

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидравлика»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине «Механика жидкости и газа»
для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
и 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Минск 2004

УДК 532

Методические указания включают рекомендации по изучению дисциплины «Механика жидкости и газа» студентами строительных специальностей и примеры решения задач. Дается подробный разбор типовых задач по важнейшим разделам программы, рекомендации по изучению теоретического материала. Методические указания составлены в соответствии с действующей программой по данной специальности.

Составители:

В.В.Ивашечкин, Н.Е.Бонч-Осмоловская, А.М.Заяц,
М.М.Михновец, А.В.Молочко

Рецензенты:

В.Л.Косарев, И.В.Качанов

© Ивашечкин В.В., Бонч-Осмоловская Н.Е.,
Заяц А.М. и др., составление, 2004

Введение

В условиях научно-технического прогресса важная роль отводится подготовке без отрыва от производства специалистов высшей квалификации.

Большой вклад в совершенствование техники вносит механика жидкости и газа (гидравлика) как инженерная дисциплина, разрабатывающая методы решения практических задач на основе законов покоя и движения жидкости и газа. В этой связи будущие специалисты-строители должны уделить изучению гидравлики самое серьезное внимание. Это изучение предусматривает не только усвоение теоретических положений, но и обретение навыков в решении задач, овладение методикой расчетов.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механика жидкости и газа – это наука о законах равновесия и движения капельных жидкостей и газов и их использовании при решении конкретных задач, возникающих в инженерной практике.

Курс «Механика жидкости и газа» состоит из трех частей: гидростатики, кинематики и динамики жидкости – и основывается на законах физики, теоретической механики и математики. Законы покоя и движения жидкостей и газов используются в практике промышленного и гражданского строительства (расчет трубопроводов, водостоков, понижения уровня грунтовых вод, притока в котлованы, расчет газопроводов, паропроводов и т. д.).

При изучении курса следует обратить внимание на тот значительный вклад в развитие гидравлики, который внесли отечественные и зарубежные ученые Д.Бернулли, Л.Эйлер, Н.Е.Жуковский, Н.Н.Павловский, Архимед, Паскаль, Ньютон, Дарси, Вейсбах и др.

Изучение курса следует начинать с основных физических констант и свойств жидкости как материальной среды – таких, как плотность ρ и удельный вес γ , коэффициенты температурного расширения β_t и объемного сжатия β_v , вязкость, характеризующуюся коэффициентами динамической вязкости μ и кинематической вязкости ν , их зависимости от температуры и давления. Причем под жидкостью понимаются как капельные жидкости, так и газы.

Затем следует приступить к изучению гидростатики, которая занимается изучением равновесия жидкости и ее взаимодействия с твердыми телами, кинематики, которая рассматривает виды и формы движения жидкости, и динамики, которая изучает силы, действующие в жидкости, и их соотношение с кинематическими характеристиками потока.

Работая с учебной литературой, студент должен уметь выделить важнейшие вопросы, предусмотренные программой курса. В этом студенту-заочнику призваны помочь настоящие методические указания. Не рекомендуется заучивать наизусть сложные эмпирические формулы, но надо твердо знать, где они используются, и иметь представление о содержащихся в них величинах.

Перед выполнением контрольного задания предварительно нужно ознакомиться с методическими указаниями по данному разделу, изучить материал по учебнику, разобраться с решением аналогичных примеров в методических указаниях и задачниках.

1.1. Гидростатика

В гидростатике изучаются законы покоящейся жидкости и газов. Нужно иметь четкое представление о гидростатическом давлении, его свойствах и способах измерения, уметь интегрировать дифференциальные уравнения Эйлера и получать из них основное уравнение гидростатики; знать закон Паскаля и его использование в гидравлических машинах. Важное значение имеет умение определять силу давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Строителям необходимо знать закон Архимеда и уметь применять его при решении задач.

1.2. Основы кинематики

Изучение этого раздела следует начинать с теоретической модели жидкости, понятий идеальной жидкости, элементарной струйки и потока жидкости, местной и осредненной скоростей. Усвоить понятия о потоке жидкости, поле скоростей и ускорений в потоке, твердо знать элементы потока: живое сечение потока ω , смоченный периметр χ , гидравлический радиус R , расход Q , среднюю скорость v .

1.3. Основные законы гидродинамики

К основным уравнениям гидродинамики относятся уравнение постоянства расхода и уравнение Д.Бернулли. С их помощью можно подойти к решению почти любой практической задачи гидравлики. Их практическое использование следует рассмотреть на примере расчета расходомера Вентури и других случаев. Надо уяснить геометрический и энергетический смысл уравнения Д.Бернулли. Нужно знать о двух режимах движения жидкости: ламинарном и турбулентном, критерии режимов движения – числе Рейнольдса Re и его критическом значении. Следует также ознакомиться с выводом основного уравнения равномерного движения.

1.4. Гидравлические сопротивления

Потери энергии (напора или давления) при движении жидкости можно получить с помощью уравнения Д.Бернулли. Следует различать потери энергии на преодоление местных сопротивлений, возникающих от изменения формы потока или его направления на коротком участке потока, и потери энергии по длине в результате трения жидкости о стенки водоводов. Местные потери напора (давления) определяют по формуле Вейсбаха, потери напора (давления) по длине – по формуле Дарси-Вейсбаха. Входящие в формулу Вейсбаха коэффициент местных сопротивлений ξ и в формулу Дарси-Вейсбаха коэффициент гидравлического трения λ зависят от числа Рейнольдса, а λ – еще и от шероховатости стенок водоводов (труб). Необходимо уяснить эту зависимость при ламинарном режиме и получить формулу Пуазейля для определения потерь напора по длине. При турбулентном режиме следует сначала из основного уравнения равномерного движения получить формулу Шези для средней скорости равномерного движения, а из нее – формулу для определения потерь напора по длине, обратив внимание на формулу, связывающую коэффициенты λ и C (коэффициент Шези). По графику Никурадзе необходимо изучить результаты опытов по определению коэффициента λ в напорных трубах и проанализировать сущность зон гидравлического сопротивления (области гидравлически гладких и шероховатых труб), обратить внимание на эмпирические формулы для определения λ и пределы их применимости.

1.5. Движение жидкости в напорных трубопроводах

Учитывая большое практическое значение этого раздела, нужно уделить серьезное внимание методам расчета трубопроводов. При этом следует иметь в виду, что имеется два способа расчета так называемых «коротких» и «длинных» трубопроводов. В основу расчета положены уравнение Д.Бернулли и формулы для определения местных потерь напора и потерь по длине, а также другие формулы, использующие обобщенные гидравлические параметры – расходную характеристику K или удельное сопротивление трубопровода A . Следует различать простые и сложные трубопроводы и знать особенности расчета разветвленных, с непрерывной раздачей расхода по пути и параллельным соединением трубопроводов аналитическим и графическим способами; изучить теорию гидравлического удара в напорных трубопроводах, знать способы предохранения трубопроводов от гидравлического удара и его последствий.

1.6. Истечение жидкости из отверстий и насадков

При изучении этого раздела нужно обратить внимание на различия истечения жидкости из малых и больших отверстий и насадков, влияние сжатия струи и вакуума в насадке на величину расхода. Следует усвоить вывод формулы для расхода истечения и понять физический смысл коэффициентов скорости, расхода, сжатия и сопротивления, их зависимость от числа Рейнольдса, уметь определять время частичного и полного опорожнения резервуаров с постоянным поперечным сечением при истечении в атмосферу и под уровень при переменном напоре.

1.7. Относительное движение тела и жидкости

В этом разделе изучается обтекание тел потоком. Нужно усвоить формулы для определения силы давления и силы трения при обтекании тел потоком, уметь определять ветровое давление на здания и сооружения.

После этого следует переходить к изучению особенностей движения неоднородных жидкостей и расчета напорного и безнапорного гидротранспорта, усвоив соответствующие понятия – такие, как

гидравлическая крупность (скорость витания), критическая скорость, массовая концентрация и др.

1.8. Равномерное движение жидкости в открытых руслах

Основной формулой при расчете равномерного движения воды в открытых руслах является формула Шези. Этой формуле и входящему в нее коэффициенту Шези C следует уделить особое внимание. Для определения коэффициента C имеется много формул, наиболее распространена формула Н.Н.Павловского, пригодная для квадратичной области сопротивления.

Следует рассмотреть основные типы задач, решаемых при расчете каналов, иметь представление о расчете безнапорных труб, городских лотков и кюветов.

1.9. Движение грунтовых вод

При изучении этого раздела прежде всего следует ознакомиться с теорией фильтрации, законом Дарси и пределами его действия, хорошо представлять, какие факторы оказывают влияние на коэффициент фильтрации и как определять его величину в различных случаях.

Нужно знать, что такое кривая депрессии, иметь представление о структуре уравнений и параметрах, используемых при расчете притока грунтовых вод к скважинам колодцев, водосборным галереям, дренажным каналам и котлованам.

1.10. Расчет трубопроводов для газов

Перекачка по трубам газов, природного и искусственного (газы, воздух, пар), широко применяется для различных целей (бытовых и технических).

Различают два случая течения газа:

1. При малых относительных перепадах давления (перепад между начальным и конечным сечениями труб, отнесенный к среднему

давлению) $\frac{\Delta P}{P} < 5\%$ можно пренебречь сжимаемостью газа, т.е.

