

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»
Проректор по учебно-
методической работе

_____ Ю.А. Устименко
«02» сентября 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.В.18 Гидравлика**

Направление подготовки: **08.03.01 Строительство**
Направленность (профиль): **Промышленное и гражданское строительство**
Форма обучения: очная
Курс – 2
Семестр – 4
Всего зачетных единиц – 2, часов – 72
Форма отчетности: зачет – 4 семестр.

Программу разработала
кандидат педагогических наук Кислякова Е.В.

Одобрена на заседании кафедры
«26» августа 2020 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой _____

Смоленск
2020

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина Гидравлика включена часть, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (направленность (профиль) – Промышленное и гражданское строительство).

Для освоения дисциплины Гидравлика студент должен обладать базовыми знаниями и умениями, полученными в ходе изучения таких дисциплин, как Математический анализ, Алгебра и геометрия, Физика, Черчение, Инженерная графика, Архитектурно-строительное черчение.

В результате изучения дисциплины Гидравлика студент приобретает знания и умения, необходимые для освоения дисциплины Водоснабжение и водоотведение и выполнения курсового проекта в рамках данной дисциплины.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ПК-2. Способен разрабатывать проект производства работ	Знать: технические условия, строительные нормы и правила и другие нормативные документы по проектированию, технологии, организации строительного производства; основные положения по организации и управлению строительством; единую систему технологической подготовки производства; технические условия и другие нормативные материалы по разработке и оформлению технологической документации; состав проекта организации строительства и проекта производства работ; конструктивные схемы зданий и последовательность их возведения, методы расчета конструкций зданий и сооружений. Уметь: разрабатывать проектно-технологическую документацию; пользоваться компьютером с применением специализированного программного обеспечения. Владеть: навыками подготовки исходных данных для разработки проекта производства работ; разработки проекта производства работ в соответствии с требованиями строительных норм и правил в составе проекта организации строительства; выполнения привязки инвентарных временных зданий; разработка мероприятий по удешевлению строительства;; разработки нормативов на отдельные виды работ, не включенные в действующие справочники для оперативного планирования строительного производства.

3. Содержание дисциплины

Вводные сведения. Основные физические свойства жидкостей и газов. Предмет изучения гидравлики, краткие исторические сведения. Жидкости и газы. Основные физические свойства жидкостей: плотность, удельный вес, сжимаемость, тепловое расширение, вязкость. Модель идеальной (невязкой) жидкости.

Гидростатика. Равновесие жидкости. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Геометрический и энергетический смысл основного уравнения гидростатики. Абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление. Эпюры гидростатического давления. Приборы для измерения давления. Давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Центр давления.

Основы кинематики и динамики жидкостей и газов. Задачи кинематики и динамики жидкостей. Аналитические методы исследования движения жидкости (метод Лагранжа и метод Эйлера). Струйчатая модель движения жидкости. Поток жидкости и его параметры.

Уравнение неразрывности. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера). Уравнение Бернулли и его практические применения. Геометрический и энергетический смысл уравнения Бернулли. Измерение скорости и расхода жидкости.

Гидравлические сопротивления. Режимы движения вязкой жидкости. Турбулентный режим движения и его основные характеристики. Виды гидравлических сопротивлений. Потери напора по длине при равномерном установившемся движении жидкости. Формулы Вейсбаха-Дарси и Шези. Турбулентное равномерное движение жидкости в трубах. Графики Никурадзе. Зависимости для коэффициента гидравлического трения и коэффициента Шези. Местные гидравлические сопротивления.

Расчет напорных трубопроводов. Трубопроводы и их виды. Гидравлический расчет коротких и длинных трубопроводов. Сложные трубопроводы.

Истечение жидкости через отверстия и насадки. Основные характеристики истечения. Истечение жидкости через затопленное и незатопленное отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре. Истечение жидкости через большое отверстие. Истечение жидкости через насадки. Истечение жидкости из отверстий и насадков при переменном напоре.

Движения жидкости в открытых руслах. Особенности движения жидкости в открытых руслах. Гидравлические и геометрические характеристики открытых русел. Расчет гидравлически наиболее выгодного сечения каналов и допустимых скоростей движения воды в каналах. Равномерное движение потоков в руслах круглого замкнутого сечения.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	Введение. Основные физические свойства жидкостей и газов	1	1	–	–	–
2.	Гидростатика	13	3	4	2	4
3.	Основы кинематики и динамики жидкостей	16	4	2	6	4
4.	Гидравлические сопротивления	14	2	4	4	4
5.	Расчет напорных трубопроводов	8	2	2	–	4
6.	Истечение жидкости через отверстия и насадки	12	2	2	4	4
7.	Движение жидкости в открытых руслах	8	2	2	–	4
	ИТОГО	72	16	16	16	24

5. Виды образовательной деятельности

Занятия лекционного типа

Лекция №1. *Введение. Основные физические свойства жидкостей и газов. Гидростатика.* Предмет изучения гидравлики. Краткие исторические сведения. Жидкости. Основные физические свойства жидкостей и газов. Модели жидкостей. Силы, действующие в жидкости. Гидростатика. Равновесие жидкости. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Геометрический и энергетический смысл основного уравнения гидростатики.

Лекция №2. *Гидростатика. Давление жидкости на плоские и криволинейные поверхности.* Абсолютное, избыточное и вакуумметрическое давление. Устройство и принцип действия пьезометра и вакуумметра. Эпюры гидростатического давления. Сила

давления жидкости на плоскую поверхность. Центр давления. Сила давления жидкости на криволинейную поверхность.

Лекция №3. *Основы кинематики и динамики жидкостей.* Задачи кинематики и динамики жидкостей. Метод Лагранжа и метод Эйлера исследования движения жидкостей. Установившееся и неустановившееся движение жидкости. Основные определения струйчатой модели движения жидкости. Поток жидкости и его параметры. Уравнение неразрывности. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера). Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости.

Лекция №4. *Основы кинематики и динамики жидкостей.* Уравнение Бернулли для струйки и потока реальной жидкости. Моделирование гидродинамических явлений. Понятие подобия. Критерии геометрического и кинематического подобия. Критерии динамического подобия.

Лекция №5. *Гидравлические сопротивления.* Виды гидравлических сопротивлений. Режимы движения вязкой жидкости. Турбулентное равномерное движение жидкости в трубах. Потери напора по длине при равномерном установившемся движении жидкости. Формулы Вейсбаха-Дарси и Шези. Графики Никурадзе. Зависимости для коэффициента гидравлического трения и коэффициента Шези. Местные гидравлические сопротивления. Расширение и сужение трубы. Другие виды местных сопротивлений: диафрагма, закругление трубы, регулирующая арматура.

Лекция №6. *Расчет напорных трубопроводов.* Общие сведения по гидравлическому расчету трубопроводов. Расчет коротких трубопроводов. Расчет длинных трубопроводов. Расчет сложных трубопроводов: разветвленные и параллельные трубопроводы.

Лекция №7. *Истечение жидкости через отверстия и насадки.* Основные характеристики истечения. Истечение жидкости через отверстие в тонкой стенке при постоянном напоре. Истечение жидкости через большое отверстие. Истечение жидкости через насадки. Истечение жидкости из отверстий и насадков при переменном напоре.

Лекция №8. *Движение жидкости в открытых руслах.* Общие положения. Гидравлические и геометрические характеристики открытых русел. Гидравлически наивыгоднейшее сечение каналов. Допустимые скорости движения воды в каналах. Равномерное движение потоков в руслах круглого замкнутого сечения.

Занятия семинарского типа

Практические занятия

Практическое занятие №1. *Гидростатическое давление в точке*

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Какое состояние жидкости называется равновесным? При каких условиях жидкость находится в состоянии равновесия?
- 2) Дайте определение гидростатического давления, каковы его свойства.
- 3) Запишите основное уравнение гидростатики. Каков геометрический и энергетический смысл этого уравнения?
- 4) Опишите устройство и принцип действия пьезометра. Какое давление измеряет пьезометр, почему это давление также называют манометрическим?
- 5) Опишите устройство и принцип действия вакуумметра. Какое давление измеряет вакуумметр?

Задачи для решения на занятии

- 1) Два открытых сообщающихся резервуара заполнены жидкостями разного удельного веса $\gamma_1 = 8500 \frac{H}{м^3}$ и $\gamma_2 = 10000 \frac{H}{м^3}$. Разность уровней жидкостей в резервуарах $h = 1,2 м$. Определите величины h_1 и h_2 , характеризующие положение границы раздела жидкостей.

2) Определите разность давлений в точках A и B , находящихся на одном уровне в двух трубопроводах, заполненных водой при температуре 20°C , если разница уровней ртути в дифференциальном манометре равна 520 мм .

3) Определите давление, измеряемое чашечным микроманометром, если известно, что в него залита жидкость плотностью 800 кг/м^3 , угол наклона $\alpha = 30^\circ$, расстояние $l = 30\text{ мм}$. Как изменится расстояние l , если в микроманометр залить другую жидкость плотностью 900 кг/м^3 ?

4) На вертикальном газовом стояке установлен манометр, показания которого $3,0\text{ кПа}$. Определите манометрическое давление в сечении стояка, расположенном на 25 м выше места подключения манометра. Плотность газа $0,80\text{ кг/м}^3$, плотность окружающего воздуха $1,25\text{ кг/м}^3$.

