

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

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой энергетики
_____ Ю.В. Мясоедов
« ____ » _____ 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Гидравлика

(наименование дисциплины)

Основной образовательной программы по направлению подготовки (специальности):

280101.65 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

(код и наименование направления (специальности))

Составитель: старший преподаватель Бодруг Н.С.

Благовещенск 2012

СОДЕРЖАНИЕ

1. Рабочая программа дисциплины	3
2. Краткий конспект лекций	19
3. Практические занятия	
3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий	33
3.2. Перечень тем практических занятий	33
3.3. Задачи для проведения практических занятий	34
3.4. План проведения практических занятий	45
4. Лабораторные занятия	
4.1. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий	51
4.2. Перечень тем лабораторных занятий (с указанием объема в часах)	52
4.3. Методические указания по выполнению лабораторных работ	52
5. Самостоятельная работа студентов	
5.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы	52
5.2. График самостоятельной работы студентов	52
5.3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы	53
5.4. Комплекты заданий для проверочных работ	54
6. Материалы по контролю качества образования	
6.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов	55
6.2. Критерии оценки знаний студентов	56
6.3. Фонды тестовых заданий	57
7. Список рекомендуемой литературы	65

1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Гидравлика» являются формирование систематизированных знаний в области явлений, связанных с закономерностями движения жидкости и газа, при их взаимодействии с обтекаемыми твердыми телами или ограничивающими поверхностями или между самими жидкостями и газами; аэрогидродинамические силы, моменты и тепловые потоки; характерные условия движения объектов; основы кинематики сплошной среды; динамика сплошной среды; основы аэрогидростатики; гидроаэродинамика объектов; понятие о методах расчета гидроаэродинамических характеристик объектов; разработка методологических основ и принципов проведения расчетов при проектировании и эксплуатации установок.

Эти знания позволят выпускникам успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанной с проектированием и функционированием космических летательных аппаратов и разгонных блоков.

Задачи дисциплины:

- овладение основами физического и математического моделирования исследованных явлений и процессов, расчетами по типовым методикам, использование прикладного программного обеспечения для расчета параметров двигательных энергоустановок и других сложных технических объектов, использующих в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы.
- ознакомление студентов с методами проектирования и их алгоритмами, связанными с созданием и эксплуатацией двигательных энергоустановок и других сложных технических объектов и их модернизацией, использующих в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя жидкости и газы, улучшением их эксплуатационных характеристик, повышением экологической безопасности, улучшением условий труда, экономией ресурсов с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта их разработки.
- формирование системных и профессиональных компетенций по подготовке студентов к обеспечению правильной эксплуатации и ремонту энергетического и технологического оборудования, использующего в качестве рабочего тела, теплоносителя или энергоносителя

жидкости и газы, к планированию и участию в проведении испытаний технологического оборудования.

1.2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина «Гидравлика» предусмотрена Государственным образовательным стандартом в качестве одной из общепрофессиональных дисциплин – блок ОПД.Ф.04

Дисциплина базируется на курсах цикла общих математических и общенаучных дисциплин (ЕН) «Математика», «Физика», «Информатика».

Студенты, обучающиеся по данной дисциплине, должны знать и владеть следующими материалами:

Математика – алгебра, решение систем алгебраических уравнений, дифференциальные и интегральные исчисления, графы, теория функций комплексного переменного, вероятность и статистика;

Физика – уравнения движения, законы сохранения, основы релятивистской механики, принцип относительности в механике, кинематика и динамика твердого тела, жидкостей и газов;

Информатика – общая характеристика процессов сбора, передачи, обработки и накопления информации; технические и программные средства реализации информационных процессов; модели решения функциональных и вычислительных задач; базы данных; компьютерная графика.

1.3 ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1) Знать:

историю развития науки и техники специальности; основы аэродинамики и гидрогазодинамики, понятия и закономерности движения жидкости и газаметоды расчета поля скоростей, поля давлений, главного вектора и главного момента аэродинамических сил;

2) Уметь:

использовать аналитические методы и пакеты стандартных программ для нахождения оптимальных вариантов решения проектных задач, рассчитывать аэродинамические и газодинамические характеристики, определять величины гидрогазодинамических сил, проводить

простейшие газодинамические расчёты одномерных течений невязкого газа, свободно, быстро и правильно выполнять количественные вычисления с необходимой точностью;

3) Владеть:

владеть преобразованиями величин, записанных в одной системе единиц измерения в другие системы, методиками нахождения оптимальных решений и пакетами стандартных программ, методиками определения аэродинамических коэффициентов и расчета гидрогазодинамических сил.

1.4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРАВЛИКА»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 119 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				ЛК	ПЗ	ЛЗ	СРС	
1	Кинематика жидкости и газа. Гидростатика. Газовая динамика	4	1-6	12	6	6	15	1,3,5 недели – блиц-опрос на лекции; 2,4,6,8 недели – опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания, защита лабораторных работ
2	Скачки уплотнения. Элементы теории профилей в плоском потоке. Математические модели вязких жидкостей и газов	4	7-12	12	6	6	15	7,9,11 недели - блиц-опрос на лекции; 8,10,12 недели - опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания; защита лабораторных работ 9 неделя – коллоквиум
3	Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы.	4	13-18	12	6	6	17	13,15 недели - опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания, защита отчета по лабораторной работе 16 неделя – контрольная работа 16, 18 недели – блиц-опрос на лекции
4	Промежуточная аттестация	4						Экзамен

Примечания:

ЛК – лекции, ПЗ – практические занятия, ЛЗ – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студентов, КП – курсовой проект.

1.5 СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

1.5.1. Лекции

Раздел 1. Кинематика жидкости и газа. Гидростатика. Газовая динамика.

Тема 1. Введение. Предмет науки. Содержание курса и роль гидрогазодинамики в подготовке специалистов. Основные понятия и закономерности кинематики жидкости и газа.

Механика жидкости и газа и ее место среди естественных и технических наук. Исторический обзор достижений гидрогазоаэродинамики. Основные понятия. Классификация жидкостей и газов. Гипотеза сплошности. Некоторые понятия и свойства сплошных сред. Методы описания движения (метод Лагранжа, метод Эйлера). Классификация движений жидкостей и газов. Принцип обращения движения. Линия тока. Поверхность тока. Трубка тока. Траектория. Струя. Вихревое движение жидкости и газа. Вихревая линия и вихревая поверхность. Вихревая трубка. Вихревая нить. Вихревой шнур. Интенсивность вихревой нити и вихревого шнура. Вторая теорема Гельмгольца. Циркуляция скорости. Теорема Стокса. Первая теорема Гельмгольца. О физическом смысле частных производных скорости в тензоре скоростей деформации.

Тема 2. Некоторые закономерности динамики жидкости и газа.

Закон сохранения массы (уравнение неразрывности). Объёмные и поверхностные силы. Тензор напряжений. Уравнения динамики сплошной среды в напряжениях. Дифференциальные уравнения движения невязкой жидкости. Первый интеграл уравнений Эйлера – теорема Бернулли.

Тема 3. Гидростатика.

Основные уравнения гидростатики. Гидростатика относительного покоя. Влияние ускорения подвижной системы отсчёта на распределение гидростатического давления. Главный вектор и главный момент гидростатических сил давления. Гидростатические подвесы.

Тема 4. Газовая динамика.

Строение атмосферы. Стандартная атмосфера. Уравнение состояния газа. Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Удельная теплоёмкость. Теплосодержание. Энтропия. Второй закон термодинамики. Изэнтропические процессы. Скорость распространения звука в газе. Число М. Уравнение баланса энергии для одномерного движения невязкого газа. Температура торможения. Основные соотношения для одномерного установившегося, изэнтропического

ческого течения вязкого газа. Связь между скоростью течения газа и формой его струи. Случаи течения газа в сопле Лаваля.

Раздел 2. Скачки уплотнения. Элементы теории профилей в плоском потоке. Математические модели вязких жидкостей и газов.

Тема 5. Прямой и косой скачок уплотнения.

Понятие скачка уплотнения. Условия, при которых возникают скачки уплотнения в движущемся газе. Законы, на которых основаны количественные расчёты прямого скачка уплотнения. Основные соотношения для прямого скачка уплотнения. Связь между скоростями потока до и после прямого скачка. Сравнение сжатия газа в прямом скачке уплотнения с изэнтропическим сжатием. Давление в точке торможения потока за прямым скачком уплотнения. Измерение числа M сверхзвукового потока. Косой скачок уплотнения. Закономерности, на которых основаны расчёты косых скачков уплотнения. Сравнение сжатия газа в прямом и косом скачках уплотнения. Связь между углом поворота потока и положением плоскости косого скачка.

Тема 6. Элементы теории обтекания тел плоским потенциальным потоком несжимаемой жидкости.

Потенциальное движение жидкости. Потенциал скоростей. Плоское движение жидкости. Функция тока. Комплексный потенциал и комплексная скорость плоского течения жидкости. Примеры плоских, безвихревых потоков вязкой, несжимаемой жидкости: однородное, диполь, циркуляционное движение, без циркуляционное обтекание цилиндра, циркуляционное движение. Подъёмная сила при циркуляционном обтекании цилиндра. Теорема Жуковского о подъёмной силе при циркуляционном обтекании.

Тема 7. Математические модели вязких жидкостей и газов.

Математические модели вязких жидкостей и газов. Пограничный слой, вихревой след. Модели, учитывающие вязкость жидкостей. Ньютоновская жидкость. Давление в вязкой, ньютоновской жидкости. Уравнения Навье-Стокса. Полная модель движения вязкой, сжимаемой жидкости. Уравнение баланса энергии. Подобие течений. Критерии подобия течений. Число Рейнольдса. Ламинарные, турбулентные течения.

Раздел 3. Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы.

Тема 8. Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы.

Крыловой профиль и его геометрические характеристики. Силы, действующие на профиль при его обтекании потоком воздуха. Аэродинамические характеристики профиля кры-

ла, руля управления. ЛА. Зависимость аэродинамических характеристик от геометрических. Центр давления профиля. Устойчивые и неустойчивые профили.

Тема 9. Аэродинамические силы, действующие на ЛА при плоском и пространственном движении.

Аэродинамические силы, действующие на ЛА при плоском и пространственном движении. Критическое число M летательного аппарата. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от числа M в до критической и за критической областях обтекания ЛА.

1.5.2. Практические занятия

Цель проведения практических занятий – научить студентов проводить расчеты по типовым методикам и использовать прикладное программное обеспечение для расчета.

Практические занятия проводятся с привлечением пакета программ автоматизации математических расчетов «MathCad», «Maple» и задач для самостоятельного решения.

Практические занятия проводятся с целью закрепления знаний, полученных при изучении теоретического курса.

Тематика практических занятий приведена в табл.

№ п/п	Наименование темы	К-во часов
1	Основы кинематики жидкости. Основы гидростатики: Поток вектора скорости как объемный расход жидкости. Массовый расход жидкости. Основное уравнение гидростатики для несжимаемой жидкости. Давление жидкости на твердые поверхности. Тело давления. Закон Архимеда. Решение уравнений гидростатики в математических пакетах MathCad, Maple.	4
2	Основные уравнения гидрогазодинамики: Уравнение сплошности в дифференциальной форме. Интегральная форма закона сохранения количества движения (импульса) для жидкого объема. Определение усилия, действующего на стенки криволинейного канала со стороны текущей по нему жидкости; учет сил давления на канал со стороны окружающей среды. Уравнение Бернулли. Теория подобия и анализ размерностей: Получение чисел подобия методом анализа размерностей на основании π - теоремы. Уравнения подобия.	4
3	Одномерные течения. Одномерный поток газа: Уравнение неразрывности (расхода). Уравнение Бернулли как механическая форма уравнения энергии. Обобщенное уравнение Бернулли. Гидравлические потери и принципы их расчёта. Потери при течении несжимаемой жидкости в канале с внезапным расширением. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Дроссельные расходомеры. Гидравлический расчет трубопроводов. Уравнение энергии в форме энтальпии. Параметры заторможенного потока газа. Газодинамические функции параметров торможения. Газодинамические функции, характеризующие поток массы. Газодинамическая форма уравнения расхода. Газодинамические функции, характеризующие полный импульс потока. Формулы для определения сил, действующих на твердое тело со стороны газового потока (газодинамическая форма). Уравнение обращения воздействий (УОВ) как общий слу-	4

№ п/п	Наименование темы	К-во часов
	чай одномерного течения газа. Геометрическое воздействие как частный случай УОВ. Истечение газа из сосуда неограниченной емкости через сужающееся сопло. Расчет идеального сужающегося и идеального сужающее - расширяющегося сопла. Движение подогреваемого газа по каналу постоянного сечения. Адиабатическое течение газа с трением по каналу постоянного сечения. Расходное и механическое воздействия как частные случаи УОВ при изоэнтропном течении газа. Комбинированные воздействия на поток газа.	
4	Скачки уплотнения. Основы теории пограничного слоя: Прямой скачок уплотнения. Косые скачки уплотнения. Ступенчатое торможение сверхзвукового потока в системе скачков уплотнения. Пересечение скачков, отражение скачков от твердой стенки. Расчет толщины пограничного слоя, местного и суммарного коэффициента сопротивления трения, силы трения при ламинарном и при турбулентном обтекании плоской стенки. Отрыв пограничного слоя. Взаимодействие ламинарного и турбулентного пограничного слоя с косым скачком уплотнения, критическое отношение давлений.	2
5	Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы: Силы, действующие на профиль при его обтекании потоком воздуха. Аэродинамические силы, действующие на ЛА при плоском и пространственном движении. Зависимость аэродинамических характеристик от геометрических. Критическое число M летательного аппарата. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от числа M в докритической и закритической областях обтекания ЛА.	4

На практических занятиях каждому студенту выдаются индивидуальные домашние задания.

1. 5.3. Лабораторные занятия

Цель проведения лабораторных занятий – ознакомить студентов со схемами РУ ТЭЦ и подстанций, с устройством и конструкцией электрических аппаратов ТЭЦ и подстанций, привить навыки практической работы с электрооборудованием и условиями его эксплуатации. Тематика лабораторных занятий приведена в табл.

№ п/п	Наименование темы	Кол-во часов
1	Одномерный поток газа: Общие сведения о свободных струях. Измерения в потоке воздуха с помощью пневмонасадков. Адиабатическое течение газа с трением по каналу с постоянной площадью поперечного сечения. Основы теории пограничного слоя: Течение газа в канале с горлом.	4
2	Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии. Скачки уплотнения: Исследование обтекания клина сверхзвуковым потоком.	4
3	Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах. Основы вычислительной гидрогазодинамики: Численное моделирование ламинарного движения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе.	4
4	Основы вычислительной гидрогазодинамики: Моделирование движения жидкости и газа в пакете CosmosFlowWorks. Моделирование движения жид-	6

№ п/п	Наименование темы	Кол-во часов
	кости и газа в пакетах Flowvision и Ansys. Программный пакет Open – FOAM с библиотекой моделей, включающей уравнения Навье – Стокса в сжимаемой и несжимаемой постановках.	

1.6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоёмкость в часах
1	1	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготовка к лабораторным занятиям	15
2	2	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготовка к лабораторным занятиям	15
3	3	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготовка к лабораторным занятиям	17

1.7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Гидравлика», используются традиционные и современные образовательные технологии. Из современных образовательных технологий применяются информационные и компьютерные технологии с привлечением к преподаванию мультимедийной техники и интерактивной доски, технологии активного обучения, проблемного обучения. Применяются следующие активные и интерактивные формы проведения занятий: проблемные ситуации, компьютерные симуляции, деловые игры, разбор конкретных ситуаций.

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателя: консультации и помощь преподавателя при выполнении индивидуального домашнего задания, консультации по разъяснению материала, вынесенного на самостоятельную проработку, индивидуальную работу студента в компьютерном классе ЭФ или в библиотеке.