считать $\rho = \text{const}$; расчеты не отличаются от расчетов для несжимаемых жидкостей.

2. При больших перепадах давления (при расчете длинных газопроводов до 100 км, а также трубопроводов сжатого воздуха, имеют место значительные перепады давления) $\frac{\Delta P}{P} > 5\%$. В этом случае

$\rho \neq \text{const}$ и даже при $d = \text{const}$ движение газа неравномерное.

При расчете трубопроводов пневмотранспорта (перемещения в потоке воздуха твердых измельченных материалов) основные вопросы расчета – скорость транспортирования и потери напора (давления).

При проектировании обычных паропроводов с целью уменьшения тепловых потерь величину диаметра трубы назначают возможно меньшей. Режим течения находится между изотермическим и адиабатическим.

В паропроводах низкого давления (в отопительных системах) объемный вес пара и его температура в процессе движения изменяются так мало, что расчеты можно производить по формулам для несжимаемых жидкостей.

1.11. Гидравлические машины

При изучении этого раздела необходимо обратить внимание на основные определения; изучить классификацию гидравлических машин, основные технические показатели гидромашин, а именно – объемную подачу насоса, идеальную подачу насоса, напор насоса, полезную мощность насоса, мощность, потребляемую насосом, КПД насоса.

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 2.1

Определить давление в резервуаре P_0 и высоту подъема уровня воды h_1 в трубке 1, если показания ртутного манометра $h_2 = 0,2$ м, $h_3 = 0,7$ м. Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³, ртути $\rho_{\text{рт}} = 13600$ кг/м³ (рис. 2.1).

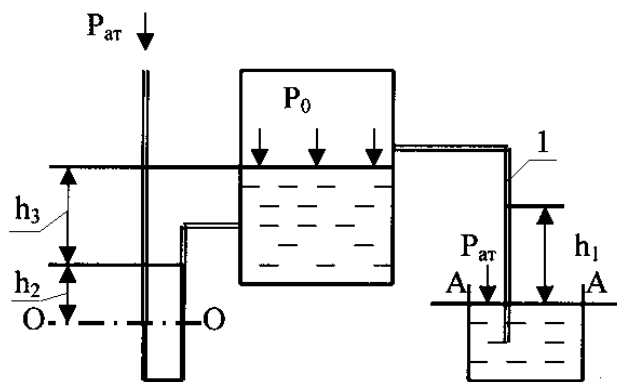


Рис. 2.1

Решение

В покоящейся жидкости точки, лежащие в горизонтальной плоскости в однородной жидкости, находятся под одинаковым давлением. В рассматриваемой системе такой плоскостью может быть плоскость O-O, точки в которой находятся, с одной стороны, под атмосферным давлением, а с другой стороны, – под давлением столба ртути высотой h_2 , воды h_3 и давлением P_0 в резервуаре.

Условие равновесия для точек в плоскости O-O, используя основное уравнение гидростатики, можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{ат}} = \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h_2 + \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot h_3 + P_{0 \text{ абс}} ,$$

откуда с учетом того, что $P_{\text{ат}} = 98100 \text{ Н/м}^2$:

$$P_{0 \text{ абс}} = P_{\text{ат}} - \rho_{\text{рт}} \cdot g \cdot h_2 - \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot h_3;$$

$$P_{0 \text{ абс}} = 98100 - 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,2 - 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,7 = 64550 \text{ Н/м}^2.$$

Так как абсолютное давление в резервуаре $P_{0 \text{ абс}} < P_{\text{ат}}$, то имеет место вакуум:

$$P_{0 \text{ вак}} = P_{\text{ат}} - P_{0 \text{ абс}} = 98100 - 64550 = 33550 \text{ Н/м}^2.$$

Высоту подъема воды в трубке h_1 определим из условия равновесия точек жидкости в плоскости А-А, совпадающей с поверхностью воды. Здесь атмосферное давление уравновешивает давление в сосуде и давление столба воды высотой h_1 , т.е.

$$P_{\text{ат}} = P_{0\text{ абс}} + \rho_{\text{в}} \cdot g \cdot h_1;$$

$$h_1 = \frac{P_{\text{ат}} - P_{0\text{ абс}}}{\rho_{\text{в}} g} = \frac{98100 - 64550}{1000 \cdot 9,81} = 3,42 \text{ м.}$$

Задача 2.2

Определить силу F , на которую должно быть рассчитано запорное устройство квадратной крышки, поворачивающейся вокруг горизонтальной оси O и закрывающей отверстие в боковой плоской стенке сосуда, если в нем находится жидкость $Ж$, а давление в верхней части сосуда $P_{\text{м}}$, жидкость $Ж$ – масло; $\rho_{\text{м}} = 800 \text{ кг/м}^3$, $P_{\text{м}}$ (избыточное) – $0,04 \text{ МПа} = 0,04 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $h = 1 \text{ м}$; $a = 1,4 \text{ м}$ (рис. 2.2).

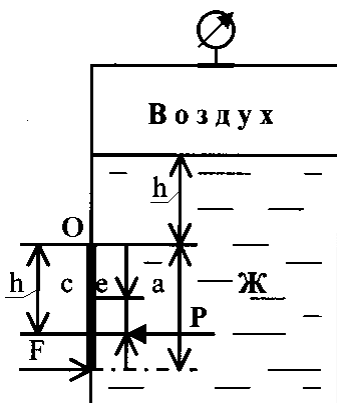


Рис. 2.2

Решение

Так как крышка находится в равновесии, силу определим из уравнения моментов сил относительно оси крышки:

$$\Sigma M_0 = 0;$$

$$P \cdot x - F \cdot a = 0.$$

Суммарную силу давления воды на крышку P находим по формуле

$$P = (P_0 + \rho_m \cdot g \cdot h_c) \cdot \omega,$$

где $P_0 = P_m = \rho_m \cdot g \cdot h'$ – давление воздуха в сосуде; может быть выражено через соответствующую высоту масляного столба $h' = \frac{P_m}{\rho_m g}$;

$h_c = h + \frac{a}{2}$ – расстояние от центра тяжести площади ω крышки до поверхности воды.

Таким образом,

$$P = \rho_m g \left(\frac{P_m}{\rho_m g} + h + \frac{a}{2} \right) \omega = 800 \cdot 9,81 \left(\frac{0,04 \cdot 10^6}{800 \cdot 9,81} + 1 + \frac{1,4}{2} \right) \cdot 1,4^2 = 104,6 \text{ кН}.$$

Плечо силы P

$$x = \frac{a}{2} + e,$$

где e – эксцентриситет центра давления, $e = \frac{J_0}{h'c\omega}$;

$J_0 = \frac{a^4}{12}$ – центральный момент инерции квадратной крышки;

$h'_c = \frac{P_m}{\rho_m g} + h + \frac{a}{2}$ – ордината центра давления.

$$x = \frac{a}{2} + \frac{a^4}{12 \left(\frac{P_m}{\rho_m g} + h + \frac{a}{2} \right)} = \frac{1,4}{2} + \frac{1,4^2}{12 \cdot 6,8} = 0,724 \text{ м}.$$

Искомая сила равна

$$F = \frac{P \cdot x}{a} = \frac{104,6 \cdot 0,724}{1,4} = 54,09 \text{ кН.}$$

Задача 2.3

Определить суммарное давление воды на цилиндрическую часть стенки adc , радиусом $R = 1,7$ м, шириной $b = 2$ м, если $H = 3R$, а $P_m = 19,62$ кПа. Найти точку приложения силы (рис. 2.3).

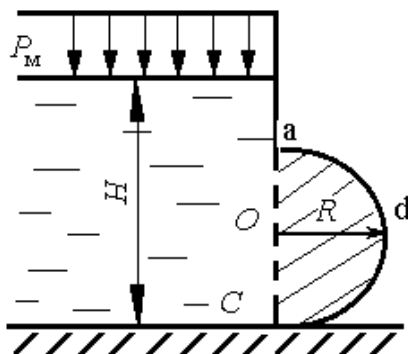


Рис. 2.3

Решение

Суммарная сила давления на криволинейную поверхность равна

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2},$$

где P_x – горизонтальная составляющая;

P_z – вертикальная составляющая.

$P_x = \rho g h'_c \omega_z$ – определяется так же, как при полном давлении жидкости на плоскую поверхность, с той лишь разницей, что ω_z – площадь проекции криволинейной поверхности на вертикальную плоскость; h'_c – глубина погружения центра тяжести этой проекции, которая с учетом избыточного давления на свободной поверхности определяется так же, как и в предыдущем случае:

$$\omega_z = 2R \cdot b; \quad h'_c = \frac{P_M}{\rho g} + H - R.$$

Таким образом,

$$\begin{aligned} P_x &= \rho g \left(\frac{P_M}{\rho g} + H - R \right) \cdot 2R \cdot b = \\ &= 1000 \cdot 9,81 \left(\frac{19,62 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81} + 5,1 - 1,7 \right) \cdot 2 \cdot 1,7 \cdot 2 = 360,2 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$P_z = \rho g W,$$

где W – объем тела давления (на рисунке заштрихован).

