ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
«СИБИРСКИЙ КОЛЛЕДЖ ТРАНСПОРТА И СТРОИТЕЛЬСТВА

Методические рекомендации по выполнению **самостоятельной работы** по ОП.11. Гидравлика
по специальности 21. 02. 03. «**Сооружение** и **эксплуатация газонефтепроводов** и **газонефтехранилищ**»
базовая подготовка среднего профессионального образования

Иркутск 2022

Электронный документ выгружен из ЕИС ФГБОУ ВО ИрГУПС и соответствует оригиналу
Подписант ФГБОУ ВО ИрГУПС Трофимов Ю.А.
00a73c5b7b623a969ccad43a81ab346d50 с 08.12.2022 14:32 по 02.03.2024 14:32 GMT+03:00
Подпись соответствует файлу документа

РАССМОТРЕНО: Цикловой методической комиссией технической механики и электротехнических дисциплин «08» июня 2022 г. Председатель: _____/Эмерсали Н.Б.	СОГЛАСОВАНО: Заместитель директора по УВР _____ /А.П.Ресельс «09» июня 2022 г.

Содержание

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ 4
2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ 5
Основные физические свойства жидкостей 5
Давление 6
Основное уравнение гидростатики 8
Силы давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности 10
Гидродинамика. Основные понятия 12
Уравнение энергии для идеальной жидкости 14
Уравнение Бернулли с учетом потерь напора. Расчет трубопроводов 18
3. ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ 23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 24

Гидравликой называется область технической физики, изучающей закономерности поведения жидкостей в различных технических устройствах, системах и сооружениях.

Целью изучения курса является ознакомление будущего специалиста с основными понятиями, терминами, закономерностями, а также с методами решения задач по гидростатике и гидродинамике. Эти знания необходимы для дальнейшего изучения курсов водоснабжения и водоотведения, городского строительства и хозяйства, промышленного и гражданского строительства, автомобильных дорог и т.д.

Приведенные в пособии обучающие модули и контрольные задания стимулируют студента к самостоятельным занятиям по учебникам и сборникам задач.

Модульный принцип построения дает возможность студенту последовательно, двигаясь от простого к сложному, приобрести знания о физических свойствах жидкости, давлении, силах, действующих в неподвижной жидкости, и закономерностях движения жидкостей.

Степень усвоения материала студент может проверить самостоятельно, ответив на контрольные вопросы и решив контрольные задачи.

Назначение пособия – стать опорным вспомогательным материалом для изучения курса, выполнения расчетно-графических работ и подготовки к сдаче экзамена или зачета.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Программой курса предусмотрено чтение лекций, проведение практических и лабораторных занятий, а также самостоятельная работа студента над учебным материалом (теоретические основы, домашние задачи, расчетно-графические и контрольные работы).

Объем лекций, практических занятий, лабораторного практикума, расчетно-графических работ для студентов очной формы обучения или контрольных работ для студентов-заочников определяется программой дисциплины по соответствующим направлениям обучения.

Перед использованием данного пособия необходимо предварительно изучить теоретический материал по лекции и учебнику. Далее следует ответить на вопросы и самостоятельно решить задачи.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Основные физические свойства жидкостей

Плотность и удельный вес жидкости. Сжимаемость, упругость и температурное расширение жидкостей. Вязкость.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

1. Дать определение плотности и удельного веса жидкости, привести их размерность.
2. Каким коэффициентом характеризуется сжимаемость жидкости, привести его формулу?
3. Какой коэффициент характеризует температурное расширение жидкого тела?
4. Что такое вязкость жидкости. Какова связь между динамической и кинематической вязкостью?
5. В чем состоит сущность закона вязкого трения Ньютона?

Задачи для самопроверки

1. Масса 5 $дм^3$ битума жидкого дорожно-сланцевого при 20 °С составляет 5,5 кг. Определить плотность, удельный вес и относительный вес указанной жидкости.

Ответ: $\rho = 1100$ кг/$м^3$, $\gamma = 10790$ Н/$м^3$, $\delta = 1{,}1$.

2. Система емкостью W подвергается гидравлическому испытанию на герметичность. Перед началом испытания она полностью заполняется водой при атмосферном давлении ($P_н = 0$). Коэффициент объемного сжатия воды $\beta_p = 5{,}4 \cdot 10^{-10}$ 1/Па. Для повышения давления в системе до манометрического $P_к$ необходимо подать в систему дополнительный объем воды ΔW. Известно что $W = 8$ м^3. Определить, какой объем воды ΔW должен быть подан в систему чтобы манометрическое давление в ней достигло значения $P_к = 5 \cdot 10^6$ Па.

Ответ: $\Delta W = 21{,}6$ л.

3. Определить коэффициент температурного расширения воды, если при увеличении температуры на $\Delta t = 10$ °С объем воды равный $W = 5$ м^3 увеличился на $\Delta W = 7{,}5$ л. Какой исходной температуре $t_н$ соответствует полученное значение коэффициента температурного расширения β_t при давлении $P = 1{,}0$ ат.

Ответ: $\beta_t = 150 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, $t_н = 10$ °С.

4. Вязкость сточной жидкости плотностью ρ может характеризоваться динамической вязкостью μ или кинематическим коэффициентом вязкости ν.

