.

Задача 7

Для решения задачи необходимо определить давление в топке на уровне дверки котла и давление перед дверкой. Разность этих давлений и составит тягу Δp :

$$p_T = p_{амт} + p_{тр}; \quad (69)$$

$$p = p_{амт} + p_{возд}; \quad (70)$$

$$\Delta p = p_T - p. \quad (71)$$

Задача 8

Рассматривая давление вне и внутри трубы в сечениях на уровне первого этажа и последнего (второе сечение) можно записать уравнения

$$p_{вн(2-2)} = p_{вн(1-1)} - r_{вн} g H; \quad (72)$$

$$p_{a(2-2)} = p_{a(1-1)} - r_n g H, \quad (73)$$

где H – высота здания.

Вычитая второе уравнение из первого, и учитывая, что манометрическое давление равно

$$p_{ман} = p_{абс} - p_{амт}. \quad (74)$$

находим зависимость между манометрическими давлениями по высоте стояка.

Задача 9

В случае когда $r = \text{const}$ давление определяется из уравнения

$$p = p_0 - r g H, \quad (75)$$

где $r = \frac{p}{RT}$.

Если определять давления при изотермическом процессе, то

$$p = p_0 e^{\frac{gH}{RT}}. \quad (76)$$

Задача 10

Давление в точке А внутри камеры

$$p_A = p_0 - r_1 h_1 g. \quad (77)$$

Давление наружного воздуха на высоте точки А

$$p'_A = p_0 - r_0 h_0 g. \quad (78)$$

Разность давлений

$$\Delta p_A = p_A - p'_A. \quad (79)$$

Аналогично находим и для точки В.

Задача 11

При решении этой задачи необходимо использовать аналитический способ. Сила гидростатического давления действующая на плоские поверхности равна

$$P = g h_{\text{цт}} w, \quad (80)$$

где $h_{\text{цт}}$ – глубина погружения центра тяжести данной плоской поверхности (затвора) под уровень воды (для случая прямоугольника центр тяжести находится на пересечении диагоналей; для треугольника – на пересечении медиан, для равностороннего – на расстоянии 2/3 от вершины угла); w – площадь плоской поверхности, на которую действует вода.

Зная угол наклона a необходимо найти величину l , которая будет равна

$$l = \frac{h - a}{\sin a}. \quad (81)$$

По l и b определяют площадь прямоугольника и треугольника.

Точка приложения силы гидростатического давления определяется по уравнению

$$h_{\text{цд}} = h_{\text{цт}} + \frac{I}{w h_{\text{цт}}}, \quad (82)$$

где I – момент инерции затвора вокруг горизонтальной оси.

При решении этой задачи необходимо составить расчётную схему.

Задача 12

Решение этой задачи нужно произвести, используя пояснение [1] стр. 49, 1972; стр. 62, 1982, 2005.

Задача 13

Составляется расчётная схема. Равнодействующая сила гидростатического давления действующая, на вертикальную плоскую стенку будет равна

$$P = P_1 - P_2, \quad (83)$$

где P_1 – сила гидростатического давления, действующая слева; P_2 – сила гидростатического давления, действующая справа.

Обе эти силы определяются по формуле (80), приведённой в задаче 11.

Точку приложения силы гидростатического давления находят из уравнения моментов, составленных для сил, действующих на затвор. Для того чтобы составить уравнения моментов, необходимо вначале определить

точки приложения силы P_1 и P_2 (формула (82)).

При графическом способе решения в масштабе составляют расчётную схему затвора. Строят эпюру гидростатического давления. Точка приложения

силы находится в плоскости на расстоянии $\frac{2}{3}h$ от поверхности воды.

Результирующая сила будет равна площади суммарной эпюры. В данном случае – площадь трапеции. Точка приложения результирующей силы будет проходить через центр тяжести трапеции. Графическим способом находят центр тяжести трапеции и проводят силу P .

Величина силы P , найденная обоими способами должна быть равной.

Задача 14

Определяем силу давления воды в нижней точке затвора по формуле

$$P = g h_{ц.м} w = \frac{1}{2} g H^2 b. \quad (84)$$

На каждый ригель действует сила

$$P = \frac{P}{n}. \quad (85)$$

Строим эпюру гидростатического давления на затворе и делим её на четыре равновесные части и находим расстояния от свободной поверхности до нижней границы эпюры, приходящейся на расположенные выше ригели.