Правило определения W следует изучить по учебнику. В нашем случае это – действительный объем (вертикальная составляющая P_z направлена вниз), равный объему полуцилиндра:

$$W = \frac{1}{2} \pi R^2 b.$$

Тогда

$$P_z = \rho g \frac{1}{2} \pi R^2 b = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3,14 \cdot 1,7^2 \cdot 2 = 60,4 \text{ кН}.$$

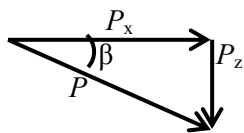
Суммарная сила

$$P = \sqrt{360,2^2 + 60,4^2} = 365,2 \text{ кН}.$$

Точка приложения P определяется с помощью угла β , который равен

$$\beta = \arctg \frac{P_z}{P_x} = \arctg 0,168 = 9^\circ 30'.$$

Линия действия силы P проходит через центр O .



Задача 2.4

Определить расход воды $Q_{\text{тр}}$ по трубопроводу при следующих данных: $H = 50$ м; $Q_c = 30$ л/с; $q = 0,2$ л/с на 1 пог.м; $d_1 = 250$ мм; $d_2 = 175$ мм; $l_1 = 400$ м; $l_2 = 500$ м (рис. 2.4).

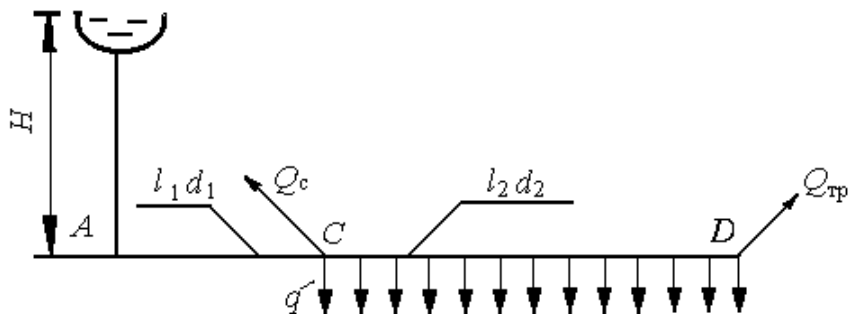


Рис. 2.4

Решение

При расчете так называемых длинных трубопроводов определяют только потери напора по длине

$$h = \frac{Q^2}{K^2} l \quad \text{или} \quad H = A \cdot l \cdot Q^2,$$

где K – расходная характеристика трубопровода;

A – удельное сопротивление трубопровода (берется по справочнику в зависимости от шероховатости труб и их диаметра).

Расходы воды определим, решая уравнение

$$H = h_{(AC)} + h_{(CD)}.$$

Потери напора на участке AC равны

$$h_{(AC)} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} l_1,$$

где Q_1 – расчетный расход на участке AC :

$$Q_1 = Q_c + q \cdot l_2 + Q_{\text{тр}} = 30 + 0,2 \cdot 500 + Q_{\text{тр}} = Q_{\text{тр}} + 130.$$

Расходная характеристика $K_1 = 703,5$ л/с (по справочнику для чистых стальных труб $d_1 = 250$ мм).

Потери напора на участке CD равны

$$h_{(CD)} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} l_2.$$

Расчетный расход на участке CD Q_2 равен

$$Q_2 = Q_{\text{тр}} + 0,55 q \cdot l_2 = Q_{\text{тр}} + 0,55 \cdot 0,2 \cdot 500 = 55 + Q_{\text{тр}}.$$

Расходная характеристика $K_2 = 271,8$ л/с (для $d_2 = 175$ мм).

Следовательно,

$$50 = \frac{(130 + Q_{\text{тр}})^2}{703,5^2} 400 + \frac{(55 + Q_{\text{тр}})^2}{271,8^2} 500,$$

решая квадратное уравнение получим $Q_2 = 17,2$ л/с.

Задача 2.5

В бак, разделенный перегородкой на два отсека, подается вода в количестве $Q = 7$ л/с. В перегородке установлен внутренний цилиндрический насадок, диаметр которого $d = 60$ мм. Вода из второго отсека через отверстие $d_1 = 40$ мм поступает наружу в атмосферу. Определить высоту уровня воды в обоих отсеках над центрами отверстий H_1 и H_2 . Движение установившееся (рис. 2.5).

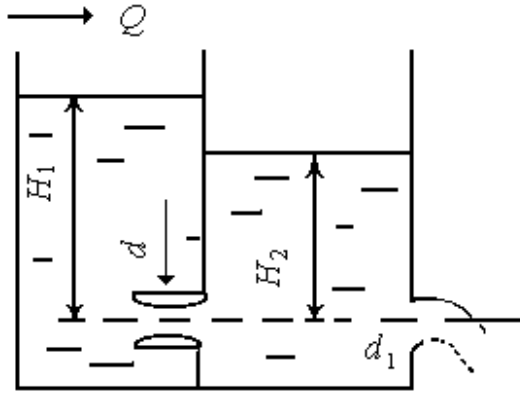


Рис. 2.5

Решение

При установившемся движении расход Q равен расходу через отверстие d_1 :

$$Q = \mu \omega_1 \sqrt{2gH_2},$$

где μ – коэффициент расхода для малого отверстия ($d < 0,1H$), по справочнику $\mu = 0,62$.

Площадь отверстия

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,0013 \text{ м}^2.$$

Следовательно,

$$0,007 = 0,62 \cdot 0,0013 \cdot 4,43 \sqrt{H_2},$$

откуда

$$\sqrt{H_2} = 1,96; H_2 = 3,84 \text{ м.}$$

Расход через насадок

$$Q = \mu \omega \sqrt{2q(H_1 - H_2)}.$$

По справочнику для внутреннего цилиндрического насадка коэффициент расхода $\mu = 0,71$.

Площадь насадка

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,06^2}{4} = 0,0028 \text{ м}^2.$$

Следовательно,

$$0,007 = 0,71 \cdot 0,0028 \cdot 4,43 \sqrt{H_1 - 3,84}$$

и напор $H_1 - 3,84 = 0,79$; $H_1 = 4,63$ м.

Задача 2.6

Вычислить силу давления ветра, которую испытывает 1 м^2 лобовой площади дымовой трубы ($\omega = 1 \text{ м}^2$). Коэффициент сопротивления такой трубы $C_d = 0,67$ определен путем испытания модели.

Наибольшая скорость ветра $v = 50$ м/с. Температура воздуха $t = 15^\circ\text{C}$.

Решение

Плотность воздуха при $t = 15^\circ\text{C}$ $\rho = 1,21 \text{ кг/м}^3$. Давление ветра находим по формуле

$$R_d = C_d \cdot \omega \cdot \rho \cdot v^2 / 2 = 0,67 \cdot 1 \cdot 1,21 \cdot 50^2 / 2 = 1 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Рекомендуемая литература [3].

Задача 2.7

Определить уклон i водосточного коллектора прямоугольного сечения шириной $b = 1,5$ м, который обеспечивал бы при глубине $h = 1,4$ м пропуск расхода $Q = 2,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Коллектор выполнен из сборного железобетона.

Решение

Для пропуска заданного расхода воды в коллекторе определим скорость v :

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{2,2}{1,5 \cdot 1,4} = 1,15 \text{ м/с.}$$

Скорость воды в коллекторе определяем по формуле Шези

$$v = C\sqrt{R_i}.$$

Из формулы Шези имеем, что уклон i равен

$$i = \frac{v^2}{C^2 R}.$$

Гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi},$$

где χ – смоченный периметр, $\chi = b + 2h$;

ω – площадь живого сечения, $\omega = b \cdot h$.

Тогда

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{b \cdot h}{b + 2h} = \frac{1,5 \cdot 1,4}{1,5 + 2 \cdot 1,4} = 0,46 \text{ м.}$$

Коэффициент C определим по формуле Павловского

$$C = \frac{1}{n} R^y.$$

Коэффициент шероховатости n находим по справочнику, $n = 0,015$.

Поскольку $R = 0,46 < 1$, показатель y находим по формуле

$$y = 1,5\sqrt{n} = 1,5\sqrt{0,0015} = 0,184.$$

Тогда

$$C = \frac{1}{n} R^y = \frac{1}{0,015} \cdot 0,46^{0,184} = 57,8 \text{ м}^{0,5}/\text{с}.$$

Уклон, обеспечивающий пропуск заданного расхода:

$$i = \frac{1,15^2}{57,8^2 \cdot 0,46} = 0,00085.$$

Задача 2.8

Определить приток воды к водопонижительной скважине радиусом $r_0 = 0,15$ м, заложенной в водоносный пласт. Водоносный пласт, образованный крупнозернистым песком и подстилаемый глиной, пройден скважиной на всю толщину $H = 25$ м. Глубина воды в скважине $h = 14$ м (рис. 2.6).

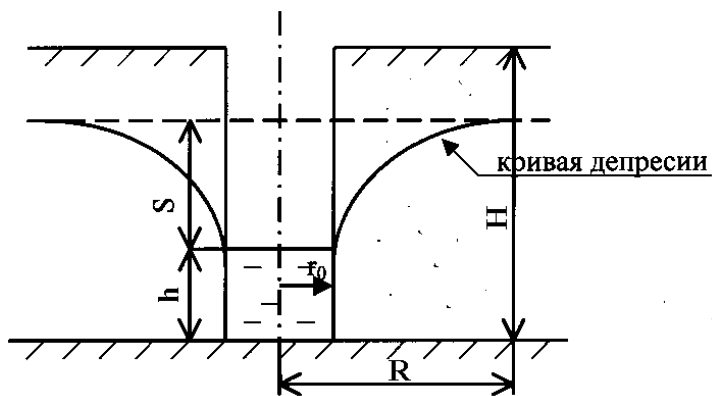


Рис. 2.6

Решение

Для крупнозернистого песка коэффициент фильтрации $k = 5 \cdot 10^{-4}$ м/с (по справочнику).