Известно, что $\rho = 1040$ кг/м^3. Определить динамическую вязкость жидкости μ, если ее кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0{,}011$ Ст (1 Ст =1 см^2/с).

Ответ: $\mu = 11{,}44 \cdot 10^{-4}$ Па $\cdot$ с.

5. Пользуясь уравнением закона вязкого трения Ньютона, определить размерность динамической вязкости μ в системе СИ.

Ответ: Па $\cdot$ с.

Давление

Определение давления. Свойства давления. Единицы измерения давления. Системы измерения давления.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

1. Что называется гидростатическим давлением и каковы его основные свойства?
2. В каких единицах измеряется давление в системах СИ, СГС, МКГСС?
3. Назовите внесистемные единицы измерения давления и их величину в Па.
4. Что принимается за нуль отсчета давления в системах измерения абсолютного и избыточного давления?
5. Что называется вакуумом? Какова величина максимального вакуумметрического давления в Па?

Задачи для самопроверки

1. По какому направлению действует сила давления жидкости на цилиндрическую поверхность – по образующей, по касательной или по радиусу? Обоснуйте ответ.

Ответ: по радиусу.

2. Пусть давление в некоторой точке равно 50 кПа. Выразить эту величину в системе МКГСС.

Ответ: 5096,8 кгс/м^2 .

3. Давление в точке равно 80 кПа. Выразить эту величину в атмосферах технических, барах, метрах водяного столба, миллиметрах ртутного столба.

Ответ: 0,815 ат, 0,8 бар, 8,15 м вод. ст., 599,4 мм рт. ст.

4. Абсолютное давление в точке равно 48,1 кПа. Выразить это давление в системах избыточного и вакуумметрического давления. Атмосферное давление принять равным 98,1 кПа.

Ответ: $P_{изб} = -50$ кПа, $P_{вак} = 50$ кПа.

5. Вакуумметрическое давление на входе в насос равно 7,5 м вод. ст. Выразить это давление в кПа в системе избыточного давления.

Ответ: $P_{изб} = -73{,}58$ кПа.

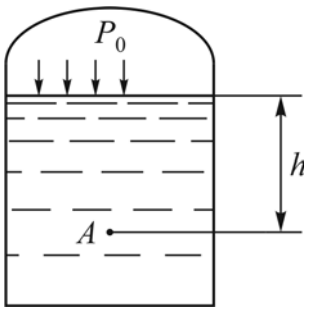
Основное уравнение гидростатики

Основное уравнение гидростатики. Понятие поверхности равного давления (поверхности уровня). Эпюры гидростатического давления. Закон Паскаля.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

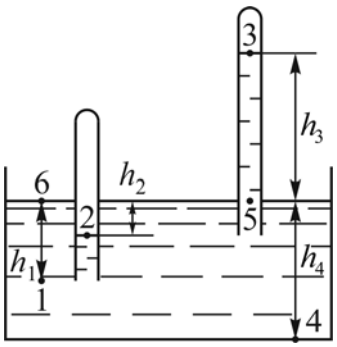
1. Из каких двух составляющих складывается давление в любой точке покоящейся жидкости?
2. Дать определение поверхности равного давления (поверхности уровня).
3. Что представляет собой поверхность уровня в неподвижной жидкости находящейся в поле сил тяжести с геометрической точки зрения?
4. Какую форму имеет эпюра избыточного давления на вертикальную стенку сосуда если на поверхности жидкости давление равно атмосферному?
5. Сформулировать закон Паскаля.

Задачи для самопроверки



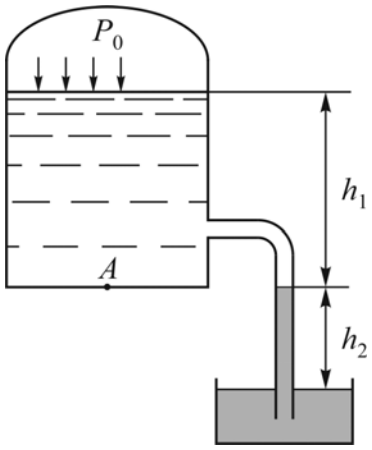
1. Избыточное давление в точке A сосуда, наполненного водой, составляет $P_{Aизб} = 150$ кПа. На какой глубине h находится точка A если на поверхности жидкости имеется вакуум $P_{0вак} = 50$ кПа.

Ответ: $h = 20{,}39$ м.



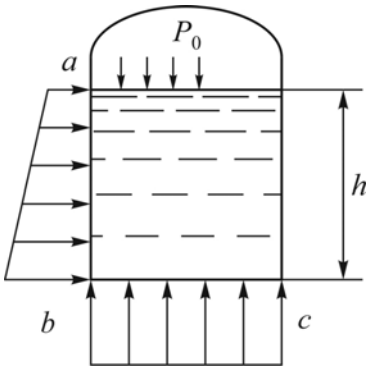
2. Определить избыточное (вакуумметрическое) давление в точках 1, 2, 3, 4, 5 и 6 заполненной водой емкости и опущенных в нее закрытых сверху герметичных вертикальных трубках, если известно что $h_1 = 3$ м, $h_2 = 2$ м, $h_3 = 8$ м, $h_4 = 5$ м.