1.8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ

ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Система оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплине включает вопросы для блиц-опроса на лекциях, индивидуальные домашние задания, задания для курсового проекта и контрольных работ, проводимых на практических занятиях, вопросы для коллоквиума.

Тематика вопросов блиц-опроса на лекциях совпадает с тематикой лекций.

Темы индивидуальных домашних заданий включают в себя комплексные задания по модулям дисциплины.

Примерное содержание заданий на контрольные работы.

Задачей проведения контрольных работ, выносимых на СРС, является закрепление знаний, умений и навыков, необходимых при решении часто встречающихся на практике гидрогазодинамических задач.

К таким задачам можно отнести задачи по следующим разделам и темам дисциплины: раздел "Основные уравнения гидрогазодинамики", темы "Интегральная форма закона сохранения количества движения (импульса) для жидкого объема. Определение усилия, действующего на стенки криволинейного канала со стороны текущей по нему жидкости; учет сил давления на канал со стороны окружающей среды. Уравнение Бернулли"; раздел "Теория подобия и анализ размерностей", тема "Получение чисел подобия методом анализа размерностей на основании π - теоремы. Уравнения подобия"; раздел "Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах", темы "Уравнение неразрывности (расхода). Уравнение Бернулли как механическая форма уравнения энергии. Обобщенное уравнение Бернулли. Истечение жидкости через отверстия и насадки. Дроссельные расходомеры"; раздел "Одномерный поток газа", темы "Газодинамическая форма уравнения расхода. Формулы для определения сил, действующих на твердое тело со стороны газового потока (газодинамическая форма). Истечение газа из сосуда неограниченной емкости через сужающееся сопло. Движение подогреваемого газа по каналу постоянного сечения. Адиабатическое течение газа с трением по каналу постоянного сечения"; раздел "Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии", тема "Сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости течения"; раздел "Скачки уплотнения", темы "Прямой скачок уплотнения. Косой скачок уплотнения. Пересечение и отражение скачков уплотнения. Система скачков уплотнения"; раздел "Основы гидростатики", тема "Давление жидкости на твердые поверхности. Тело дав-

ления". После выполнения каждой контрольной работы слушатель должен сдать ее на проверку. Преподаватель зачитывает выполненную работу или назначает дату ее защиты.

При выполнении контрольных работ должны соблюдаться следующие основные требования: - как правило, должен даваться рисунок, отражающий основное содержание задачи, на котором показываются принятые обозначения расчетных сечений; - приводится алгоритм решения задачи и необходимые расчетные соотношения; - проводится решение задачи, доведенное до расчетных соотношений и числовых данных.

Коллоквиум проводится на тему: «Гидростатика, кинематика жидкости и газа, газовая динамика».

Вопросы на коллоквиум.

1. Основные свойства жидкостей и газов.
2. Закон внутреннего трения Ньютона. Какие вы знаете коэффициенты вязкости, от каких параметров зависит их величина?
3. Дайте классификацию и определение сил, действующих в жидкости.
4. Напишите уравнение Эйлера равновесия жидкости и дайте его объяснение.
5. Чем создается и от чего зависит давление в жидкости? Пользуясь уравнением Эйлера, получите основную формулу гидростатики.
6. Дайте вывод барометрической формулы - основной формулы аэростатики.
7. Что такое поверхности равного давления? Напишите уравнение поверхности уровня давления.
8. Закон Паскаля. Принцип работы гидропресса.
9. Как определяется сила давления жидкости на стенки?
10. Что такое центр давления жидкости на стенку и где он расположен?
11. Дайте определение местной, осредненной, средней скорости, пульсации скорости, массовой скорости потока.
12. Что такое установившееся и неустойчивое движение?
13. Дайте определение ламинарного и турбулентного движения.
14. Что такое линия тока, трубка тока? Напишите уравнение линии тока. Перечислите основные свойства трубки тока.
15. Уравнения неразрывности потока в дифференциальной и гидравлической формах .
16. Составляющие скорости жидкой частицы. Теорема Коши - Гельмгольца.
17. Каковы основные характеристики вихревого движения? Что такое вихрь, компонент вихря?

18. Что такое вихревая линия, и каково ее уравнение? Что такое вихревая трубка и ее напряженность?
19. Что такое циркуляция скорости и как она определяется. Изложите сущность теоремы Стокса.
20. Какое движение называется потенциальным? Каким условиям должны удовлетворять функция потенциала скорости?
21. Что такое функция тока, и каковы ее особенности?
22. Дайте определение источника, стока, диполя.
23. Сформулируйте и дайте математическое выражение теоремы импульсов.
24. Изложите сущность теоремы Н.Е. Жуковского.

Промежуточная аттестация осуществляется в виде сдачи экзамена. Система оценочных средств и технологий для проведения промежуточной аттестации по дисциплине включает контрольные вопросы и задания к экзамену.

Вопросы к экзамену

1. Механика жидкости и газа и ее место среди естественных и технических наук. Исторический обзор достижений гидрогазодинамики. Основные понятия гидрогазодинамики.
2. Классификация жидкостей и газов. Гипотеза сплошности.
3. Гидромеханическое представление о жидкостях как о сплошной, легкоподвижной и плохо сжимаемой среде.
4. Газ как сжимаемая жидкость.
5. Плотность и удельный объем, их зависимость от температуры и давления для капельных жидкостей и газов.
6. Жидкости однородные и неоднородные.
7. Вязкость жидкостей. Вязкость газов. Закон вязкостного трения Ньютона.
8. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления.
9. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные.
10. Условия равновесия жидкого объема.
11. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой и несжимаемой жидкостей.
12. Основная формула гидростатики и барометрическая формула.
13. Гидростатическое давление. Закон Паскаля.

14. Способы измерения давления. Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности.
15. Центр давления. Сила Архимеда. Плавание тел.
16. Общий характер движения жидких частиц по данным наблюдений. Местная скорость.
17. Установившееся и неустановившееся движение. Ламинарный и турбулентный режимы течения.
18. Пульсация скорости в турбулентном потоке. Осреднение скорости по времени и по пространству.
19. Методы Эйлера и Лагранжа описания движения жидкости.
20. Поле скоростей, линии и трубки тока.
21. Уравнение сплошности течения в гидравлической и дифференциальной формах. Ускорение жидкой частицы в переменных Эйлера.
22. Анализ составляющих движения жидкой частицы. Теорема Коши - Гельмгольца.
23. Вихревое движение и основные характеристики поля вихрей. Вихревая линия и вихревая трубка. Свойства вихревых трубок.
24. Понятие о циркуляции. Потенциальное течение жидкостей и газов.
25. Понятие о потенциале скорости и его свойства. Суперпозиция потенциальных течений.
26. Функция тока, ее гидродинамический смысл. Условие Коши - Римана. Комплексный потенциал.
27. Примеры плоских потенциальных течений. Обтекание круглого цилиндра.
28. Теорема Жуковского о подъёмной силе. Аэродинамические коэффициенты профиля.
29. Динамика сплошной среды. Уравнение неразрывности.
30. Распределение сил в сплошной среде. Объёмные и поверхностные силы. Тензор напряжений.
31. Закон изменения количества движения и уравнение динамики сплошной среды в напряжениях.
32. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера. Переход к форме Громеки-Лэмба. Интегралы этих уравнений.
33. Уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости.
34. Уравнение Сен - Венана для изотермического и адиабатического течения идеального газа.
35. Общая форма уравнения энергии для установившегося движения сжимаемой жидкости.
36. Общая форма уравнения количества движения жидкого объема.

37. Вязкая жидкость. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформации.
38. Уравнения Навье - Стокса.
39. Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости.
40. Турбулентное движение и общие уравнения осредненного установившегося турбулентного потока (уравнения Рейнольдса).
41. Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Понятие о подобии гидромеханических процессов.
42. Критерии подобия для течений несжимаемых вязких жидкостей и газовых течений. Понятие об автомодельности.
43. Строение атмосферы. Стандартная атмосфера. Уравнения состояния газа.
44. Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Теплосодержание.
45. Второй закон термодинамики. Энтропия. Изэнтропические формулы.
46. Скорость распространения малых возмущений в газе (скорость звука).
47. Уравнение баланса энергии. Число М.
48. Температура торможения. Основные соотношения для одномерного, установившегося, изэнтропического течения невязкого газа.
49. Связь между скоростью течения газа и формой его струи.
50. Случаи течения газа в сопле Лаваля.
51. Распространение малых возмущений в движущемся потоке газа.
52. Понятие скачка уплотнения. Основные закономерности для расчёта прямого скачка уплотнения.
53. Связь между скоростями до и после прямого скачка с критической скоростью. Формула Прандтля.
54. Сравнение сжатия в прямом скачке уплотнения с изэнтропическим сжатием. Давление в критической точке за прямым скачком уплотнения.
55. Основные закономерности для расчёта косого скачка уплотнения.
56. Особенности косого скачка по сравнению с прямым. Ударная поляра.
57. Математические модели вязких жидкостей и газов.
58. Пограничный слой, вихревой след. Модели, учитывающие вязкость жидкостей.
59. Полная модель движения вязкой, сжимаемой жидкости. Уравнение баланса энергии.
60. Крыловой профиль и его геометрические характеристики.
61. Силы, действующие на профиль при его обтекании потоком воздуха.
62. Аэродинамические характеристики профиля крыла, руля управления. ЛА.

63. Зависимость аэродинамических характеристик от геометрических.
64. Центр давления профиля. Устойчивые и неустойчивые профили.
65. Аэродинамические силы, действующие на ЛА при плоском и пространственном движении. Критическое число M летательного аппарата.
66. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от числа M в докритической и за- критической областях обтекания ЛА.

1.9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРАВЛИКА»

а) основная литература:

1. Лапшев Н.Н. Гидравлика [Текст] : учеб.: рек. УМО / Н. Н. Лапшев, 2010. - 270 с.
2. Петров А.Г.. Аналитическая гидродинамика [Текст] : учеб.пособие / А.Г. Петров, 2009. - 519 с.
3. Чугаев Р.Р. Гидравлика [Текст] : (Техническая механика жидкости): учеб. / Р. Р. Чугаев, 2008. - 672 с.

б) дополнительная литература:

1. Кудинов В.А. Гидравлика [Текст] : учеб. пособие: доп. Мин. обр. РФ / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, 2006. - 176 с.
2. Фабер Т. Е. Гидроаэродинамика [Текст]: [моногр.] / Т. Е. Фабер; Пер. с англ. В.В. Коляда, Ред. А.А. Павельев, 2001. - 560 с.
3. Ландау Л.Д. Теоретическая физика [Текст]: В 10 т.: учеб. пособие: Рек. Мин. обр. РФ. Т. 6 : Гидродинамика / под ред. Л. П. Питаевского, 20012003. - 732 с.
4. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики [Текст]: Учеб.пособие: Доп. Мин. обр. РФ / Л.В. Овсянников , 2003. - 336 с.
5. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод [Текст] : учеб.пособие: доп. УМО / под ред. С. П. Стесина, 2007. - 336 с.
6. Лапшев Н.Н. Гидравлика [Текст] : учеб. : доп. УМО / Н. Н. Лапшев, 2007. - 270 с.
7. Метревели В.Н.. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями [Текст] : учеб.пособие: доп. Мин. обр. РФ / В. Н. Метревели, 2008. - 192 с.

в) справочные издания:

1. Касилов В.Ф.. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков [Текст]: справочное издание / В.Ф. Касилов, 2000. - 270 с.
2. Яворский Б.М.. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов [Текст] / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев, 2007. - 1055 с.
3. Справочник по физике. Формулы, таблицы, схемы [Текст] / под ред. Х. Штёкера; пер. с нем. Т. Н. Зазаевой, 2009. - 1264 с.
4. Справочник по гидравлике [Текст] / под ред. В. А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1984. - 343 с.
5. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб [Текст] : справ. пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев, 2008. - 350 с.
6. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам [Текст] / под общ. ред. Б. Б. Некрасова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Минск: Вышэйш. шк., 1985. - 384 с.
7. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик; ред. А. И. Костиенко, С. Ш. Кивилис, В. И. Скурлатов, 1963. - 708 с.

8.

г) периодические издания (журналы):

1. Математическое моделирование
2. САПР и графика
3. Успехи математических наук
4. Известия РАН. Механика жидкости и газа
5. Известия вузов. Физика
6. Журнал вычислительной математики и математической физики
7. Промышленная энергетика
8. Известия РАН. Энергетика
9. Механотроника, автоматизация, управление
10. Безопасность жизнедеятельности с ежемесячным приложением
11. Теплоэнергетика
12. Вестник Российской академии наук
13. Известия РАН. Серия физическая
14. Журнал теоретической и экспериментальной физики

д) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.iqlib.ru	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
2	http://www.twirpx.com/files/tek/	Twirpx.com - это служба, обеспечивающая с помощью веб-интерфейса, расположенного только по адресу http://www.twirpx.com , и специализированного аппаратно-программного обеспечения хранение, накопление, передачу и обработку материалов Пользователей, представленной в электронном виде в публичный доступ. Интернет-библиотека, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
3	Консультант +	Справочно-правовая система. Содержит законодательную базу, нормативно-правовое обеспечение, статьи.
4	http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SMALOV/teaching/Mwg http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/SMALOV/teaching/hydraulics/Tab1/	Портал национального исследовательского Томского политехнического университета. Информация по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика и гидропневмопривод».

На практических занятиях и в самостоятельной работе студентов используется система компьютерной математики MathCad, Maple и графический редактор VISIO.

1.10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства, интерактивная доска. Материал лекций представлен в виде презентаций в PowerPoint.

1.11. РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Рейтинговая оценка деятельности студентов осуществляется в соответствии с технологической картой дисциплины о рейтинговой системе обучения, принятой на заседании кафедры энергетики.

Текущий контроль качества освоения отдельных тем и модулей дисциплины осуществляется на основе рейтинговой системы. Этот контроль проводится ежемесячно в течение семестра и качество усвоения материала (выполнения задания) оценивается в баллах, в соот-

ветствии с рейтингом по плану дисциплины.

Экзамен проводится в конце семестра и оценивается по 5-ти балльной системе. Допуск к экзамену осуществляется по итоговому рейтингу текущего контроля, который определяется суммированием баллов по всем видам текущего контроля. Максимальный балл составляет 100, в том числе: индивидуальные домашние задания – 60, коллоквиум – 30, другие виды текущего контроля – 10 баллов. Допуск к экзамену соответствует 56...100 баллам.

2. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Тема 1

Вводные сведения.

Основные понятия и определения гидравлики. Методы изучения жидкости. Основные физические свойства жидкости: сжимаемость, текучесть, вязкость, теплоемкость. Модели идеальной (невязкой жидкости) и реальной (вязкой жидкости). Ньютоновские жидкости.

Тема 2

Общие законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов.

Уравнение Эйлера. Напряжение сил вязкости, обобщенная гипотеза Ньютона. Уравнение Навье-Стокса для вязкой жидкости. Анализ уравнений

Тема 3

Гидростатика. Гидростатическое давление.

Силы, действующие в жидкостях (массовые и поверхностные). Абсолютный и относительный покой жидкости. Законы гидростатики: Паскаля и Архимеда. Плавание тел.

Гидростатическое давление в точке, избыточное и вакуумметрическое давление. Свойства гидростатического давления. Основное уравнение гидростатики. Силы давления жидкости на плоскую и криволинейную стенки.

Тема 4

Уравнение баланса количества движения и момента количества движения.

Закон изменения количества движения. Закон изменения момента движения. Силовое воздействие потока на ограничивающие его стенки.

Тема 5

Подобие гидромеханических процессов.

Основные понятия физического подобия. Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков жидкости и газа. Идентичность безразмерных форм уравнений движения. Критерии и числа подобия, их роль и физический смысл.

Тема 6

Общее уравнение баланса энергии в интегральной и дифференциальной формах.

