

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
«23» июня 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.В.ДВ.02.01 Гидравлика**

Направление подготовки: **08.03.01 Строительство**
Направленность (профиль): **Промышленное и гражданское строительство**
Форма обучения: очно-заочная
Курс – 2
Семестр – 4
Всего зачетных единиц – 3, часов – 108
Форма отчетности: зачет – 4 семестр

Программу разработала:
кандидат педагогических наук Кислякова Е.В.

Одобрена на заседании кафедры
«16» июня 2022 г., протокол № 12

Заведующий кафедрой _____ А.В. Дюндин

Смоленск
2022

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) в качестве дисциплины по выбору.

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	<p>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.</p> <p>Уметь: разрабатывать проектно-технологическую документацию; пользоваться компьютером с применением специализированного программного обеспечения.</p> <p>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.</p>

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	12		–	–	12
2.	Гидростатика	12				12
3.	Основы кинематики и динамики жидкостей	18	2	2	2	12
4.	Гидравлические сопротивления	18	2	2	2	12
5.	Расчет напорных трубопроводов	18	2	2	2	12
6.	Истечение жидкости через отверстия и насадки	12				12
7.	Движение жидкости в открытых руслах	14				14
8.	Зачет	4				4
	ИТОГО	108	6	6	6	86+4

5. Виды образовательной деятельности

Занятия лекционного типа

Лекция №1. *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 №2. 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 №3. Расчет напорных трубопроводов. Общие сведения по гидравлическому расчету трубопроводов. Расчет коротких трубопроводов. Расчет длинных трубопроводов. Расчет сложных трубопроводов: разветвленные и параллельные трубопроводы.

Занятия семинарского типа

Практические занятия

Практическое занятие №1. 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 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.
- 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.

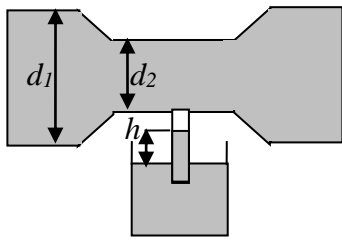


Рис. К задаче 1

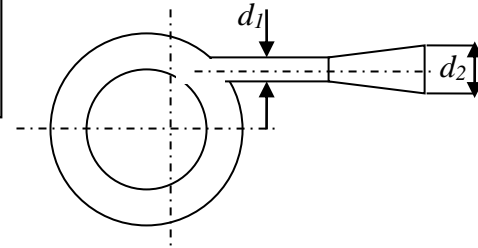


Рис. К задаче 2

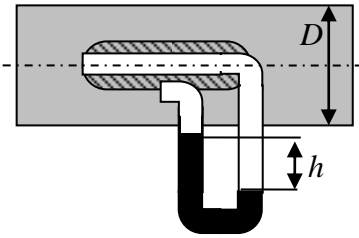


Рис. К задаче 3

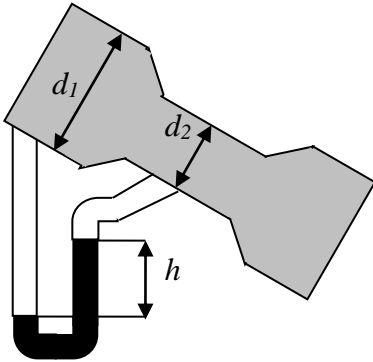


Рис. К задаче 4

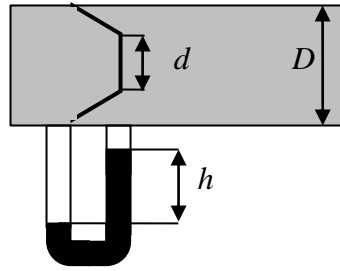


Рис. К задаче 5

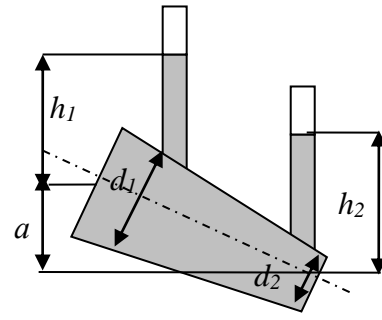


Рис. К задаче 6

Практическое занятие №2. 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 $D_1=10 \text{ см}$, а наружная труба – внутренний диаметр $D_2=12 \text{ см}$. 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.