5) Механический мановакуумметр, соединенный трубкой с трубопроводом на расстоянии $0,2\text{ м}$ от его оси, поднят на высоту 1 м от места присоединения. Трубопровод и трубка заполнены водой при температуре 20°C . Показание мановакуумметра $0,5\text{ изб (ат)}$. Определите давление на оси трубопровода.

Задачи для самостоятельной работы

6) Определите, на какую высоту поднят мановакуумметр, если известно, что абсолютное давление на оси трубопровода $1,0\text{ ат}$, расстояние от оси трубопровода до места присоединения трубки $0,3\text{ м}$. Показания мановакуумметра $0,3\text{ вак. (ат)}$, трубопровод заполнен водой при

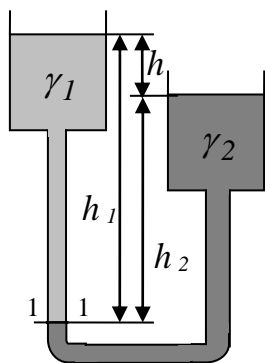


Рис. К задаче 1

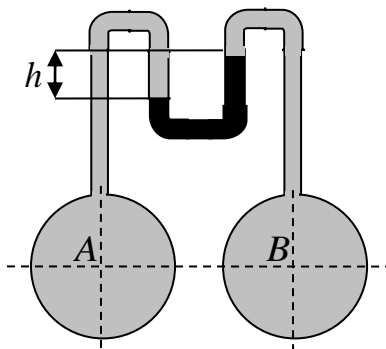


Рис. К задаче 2

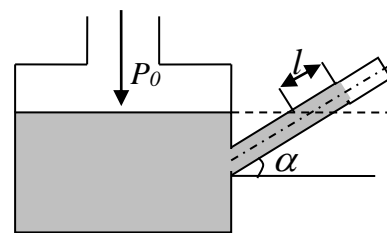


Рис. К задаче 3

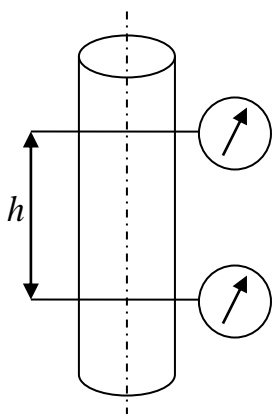


Рис. К задаче 4

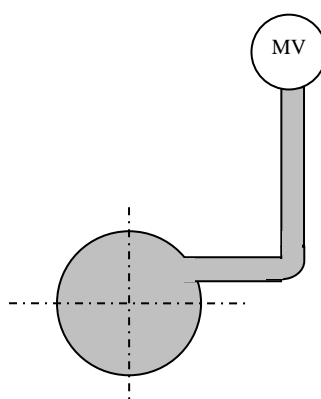


Рис. К задаче 5

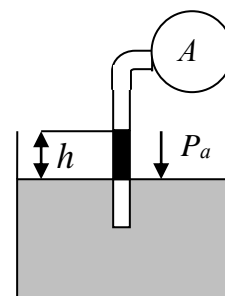


Рис. К задаче 7

температуре 20°C .

7) Определите величину вакуумметрического давления в цилиндре A , заполненном воздухом, если в трубке жидкостного вакуумметра ртуть поднялась на высоту 580 мм .

Практическое занятие №2. Гидростатическое давление на поверхность

Вопросы для подготовки к занятию

1) Как определить силу избыточного и абсолютного давления жидкости на плоскую поверхность?

2) Дайте определение центра давления. Как определить положение центра давления жидкости на плоскую поверхность?

3) Дайте определение тела давления. Приведите примеры.

4) Как определить силу избыточного давления жидкости на криволинейную поверхность?

5) Как определить направление силы избыточного давления жидкости на криволинейную поверхность?

Задачи для решения на занятии

1) Определите силу давления воды на круглую крышку люка диаметром 1,1 м, закрывающую отверстие на наклонной плоской стенке. Угол наклона стенки $\alpha = 60^\circ$. Длина наклонной стенки от уровня воды до верха люка 1,2 м. Найдите точку приложения этой силы.

2) Замкнутый резервуар разделен на две части плоской перегородкой, имеющей квадратное отверстие со стороной 200 мм, закрытое крышкой. Давление над водой в левой части резервуара определяется показанием манометра $P_m = 0,8 \text{ ат}$, давление воздуха в правой части – показанием мановакуумметра $P_v = 0,1 \text{ вак (ат)}$. Определите величину результирующей силы давления на крышку, если высота жидкости над верхним краем крышки составляет 500 мм.

3) Цилиндрический затвор диаметром 1,0 м перегораживает прямоугольный канал шириной 3 м. Глубина воды до затвора 2,5 м. Определите силу давления, действующую на цилиндрическую часть затвора.

4) На водосливной плотине установлен сегментный затвор шириной 2,5 м, радиусом 3,0 м и углом $\alpha = 60^\circ$. Глубина воды до затвора 3,6 м. Определите силу гидростатического давления на затвор.

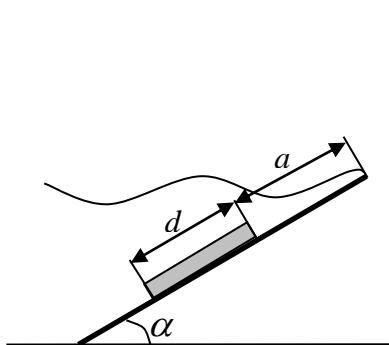


Рис. К задаче 1

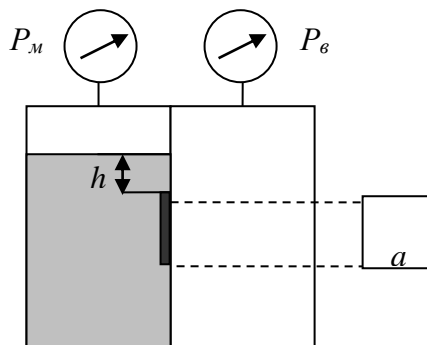


Рис. К задаче 2

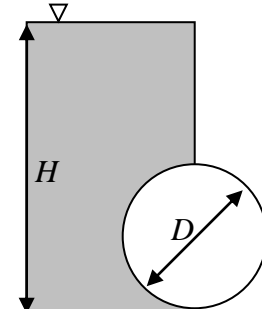


Рис. К задаче 3

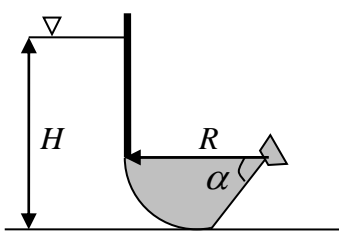


Рис. К задаче 4

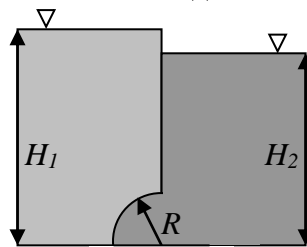


Рис. К задаче 5

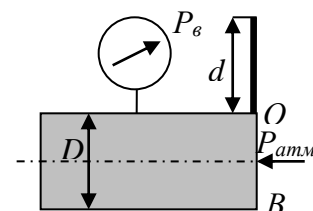


Рис. К задаче 6

Задачи для самостоятельной работы

5) В призматическом сосуде шириной 1,5 м установлена перегородка, имеющая в своей нижней части форму четверти цилиндрической поверхности с радиусом 0,4 м. Определите силу давления воды на криволинейную часть перегородки, если глубина воды слева 1,6 м, а справа 0,8 м.

6) Определите величину силы, которую нужно приложить к рычагу, чтобы повернуть затвор OB вокруг оси O для выпуска воды из трубы. Показания вакуумметра 56 мм рт. ст. , диаметр трубы 0,4 м, длина рычага 0,2 м.

Практическое занятие №3. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Чем отличаются методы Эйлера и Лагранжа, применяемые для изучения движения жидкости? Какой из этих методов используют в гидродинамике и почему?
- 2) Какое движение жидкости называют стационарным? нестационарным?
- 3) Дайте определение линии тока, трубки тока, элементарной струйки и потока жидкости.
- 4) Что называют живым сечением, смоченным периметром, гидравлическим радиусом и гидравлическим диаметром и как эти величины вычислить?
- 5) Дайте определение расхода жидкости. Запишите уравнение неразрывности для потока жидкости.
- 6) Запишите уравнение Бернулли для струйки идеальной жидкости, поясните геометрический и энергетический смысл величин, в него входящих.
- 7) Каково устройство и принцип действия расходомера Вентури?
- 8) Каково устройство и принцип действия трубки полного напора (Пито)?

Задачи для решения на занятии

- 1) Определите, на какую высоту поднимется вода в трубке, один конец которой присоединен к суженному сечению трубопровода диаметром 40 мм, а другой опущен в воду. Расход воды в трубке 15 л/с, избыточное давление в расширенной части трубопровода диаметром 100 мм составляет $4,9 \cdot 10^4$ Па.
- 2) На нагнетательном патрубке вентилятора диаметром 200 мм, подающего воздух плотностью $1,2 \text{ кг/м}^3$ с расходом $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ при избыточном давлении $1,0 \text{ кПа}$, установлен диффузор с диаметром выходного сечения 400 мм. Определите давление на выходе диффузора.
- 3) Трубка полного напора установлена по оси трубопровода диаметром 400 мм. К трубке присоединен ртутный дифференциальный манометр. Определите расход воды в трубопроводе, если показание дифференциального манометра равно 320 мм рт.ст. Отношение максимальной скорости к средней в трубопроводе составляет 1,15.