Ответ: $P_{1изб} = 29{,}4$ кПа, $P_{2изб} = 19{,}62$ кПа, $P_{3изб} = -78{,}48$ кПа, $P_{4изб} = 49{,}05$ кПа, $P_{5изб} = 0$, $P_{6изб} = 0$ кПа.



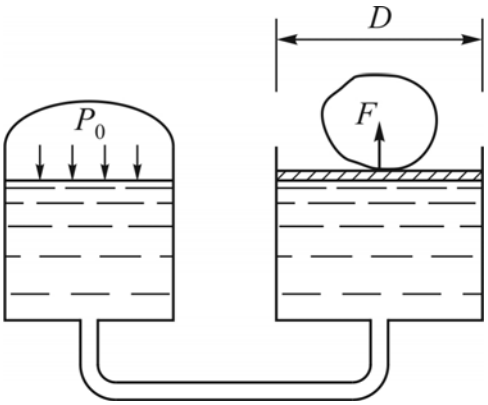
3. Определить избыточное и вакуумметрическое давление на поверхности жидкости в сосуде P_0 и давление в точке A, если высота столбика воды $h_1 = 3$ м, а высота столбика ртути $h_2 = 367{,}5$ мм.

Ответ: $P_{0изб} = -78{,}46$ кПа, $P_{0вак} = 78{,}46$ кПа, $P_{Aизб} = -49{,}03$ кПа.



4. Определить параметры эпюр давления на стенки и дно сосуда с водой, если $P_0 = 50$ кПа и $h = 5$ м.

Ответ: $a = 50$ кПа, $b = 99{,}05$ кПа, $c = 99{,}05$ кПа.



5. С какой силой F поршень диаметром $D = 1$ м действует на груз, если избыточное давление $P_0 = 50$ кПа.

Ответ: $F = 39{,}25$ кН.

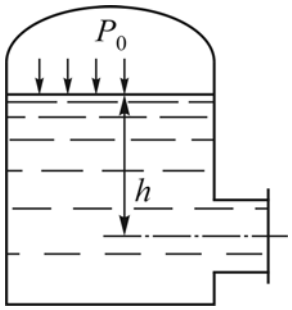
Силы давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности

Сила давления жидкости на плоскую наклонную стенку. Центр давления. Координаты центра давления. Сила давления жидкости на криволинейные поверхности, горизонтальная и вертикальная составляющие этой силы.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

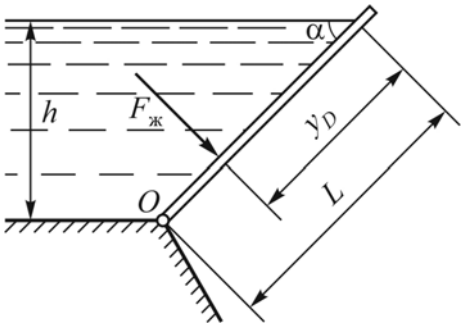
1. Как находятся силы давления на плоские наклонные стенки?
2. Что называется центром давления? Как определить центр давления а) для силы поверхностного давления, б) для силы весового давления, в) для результирующей силы давления?
3. Как находятся горизонтальная и вертикальная составляющие силы давления на криволинейную поверхность? Как найти результирующую силу и угол наклона ее к горизонту?
4. Что называется телом давления? Какие разновидности тел давления бывают?
5. Сформулируйте закон Архимеда.

Задачи для самопроверки



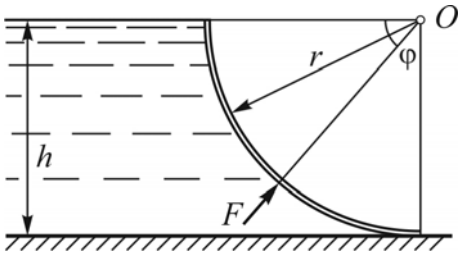
1. Найти силу давления на плоскую крышку в сосуде с водой, если избыточное давление на поверхности $P_0 = 160$ кПа, а люк расположен на глубине $h = 4$ м. Диаметр люка $d = 2$ м.

Ответ: $F = 625{,}6$ кН.



2. Канал прямоугольного сечения шириной $b = 2{,}4$ м перекрывается плоским щитом. Определить силу давления воды на щит $F_ж$ и координату точки ее приложения y_D. Глубина воды в канале $h = 2$ м, угол наклона щита $\alpha = 45°$.

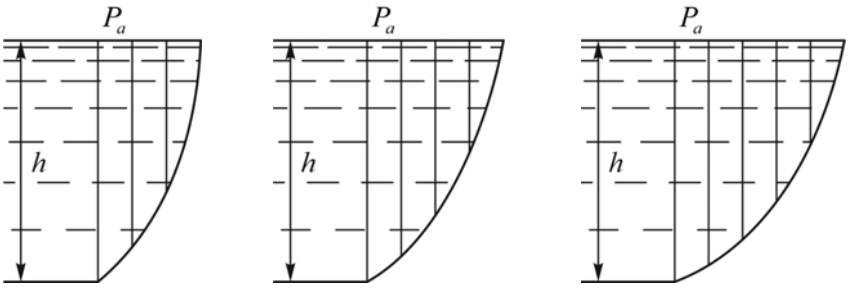
Ответ: $F = 66{,}6$ кН, $y_D = 1{,}89$ м.