Для первого ригеля

$$P_1 = \frac{P}{n} = \frac{g H^2 b}{n} = \frac{1}{2} g h_1^2, \quad (86)$$

где n – число ригелей; h_1 – расстояние от поверхности воды до нижней границы эпюры первого ригеля

$$h_1 = H \sqrt{\frac{1}{n}}. \quad (87)$$

Проанализировав остальные ригели можно получить

$$h_2 = H \sqrt{\frac{2}{n}}; \quad (88)$$

$$h_3 = H \sqrt{\frac{3}{n}}; \quad (89)$$

$$h_4 = H \sqrt{\frac{4}{n}} = H. \quad (90)$$

Для первого ригеля центр тяжести эюры (прямоугольный треугольник) определим по формуле

$$x_1 = \frac{2}{3} h. \quad (91)$$

Для остальных ригелей эюрами являются прямоугольные эюры. Центры тяжести определяем по формуле

$$x_i = l_{ц.т} + \frac{I_0}{w I_{ц.т}}, \quad (92)$$

или иначе для второго ригеля

$$x_2 = \frac{h_2 - h_1}{2} + \frac{b(h_2^3 - h_1^3)}{12b(h_2 - h_1)(2h_1 + h_2 - h_1)}. \quad (93)$$

Величины x_3 и x_4 определяются аналогично предыдущей формуле с учётом глубин h_2, h_3 и h_4 .

Задача 15

В начале определяем силу гидростатического давления, действующую на затвор справа P_1 , а затем P_2 действующую слева. Равнодействующая по формуле (83).

Сила гидравлического давления, действующая на плоский затвор, определяется по формуле (80).

Затем определяем точки приложения этих сил по формуле (82)

Величину x определяем из уравнения моментов составленного для найденных сил относительно точки О.

Задача 16-20

Данные задачи решаются нахождением силы гидростатического давления, действующей на криволинейные поверхности

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}. \quad (94)$$

где $P_x = \rho g h_{цт} w$; $P_z = \rho g W$.

При определении вертикальной составляющей решения P_z , важной частью является определение «тела давления» W .

Задача 21

При решении этой задачи необходимо использовать уравнение Бернулли для идеальной жидкости и уравнения неразрывности для потока, записанные для двух сечений

$$\left. \begin{aligned} z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} \\ \rho v_1 = \rho v_2 = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (95)$$

Для круглой трубы площадь равна $\frac{\pi d^2}{4}$.

Задача 22

Записывается уравнение Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения, плоскость, проходящую через центр тяжести сечения 2–2.

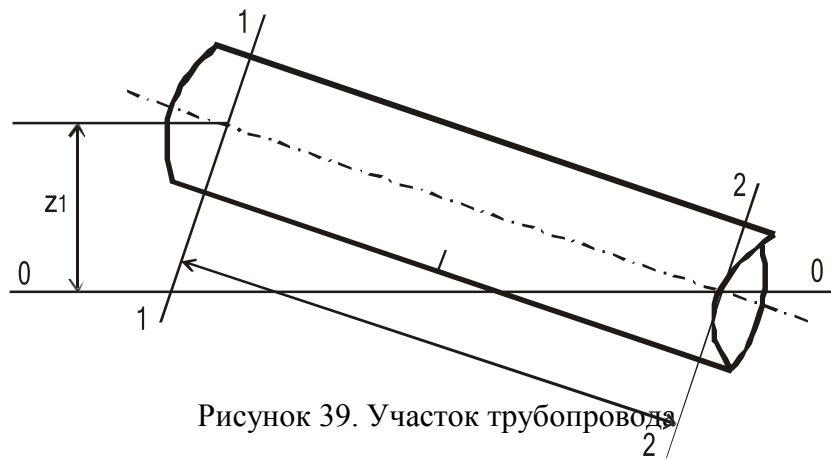


Рисунок 39. Участок трубопровода

Потери напора по длине определяются, как для «коротких» труб. Коэффициент гидравлического трения (λ) зависит от области сопротивления, для чего необходимо найти число Рейнольдса. Трубы принимаются новые, стальные.

Задача 23

Записывается уравнение Бернулли для двух сечений, приняв за плоскость сравнения плоскость, проходящую через центр тяжести первого сечения. Потери напора при резком расширении определяются по формуле

$$h_{\text{пр}} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \quad (96)$$

Задача 24

Записывается уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 2–2. Отсюда

определяется $\frac{p_2}{\rho g}$, затем для сечений 2–2 и 3–3 находится $\frac{p_3}{\rho g}$. При решении

уравнения скорость v и скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$ определяется по заданному расходу и диаметрам.