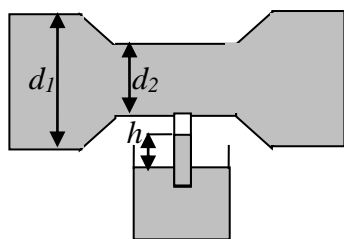


Рис. К задаче 1

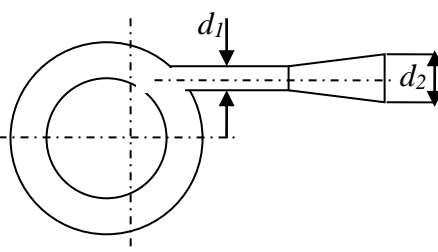


Рис. К задаче 2

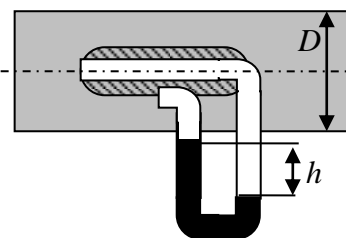


Рис. К задаче 3

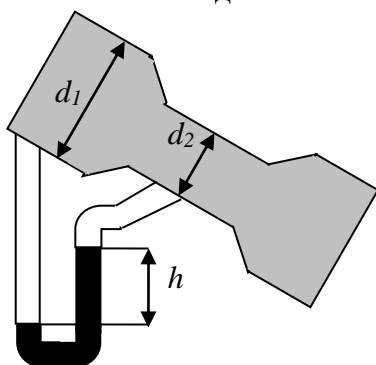


Рис. К задаче 4

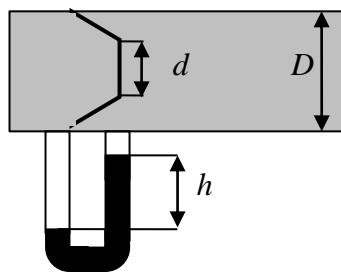


Рис. К задаче 5

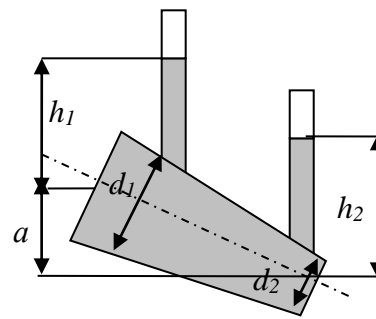


Рис. К задаче 6

- 4) Определите теоретический расход воды, проходящий через водомер Вентури, установленный под углом α к горизонту, если разность уровней ртути в дифференциальном манометре равна 700 мм рт. ст. Большой и меньший диаметры расходомера соответственно равны 150 мм и 70 мм.

Задачи для самостоятельной работы

5) На трубопроводе диаметром 100 мм для измерения расхода воды установлено сопло диаметром 80 мм. Определите расход воды, если показания ртутного дифференциального манометра 20 мм рт. ст., а коэффициент расхода сопла $\mu=0,7$.

6) По наклонной трубе, суживающейся от диаметра 75 мм до диаметра d_2 , протекает расход воды 3,0 л/с. Определите диаметр d_2 , если заданы показания пьезометров $h_1=8$ мм и $h_2=5$ мм, расстояние $a=15$ см.

Практическое занятие №4. Гидравлические сопротивления по длине

Вопросы для подготовки к занятию

1) Опишите ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости.

2) Что характеризует и как определяется число Рейнольдса? Чему равно число Рейнольдса для ламинарного и турбулентного режимов движения?

3) Нарисуйте схематически график зависимости потерь напора по длине от скорости ($h_l = f(V)$) и укажите участки, соответствующие ламинарному и турбулентному режимам движения жидкости.

4) Дайте определение понятий: сопротивления по длине, потери напора по длине. Запишите формулу Вейсбаха-Дарси для определения потерь напора по длине. В каких случаях применяется данная формула?

5) Дайте определение эквивалентной шероховатости. Для чего вводится эта характеристика трубопровода?

6) Что собою представляют графики Никурадзе? Какие характерные зоны движения жидкости выделяют на графиках и от каких величин в этих зонах зависит коэффициент гидравлического трения λ ?

7) Как определить коэффициент гидравлического трения λ ?

Задачи для решения на занятии

1) Вода с расходом 10 л/с протекает по горизонтальной трубе кольцевого сечения, состоящей из двух новых концентрических оцинкованных труб. Внутренняя труба имеет наружный диаметр $D_1=10$ см, а наружная труба – внутренний диаметр $D_2=12$ см. Найдите потери напора на трение, возникающие в трубе длиной 100 м.

2) По стальному трубопроводу диаметром 100 мм вода подается на расстояние 1000 м с расходом 15 л/с. Определите, как изменится пропускная способность трубопровода, если вместо запроектированных труб будут уложены чугунные трубы диаметром 80 мм и длиной 400 м и стальные трубы диаметром 120 мм и длиной 600 м. Потери напора по длине во втором случае считать такими же, как в первом.

3) Определите потери давления на участке новой бесшовной стальной трубы длиной 10 м и диаметром 125 мм, если расход воды 30 л/с, температура 30°C.

4) Подача воздуха в количестве $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$ осуществляется по трубопроводу прямоугольного сечения со сторонами 12 см и 20 см длиной 20 м. Как изменятся потери напора по длине при замене трубы прямоугольного сечения на круглую при сохранении неизменным расхода воздуха и скорости в трубе? Кинематическая вязкость воздуха $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Трубы старые стальные бесшовные.

Задачи для самостоятельной работы

5) Определите диаметр нового стального трубопровода длиной 1 км, который должен пропускать расход воды 20 л/с при потерях давления 0,2 МПа. Температура воды 30°C.

6) При ламинарном режиме движения жидкости в горизонтальном трубопроводе диаметром 30 см расход составил 260 л/с, а пьезометрическая высота на участке длиной 250 см уменьшилась на 30 см. Определите кинематическую вязкость перекачиваемой жидкости.

Практическое занятие №5. Местные сопротивления

Вопросы для подготовки к занятию

1) Дайте определение местного сопротивления. Объясните, почему в местных сопротивлениях происходят потери напора.

2) Запишите формулу Вейсбаха для определения местных потерь напора и поясните смысл величин в нее входящих.

3) Объясните, почему происходят потери напора при расширении трубопровода. Запишите формулу для определения потерь напора при расширении трубопровода. Чему равен коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении трубопровода?

4) Объясните, почему происходят потери напора при сужении трубопровода. Запишите формулу для определения потерь напора при сужении трубопровода. Чему равен коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода?

5) Запишите формулы для определения потерь напора в диафрагме и отводе, поясните смысл величин, входящих в эти формулы.

Задачи для решения на занятии

1) Вычислите эквивалентную длину местного сопротивления в трубопроводе из новых чугунных труб, если коэффициент местного сопротивления в формуле Вейсбаха $\xi=5$ и расход воды $Q=0,05 \text{ м}^3/\text{с}$, диаметр трубопровода $d = 200 \text{ мм}$. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

2) В трубопроводе диаметром $D=200 \text{ мм}$ установлена диафрагма. Показания манометров, установленных до и после диафрагмы, соответственно равны $p_1=65 \text{ кПа}$ и $p_2=16 \text{ кПа}$. Определите диаметр отверстия диафрагмы d , если расход воды $Q=60 \text{ л/с}$.

3) По трубопроводу, внезапно суживающемуся от диаметра $D=250 \text{ мм}$ до диаметра $d=100 \text{ мм}$, протекает вода расходом $Q=70 \text{ л/с}$. Определите разность уровней ртути Δh , которую показывает дифференциальный ртутный манометр. Потерями напора по длине пренебречь.

4). При внезапном расширении горизонтального трубопровода средняя скорость в трубе большого диаметра равна $1,2 \text{ м/с}$. Диаметр большей трубы в 2 раза больше, чем диаметр меньшей трубы. Определите разность показаний пьезометров, один из которых установлен в узком сечении, а другой – в широком.

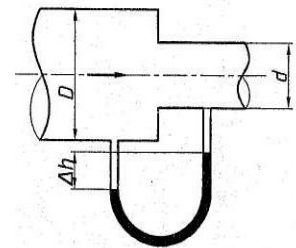


Рис. К задаче 3

Задачи для самостоятельной работы

5) Трубопровод диаметром 250 мм внезапно суживается до диаметра 100 мм . Расход воды в трубопроводе 80 л/с . Определите разность показаний пьезометров, один из которых установлен в узком, а другой – в широком сечении.

6) На трубопроводе диаметром 100 мм для регулирования расхода установлена задвижка. В ртутном дифференциальном манометре, присоединенном к трубе до и после задвижки, установилась разность уровней ртути 250 мм . Определите коэффициент местного сопротивления задвижки, если расход воды в трубопроводе 20 л/с .

Практическое занятие №6. Расчет напорных трубопроводов

Вопросы для подготовки к занятию

1) Какие трубопроводы называются простыми? Назовите виды простых трубопроводов.