Вывод и анализ общего уравнения баланса энергии в интегральной и дифференциальной формах.

Тема 7

Основы кинематики.

Кинематика плоских потенциальных течений. Понятие о линиях и трубках тока, расходе, живом сечении, смоченном периметре, гидравлическом радиусе. Уравнение неразрывности. Вихревое и безвихревое (потенциальное) движения. Установившееся и неустановившееся движение. Напорное и безнапорное движение жидкости, гидравлические струи. Равномерное и неравномерное движение жидкости.

Тема 8

Режимы движения жидкости.

В 1883 г. английский физик Рейнольдс с помощью весьма простого и наглядного эксперимента показал, что существуют два существенно отличных друг от друга режима движения жидкости. Установка Рейнольдса состояла из бака, трубы, мерного бачка, сосуда с окрашенной жидкостью и трубки для ввода краски в трубу. Опыт показал, что при малой скорости движения жидкости вводимая в нее окрашенная жидкость движется в виде отчетливо выраженной струйки, не смешиваясь с потоком неокрашенной воды. При возрастании скорости движения жидкости струйка начинает колебаться и принимает волнообразное очертание. Наконец, при каком-то определенном значении скорости окрашенная струйка полностью размывается жидкостью. Жидкость начинает двигаться, перемешиваясь

Режим движения жидкости без перемешивания слоев был назван ламинарным (движение жидкости слоями).

Режим движения жидкости с перемешиванием слоев — турбулентным (беспорядочное движение жидкости). Среднюю скорость течения жидкости, при которой происходит смена режимов движения потока, называют критической.

При проведении опыта в обратном порядке, т. е. при уменьшении скорости движения жидкости, происходил переход турбулентного режима в ламинарный, однако при несколько иной критической скорости. Поэтому необходимо различать две критические скорости: верхнюю и нижнюю критическую.

Верхней (большей) критической скоростью называют скорость, при которой ламинарный режим движения переходит в турбулентный. Нижней (меньшей) критической скоростью называют скорость, при которой турбулентный поток переходит в ламинарный.

нарный.

Для суждения о характере движения служит безразмерное число Рейнольдса:

$$Re = v \cdot l / \nu$$

где l - характерный линейный размер потока, м;

ν - кинематическая вязкость жидкости, m^2 / c

Критерием, определяющим режим потока, служит неравенство

$$Re \neq Re_{кр}$$

где $Re_{кр}$ - критическое значение числа Рейнольдса.

Для труб круглого сечения число Рейнольдса вычисляют по формуле

$$Re = v \cdot d / \nu$$

Для всех иных поперечных сечений (а также для открытых русел)

$$Re'' = v \cdot d_g / \nu$$

где d_g - эквивалентный (гидравлический) диаметр.

Критическое значение числа Рейнольдса можно считать равным:

$$Re_{кр} = 2000 \div 2400.$$

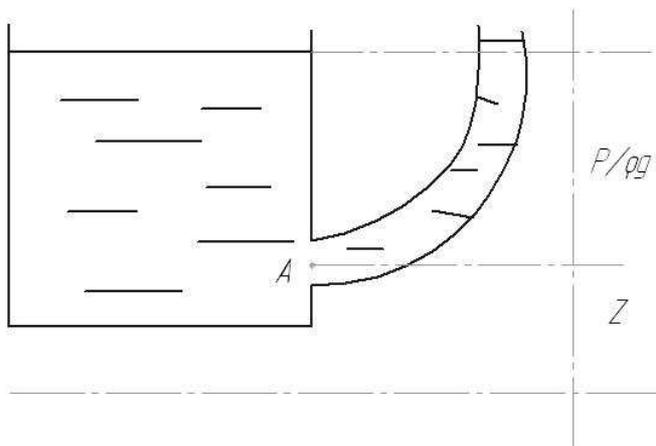
Тема 9

Уравнение Бернулли.

Удельная энергия – энергия приходящаяся на единицу силы тяжести

$$e = \frac{E}{G} = \frac{mgh}{ma} = \frac{gh}{a}; [M]$$

Удельная энергия положения- число равно геометрической высоте точки над координатной плоскостью $E_{п\ddot{e}} = GZ, e_{п\ddot{e}} = \frac{GZ}{G} = Z$.



Удельная энергия давления- отношение давления в точке А на удельный вес жидкости, или высота на которой находится столб жидкости в пьезометре.

$$E_{\text{давл}} = \frac{GP}{\rho g}, e_{\text{давл}} = \frac{P}{\rho g}.$$

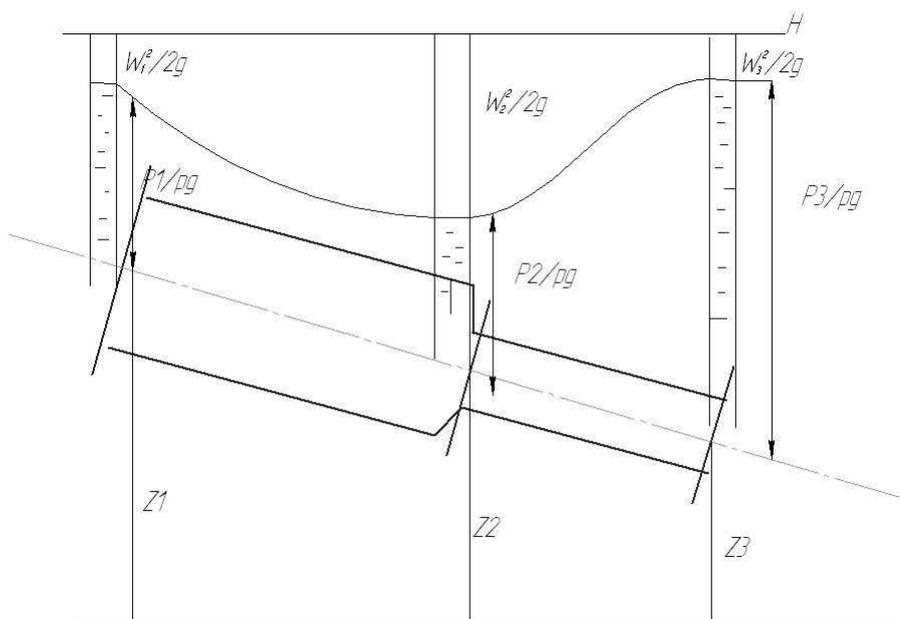
Удельная потенциальная энергия $Z + \frac{P}{\rho g}$.

Удельная кинетическая энергия $E_{\text{кин}} = \frac{mW^2}{2}, e_{\text{кин}} = \frac{E_{\text{кин}}}{G} = \frac{mW^2}{2G}$.

Идеальная жидкость – жидкость в которой отсутствует касательное напряжение или силы вязкости. Жидкость движется в поле сил земного притяжения, нет сил реакции, нет энерго-массообмена с окружающей средой.

Уравнение Бернулли для идеальной жидкости имеет вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{W_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{W_2^2}{2g} = \text{const}$$



Линия, соединяющая пьезометрические высоты, называется пьезометрической линией.

С геометрической точки зрения уравнение Бернулли показывает, что для идеальной жидкости сумма трёх высот: геометрических, пьезометрических, скоростных есть величина постоянная вдоль струйки, т.е. линия полного напора является линией параллельной плоскости сравнения. Пьезометрическая линия отделяет область изменения потенциальной энергии от области изменения кинетической энергии.

Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости имеет вид:

$$H_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{W_1}{2g}; H_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{W_2}{2g} + \Sigma h_i ,$$

где α -коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей, представляет собой отношение действительной кинетической энергии потока к кинетической энергии вычисленной по средней скорости.

Геометрический смысл: для потока реальной жидкости уравнение Бернулли является уравнением баланса энергии с учётом потерь.

Уменьшение среднего значения полной удельной энергии жидкости вдоль потока отнесённая к единице его длины, называется гидравлическим уклоном. Изменение удельной потенциальной энергии жидкости, отнесённой к единице длинны, называется пьезометрическим уклоном.

Тема 10

Потери напора при движении жидкости.

Гидравлические сопротивления. Местные потери напора. Потери напора по длине. Коэффициент гидравлического трения, его расчет. Основное уравнение равномерного движения. Формулы для определения коэффициента Шези.

Тема 11

Истечение жидкости через отверстия и насадки.

Истечение жидкости через малые отверстия в тонкой стенке и насадки при постоянном напоре. Виды сжатия струи. Виды насадков. Коэффициенты расхода, скорости, сжатия струи. Истечения через отверстия, насадки при переменном напоре.

Тема 12

Классификация трубопроводов и их гидравлический расчет.

Классификация трубопроводов:

- 1) магистральные – трубопроводы подающие жидкость от источника до потребителя на большие расстояния.
- 2) разветвлённые сети труб – трубопр. Обеспечивающие распределение жидкости потребителям.
- 3) простые трубопроводы – состоящие из одной линии труб и проводящие один и тот же расход жидкости.
- 4) сложные трубопроводы – состоят из основной магистральной трубы и ряда присоединений или ответвлений.
- 5) короткие трубопроводы – малой длины с большим числом местных сопротивлений.

б) длинные – трубопроводы в которых местные потери напора пренебрежимо малы по сравнению с потерями напора по длине.

Основные расчетные зависимости для длинных трубопроводов

Если влияние местных потерь напора в трубопроводе невелико и ими можно пренебречь, принимая приближенно $h_{ном} = h_{л}$, то расчет таких трубопроводов (так называемых длинных трубопроводов) заметно упрощается.

Потери напора в длинных трубопроводах определяются по формуле Дарси- Вейсбаха

$$h_{л} = \lambda \cdot \frac{l \cdot v^2}{2 \cdot d \cdot g}, \text{ которая преобразуется в одно из следующих выражений:}$$

$$h_{л} = \frac{Q^2}{K^2} \cdot l = i \cdot l$$

$$h_{л} = A \cdot l \cdot Q^2$$

$$h_{л} = s \cdot Q^2$$

где λ - коэффициент гидравлического трения;

l - длина расчетного участка трубы;

v - средняя скорость;

d - диаметр трубы;

Q - расход;

i - гидравлический уклон;

K - расходная характеристика (модуль расхода), $м^3 / кгс$:

$$K = \sqrt{\frac{g \cdot \pi^2 \cdot d^5}{8 \cdot \lambda}}$$

A - удельное сопротивление трубопровода, $с^2 / м^6$

$$A = \frac{8 \cdot \lambda}{g \cdot \pi^2 \cdot d^5} = \frac{1}{K^2}; \quad K = \frac{1}{\sqrt{A}};$$

s - сопротивление трубопровода (полное), $с^2 / м^5$:

$$s = A \cdot l = \frac{8 \cdot \lambda \cdot l}{g \cdot \pi^2 \cdot d^5} = \frac{l}{K^2}$$

Для длинных трубопроводов можно также принимать

$$\frac{v^2}{2 \cdot g} \approx h_{\text{л}}$$

где v - средняя скорость течения в трубопроводе на рассматриваемом участке;

$h_{\text{л}}$ - потери напора на трение на этом участке.

Уравнение Бернулли, записанное для двух сечений длинного трубопровода получает вид

$$H \approx h_{\text{л}}$$

где H – напор, т.е. разность пьезометрических высот в рассматриваемых сечениях:

$$H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} \right)$$

Следовательно, в уравнениях вместо $h_{\text{л}}$ для длинных трубопроводов можно принимать H , т.е. считать

$$H = \frac{Q^2}{K^2} \cdot l = A \cdot l \cdot Q^2 = s \cdot Q^2$$

Обобщенные гидравлические параметры K и A зависят только от диаметра трубы и коэффициента гидравлического трения λ , а параметр s ещё и от длины трубы.

Частные случаи расчета длинных трубопроводов

Гидравлический расчет трубопроводов состоит в определении одной из трёх величин: расхода, напора или площади сечения по двум заданным величинам (три основные задачи расчета трубопроводов).

Простой трубопровод- трубопровод постоянного по всей длине диаметра, не имеющей ответвлений,- рассчитывают с помощью основной зависимости

$$Q = K \cdot \sqrt{i} = K \cdot \sqrt{H/l} = \sqrt{H/s} = \sqrt{i/A}$$

(значения K , A и s находят из таблиц).

Полную потерю напора в системе при последовательном соединении простых трубопроводов определяют по формуле

$$H = Q^2 \cdot \sum \frac{l_i}{K_i^2} = Q^2 \cdot \sum s_i = Q^2 \cdot \sum A_i \cdot l_i$$

где l_i , K_i , s_i –длины, модули расхода и сопротивления отдельных участков.

Потери напора на каждом из участков вычисляются по формуле

$$H_i = \frac{l_i}{K_i^2} = Q^2 \cdot s_i = Q^2 \cdot A_i \cdot l_i$$

При параллельном соединении простых трубопроводов потери напора в отдельных ветвях разветвления равны, т.е.

$$H_1 = H_2 = H_3 = H_i$$

Расходы распределяются по отдельным ветвям в соответствии с зависимостью

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{K_1}{K_2} \cdot \sqrt{\frac{l_2}{l_1}} = \sqrt{\frac{s_2}{s_1}} = \sqrt{\frac{A_2 \cdot l_2}{A_1 \cdot l_1}}$$

При непрерывной раздаче жидкости по пути, т.е. в тех случаях, когда жидкость из трубопровода расходуеться во многих точках его (например, у каждого дома), потерю напора определяют по формуле

$$H = \frac{Q_0^2}{3 \cdot K^2} \cdot l = \frac{s \cdot Q_0^2}{3} = A \cdot l \cdot \frac{Q_0^2}{3}$$

где Q_0 – начальный расход, непрерывно и равномерно расходующийся по длине трубы.

Если часть расхода по трубе проходит транзитом Q_{mp} , а часть расходуеться непрерывно и равномерно по длине трубы Q_0 , общая потеря напора

$$H = \frac{l}{K^2} \cdot \left(Q_A^2 - Q_A \cdot Q_0 + \frac{Q_0^2}{3} \right)$$

где Q_A – начальный общий расход в трубе:

$$Q_A = Q_{mp} + Q_0$$

Если трубопроводы работают в области квадратичного закона сопротивления, т.е. $\lambda \neq f(\text{Re})$, обобщенные гидравлические параметры K , A и s , зависят только от диаметра трубы и шероховатости её стенок и обозначаются $K_{кв}$, $A_{кв}$ и $s_{кв}$.

Расчет коротких трубопроводов

В случае, если местные потери давления составляют более 5 % потерь давления на трение, при расчётах трубопроводов (так называемых коротких трубопроводов) необходимо учитывать местные потери. Тогда суммарные потери давления определяются по формуле

$$\Delta p_{nom} = \Delta p_{\text{Л}} + \Delta p_{\text{М}} = (\lambda \cdot l / d + \sum \zeta) \cdot \rho \cdot v^2 / 2$$

Формулу можно представить в виде

$$\Delta p_{nom} = \rho \cdot g \cdot A \cdot Q^2 \cdot (l + l_{\text{э}}),$$

где эквивалентная длина вычисляется по формуле

$$l_{\text{э}} = \frac{8}{\pi^2 \cdot g} \cdot \frac{\sum \zeta}{A \cdot d^4} = 0,082 \cdot \frac{\sum \zeta}{A \cdot d^4}$$

При квадратичном законе сопротивления принимают $A = A_{\text{кв}}$. При неквадратичном законе сопротивления, потери давления определяют по формуле

$$\Delta p_{nom} = \rho \cdot g \cdot A_{\text{кв}} \cdot Q^2 \cdot l \cdot (\psi + l_{\text{э}} / l)$$

При расчетах сечения короткого трубопровода в неквадратичной области вначале вычисляют:

$$A = \frac{\Delta p_{nom}}{\rho \cdot g \cdot Q^2 \cdot l}$$

затем - удельные сопротивления в квадратичной области:

$$A_{\text{кв}} = \frac{A}{\psi + l_{\text{э}} / l}$$

Из справочников, зная $A_{\text{кв}}$, находят диаметр трубопровода.

