

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.

## **ГИДРОГАЗОДИНАМИКА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

для специальностей

140101.65 – «Тепловые электрические станции»

140106.65 – «Энергообеспечение предприятий»

Составитель: Н.Н. Храмцова, И.Г. Подгурская

Благовещенск  
2012 г.

## СОДЕРДАНИЕ

Аннотация.....	2
Рабочая программа.....	3
1.Краткий конспект лекций.....	36
2.Практические занятия.....	40
3.Лабораторные работы.....	52
4.Самостоятельные работы.....	53
5.Материалы по контролю качества образования.....	56

## АННОТАЦИЯ

Государственный образовательный стандарт подготовки инженера по специальности 140101 – «Тепловые электрические станции» включает изучение дисциплины «Гидрогазодинамика» в разделе ОПД.Ф.08.

Согласно учебному плану специальности данная дисциплина изучается на втором курсе обучения (четвертый семестр), предусмотрены следующие виды занятий и формы контроля

Наименование	Всего часов
Лекции	36
Практические занятия	18
Лабораторные занятия	18
Самостоятельная работа	68
Курсовая работа	-
Вид итогового контроля	экзамен
Общая трудоемкость дисциплины	140

Учебно-методический комплекс дисциплины «Гидрогазодинамика» включает в себя:

1. Рабочую учебную программу дисциплины «Гидрогазодинамика» (Амурский государственный университет, кафедра «Энергетика», 2006. Автор – ст. преподаватель каф. «Энергетика» Гриценко М.В., ассистент каф. «Энергетика» Храмцова Н.Н.);

2. Настоящий учебно-методический комплекс.

В настоящем учебно-методическом комплексе приведен краткий конспект лекций (с указанием тем для самостоятельного изучения и вопросов для самопроверки), методические рекомендации и методические указания по проведению практических и лабораторных занятий, график самостоятельной работы и методические указания по выполнению, комплекты заданий для домашних расчетных и контрольных работ, а также материалы по контролю качества образования (методические указания по организации контроля знаний студентов, критерии оценки знаний студентов и фонды тестовых заданий).

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

140101.65 – «Тепловые электрические станции»

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Гидрогазодинамика» 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; 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.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина «Гидрогазодинамика» предусмотрена Государственным образовательным стандартом в качестве одной из общепрофессиональных дисциплин – блок ОПД.Ф. 08.

Выписка из Государственного стандарта:

Вводные сведения; основные физические свойства жидкостей и газов; общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов; силы, действующие в жидкостях; абсолютный и относительный покой (равновесие) жидких сред; модель идеальной (невязкой) жидкости; общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества движения;. подобие гидромеханических процессов;. общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме;. одномерные потоки жидкостей и газов;. плоское (двумерное) движение идеальной жидкости; уравнение движения для вязкой жидкости; пограничный слой; дифференциальное уравнение пограничного слоя; сопротивление тел обтекаемых вязкой жидкостью; сопротивление при течении жидкости в трубах, местные сопротивления;. турбулентность и ее основные статистические характеристики; уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса; сверхзвуковые течения; скачки уплотнений; особенности двухкомпонентных и двухфазных течений; течение жидкости при фазовом равновесии; тепловой скачок и скачок конденсации.

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.

### 3.ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ 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.

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентови трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				ЛК	ПЗ	ЛЗ	СРС	
1	Кинематика жидкости игаза. Гидростатика.Газовая динамика	5	1-8	12	8	8	20	1,3,5,7 недели – блиц-опрос на лекции; 2,4,6,8 недели – опрос на практике, защита индивидуального домашнего задания,защита лабо-

№ 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	
								ракторных работ
2	Скачки уплотнения. Элементы теории профилей в плоском потоке. Математические модели вязких жидкостей и газов	5	9-14	12	6	6	20	9, 11 недели - блиц-опрос на лекции; 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.	5	15-18	12	4	4	28	15, 17, 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	5						Экзамен

Примечания:

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

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекции

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

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

Гидрогазоаэродинамика и ее место среди естественных и технических наук. Исторический обзор достижений гидрогазодинамики. 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 газ.

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. Тепло-содержание. Энтропия. Второй закон термодинамики. Изоэнтропические процессы. Скорость распространения звука в газе. Число М. Уравнение баланса энергии для одномерного движения невязкого газа. Температура торможения. Основные соотношения для одномерного установившегося, изоэнтропического течения невязкого газа. Связь между скоростью течения газа и формой его струи. Случай течения газа в сопле Лавалья.