2) Дайте определение короткого трубопровода. Приведите примеры коротких трубопроводов.

3) Запишите формулу для определения пропускной способности трубопровода и поясните смысл величин в нее входящих.

4) Запишите формулу для определения коэффициента расхода трубопровода постоянного диаметра и поясните смысл величин в нее входящих.

5) Запишите формулу для потерь напора в коротком трубопроводе.

6) Какой трубопровод называют длинным? Какими величинами можно пренебречь при расчете длинных трубопроводов? Чему равен полный напор для длинного трубопровода?

7) Как определить потери напора по длине в случае длинного трубопровода? Запишите трубопроводную формулу и поясните смысл величин, в нее входящих.

8) Как и по каким формулам проводится расчет разветвленного трубопровода? параллельного трубопровода?

Задачи для решения на занятии

1) Вода из водоема поступает в береговой колодец по самотечной трубе длиной 100 м и диаметром 100 мм. Определите, при какой разнице уровней воды H в водоеме и колодце расход воды в трубе составит 9,4 л/с. Труба бетонная, бывшая в употреблении, на входе в трубу установлена сетка. Температура воды 20°C.

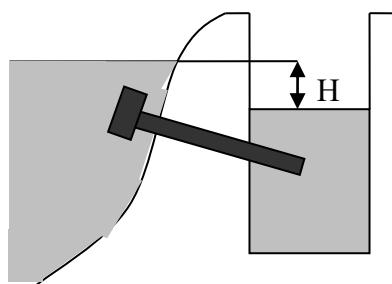


Рис. К задаче 1

2) Какое давление p_0 необходимо поддерживать в резервуаре ($H_1=2$ м), чтобы через кран, расположенный на высоте $H_2=20$ м и имеющий коэффициент сопротивления $\zeta=3$, проходил расход 3 м³/час? На участках трубопровода длиной $l_1=15$ м и $l_2=10$ м труба имеет диаметры $d_1=40$ мм и $d_2=20$ мм. Температура воды 20°C, эквивалентная шероховатость стенок трубопровода 0,2 мм.

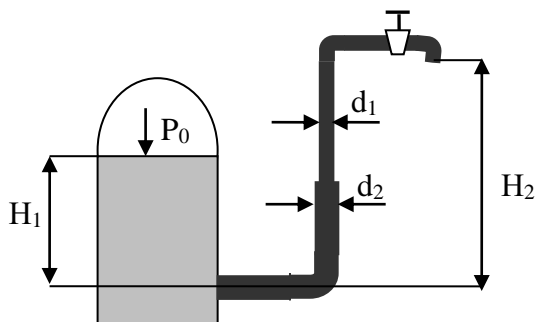


Рис. К задаче 2

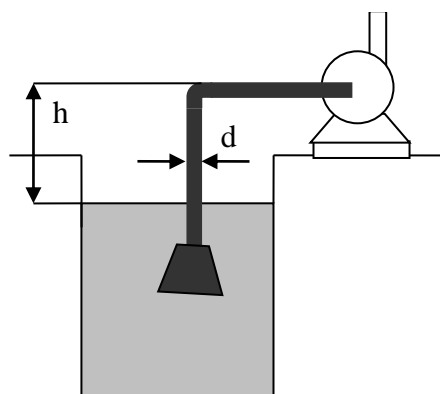


Рис. К задаче 3

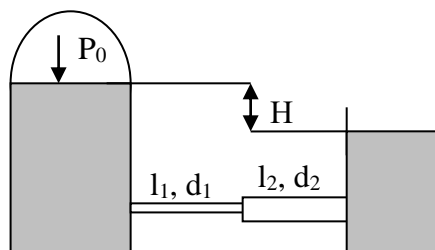


Рис. К задаче 6

3) Центробежный насос осуществляет забор воды из водоприемного колодца. Длина всасывающей трубы насоса 12 м, диаметр 200 мм. На трубе имеется колено с углом 90°, на входе в трубу установлена сетка. Температура воды в водоеме 20°C. Вакуумметрическое давление на входе в насос, согласно его кавитационной характеристике равно 53 кПа при расходе 55 л/с. Определите допустимое расстояние от оси насоса до уровня воды в колодце h . Труба стальная сварная новая.

4) Найдите потери по длине трубопровода, состоящего из последовательно соединенных труб. Первая – стальная труба длиной 800 м и диаметром 175 мм. Вторая – чугунная длиной 900 м и диаметром 200 мм. Расход воды 0,03 м³/с.

5) Из водонапорной башни в трубопровод, состоящий из стальных труб, подается вода с расходом 0,10 м³/с. Длина трубы до разветвления $l_1=800$ м, диаметр $d_1=300$ мм. В сечении В-В трубопровод разветвляется на два трубопровода, длины и диаметры которых

соответственно равны: $l_2 = 900 \text{ м}$, $d_2 = 200 \text{ мм}$, $l_3 = 1200 \text{ м}$, $d_3 = 250 \text{ мм}$. Определите расходы в каждой ветви трубопровода. Геодезические отметки подачи воды $z_2 = 3 \text{ м}$, $z_3 = 5 \text{ м}$. Уровень воды в башне находится на высоте $H = 20 \text{ м}$. Местными сопротивлениями можно пренебречь.

Задачи для самостоятельной работы

6) Вода ($t = 20^\circ\text{C}$) из закрытого резервуара подается в приемный резервуар по трубопроводу, состоящему из двух последовательно соединенных труб диаметрами 40 мм и 70 мм и длинами 50 м и 70 м . Разность уровней в резервуарах постоянна и равна $4,5 \text{ м}$. Определите давление p_0 , которое необходимо создать, чтобы обеспечить расход воды $3,2 \text{ л/с}$. Эквивалентная шероховатость стенок трубопровода $0,15 \text{ мм}$.

7) В водопроводе между точками В и С установлены три параллельных стальных трубопровода. Расход воды до разветвления $0,32 \text{ м}^3/\text{с}$. Длины и диаметры трубопроводов: $l_1 = 400 \text{ м}$, $l_2 = 500 \text{ м}$, $l_3 = 700 \text{ м}$, $d_1 = 250 \text{ мм}$, $d_2 = 350 \text{ мм}$, $d_3 = 300 \text{ мм}$. Определите расходы в отдельных стальных трубопроводах и потери напора между точками В и С.

Практическое занятие №7. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Вопросы для подготовки к занятию

1) Дайте определение затопленного и незатопленного отверстия. При каких условиях отверстие считается малым? большим?

2) Запишите формулу для определения скорости истечения жидкости из отверстия и поясните смысл величин в нее входящих. Будет ли отличаться формула для скорости истечения при затопленном и незатопленном отверстии?

3) Запишите формулу для определения расхода при истечении жидкости из отверстия и поясните смысл величин в нее входящих.

4) Что называют насадком? Какие типы насадков существуют и какова их область применения?

5) Как определить коэффициенты скорости φ и расхода μ для насадка?

6) Как определить время опорожнения резервуара через отверстие или насадок в боковой стенке?

7) Как определить время, за которое произойдет выравнивание уровней жидкости в сообщающихся резервуарах?

Задачи для решения на занятии

1) Резервуар разделяется на две части вертикальной стенкой, в которой имеется круглое отверстие диаметром $d_1 = 100 \text{ мм}$. Глубина воды в левой части резервуара 3 м . Расход, протекающий через отверстие $12,5 \text{ л/с}$. Определите глубину воды в правой части резервуара и диаметр отверстия d_2 в правой части резервуара. Расстояние от дна резервуара до оси отверстий $a = 0,8 \text{ м}$. Коэффициент расхода отверстий $\mu = 0,75$.

2) В теле плотины уложены две новые бетонные водопропускные трубы. Глубина воды перед плотиной (в верхнем бьефе) 12 м , а за плотиной (в нижнем бьефе) 3 м . Определите диаметр труб, длина которых равна 6 м , если расход воды, пропускаемый двумя трубами, равен $30 \text{ м}^3/\text{с}$.

3) Определите время, за которое разность уровней воды в двух резервуарах уменьшится с 10 м до 2 м . Уровень воды в правом резервуаре поддерживается постоянным, диаметр левого резервуара 1 м . Резервуары соединены между собой трубопроводом длиной 10 м и диаметром 15 мм . Эквивалентная шероховатость трубопровода $0,5 \text{ мм}$.

4) Два резервуара, уровни воды в которых поддерживаются постоянными, а напоры равны соответственно 25 м и 3 м , соединены между собой новой стальной сварной трубой длиной 4 см и диаметром 10 мм . Определите расход воды, протекающей из одного резервуара в другой.

5) Два резервуара, наполненные водой, сообщаются между собой через отверстие диаметром 100 мм . Глубина воды в резервуаре А, имеющем в плане размеры $a_1 = 5 \text{ м}$, $b_1 = 6$

м, равна $H_1=5$ м. В резервуаре В ($a_2 = 3$ м, $b_2=6$ м) глубина $H_2 = 1,2$ м. Определите время, необходимое для выравнивания уровней воды в резервуарах.

