

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.02.02 Основы гидродинамики**

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 «Основы гидродинамики» включена в часть, формируемую участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) учебного плана по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

Для освоения дисциплины «Основы гидродинамики» студент должен обладать базовыми знаниями и умениями, полученными в ходе изучения таких дисциплин, как «Математика», «Физика».

В результате изучения дисциплины «Основы гидродинамики» студент приобретает знания и умения, необходимые для освоения дисциплины «Водоснабжение и водоотведение» и выполнения курсового проекта.

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

Введение. Свойства жидкостей. Предмет изучения гидродинамики. Краткая история развития гидродинамики. Понятие «жидкость». Гипотеза сплошности жидкой среды. Идеальные и реальные жидкости. Диаграмма состояния «жидкость - пар». Вязкость жидкости.

Основные понятия гидродинамики. Стационарное и нестационарное, равномерное и неравномерное движение жидкости. Понятия линии тока, трубки тока, элементарной струйки и потока жидкости. Основные геометрические характеристики потока жидкости: живое сечение, смоченный периметр, гидравлический диаметр, гидравлический радиус. Местная и средняя скорости потока жидкости. Расход. Уравнение неразрывности потока жидкости (закон сохранения массы).

Уравнение Бернулли. Закон сохранения энергии для элементарной струйки жидкости. Уравнение Бернулли для струйки и потока идеальной жидкости. Геометрическое толкование уравнения Бернулли. Энергетическое толкование уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Пьезометрическая линия, линия полного напора.

Режимы движения жидкости. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Критические скорости. Число Рейнольдса. Критические значения чисел Рейнольдса для напорных трубопроводов и открытых русел.

Потери напора в трубопроводах. Потери напора по длине. Формула Вейсбаха-Дарси. Коэффициент гидравлического трения при различных режимах движения. Шероховатость стенок трубопровода. Потери напора в местных сопротивлениях. Формула Вейсбаха. Значения коэффициента местного сопротивления для внезапного расширения и внезапного сужения трубопровода.

Насосы в трубопроводах. Напор насоса, мощность и коэффициент полезного действия насоса. Примеры использования насоса в трубопроводах.

Расчет напорных трубопроводов. Короткие напорные трубопроводы. Сифоны. Общие потери напора и расход в коротком трубопроводе. Коэффициент расхода трубопровода. Определение диаметра короткого напорного трубопровода. Расчет длинного напорного трубопровода. Формулы Шези. Простые и сложные трубопроводы. Расчет параллельных, тупиковых и кольцевых трубопроводов.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий			
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1.	Введение. Свойства жидкостей	12				12
2.	Основные понятия гидродинамики	16	2	2		12
3.	Уравнение Бернулли	20	2	2	2	14
4.	Режимы течения жидкостей	18	2	2	2	12
5.	Потери напора в трубопроводах	14			2	12
6.	Насосы в трубопроводах	12				12
7.	Расчет напорного трубопровода	12				12
8.	Зачет	4				4
	ИТОГО	108	6	6	6	86+4

5. Виды учебной деятельности

Лекции

Лекция №1. Основные понятия гидродинамики. Основные виды движения жидкостей: стационарное и нестационарное, равномерное и неравномерное. Линия тока, трубка тока, элементарная струйка и поток жидкости. Основные геометрические характеристики потока: живое сечение, смоченный периметр, гидравлический диаметр, гидравлический радиус. Местная и средняя скорости потока жидкости. Расход. Уравнение неразрывности потока жидкости.

Лекция №2. Уравнение Бернулли. Закон сохранения энергии для элементарной струйки жидкости. Уравнение Бернулли для струйки и потока идеальной жидкости. Геометрическое толкование уравнения Бернулли. Энергетическое толкование уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Коэффициент Кориолиса. Пьезометрическая линия, линия полного напора.

Лекция №3. Режимы движения жидкости. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Критические скорости. Число Рейнольдса. Критические значения чисел Рейнольдса для напорных трубопроводов и открытых русел.

Практические занятия

Практическое занятие № 1. Основные характеристики потока жидкости

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Какое движение жидкости называют стационарным? нестационарным?
- 2) Какое движение жидкости называют равномерным?
- 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) Какой поток называется напорным? безнапорным?
- 6) Дайте определение расхода жидкости. Запишите уравнение неразрывности для потока жидкости.

Задачи для решения на занятии:

- 1) Трубопровод состоит из трёх последовательно соединённых участков труб, внутренние диаметры которых $d_1 = 52$ мм, $d_2 = 76$ мм, $d_3 = 82$ мм. Определить средние скорости жидкости на участках, если объёмный расход в трубопроводе $Q = 48$ л/мин.
- 2) Вычислить гидравлический радиус потока воды в открытом канале трапецеидального сечения с размерами: $b = 3,0$ м, $h = 1,0$ м, $\alpha = 45^\circ$ (рис. 2.1).

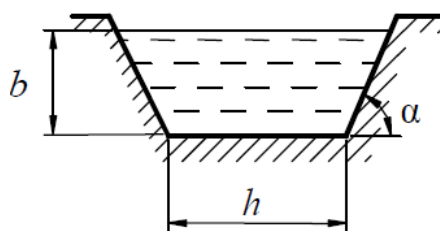


Рис.2.1

Практическое занятие №2. Уравнение Бернулли

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Запишите уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости и поясните смысл величин в него входящих.
- 2) Поясните геометрический и энергетический смысл уравнения Бернулли.
- 3) Запишите уравнение Бернулли для потока реальной жидкости? В чем отличия уравнений Бернулли для реальной и идеальной жидкости?