Практическое занятие №3. 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 $9,4 \text{ л/с}$. Труба бетонная, бывшая в употреблении, на входе в трубу установлена сетка. Температура воды 20°C .

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

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 $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$.

5) Из водонапорной башни в трубопровод, состоящий из стальных труб, подается вода с расходом $0,10 \text{ м}^3/\text{с}$. Длина трубы до разветвления $l_1=800 \text{ м}$, диаметр $d_1=300 \text{ мм}$. 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.

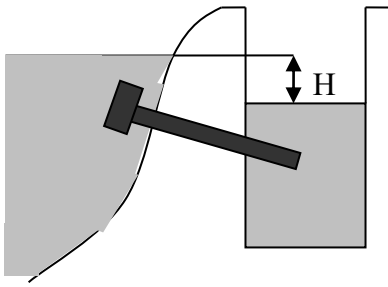


Рис. К задаче 1

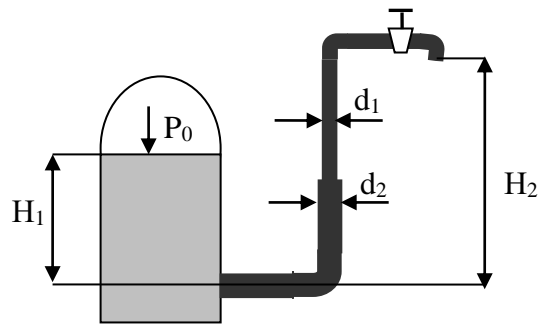


Рис. К задаче 2

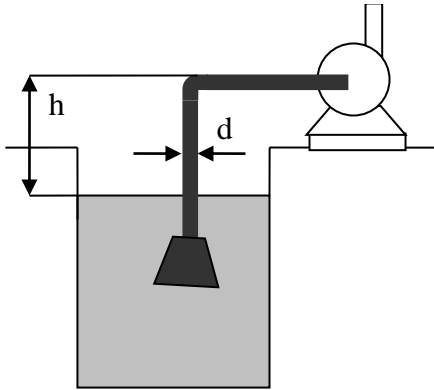


Рис. К задаче 3

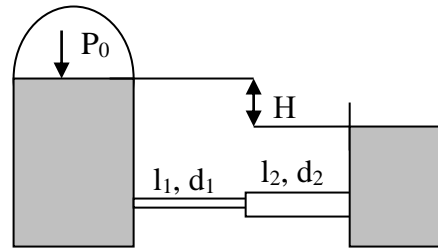


Рис. К задаче 6

Лабораторные занятия

Лабораторная работа №1. Изучение уравнения Бернулли

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 Gilag – 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.

б) 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 №2. Режимы течения жидкости

Цели работы: 1) убедиться на опыте в существовании ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости; 2) вычислить число Рейнольдса при ламинарном и

турбулентном режиме 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 занося 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 №3. Гидравлические сопротивления

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?