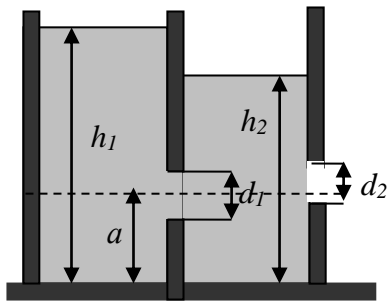


Рис. К задаче 1

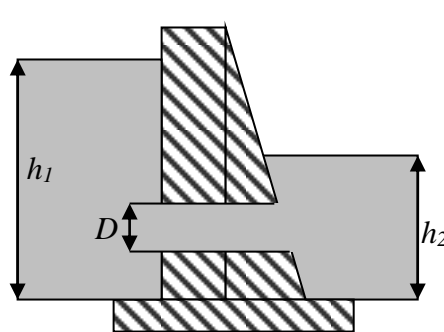


Рис. К задаче 2

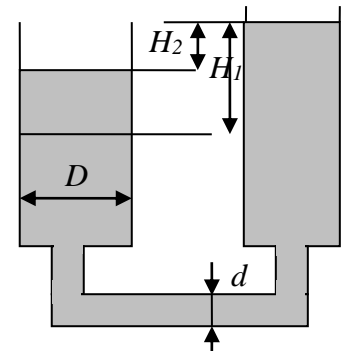


Рис. К задаче 3

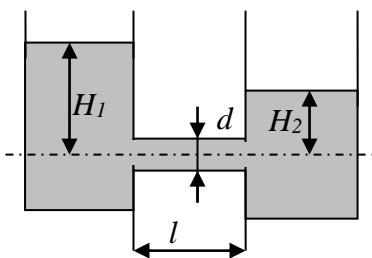


Рис. К задаче 4

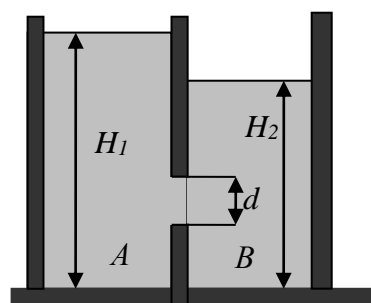


Рис. К задаче 5

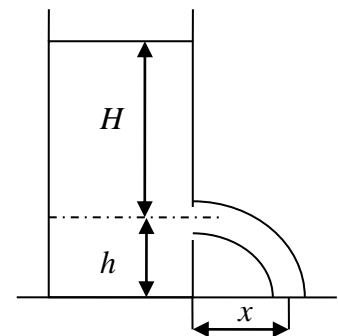


Рис. К задаче 6

Задачи для самостоятельной работы

6) Из отверстия диаметром 1 см, расположенного в тонкой стенке резервуара на высоте 1 м над поверхностью земли, вытекает вода. Напор в резервуаре поддерживается постоянным и равным 20 м. Определите расход и скорость истечения, а также на каком расстоянии от отверстия струя коснется поверхности земли.

7) Вода вытекает в атмосферу из цилиндрического резервуара диаметром 3 м через стальную трубу длиной 4 м и диаметром 100 мм. Определите время, за которое уровень воды в резервуаре понизится на 3 м, если первоначальный напор воды в резервуаре 10 м. Вычислите, на сколько изменится время понижения уровня, если длина трубы станет равной 0,4 м. Коэффициент гидравлического трения для стальной трубы принять равным $\lambda=0,025$.

Практическое занятие №8. Движение жидкости в открытых руслах

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Чем движение воды в открытых руслах отличается от напорных потоков в трубах?
- 2) Как классифицируют русла в зависимости от формы поперечного сечения? в зависимости от уклона дна?
- 3) При каких условиях возможно равномерное движение жидкости в открытом русле?
- 4) Какие геометрические характеристики русел существуют и как их рассчитать? Какие величины являются гидравлическими характеристиками русел и как их вычислить?
- 5) Где применяются безнапорные русла замкнутого сечения?
- 6) Что такое степень наполнения русла и как ее рассчитать? Как рассчитать геометрические характеристики русла круглого сечения?
- 7) Что понимают под относительными расходной и скоростной характеристиками и как их можно определить? Как вычислить расход и скорость течения жидкости в коллекторе?

Задачи для решения на занятии

1) Определите расход воды и среднюю скорость ее течения в трапециевидальном земляном канале, если его ширина по дну 5 м, глубина воды 2 м, уклон канала 0,0005, коэффициент заложения откоса 1,5. Канал проложен в песках и находится в хороших условиях эксплуатации.

2) Определите размеры трапециевидального канала для пропуска расхода $10 \text{ м}^3/\text{с}$ при заданных коэффициенте заложения откосов 1,25, уклоне 0,0004, отношении $b/h=\beta=4$. Коэффициент шероховатости $n = 0,0225$.

3) Определите расход и среднюю скорость в круглой керамической трубе, если заданы диаметр трубы 1,5 м и наполнение $h=1,3 \text{ м}$, уклон 0,005. Коэффициент шероховатости трубы $n = 0,013$.

4) Канализационный коллектор из кирпичной кладки прямоугольного сечения с размерами $b=1,5 \text{ м}$ и $c=1,4 \text{ м}$ и продольным уклоном 0,0017 имеет максимальное наполнение $h=0,8 \text{ м}$. Вместо него был установлен железобетонный коллектор круглого сечения при сохранении продольного уклона, расхода и максимального наполнения. Определите диаметр этого коллектора.

5) Определите уклон водосточного коллектора из сборного железобетона прямоугольного сечения шириной 1,4 м, который обеспечивал бы при наполнении $h=1,3 \text{ м}$ пропуск воды в количестве $2,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

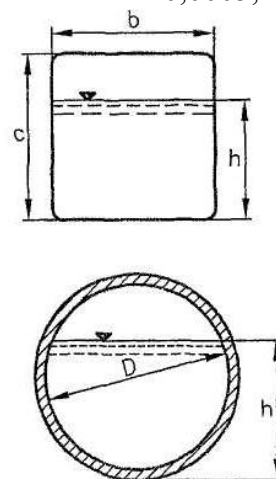


Рис. К задаче 4

Задачи для самостоятельной работы

6) Временный прямоугольный лоток грубого бетонирования шириной $b_1=4 \text{ м}$, глубиной заполнения $h_1=1,5 \text{ м}$, продольным уклоном $i_1=0,006$ заменен на трапециевидальный железобетонный с заложением откосов $m=1,5$, шириной по дну $b_2=2,8 \text{ м}$. Определите продольный уклон лотка i_2 и глубину воды в нем при условии, что его пропускная способность увеличилась в два раза, а скорость не изменилась.

7) Определите диаметр железобетонного канализационного коллектора, скорость движения в нем воды и глубину потока, если заданы расход $3 \text{ м}^3/\text{с}$, уклон $i=0,004$, степень наполнения $a=0,8$, коэффициент шероховатости бетонной поверхности $n=0,013$.

Лабораторные занятия

Лабораторная работа № 1. Измерение гидростатического давления жидкости (2 часа)

Цель работы: 1) измерить гидростатическое давление жидкости в трех точках на различной глубине; 2) подтвердить на основании опытных данных закон Паскаля; 3) построить эпюру манометрического давления.

Приборы и оборудование: виртуальная лаборатория Gilar – резервуар с предохранительным клапаном, заполненный водой; компрессор, соединенный с резервуаром через вентиль; три манометра, присоединенных к резервуару на различных высотах.

Практические задания

1) Подготовьте письменный отчет в соответствии со стандартной формой. В отчете заполните таблицу «Основные характеристики измерительных приборов».

2) В первом опыте давление на свободную поверхность воды в резервуаре равно атмосферному. Для того, чтобы обеспечить необходимое для проведения эксперимента давление на поверхности жидкости – откройте правый вентиль, сообщающийся с атмосферой.

3) Снимите показания манометров, полученные данные запишите в таблицу.

4) Рассчитайте избыточные и абсолютные давления в точках присоединения манометров. Сравните результаты вычислений с экспериментальными данными.

Результаты измерений и вычислений

Показания манометров, МПа			Погрешность манометра, МПа	Результаты вычислений, МПа					
P_1	$P_2,$	P_3		Избыточное давление			Абсолютное давление		
				$P_{1изб}$	$P_{2изб}$	$P_{3изб}$	$P_{1абс}$	$P_{2абс}$	$P_{3абс}$
Опыт №1									
Опыт №2									

5) Во втором опыте на свободную поверхность жидкости воздушная подушка должна оказывать избыточное давление. Для этого закройте правый вентиль и откройте напорный (левый) вентиль. Запустите компрессор и дождитесь, пока давление на поверхности жидкости достигнет значения, соответствующего настройке предохранительного клапана – 0,4 МПа.

6) Снимите показания манометров, результаты занесите в таблицу.

7) Рассчитайте избыточные и абсолютные давления в точках расположения манометров. Сравните результаты вычислений с экспериментальными данными.

8) На основании результатов экспериментов сделайте вывод о справедливости закона Паскаля.

9) Постройте эпюру избыточного гидростатического давления на стенку резервуара.

Контрольные вопросы:

1) Дайте определение гидростатического давления. Какими свойствами обладает гидростатическое давление?

2) Запишите основное уравнение гидростатики и поясните смысл величин, в него входящих.

3) Сформулируйте закон Паскаля. Приведите примеры применения этого закона в элементах гидропривода.