Задачи для решения на занятии

- 1) Определить давление жидкости в сечении 2-2 при удельном весе $\gamma = 9000$ Н/м³. Известно, что в сечении 1-1 скорость равна $V_1 = 1$ м/с, давление $p_1 = 3,0$ ат. Площадь в сечении 1-1 в 3 раза больше площади в сечении 2-2. Жидкость считать идеальной.

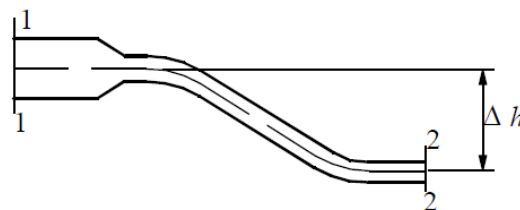


Рис. 3.1.

- 2) Определить среднюю скорость движения воды (рис. 3.1) в сечении 2-2, если в сечении 1-1 скорость $V_1 = 1,2$ м/с, давление $p_1 = 1,2$ ат. Давление в сечении 2-2 $p_2 = 1,1$ ат. Центр тяжести сечения 2-2 находится ниже центра тяжести сечения 1-1 на величину $h = 3,0$ м. Потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений равны $h_w = 1,4$ м.

- 3) Вычислить давление в сечении 1-1 трубопровода, по которому движется жидкость плотностью $\rho = 880$ кг/м³ (рис. 3.1). Известно, что скорость жидкости в сечении 1-1 трубопровода равна $V_1 = 1,1$ м/с, площадь в сечении 1-1 в 2,5 раза больше площади в сечении 2-2. Разность геометрических высот центров тяжести сечений принять равной $\Delta h = 8,7$ м. Жидкость считать идеальной.

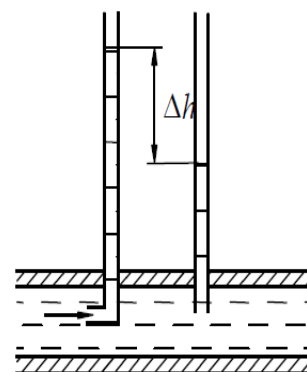


Рис. 3.2

Практическое занятие №3. Режимы течения жидкости

Вопросы для подготовки к занятию

- 1) Дайте определение ламинарного режима течения жидкости, турбулентного режима течения жидкости?
- 2) Как ведет себя струйка чернил, введенная в ламинарный поток? в турбулентный поток?
- 3) От каких параметров потока зависит режим движения жидкости?
- 4) Как определить число Рейнольдса для потока жидкости?
- 5) Какие значения принимает число Рейнольдса для ламинарного, переходного и турбулентного режимов движения?

Задачи для решения на занятии

- 1) По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм перекачивается нефть с расходом $Q = 12,0$ дм³/с. Определить режим движения жидкости и критическую скорость при температуре $t = 10$ °С.
- 2) В сужающуюся трубу подаётся вода расходом $Q = 0,065$ л/с при температуре $t = 10$ °С. Определить режим движения в широкой и узкой части, если $d_1 = 40$ мм и $d_2 = 20$ мм.
- 3) Нефть с кинематической вязкостью $\nu = 0,3$ см²/с движется по трубопроводу. Определить минимальный диаметр трубопровода d , при котором нефть будет двигаться при ламинарном режиме с расходом $Q = 8,14$ л/с.

Лабораторные занятия

Лабораторная работа №1. Режимы течения

Цели работы: 1) установить визуально ламинарный режим движения, переходное состояние и турбулентный режим; 2) научиться измерять расход жидкости; 3) вычислить для каждого опыта критерий Рейнольдса и сравнить визуальную характеристику режима с расчетной.

Оборудование: стенд гидравлический универсальный ТМЖ 2.

Практические задания:

- 1) Включите лабораторный стенд, обеспечьте установившийся режим течения жидкости.
- 2) Начните подачу краски, обеспечьте наличие в трубе устойчивой окрашенной струйки, которая не смешивается с основным потоком.
- 3) Измерьте расход объемным методом с помощью мерной кружки и секундомера.
- 4) Увеличьте расход и, после установления стационарного режима, повторите опыт. Необходимо выполнить 5-6 опытов, вплоть до достижения устойчивого турбулентного режима. При достижении турбулентного режима струйка краски равномерно размывается в толщине потока и становится невидимой.
- 5) Увеличьте расход и проведите 5-6 опытов при турбулентном режиме движения жидкости.
- 6) Для каждого опыта рассчитайте расход и число Рейнольдса. Результаты измерений и расчетов занесите в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Результаты измерений и вычислений

№ опыта	объем, V, м ³	время, t, с	расход, Q, м ³ /с	средняя скорость, v, м/с	число Рейнольдса, Re	Визуальная структура потока

Контрольные вопросы:

- 1) Что такое вязкость жидкости? Почему с увеличением температуры вязкость жидкостей уменьшается, а газов возрастает?
- 2) Реологическое уравнение и его графическое изображение.

- 3) Какие жидкости называются ньютоновскими и неньютоновскими? Приведите примеры.
- 4) Поясните модель вязкопластичной жидкости.
- 5) Как определить режим движения ньютоновской жидкости при её движении в круглой трубе? в кольцевом канале?
- 6) Как определить режим движения неньютоновской жидкости при её движении в круглой трубе? в кольцевом канале?
- 7) Как определить режим движения жидкости при её движении в канале любой геометрии?
- 8) Почему при увеличении температуры жидкости число Re увеличивается?
- 9) Что такое расход жидкости? Какие виды расходов Вы знаете? Почему при движении жидкости в любом сечении потока объёмный расход остается постоянным, а при движении газа он изменяется?
- 10) Почему при движении жидкости в трубопроводе постоянного диаметра средняя скорость постоянна в любом сечении, а при движении газа она увеличивается в направлении движения?