Самостоятельная работа

1. Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

- 1) *Основные физические свойства жидкостей* (определение жидкости, свойство текучести, капельные и газообразные жидкости, плотность и удельный вес жидкостей, тепловое расширение жидкостей, сжимаемость жидкостей, температурный коэффициент расширения, коэффициент объемного сжатия жидкостей).
- 2) *Вязкость жидкостей* (определение вязкости, механизм возникновения сил вязкого трения, закон вязкого трения Ньютона, коэффициент динамической вязкости, кинематическая вязкость, зависимость вязкости жидкости от температуры и давления).
- 3) *Гидростатическое давление* (равновесное состояние жидкости, определение гидростатического давления и его свойства, основное уравнение гидростатики, его геометрическое и энергетическое толкование).
- 4) *Измерение давления* (абсолютное и избыточное давление, манометрическое и вакуумметрическое давление, устройство и принцип действия пьезометра, устройство и принцип действия вакуумметра).
- 5) *Гидростатическое давление на поверхность* (сила избыточного и абсолютного давления жидкости на плоскую поверхность, центр давления, тело давления, модуль и направление силы избыточного давления жидкости на криволинейную поверхность).
- 6) *Кинематика жидкостей* (методы Эйлера и Лагранжа описания движения жидкостей, стационарное и нестационарное движение жидкости, линии тока, трубка тока, элементарная струйка, поток жидкости, живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус и гидравлический диаметр, уравнение неразрывности для потока жидкости).
- 7) *Уравнение Бернулли* (уравнение Бернулли для струйки и потока реальной и идеальной жидкостей, геометрическое и энергетическое толкование уравнения Бернулли, устройство и принцип действия расходомера Вентури, устройство и принцип действия трубки Пито).
- 8) *Гидравлический удар и способы борьбы с ним* (краткое описание гидравлического удара в трубах, прямой и непрямо́й гидравлические удары, способы борьбы с гидравлическим ударом)

9) *Истечение жидкости через отверстия и насадки* (затопленное, незатопленное, большое, малое отверстие, скорость истечения жидкости из отверстия, расход при истечении жидкости из отверстия, насадки, их типы и области применения, коэффициенты скорости и расхода для насадков различных типов, время опорожнения резервуара, время выравнивания уровней жидкости в сообщающихся резервуарах).

10) *Движение жидкости в открытых руслах* (отличие безнапорных и напорных потоков, классификация открытых русел, равномерное движение жидкости в открытом русле, геометрические и гидравлические характеристики открытых русел).

11) *Безнапорные русла замкнутого сечения* (область применения, степень наполнения русла, геометрические характеристики русла, относительная расходная и скоростная характеристики, расход и скорость течения жидкости в коллекторе).

2. Задачи для самостоятельного решения

Тема №1. Физические свойства жидкостей

1) В отопительный котел за 1 минуту поступает 40 м^3 воды при температуре 25°C . Какой объем воды будет выходить из котла за 1 минуту, если нагрев производится до температуры 95°C ?

2) Определите температурный коэффициент объемного расширения воды, если объем воды 5 м^3 при увеличении температуры на 10°C увеличится на $7,5 \text{ л}$. Какой исходной температуре соответствует полученное значение температурного коэффициента объемного расширения при нормальном атмосферном давлении?

3) Автоклав наполнен жидкостью и закрыт герметически. Температурный коэффициент объемного расширения жидкости $6,49 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$, ее модуль упругости 1580 Па . Определите повышение давления в автоклаве при увеличении температуры на 50°C . Деформацией автоклава пренебречь.

Тема №2. Гидростатическое давление в точке

1) Два открытых сообщающихся резервуара заполнены жидкостями разного удельного веса $\gamma_1 = 8500 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$ и $\gamma_2 = 10000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3}$. Разность уровней жидкостей в резервуарах $h = 1,2 \text{ м}$.

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 ?

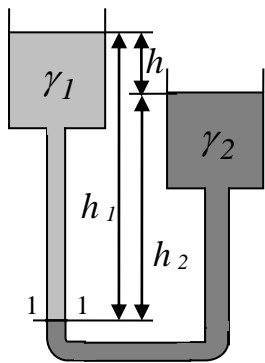


Рис. К задаче 1

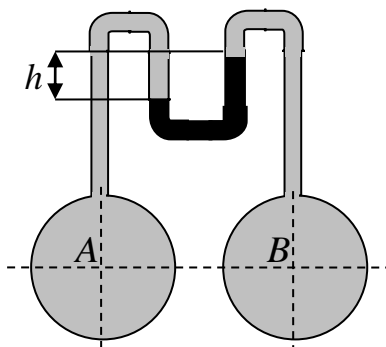


Рис. К задаче 2

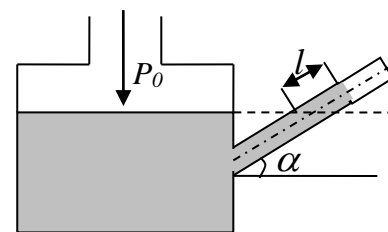


Рис. К задаче 3

Тема №3. Гидростатическое давление на поверхность

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.