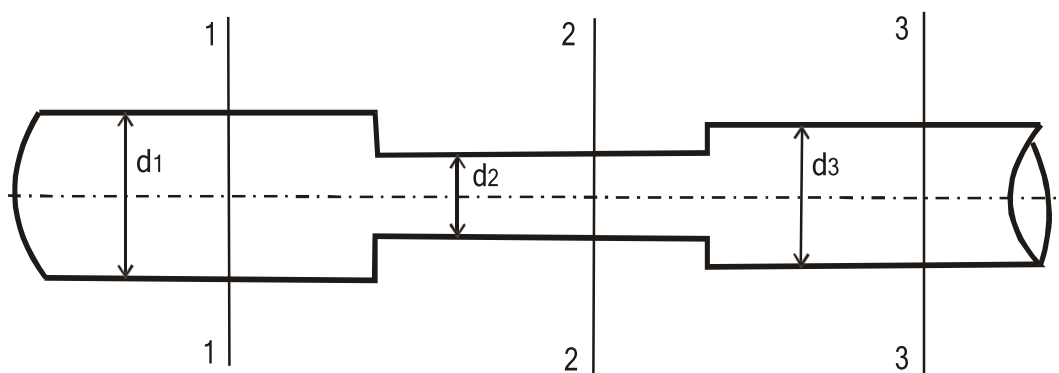


Рисунок 40. Схема участка трубопровода переменного сечения

Задача 25

Необходимо записать уравнение Бернулли для сечений 1–1, проходящего через точку В, и 2–2 – на выходе из пластин.

Скорость в сечении 1–1 необходимо определить из условия, что площадь живого сечения равна

$$w_1 = \frac{p D}{4} a. \quad (97)$$

Для второго сечения

$$w_2 = p D a. \quad (98)$$

Задача 26

Для определения диаметра трубы составляется уравнение Бернулли для сечений 1–1 и 0–0, приняв за плоскость сравнения плоскость 0–0

$$h + l = \frac{v^2}{2g} + h_f. \quad (99)$$

где h_f – потери напора в трубе

$$h_f = h_j + h_l. \quad (100)$$

Здесь

$$h_j = z_{\text{вх}} \frac{v^2}{2g}. \quad (101)$$

Кроме того, h_l – потери по длине и определится по формуле

$$h_l = l \frac{1}{d} \frac{v^2}{2g}. \quad (102)$$

Скорость $v = \frac{4Q}{p d^2}$ зависит от диаметра, поэтому подставляя

необходимые значения в уравнение Бернулли, дальнейшее решение производят методом подбора. Задавая стандартным диаметром d , определяют величину правой части уравнения и сравнивают ее с левой.

Для определения расстояния x до сечения, в котором вакуум равен 5 кПа, составляют уравнение Бернулли для сечений 2–2 и 0–0. Потери

напора от сечения 2–2 до 0–0 принимают как потери по длине на расстоянии x .

Задача 27

Напор H находится из уравнения Бернулли, записанного для сечений 1–1 и 2–2, приняв за плоскость сравнения плоскость 0–0

$$H = \frac{v^2}{2g} + h_f, \quad (103)$$

где h_f – потери напора на участке между сечениями 1–1 и 0–0

$$h_f = h_j + h_l. \quad (104)$$

$$h_j = \sum z \frac{v^2}{2g}. \quad (105)$$

Здесь $\sum z$ – суммарный коэффициент потерь напора в трубе, h_l – потери по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха (см. предыдущую задачу). Коэффициент гидравлического трения (λ) определяется по формуле (34).

Задача 28

Записав уравнение Бернулли для сечения 1–1, проходящего по уровню воды в реке и сечения 2–2, проходящего через ось насоса, (плоскость сравнения 0–0, проходящую через сечение 1–1), можно найти h_b

$$\frac{p_{\text{атм}}}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = h_b + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_f. \quad (106)$$

где $v_1 \approx 0$, а скорость во втором сечении нельзя определить, так как диаметр всасывающей трубы неизвестен.