3. Канал прямоугольного сечения шириной $b = 4$ м перекрывается секторным затвором, радиус которого $r = 1{,}8$ м. Глубина воды в канале $h = 1{,}8$ м. Определить усилия F_x и F_z в шарнирах O затвора от гидростатичес-кого давления, их равнодействующую F и угол наклона ее к горизонту.

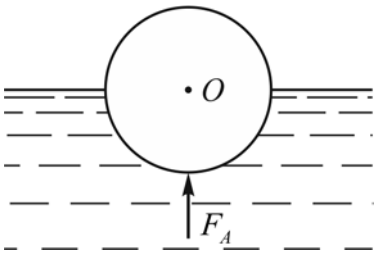
Ответ: $F_x = 63{,}57$ кН, $F_z = 99{,}8$ кН, $\varphi = 57{,}5°$.

4. Как отличаются горизонтальные и вертикальные составляющие сил давления на криволинейные поверхности I, II и III.



I II III

Ответ: $F_{x_I} = F_{x_{II}} = F_{x_{III}}$; $F_{zI} < F_{z_{II}} < F_{z_{III}}$.



5. Цилиндрическое тело длиной $L = 4$ м и диаметром $d = 2$ м плавает в воде. Центр основания цилиндра точка O находится на одном уровне со свободной поверхностью. Определить силу Архимеда, действующую на тело.

Ответ: 61,1 кН

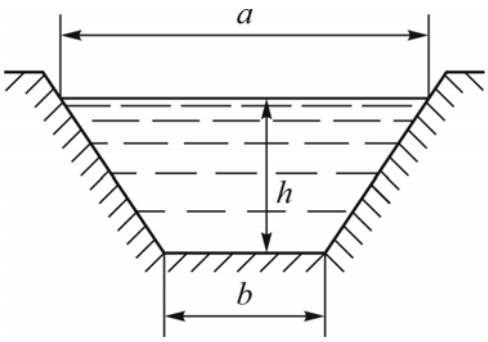
Гидродинамика. Основные понятия.

Линии тока. Гидравлические элементы потока. Средняя скорость, расход жидкости. Уравнение непрерывности потока.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

1. Что называется линией тока, трубкой тока, элементарной струйкой?
2. Как определяются живое сечение потока, смоченный периметр, гидравлический радиус, эквивалентный диаметр? Указать их размерность.
3. Что называется расходом жидкости? Какие бывают расходы? Как связаны объемный расход жидкости с средней скоростью потока и его живым сечением?
4. Записать уравнение непрерывности потока для двух сечений круглой трубы.
5. Какой фундаментальный закон физики выражает уравнение непрерывности потока?

Задачи для самопроверки

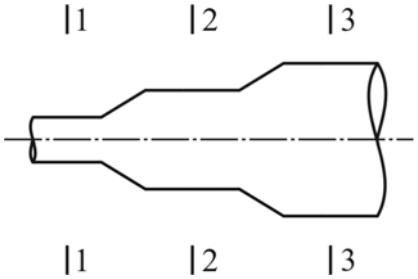


1. Трапецеидальный канал заполнен водой так, что $a = 6$ м, $b = 4$ м, $h = 1{,}73$ м. Определить живое сечение потока ω, смоченный периметр χ, гидравлический радиус R и эквивалентный диаметр $d_{экв}$.

Ответ: $\omega = 8{,}65$ м^2, $\chi = 8$ м, $R = 1{,}08$ м, $d_{экв} = 4{,}32$ м.

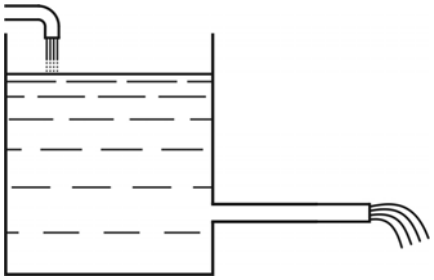
2. В трубе диаметром $d = 4$ см течет жидкость со средней скоростью 2 м/с. Определить объемный и массовый расход жидкости.

Ответ: $Q = 2{,}5$ л/с $= 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3/с, $G = 2{,}5$ кг/с.



3. Пусть в сечение 1-1 трубопровода диаметр составляет $d_1 = 2$ см, а средняя скорость течения $V_1 = 8$ м/с. Определить среднюю скорость в сечениях 2-2 и 3-3, если $d_2 = 4$ см, а $d_3 = 8$ см. Определить расход в каждом сечении.

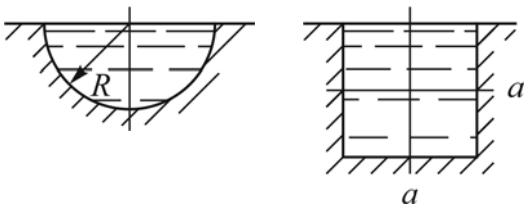
Ответ: $V_2 = 2$ м/с, $V_3 = 0{,}5$ м/с, $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2{,}5$ л/с.



4. Из сосуда, диаметром $D = 1$ м вытекает вода по трубе диаметром $d = 10$ см с расходом $Q = 7{,}85$ л/с. Определить во сколько раз скорость течения воды в трубе больше скорости опускания воды в сосуде, а также значения этих скоростей.