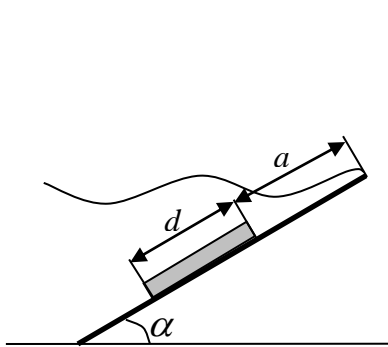


Рис. К задаче 1

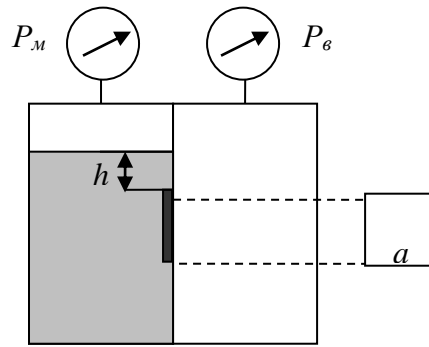


Рис. К задаче 2

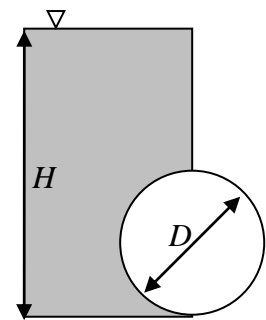


Рис. К задаче 3

Тема №4. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости

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 $4,9 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

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.

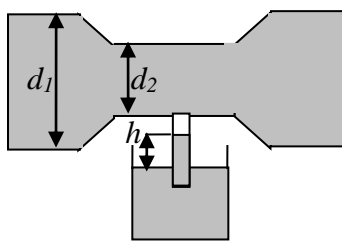


Рис. К задаче 1

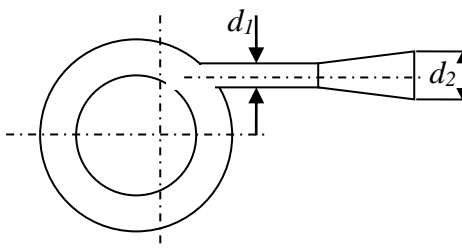


Рис. К задаче 2

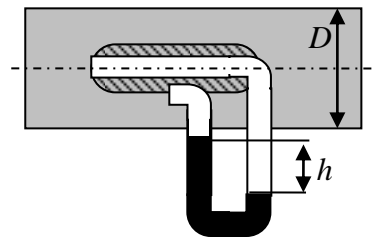


Рис. К задаче 3

Тема №5. Гидравлические сопротивления по длине

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 и 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.

Тема №6. Местные сопротивления

1) Вычислите эквивалентную длину местного сопротивления в трубопроводе из новых чугунных труб, если коэффициент местного сопротивления в формуле Вейсбаха $\xi=5$ и расход воды $Q=0,05$ м³/с, диаметр трубопровода $d = 200$ мм. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

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

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

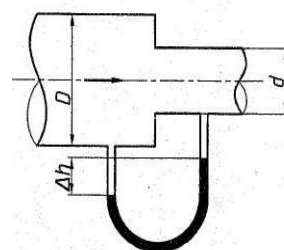


Рис. К задаче 3

Тема №7. Расчет напорных трубопроводов

6) 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.

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 $\xi=3$, 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.

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.