4) Дайте определение абсолютного, избыточного и вакуумметрического давления. При помощи каких приборов можно измерить эти давления в жидкости?

5) Опишите устройство и принцип действия пружинного манометра. Какое давление измеряет манометр?

6) Как построить эпюру гидростатического давления на плоскую поверхность? Как, при помощи эпюры гидростатического давления, определить давление, оказываемое жидкостью в данной точке поверхности?

7) Совпадают ли показания манометров со значениями избыточных давлений в точках их закрепления, рассчитанными теоретически. Если нет, то в чем, по вашему мнению, причина расхождения значений?

8) Подтверждают ли результаты измерений закон Паскаля? Объясните свой вывод.

9) При помощи построенной Вами эпюры гидростатического давления определите избыточное давление жидкости на стенку резервуара в трех точках, отличающихся от точек присоединения манометров.

10) Чем будут различаться эпюры абсолютного и избыточного гидростатических давлений на стенку резервуара?

Лабораторная работа №2. Изучение уравнения Бернулли (4 часа)

Цели работы: 1) определить опытным путем слагаемые, входящие в уравнение Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости в напорном трубопроводе для трех сечений; 2) определить потери напора между заданными сечениями; 3) вычислить средние скорости течения жидкости в заданных сечениях; 4) построить пьезометрическую линию и линию полного напора.

Приборы и оборудование: виртуальная лаборатория Gilar – напорный бак, трубопровод переменного сечения, задвижки, три пьезометра и три трубки Пито, заслонка, расходомер.

Практические задания

1) Подготовьте письменный отчет в соответствии со стандартной формой.

2) При закрытой задвижке установите заданный преподавателем уровень воды в баке. После заполнения бака обратите внимание на уровни воды в пьезометрах и трубках Пито. При корректной настройке установки (отсутствие воздуха в системе) уровни воды в пьезометрах и трубках Пито должны быть одинаковыми.

3) Откройте задвижку в баке. Перемещая задвижку, установите расход жидкости, заданный преподавателем. Для определения расхода следует использовать расходомер с цифровым индикатором.

4) Измерьте геометрические высоты z центров тяжести исследуемых сечений относительно заданной плоскости сравнения $0-0$. Определите уровни воды в пьезометрах и трубках Пито в исследуемых сечениях. Результаты измерений занесите в таблицу.

5) По показаниям пьезометра и трубки Пито определите скоростные высоты в заданных сечениях. Для каждого сечения вычислите сумму трех слагаемых: $z + \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}$. Сохраняется

ли полный напор в трубопроводе? Сделайте вывод о возможности применения уравнения Бернулли для идеальной жидкости к исследуемому трубопроводу.

6) Выбрав масштаб, постройте линию полного напора и пьезометрическую линию для экспериментальной установки.

Результаты измерений и вычислений

Наименование величины	Ед. изм.	Результаты		
		I-I	II-II	III-III
Геометрическая высота центра тяжести сечения	м			
Уровень воды в пьезометре (пьезометрическая высота)	м			
Уровень воды в трубке Пито	м			
Скоростная высота	м			
Полный напор в сечении	м			
Потеря полного напора (на пути между соседними живыми сечениями)	м			
Суммарная потеря полного напора	м			
Расход воды в трубопроводе	м ³ /с			
Средняя скорость движения воды	м/с			
Скоростная высота, соответствующая средней скорости	м			
Разность скоростных высот – экспериментальной и соответствующей средней скорости	м			

7) Определите потери полного напора между баком и сечением I-I, между сечениями I-I и II-II и сечениями II-II и III-III. Вычислите суммарные потери полного напора между баком и сечением III-III. Сделайте вывод о соответствии полученных результатов уравнению Бернулли для потока реальной жидкости.

8) Определите средние скорости течения воды в заданных сечениях. Для каждого сечения рассчитайте скоростную высоту, соответствующую средней скорости, и сравните ее со скоростной высотой, полученной по показаниям пьезометра и трубки Пито. Сделайте вывод о необходимости введения коэффициента Кориолиса.

9) Сделайте выводы по результатам выполнения лабораторной работы.

Контрольные вопросы

- 1) Запишите уравнение Бернулли для идеальной жидкости и поясните смысл величин в него входящих.
- 2) В чем состоит геометрический и энергетический смысл уравнения Бернулли? Геометрический смысл уравнения поясните при помощи рисунка.
- 3) Запишите уравнение Бернулли для реальной жидкости. В чем отличие уравнений Бернулли для идеальной и реальной жидкости?
- 4) Опишите устройство и принцип действия пьезометра. Как измерить пьезометрическую высоту и построить пьезометрическую линию для трубопровода?
- 5) Опишите устройство и принцип действия трубки Пито. Как в лабораторной работе определялась скоростная высота?
- 6) Почему при движении жидкости вдоль трубопровода происходят потери напора. Как в лабораторной работе определялись потери напора?
- 7) Почему средняя скоростная высота отличается от скоростной высоты в сечении, полученной по показаниям пьезометра и трубки Пито? Как учитывается это различие в уравнении Бернулли?

Лабораторная работа №3. Режимы течения жидкости (2 часа)

Цели работы: 1) убедиться на опыте в существовании ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости; 2) вычислить число Рейнольдса при ламинарном и турбулентном режимах движения; 3) исследовать зависимость потерь напора по длине трубопровода от скорости и режима течения жидкости.

Приборы и оборудование: виртуальная лаборатория Gilar – напорный бак, трубопровод, два пьезометра, емкость с чернилами и двумя трубками, расходомер.

Практические задания

- 1) Подготовьте письменный отчет в соответствии со стандартной формой.
- 2) Запишите значения диаметра трубопровода, плотности и кинематической вязкости жидкости в таблицу, рассчитайте площадь поперечного сечения трубопровода.
- 3) Откройте задвижку до появления чернильных струй в трубе. Дождитесь, пока чернильные струи распространятся по всей длине трубы, и наблюдайте ламинарный режим движения (чернильные струи не перемешиваются на всей длине трубы).

Результаты измерений и вычислений

Наименование величины	Ед. изм.	Результаты									
		Номера опытов									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расход воды	$м^3/с$										
Внутренний диаметр трубы	$м$										
Площадь поперечного сечения трубы	$м^2$										
Средняя скорость потока	$м/с$										
Кинематическая вязкость жидкости	$м^2/с$										
Число Рейнольдса	-										
Отметка уровня жидкости в левом (ближнем к баку) пьезометре	$м$										
Отметка уровня жидкости в правом пьезометре	$м$										
Потеря напора по длине	$м$										

- 4) Занесите в таблицу показания индикатора расходомера и пьезометров.
- 5) Увеличьте открытие задвижки таким образом, чтобы расход воды изменился незначительно и режим движения по-прежнему оставался ламинарным. Занесите в таблицу показания индикатора расходомера и пьезометров. Проведите еще 2 эксперимента, постепенно увеличивая открытие задвижки до тех пор, пока режим движения жидкости не станет

неустойчивым (чернильные струи начнут перемешиваться). Показания расходомера и пьезометров заносите в таблицу.

6) Проведите 6 экспериментов с турбулентным режимом движения жидкости, постепенно увеличивая открытие задвижки и заносая результаты измерений расхода и пьезометрических высот в таблицу.

7) По результатам измерений для каждого эксперимента вычислите среднюю скорость потока жидкости и число Рейнольдса. Сравните полученные значения чисел Рейнольдса с критическими, сделайте вывод.

8) По показаниям пьезометров определите потери напора по длине трубопровода для каждого эксперимента. Постройте график зависимости потерь напора по длине от скорости течения жидкости $h_l = f(V)$, на графике отметьте нижнюю $V_{кр1}$ и $V_{кр2}$ критические скорости.

9. Сделайте вывод по результатам лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1) Дайте определение ламинарного режима движения жидкости. Как движутся частицы жидкости при ламинарном режиме?

2) Дайте определение турбулентного режима движения жидкости. Как движутся частицы жидкости при турбулентном режиме?

3) Как в эксперименте ведут себя струйки чернил в жидкости при ламинарном и турбулентном режимах движения? Как объяснить наблюдаемые явления?

3) От каких параметров зависит режим движения жидкости?

4) Дайте определение числа Рейнольдса и запишите формулу для его расчета.

5) Как определить критические значения числа Рейнольдса? Каковы эти значения?

6) Как гидравлические потери напора по длине потока зависят от режима движения жидкости? Изобразите график зависимости $h_l = f(V)$ и запишите общий вид зависимостей для различных участков графика.

Лабораторная работа №4. Гидравлические сопротивления (4 часа)

Цели работы: 1) определить по экспериментальным данным значения коэффициентов гидравлического трения λ и местного сопротивления ξ для одного из видов местных сопротивлений; 2) установить область гидравлического сопротивления, в которой работали участки напорного трубопровода.

Приборы и оборудование: виртуальная лаборатория Gilar – напорный бак, трубопровод, четыре пьезометра и расходомер.

Практические задания

1) Подготовьте письменный отчет в соответствии со стандартной формой.

2) Выберите местное сопротивление, указанное преподавателем.

3) Откройте задвижку до появления линий тока. Дождитесь, пока линии тока распространятся на всю длину трубопровода.

4) Запишите в таблицу показания индикатора расходомера (л/мин).

5) Измерьте и занесите в таблицу высоты жидкости в пьезометрах.