Радиус действия скважины определяем по формуле

$$R = 3000(H - h)\sqrt{k} = 3000(25 - 14)\sqrt{5 \cdot 10^{-4}} = 737,9 \text{ м.}$$

Определяем приток к скважине:

$$Q = \frac{1,36k(H^2 - h^2)}{\lg \frac{R}{r_0}} = \frac{1,36 \cdot 5 \cdot 10^{-4}(25^2 - 14^2)}{\lg \frac{737,9}{0,15}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Задача 2.9

Определить скорость v и массовый расход M природного газа в газопроводе, если известно: $P_{1(\text{абс})} = 400$ кПа; $P_{2(\text{абс})} = 385$ кПа; $t = 25^\circ\text{C}$; трубы стальные, $d = 0,2$ м; $l = 3000$ м; $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с; газовая постоянная $R = 520$ Дж/кг·К.

Решение

Определяем относительный перепад давления на участке газопровода:

$$\Delta P = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{400 - 385}{400} = 3,75\% < 5\%.$$

Газопровод относим к газопроводам с малым относительным перепадом давлений.

Определяем среднюю плотность природного газа:

$$\rho = \frac{P_{\text{ср}}}{R \cdot T} = \frac{(400 + 385) \cdot 10^3}{2 \cdot 520 \cdot 298} = 2,53 \text{ кг/м}^3, \text{ где } T = 273 + t = 298\text{К.}$$

Потери давления рассчитываем по формуле Дарси-Вейсбаха

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}.$$

В первом приближении рассчитываем коэффициент Дарси λ по формуле Шифринсона, приняв по справочнику $\Delta_3 = 0,1$ мм (трубы стальные):

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,1}{200} \right)^{0,25} = 0,016.$$

Скорость в газопроводе

$$v = \sqrt{\frac{2d\Delta P}{\lambda \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 15 \cdot 10^3}{0,016 \cdot 3000 \cdot 2,53}} = 7,03 \text{ м/с.}$$

Число Рейнольдса

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{7,03 \cdot 0,2}{15 \cdot 10^{-6}} = 93723.$$

Найденное число Рейнольдса соответствует зоне докватратичного сопротивления

$$20 \frac{d}{\Delta} < Re = 93723 < 500 \frac{d}{\Delta}.$$

Коэффициент λ определяем окончательно по формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{68}{93723} + \frac{0,1}{200} \right)^{0,25} = 0,021.$$

Вычисляем уточненное значение скорости:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,2 \cdot 15 \cdot 10^3}{0,021 \cdot 3000 \cdot 2,53}} = 6,28 \text{ м/с.}$$

Таким образом, массовый расход равен

$$M = \rho Q = \rho v \omega = 2,53 \cdot 6,28 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,5 \text{ кг/с.}$$

З а д а ч а 2.10

Определить массовый расход M и давление P_2 в конце стального трубопровода ($\Delta_s = 0,2$ мм), в который поступает сжатый воздух при следующих условиях: $P_{1(\text{изб})} = 800$ кПа; $t = 20^\circ\text{C}$; $v = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с; средняя скорость в начале трубопровода $v_1 = 28$ м/с; $d = 0,1$ м; $l = 120$ м.

Р е ш е н и е

Массовый расход воздуха

$$M = \rho_1 \cdot \omega \cdot v_1,$$

где $\rho_1 = \frac{P_{1(\text{изб})} + P_{\text{атм}}}{RT} = \frac{900 \cdot 10^3}{287 \cdot 293} = 10,7$ кг/м³; газовая постоянная $R = 287$ Дж/кг·К.

$$T = 273 + 20 = 293^\circ\text{K};$$

$$M = \frac{(P_{1\text{изб}} + P_{\text{атм}}) \cdot \omega v_1}{RT} = \frac{(800 + 100) \cdot 10^3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 28}{287 \cdot 293} = 2,35 \text{ кг/с.}$$

Определяем режим движения:

$$Re = \frac{v d}{\nu} = \frac{28 \cdot 0,1}{15 \cdot 10^{-6}} = 187000;$$

$$20 \frac{d}{\Delta_3} - 20 \frac{100}{0,2} = 10000 < Re = 187000 < 500 \frac{d}{\Delta_3} = \left(500 \frac{100}{0,2} = 250000 \right);$$

имеет место зона доквадратичного сопротивления.

Коэффициент гидравлического трения λ :

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_3}{d} \right) = 0,11 \left(\frac{68}{187000} + \frac{0,2}{100} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Давление в конце трубопровода для трубопроводов высокого давления определим по формуле

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2P_1} = \lambda \frac{l}{d} \rho_1 \frac{v^2}{2};$$

$$\frac{P_1^2 - P_2^2}{2} = \lambda \frac{l}{d} \rho_1 \frac{M^2}{\rho_1^2 \omega^2 \cdot 2} P_1;$$

$$P_1^2 - P_2^2 = \lambda \frac{l}{d} \frac{M^2}{\omega^2} \frac{P_1}{\rho_1};$$

$$P_2 = \sqrt{P_1^2 - \lambda \frac{l}{d} \frac{M^2}{\omega^2} \frac{P_1}{\rho_1}} =$$

$$= \sqrt{\left(900 \cdot 10^3 \right)^2 - 0,024 \frac{120}{0,1} \frac{2,35^2}{\left(\frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \right)^2} \cdot \frac{900 \cdot 10^3}{10,7}} = 774 \text{ кПа.}$$

$$\text{Определим } \frac{\Delta P}{P_1} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{900 - 774}{900} = 14\% > 5\%.$$

Рассчитанный трубопровод действительно относится к трубопроводам с большим относительным перепадом давления (газопровод высокого давления).

Задача 2.11

Насос подает воду ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) по трубопроводу диаметром $d = 150 \text{ мм}$ на высоту $h = 30 \text{ м}$ (рис. 2.7). Определить КПД насоса, если потребляемая им мощность $N = 9 \text{ кВт}$, полный коэффициент сопротивления трубопровода $\left(\lambda \frac{1}{d} + \sum \zeta\right) = 30$, а подача насоса $Q = 72 \text{ м}^3/\text{ч}$.

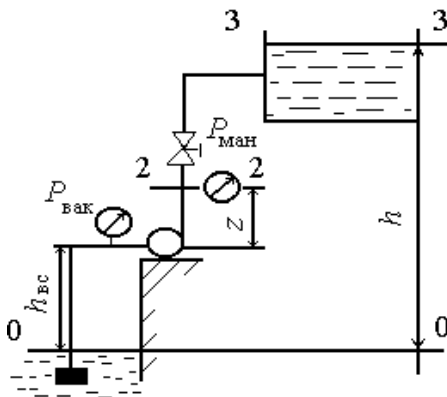


Рис. 2.7

Решение

Секундная подача насоса

$$Q = \frac{72}{3600} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с} = 20 \text{ л/с.}$$

Средняя скорость жидкости в трубопроводе

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 0,15^2} = 1,13 \text{ м/с.}$$

Потери напора

$$h_{\text{п}} = \left(\lambda \frac{1}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} = 30 \frac{1,13^2}{2 \cdot 9,81} = 1,95 \text{ м.}$$

Напор насоса

$$H = h + h_{\text{п}} = 30 + 1,95 = 31,95 \text{ м.}$$

Полезная мощность

$$N_{\text{п}} = \rho g Q H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,02 \cdot 31,95 = 6260 \text{ Вт.}$$

КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} = \frac{6,26}{9,00} = 69,5\%.$$

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задача 3.1

Определить, на какую высоту h может поднять воду прямодействующий паровой насос при следующих данных: диаметр парового цилиндра d_1 и манометрическое давление в нем $p_{\text{м}}$; диаметр водяного цилиндра d_2 (рис. 3.1). Считать, что система находится в равновесии. Трением поршней в цилиндрах пренебречь.

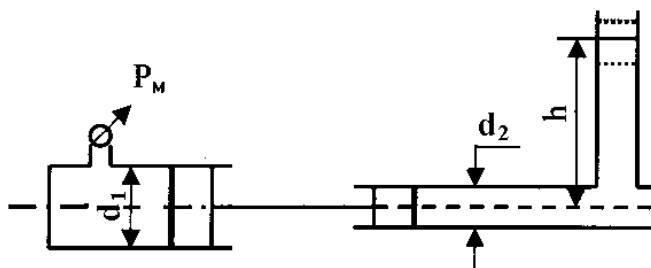


Рис. 3.1

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------|------|-----|------|------|------|-----|------|-------|------|-------|
| d_1 , м | 0,3 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,2 |
| p_m , кг/см ² | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,01 | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| d_2 , м | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | 0,075 | 0,05 | 0,075 |

Задача 3.2

На поршень одного из сообщающихся сосудов, заполненных водой, действует сила P_1 . Какую силу P_2 надо приложить ко второму поршню, если уровень воды под ним на h выше уровня воды под первым поршнем и система находится в равновесии (рис. 3.2)? Диаметр первого поршня d_1 , второго поршня d_2 .