Тема 13

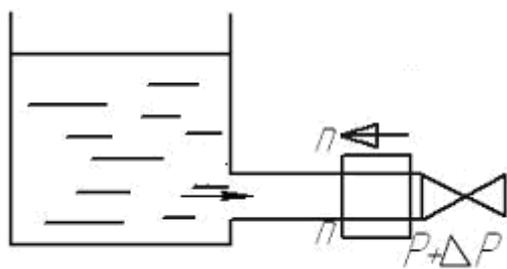
Явление гидравлического удара. Взаимодействие потока жидкости с ограничивающими его стенками.

Гидравлический удар – представляет собой колебательный процесс возникающий в трубопроводе с капельной жидкостью при внезапном изменении скорости её движения. Характеризуется чередованием резких повышений и понижений давления происходящих за достаточно малый промежуток времени. Гидравлический удар – резкое повышение давления возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока жидкости. Возникает в следствие:

- 1) быстрого открытия или закрытия задвижки
- 2) внезапной остановки насосов или турбин
- 3) аварий на трубопроводе (разрыв, нарушение стыков).

Ударная волна явление возникающее в результате гидравлического удара, представляет собой явление резкого повышения давления в следствие сжатия жидкости. Скорость

ударной волны – скорость с которой перемещается сечение n-n.



Величину повышения давления при гидравлическом ударе определяют по формуле Н.Е. Жуковского:

$$\Delta p = \rho \cdot a \cdot v$$

где ρ - плотность жидкости;

a - скорость распространения ударной волны;

v - скорость движения жидкости в трубе до закрывания крана.

Скорость распространения ударной волны находят также по формуле Н.Е. Жуковского:

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{E \cdot d}{E_{me} \cdot \delta}}}$$

где E - модуль упругости жидкости;

d - диаметр трубы;

E_{me} - модуль упругости материала стенки трубы;

δ - толщина стенки трубы.

Если считать материал трубы абсолютно неупругим ($E_{me} = \infty$), то выражение для скорости a принимает вид

$$a = \sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}$$

и скорость распространения ударной волны в этом случае равняется скорости распространения звука в жидкости. При обычных значениях отношения δ/d значение a может приниматься равным 1200 м/с для стальных труб и 1000 м/с для чугунных труб.

Формула Жуковского действительна в случае, если время закрывания задвижки τ меньше времени, в течение которого ударная волна, сопровождающаяся падением давления, вернется к задвижке, т.е. при условии $\tau < 2 \cdot l/a$. Если $\tau > 2 \cdot l/a$, то давление не достигает

максимальной величины, так как частично погашается отраженной волной. В этом случае повышение давления может быть найдено по формуле Мишо:

$$\Delta p = 2 \cdot \rho \cdot l \cdot v / \tau$$

Тема 14

Насосы. Насосные установки.

Насос – гидравлическая машина предназначенная для сообщения жидкости энергии.

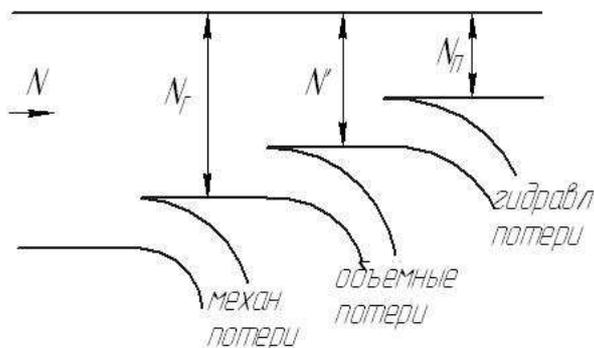
ДИНАМИЧЕСКИЕ – насосы в которых жидкость перемещается под действием гидродинамических сил, причём объём жидкости находящийся внутри насоса постоянно сообщается со входом и выходом насоса (лопастные), в процессе преобразования энергии используется гидродинамический (скоростной) напор.

ОБЪЁМНЫЕ – насосы в которых сообщение энергии жидкости осуществляется периодическим изменением замкнутого объёма, при переменном сообщении его со входом и выходом насоса (поршневые, плунжерные, роторные).

Параметры насосов: подача насоса – расход жидкости через напорный патрубок насоса (Q [м³/сек.]), напор насоса ($H_n = H_2 - H_1$), мощность (N [Вт]).

$N_{зат.}$ – энергия подводимая к насосу от двигателя за единицу времени,

$N_{п.}$ – энергию которую преобразует жидкость при прохождении через насос.



$$\eta = \frac{N_A N' N_I}{N N_A N'} = \eta_A \eta_0 \eta_i$$

Механические потери – потери на трение в подшипниках, уплотнениях, валах и трение наружной поверхности рабочего колеса о жидкость. Объёмные потери – потери энергии возникающие в результате утечки жидкости из нагнетательной части насоса во всасывающую.

Гидравлические потери – потери энергии на преодоление

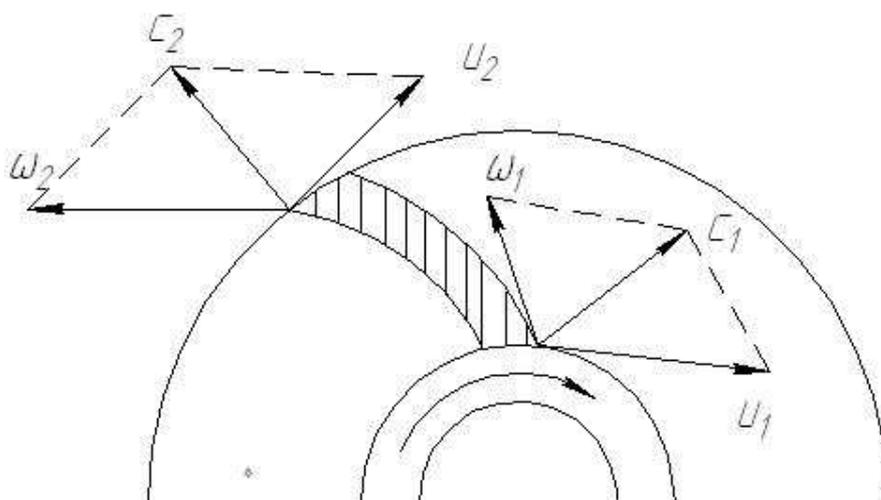
Центробежные насосы – это лопастные насосы с движением жидкости через рабочее колесо от центра к периферии.

Классификация:

1) По числу рабочих колёс (одноступенчатые и многоступенчатые),

- 2) По способу подвода жидкости к рабочему колесу (односторонний и двусторонний подвод),
- 3) По расположению вала (Горизонтальное и вертикальное),
- 4) По быстроходности рабочего колеса: тихоходные (<20м.), среднеходные(20-60м.), быстроходные (>60м.),
- 5) По назначению: водопроводные, нефтяные, землесосные.

Виды скоростей движения частиц жидкости в рабочем колесе: 1) Скорость переносного движения. U - направлена по касательной к окружности в сторону вращения рабочего колеса. 2) Скорость относительного движения. ω - скорость движения частиц жидкости относительно лопаток рабочего колеса – направлена по нормали к лопаткам. 3) Скорость абсолютного движения. C - сумма векторов относительного и переносного.



На выходе из рабочего колеса лопатки по направлению вращения вала могут быть загнуты назад или вперёд, либо оканчиваться радиально. На практике используются насосы с лопатками загнутыми назад т.к. КПД насоса максимальна.

Характеристики центробежного насоса: Это зависимость напора, мощности и КПД от напора насоса ($H=f(Q), N=f(Q), \text{КПД}=f(Q)$).

$$\text{Пересчёт напора и мощности: } Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1}, N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2.$$

Коэффициент быстроходности (n_s) – частота вращения насоса, подобному данному который при напоре 1м. подаёт 0,075 м³/сек жидкости.

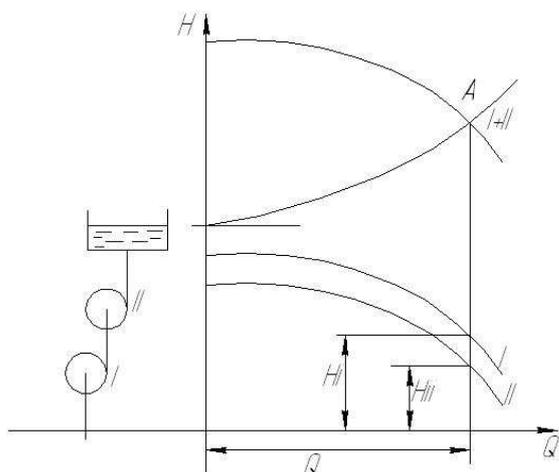
$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}},$$

где n - частота вращения рабочего колеса (об/мин), Q - подача насоса ($\text{м}^3/\text{сек}$), H - напор насоса в режиме максимального КПД (м.).

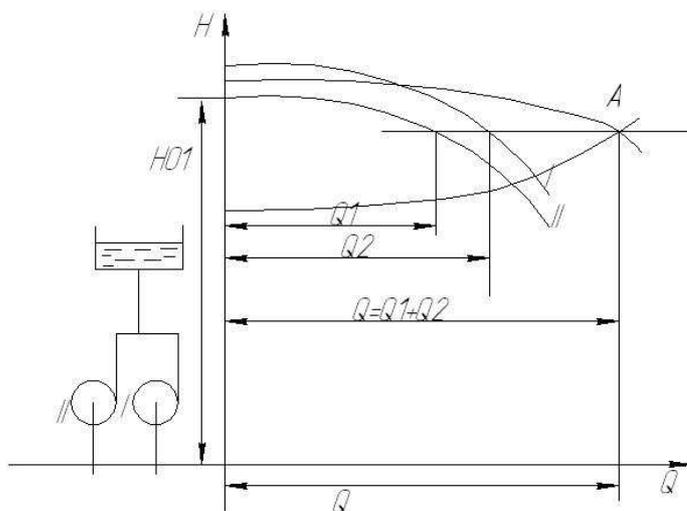
Регулирование режима насосной установки: 1)Изменение режима может быть достигнуто воздействием на характеристику трубопровода с помощью регулирующего устройства, либо изменением диаметра трубопровода. Достоинства: простота и надёжность, Недостаток – не экономичен. 2)Воздействие на характеристику насоса. Изменение частоты вращения рабочих колёс: для регулирования частоты используют увеличение тока, (ДВС). 3)Перепуск некоторого объёма жидкости из нагнетательной части во всасывающую.

В тех случаях, когда одним насосом нельзя обеспечить заданный расход жидкости, применяют параллельное соединение одновременно работающих насосов. Если же требуется увеличить напор, развиваемый насосной установкой, при неизменной подаче, то применяют последовательное соединение насосов.

Последовательное соединение:



Параллельное соединение:



Кавитация – нарушение сплошности потока жидкости, обусловленное появлением в

нём пузырьков или полостей заполненных паром или газом. Кавитация возникает при понижении давления, в результате чего жидкость закипает или из неё выделяется растворимый газ. В потоке жидкости такое падение давления происходит обычно в области повышенных скоростей. Последствия кавитации:

1)Эрозия материала стенок канала.

2)Звуковые явления(шум, треск, удары), и вибрация установки, являющиеся следствием колебаний жидкости.

3)Уменьшение подачи, напора, мощности и КПД насоса.

Кавитационный запас – превышение полного напора жидкости во входном патрубке

насоса над давлением её насыщенного пара. $\Delta h = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{W_2^2}{2g} - \frac{P_{i,j}}{\rho g}$. Кавитационная характеристика – это зависимость напора от кавитационного запаса при постоянной частоте вращения и подаче. (При больших Δh кавитационные явления отсутствуют и напор от кавитационного запаса не зависит)

Поршневые насосы относятся к числу объёмных насосов, в которых перемещение жидкости осуществляется путём вытеснения её из неподвижных рабочих камер вытеснителями. Под рабочей камерой объёмного насоса понимается ограниченное пространство, попеременно сообщающееся со входом и выходом насоса. Рабочий орган насоса, непосредственно совершающий работу вытеснения жидкости из рабочих камер, а так же часто работу всасывания жидкости в эти же камеры, называется вытеснителем.

Поршневые насосы относятся к числу объёмных насосов, в которых перемещение жидкости осуществляется путём вытеснения её из неподвижных рабочих камер вытеснителями. Под рабочей камерой объёмного насоса понимается ограниченное пространство, попеременно сообщающееся со входом и выходом насоса. Рабочий орган насоса, непосредственно совершающий работу вытеснения жидкости из рабочих камер, а так же часто работу всасывания жидкости в эти же камеры, называется вытеснителем.

Классификация поршневых насосов:

1. По типу вытеснителей поршневые насосы делятся на: поршневые, плунжерные, диафрагменные.

2. По характеру движения ведущего звена: прямодействующие (ведущее звено совершает возвратно-поступательное движение), вальные (ведущее звено совершает вращательное движение).

3. По числу циклов нагнетания и всасывания за один двойной ход: одностороннего и двухстороннего действия.

4. По количеству поршней или плунжеров: одно поршневые, двух поршневые, 3-хпоршневые, многопоршневые.

Объёмный насос – насос в котором сообщение энергии жидкости осуществляется периодическим изменением замкнутого объёма при переменном сообщении его со входом и выходом насоса. К ним относятся поршневые, плунжерные, роторные.

Свойства:

- 1) цикличность рабочего процесса, порционность и неравномерность подачи.
- 2) герметичность(постоянное отделение насоса от всасывающего).
- 3) Самовсасывание(способность объёмного насоса создавать вакуум во всасывающем трубопроводе, заполненным воздухом, достаточным для подъёма жидкости во всасывающем трубопроводе до уровня расположения насоса).
- 4) Независимость давлений создаваемых объёмным насосом от скорости движения рабочего органа насоса и скорости жидкости. Основные параметры: V_0 -рабочий объём насоса, n – частота рабочих циклов. Давление насоса равно разности давлений на выходе и входе.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий

Практические занятия предусматривают решение задач по темам дисциплины. В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

Выдается домашнее расчетное задание (если оно предусмотрено по данной теме), анализируется выполнение предыдущего домашнего задания, разбираются типовые ошибки.

3.2. Перечень тем практических занятий.

1. Физические свойства жидкостей и газов (2 часа)
2. Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики (2 часа)
3. Силы давления покоящейся жидкости на плоские и криволинейные стенки (2 часа)
4. Режимы движения жидкости (2 часа)
5. Потери напора по длине и в местных сопротивлениях (2 часа)
6. Уравнение Бернулли (2 часа)
7. Расчет трубопроводов (2 часа)
8. Гидравлический удар (2 часа)
9. Расчет работы насоса на сеть (2 часа)

3.3. Задачи для проведения практических занятий

Тема занятия 1: Физические свойства жидкостей и газов

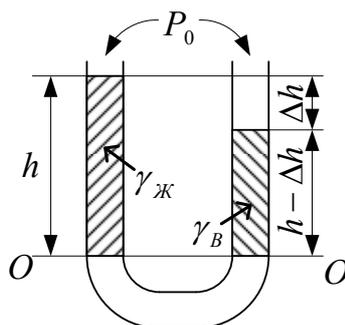
Задачи

1. При гидравлическом испытании участка трубопровода диаметром $d = 400$ мм и длиной $l = 200$ м давление воды в трубе было поднято до 55 атм. Через час давление упало до 50 атм. Определить, пренебрегая деформацией трубопровода, сколько воды вытекло при этом через неплотности.
2. В отопительный котел поступает 50 м³/час воды при температуре 70 °С. Сколько кубометров воды будет выходить из котла, если нагрев ее производится до температуры 90 °С, а коэффициент температурного расширения воды $\beta_t = 0,00064$ 1/°С?
3. Резервуар, наполненный нефтью, находится под давлением $p_1 = 5$ атм. После выпуска из него 40 литров нефти давление в резервуаре упало до $p_2 = 1$ атм. Определить емкость резервуара, если коэффициент объемного сжатия нефти $\beta_p = \frac{1}{13500}$ см²/кг.
4. В вертикальной цилиндрической емкости диаметром $D = 4$ м хранится 100 т нефти при температуре $t = 0$ °С. Определить колебание уровня нефти в резервуаре, если ее температура изменилась от 0 °С до 30 °С. Расширение резервуара.