Лабораторная работа № 2. Уравнение Бернулли

Цель работы: 1) по данным опыта вычислить удельную кинетическую энергию и полную энергию потока жидкости; 2) проверить выполнение на практике следствий из законов сохранения энергии; 3) научиться применять закон сохранения энергии для анализа различных процессов; 4) построить диаграмму Бернулли.

Оборудование: стенд гидравлический универсальный ТМЖ 2.

Практические задания:

- 1) Включите лабораторный стенд и, наблюдая за столбиками воды в пьезометрических трубках, убедитесь, что достигнут установившийся режим течения жидкости.
- 2) Проведите измерения расхода воды по ротаметрам и показаний пьезометров. Результаты измерений занесите в таблицы 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1. Результаты измерений по ротаметрам

Показания ротаметров		Расход, л/ч			Расход, Q , m^3/c
РТ1	РТ2	РТ1	РТ2	Сумма (РТ1+РТ2)	

Таблица 2.2. Результаты вычислений и измерений по пьезометрам

№ сечения	Диаметр i -го сечения, d_i , 10^{-3} , м	Координата i -го сечения, L_i , 10^{-3} , м	Пьезометрический напор i -го сечения, h_i , 10^{-2} , м	Скорость i -го сечения, v_i , м/с	Скоростной напор i -го сечения, h_{vi} , 10^{-2} , м	Полный напор, H_i , 10^{-2} , м

- 3) При помощи градуировочной характеристики перейдите от показаний ротаметров к расходу.
- 4) По результатам измерений вычислите скорость в каждом i -ом сечении трубы Вентури.
- 5) Вычислите скоростной напор в каждом i -ом сечении трубы Вентури.
- 6) Вычислите полный напор в каждом i -ом сечении трубы Вентури. Результаты измерений занесите в таблицу 2.2.
- 7) Постройте диаграмму Бернулли (построение выполнить на масштабной-координатной бумаге). В системе координат, где ось абсцисс координата L_i , ось ординат – напор H_i , изобразите пьезометрическую линию, напорную линию, потери энергии между соседними сечениями трубы.

Контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение понятий: работа, энергия, механическая энергия. Какие виды механической энергии существуют?
- 2) Дайте определение идеальной жидкости, реальной жидкости? Какую жидкость вы исследовали в лабораторной работе?
- 3) Дайте определение удельной энергии. В каких единицах измеряется удельная энергия?
- 4) Что называется напором? В каких единицах измерения он выражается?
- 5) Запишите уравнение Бернулли для идеальной жидкости, для реальной жидкости.
- 6) Каковы энергетическая и геометрическая интерпретация уравнения Бернулли?
- 7) Что показывает (учитывает) коэффициент Кориолиса? Какие значения принимает данный коэффициент?
- 8) Запишите уравнение Бернулли для участка трубопровода, на котором установлен насос.
- 9) Что измеряет пьезометр? Почему уровень в пьезометре 4 ниже, чем у остальных?
- 10) Что отражает диаграмма Бернулли? Каков принцип построения диаграммы Бернулли, отличия диаграммы Бернулли для реальной и идеальной жидкости?

Лабораторная работа №3. Определение коэффициента гидравлического трения

Цели работы: 1) определение экспериментального и теоретического значения коэффициента гидравлического трения; 2) построение графиков зависимостей λ_T (Re), λ_ε (Re).

Оборудование: стенд гидравлический универсальный ТМЖ 2.

Практические задания:

- 1) Включите лабораторный стенд и обеспечьте установившийся режим движения жидкости.
- 2) Снимите показания ротаметров РТ1 и РТ2, показания группы пьезометров ТР2, результаты измерений запишите в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Результаты измерений

Показания ротаметров		Расход, л/ч			Показания пьезометров, см	
РТ1	РТ2	РТ1	РТ2	Сумма (РТ1+РТ2)	h ₁	h ₂

- 3) Измените расход и повторите измерения не менее 3-х раз.
- 4) При помощи градуировочной характеристики перейдите от показаний ротаметров к расходу.
- 5) Вычислите потери напора по длине, среднюю скорость потока в трубе, экспериментальный гидравлический коэффициент трения, число Рейнольдса, теоретический коэффициент гидравлического трения. Результаты полученных вычислений внесите в таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Результаты вычислений

№ опыта	Расход, Q, м ³ /с	Потери напора, Δh _l , м	Скорость, v, м/с	λ _э	Re	λ _т

6) построить графики зависимости в логарифмических координатах $[lg(100\lambda_T) = f(lgRe)]$, $[lg(100\lambda_\varepsilon) = f(lgRe)]$.

7) По полученным графикам сделайте заключения: о зоне сопротивления, которой соответствуют проведенные опыты; при каком режиме происходит большее отклонение теоретического и экспериментального коэффициента гидравлического трения λ .

Контрольные вопросы:

- 1) При каком режиме движения жидкости абсолютная шероховатость не оказывает влияния на сопротивление по длине? В каком случае это влияние определяющее?

2) Какое влияние оказывает увеличение температуры на величину коэффициента трения в области абсолютно шероховатых труб? В области гидравлически гладких труб? При ламинарном режиме?