Поэтому в начале принимается рекомендуемая скорость для всасывающих труб $v = 0,8 \text{--} 1,0 \text{ м/с}$ и определяется d . Полученный диаметр сравнивают со стандартным (50, 60, 75, 80, 100, 125, 150, 175, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 мм). Приняв стандартный диаметр, определяют действительную скорость в трубе. Потери гидравлического напора определяются аналогично, как и в задаче 27.

Задача 29

Составляется уравнение Бернулли для соответствующих сечений при истечении под уровень и дальнейшее решение производится по аналогии задачи 27.

Задача 30

Необходимо составить уравнение Бернулли вначале для восходящей части сифона, а затем для нисходящей. Слева первое сечение назначить по уровню воды в резервуаре, второе – по опасному сечению С–С.

Справа – для сечения С–С и, сечения назначенного по уровню приёмного резервуара.

Из уравнения Бернулли для восходящей части сифона определяют диаметр трубы d , считая, что трубы новые стальные, а коэффициент сопротивления $l = 0,02$.

Из уравнения Бернулли для нисходящей части сифона определяют при заданном Q $z_{\text{зад}}$ и определённом диаметре трубы d .

Задачи 31–35

При решении этих задач необходимо учесть то, что табличные данные варианта необходимо умножить на соответствующий коэффициент, указанный под таблицей.

Затем устанавливают расчетные расходы для участков сети. Учитывая то, что по условию задачи магистраль задана 1–2–3–4, то расходы определяют для нее, а затем для ответвлений 2–5 и 3–6.

Расчетный расход какого-либо участка сети равняется сумме расходов забираемых из сети ниже по течению. Так, для участка:

4–3 (расчет начинают с конца магистрали) расчетный расход равен

$$Q_{4-3} = q_4;$$

$$3-2 - Q_{3-2} = Q_{4-3} + q_6 = q_4 + q_6;$$

$$2-1 - Q_{2-1} = Q_{3-2} + q_5 + q_{2-5} = q_4 + q_6 + q_5 + q_{2-5}.$$

Расчетный расход для ответвления 2–5 будет равен

$$Q_{2-5} = q_5 + 0,5 q_{2-5}.$$

Определение расходов удобнее вести в табличной форме (таблица 48).

Таблица 48. Определение расчетных расходов

Узлы	Узловые расходы q , м ³ /с	Участки	Расчетные расходы на участках Q , м ³ /с
1	2	3	4
4			
		4–3	
3			
		3–2	
2			
		2–1	
1			

Расчет магистрали ведут по расходам, установленным в таблица 48.

Длины участков даны по схеме в таблице исходных данных к задаче.

Порядок расчета по всей задаче приведен в [2] стр. 186-187.

Задачи 36–40

Методика решения этих задач приведена в [3] §41.

Задача 41

При истечении из бака В через цилиндрический насадок при напоре h расход равен

$$Q = m \cdot w \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (107)$$

где m – коэффициент расхода цилиндрического насадка.

Для определения H составляется уравнение Бернулли для сечений по уровню воды в баке А и выходному сечению трубы. Решая это уравнение, определяются H .

Задача 42

При истечении из отверстия расход определяется по формуле

$$Q = m \cdot w \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \quad (108)$$

где H – полный напор над центром отверстия.

$$H_0 = \frac{P}{g} + h + \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (109)$$

здесь v – скорость подхода к отверстию.

Замена отверстия насадком меняет коэффициент расхода m в расходной формуле, т.е. $m = m_n$, который нужно применять по справочной литературе.

Задача 43

Количество воды вытекающей из отверстия

$$Q_1 = m \cdot w \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}, \quad (110)$$

где $H_0 = h + \frac{P_m}{g} - \frac{P_x}{g}$.

Так как режим установившийся, то количество воды вытекающей из насадка Q_2 должно быть равно количеству воды поступающей из верхней секции в нижнюю секцию из отверстия $Q_1 = Q_2$.

$$Q_2 = m_n \cdot w_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}; \quad (111)$$

$$H_0 = \frac{P_x}{g} + h_2; \quad (112)$$

$$Q_2 = m_n \cdot w_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{P_x}{g} + h_2 \right)} \quad (113)$$

Здесь P_x давление на поверхности воды во второй секции. Из этого уравнения определяется P_x .

Задача 44

Для определения коэффициента сопротивления такого насадка нужно исходить из того, что вначале необходимо найти коэффициент сопротивления первого патрубка z_1 . Его можно определить по формуле

$$z_1 = z_0 \frac{1}{e_x^2} + \left(\frac{1}{e_x} - 1 \right)^2, \quad (114)$$

где z_0 – коэффициент сопротивления отверстия с острой кромкой; e_x – коэффициент сжатия струи при входе в насадок.