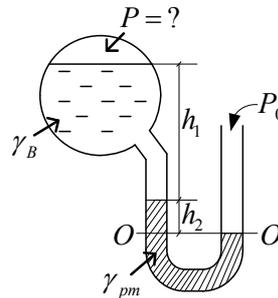
Тема занятия 2: Давление в покоящейся жидкости

Задачи

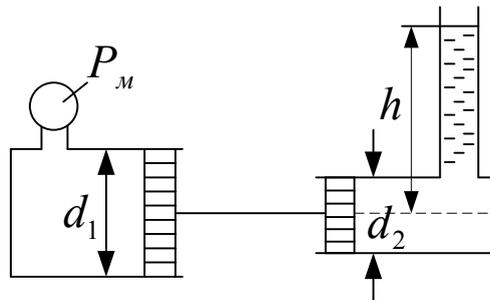
1. Требуется определить удельный вес жидкости, не смешивающейся с водой и налитой в левое колено U-образной стеклянной трубки на высоту $h = 1$ м, если в правое колено трубки налита вода и ее уровень находится ниже уровня жидкости в левом колене на величину $\Delta h = 0,2$ м.



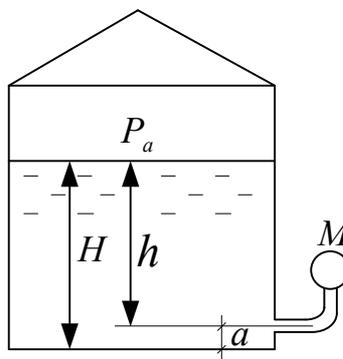
2. Определить абсолютное давление p на поверхности воды в сосуде и вакуум при разности уровней воды и ртути $h_1 = 0,5$ м и $h_2 = 0,08$ м.



3. Определить, на какую высоту h может поднять воду прямодействующий паровой насос при следующих данных: диаметр парового цилиндра $d_1 = 0,3$ м и манометрическое давление в нем $p_M = 0,8$ кг/см²; диаметр водяного цилиндра $d_2 = 0,05$ м. Считать, что система находится в равновесии. Трением поршней в цилиндрах пренебречь.

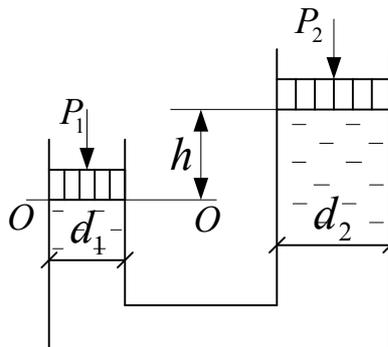


4. Бензин в гараже хранится в специальном резервуаре. Определить высоту столба H бензина в резервуаре, если манометр, присоединенный к нему показывает давление $p_M = 0,25$ кг/см². Давление на свободной поверхности бензина атмосферное. Манометр присоединен на расстоянии $a = 0,2$ м от дна резервуара.



5. На поршень одного из сообщающихся сосудов, заполненных водой, действует сила $P_1 = 80$ кг. Какую силу надо приложить ко второму поршню, если уровень воды под ним на $h =$

0,5 м выше уровня воды под первым поршнем и система находится в равновесии? Диаметр первого поршня $d_1 = 0,2$ м, второго поршня $d_2 = 0,3$ м.

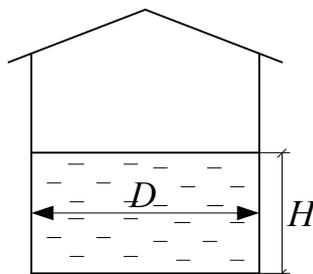


6. Определить манометрическое давление в точке А трубопровода, если высота столба ртути по пьезометру $h_2 = 25$ см. Центр трубопровода расположен на $h_1 = 40$ см ниже линии раздела между водой и ртутью.

Тема занятия 3. Силы давления покоящейся жидкости на плоские и криволинейные стенки

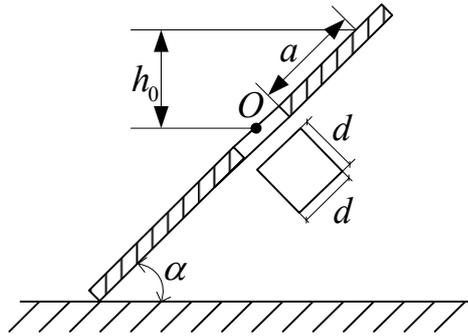
Задачи

1. Определить силу гидростатического давления бензина на дно резервуара. Диаметр резервуара $D = 3$ м, высота столба жидкости в резервуаре $H = 2$ м. Давление на поверхности жидкости равно атмосферному.

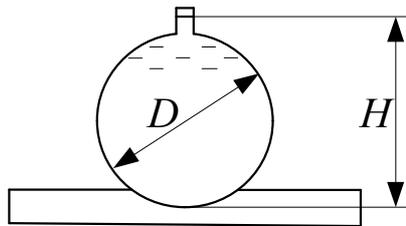


2. Определить силу гидростатического давления воды на квадратный щит, закрывающий отверстие в наклонной плоской стенке, а также глубину погружения центра давления при следующих данных:

$$b = 0,3 \text{ м}; a = 1 \text{ м}; \alpha = 45^\circ.$$

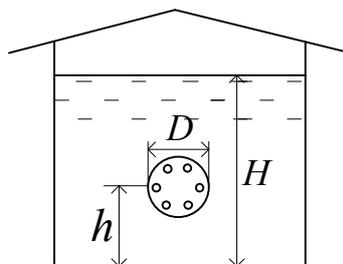


3. Определить силу гидростатического давления бензина на торцевую плоскую стенку горизонтальной цилиндрической автоцистерны диаметром $D = 2 \text{ м}$, если уровень бензина в цистерне находится на расстоянии $H = 2,2 \text{ м}$. от дна. Цистерна герметически закрыта, и избыточное давление паров бензина на свободную поверхность составляет 300 мм рт. ст. . Найти также положение центра давления.



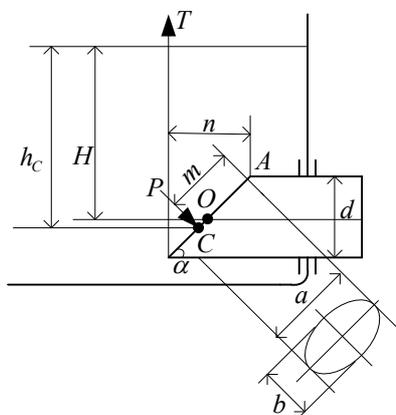
4. Для хранения бензина в гараже служит резервуар. Высота столба бензина $H = 5 \text{ м}$. Для возможности осмотра резервуара в процессе его эксплуатации имеется лаз, который закрывается крышкой. Диаметр лаза $D = 0,8 \text{ м}$; расстояние от его центра тяжести до дна $h = 0,9 \text{ м}$. Крышка прикрепляется болтами. Количество болтов $n = 6$.

Определить силу гидростатического давления бензина на крышку лаза и положение центра давления. Кроме того, найти диаметр болтов, прикрепляющих крышку лаза, если допускаемое напряжение на разрыв для болтов $\sigma = 750 \text{ кг/см}^2$.



5. Автохозяйство имеет бензохранилище, выпуск бензина из которого осуществляется при

помощи трубы диаметром $d = 300$ мм. Труба закрывается откидным клапаном, расположенным под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Глубина погружения центра тяжести O клапана $H = 3$ м. Определить усилие T , которое нужно приложить к тросу, чтобы открыть клапан, пренебрегая его весом и трением в шарнире.



6. Определить силу давления на плоский прямоугольный затвор и центр давления. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 3$ м, в нижнем $h_2 = 1,2$ м. Ширина затвора $b = 4$ м, высота $H = 3,5$ м.

Расчет произвести аналитическим и графо-аналитическим способами. Найти начальное подъемное усилие, если толщина затвора $\delta = 0,08$ м, удельный вес материала, из которого изготовлен затвор, $\gamma = 1,18 \cdot 10^4$ н/м³, а коэффициент трения затвора о пазы $f = 0,5$.

7. Для хранения бензина в гараже используется резервуар, который имеет фасонную часть в виде четверти поверхности цилиндра. Радиус цилиндра $r = 0,5$ м, длина образующей $b = 0,9$ м, высота столба бензина в резервуаре $H = 1,4$ м. Определить силу гидростатического давления бензина на фасонную часть резервуара и глубину погружения центра давления.

8. Определить силу гидростатического давления воды на затвор и глубину погружения центра давления. Радиус затвора $r = 2,5$ м, длина затвора $b = 4$ м. Глубина воды $H = r$.

9. Бак для воды склепан из четырех рядов листовой стали при высоте каждого ряда $a = 1,5$ м. Определить толщину стенки нижнего ряда, предполагая, что бак наполнен водой доверху. Диаметр бака $d = 8$ мм. Допускаемое напряжение на разрыв $\sigma = 800$ кг/см².

10. В цилиндрический сосуд диаметром $D = 0,7$ м и высотой $H = 1,1$ м налита вода на высоту

$h = 0,9$ м. Определить, при каком числе оборотов сосуда вокруг вертикальной оси z свободная поверхность жидкости коснется дна сосуда и при каком числе оборотов жидкость коснется крышки сосуда.

Тема занятия 4: Режимы движения жидкости

Задачи

1. Жидкость движется по трубопроводу, состоящему из трех участков, диаметры которых равны $d_1 = 50$ мм; $d_2 = 100$ мм и $d_3 = 50$ мм. Трубопровод присоединен к напорному баку, напор в котором поддерживается постоянным. Найти среднюю скорость движения жидкости на каждом из участков трубопровода, если она, вытекая из трубопровода, заполняет резервуар объемом $V = 2,5$ м³ за время $t = 10$ мин.
2. Вдоль горизонтальной трубки переменного поперечного сечения движется установившийся поток воды. Зная, что в сечении, где скорость $w_1 = 1,5$ м/с, давление равно 700 мм рт. ст., найти давление в сечении, где площадь живого сечения удваивается. Потерями напора пренебречь и считать $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.
3. Поток жидкости движется по горизонтальной трубе, имеющей сужение. Найти высоту подъема h жидкости в трубке, присоединенной к сужению, если, пройдя сужение, поток течет при атмосферном давлении и если площади поперечных сечений трубы в сужении и за сужением равны соответственно $\omega_{\text{суж}}$ и ω , а расход Q . Давление в резервуаре равно p_3 . Потерями напора пренебречь.
4. Определить режим движения бензина в автомобильном бензопроводе диаметром $d = 12$ мм, по которому подается бензин из бака в карбюратор. Расход бензина $Q = 34$ см³/с. Температура бензина $t = 20$ °С. При этой температуре кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0,0074$ см²/с. Определить также нижнюю критическую скорость.
5. Определить режим движения воды в трубопроводе радиатора автомобиля. Трубки имеют прямоугольное сечение 3×7 мм. Расход воды, пропускаемый каждой трубкой, $Q = 10,5$ см³/сек. Температура воды $t = 40$ °С. Найти также нижнюю критическую скорость.
6. Радиатор автомобиля состоит из прямоугольных трубок сечением 8×12 мм. Определить

расход воды, которую нужно подавать в каждую трубку радиатора для того, чтобы обеспечить турбулентный режим движения. Температура воды $t = 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Тема занятия 5. Потери напора по длине и в местных сопротивлениях

Задачи

1. Определить потери напора по длине при движении бензина из в автомобильном бензопроводе, по которому подается бензин из бака в карбюратор. Диаметр бензопровода $d = 8 \text{ мм}$, длина $l = 1,5 \text{ м}$. Расход бензина $Q = 7,5 \text{ см}^3/\text{сек}$. Температура бензина $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. При этой температуре кинематический коэффициент вязкости бензина $\nu = 0,0067 \text{ см}^2/\text{сек}$.
2. Определить потери напора по длине в новом стальном трубопроводе ($\Delta = 0,1 \text{ мм}$) диаметром $d = 200 \text{ мм}$ и длиной $l = 2 \text{ км}$, если по нему транспортируется вода с расходом $Q = 20 \text{ л/сек}$. Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{сек}$. Как изменятся потери напора, если по тому же трубопроводу будет транспортироваться нефть с тем же расходом. Кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 1 \text{ см}^2/\text{сек}$.
3. По круглой стальной трубе диаметром $d = 120 \text{ мм}$ и длиной $l = 500 \text{ м}$ перемещается жидкость с расходом $Q = 6 \text{ л/сек}$. Высота выступов шероховатости трубы $\Delta = 0,07 \text{ мм}$. Кинематический коэффициент вязкости жидкости $\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{сек}$. Определить потери напора по длине.
4. Для условия предыдущей задачи определить потери напора по длине, если расход жидкости $Q = 160 \text{ л/сек}$.
5. Для тех же условий определить потери напора по длине, если расход жидкости $Q = 6 \text{ л/сек}$ и кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0,1 \text{ см}^3/\text{сек}$.
6. Во сколько раз увеличатся потери напора по длине с заданным расходом, если квадратное сечение трубы (аха) заменить прямоугольным той же площади с отношением сторон $h/b = 0,1$? Задачу решить для ламинарного режима.