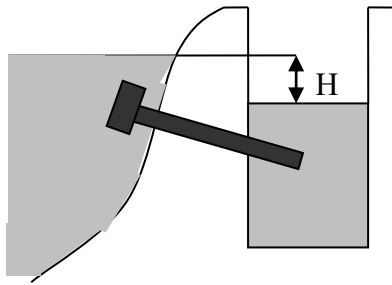


Рис. К задаче 1

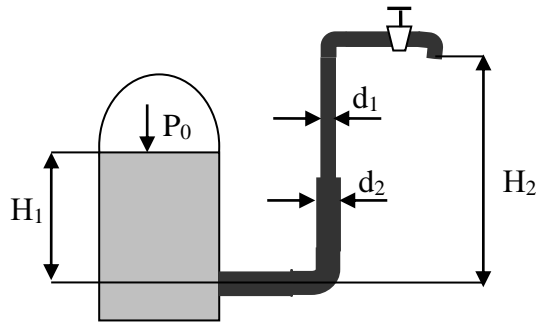


Рис. К задаче 2

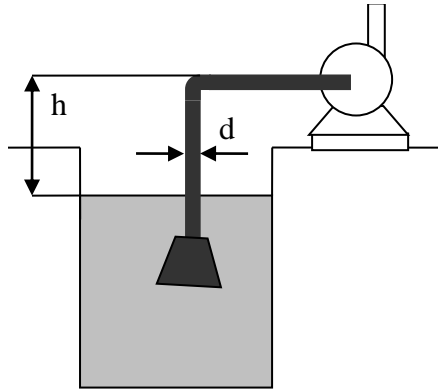


Рис. К задаче 3

Тема №8. Истечение жидкости через отверстия и насадки

1) Резервуар разделяется на две части вертикальной стенкой, в которой имеется круглое отверстие диаметром $d_1 = 100$ мм. Глубина воды в левой части резервуара 3 м. Расход, протекающий через отверстие 12,5 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 $a = 0,8$ 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 мм.

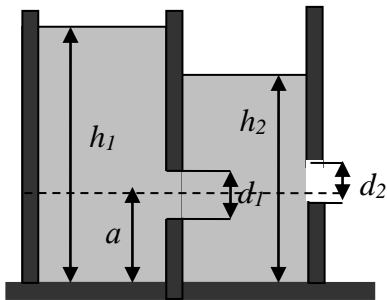


Рис. К задаче 1

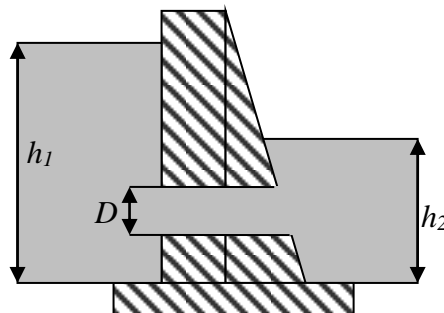


Рис. 8.5. К задаче 8.1

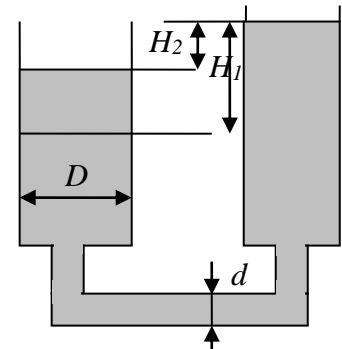


Рис. К задаче 3

Тема №9. Движение жидкости в открытых руслах

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 $n = 0,013$.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. Решение задач для самостоятельной работы (приведены в разделе «Самостоятельная работа»)

Критерии оценивания решения задачи

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.

По каждой теме по результатам решения задач студент получает оценку «зачтено», если им представлены правильные решения (3 балла и более) не менее чем 2 из предложенных задач.

2. Выполнение и защита лабораторной работы

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».