Ответ: $V_d = 1$ м/с, $V_D = 0{,}01$ м/с, $V_d / V_D = 100$.

5. Для двух каналов, один из которых полукруглого а второй квадратного сечения определить живое сечение и гидравлический радиус. Известно, что $R = 1$ м, а $a = 1{,}25$ м.



Ответ: $\omega_1 = 1{,}57\ м^2$, $R_1 = 0{,}5$ м, $\omega_2 = 1{,}56\ м^2$, $R_2 = 0{,}42$ м.

Уравнение энергии для идеальной жидкости

Уравнение энергии для струйки идеальной жидкости, энергетический смысл его членов. Характерные напоры и линии в геометрическом истолковании уравнения. Два режима течения жидкости

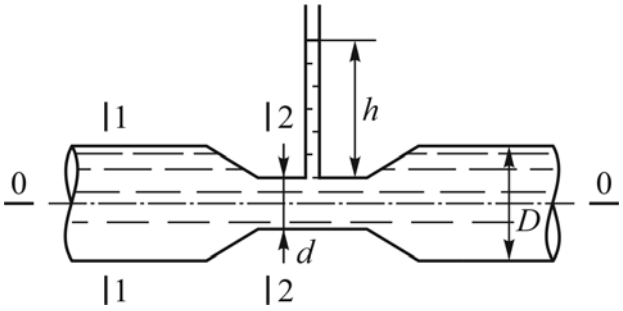
Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

1. Дать определение идеальной жидкости.
2. Записать уравнение Бернулли для струйки идеальной жидкости. Какую энергию выражает каждый член этого уравнения?
3. Что называется полным напором, а что пьезометрическим напором в сечении?
4. Как построить напорную и пьезометрическую линии. Какие две области изменения энергии разделяет пьезометрическая линия?
5. Опишите два режима течения жидкости. Как определить режим течения в круглой трубе?

Задачи для самопроверки

1. По трубе с сужением протекает вода с расходом $Q = 4$ л/с. Диаметры трубы $D = 10$ см и $d = 5$ см. Давление в трубе перед сужени-

ем составляет 40 кПа. Определить высоту поднятия жидкости h в пьезометре, подключенном в суженной части потока. Потерями напора пренебречь.



Указание. Для ответа на вопрос задачи необходимо узнать давление в суженной части. Выбираем плоскость сравнения 0-0 по оси трубы, а сечение 1-1 в расширенной, а 2-2 – в суженной части потока. Записываем уравнение Бернулли без учета потерь напора и решаем его относительно давления P_2

$$0+\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}=0+\frac{P_2}{\rho g}+\frac{V_2^2}{2g},$$

$$P_2=\rho g\left(\frac{P_1}{\rho g}+\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_2^2}{2g}\right).$$

Скорости V_1 и V_2 находим из уравнения расхода

$$V_1=\frac{4Q}{\pi D^2},\ V_2=\frac{4Q}{\pi d^2}.$$

Из основного уравнения гидростатики, записанного для жидкости в пьезометре, определим высоту h.

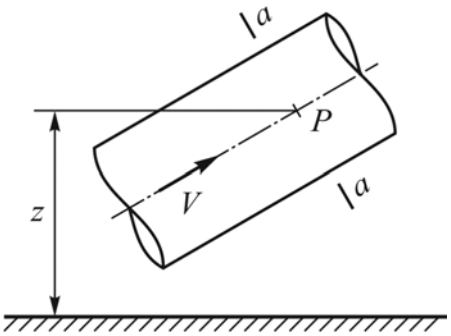
$$P_2=0+\rho g h,$$

$$h=\frac{P_2}{\rho g}.$$

Ответ: $h=3{,}88$ м.

2. По трубопроводу внутренним диаметром d движется жидкость плотностью ρ, массовый расход ее равен Q_m, а давление в сечении a-a, расположенном на высоте z, равно P. Известно, что $d=100$ мм, $\rho=900$ кг/м^3, $z=2{,}5$ м, $Q_m=180$ т/ч, $P=0{,}15$ МПа.

Определить пьезометрический H_p, скоростной H_v и полный гидродинамический H напоры в сечении a-a (принять коэффициент $\alpha=1{,}1$).



Указание. Определить среднюю скорость потока, представив размерности всех величин в системе СИ по формуле

$$V = \frac{4Q_m}{\rho \pi d^2}.$$

Рассчитать скоростной напор

$$H_V = \frac{\alpha V^2}{2g},$$

пьезометрический напор

$$H_p = z + \frac{P}{\rho g},$$

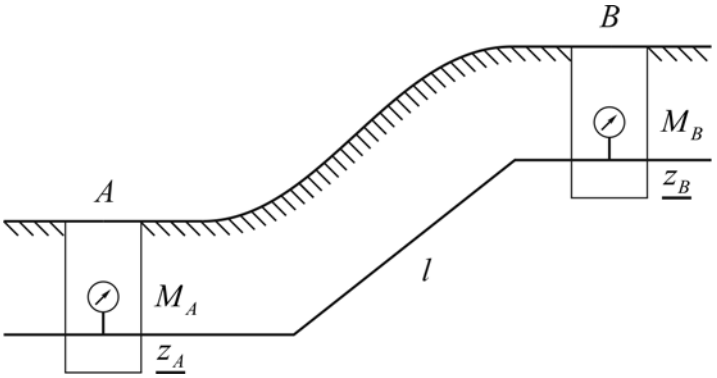
полный гидродинамический напор

$$H = z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}.$$

Ответ: $H_V = 2{,}81$ м, $H_p = 19{,}49$ м, $H = 22{,}3$ м.