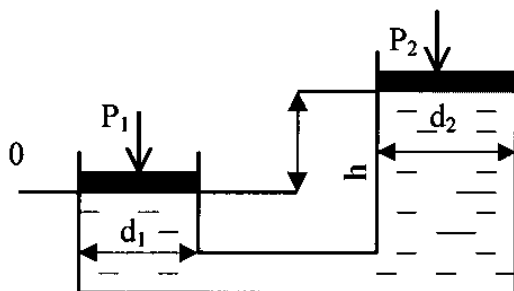


Рис. 3.2

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------------------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|
| P_1 , кг/см ² | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 110 | 100 | 90 | 100 | 80 |
| h , м | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,4 |
| d_1 , м | 0,2 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,15 | 0,1 | 0,15 | 0,1 | 0,2 | 0,15 |
| d_2 , м | 0,3 | 0,35 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,4 | 0,45 |

Задача 3.3

Определить давление масла P_1 , подводимого в поршневую полость гидроцилиндра, если избыточное давление в штоковой полости P_2 , усилие на штоке R , сила трения поршня о цилиндр F , диаметр поршня D , диаметр штока d (рис. 3.3).

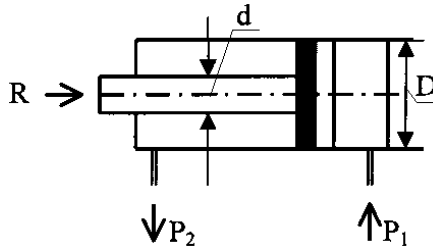


Рис. 3.3

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|
| P_2 , кПа | 80 | 70 | 85 | 75 | 90 | 95 | 80 | 75 | 85 | 70 |
| R , кН | 10 | 15 | 20 | 18 | 20 | 15 | 12 | 13 | 14 | 10 |
| F , кН | 0,5 | 0,4 | 0,6 | 0,3 | 0,45 | 0,7 | 0,65 | 0,5 | 0,6 | 0,3 |
| D , мм | 125 | 100 | 200 | 125 | 200 | 225 | 150 | 175 | 125 | 100 |
| d , мм | 70 | 50 | 75 | 50 | 100 | 100 | 75 | 50 | 75 | 75 |

Задача 3.4

Поворотный клапан АО закрывает выход из бензохранилища в трубу квадратного сечения со стороной h . Прямоугольная пластина клапана опирается на срез трубы, сделанный под углом $\alpha = 45^\circ$. В трубе жидкость отсутствует. Определить (без учета трения в опоре O клапана и в рамке) силу T натяжения троса, необходимую для открытия клапана, если уровень бензина H , давление над ним по манометру M . Плотность бензина $\rho_6 = 700 \text{ кг/м}^3$ (рис. 3.4).

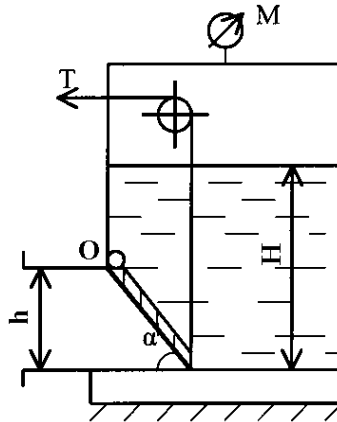


Рис. 3.4

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| h , м | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 |
| H , м | 2 | 1,9 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 |
| P_m , кПа | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |

Задача 3.5

Отверстие в стенке бака с нефтью ($\rho_n = 900 \text{ кг/м}^3$) закрыто квадратным клапаном со стороны a . Клапан вращается вокруг оси O , погружение которой H . Определить натяжение каната T , прикрепленного к клапану на расстоянии $l = 1,8 \text{ м}$ от оси. Угол $\alpha = 45^\circ$ (рис. 3.5).

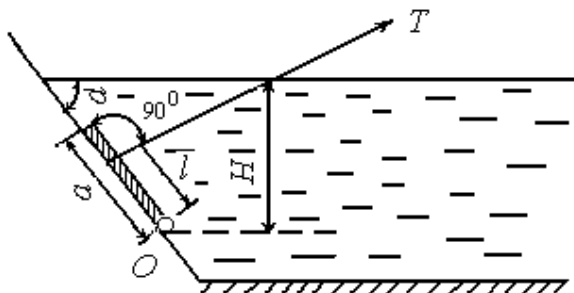


Рис. 3.5

| | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| a , м | 3,0 | 3,5 | 3,75 | 4,0 | 4,25 | 4,0 | 3,75 | 3,5 | 3,25 | 3,0 |
| H , м | 5 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,0 | 6,5 | 6,0 | 5,5 | 6,0 |

Задача 3.6

Определить реакцию R в запорном устройстве клапана $D = 0,5 \text{ м}$, вращающемся на шарнире O , если в резервуаре – нефть ($\rho_n = 900 \text{ кг/м}^3$). Глубина воды в резервуаре H , высота трубы h ; избыточное давление P_m (рис. 3.6).

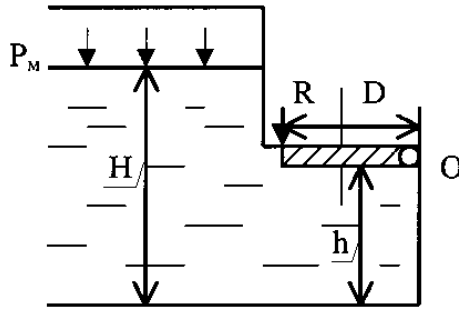


Рис. 3.6

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| H , м | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 | 2 | 5 |
| h , м | 1,5 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 1,0 | 1,5 |
| P_m , кПа | 19,6 | 20,0 | 21,0 | 21,5 | 22,0 | 21,5 | 21,5 | 21,0 | 20,0 | |

Задача 3.7

Определить полную силу давления воды на полуцилиндрическую поверхность adc радиусом R , шириной b , если $H = 4R$. Избыточное давление на свободной поверхности P_m . Найти точку приложения силы (рис. 3.7).

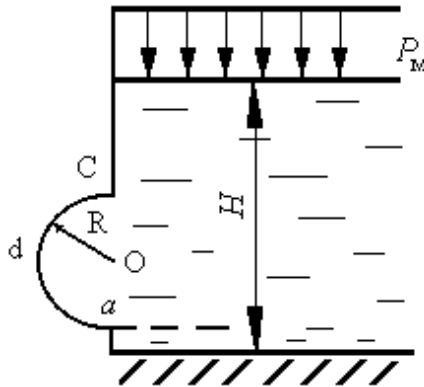


Рис. 3.7

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R , м | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 1,5 | 1,0 |
| b , м | 1,0 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 1,0 |
| P_m , кПа | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 14,0 | 13,0 | 12,0 | 11,0 |

Задача 3.8

Определить суммарную силу давления воды на цилиндрический затвор диаметром D , шириной b , если $H = 2D$; избыточное давление $P_{\text{ман}}$. Найти точку приложения силы (рис. 3.8).

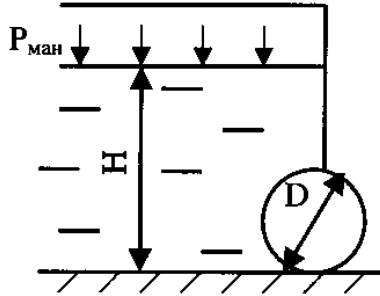


Рис. 3.8

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| D , м | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 2,0 | 3,5 | 2,0 | 2,5 |
| b , м | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| $P_{\text{ман}}$, кПа | 19,0 | 18,0 | 17,0 | 16,0 | 15,0 | 16,0 | 17,0 | 18,0 | 19,0 | 20,0 |

Задача 3.9

Определить силу давления бензина ($\rho_6 = 750 \text{ кг/м}^3$) на криволинейную часть радиусом R , длиной вдоль образующей l , если глубина бензина H , а давление на поверхности $P_{\text{м}}$. Найти точку приложения силы (рис. 3.9).

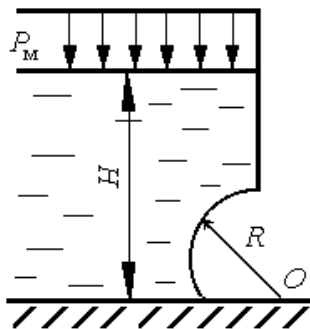


Рис. 3.9

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| R , м | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 2,25 | 2,0 | 1,75 | 1,5 | 1,75 | 2,25 | 2,5 |
| l , м | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 2,0 |
| H , м | 4,0 | 3,5 | 3,75 | 3,5 | 4,0 | 3,75 | 4,5 | 4,25 | 4,25 | 4,5 |
| P_M , кПа | 20,0 | 19,0 | 18,0 | 17,0 | 16,0 | 15,0 | 16,0 | 17,0 | 18,0 | 19,0 |

Задача 3.10

Насос забирает из водоема воду с температурой 20°C в количестве Q . Определить максимальную высоту всасывания $h_{\text{вс}}$, если давление перед насосом P_2 . На всасывающей чугунной трубе диаметром d и длиной l имеется заборная сетка, осуществляется плавный поворот радиусом $R = 0,5$ м и регулируемая задвижка, открытая на 45% площади проходного сечения (рис. 3.10).