При расчетах считать квадратичную зону истечения.
Коэффициент сопротивления второго z_2 необходимо рассчитать из условия резкого расширения патрубков

$$z_2 = \left(\frac{w_2}{w_1} - 1 \right)^2, \quad (115)$$

где w_2 – площадь сечения второго патрубка; w_1 – площадь сечения первого патрубка.

Общий коэффициент сопротивления системы будет равен

$$z = z_1 + z_2. \quad (116)$$

Коэффициент расхода рассчитать по общепризнанным формулам. Предельный напор можно подсчитать по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{н.п.}}}{2 \cdot j^2 \cdot \left(\frac{1}{e_x} - 1 \right)^2}, \quad (117)$$

где $P_{\text{н.п.}}$ – давление паров жидкости.

Температуру воды принять равной $t = 20^\circ \text{C}$.

Задача 45

При истечении из затопленного отверстия перепад будет равен

$$z = \frac{Q^2}{m^2 \cdot w^2 \cdot 2 \cdot g}. \quad (118)$$

При установившемся режиме истечения из насадков рассчитать по основной формуле

$$Q = m_n \cdot w \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (119)$$

где H – напор на цилиндрическом насадке. Длину насадков считать одинаковой.

Задачи 46, 47

Порядок и пример расчета приведен в [3] (пример 5.6 и 5.7).

Задача 48, 49

Эти задачи решаются подбором по уравнению $Q = w \cdot \epsilon \cdot Ri$, задавая ряд значений b или h . Расчет лучше вести в табличной форме (таблица 49).

По данным таблица 49 строится график $Q = f(b)$ и $Q = f(h)$. По графику для заданного расхода определяется требуемая величина h или b .

Таблица 49. Расчёт канала трапециидального сечения

$b(h)$ м	$w = (b + mh)h$ м ²	$c = b +$ $+2h\sqrt{1+m^2}$ м	$R = \frac{w}{c}$ м	$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R$ м ^{0,5} /с	$C\sqrt{R}$	$Q = wC\sqrt{Ri}$, м ³ /с
1	2	3	4	5	6	7

Правильность расчёта можно проверить, например, по способу

Н.Н.Агроскина. Вычисляется $F(R_{гн}) = \frac{1}{4} \frac{Q}{m_0 i \sqrt{R_{гн}}}$, по функции в таблице X [2]

находится $R_{гн}$. Зная $R_{гн}$ определяется отношение, например $\frac{b}{R_{гн}}$ и по таблице

XI [2] находится $\frac{h}{R_{гн}}$. Отсюда $h = \frac{h}{R_{гн}} R_{гн}$.

В задаче 48 коэффициент заложения откоса определяют по справочной литературе в зависимости от грунта, например [4], таблица 8–1.

В задаче 29 коэффициент шероховатости выбирают по условиям содержания канала.

Задача 50

Расчет этой задачи приведен в [2] стр. 221–224.

Министерство образования и науки Российской
Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к **САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ**

для студентов, обучающихся по направлению
подготовки
08.03.01 – Строительство
Профиль – «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин, реализуемых на кафедре теплогазоснабжения и экспертизы недвижимости по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и

приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет

достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнение контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;

- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;

- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;

- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРМ должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра. При организации СРМ важным и необходимым условием становятся

формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений магистров;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа магистрантов включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной

литературы;

- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;
- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;
- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;

- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы магистрантов направлена на решение следующих задач:

а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;

б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;

в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;

г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);

- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную

самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи

обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражение новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются.

Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить опiski, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;

- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки магистрантов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка

полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

6.5 Написание рефератов

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;
- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;
- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

6.6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо

приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, чётко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора

темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала,

являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;

- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;

- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у

преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематике литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана,

библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;

- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении. В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);

- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретам хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это сделает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершённое исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата), направленность (профиль) Теплогазоснабжение и вентиляция.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора

темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:
- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости

обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;

- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;

– во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (уровень бакалавриата) и образовательной программой по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

Подготовка к государственному экзамену

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

Подготовка к защите ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершенную выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание

важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач, основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и

«неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала,

допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.