3. На напорном водоводе ($\rho = 1000$ кг/м^3)постоянного диаметра в водопроводных колодцах *A* и *B*, друг от друга установлены манометры M_A и M_B на отметках z_A и z_B соответственно. Известно, что $z_A = 62$ м, $P_A = 480$ кПа, $z_B = 80$ м, $P_B = 0{,}25$ МПа, $l = 2{,}1$ км.

Определить, в каком направлении двигается вода и величину пьезометрического уклона i_p.



Указание. Следует рассчитать полный гидродинамический напор в сечениях *A* и *B*

$$H_A = z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g},$$

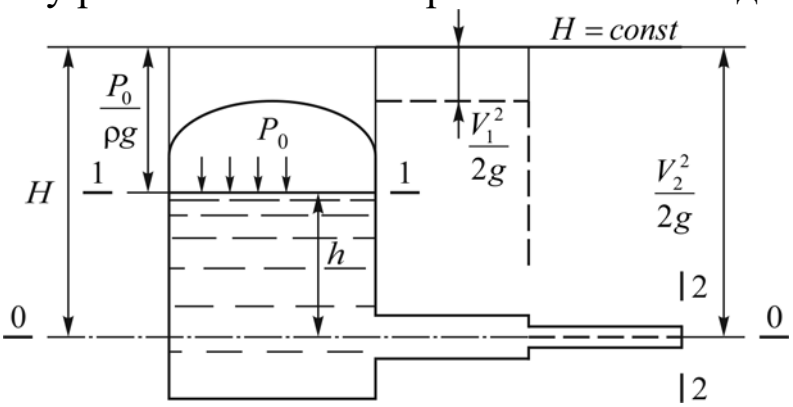
$$H_B = z_B + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g}.$$

Далее необходимо сравнить эти напоры, учитывая, что $\alpha V^2/2g$ для них будет одинаковым. Если $H_A > H_B$, то вода течет от колодца *A* к колодцу *B*, если $H_B > H_A$ – то наоборот.

Пьезометрический уклон можно найти поделив разность пьезометрических напоров на длину трубопровода *l*.

Ответ: движение воды происходит от колодца *A* к колодцу *B*; $i_P = 0{,}0026$.

4. Вода вытекает из резервуара по горизонтальной трубе, состоящей из двух участков: $d_1 = 75$ мм, $d_2 = 50$ мм. Вход в трубу ниже уровня воды в резервуаре на $h = 1{,}5$ м, над уровнем избыточное давление $P_0 = 40$ кПа. Расход воды в трубе $Q = 20{,}5$ л/с. Пренебрегая потерями напора построить напорную и пьезометрическую линии. Чему равен полный напор потока на выходе из трубы.



Указание. Выбрать плоскость сравнения 0-0 по оси трубы, сечения 1-1 по поверхности воды в сосуде, а 2-2 на выходе из трубы. Определить полный напор в сечении 1-1 по формуле

$$H = h + \frac{P_0}{\rho g}.$$

Скоростью течения в сечении 1-1 в резервуаре пренебречь ввиду малости. Провести напорную линию параллельно плоскости *O-O*, так как потери напора не учитываются и $H = const$ в любом сечении. Определить среднюю скорость на первом и втором участках

трубы. Построить пьезометрическую линию параллельно напорной, но ниже ее на величину скоростного напора $V^2/2g$.

Ответ: V_1 =4,64 м/с, V_2 =10,45 м/с, на выходе из трубы $H = \frac{V_2^2}{2g}$.

5. По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм движется нефть с кинематическим коэффициентом вязкости $\nu = 0{,}3$ см^2/с. Определить: а) режим движения нефти при скорости $V = 0{,}5$ м/с; б) скорость, при которой турбулентный режим движения перейдет в ламинарный.

Ответ: а) $\mathrm{Re} = 1666$, $\mathrm{Re}_{кр} = 2320$, $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{кр}$, режим движения ламинарный;

б) $V = 0{,}7$ м/с.

Уравнение Бернулли для вязкой жидкости. Расчет трубопроводов.

Уравнение Бернулли с учетом потерь напора. Определение потерь. Расчет трубопроводов.

Контрольные задания
Вопросы для самопроверки

1. Записать уравнение Бернулли с учетом потерь напора.
2. Виды потерь напора, их определение.
3. Зависимость коэффициента трения λ от числа Рейнольдса и шероховатости. Диаграмма Мурина.
4. Дать определение короткого и длинного трубопровода.
5. Три типа задач по расчету трубопроводов.

Задачи для самопроверки

1. Определить потери напора по длине в стальном нефтепроводе длиной $l = 1000$ м с шероховатостью стенок $\Delta = 0{,}3$ мм при расходе

нефти 180 м^3/ч, если кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 0{,}8$ см^2/с, а диаметр трубопровода: а) 200 мм; б) 100мм.