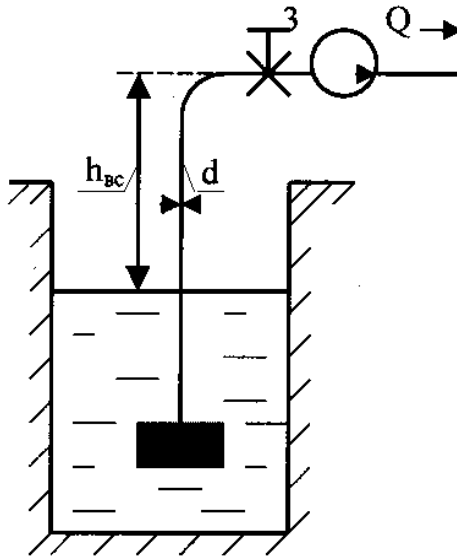


Рис. 3.10

| | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Q , л/с | 40 | 45 | 50 | 35 | 30 | 30 | 50 | 45 | 35 | 40 |
| P_2 , кПа | 30,0 | 20,0 | 35,0 | 37,5 | 40,0 | 37,5 | 40,0 | 35,0 | 25,0 | 20,0 |
| d , м | 0,3 | 0,35 | 0,25 | 0,275 | 0,4 | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,35 | 0,275 |
| l , м | 20,0 | 25,0 | 30,0 | 35,0 | 40,0 | 40,0 | 35,0 | 30,0 | 25,0 | 20,0 |

Задача 3.11

Из открытого резервуара А по трубопроводу, состоящему из двух последовательно соединенных труб, изготовленных из стали, вода при $t = 20^\circ\text{C}$ течет в резервуар Б. Разность уровней в резервуарах H . Длина труб l_1, l_2 , а их диаметры d_1, d_2 . Определить расход жидкости Q , протекающей по трубопроводам 1 и 2 (рис. 3.11).

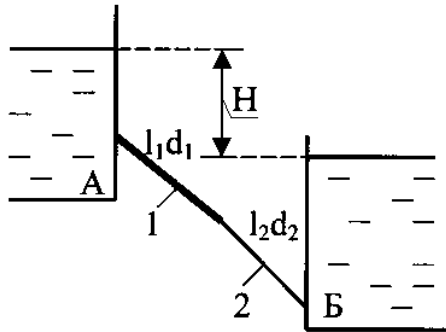


Рис. 3.11

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| H , м | 5 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,0 | 6,5 | 6,0 | 5,5 | 5,0 |
| d_1 , мм | 70 | 75 | 100 | 125 | 150 | 125 | 100 | 70 | 75 | 50 |
| d_2 , мм | 100 | 100 | 125 | 75 | 70 | 75 | 75 | 100 | 50 | 100 |
| l_1 , м | 15 | 20 | 17 | 18 | 25 | 25 | 20 | 15 | 17 | 18 |
| l_2 , м | 12 | 15 | 20 | 20 | 15 | 17 | 17 | 25 | 12 | 25 |

Задача 3.12

Насос с подачей Q забирает воду из колодца, сообщаемого с водоемом чугунной трубой диаметром d и длиной l . Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Определить разность уровней H (рис. 3.12).

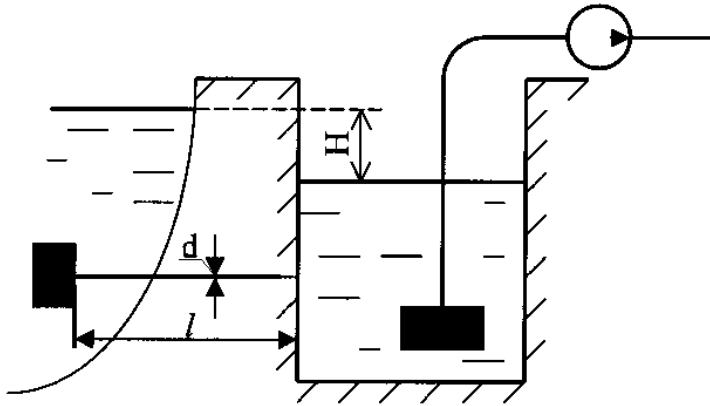


Рис. 3.12

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Q , м ³ /с | 0,015 | 0,017 | 0,01 | 0,012 | 0,02 | 0,015 | 0,017 | 0,010 | 0,012 | 0,020 |
| d , мм | 150 | 200 | 250 | 175 | 225 | 200 | 250 | 175 | 225 | 150 |
| l , м | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 |

Задача 3.13

Определить расход $Q_{\text{тр}}$ воды для данной схемы длин труб при следующих данных: H , l_1 , l_2 , l_3 , d_1 , d_2 , d_3 , Q_c . Трубы принять в нормальных расчетных условиях (рис. 3.13).

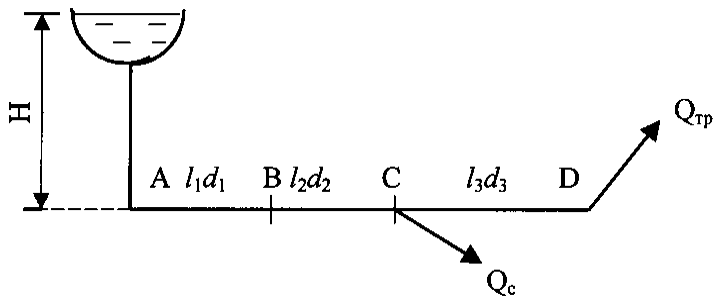


Рис. 3.13

| | | | | | | | | | | |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| H , м | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| d_1 , мм | 150 | 175 | 200 | 250 | 225 | 200 | 150 | 175 | 225 | 200 |
| d_2 , мм | 175 | 150 | 225 | 200 | 250 | 175 | 200 | 225 | 250 | 150 |
| d_3 , мм | 200 | 200 | 175 | 175 | 150 | 250 | 225 | 200 | 175 | 225 |
| l_1 , м | 50 | 45 | 40 | 35 | 30 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| l_2 , м | 250 | 250 | 200 | 200 | 300 | 300 | 250 | 250 | 300 | 300 |
| L_3 , м | 150 | 150 | 200 | 300 | 200 | 250 | 250 | 300 | 300 | 250 |
| Q_c , л/с | 50 | 40 | 10 | 20 | 30 | 50 | 45 | 35 | 25 | 15 |

Задача 3.14

Определить расход керосина Q , протекающего по трубопроводу в пункты 1 и 2, если напор H в резервуаре А постоянный. Длины отдельных частей трубопровода соответственно равны $l = l_1, l_2$, диаметры $d_1 = d_2, d$. Местные потери напора в расчетах не учитывать (рис. 3.14).

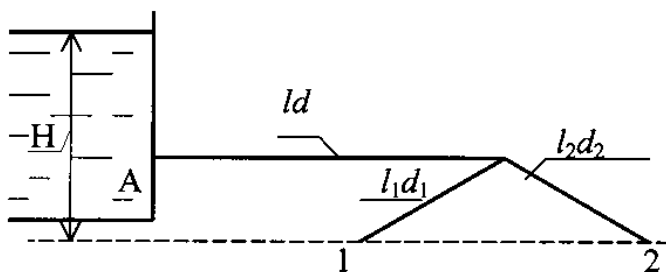


Рис. 3.14

| | | | | | | | | | | |
|------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| H , м | 8,5 | 9,0 | 9,5 | 10,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 8,5 | 8,0 |
| $l = l_1$, м | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 12,0 | 11,0 | 10,0 | 9,0 | 10,0 |
| l_2 , м | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 8,0 | 11,0 | 10,0 | 12,0 |
| $d_1 = d_2$, мм | 50 | 50 | 60 | 75 | 100 | 100 | 75 | 60 | 60 | 50 |
| d , мм | 60 | 75 | 50 | 60 | 75 | 125 | 100 | 75 | 50 | 100 |

Задача 3.15

Водопровод, питаемый от водонапорной башни, имеет участок АВ с непрерывной раздачей по пути ($q = 0,2$ л/с на 1 пог.м). Расход в конце водопровода $Q_{тр}$. Определить напор у башни H , если длины участков l_1, l_2, l_3 ; диаметры d_1, d_2, d_3 (рис. 3.15).

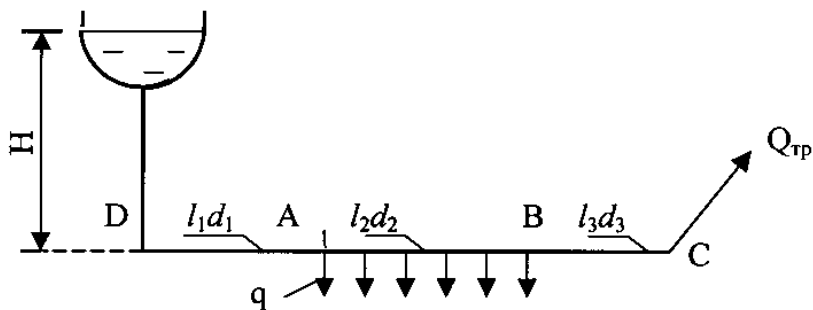


Рис. 3.15

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $Q_{тр}$, л/с | 30 | 25 | 35 | 20 | 40 | 45 | 50 | 35 | 30 | 25 |
| d_1 , мм | 250 | 200 | 225 | 175 | 150 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
| d_2 , мм | 200 | 250 | 200 | 150 | 200 | 100 | 200 | 250 | 200 | 225 |
| d_3 , мм | 150 | 150 | 175 | 200 | 250 | 250 | 250 | 175 | 175 | 200 |
| l_1 , м | 350 | 150 | 250 | 200 | 300 | 200 | 150 | 150 | 250 | 300 |
| l_2 , м | 250 | 250 | 150 | 300 | 200 | 100 | 200 | 250 | 300 | 250 |
| l_3 , м | 150 | 350 | 200 | 100 | 100 | 300 | 300 | 350 | 200 | 200 |

Задача 3.16

Определить напор H_2 , при котором струя, вытекающая из нижнего отверстия (рис. 3.16), падает на пол в ту же точку, что и струя, вытекающая из верхнего отверстия. Высота расположения уровня воды в баке H , напор над центром верхнего отверстия H_1 .