3) Чему равен коэффициент трения при движении в области гидравлически гладких труб, если $Re = 10000$? Как изменится величина коэффициента трения при увеличении абсолютной шероховатости внутренней поверхности трубы? (режим - ламинарный).

4) Зависят ли потери на трение от вязкости при движении в области абсолютно шероховатых труб? В области гидравлически гладких труб? При ламинарном режиме?

5) От каких параметров зависит коэффициент гидравлического трения в области шероховатых труб?

6) Как изменится толщина ламинарного слоя при увеличении скорости движения жидкости? Вязкости? Диаметра трубопровода?

7) Нарисуйте график зависимости потерь давления по длине трубопровода от средней скорости: при ламинарном режиме; в области абсолютно шероховатых труб.

8) Во сколько раз уменьшатся потери давления по длине трубопровода при уменьшении скорости движения жидкости в два раза при ламинарном режиме?

9) Во сколько раз уменьшатся потери давления по длине трубопровода при уменьшении скорости движения жидкости в два раза и движении в области квадратичных сопротивлений?

10) Жидкость течет по трубе с постоянным расходом при ламинарном режиме. Какова зависимость между потерями напора по длине и диаметром трубы?

11) Как влияет подогрев жидкости при постоянном расходе на потери по длине?

12) Почему с увеличением расхода жидкости любая гидравлически гладкая труба становится гидравлически шероховатой? Почему с уменьшением расхода жидкости любая гидравлически шероховатая труба становится гидравлически гладкой?

13) Почему при ламинарном режиме потери напора на трение по длине пропорциональны скорости в первой степени? Почему при развитом турбулентном режиме ($Re > 10^5$) потери напора на трение по длине пропорциональны скорости во второй степени?

Самостоятельная работа

Перечень вопросов, выносимых на самостоятельное изучение

1) *Свойства жидкостей* (Жидкости и их виды. Жидкость как сплошная (непрерывная среда). Диаграмма состояния «жидкость-пар». Вязкость жидкости. Формула Ньютона для величины касательного напряжения на границе слоев жидкости. Динамическая и кинематическая вязкость. Ньютоновские и неньютоновские жидкости).

2) *Основные понятия гидродинамики* (Основные виды движения жидкостей: стационарное и нестационарное, равномерное и неравномерное. Линия тока, трубка тока, элементарная струйка и поток жидкости. Основные геометрические характеристики потока: живое сечение, смоченный периметр, гидравлический диаметр, гидравлический радиус. Местная и средняя скорости потока жидкости. Расход. Уравнение неразрывности потока жидкости).

3) *Уравнение Бернулли* (Закон сохранения энергии для элементарной струйки жидкости. Уравнение Бернулли для струйки и потока идеальной жидкости. Геометрическое толкование уравнения Бернулли. Энергетическое толкование уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Коэффициент Кориолиса. Пьезометрическая линия, линия полного напора).

4) *Режимы движения жидкости* (Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости. Критические скорости. Число Рейнольдса. Критические значения чисел Рейнольдса для напорных трубопроводов и открытых русел).

5) *Потери напора в местных сопротивлениях* (Потери напора в местных сопротивлениях. Формула Вейсбаха. Значения коэффициента местного сопротивления для

внезапного расширения и внезапного сужения трубопровода. Основные виды местных сопротивлений).

6) *Насосы в трубопроводах* (Напор насоса, мощность и коэффициент полезного действия насоса. Примеры использования насоса в трубопроводах).

7) *Расчет коротких напорных трубопроводов* (Короткие напорные трубопроводы. Сифоны. Общие потери напора и расход в коротком трубопроводе. Коэффициент расхода трубопровода. Определение диаметра короткого напорного трубопровода).

8) *Расчет длинных и сложных напорных трубопроводов* (Расчет длинного напорного трубопровода. Формулы Шези. Простые и сложные трубопроводы. Расчет параллельных, тупиковых и кольцевых трубопроводов).

Задачи для самостоятельного решения

Тема 1. Свойства жидкостей

1) При температуре 288 K плотность нефти равна 828 кг/м^3 . При температуре 295 K условная вязкость нефти равна $6,4\text{ }^\circ\text{E}$. Коэффициент температурного расширения нефти $0,00072\text{ K}^{-1}$. Определить динамическую вязкость нефти при температуре 295 K .

2) Над твердой поверхностью протекает слой воды толщиной $h = 10\text{ см}$. Определить величину сдвигового напряжения в жидкости, если известно, что через поперечное сечение шириной $a = 10\text{ см}$ жидкость протекает с объемным расходом $Q = 200\text{ мл/с}$. Вязкость воды равна $\mu = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{ Па} \cdot \text{с}$. Профиль продольной скорости считать линейным по высоте (рис. 1.1).

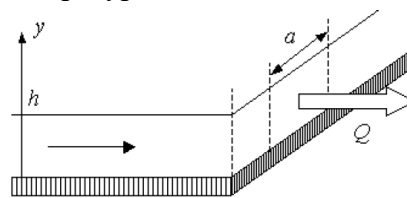


Рис. 1.1

3) Зависимость вязкости воды от температуры может быть приближенно описана уравнением $\mu(\text{Па} \cdot \text{с}) \approx \frac{2}{3} e^{-0,022T(\text{K})}$ в температурном диапазоне от 5°C до 50°C .

Определить, как изменится величина напряжения в условиях задачи 4 при температуре воды 20°C .

4) Определить кинематическую и динамическую вязкость при плотности жидкости $0,9\text{ г/см}^3$. Показания вискозиметра по Энглеру 40° .