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 изоэнтропическим сжатием. Давление в точке торможения потока за прямым скачком уплотнения. Измерение числа М 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 косоугольного 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, безциркуляционное обтекание цилиндра, циркуляционное движение. Подъемная сила при циркуляционном обтекании цилиндра. Теорема Жуковского о подъемной 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 крыла, 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 докритической и закритической областях обтекания ЛА.

## 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	<b>Основы кинематики жидкости. Основы гидростатики:</b> 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.	2
2	<b>Основные уравнения гидрогазодинамики:</b> 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.	2
3	<b>Теория подобия и анализ размерностей:</b> Получение чисел подобия методом анализа размерностей на основании $\pi$ - теоремы. Уравнения подобия.	2
4	Режимы течения вязкой жидкости: Критическое число Рейнольдса как граница перехода от ламинарного режима течения к турбулентному (как критерий режимов течения).	2
5	<b>Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах:</b> 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.	2
6	<b>Одномерный поток газа:</b> 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 случай 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 изэнтропном течении газа. Комбини-	2

№ п/п	Наименование темы	К-во часов
	рованные воздействия на поток газа.	
7	<b>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии:</b> Обтекание сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла (течение Прандтля – Майера или сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости течения).	2
8	<b>Скачки уплотнения. Основы теории пограничного слоя:</b> 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
9	<b>Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы:</b> 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.	2

На практических занятиях каждому студенту выдаются индивидуальные домашние задания.

### 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	<b>Одномерный поток газа:</b> Общие сведения о свободных струях Измерения в потоке воздуха с помощью пневмонасадков.	2
2	<b>Одномерный поток газа:</b> Адиабатическое течение газа с трением по каналу с постоянной площадью поперечного сечения.	2
3	<b>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии. Скачки уплотнения:</b> Исследование обтекания клина сверхзвуковым потоком.	2

№ п/п	Наименование темы	Кол-во часов
4	<b>Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах. Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> численное моделирование ламинарного движения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе.	2
5	<b>Одномерный поток газа. Основы теории пограничного слоя:</b> Течение газа в канале с горлом.	2
6	<b>Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> Моделирование движения жидкости и газа в пакете CosmosFlowWorks. Моделирование движения жидкости и газа в пакетах Flowvision и Ansys.	4
7	<b>Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> Программный пакет Open – FOAM с библиотекой моделей, включающей уравнения Навье – Стокса в сжимаемой и несжимаемой постановках.	4

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоём- кость в ча- сах
1	1	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	20
2	2	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	20
3	3	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	28

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Гидрогазодинамика», 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. В рамках

дисциплины предусмотрены встречи с представителями аэрокосмических компаний.

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.

## **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  $\pi$  - 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. Адиаб-

тическое 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 давления". 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 неустановившееся 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. Гидрогазодинамика 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 подъемной силе. Аэродинамические коэффициенты профиля.
29. Динамика сплошной среды. Уравнение неразрывности.
30. Распределение сил в сплошной среде. Объемные 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. Изоэнтропические формулы.
46. Скорость распространения малых возмущений в газе (скорость звука).
47. Уравнение баланса энергии. Число М.
48. Температура торможения. Основные соотношения для одномерного, установившегося, изоэнтропического 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 изоэнтропическим сжатием. Давление в критической точке за прямым скачком уплотнения.
55. Основные закономерности для расчёта косоугольного скачка уплотнения.
56. Особенности косоугольного 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 М летательного аппарата.
66. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от числа М в докритической и закритической областях обтекания ЛА.

## **9.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»**

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 / Н. Б. Варгафтик; ред. А. И. Костиенко, С. Ш. Кивилис, В. И. Скурлатов, 1963. - 708 с.

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	<a href="http://www.iqlib.ru">http://www.iqlib.ru</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
2	<a href="http://www.twirpx.com/files/tek/">http://www.twirpx.com/files/tek/</a>	Twirpx.com - это служба, обеспечивающая с помощью веб-интерфейса, расположенного только по адресу <a href="http://www.twirpx.com">http://www.twirpx.com</a> , 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	<a href="http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SMAILOV/teaching/Mwg">http://portal.tpu.ru/SHARED/s/SMAILOV/teaching/Mwg</a> <a href="http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/SMAILOV/teaching/hydraulics/Tab1/">http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/s/SMAILOV/teaching/hydraulics/Tab1/</a>	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.