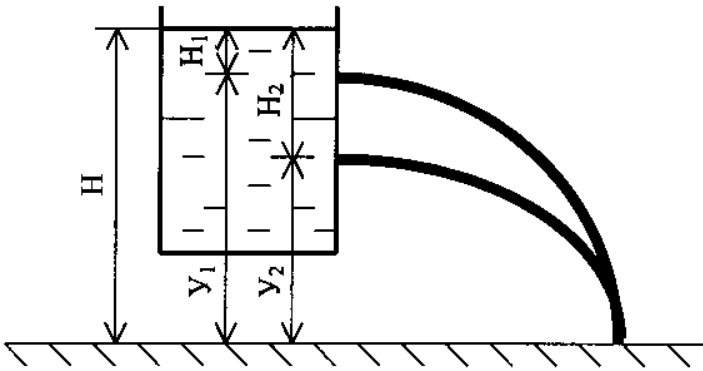


Рис. 3.16

| | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| H , м | 2,5 | 3,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 4,0 | 4,5 |
| H_1 , м | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 1,5 | 2,0 |

Задача 3.17

Определить время t полного опорожнения цилиндрического резервуара с бензином. Диаметр резервуара D . Высота столба бензина в резервуаре H . Диаметр отверстия d (рис. 3.17).

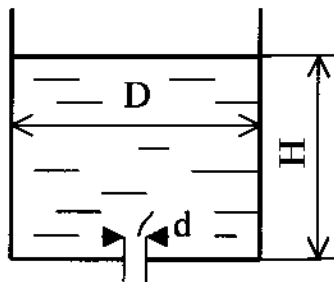


Рис. 3.17

| | | | | | | | | | | |
|------------|-----|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|
| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| D , м | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 2,25 | 2,75 | 3,0 | 2,75 | 2,5 | 2,25 | 2,0 |
| H , м | 3,5 | 3,75 | 4,0 | 4,25 | 4,5 | 3,5 | 3,75 | 4,0 | 3,25 | 4,5 |
| d , см | 10 | 20 | 15 | 25 | 30 | 10 | 20 | 15 | 25 | 30 |

Задача 3.18

Приток воды через кран в цилиндрический сосуд диаметром D равен оттоку через отверстие в боковой стенке сосуда при напоре H (рис. 3.18). После того как приток воды прекратился, сосуд за время t опорожнился до уровня отверстия. Определить диаметр отверстия и расход воды Q , поступавший в сосуд через кран.

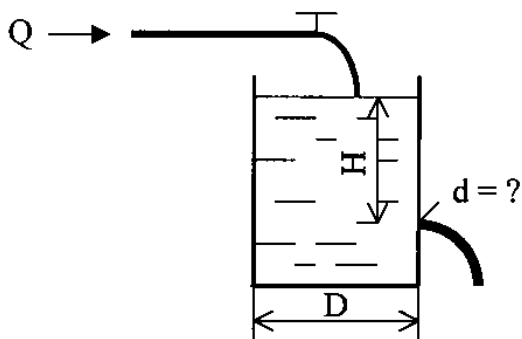


Рис. 3.18

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D , мм | 1150 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1300 | 1400 | 1200 | 1100 | 1000 |
| H , м | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,5 | 1,0 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,5 |
| t , с | 170 | 120 | 140 | 130 | 150 | 150 | 140 | 120 | 170 | 130 |

Задача 3.19

Плоская пластинка с размерами A и B (размер, перпендикулярный чертежу) и абсолютной эквивалентной шероховатостью k_s , обдувается в ребро потоком воздуха со скоростью v . Температура воздуха 15°C . Определить силу трения воздуха о пластинку.

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A , м | 1,0 | 1,5 | 1,25 | 1,75 | 2,0 | 1,0 | 1,5 | 1,25 | 1,75 | 2,0 |
| B , м | 3,0 | 2,5 | 2,75 | 3,0 | 2,75 | 2,5 | 3,0 | 3,25 | 3,5 | 2,5 |
| k_s , см | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,4 |
| v , м/с | 60,0 | 50,0 | 40,0 | 30,0 | 70,0 | 55,0 | 65,0 | 45,0 | 35,0 | 70,0 |

Задача 3.20

Определить силу гидродинамического давления воды в реке на бык моста, если глубина воды перед быком H , средняя скорость течения воды v . Ширина быка b , длина его l . Бык имеет обтекаемую форму.

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| H , м | 4,5 | 4,0 | 5,5 | 4,25 | 4,0 | 5,0 | 5,25 | 5,5 | 4,25 | 5,6 |
| l , м | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 16,0 | 11,0 | 10,0 | 14,0 | 15,0 | 13,0 |
| b , м | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 3,0 | 2,0 |
| v , м/с | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 |

Задача 3.21

Определить скорость витания в воздухе ω частицы, имеющей форму шара, если диаметр частицы d , плотность материала частицы $\rho_{т.в.}$, температура воздуха 10°C .

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| d , мм | 1,0 | 2,0 | 1,5 | 2,5 | 0,5 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 1,5 | 2,0 |
| $\rho_{т.в.}$, кг/м ³ | 600 | 700 | 650 | 750 | 800 | 850 | 800 | 600 | 750 | 700 |

Задача 3.22

Водопроводный железный канал прямоугольного сечения имеет ширину b и уклон дна i . Какой он пропустит расход Q при наполнении h ?

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| b , м | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 |
| h , м | 1,5 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 1,7 |
| i | 0,0001 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0005 |

Задача 3.23

Треугольный лоток с углом при вершине 90° , выполненный из бетонных железных плит, отводит воду от насоса, откачивающего

грунтовую воду из траншеи. Определить приток грунтовой воды на 1 м траншеи, если ее длина l , наполнение лотка h , уклон лотка i .

| № вариант | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| l , м | 14 | 15 | 20 | 25 | 10 | 14 | 17 | 20 | 10 | 25 |
| h , м | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 | 0,2 | 0,15 | 0,15 | 0,25 | 0,2 | 0,15 |
| i | 0,0002 | 0,0003 | 0,0001 | 0,00015 | 0,00025 | 0,0002 | 0,0001 | 0,00015 | 0,00025 | 0,0002 |

Задача 3.24

Определить уклон i канализационного железобетонного трубопровода диаметром d для пропуска расхода Q при наполнении $a = \frac{h}{d}$.

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| d , мм | 900 | 800 | 1000 | 1200 | 1300 | 1400 | 800 | 900 | 1000 | 1200 |
| Q , м ³ /с | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,6 |
| a | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,75 |

Задача 3.25

Определить величину притока грунтовых вод к водозаборной галерее на ее длине l , если глубина воды в галерее h , мощность водоносного пласта H , коэффициент фильтрации грунта K . Галерея заложена на водоупоре в супесчаных грунтах.

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| l , м | 300 | 350 | 200 | 250 | 400 | 450 | 300 | 350 | 200 | 250 |
| h , м | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 1,5 |
| H , м | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 6,5 | 6,0 |
| K , см/с | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,003 | 0,0075 | 0,0065 | 0,0055 | 0,0045 |

Задача 3.26

Определить фильтрационный расход воды Q , поступающей при откачке в грунтовый колодец радиусом r , если естественная глубина грунтового потока H , глубина воды в колодце h , радиус влияния колодца R , коэффициент фильтрации грунта K .

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| H , м | 10,0 | 12,0 | 13,0 | 11,0 | 14,0 | 15,0 | 14,0 | 12,0 | 13,0 | 11,0 |
| h , м | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 5,5 | 6,5 | 7,5 | 7,0 | 6,0 | 6,5 |
| R , м | 300 | 350 | 400 | 250 | 300 | 350 | 400 | 300 | 350 | 300 |
| K , см/с | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,003 | 0,0025 | 0,0015 | 0,0035 | 0,003 | 0,002 |
| r , м | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 1,0 |

Задача 3.27

Для понижения уровня грунтовых вод в котловане $a \times b$ глубиной h предполагается установить n иглофильтров. Определить общий расход воды в коллекторе, если мощность водоносного пласта H_0 , коэффициент фильтрации K (см. [6]).

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| a , м | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 |
| b , м | 100 | 90 | 120 | 140 | 160 | 180 | 160 | 140 | 100 | 120 |
| h , м | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 2,5 | 4,5 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 |
| N | 20 | 30 | 25 | 35 | 40 | 40 | 35 | 25 | 30 | 20 |
| H_0 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 6,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 |
| K , см/с | 0,002 | 0,001 | 0,0025 | 0,0015 | 0,003 | 0,002 | 0,003 | 0,001 | 0,0015 | 0,0025 |

Задача 3.28

Найти потери давления на трение в бетонной трубе диаметром d (эквивалентная шероховатость Δ_0), если по ней транспортируется воздух с расходом Q , плотность $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ и кинематической вязкостью $\nu = 15,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| d , м | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,25 | 1,15 | 1,35 |
| Δ_0 , мм | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| Q , м ³ /с | 10,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 | 15,0 | 10,0 | 11,0 | 12,0 | 13,0 | 14,0 |

Задача 3.29

Газ с объемным весом $\gamma = 1 \text{ кг/м}^3$ от газгольдерной станции с расходом Q поступает в основную магистраль d , питающую распределительные сети. Определить конечное давление в магистрали P_2 , если длина ее L , начальное давление P_1 . Кинематическая вязкость газа $\nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Трубопровод – стальной ($K_s = 0,01 \text{ см}$).