5) Кинематическая вязкость нефти $0,4\text{ Ст}$, а удельный вес равен 9000 Н/м^3 . Определить динамическую вязкость нефти в международной, технической и физической системах единиц.

Тема 2. Основные понятия гидродинамики

1) Трубопровод состоит из трёх последовательно соединённых участков труб, внутренние диаметры которых $d_1 = 52\text{ мм}$, $d_2 = 76\text{ мм}$, $d_3 = 82\text{ мм}$. Определить средние скорости жидкости на участках, если объёмный расход в трубопроводе $Q = 48\text{ л/мин}$.

2) Вычислить гидравлический радиус потока воды в открытом канале трапецеидального сечения с размерами: $b = 3,0\text{ м}$, $h = 1,0\text{ м}$, $\alpha = 45^\circ$ (рис. 2.1).

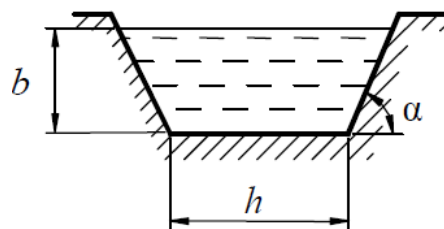


Рис.2.1

3) Для потока жидкости в трубе квадратного сечения с размерами $1,0 \times 1,0\text{ м}$ вычислить значения гидравлического радиуса при заполнении трубы жидкостью до высоты $h = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0\text{ м}$. Построить график изменения гидравлического радиуса R в зависимости от высоты уровня h жидкости в трубе.

Тема 3. Уравнение Бернулли

1) Определить давление жидкости в сечении 2-2 при удельном весе $\gamma = 9000 \text{ Н/м}^3$. Известно, что в сечении 1-1 скорость равна $V_1 = 1 \text{ м/с}$, давление $p_1 = 3,0 \text{ ат}$. Площадь в сечении 1-1 в 3 раза больше площади в сечении 2-2. Жидкость считать идеальной.

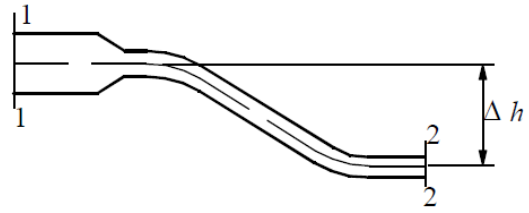
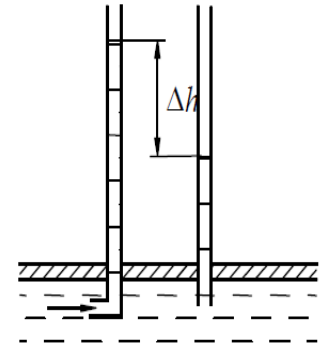


Рис. 3.1.

2) Определить среднюю скорость движения воды (рис. 3.1) в сечении 2-2, если в сечении 1-1 скорость $V_1 = 1,2 \text{ м/с}$, давление $p_1 = 1,2 \text{ ат}$. Давление в сечении 2-2 $p_2 = 1,1 \text{ ат}$. Центр тяжести сечения 2-2 находится ниже центра тяжести сечения 1-1 на величину $h = 3,0 \text{ м}$. Потери давления на преодоление гидравлических сопротивлений равны $h_w = 1,4 \text{ м}$.



3) Вычислить давление в сечении 1-1 трубопровода, по которому движется жидкость плотностью $\rho = 880 \text{ кг/м}^3$ (рис. 3.1). Известно, что скорость жидкости в сечении 1-1 трубопровода равна $V_1 = 1,1 \text{ м/с}$, площадь в сечении 1-1 в 2,5 раза больше площади в сечении 2-2. Разность геометрических высот центров тяжести сечений принять равной $\Delta h = 8,7 \text{ м}$. Жидкость считать идеальной.

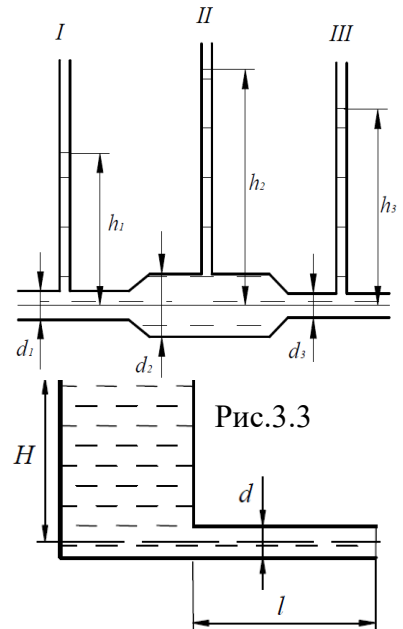


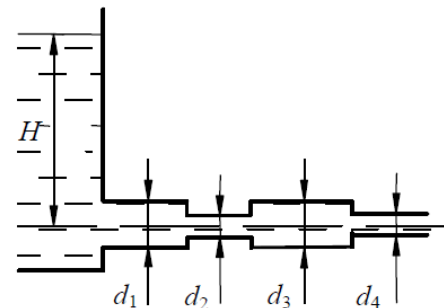
Рис.3.3

4) Для измерения скоростных напоров применяется гидрометрическая трубка (рис. 3.2), состоящая из пьезометра и трубки Пито. Определить местную скорость движения жидкости в трубопроводе, если разность показаний в трубке Пито и пьезометре равна $\Delta h = 620 \text{ мм}$. Жидкость считать идеальной.