Указание. Рассчитать среднюю скорость течения и число Рейнольдса, переведя все величины в систему СИ. По формуле Альтшуля определить коэффициент гидравлического трения

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{R_e}\right)^{0{,}25}.$$

По формуле Дарси-Вейсбаха рассчитать потери по длине.

Ответ: а) $h_l = 26{,}16$ м; б) $h_l = 744{,}5$ м.

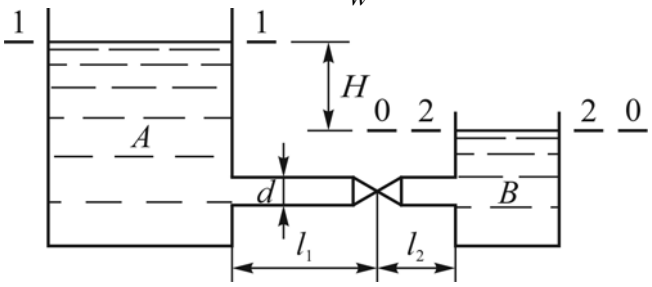
2. Определить потери напора на участке всасывающей стальной трубы насоса длиной $l = 5$ м, в начале которого установлен обратный клапан, а в конце имеется плавный поворот на 90° с радиусом поворота $R_n = 2{,}5d$, если расход воды $Q = 15$ л/с, а диаметр трубы $d = 100$ мм. Коэффициенты местных сопротивлений: клапана $\zeta_к = 10$; плавного поворота $\zeta_{90°} = 0{,}42$; шероховатость стенок трубы $\Delta = 0{,}1$ мм, вязкость воды $\nu = 1{,}01 \cdot 10^{-6}$ м^2/с.

Ответ: $h_w = 2{,}14$ м.

3. Из сосуда A в сосуд B вода перетекает по трубе диаметром $d = 50$ мм. Расход при этом составляет $Q = 1{,}5$ л/с. На трубе имеется вентиль с коэффициентом местного сопротивления $\zeta_в = 4{,}6$. Труба состоит из двух участков $l_1 = 8$ м и $l_2 = 5$ м. Шероховатость трубы $\Delta = 0{,}1$ мм, температура воды 8 °С. Определить разницу уровней воды в сосудах H.

Указание. Выбираем плоскость сравнения 0-0 по уровню жидкости в сосуде B, а так же сечения 1-1 и 2-2. Записываем уравнение Бернулли, после его преобразования получаем

$$H = h_w.$$



Потери в трубе для условий задачи имеют вид

$$h_w = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g} + (\zeta_{вх} + \zeta_в + \zeta_{вых}) \frac{V^2}{2g}.$$

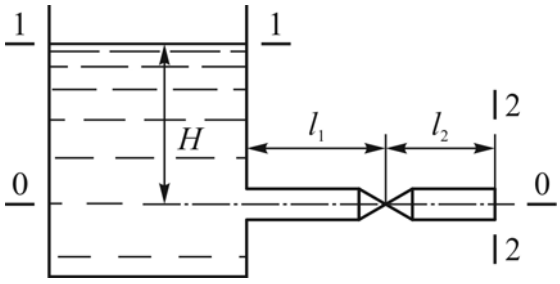
Из уравнения расхода вычисляем среднюю скорость $V = 4Q / \pi d^2$, число Рейнольдса $\mathrm{Re} = Vd / \nu$, коэффициент трения по формуле Альтшуля

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

Из таблицы местных гидравлических сопротивлений находим $\zeta_{вх} = 1$ и $\zeta_{вых} = 1$. Рассчитаем потери напора h_w.

Ответ: $H = 0{,}4$ м.

4. Вода вытекает в атмосферу из открытого резервуара по трубе, состоящей из двух участков длиной $l_1 = l_2 = 2{,}5$ м, Диаметр трубы $d = 50$ мм, шероховатость стенок трубы $\Delta = 0{,}1$ мм, температура воды $t = 10$ °С. На трубе имеется вентиль $\zeta_в = 4{,}6$, Определить расход воды в трубе, если напор в резервуаре составляет $H = 5{,}5$ м.



Указание. Выбираем плоскость сравнения по оси трубы, а сечения потока 1-1 по поверхности жидкости и 2-2 на выходе из трубы. Запишем уравнение Бернулли

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_w.$$

Преобразуем уравнение Бернулли к условиям задачи $z_1 = H$, $z_2 = 0$, $P_1 = P_2 = P_{ат}$, $V_1 = 0$, т.к. скорость течения в резервуаре пренебрежимо мала по сравнению со скоростью в трубе. После преобразований

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + h_w.$$

Обозначим скорость на выходе $V_2 = V$ и запишем потери напора

$$H = \frac{V^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d}\frac{V^2}{2g} + \left(\zeta_{вх} + \zeta_{в}\right)\frac{V^2}{2g},$$

выразим скорость течения в трубе

$$V = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda \frac{l}{d} + \zeta_{вх} + \zeta_{в}}},$$

$\zeta_{вх} = 0{,}5$ – коэффициент местного сопротивления на входе в трубу.