6) Откройте задвижку на большую величину, чтобы увеличить расход жидкости через трубопровод. Повторите измерения и запишите их результаты в таблицу. Общее число измерений должно быть равно 3.

7) Проведите все необходимые вычисления и заполните таблицу. Коэффициент шероховатости поверхности труб принять равным 0,2 мм.

8) Сделайте выводы по результатам лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1) Что собою представляют графики Никурадзе? Какие характерные зоны движения жидкости выделяют на этих графиках?

2) От каких величин в различных зонах на графиках Никурадзе зависит коэффициент гидравлического трения λ ?

Результаты измерений и вычислений

Наименование величины	Един. измер.	Прямой участок			Местное сопротивление			Прямой участок		
		Опыт			Опыт			Опыт		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Диаметр трубы	м									
Площадь сечения	м ²									
Показание пьезометра	м									
Длина участка прямой трубы	м									
Расход воды	м ³ /с									
Скорость в сечении	м/с									
Скоростной напор в сечении	м									
Полный напор в сечении	м									
Местные потери напора	м									
Потери напора по длине	м									
Опытный коэффициент местного сопротивления										
Расчетный коэффициент местного сопротивления										
Число Рейнольдса										
Область гидравлического сопротивления										
Опытный коэффициент гидравлического трения										
Расчетный коэффициент гидравлического трения										

3) Как определить коэффициент гидравлического трения λ при различных режимах течения жидкости?

4) Дайте определение местных сопротивлений. Почему в местных сопротивлениях происходят потери напора.

5) Запишите формулу Вейсбаха для определения местных потерь напора. Как определить коэффициент местного сопротивления ξ ?

6) Объясните, почему происходят потери напора при внезапном расширении трубы. Выведите формулу для коэффициента местного сопротивления при внезапном расширении трубы.

7) Объясните, почему происходят потери напора при внезапном сужении трубы. Выведите формулу для коэффициента местного сопротивления при внезапном сужении трубы.

8) Запишите расчетные формулы, которые потребовались при заполнении таблицы 5.2.

9) Сопоставьте значения коэффициентов гидравлического трения λ и местного сопротивления ξ , полученные в результате экспериментальных исследований, со значениями, полученными в результате теоретических расчетов. Если между значениями есть расхождение, то в чем, по вашему мнению, его причина?

Лабораторная работа №5. Истечение жидкости через отверстия и насадки (4 часа)

Цели работы: 1) определить по опытным данным величины коэффициентов расхода, скорости и сопротивления при истечении жидкости в атмосферу через круглое, треугольное и квадратное отверстия, а также через коноидальный, цилиндрические и конические насадки; 2) сравнить значения коэффициентов, полученных экспериментально, со справочными.

Приборы и оборудование: виртуальная лаборатория Gilar – напорный бак, сменные пластины с отверстиями, насадки, мерный резервуар, секундомер, линейка для измерения дальности боя струй.

Практические задания

- 1) Подготовьте письменный отчет в соответствии со стандартной формой.
- 2) Выберите тип отверстия или насадка.
- 3) Откройте задвижку поворотом рычага. Дождитесь полного появления струи.
- 4) Измерьте дальность боя струи при помощи линейки.
- 5) Запустите секундомер. Дождитесь полного наполнения резервуара и остановите секундомер.
- 6) Обработайте экспериментальные данные и заполните соответствующий столбец в таблице. Справочные значения коэффициентов определите по графику.
- 7) Повторите аналогичные измерения для всех отверстий и насадок.

Результаты измерений и вычислений

Наименование величины	Ед. изм.	Отверстия			Насадки						
		Круглое	Квадратное	Треугольное	Цилиндрический, $l=3d$	Цилиндрический, $3,5d < l < 7,0d$	Цилиндрический, $l > 7d$	Конический сходящийся	Конический расходящийся	Конoidalный	
Диаметры отверстий и насадков на выходе	<i>м</i>										
Площади отверстий и насадков на выходе	<i>м²</i>										
Объем воды в мерном баке	<i>м³</i>										
Время наполнения	<i>с</i>										
Расход воды	<i>м³/с</i>										
Напор истечения	<i>м</i>										
Дальность боя струи	<i>м</i>										
Скорость истечения	<i>м/с</i>										
Число Рейнольдса	-										
Коэффициент расхода	-										
Коэффициент скорости	-										
Коэффициент сопротивления	-										
Справочные значения коэффициентов расхода, скорости, сопротивления	$\mu_{спр}$	-									
	$\varphi_{спр}$	-									
	$\xi_{спр}$	-									

Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение малого отверстия, отверстия в тонкой стенке. Можно ли при выполнении лабораторной работы считать отверстие в баке малым отверстием в тонкой стенке?

- 2) Опишите, как происходит истечение жидкости из малого отверстия в тонкой стенке.
- 3) Дайте определение насадка. Насадки каких форм существуют, чем отличается характер истечения жидкости из насадков различных форм? Приведите примеры практического применения насадков различных форм.
- 4) Как определить скорость истечения жидкости из отверстия и насадка? Как определить теоретическое значение коэффициента скорости?
- 5) Как определить расход жидкости при истечении из отверстия и насадка? Как определить теоретическое значение коэффициента расхода?
- 6) Как определить коэффициент местного сопротивления при истечении жидкости из отверстия и насадка?
- 8) Объясните, почему значения коэффициентов скорости, расхода и сопротивления, полученные в результате эксперимента, отличаются от справочных?

Самостоятельная работа

1) Подготовка к практическим занятиям включает в себя подготовку ответов на теоретические вопросы к практическим занятиям и самостоятельное решение задач по теме занятия (приведены в планах практических занятий).

Методические рекомендации для студентов по подготовке к практическому занятию. Подготовка к практическим занятиям предполагает подготовку студентом ответов на теоретические вопросы и выполнение практических заданий для самостоятельной работы (решение задач по теме занятия). Перечень вопросов для подготовки к занятию и задания для самостоятельной работы приведены в планах практических занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем практическом занятии.

- 1) Изучите материал, соответствующий теме практического занятия, по конспекту соответствующей лекции и одному из учебников, предложенному в списке основной литературы.
- 2) Найдите в тексте учебника и конспекте лекций ответы на вопросы для подготовки к занятию. Рекомендуется составить краткий конспект по каждому из вопросов.
- 3) Выучите основные понятия и определения, законы и формулы, соответствующие теме практического занятия.
- 4) Выполните практические задания, предложенные для самостоятельной работы по теме данного занятия.

2) Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ.

Методические рекомендации для студентов по организации самостоятельной подготовки к лабораторным занятиям. Подготовка к лабораторным занятиям включает в себя изучение теоретического материала по теме занятия, подготовку ответов на вопросы к защите лабораторной работы, а также, в случае необходимости, обработку результатов измерений и вычисление погрешностей. Вопросы для подготовки к защите лабораторной работы приведены в планах лабораторных занятий. Выполнение студентами данного вида самостоятельной работы проверяется преподавателем на соответствующем лабораторном занятии.

Выполнение лабораторной работы включает в себя три основных этапа:

- 1) *Самостоятельная подготовка студента к выполнению лабораторной работы.* На данном этапе студент самостоятельно изучает методические указания по выполнению лабораторной работы, учебную литературу по теме лабораторной работы, выполняет заготовку отчета и изучает экспериментальную установку, приборы и оборудование.
- 2) *Выполнение лабораторной работы (проведение эксперимента) и обработка экспериментальных данных.* На данном этапе студент получает допуск к выполнению лабораторной работы и проводит эксперимент, заносит полученные данные в заготовку отчета. Все проведенные измерения обязательно проверяются преподавателем, который отмечает их

правильность своею подписью в отчете. Затем студент самостоятельно проводит необходимую математическую обработку результатов эксперимента и на основании полученных данных делает вывод о достижении цели лабораторной работы.

3) *Защита лабораторной работы* включает в себя проверку преподавателем письменного отчета студента о выполненной лабораторной работе, а также беседу преподавателя со студентом по вопросам, касающимся теории изучаемого явления, методики проведения эксперимента, обработки полученных экспериментальных данных.

3) Самостоятельное изучение прикладных вопросов курса:

1) Приборы для измерения давления (барометры различного типа, манометры жидкостные и пружинные, дифференциальные манометры).

2) Практические приложения уравнения Бернулли (расходомер Вентури, трубка полного напора (трубка Пито)).

3) Измерение скорости жидкости (трубка Пито-Прандтля, цилиндрические и шаровые насадки, оптический метод).

4) Измерение расхода жидкости (стандартные сужающие устройства, электромагнитные, турбинные, тахометрические и ультразвуковые расходомеры).

5) Гидравлический удар и способы борьбы с ним (краткое описание гидравлического удара в трубах, прямой и непрямоу гидравлические удары, способы борьбы с гидравлическим ударом).

Ответы на вопросы, выносимые на самостоятельное изучение, оформляются студентом в виде конспекта. Конспекты проверяются преподавателем во время практических и лабораторных занятий по соответствующей теме.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. **Ответ на теоретический вопрос на практическом занятии** (перечень теоретических вопросов к каждому занятию приведен в планах практических занятий).