5) Горизонтальный трубопровод составлен из трёх участков различных диаметров (рис. 3.3): $d_1 = 24 \text{ мм}$, $d_2 = 56 \text{ мм}$, $d_3 = 40 \text{ мм}$. Высота уровней в пьезометрических трубках I и II при движении жидкости по трубопроводу устанавливается соответственно: $h_1 = 68 \text{ см}$ и $h_2 = 84 \text{ см}$. Вычислить пьезометрическую высоту h_3 , установившуюся в пьезометре III. Жидкость считать идеальной.

Рис. 3.4

6) Из открытого резервуара с постоянным расходом $Q = 1,0 \text{ л/с}$ и скоростью $V = 0,5 \text{ м/с}$ подаётся нефть (рис. 3.4). Определить диаметр d и напор H , необходимый для пропуска нефти по трубопроводу длиной $L = 100 \text{ м}$. Кинематическую вязкость нефти принять равной $\nu = 0,14 \text{ см}^2/\text{с}$. Построить напорную и пьезометрическую линии.



7) Определить расход воды в горизонтальном трубопроводе переменного сечения, скорость на каждом из участков и построить пьезометрическую линию, если $H = 5,0 \text{ м}$, $d_1 = 120 \text{ мм}$, $d_2 = d_4 = 60 \text{ мм}$, $d_3 = 100 \text{ мм}$ (рис. 3.5).

8) Из резервуара вытекает вода по трубопроводу переменного сечения с площадями $\omega_1 = 5,0 \text{ м}^2$, $\omega_2 = 0,015 \text{ м}^2$, $\omega_3 = 0,04 \text{ м}^2$, $\omega_4 = 0,02 \text{ м}^2$ (рис. 3.6). Расстояния от плоскости сравнения до центра тяжести сечений соответственно: $z_1 = 4,0 \text{ м}$, $z_2 = 2,0 \text{ м}$, $z_3 = 0,5 \text{ м}$, $z_4 = 0$. Абсолютное давление на

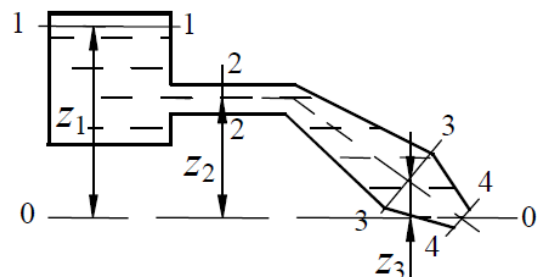


Рис. 3.6

поверхности жидкости в резервуаре $p_A = 110$ кПа. Определить расход воды, скорость и избыточное давление жидкости (в миллиметрах водного столба). Построить напорную и пьезометрическую линии. Движение по трубопроводу считать установившимся. Потерями напора пренебречь.

Тема 4. Режимы течения жидкости

1) По трубопроводу диаметром $d = 100$ мм перекачивается нефть с расходом $Q = 12,0$ дм³/с. Определить режим движения жидкости и критическую скорость при температуре $t = 10$ °С.

2) В сужающуюся трубу подаётся вода расходом $Q = 0,065$ л/с при температуре $t = 10$ °С. Определить режим движения в широкой и узкой части, если $d_1 = 40$ мм и $d_2 = 20$ мм.

3) Нефть с кинематической вязкостью $\nu = 0,3$ см²/с движется по трубопроводу. Определить минимальный диаметр трубопровода d , при котором нефть будет двигаться при ламинарном режиме с расходом $Q = 8,14$ л/с.

4) Нефть с кинематической вязкостью $\nu = 0,3$ см²/с движется по трубопроводу. Найти: а) минимальный диаметр трубопровода, при котором нефть будет двигаться при ламинарном режиме с расходом $Q = 8,14$ л/с; б) с каким расходом нефть будет двигаться по трубопроводу с диаметром $d = 150$ мм при числе Рейнольдса $Re = 5000$.

Тема 5. Потери напора в трубопроводах

1) Определить потери напора при подаче воды через трубку диаметром $d = 2$ см и длиной $l = 20,0$ м со скоростью $V = 12$ см/с при температуре $t = 16$ °С.

2) Вычислить потерю напора в трубопроводе с внутренним диаметром $d = 50$ мм, длиной $L = 100$ м при перекачке нефти с кинематической вязкостью $\nu = 0,2$ Ст и скоростью движения $V = 0,3$ м/с.

3) При закрытом кране манометр показывает давление $p_1 = 4,0$ ат. После открытия крана манометр стал показывать давление $p_2 = 1,5$ ат. Определить расход, если диаметр трубы $D = 100$ мм.

4) Определить путевые потери в водопроводе диаметром $d = 80$ мм и длиной $L = 250$ м, если расход воды составляет $Q = 8,0$ л/с и температура воды $t = 12$ °С. Эквивалентную шероховатость принять равной $\Delta = 0,25$ мм.

Тема 6. Насосы в трубопроводах

1) Определить напор центробежного насоса, зная расход $Q = 100$ л/с, коэффициент полезного действия насоса $\eta = 0,65$ и мощность на валу насоса $N = 60$ кВт.

2) Определить диаметр всасывающей трубы и вакуум у центробежного насоса, если известно, что расход $Q = 17,7$ л/с, расстояние от свободной поверхности в резервуаре до оси насоса $h_n = 6,0$ м, длина всасывающей трубы $l_{вс} = 60,0$ м, допустимая скорость в трубе $V = 1,0$ м/с (рис. 6.1). При входе во всасывающую трубу устроена сетка и обратный клапан.