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

## 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 соответствии с рейтинг планом 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.

### *РАБОЧАЯ ПРОГРАММА*

140106.65 – «Энергообеспечение предприятий»

#### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения дисциплины «Гидрогазодинамика» 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; 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 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 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.

## 2.МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина «Гидрогазодинамика» предусмотрена Государственным образовательным стандартом в качестве одной из общепрофессиональных дисциплин – блок ОПД.Ф.08.

Выписка из Государственного стандарта.

Вводные сведения; основные физические свойства жидкостей и газов; общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов; силы, действующие в жидкостях; абсолютный и относительный покой (равновесие) жидких сред; модель идеальной (невязкой) жидкости; общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества движения;. подобие гидромеханических процессов;. общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме;. одномерные потоки жидкостей и газов;. плоское (двумерное) движение идеальной жидкости; уравнение движения для вязкой жидкости; пограничный слой; дифференциальное уравнение пограничного слоя; сопротивление тел обтекаемых вязкой жидкостью; сопротивление при течении жидкости в трубах, местные сопротивления;. турбулентность и ее основные статистические характеристики; уравнения Навье-Стокса и Рейнольдса; сверхзвуковые течения; скачки уплотнений; особенности двухкомпонентных и двухфазных течений; течение жидкости при фазовом равновесии; тепловой скачок и скачок конденсации.

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;

### **3. ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

4) Знать:

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

5) 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;

6) 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.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

№ 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	5	1-8	12	8	8	20	1,3,5,7 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	5	9-14	12	6	6	20	9, 11 недели - блиц-опрос на лекции; 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.	5	15-18	12	4	4	28	15, 17, 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	5						Экзамен

Примечания:

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

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекции

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

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

Гидрогазоаэродинамика и ее место среди естественных и технических наук. Исторический обзор достижений гидрогазодинамики. 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 газ.

Закон сохранения массы (уравнение неразрывности). Объемные 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. Теплоемкость. 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 течения невязкого газа. Связь между скоростью течения газа и формой его струи. Случай 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 изоэнтропическим 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 невязкой, несжимаемой жидкости: однородное, диполь, циркуляционное движение, безциркуляционное 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 крыла, 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 докритической и закритической областях обтекания ЛА.

## 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	<b>Основы кинематики жидкости. Основы гидростатики:</b> 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.	2
2	<b>Основные уравнения гидрогазодинамики:</b> 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.	2
3	<b>Теория подобия и анализ размерностей:</b> Получение чисел подобия методом анализа размерностей на основании $\pi$ - теоремы. Уравнения подобия.	2
4	Режимы течения вязкой жидкости: Критическое число Рейнольдса как граница перехода от ламинарного режима течения к турбулентному (как критерий режимов течения).	2
5	<b>Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах:</b> 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.	2
6	<b>Одномерный поток газа:</b> 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	2

№ п/п	Наименование темы	К-во часов
	потока. Формулы для определения сил, действующих на твердое тело со стороны газового потока (газодинамическая форма). Уравнение обращения воздействий (УОВ) как общий случай 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.	
7	<b>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии:</b> Обтекание сверхзвуковым потоком внешнего тупого угла (течение Прандтля – Майера или сверхзвуковое течение газа с непрерывным увеличением скорости течения).	2
8	<b>Скачки уплотнения. Основы теории пограничного слоя:</b> 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
9	<b>Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы:</b> 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.	2

На практических занятиях каждому студенту выдаются индивидуальные домашние задания.

### 5.3. Лабораторные занятия

Цель проведения лабораторных занятий – ознакомить студентов со схемой 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	<b>Одномерный поток газа:</b> Общие сведения о свободных струях Измерения в потоке воздуха с помощью пневмонасадков.	2
2	<b>Одномерный поток газа:</b> Адиабатическое течение газа с трением по каналу с постоянной площадью поперечного сечения.	2
3	<b>Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии. Скачки уплотнения:</b> Исследование обтекания клина сверхзвуковым потоком.	2
4	<b>Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах. Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> численное моделирование ламинарного движения вязкой несжимаемой жидкости в цилиндрической трубе.	2
5	<b>Одномерный поток газа. Основы теории пограничного слоя:</b> Течение газа в канале с горлом.	2
6	<b>Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> Моделирование движения жидкости и газа в пакете CosmosFlowWorks. Моделирование движения жидкости и газа в пакетах Flowvision и Ansys.	4
7	<b>Основы вычислительной гидрогазодинамики:</b> Программный пакет Open – FOAM с библиотекой моделей, включающей уравнения Навье – Стокса в сжимаемой и несжимаемой постановках.	4