Критерии оценки ответа на теоретический вопрос

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина ответа (усвоенные теории, понятия, факты и пр.)	1
2) Сознательность ответа (понимание излагаемого материала)	1
3) Логика изложения материала (умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией)	1
4) Умение приводить примеры использования описанных явлений, теорий и устройств в технической гидравлике	1
5) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	0,5
6) Наличие конспекта ответа на вопрос	0,5
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

2. **Решение задач для самостоятельной работы** (перечень задач для самостоятельной работы к каждому занятию приведен в планах практических занятий)

Критерии оценивания задач для самостоятельного решения

Показатель	Количество баллов
------------	-------------------

1) Приведена краткая форма условия задачи, включающая перевод единиц измерения в СИ.	0,5
2) Выполнен рисунок к условию задачи, на котором обозначены все необходимые физические и геометрические параметры задачи	0,5
3) Проведен анализ условия задачи, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче, а также законов, положенных в основу решения задачи	1
4) Записаны математические уравнения законов, используемых при решении задачи	1
5) Приведено решение математических уравнений и получен численный ответ на вопрос задачи	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

3. Подготовка конспекта по прикладным вопросам курса (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов по прикладным вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина изложения ответа (усвоенные теории, понятия, факты)	1
2) Логика изложения материала	1
3) Примеры использования описанных явлений, теорий и устройств в технической гидравлике	1
4) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	1
5) Оформление работы	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

4. Выполнение и защита лабораторной работы (задания к лабораторным занятиям и вопросы для защиты приведены в планах лабораторных занятий)

Критерии оценивания лабораторной работы

По результатам выполнения лабораторной работы студент получает **оценку «зачтено»** при выполнении следующих условий:

1) самостоятельное выполнение эксперимента и получение корректных экспериментальных данных;

2) наличие самостоятельно подготовленного отчета по установленной форме, в котором отражены результаты измерений и вычислений, в том числе погрешностей (при необходимости), а также представлены графики в соответствии с заданиями к лабораторной работе;

3) правильные ответы на все контрольные вопросы к данной лабораторной работе.

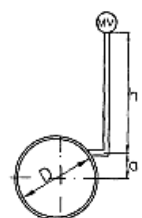
При невыполнении хотя бы одного из вышеперечисленных пунктов по результатам выполнения лабораторной работы студент получает **оценку «не зачтено»**.

5. Проверочная работа «Гидростатика»

Вариант №1

1) Дайте определение гидростатического давления и укажите свойства гидростатического давления.

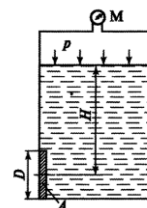
2) Запишите формулу для определения силы избыточного давления жидкости на плоскую поверхность.



3) Дайте определение тела давления. Приведите пример построения тела давления.

4) Определите, на какую высоту поднят мановакуумметр, если известно абсолютное давление на оси трубопровода $P=1,0 \text{ ат}$, расстояние $a=0,5 \text{ м}$. Показания мановакуумметра $p_m=0,5 \text{ вак ат}$, трубопровод заполнен водой при температуре $t=20^\circ\text{C}$. ($1 \text{ ат}=0,1 \text{ МПа}$).

5) Определите результирующую силу избыточного давления на плоскую круглую поверхность А и положение центра давления. Показание манометра на закрытом резервуаре $p_m=5000 \text{ Па}$, высота столба жидкости над центром тяжести поверхности $H=4 \text{ м}$, диаметр поверхности $D=1 \text{ м}$. Считать, что сосуд заполнен водой при температуре $t=20^\circ\text{C}$.



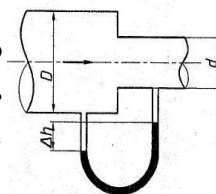
6. Проверочная работа «Гидравлические сопротивления. Расчет трубопроводов» Вариант №1

1) Дайте определения сопротивления по длине и местного сопротивления. Запишите формулу Вейсбаха-Дарси для определения потерь напора по длине и поясните смысл величин в нее входящих.

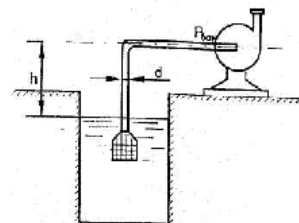
2) Дайте определение параллельного трубопровода. Как провести расчет параллельного трубопровода.

3) Определить потери давления на участке новой бесшовной стальной трубы ($k_3=0,04 \text{ мм}$) длиной 20 м и диаметром 125 мм , если расход воды 30 л/с и температура 20°C .

4) По трубопроводу, внезапно суживающемуся от диаметра 250 мм до диаметра 100 мм , протекает вода расходом $70 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить разность уровней ртути, которую показывает дифференциальный ртутный манометр. Потерями напора по длине пренебречь.



5) Центробежный насос осуществляет забор воды из водоприемного колодца. Длина и диаметр всасывающей трубы насоса 12 м и 200 мм . На трубе имеется колено с коэффициентом местного сопротивления $\xi=0,3$. На входе в трубу установлена сетка с $\xi=3$. Температура воды в водоёме 20°C . Вакуумметрическое давление на входе в насос равно 53 кПа при расходе 55 л/с . Определить допустимое расстояние от оси насоса до уровня воды в колодце h . Труба стальная сварная новая ($k_3=0,06 \text{ мм}$).



Критерии оценивания проверочных работ:

Если количество правильно выполненных заданий 3 и более, то студент получает оценку «зачтено». Если количество правильно выполненных заданий менее 3, то студент получает оценку «не зачтено».

Ответ на теоретический вопрос считается правильным, если даны правильные определения всех необходимых понятий, правильные формулировки законов, в том числе в математической форме, объяснены все описываемые явления на основе законов гидравлики. Ответ должен быть полным и включать ответы на все поставленные вопросы.

Задача считается правильно решенной при выполнении следующих требований:

- 1) Приведена краткая форма условия задачи, включающая перевод единиц измерения в СИ.
- 2) Выполнен рисунок к условию задачи, на котором обозначены все необходимые физические и геометрические параметры задачи.
- 3) Проведен анализ условия задачи, включающий указание основных явлений, о которых идет речь в задаче, а также законов, положенных в основу решения задачи.
- 4) Записаны математические уравнения законов, используемых при решении задачи.
- 5) Приведено решение математических уравнений и получен численный ответ.

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Критерии выставления зачета:

Отметка «зачтено» выставляется студенту, который в течение семестра:

1. Посещал лекционные, практические и лабораторные занятия (при наличии пропусков занятий – предоставил преподавателю все выполненные задания по теме занятия).
 2. Не имеет оценок «не зачтено» по итогам работы на практических занятиях.
 3. Не имеет оценок «не зачтено» по итогам выполнения заданий для самостоятельной работы.
 4. Выполнил и защитил все лабораторные работы.
 5. Написал итоговые проверочные работы по разделам «Гидростатика» и «Гидравлические сопротивления. Расчет трубопроводов» на оценку «зачтено».
- Зачет выставляется студенту при выполнении всех указанных критериев.

7. Перечень основной и дополнительной литературы

7.1. Основная литература

- 1) Гидравлика: учебник и практикум для академического бакалавриата / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, А.Г. Коваленко, И.В. Кудинов; под ред. В. А. Кудинова. - М.: Издательство Юрайт, 2019. - 386 с. URL: <http://biblio-online.ru/bcode/432989>.
- 2) Гусев А.А. Механика жидкости и газа: учебник для академического бакалавриата / А. А. Гусев. - М.: Издательство Юрайт, 2020. - 232 с. - URL: <http://biblio-online.ru/bcode/449821>.

7.2. Дополнительная литература

- 1) Калекин В.С. Гидравлика и теплотехника: учебное пособие для вузов / В.С. Калекин, С.Н. Михайлец. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 318 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/457000>.
- 2) Кузнецов В. А. Гидрогазодинамика: учебное пособие для вузов / В.А. Кузнецов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 120 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/447704>.
- 3) Фролова Н. Л. Гидрология рек. Антропогенные изменения речного стока: учебное пособие для вузов / Н. Л. Фролова. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 115 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/451528>.
- 4) Чаплыгин С. А. Динамика полета. Избранные работы / С. А. Чаплыгин. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 268 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/453792>.
- 5) Феофанов Ю.А. Инженерные сети: современные трубы и изделия для ремонта и строительства : учебное пособие для вузов / Ю.А. Феофанов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 157 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/452723>.
- 6) Крутов Д. А. Гидротехнические сооружения: учебное пособие для вузов / Д. А. Крутов. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 238 с. – URL: <http://biblio-online.ru/bcode/448524>.
- 7) Кислякова Е.В. Механика жидкостей и газов / Учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки «Строительство». – Смоленск: изд-во СмолГУ, 2016.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://www.techgidravlika.ru> – сайт о гидравлике.

8. Материально-техническое обеспечение

Лекционные, практические занятия и самостоятельная работа студентов проводятся в ауд. № 06 уч. корпуса №3, оборудованной интерактивной доской и компьютерами с установленным пакетом *MS Office* и выходом в Интернет.

Лабораторные занятия проводятся в ауд. № 328 уч. корпуса № 2, оборудованной компьютерами с установленной виртуальной лабораторией *Gilar*.

9. Программное обеспечение

Табличный редактор *MS Excel* используется на практических занятиях по расчету напорных трубопроводов.

При проведении лабораторных занятий используется виртуальная лаборатория *Gilar*.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022