Указание. При ламинарном режиме для трубы квадратного сечения коэффициент гидравлического трения равен $\lambda_{KB} = \frac{56,9}{\text{Re}}$, а для прямоугольной (с отношением сторон $h/b = 0,1$)

$$\lambda_{\text{ПП}} = \frac{84,5}{\text{Re}}.$$

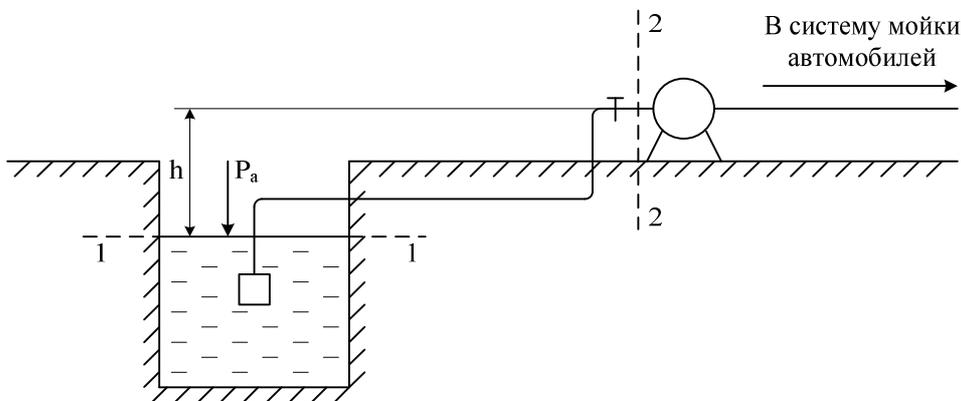
6. Сравнить потери напора по длине в круглой и квадратной трубах равной длины и равного сечения при одинаковом расходе данной жидкости, предполагая, что в трубах имеет место турбулентный режим (квадратичная область сопротивления). Для обеих труб принять

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

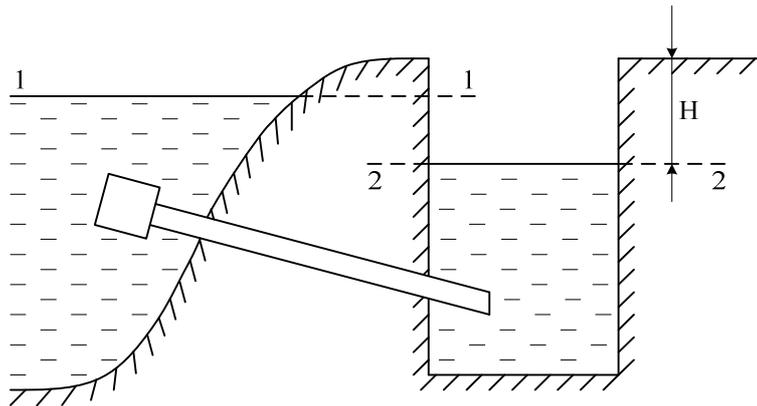
Тема занятия 6. Уравнение Бернулли

Задачи

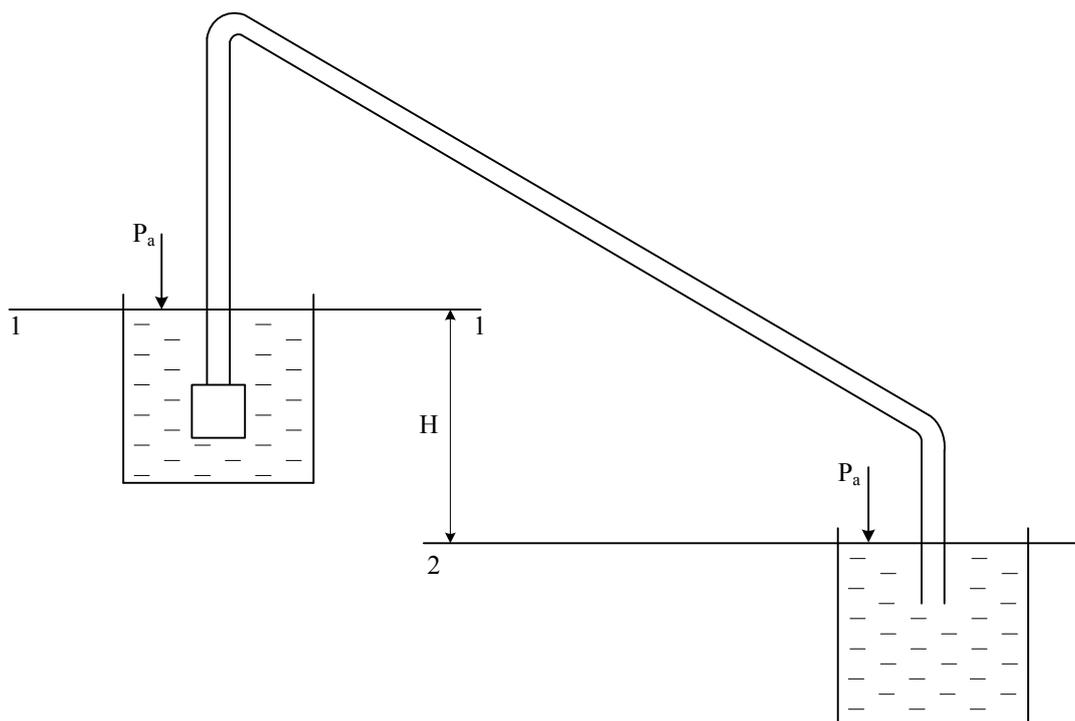
1. Определить вакуум в насосе, забирающем воду из колодца и подающем ее в систему автоматической мойки автомобилей. Температура воды $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Длина всасывающего трубопровода $l = 40 \text{ м}$, диаметр $d = 200 \text{ мм}$, расход воды $Q = 45 \text{ л/сек}$, высота установки насоса над поверхностью воды в колодце $h = 4,8 \text{ м}$. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,04$. Коэффициенты местных сопротивлений: $\zeta_{\text{сетки}} = 5$; $\zeta_{\text{колена}} = 0,2$; $\zeta_{\text{задвижки}} = 3$.



2. Определить расход воды, пропускаемый самотечной трубой длиной $l = 50 \text{ м}$ и диаметром $d = 250 \text{ мм}$ при разности уровней воды в колодцах $H = 2,5 \text{ м}$. Коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,023$. Коэффициенты местных сопротивлений: $\zeta_{\text{сетки}} = 6$; $\zeta_{\text{выхода}} = 1$.



3. Определить при какой разности воды в сосудах H скорость движения воды в сифонном трубопроводе составит $1,8 \text{ м/сек}$. Длина трубопровода $l = 65 \text{ м}$, диаметр $d = 150 \text{ мм}$. Коэффициенты местных сопротивлений: $\zeta_{\text{сетки}} = 10$; $\zeta_{1\text{-го колена}} = 0,25$; $\zeta_{2\text{-го колена}} = 0,1$; $\zeta_{\text{выхода}} = 1$.



4. Определить высоту установки h центробежного насоса над поверхностью воды в колодце при следующих данных: диаметр всасывающей трубы $d = 250 \text{ мм}$; длина всасывающей трубы $l = 20 \text{ м}$; расход воды $Q = 60 \text{ л/сек}$; температура воды $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; давление перед входом в насос $p_2 = 0,4 \text{ кг/см}^2$. Высота выступов шероховатости трубы $\Delta = 1 \text{ мм}$. Коэффициенты местных сопротивлений: $\zeta_{\text{сетки}} = 6$; $\zeta_{\text{колена}} = 0,4$; $\zeta_{\text{вентили}} = 2$.

5. Определить напор H , необходимый для пропуска расхода воды $Q = 0,012 \text{ м}^3/\text{сек}$ через систему труб. Диаметры труб $d_1 = 75 \text{ мм}$ $d_2 = 50 \text{ мм}$ $d_3 = 100 \text{ мм}$. Длины участков $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 5 \text{ м}$, $l_3 = 8 \text{ м}$. Трубы чугунные, бывшие в эксплуатации. Температура воды $t = 10^\circ \text{C}$. Манометрическое давление в закрытом резервуаре $p_M = 2,943 \cdot 10^4 \text{ Па}$.

Тема занятия 7. Расчет трубопроводов

Задачи

1. Из резервуара 1 по трубе диаметром $d=200 \text{ мм}$, длиной 180 м , имеющей четыре плавных поворота и один вентиль, вода перетекает в резервуар 2. Определить расход воды при разности уровней в резервуарах $3,8 \text{ м}$, абсолютной шероховатости стенок труб $0,5 \text{ мм}$. При расчёте принять: коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,03$, коэффициенты местных сопротивлений: входа в трубопровод $0,8$, вентиля 10 , поворота $0,3$, выхода под уровень 1 .

2. Определить напор, который должен развивать насос, чтобы обеспечить подачу воды в заводские цехи, расположенные на горизонтальной площадке. Величины расходов, длины и диаметры участков соответственно равны:

$$Q_d=10 \text{ л/сек}, l_1=350 \text{ м}, d_1=100 \text{ мм};$$

$$Q_c=5 \text{ л/сек}, l_2=450 \text{ м}, d_2=150 \text{ мм};$$

$$Q_b=10 \text{ л/сек}, l_3=600 \text{ м}, d_3=200 \text{ мм};$$

Абсолютную шероховатость стенок труб на всех участках принять равной $0,5 \text{ мм}$. Местными потерями напора пренебречь.

3. Центробежный насос перекачивает воду в количестве $Q = 30 \text{ л/сек}$ из нижнего резервуара в верхний. Определить расходы воды в каждой трубе, а также положение уровня в верхнем баке H , если полный напор, развиваемый насосом, $H_H = 23 \text{ м}$, а длины участков, диаметры труб и шероховатость стенок соответственно равны:

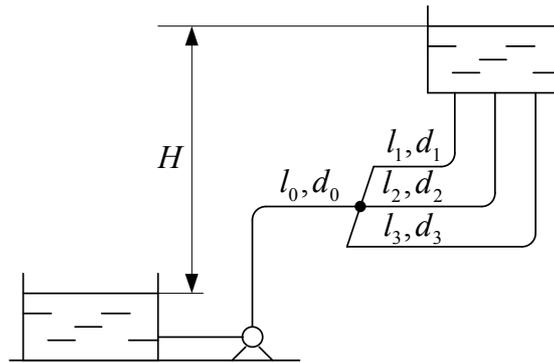
от насоса до точки разветвления $l_0 = 400 \text{ мм}$, $d_0 = 200 \text{ мм}$, $\Delta = 0,5 \text{ мм}$.

первой ветви $l_1 = 600 \text{ мм}$, $d_1 = 75 \text{ мм}$, $\Delta = 0,2 \text{ мм}$

второй ветви $l_2 = 750 \text{ м}$, $d_2 = 100 \text{ мм}$, $\Delta = 0,5 \text{ мм}$

третьей ветви $l_3 = 1000 \text{ мм}$, $d_3 = 150 \text{ мм}$, $\Delta = 1,0 \text{ мм}$

Местными сопротивлениями пренебречь.



Тема занятия 8: Гидравлический удар

Задачи

1. Определить повышение напора при гидравлическом ударе в стальном трубопроводе диаметром $d = 0,12$ м при расходе $Q = 15$ л/с и времени закрытия задвижки $\tau_1 = 7$ с и $\tau_2 = 2$ с. Толщина стенки трубы $\delta = 5$ мм. Длина трубы $l = 1600$ м.
2. Стальной трубопровод, имеющий размеры $D = 300$ мм, $\delta = 4$ мм и длину $l = 510$ м. от напорного бака до затвора, пропускает расход воды $Q = 85$ л/с. Определить, в течение какого времени τ_3 надо закрыть затвор, чтобы максимальное повышение давления в трубопроводе было в 3 раза меньше, чем при мгновенном закрытии затвора.

Тема занятия 9. Расчет работы насоса на сеть

Задачи

1. Определить полезную мощность насоса по следующим данным: производительность насоса $Q = 0,12$ м³/сек, показания манометра $p_m = 7,2$ кг/см², показания вакуумметра $p_v = 0,47$ кг/см², вертикальное расстояние между точками присоединения манометра и вакуумметра $z_0 = 0,42$ м. Диаметры всасывающего и напорного трубопроводов одинаковы. Насос перекачивает нефть. Плотность нефти 920 кг/м³.
2. Для одного насоса были определены следующие величины: потребляемая мощность $N = 115$ кВт, гидравлическая мощность $N_r = 103$ кВт, напор насоса $H = 225$ м, теоретическая производительность $Q_t = 45$ л/сек, объемный к.п.д. $\eta_o = 0,88$. Насос перекачивает бензин с плотностью 750 кг/м³. Определить полный к.п.д. насоса η , гидравлический к.п.д. η_r , механический к. п. д. η_m , действительную производительность Q , полезную мощность насоса N_p , объемные потери q и гидравлические потери h_r .

3. Насос подает воду в количестве $Q = 100 \text{ м}^3/\text{час}$ из колодца в напорный бак по трубопроводу диаметром $d = 150 \text{ мм}$. Геометрический напор $H_r = 32 \text{ м}$. Определить полный коэффициент полезного действия насоса, если потребляемая им мощность $N = 14 \text{ кВт}$, а полный коэффициент сопротивления $\sum \zeta = 12$.

3.4. План проведения практических занятий

Тема занятия 1: Физические свойства жидкостей и газов

Цель: Определение основных физических свойств жидкостей и газов.

Теоретические сведения:

Определение жидкости

Законы, уравнения и расчетные формулы гидравлики применимы для любого вещества, находящегося в жидком состоянии,- для воды, расплавленной стали, жидкого воздуха и т.д. Во многих случаях эти законы можно применять и для газов.

Жидкостью называется физическое тело, оказывающее сильное сопротивление изменению своего объёма (в противоположность газам) и слабое сопротивление изменению своей формы (в противоположность твёрдым телам).

Плотность жидкостей. Удельный вес

Основной механической характеристикой жидкости является плотность $\rho, \text{кг} / \text{м}^3$, определяемая для однородной жидкости отношением её массы M к её объёму W :

$$\rho = M / W$$

Удельным весом однородной жидкости $\gamma, \text{Н} / \text{м}^3$, называется вес G единицы объёма этой жидкости:

$$\gamma = G / W$$

Между плотностью и удельным весом существует связь:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

где g – ускорение свободного падения.

Сжимаемость и температурное расширение жидкостей

Сопротивление жидкостей изменению своего объёма характеризуется коэффициентами объёмного сжатия и температурного расширения.

Коэффициент объёмного сжатия $\beta_w, \text{Па}^{-1}$, - относительное изменение объёма жидкости на единицу изменения давления:

$$\beta_w = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p}$$

где ΔW - изменение объёма W , соответствующее изменению давления на величину Δp .

Величина, обратная коэффициенту объёмного сжатия, представляет собой объёмный модуль упругости жидкости E , Па :

$$E = 1 / \beta_w$$

Коэффициент температурного расширения β_t^0 , $^{\circ}\text{C}^{-1}$, выражает относительное изменение объёма жидкости при изменении температуры на 1 градус:

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta t}$$

где ΔW – изменение объёма, соответствующее изменению температуры на величину Δt .

Для воды при нормальных условиях можно принимать:

$$\beta_t = \frac{1}{10000} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Вязкость жидкостей

Сопротивление жидкостей изменению своей формы характеризуется их динамической вязкостью (внутренним трением). Сила внутреннего трения в жидкости на единицу площади определяется по закону Ньютона:

$$\tau = \pm \mu \cdot \frac{du}{dy},$$

где $\frac{du}{dy}$ - градиент скорости в направлении, перпендикулярном течению;

μ - абсолютная или динамическая вязкость жидкости.

Динамическая вязкость измеряется в пуазах (П) или в паскаль - секундах ($\text{Па} \cdot \text{с}$);

$$1\text{П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Значение динамической вязкости зависит от рода жидкости и её температуры. Отношение динамической вязкости жидкости к её плотности называется относительной или кинематической вязкостью:

$$\nu = \mu / \rho$$

Кинематическая вязкость измеряется в стоксах (Ст) или в квадратных метрах на секунду ($\text{м}^2 / \text{с}$):

$$1 \text{ Ст} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Вязкость жидкостей практически не зависит от давления, но значительно уменьшается с увеличением температуры.

На практике вязкость жидкостей определяется вискозиметрами и чаще всего выражается в градусах Энглера (0E)- так называемая условная вязкость. Для перехода от условной вязкости в градусах Энглера к кинематической вязкости служит эмпирическая формула Убеллоде:

$$\nu = (0,0731 {}^0E - 0,0631 / {}^0E) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

или теоретическая формула А.Д. Альтшуля [1]:

$${}^0E = 24 \cdot \nu \cdot \left[2,3 \cdot \lg \frac{\sqrt{\nu^2 + 0,0294} - \nu}{\sqrt{\nu^2 + 0,0166} - \nu} + \frac{1}{\nu} \cdot \left(\sqrt{\nu^2 + 0,0294} - \sqrt{\nu^2 + 0,0166} \right) \right]$$

где ν – в $\text{см}^2 / \text{с}$

Пример 1. Определить объём воды, который необходимо дополнительно подать в водопровод диаметром $d = 500 \text{ мм}$ и длиной $l = 1 \text{ км}$ для повышения давления до $\Delta p = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Решение. Вместимость водовода

$$W_B = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 10^3 = 196,2 \text{ м}^3.$$

Объём воды ΔW , который необходимо подать в водовод для повышения давления, находим из соотношения:

$$\beta_W = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p} = \frac{\Delta W}{(W_B + \Delta W) \cdot \Delta p}.$$

Принимаем:

$$\beta_W = 5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2 / \text{Н} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1}.$$

Тогда

$$\Delta W = \frac{W_B \cdot \beta_W \cdot \Delta p}{1 - \beta_W \cdot \Delta p} = \frac{196,2 \cdot 5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9 \cdot \left(1 - \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} \right)} = 0,493 \text{ м}^3.$$

Пример 2. Для периодического аккумулярования дополнительного объема воды, получающегося при изменении температуры, к системе водяного отопления в верхней её точке присоединяют расширительные резервуары, сообщающиеся с атмосферой. Определить наименьший объем расширительного резервуара, чтобы он полностью не опорожнялся. Допустимое колебание температуры воды во время перерывов в топке $\Delta t = 95 - 70 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Объем воды в системе $W = 0,55 \text{ м}^3$.