Коэффициент гидравлического трения λ определим по формуле Шифринсона, предположив, что течение происходит в квадратичной области сопротивления

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{\Delta}{d}\right)^{0{,}25},$$

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{0{,}1}{50}\right)^{0{,}25} = 0{,}023,$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}8 \cdot 5{,}5}{1 + 0{,}023\frac{5}{0{,}05} + 0{,}5 + 4{,}6}} = 3{,}58 \text{ м/с}.$$

Расход жидкости

$$Q = V\frac{\pi d^2}{4},$$

$$Q = 3{,}58\frac{3{,}14 \cdot 0{,}05^2}{4} = 0{,}007 \text{ м}^3\text{/с (7 л/с)}.$$

Уточним коэффициент трения λ. Рассчитаем число Re

$$\mathrm{Re} = \frac{Vd}{\nu},$$

при 20 °С $\nu = 1{,}01 \cdot 10^{-6}$ м^2/с [1]

$$\mathrm{Re} = \frac{3{,}58 \cdot 0{,}05}{1{,}01 \cdot 10^{-6}} = 177228.$$

По формуле Альтшуля

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{0{,}1}{50} + \frac{68}{177228}\right)^{0{,}25} = 0{,}024\,.$$

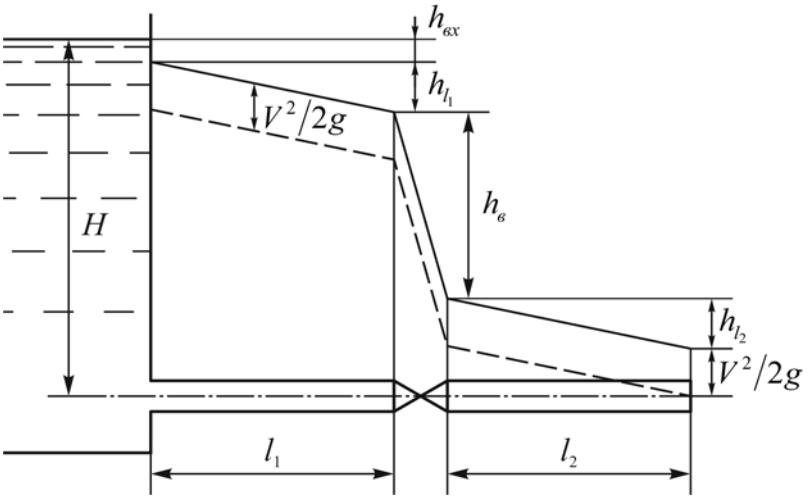
Отличие λ от ранее принятого составляет менее 5%, поэтому расчет считаем законченным.

Ответ: 7 л/с.

5. По результатам решения предыдущей задачи построить напорную и пьезометрические линии.

Полный напор в начале трубы составляет *H*. На входе в трубу теряется часть потери напора на местном сопротивлении

$$h_{вх} = \zeta_{вх}\frac{V^2}{2g},\ h_{вх} = 0{,}5\frac{3{,}58^2}{2\cdot 9{,}81} = 0{,}327\ \text{м}.$$



На прямолинейном участке трубы l_1 линейные потери напора составят

$$h_l = \lambda\frac{l_1}{d}\frac{V^2}{2g},\ h_l = 0{,}23\frac{2{,}5}{0{,}05}\frac{3{,}58^2}{29{,}81} = 0{,}75\ \text{м}.$$

Напорная линия идет с падением h_l на длине l_1. Потери напора на вентиле

$$h_в = \zeta_в\frac{V^2}{2g},\ h_в = 4{,}6\frac{3{,}58^2}{2\cdot 9{,}81} = 3{,}0\ \text{м}.$$

На участке l_2 линейные потери такие же как и на участке l_1, так как длины участков равны

$$h_{l_1} = h_{l_2} = 0{,}75\ \text{м}.$$

На конце трубы полный напор равен скоростному напору $V^2/2g$.

Пьезометрическая линия располагается параллельно напорной и отстоит от нее на величину скоростного напора $V^2/2g$.

Оценка знаний студентов

Студент может самостоятельно оценить степень своей подготовки, для этого необходимо ответить на вопросы и решить контрольные задачи из модуля.

Примерная оценка знаний показана в таблице

Контрольные задания	Количество вопросов и задач	Количество правильных ответов на оценку		
		«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»
один модуль	10	8…9	6…7	5
три модуля 2, 3, 4	30	24…27	18…23	15…17
три модуля 5, 6, 7	30	24…27	18…23	15…17
шесть модулей 2, 3, 4, 5, 6, 7	60	48…54	36…47	30…35
модули 1…7	70	52…58	80…51	35…26

Список литературы

1. Шестопал А. О. Сборник задач с примерами решения / Волгогр. гос. архит.− строит. ун − т. Волгоград : ВолгГАСУ, 2019. − 108 с.
2. Гидравлика: методические указания для решения задач. Ч. 1. Гидростатика / М − во образования и науки Росс. Федерации ; Волгогр. гос. архит. − строит. ун − т.; сост. В.А. Каныгин, Е.В. Цветкова. Волгоград: ВолгГАСУ, 20. − 43 с.
3. Гидравлика [электронный ресурс] : методические указания для решения задач. Ч. 1. Гидростатика / М − во образования и науки Росс. Федерации ; Волгогр. гос. архит. − строит. ун − т.; сост. В. А. Каныгин, Е. В. Цветкова. Волгоград : ВолгГАСУ, 2019.

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 09.06.2015.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,6. Объем данных 412 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
http://www.vgasu.ru, info@vgasu.ru