3. Тест по теоретическому материалу курса

Вариант №1

1) Сила вязкого трения в жидкости определяется формулой:

$$а) F_{mp} = \mu \cdot \omega \cdot \frac{du}{dt}; \quad б) F_{mp} = \mu \cdot \omega \cdot \frac{du}{dy}; \quad в) F_{mp} = \nu \cdot \omega \cdot \frac{du}{dy}; \quad г) F_{mp} = \nu \cdot \omega \cdot \frac{du}{dt}.$$

2) Основное уравнение гидростатики позволяет:

- а) определить давление, действующее на свободную поверхность жидкости;
- б) определить давление только на дне резервуара;
- в) определить давление в любой точке рассматриваемого объема жидкости;
- г) определить давление, действующее на погруженное в жидкость тело.

3) «Давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости по всем направлениям одинаково» - это

- а) правило Ньютона;
- б) закон Паскаля;
- в) теорема Никурадзе;
- г) закон Жуковского.

4) Абсолютное давление - это

- а) давление в данной точке жидкости, определенное без учета атмосферного;
- б) давление в данной точке жидкости, вычисленное с учетом атмосферного;
- в) сумма атмосферного и избыточного давления на поверхности жидкости;
- г) давление на дно, вычисленное с учетом избыточного давления на поверхности.

5) Какое давление обычно показывает манометр?

- а) избыточное;
- б) абсолютное;
- в) атмосферное;
- г) давление вакуума.

6) Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения, называется:

- а) открытым сечением;
- б) живым сечением;
- в) полным сечением;
- г) площадь расхода.

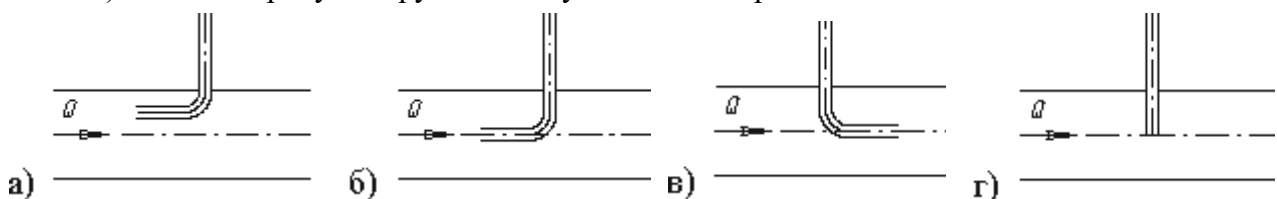
7) Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид

- а) $z_1 + \frac{P_1}{2g} + \frac{V_1^2}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{V_2^2}{\rho \cdot g}$; б) $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h$;
- в) $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g}$; г) $z_1 + \frac{V_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{P_1^2}{2g} = z_2 + \frac{V_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{P_2^2}{2g}$.

8) Член уравнения Бернулли, обозначаемый выражением $\frac{P}{\gamma}$ называется

- а) скоростной высотой;
- б) геометрической высотой;
- в) пьезометрической высотой;
- г) потерянной высотой.

9) На каком рисунке трубка Пито установлена правильно?



10) Уравнение неразрывности течений имеет вид

- а) $\omega_1 u_2 = \omega_2 u_1 = \text{const}$; б) $\omega_1 u_1 = \omega_2 u_2 = \text{const}$;
 в) $\omega_1 \omega_2 = u_1 u_2 = \text{const}$; г) $\omega_1 / u_1 = \omega_2 / u_2 = \text{const}$.

11) Если при движении жидкости в данной точке русла давление и скорость не изменяются, то такое движение называется

- а) установившимся; б) турбулентным установившимся;
 в) неустановившимся; г) ламинарным неустановившимся.

12) Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется:

- а) открытым сечением; б) живым сечением;
 в) полным сечением; г) площадь расхода.