Решение. Наименьший объем расширительного резервуара должен быть равен изменению объема воды при колебании её температуры на 25° . Изменение объема воды находим по формуле:

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta t}$$

Коэффициент температурного расширения воды при температуре принимаем:

$$\beta_t \approx 600 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Тогда

$$\Delta W = \beta_t \cdot W \cdot \Delta t = 600 \cdot 10^{-6} \cdot 0,55 \cdot 25 = 0,0083 \text{ м}^3 = 8,3 \text{ л}.$$

Пример 3. Вязкость нефти, определенная по вискозиметру Энглера, составляет $8,5 \text{ } ^\circ\text{E}$. Вычислить динамическую вязкость нефти, если её плотность $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Находим кинематическую вязкость нефти по эмпирической формуле Убеллоде (18):

$$\begin{aligned} \nu &= 0,0731 \cdot ^\circ\text{E} - 0,0631 / ^\circ\text{E} = 0,0731 \cdot 8,5 - 0,0631 / 8,5 = \\ &= 0,614 \text{ См} = 0,614 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с} \end{aligned}$$

Проверяем полученный результат по теоретической формуле:

$$^\circ\text{E} = 24 \cdot \nu \cdot \left[2,3 \cdot \lg \frac{C_1 - \nu}{C_2 - \nu} + \frac{1}{\nu} \cdot (C_1 - C_2) \right],$$

где

$$C_1 = \sqrt{\nu^2 + 0,0294} = \sqrt{0,614^2 + 0,0294} = 0,635;$$

$$C_2 = \sqrt{\nu^2 + 0,0166} = \sqrt{0,614^2 + 0,0166} = 0,626.$$

Подставляя в формулу (19) найденные значения, получим:

$$^\circ\text{E} = 24 \cdot 0,614 \cdot \left[2,3 \cdot \lg \frac{0,635 - 0,614}{0,626 - 0,614} + \frac{0,635 - 0,626}{0,614} \right] = 8,5$$

Из приложения 3 находим:

$$\nu = 0,6139 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Динамическая вязкость нефти

$$\mu = \nu \cdot \rho = 0,614 \cdot 10^{-4} \cdot 850 = 0,052 \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,52 \text{ П} .$$

Тема занятия 2: Гидростатическое давление. Основное уравнение гидростатики.

Цель: научить студентов рассчитывать абсолютное и избыточное давление, манометрическое давление, вакуум, использовать основное уравнение гидростатики.

Контрольные вопросы:

1. Виды давлений, их связь друг с другом.
2. Приборы и единицы измерения давления.
3. Как определяется гидростатическое давление в любой точке?
4. Понятие пьезометрической высоты жидкости.
5. Схема подключения и принцип действия пьезометра открытого типа, U – образного манометра, обратного пьезометра.

Теоретические сведения:

Гидростатическое давление p представляет собой напряжение сжатия в точке, расположенной внутри покоящейся жидкости:

$$p = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta\omega} \right),$$

где ΔP – сила давления жидкости, приходящаяся на площадку $\Delta\omega$, содержащую рассматриваемую точку.

Гидростатическое давление в данной точке всегда нормально к площадке, на которую оно действует, и не зависит от ориентации (угла наклона) площадки. Гидростатическое давление зависит от положения рассматриваемой точки внутри жидкости и от внешнего давления, приложенного к свободной поверхности жидкости. В наиболее распространенном случае, когда действует лишь сила тяжести, гидростатическое давление p , Па, в точке находящейся на глубине h , определяется по формуле

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$$

где p_0 - единичное давление на свободной поверхности жидкости;

ρ - плотность жидкости;

g - ускорение свободного падения.

Формула (1.2) называется основным уравнением гидростатики. Из этой формулы следует, что внешнее давление p_0 , приложенное к свободной поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости и по всем направлениям одинаково (закон Паскаля).

Если $p_0 = p_{атм}$ (атмосферное давление), то уравнение (1.2) принимает вид

$$p_{абс} = p_{атм} + \rho \cdot g \cdot h$$

Разность между абсолютным и атмосферным давлением называется избыточным давлением:

$$p_{изб} = p - p_{атм} = \rho \cdot g \cdot h$$

отсюда

$$h = \frac{p_{изб}}{\rho \cdot g} = \frac{p - p_{атм}}{\rho \cdot g}$$

где h - пьезометрическая высота (высота давления).

Для воды избыточное давление на глубине $h = 10$ м равно: $p_{изб} = 9,81 \text{ кПа}$.

Если измеряемое давление меньше атмосферного ($p < p_{атм}$), то разность между атмосферным и абсолютным давлением называется вакуумом

$$p_{вак} = p_{атм} - p = \rho \cdot g \cdot h_{вак}$$

$$h_{вак} = \frac{p_{атм} - p}{\rho \cdot g} = \frac{p_{вак}}{\rho \cdot g}$$

Вакуум измеряется в долях атмосферы или высотой столба жидкости.

В дальнейшем изложении избыточное гидростатическое давление будет обозначаться буквой p (без индекса).

Пример: Требуется определить удельный вес жидкости, не смешивающейся с водой и налитой в левое колено U-образной стеклянной трубки на высоту $h = 1$ м, если в правое колено трубки налита вода и ее уровень находится ниже уровня жидкости в левом колене на величину $\Delta h = 0,2$ м.

Решение:

Записать краткое условие задачи, перевести исходные данные в систему СИ.

1. Выбираем горизонтальную плоскость сравнения.
2. Составляем уравнение равновесия относительно выбранной
3. Выражаем из уравнения равновесия неизвестную величину
4. Плотность и удельный вес жидкости берутся из справочников

4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

4.1. Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий

Лабораторные занятия предусматривают проведение эксперимента на лабораторных стендах. Методические указания по выполнению лабораторных работ, контрольные вопросы и необходимый справочный материал приведены в [1].

На первом занятии зав. лабораторией проводит инструктаж по технике безопасности, делается соответствующая запись в журнале по ТБ лаборатории. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

В начале лабораторного занятия осуществляется допуск к выполнению работы. Для допуска необходимо знать цель и содержание работы, пояснить схему рабочего участка и порядок проведения эксперимента.

Лабораторная работа выполняется подгруппой (два, три человека), каждой подгруппе выдается индивидуальное задание (исходные данные).

Отчет по лабораторной работе оформляется каждым студентом индивидуально и должен содержать:

- тему и цель работы;
- схему экспериментального участка;
- протокол эксперимента (в табличной форме);
- обработку результатов исследования (в отчете приводятся подробные расчеты для одного экспериментального режима, при выполнении нескольких аналогичных расчетов результаты приводятся в табличной форме);
- результаты обработки опытных данных (в табличной форме);
- графические зависимости, полученные в работе;
- выводы.

Текст отчета выполняется на листах формата А4 или в отдельной тетраде в рукописном или машинописном виде, графические зависимости следует выполнять на миллиметровой бумаге формата А4 или А5. Обязательно указание единиц измерения приводимых (полученных экспериментально или рассчитанных) величин. Допускается выполнение расчетов и построение графических зависимостей с помощью прикладных расчетных программ.

Для защиты результатов лабораторной работы следует представить преподавателю отчет и ответить (письменно или устно) на контрольные вопросы.

Темы лабораторных занятий приведены в рабочей программе дисциплины и настоящем учебно-методическом комплексе.

4.2. Перечень тем лабораторных занятий

1. Измерение манометрического и вакуумметрического давления. (2 часа)
2. Относительный покой жидкости во вращающемся сосуде. (2 часа)
3. Определение потерь напора по длине. (2 часа)
4. Определение местных потерь напора (6 часов)
5. Определение коэффициента расхода диафрагмы. (2 часа)
6. Изучение истечения жидкости из отверстия и насадок (4 часа)

4.3. Методические указания по выполнению лабораторных работ

Методические указания по выполнению лабораторных работ приведены в [1].

Методические указания содержат: тему и цель работы, теоретические сведения, описание экспериментальной установки, порядок проведения эксперимента, обработку результатов исследования, контрольные вопросы и необходимый справочный материал.

5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

5.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа предусматривает:

- подготовку студентов к аудиторным лекционным, практическим и лабораторным занятиям;
- выполнение расчетно-графической работы.

Для усвоения дисциплины, необходима систематическая самостоятельная работа, контроль которой осуществляется с помощью графика самостоятельной работы (табл. 1).

Темы аудиторных лекционных, практических и лабораторных занятий; задание для расчетно-графической работы; рекомендуемая литература приведены в рабочей программе дисциплины и настоящем учебно-методическом комплексе.

5.2. График самостоятельной работы студентов

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Тестирование на лекции	1
2	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Блиц-опрос на лекции Защита лабораторной	2

	подготовка к лабораторной работе	2	работы	
3	подготовка к лекционным и практическим занятиям подготовка к лабораторной работе	3 2	Тестирование на лекции. Проверочная работа 1 (по темам 1, 3) Защита лабораторной работы	3, 4
4	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	5
5	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	6
6	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	7
7	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.	8
8	подготовка к лекционным и практическим занятиям подготовка к лабораторной работе	3 2	Проверочная работа № 2 Защита лабораторной работы	9
9	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Тестирование на лекции Проверочная работа № 3	10
10	подготовка к лекционным и практическим занятиям подготовка к лабораторной работе	2 4	Блиц-опрос на лекции. Защита лабораторной работы	11
11	подготовка к лекционным занятиям подготовка к лабораторной работе	1 3	Тестирование на лекции Защита лабораторной работы	12
12	подготовка к лекционным и практическим занятиям	3	Блиц-опрос на лекции.	13, 14
13	подготовка к лекционным и практическим занятиям	3	Проверочная работа № 4 (по темам 11 и 13)	15
14	подготовка к лекционным и практическим занятиям выполнение расчетно-графического задания	3 6	Тестирование на лекции защита расчетно-графического задания	16, 17, 18

5.3. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы

Исходные данные для решения выбираются по предпоследней и последней цифрам варианта (зачетной книжки) из таб. 1 и 2 [1]. Физические параметры воды выбираются по таблице приложения 1 в зависимости от заданной температуры. Барометрическое давление принимается 101.3 кПа. Все расчеты рекомендуется выполнять в международной системе единиц. Расчетная часть выполняется на листах формата А4, графическая – на миллиметровой

бумаге формата А4.

Требуется определить:

- 1) рабочий режим системы (расход и напор насоса);
- 2) мощность, потребляемую насосом в рабочем режиме;
- 3) допустимую геометрическую высоту всасывания $H_{г.вс.доп}$;
- 4) как изменится рабочий режим насоса, если скорость вращения рабочего колеса насоса уменьшится* (увеличится)** на 20 %;
- 5) как изменится рабочий режим насоса при одновременном параллельном* (или последовательном)** включении двух одинаковых насосов.

Примечание: * - задание для четных вариантов; ** - задание для нечетных вариантов.

Выполненная РГР сдается преподавателю для проверки (два-три дня), защита РГР производится в соответствии с графиком. Студенты, не выполнившие или не защитившие РГР, к экзамену по гидрогазодинамике не допускаются.

5.4. Комплекты заданий для проверочных работ

Проверочная работа № 1

«Основное уравнение гидростатики.

Сила давления жидкости на стенку»

1. Определить манометрическое давление в точке А трубопровода, если высота столба ртути по пьезометру $h_2 = 25$ см. Центр трубопровода расположен на $h_1 = 40$ см ниже линии раздела между водой и ртутью.

2. Определить силу гидростатического давления бензина на торцевую плоскую стенку горизонтальной цилиндрической автоцистерны диаметром $D = 2$ м, если уровень бензина в цистерне находится на расстоянии $H = 2,2$ м. от дна. Цистерна герметически закрыта, и избыточное давление паров бензина на свободную поверхность составляет 300 мм рт. ст.

Найти также положение центра давления.

Проверочная работа № 2

«Режимы движения жидкости. Потери напора по длине»

1. Жидкость движется по трубопроводу, состоящему из трех участков, диаметры которых равны $d_1 = 50$ мм; $d_2 = 100$ мм и $d_3 = 50$ мм. Трубопровод присоединен к напорному баку, напор в котором поддерживается постоянным. Найти среднюю скорость движения жидкости на каждом из участков трубопровода, если она, вытекая из трубопровода, заполняет резервуар объемом $V = 2,5$ м³ за время $t = 10$ мин.

2. По круглой стальной трубе диаметром $d = 120$ мм и длиной $l = 500$ м перемещается жидкость с расходом $Q = 6$ л/сек. Высота выступов шероховатости трубы $\Delta = 0,07$ мм. Кинетический коэффициент вязкости жидкости $\nu = 0,01$ см²/сек. Определить потери напора по длине.

Проверочная работа № 3

«Уравнение Бернулли»

1. Определить высоту установки h центробежного насоса над поверхностью воды в колоде при следующих данных: диаметр всасывающей трубы $d = 250$ мм; длина всасывающей трубы $l = 20$ м; расход воды $Q = 60$ л/сек; температура воды $t = 20$ °С; давление перед входом в насос $p_2 = 0,4$ кг/см². Высота выступов шероховатости трубы $\Delta = 1$ мм. Коэффициенты местных сопротивлений: $\zeta_{\text{сетки}} = 6$; $\zeta_{\text{колена}} = 0,4$; $\zeta_{\text{вентиля}} = 2$.

Проверочная работа № 4

«Истечение жидкости через насадки. Гидравлический удар»

1. Определить расход из резервуара через два цилиндрических насадка. Один насадок расположен горизонтально, другой в дне резервуара. Размеры насадков одинаковы $d = 40$ мм, длина $l = 4d$. Глубина воды $H_1 = 80$ см и $H_2 = 170$ см. Определить время полного истечения жидкости из резервуара, если диаметр резервуара $D = 0,8$ м.

2. Определить повышение напора при гидравлическом ударе в стальном трубопроводе диаметром $d = 0,12$ м при расходе $Q = 15$ л/с и времени закрытия задвижки $\tau_1 = 7$ с и $\tau_2 = 2$ с. Толщина стенки трубы $\delta = 5$ мм. Длина трубы $l = 1600$ м.

6. МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

6.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов

Важнейшей составляющей изучения дисциплины является контроль знаний студентов, в том числе тестовый контроль качества освоения профессиональной образовательной программы (проверка остаточных знаний). Приведенные ниже комплекты заданий позволяют оценить степень усвоения теоретического материала и практических навыков и умений по гидрогазодинамике в рамках учебной программы для энергетических специальностей вузов.

Предусмотрены следующие виды контроля знаний студентов:

Входной контроль

Входной контроль по дисциплине представляет собой тестовые задания, позволяющие

оценить знание понятий, определений и закономерностей, используемых в данной дисциплине и изучаемых ранее в других курсах (физика, химия, математика), т.е. подготовленность студентов для освоения дисциплины.

Межсессионный контроль

Межсессионный контроль включает теоретические задания по изучаемым темам, выполнение проверочных работ, выполнение домашних расчетных заданий. Текущий контроль осуществляется систематически в течение семестра (см. график самостоятельной работы п. 5.2), по результатам контроля выставляется промежуточная аттестация (контрольные точки), экзаменационная оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов межсессионного контроля.

Экзаменационный контроль

Итоговой формой контроля знаний студентов является экзамен. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе. Опрос студентов осуществляется в письменно-устной форме. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задачу (каждый вопрос и задача – по разным темам дисциплины). Для подготовки ответа на вопросы и решения задачи дается 40 мин.

Контроль остаточных знаний

Проверка качества освоения профессиональной образовательной программы осуществляется после изучения дисциплины в виде тестирования.