3) Насос откачивает бензин из подземного резервуара по всасывающему трубопроводу (рис. 6.2), диаметр которого $d = 100$ мм, длина $l = 120,0$ м, эквивалентная шероховатость $\Delta = 0,1$ мм. Уровень бензина в резервуаре ниже оси насоса на $H = 3,8$ м. Давление на поверхности бензина в резервуаре атмосферное. Определить расход бензина из резервуара, если известно, что абсолютное давление всасывания насоса $p_{вс} = 42$ кПа. Плотность бензина принять $\rho = 750$ кг/м³ и кинематическую вязкость $\nu =$

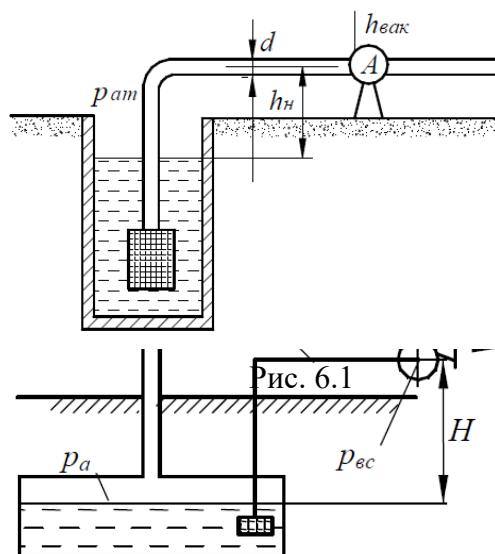


Рис. 6.2

0,01 Ст. Местные потери напора в трубопроводе считать равными 10% от путевых потерь.

4) Определить силу P , которую нужно приложить к поршню насоса диаметром $D = 65$ мм, чтобы подавать в напорный бак жидкость с постоянным расходом $Q = 2,5$ л/с (рис. 6.3). Высота подъёма жидкости в установке $H = 10,0$ м. Избыточное давление в напорном баке $p_0 = 0,15$ МПа; длина трубопровода $l = 60,0$ м, диаметр $d = 30$ мм, его шероховатость $\Delta = 0,03$ мм. Коэффициент сопротивления вентиля на трубопроводе $\zeta = 5,5$. Потери напора на плавных поворотах трубопровода не учитывать. Трением поршня в цилиндре пренебречь. Задачу решить для случаев подачи в бак бензина ($\rho = 765$ кг/м³, $\nu = 0,4$ сСт) и машинного масла ($\rho = 930$ кг/м³, $\nu = 20$ сСт).

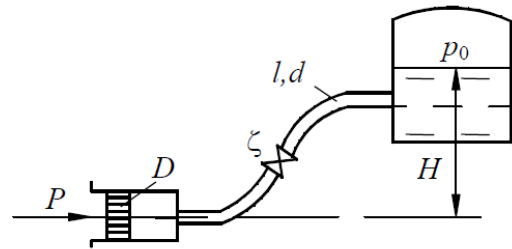


Рис. 6.3

Тема 7. Расчет напорных трубопроводов

1) Вода из скважины по сифонному трубопроводу подаётся в сборный колодец. Длина трубы сифона 350 м, её диаметр 100 мм. Разность уровней воды в скважине и в колодце 2,2 м. Превышение наивысшей точки сифона над уровнем воды в скважине $h = 2,8$ м. Приняв коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,025$ и сумму коэффициентов местных сопротивлений, определить среднюю скорость движения воды и расход в сифонной трубке, а также вакуум в наивысшей точке сифона. Длина восходящей ветки 80,0 м.

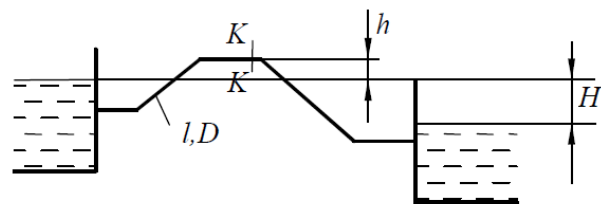


Рис. 7.1

2) По самотечному сифонному трубопроводу длиной $l = 44,0$ м необходимо обеспечить расход нефти ($\rho = 0,9$ г/см³, $\nu = 1,0$ Ст) $Q = 1,0$ л/с при напоре $P = 2,0$ м (рис. 7.2). Найти требуемый диаметр D трубопровода, учитывая только потери напора на трение по его длине. Определить допустимое превышение h сечения $K-K$ над уровнем в верхнем резервуаре, если это сечение находится на середине длины трубопровода, а вакуум не должен превышать $p_{\text{вак}} = 53$ кПа.

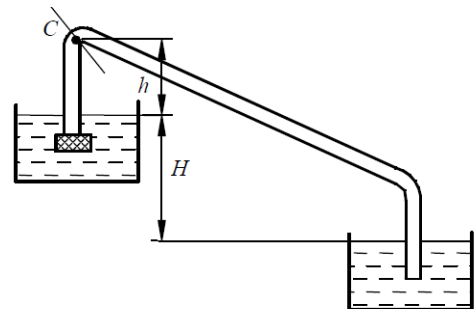


Рис. 7.2

3) По сифону, изображённому на рис. 7.2, перекачивается вода. Определить допустимую температуру воды для работы сифона без срыва потока при следующих данных: длина трубы 150 м, длина восходящей ветки сифона 24 м, превышение точки C над уровнем воды в верхнем резервуаре $h = 4,0$ м, $H = 25,0$ м. Скоростным напором можно пренебречь

4) Определить требуемый напор в точке A для пропуска 25 л/с воды по замкнутому трубопроводу, изображённому на рис. 9.1, при следующих данных: напор в точке B $H_B = 15,0$ м, диаметры участков $d_1 = 150$ мм, $d_2 = 100$ мм, $l_1 = 1000$ м, $l_2 = 600$ м, $l_3 = 800$ м.