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $Q, \text{ м}^3/\text{ч}$ | 3600 | 4000 | 7200 | 5000 | 4500 | 8000 | 7800 | 5600 | 4500 | 6000 |
| $d, \text{ мм}$ | 1000 | 1200 | 750 | 700 | 500 | 1000 | 750 | 700 | 600 | 1000 |
| $L, \text{ км}$ | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 2,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| $P_1, \text{ МПа}$ | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 0,25 | 0,17 | 0,22 | 0,20 | 0,18 | 0,19 | 0,25 |

Задача 3.30

Определить потери давления при пневмотранспортировании измельченного угля со средним диаметром частиц d плотностью $\rho_T = 1,8 \cdot 10 \text{ кг/м}^3$. Массовая концентрация взвешенных частиц $C_p = 1$. Пневмотранспортирование осуществляется по стальному трубопроводу диаметром D , длиной l . Температура воздуха 20°С .

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| $d, \text{ м} \cdot 10^{-4}$ | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $D, \text{ м}$ | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,8 |
| $l, \text{ м}$ | 100 | 120 | 110 | 125 | 115 | 90 | 95 | 100 | 110 | 120 |

Задача 3.31

Поршень гидроцилиндра диаметром D поднимается вверх со скоростью v , преодолевая усилие R (рис. 3.19). Определить подачу и давление насоса, а также полезную мощность гидроцилиндра, если механический и объемный КПД гидроцилиндра $\eta_m, \eta_0 = 1$, масса поршня m . Давлением жидкости в штоковой полости гидроцилиндра пренебречь.

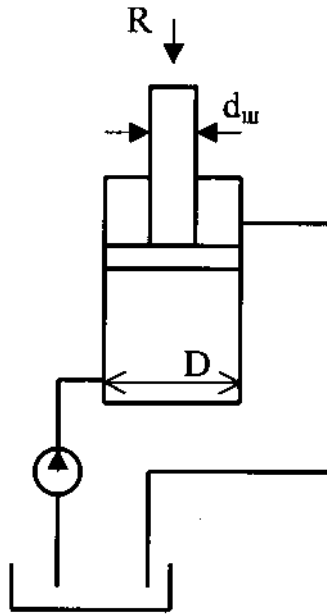


Рис. 3.19

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| D , мм | 400 | 300 | 450 | 350 | 500 | 250 | 200 | 300 | 400 | 500 |
| v , см/с | 2,0 | 1,0 | 3,0 | 1,5 | 2,5 | 3,5 | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 2,0 |
| R , кН | 300 | 400 | 350 | 450 | 500 | 400 | 300 | 450 | 500 | 350 |
| η , м | 0,89 | 0,90 | 0,92 | 0,95 | 0,98 | 0,95 | 0,90 | 0,92 | 0,89 | 0,90 |
| m , кг | 50 | 55 | 40 | 45 | 55 | 30 | 35 | 45 | 50 | 30 |

Задача 3.32

Объемный насос, характеризующийся рабочим объемом V_0 , объемным КПД – η_0 , полным КПД – η и потребляемой мощностью N , развивающий на штоке усилие R , подает рабочую жидкость в гидроцилиндр диаметром D (рис. 3.20). С какой частотой вращается вал насоса, если потери давления в системе составляют 10% давления в гидроцилиндре?

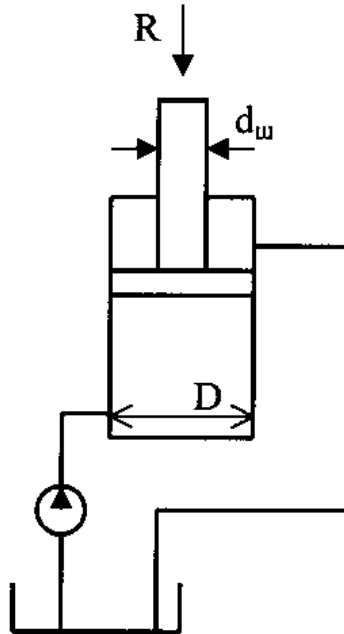


Рис. 3.20

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $V_0, \text{см}^3$ | 20 | 21 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 20 | 22 | 24 |
| η_0 | 0,89 | 0,90 | 0,85 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,94 | 0,93 |
| η | 0,7 | 0,68 | 0,65 | 0,69 | 0,7 | 0,71 | 0,75 | 0,7 | 0,71 | 0,72 |
| $N, \text{кВт}$ | 5,0 | 6,0 | 4,0 | 3,0 | 3,5 | 4,5 | 5,5 | 6,5 | 6,5 | 5,0 |
| $D, \text{м}$ | 0,1 | 0,2 | 0,15 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 |
| $R, \text{кН}$ | 40,0 | 42,0 | 44,0 | 45,0 | 47,0 | 50,0 | 52,0 | 53,0 | 55,0 | 40,0 |

Задача 3.33

Определить полезную мощность насоса по следующим данным: производительность насоса Q , показание манометра p_m , показание вакуумметра p_v , вертикальное расстояние между точками присоединения манометра и вакуумметра z_0 . Диаметры всасывающего и напорного трубопроводов одинаковы. Насос перекачивает мазут с удельным весом $\gamma = 930 \text{ кг/м}^3$.

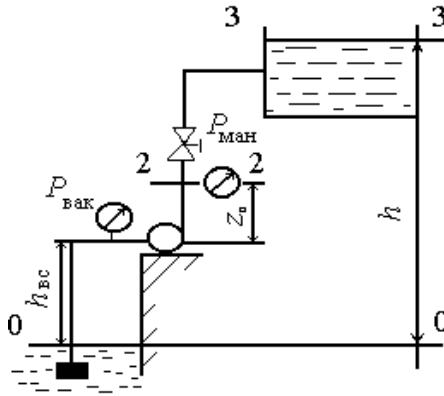


Рис. 3.21

| № варианта | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q, \text{м}^3/\text{с}$ | 0,10 | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
| $P_m, \text{МПа}$ | 0,72 | 0,7 | 0,71 | 0,6 | 0,65 | 0,66 | 0,73 | 0,68 | 0,69 | 0,7 |
| $P_b, \text{МПа}$ | 0,032 | 0,003 | 0,033 | 0,034 | 0,038 | 0,040 | 0,045 | 0,048 | 0,048 | 0,040 |
| $Z_0, \text{м}$ | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,40 | 0,45 | 0,55 | 0,50 | 0,60 |

4. ВАРИАНТЫ К КОНТРОЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ

| Буквы фамилии | Номера задач | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К, | 1 | 6 | 7 | 12 | 13 | 18 | 19 | 24 | 25 | 30 | 31 |
| Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, | 2 | 5 | 8 | 11 | 14 | 17 | 20 | 23 | 26 | 29 | 32 |
| Х, Ц, Ч, Ш, Щ, Ы, Э, Ю, Я | 3 | 4 | 9 | 10 | 15 | 16 | 21 | 22 | 27 | 28 | 33 |

П р и м е ч а н и е. Номера задач, которые нужно решить, устанавливаются по таблице вариантов в зависимости от сочетания букв фамилии студента. Номер первой задачи устанавливается по первой букве фамилии, второй задачи – по второй букве фамилии и т.д. Например, студент Иванов должен решить задачи 1, 6, 7, 11, 14, 18, 19, 24, 25, 30, 31. Если фамилия студента содержит меньше букв, то номера последующих задач устанавливаются по последней букве фамилии. Номера вариантов определяются по последней цифре зачетной книжки.

Л и т е р а т у р а

1. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
2. Прозоров И.В., Николадзе Г.Ч., Минаев А.В. Гидравлика, водоснабжение и канализация. – М.: Высш. школа, 1990.
3. Альтшуль А.Д. Примеры расчетов по гидравлике. – М.: Стройиздат, 1977.
4. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.-Л., 1974.
5. Вакина В.В., Денисенко И.Д., Столяров А.Л. Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов. – Киев: Вища школа; Головное изд-во, 1986. – 208 с.
6. Примеры гидравлических расчетов / Под ред. Н.М. Константинова. – М.: Транспорт, 1987.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ..... | 3 |
| 2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ..... | 8 |
| 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ..... | 25 |
| 4. ВАРИАНТЫ К КОНТРОЛЬНОМУ ЗАДАНИЮ..... | 44 |
| Литература..... | 45 |

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по дисциплине «Механика жидкости и газа»
для студентов заочной формы обучения специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
и 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Составители: ИВАШЕЧКИН Владимир Васильевич
БОНЧ-ОСМОЛОВСКАЯ Надежда Евгеньевна
ЗАЯЦ Анна Михайловна и др.

Редактор Т.Н.Микулик. Корректор М.П.Антонова
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 05.04.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,7. Уч.-изд. л. 2,1. Тираж 100. Заказ 658.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.
Лицензия ЛВ №155 от 30.01.2003. 220013, Минск, проспект
Ф.Скорины, 65.