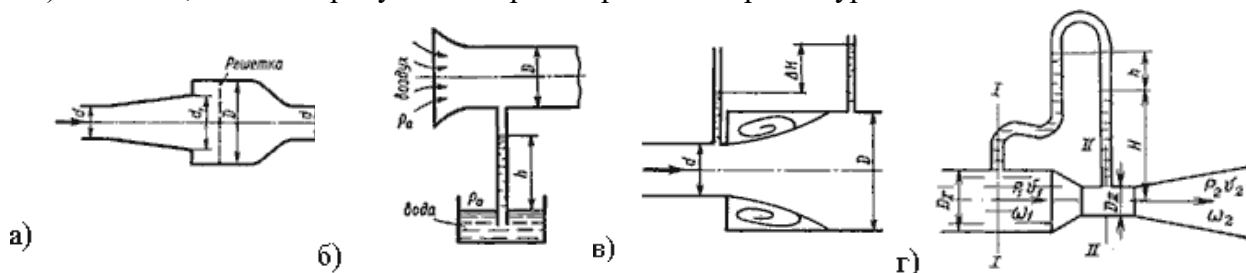
13) Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости имеет вид

- а) $z_1 + \alpha_1 \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \alpha_2 \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} - h_{\omega}$; б) $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{\omega}$;
 в) $z_1 + \frac{P_1}{2 \cdot g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{2 \cdot g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{\rho \cdot g} + h_{\omega}$; г) $z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_{\omega}$.

14) В чем заключается геометрический смысл уравнения Бернулли?

- а) для потока реальной жидкости сумма геометрической, пьезометрической высоты и высоты скоростного напора есть величина постоянная;
 б) для элементарной струйки реальной жидкости сумма геометрической, пьезометрической высоты и высоты скоростного напора есть величина постоянная;
 в) для элементарной струйки идеальной жидкости сумма геометрической, пьезометрической высоты и высоты скоростного напора есть величина постоянная;
 г) для элементарной струйки идеальной жидкости сумма геометрической, манометрической высот и высоты скоростного напора есть величина постоянная.

15) Укажите, на каком рисунке изображен расходомер Вентури



16) Турбулентный режим движения жидкости это

- а) режим, при котором частицы жидкости сохраняют определенный строй (движутся послойно);
 б) режим, при котором частицы жидкости перемещаются в трубопроводе бессистемно;
 в) режим, при котором частицы жидкости двигаются как послойно, так и бессистемно;
 г) режим, при котором частицы жидкости двигаются послойно только в центре трубопровода.

17) При $Re > 4000$ режим движения жидкости

- а) ламинарный; б) переходный; в) турбулентный; г) кавитационный.

18) Гидравлическое сопротивление это

- а) сопротивление жидкости к изменению формы своего русла;
 б) сопротивление, препятствующее свободному прохождению жидкости;
 в) сопротивление трубопровода, которое сопровождается потерями энергии жидкости;

г) сопротивление, при котором падает скорость движения жидкости по трубопроводу.

19) От чего зависит коэффициент гидравлического трения во второй области турбулентного режима?

а) только от числа Re ;

б) от числа Re и шероховатости трубопровода;

в) только от шероховатости трубопровода;

г) от числа Re , от длины и шероховатости трубопровода.

20. Определите, каким будет режим движения и область сопротивления в круглоцилиндрическом трубопроводе, если диаметр трубопровода 4 см, расход воды, протекающей через трубопровод 600 л/мин, эквивалентная шероховатость трубопровода 0,2 мм, кинематическая вязкость воды $1 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

а) турбулентный, гладкая область;

б) турбулентный, доквадратичная область;

в) турбулентный, квадратичная область; г) ламинарный.

Критерии оценки теста

Зачтено – даны ответы не менее чем на 10 вопросов теста;

Не зачтено – даны ответы менее чем на 10 вопросов теста.

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Критерии выставления зачета:

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

1. Получил оценку «зачтено» по результатам решения задач для самостоятельной работы по всем темам курса.

2. Выполнил и защитил 3 лабораторные работы.

3. Написал итоговый тест 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 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 для расчета 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