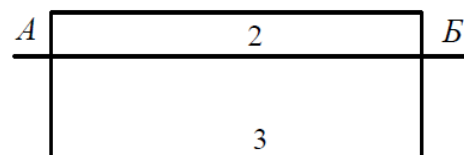


Рис. 7.3

5) Подобрать диаметры труб для участков замкнутой сети при следующих данных: длины участков $l_1 = 600$ м, $l_2 = 500$ м, $l_3 = 700$ м; расходы на участках $Q_1 = 12$ л/с, $Q_2 = 10$ л/с, $Q_3 = 14$ л/с; напор в точках A и B равен $H_A = 15,0$ м и $H_B = 3,0$ м.

6) Определить приблизительный расход в стальном самотечном водопроводе диаметром $d = 82$ мм и длиной $l = 820$ м, если $H = 12,9$ м.

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

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

2. Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется:

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

3. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид

$$а) z_1 + \frac{P_1}{2g} + \frac{V_1^2}{\rho \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{2g} + \frac{V_2^2}{\rho \cdot g}; \quad б) z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h;$$

$$\text{в) } z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g}; \quad \text{г) } z_1 + \frac{V_1}{\rho \cdot g} + \alpha_1 \frac{P_1^2}{2g} = z_2 + \frac{V_2}{\rho \cdot g} + \alpha_2 \frac{P_2^2}{2g}$$

4. В чем заключается геометрический смысл уравнения Бернулли?

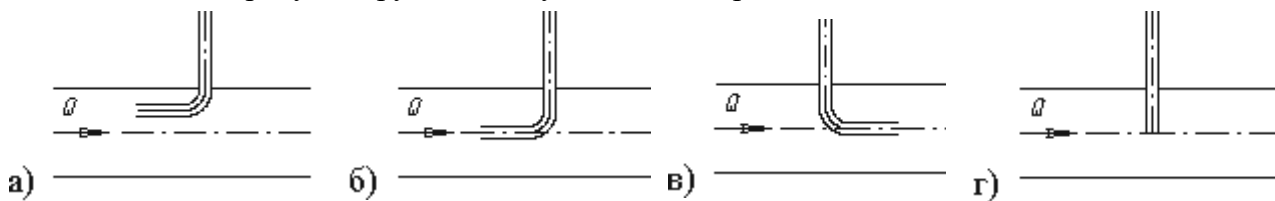
а) для потока реальной жидкости сумма геометрической, пьезометрической высоты и высоты скоростного напора есть величина постоянная;

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.

5. На каком рисунке трубка Пито установлена правильно?



6. 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.

7. При $Re > 4000$ режим движения жидкости

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

8. 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.

9. 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.

10. 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 $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

а) турбулентный, гладкая область;

б) турбулентный, докватратичная область;

в) турбулентный, квадратичная область;

г) ламинарный.

11. Движение, при котором скорость и давление зависят не только от координат, но и от времени называется

а) ламинарным; б) стационарным;

в) неустановившимся; г) турбулентным.

12. Часть периметра живого сечения, ограниченная твердыми стенками называется

- а) мокрый периметр; б) периметр контакта;
 в) смоченный периметр; г) гидравлический периметр.

13. Уравнение Бернулли для реальной жидкости имеет вид

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

14. Уравнение Бернулли для двух различных сечений потока дает взаимосвязь между

- а) давлением, расходом и скоростью;
 б) скоростью, давлением и коэффициентом Кориолиса;
 в) давлением, скоростью и геометрической высотой;
 г) геометрической высотой, скоростью, расходом.

15. Для измерения скорости потока используется

- а) трубка Пито; б) пьезометр;
 в) вискозиметр; г) расходомер Вентури.

16. При турбулентном движении жидкости в трубопроводе наблюдаются следующие явления

- а) пульсация скоростей и давлений;
 б) отсутствие пульсации скоростей и давлений;
 в) пульсация скоростей и отсутствие пульсации давлений;
 г) пульсация давлений и отсутствие пульсации скоростей.

17. Число Рейнольдса определяется по формуле

- а) $Re = \frac{V \cdot d}{\mu}$; б) $Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$; в) $Re = \frac{\nu \cdot d}{V}$; г) $Re = \frac{\nu \cdot l}{V}$

18. По мере движения жидкости от одного сечения к другому по направлению течения потока жидкости потерянный напор

- а) увеличивается;
 б) уменьшается;
 в) остается постоянным;
 г) увеличивается при наличии местных сопротивлений.

19. От чего зависит коэффициент гидравлического трения в третьей области турбулентного режима?

- а) только от числа Re ;
 б) от числа Re и шероховатости стенок трубопровода;
 в) только от шероховатости стенок трубопровода;
 г) от числа Re , от длины и шероховатости стенок трубопровода.

20. Определите, каким будет режим движения и область сопротивления в круглоцилиндрическом трубопроводе, если диаметр трубопровода 20 мм, расход воды, протекающей через трубопровод 12 л/с, эквивалентная шероховатость трубопровода 0,2 мм, кинематическая вязкость воды $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

- 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 лаборатории водоснабжения и водоотведения уч. корпуса № 3, оборудованной стендом гидравлическим универсальным ТМЖ 2.

9. Программное обеспечение

Табличный редактор *MS Excel* используется для расчета напорных трубопроводов.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

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