6. 2. Критерии оценки знаний студентов

Входной контроль, межсессионный (теоретические задания) контроль и контроль остаточных знаний

Знания оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – не менее 85% правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 75% правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50% правильно выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50% правильно выполненных заданий.

Межсессионный контроль (проверочные работы)

Каждая проверочная работа включает две задачи. Практические умения решения задач оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – правильно решены обе задачи. *Хорошо* – одна задача решена правильно, при решении второй задачи допущены ошибки (задача не решена до конца, неправильно найдены некоторые величины) или решение обеих задач содержит ошибки не принципиального характера. *Удовлетворительно* – правильно решена одна задача или решение обеих за-

дач содержит принципиальные ошибки. *Неудовлетворительно* – обе задачи решены неверно.

Экзаменационный контроль

В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной шкале.

Оценка «отлично» ставится в случае правильных и полных ответов на оба теоретические вопросы билета и правильного решения задачи.

Оценка «хорошо» ставится в случае:

- правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, которые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя; правильного решения задачи;

- правильных и полных ответа на оба теоретических вопроса билета; затруднений при решении задачи, с которыми студент справляется после помощи преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае:

- ответов, содержащего ошибки принципиального характера на теоретические вопросы билета; правильного решения задачи;

- неверного ответа (отсутствия ответа) на один из теоретических вопросов билета; решения задачи после незначительной помощи преподавателя;

- правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета; неверного решения задачи (не справился с задачей после помощи преподавателя).

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае:

неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета;

неверного ответа (отсутствия ответов) на один из теоретических вопросов билета и неверного решения задачи.

6.3. Фонды тестовых заданий

Входной контроль

Идеальная жидкость – это...

Закон Паскаля звучит...

Закон Архимеда звучит...

Межсессионный контроль

Задания для текущей проверки знаний

По теме 1

1. Гидравлика изучает...

2. Вязкость – это...
3. Сжимаемость – это..., характеризуется ...
4. Ньютоновская жидкость – это...
5. Температурное расширение – это ..., характеризуется ...

По теме 3

1. Силы действующие на жидкость бывают ...
2. Под относительным покоем жидкости понимают...
3. Под абсолютным покоем жидкости понимают...
4. Основное уравнение гидростатики записывается...
5. Перечислите свойства гидростатического давления.
6. Сила давления на плоскую стенку определяется ...
7. Сила давления на криволинейную стенку определяется...
8. Закон Паскаля звучит...
9. Закон Архимеда записывается...

По темам 7, 8, 9

1. Режимы движения жидкости бывают ...
2. Удельная энергия – это ..., она измеряется в
3. Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости записывается ...
4. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости записывается ...
5. Геометрический смысл уравнения Бернулли для потока идеальной жидкости
6. Геометрический смысл уравнения Бернулли для потока реальной жидкости
7. Потери напора по длине определяются...
8. Местные потери напора определяются...
9. Коэффициент гидравлического трения определяется ...

По теме 11

1. Простым трубопроводом называют...
2. Сложным трубопроводом называют...
3. Потребный напор – это ...
4. Характеристика трубопровода – это ...
5. При последовательном соединении простых трубопроводов общая подача определяется..., а полная потери напора определяется ...
6. При параллельном соединении простых трубопроводов общий расход определяется..., а полная потери напора определяется ...

По теме 14

1. Насос – это ..., насосы бывают ...
2. Мощность насоса определяется ...
3. Баланс энергии в насосе...
4. Устройство лопастного насоса...
5. Центробежные насосы можно классифицировать ...
6. Рабочие характеристики насоса – это ...
7. Изменения режима насосной установки может быть достигнуто ...
8. При последовательной работе насосов для определения суммарной характеристики их напоры ..., а подача ...
9. При параллельной работе насосов для определения суммарной характеристики их напоры ..., а подача ...
10. Кавитация – это ..., кавитация может привести к ...
11. Принцип действия поршневых насосов ...

Экзаменационный контроль

Вопросы к экзамену

1. Предмет гидравлики. Основные понятия и определения. Основные физические свойства жидкости.
2. Идеальные и реальные жидкости. Силы, действующие на жидкость. Ньютоновские жидкости.
3. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики.
4. Абсолютный и относительный покой жидкости. Примеры относительного покоя жидкости. Свойства поверхностей уровня.
5. Сила давления жидкости на плоскую стенку. Определение центра давления. Гидростатический парадокс.
6. Сила давления жидкости на криволинейную стенку. Основные законы гидростатики (закон Паскаля и Архимеда).
7. Основные понятия и определения кинематики жидкости.
8. Общие законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов: уравнения Эйлера, Навье-Стокса.
9. Уравнение баланса количества движения.
10. Уравнение баланса момента количества движения.

11. Условия подобия гидродинамических процессов.
12. Виды движения жидкости. Уравнение неразрывности.
13. Понятие удельной энергии. Виды удельной энергии. Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости. Его геометрический смысл.
14. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Гидравлический и пьезометрический уклоны.
15. Потери напора при движении жидкости. Определение коэффициента гидравлического трения.
16. Ламинарное и турбулентное течение жидкости. Участок гидродинамической стабилизации. Опыты Рейнольдса. Число Рейнольдса и критическая скорость.
17. Местные потери напора (потери напора при внезапном расширении, сужении, повороте).
18. Истечение жидкости через отверстия и насадки при постоянном напоре.
19. Истечение жидкости через отверстия и насадки при переменном напоре.
20. Классификация трубопроводов. Расчёт коротких трубопроводов.
21. Гидравлический расчёт трубопроводов. Соединения простых трубопроводов.
22. Гидравлический расчет сложных трубопроводов и трубопроводов с насосной подачей жидкости.
23. Явление гидравлического удара. Формула Жуковского.
24. Взаимодействие потока жидкости с ограничивающими его стенками.
25. Классификация насосов. Основные параметры насосов. Баланс энергии в лопастном насосе.
26. Принцип действия и устройство центробежного насоса. Классификация центробежных насосов.
27. Движение жидкости в рабочем колесе центробежного насоса. Характеристики центробежного насоса и их пересчет. Коэффициент быстроходности.
28. Регулирование режима насосной установки. Осевые насосы.
29. Последовательная и параллельная работа насосов.
30. Явление кавитации. Кавитационный запас, кавитационная характеристика. Последствия кавитации.
31. Поршневые насосы. Классификация и принцип действия.
32. Свойства и основные параметры объемных насосов.

Образцы экзаменационных билетов

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры
от _____ протокол № _____
Зав. кафедрой Ю.В. Мясоедов

Кафедра энергетики
Факультет энергетический
Курс второй
Специальность 2800101.65
Дисциплина
Гидравлика

УТВЕРЖДАЮ

Билет № 4

1. Идеальные и реальные жидкости. Силы, действующие на жидкость. Ньютоновские жидкости.

2. Поршневые насосы. Классификация и принцип действия.

3. Задача

Определить потери напора по длине в новом стальном трубопроводе ($\Delta = 0,1$ мм) диаметром $d = 200$ мм и длиной $l = 2$ км, если по нему транспортируется вода с расходом $Q = 20$ л/сек. Кинематический коэффициент вязкости воды $\nu = 0,01$ см²/сек.

Как изменятся потери напора, если по тому же трубопроводу будет транспортироваться нефть с тем же расходом. Кинематический коэффициент вязкости нефти $\nu = 1$ см²/сек.

Контроль остаточных знаний

Тестовые задания для проверки остаточных знаний

по дисциплине «Гидравлика» для специальности 2800101.65

Инструкция: При ответе следует выбрать ответ из предложенных (задания могут содержать несколько правильных ответов).

1. Гидростатика изучает:

- законы равновесия и движения жидкости, а также использование этих законов для решения практических задач;

- законы равновесия жидкости;
- законы движения жидкости.

2. Идеальная жидкость

- жидкость, обладающая вязкостью, т.е. при её движении имеют место силы трения;
- жидкость в которой нет сил трения;
- жидкость которая не подчиняется закону Ньютона

3. Закон Ньютона записывается:

$$- \tau = \frac{\Delta T}{\Delta S}$$

$$- \tau = \mu \frac{dw}{dn}$$

$$- \tau = \nu \frac{dw}{dn}$$

4. Если известно p_{ATM} и $p_{ИЗБ}$, то $p_{АБС}$ можно определить так:

$$- p_{АБС} = p_{ATM} + p_{ИЗБ}$$

$$- p_{АБС} = p_{ИЗБ} - p_{ATM}$$

$$- p_{АБС} = p_{ATM} - p_{ИЗБ}$$

5. Закон Архимеда записывается:

- на тело, погруженное в жидкость действует сила, численно равная произведению веса жидкости, вытесненной телом, на объём тела.
- давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости и по всем направлениям одинаково.
- на тело, погруженное в жидкость действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх, численно равная весу жидкости, вытесненной телом, и приложенная в центре тяжести объёма погруженной части тела.

6. Установившееся течение жидкости:

- течение жидкости, характеристики которого изменяются во времени в точках рассматриваемого пространства
- течение жидкости, неизменное по времени, при котором давление и скорость являются функциями только координат, но не зависят от времени

- течение жидкости, при котором живые сечения и скорости в соответствующих точках этих сечений по всей длине потока одинаковы.

7. Массовый расход – это

- масса жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени
- вес жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени
- объем жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени

8. Уравнение неразрывности записывается...

9. Уравнение Бернулли для реальной жидкости записывается ...

Слагаемые уравнения представляют собой ...

10. Потери напора местного сопротивления находятся:

$$-h_M = \zeta \frac{d}{l} \frac{w^2}{2g}$$

$$-h_M = \lambda \frac{d}{l} \frac{w^2}{2g}$$

$$-h_M = \zeta \frac{w^2}{2g}$$

11. Число Рейнольдса рассчитывается:

$$- Re = \frac{wd}{2g\nu}$$

$$- Re = \lambda \frac{wd}{\nu}$$

$$- Re = \frac{wd}{\nu}$$

12. Определите режим движения воды в водопроводной трубе диаметром $d=50$ мм, если протекающий по ней расход $Q=100$ л/с, кинематическая вязкость $\nu=0,01 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

- ламинарный
- переходный
- турбулентный

13. Короткий трубопровод – это

- трубопровод, состоящий из одной линии труб и проводящие один и тот же расход жидкости
- трубопроводы, малой длины с большим количеством местных сопротивлений
- трубопроводы, подающие жидкость от источника до потребителя

14. Характеристика трубопровода – это

- график зависимости суммарной потери напора в трубопроводе от расхода
- напор, создаваемый насосом при постоянной частоте вращения вала насоса
- напор, который необходимо подвести к жидкости в первом входном сечении трубопровода для перемещения этой жидкости ко второму сечению

15. При параллельном соединении простых трубопроводов полный расход находится:

- $Q=Q_1=Q_2=\dots=Q_n$
- $Q=Q_1*Q_2*\dots*Q_n$
- $Q=Q_1+Q_2+\dots+Q_n$

16. Гидравлический удар – это

- резкое повышение давления, возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока
- резкое понижение давления, возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока
- нарушение сплошности потока жидкости, обусловленное появлением в нем пузырьков или полостей, заполненных паром или газом

17. Динамические насосы – это

- насосы, в которых сообщение энергии жидкости осуществляется периодическим изменением замкнутого объема при переменном сообщении его со входом и выходом насоса
- насосы в которых жидкость перемещается под воздействием гидродинамических сил, причем объем жидкости, находящейся внутри насоса, постоянно сообщается со входом и выходом насоса

18. Полезная мощность насоса - это

- энергия, которую приобретает жидкость при прохождении через насос
- энергия, подводимая к нему от двигателя за единицу времени
- расход жидкости через напорный (выходной) патрубок

19. Кавитационный запас – это

- повышение давления, возникающее в напорном трубопроводе при внезапном торможении потока
- нарушение сплошности потока жидкости, обусловленное появлением в нем пузырьков или полостей, заполненных паром или газом
- превышение полного напора жидкости во входном патрубке насоса над давлением ее насыщенного пара.

20. При параллельной работе насосов для определения суммарной характеристики их напоры ..., а подача ...

7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

а) основная литература:

4. Лапшев Н.Н.. Гидравлика [Текст] : учеб.: рек. УМО / Н. Н. Лапшев, 2010. - 270 с.
5. Петров А.Г.. Аналитическая гидродинамика [Текст] : учеб. пособие / А.Г. Петров, 2009. - 519 с.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика [Текст] : (Техническая механика жидкости): учеб. / Р. Р. Чугаев, 2008. - 672 с.

б) дополнительная литература:

8. Кудинов В.А. Гидравлика [Текст] : учеб. пособие: доп. Мин. обр. РФ / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, 2006. - 176 с.
9. Фабер Т. Е. Гидроаэродинамика [Текст]: [моногр.] / Т. Е. Фабер; Пер. с англ. В.В. Коляда, Ред. А.А. Павельев, 2001. - 560 с.
10. Ландау Л.Д. Теоретическая физика [Текст]: В 10 т.: учеб. пособие: Рек. Мин. обр. РФ. Т. 6 : Гидродинамика / под ред. Л. П. Питаевского, 20012003. - 732 с.
11. Овсянников Л.В. Лекции по основам газовой динамики [Текст]: Учеб. пособие: Доп.

Мин. обр. РФ / Л.В. Овсянников , 2003. - 336 с.

12. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод [Текст] : учеб.пособие: доп. УМО / под ред. С. П. Стесина, 2007. - 336 с.

13. Лапшев Н.Н. Гидравлика [Текст] : учеб. : доп. УМО / Н. Н. Лапшев, 2007. - 270 с.

14. Метревели В.Н.. Сборник задач по курсу гидравлики с решениями [Текст] : учеб.пособие: доп. Мин. обр. РФ / В. Н. Метревели, 2008. - 192 с.

в) справочные издания:

9. Касилов В.Ф.. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков [Текст]: справочное издание / В.Ф. Касилов, 2000. - 270 с.

10. Яворский Б.М.. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов [Текст] / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев, 2007. - 1055 с.

11. Справочник по физике. Формулы, таблицы, схемы [Текст] / под ред. Х. Штёкера; пер. с нем. Т. Н. Зазаевой, 2009. - 1264 с.

12. Справочник по гидравлике [Текст] / под ред. В. А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1984. - 343 с.

13. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб [Текст] : справ. пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев, 2008. - 350 с.

14. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам [Текст] / под общ. ред. Б. Б. Некрасова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Минск: Вышэйш. шк., 1985. - 384 с.

15. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик; ред. А. И. Костиенко, С. Ш. Квилиш, В. И. Скурлатов, 1963. - 708 с.

г) периодические издания (журналы):

15. Математическое моделирование

16. САПР и графика

17. Успехи математических наук

18. Известия РАН. Механика жидкости и газа

19. Известия вузов. Физика

20. Журнал вычислительной математики и математической физики

21. Промышленная энергетика

22. Известия РАН. Энергетика

23. Механотроника, автоматизация, управление

24. Безопасность жизнедеятельности с ежемесячным приложением
25. Теплоэнергетика
26. Вестник Российской академии наук
27. Известия РАН. Серия физическая
28. Журнал теоретической и экспериментальной физики

д) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.iqlib.ru	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
2	http://www.twirpx.com/files/tek/	Twirpx.com - это служба, обеспечивающая с помощью веб-интерфейса, расположенного только по адресу http://www.twirpx.com , и специализированного аппаратно-программного обеспечения хранение, накопление, передачу и обработку материалов Пользователей, представленной в электронном виде в публичный доступ. Интернет-библиотека, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
3	Консультант +	Справочно-правовая система. Содержит законодательную базу, нормативно-правовое обеспечение, статьи.
4	http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SMILOV/teaching/Mwg http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/SMILOV/teaching/hydraulics/Tab1/	Портал национального исследовательского Томского политехнического университета. Информация по дисциплинам «Механика жидкости и газа», «Гидравлика и гидропневмопривод».