## 6.САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	№ раздела дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоём- кость в ча- сах
1	1	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	20
2	2	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	20
3	3	подготовка к блиц-опросу на лекции; выполнение индивидуальных домашних заданий и подготовка к практическому занятию, подготов- ка к лабораторным занятиям	28

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Гидрогазодинамика», используются традиционные и современные образовательные технологии. Из современных образовательных технологий применяются информационные и компьютерные технологии с привлечением к подаванию 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. В рамках дисциплины предусмотрены встречи с представителями аэрокосмических компаний.

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 в библиотеке.

## 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  $\pi$ -теоремы. Уравнения подобия"; раздел "Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах", темы "Уравнение неразрывности (расхода). Уравнение Бернулли как механическая форма уравнения энер-

гии. 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 давления". 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 неустановившееся 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

67. Гидрогазодинамика и ее место среди естественных и технических наук. Исторический обзор достижений гидрогазодинамики. Основные понятия Гидрогазодинамики.
68. Классификация жидкостей и газов. Гипотеза сплошности.
69. Гидромеханическое представление о жидкостях как о сплошной, легкоподвижной и плохо сжимаемой среде.
70. Газ как сжимаемая жидкость.
71. Плотность и удельный объем, их зависимость от температуры и давления для капельных жидкостей и газов.
72. Жидкости однородные и неоднородные.
73. Вязкость жидкостей. Вязкость газов. Закон вязкостного трения Ньютона.
74. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления.
75. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные.
76. Условия равновесия жидкого объема.
77. Дифференциальное уравнение равновесия Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой и несжимаемой жидкостей.
78. Основная формула гидростатики и барометрическая формула.
79. Гидростатическое давление. Закон Паскаля.
80. Способы измерения давления. Силы гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности.

81. Центр давления. Сила Архимеда. Плавание тел.
82. Общий характер движения жидких частиц по данным наблюдений. Местная скорость.
83. Установившееся и неустановившееся движение. Ламинарный и турбулентный режимы течения.
84. Пульсация скорости в турбулентном потоке. Осреднение скорости по времени и по пространству.
85. Методы Эйлера и Лагранжа описания движения жидкости.
86. Поле скоростей, линии и трубки тока.
87. Уравнение сплошности течения в гидравлической и дифференциальной формах. Ускорение жидкой частицы в переменных Эйлера.
88. Анализ составляющих движения жидкой частицы. Теорема Коши - Гельмгольца.
89. Вихревое движение и основные характеристики поля вихрей. Вихревая линия и вихревая трубка. Свойства вихревых трубок.
90. Понятие о циркуляции. Потенциальное течение жидкостей и газов.
91. Понятие о потенциале скорости и его свойства. Суперпозиция потенциальных течений.
92. Функция тока, ее гидродинамический смысл. Условие Коши - Римана. Комплексный потенциал.
93. Примеры плоских потенциальных течений. Обтекание круглого цилиндра.
94. Теорема Жуковского о подъемной силе. Аэродинамические коэффициенты профиля.
95. Динамика сплошной среды. Уравнение неразрывности.
96. Распределение сил в сплошной среде. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений.
97. Закон изменения количества движения и уравнение динамики сплошной среды в напряжениях.
98. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости Эйлера. Переход к форме Громеки-Лэмба. Интегралы этих уравнений.
99. Уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости.
100. Уравнение Сен - Венана для изотермического и адиабатического течения идеального газа.
101. Общая форма уравнения энергии для установившегося движения сжимаемой жидкости.
102. Общая форма уравнения количества движения жидкого объема.
103. Вязкая жидкость. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформации.
104. Уравнения Навье - Стокса.
105. Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости.
106. Турбулентное движение и общие уравнения осредненного установившегося турбулентного потока (уравнения Рейнольдса).



107. Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Понятие о подобии гидромеханических процессов.
108. Критерии подобия для течений несжимаемых вязких жидкостей и газовых течений. Понятие об автомодельности.
109. Строение атмосферы. Стандартная атмосфера. Уравнения состояния газа.
110. Первый закон термодинамики. Теплоёмкость. Теплосодержание.
111. Второй закон термодинамики. Энтропия. Изоэнтропические формулы.
112. Скорость распространения малых возмущений в газе (скорость звука).
113. Уравнение баланса энергии. Число М.
114. Температура торможения. Основные соотношения для одномерного, установившегося, изоэнтропического течения невязкого газа.
115. Связь между скоростью течения газа и формой его струи.
116. Случаи течения газа в сопле Лаваля.
117. Распространение малых возмущений в движущемся потоке газа.
118. Понятие скачка уплотнения. Основные закономерности для расчёта прямого скачка уплотнения.
119. Связь между скоростями до и после прямого скачка с критической скоростью. Формула Прандтля.
120. Сравнение сжатия в прямом скачке уплотнения с изоэнтропическим сжатием. Давление в критической точке за прямым скачком уплотнения.
121. Основные закономерности для расчёта косоугольного скачка уплотнения.
122. Особенности косоугольного скачка по сравнению с прямым. Ударная поляра.
123. Математические модели вязких жидкостей и газов.
124. Пограничный слой, вихревой след. Модели, учитывающие вязкость жидкостей.
125. Полная модель движения вязкой, сжимаемой жидкости. Уравнение баланса энергии.
126. Крыловой профиль и его геометрические характеристики.
127. Силы, действующие на профиль при его обтекании потоком воздуха.
128. Аэродинамические характеристики профиля крыла, руля управления. ЛА.
129. Зависимость аэродинамических характеристик от геометрических.
130. Центр давления профиля. Устойчивые и неустойчивые профили.
131. Аэродинамические силы, действующие на ЛА при плоском и пространственном движении. Критическое число М летательного аппарата.
132. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от числа М в докритической и закритической областях обтекания ЛА.

## 9.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ГИДРОГАЗОДИНАМИКА»

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:

8. Касилов В.Ф.. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков [Текст]: справочное издание / В.Ф. Касилов, 2000. - 270 с.
9. Яворский Б.М.. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов [Текст] / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев, 2007. - 1055 с.
10. Справочник по физике. Формулы, таблицы, схемы [Текст] / под ред. Х. Штёкера; пер. с нем. Т. Н. Зазаевой, 2009. - 1264 с.
11. Справочник по гидравлике [Текст] / под ред. В. А. Большакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Вища школа, 1984. - 343 с.
12. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб [Текст] : справ.пособие / Ф. А. Шевелев, А. Ф. Шевелев, 2008. - 350 с.
13. 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.

14. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик; ред. А. И. Костиенко, С. Ш. Кивилис, 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	<a href="http://www.iqlib.ru">http://www.iqlib.ru</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания
2	<a href="http://www.twirpx.com/files/tek/">http://www.twirpx.com/files/tek/</a>	Twirpx.com - это служба, обеспечивающая с помощью веб-интерфейса, расположенного только по адресу <a href="http://www.twirpx.com">http://www.twirpx.com</a> , 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	<a href="http://portal.tpu.ru/SHARED">http://portal.tpu.ru/SHARED</a>	Портал национального исследовательского

/s/SMAILOV/teaching/Mwg http://portal.tpu.ru:7777/SH ARED/s/SMAILOV/teachin g/hydraulics/Tab1/	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.

## **10.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

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

## **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 соответствии с рейтинг планом 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.

# 1. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## **Вводные сведения. Общие законы и уравнения статики и динамики жидкостей и газов.**

Предмет гидрогазодинамики и его место в подготовке специалистов тепло-энергетического профиля. Значение гидрогазодинамики для теплоэнергетики и энергомашиностроения. Основные понятия и определения гидрогазодинамики. Методы изучения жидкости. Сжимаемые и несжимаемые жидкости. Физические свойства жидкостей - плотность, сжимаемость, вязкость. Закон Ньютона для вязкого трения. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости, их зависимость от температуры. Поверхностное натяжение и тепловое расширение жидкостей.

Модели идеальной (невязкой жидкости) и реальной (вязкой жидкости). Ньютоновские жидкости.

## **Гидростатика. Гидростатическое давление.**

Гидростатическое давление. Давление в покоящейся жидкости. Абсолютное и избыточное давление, манометрическое давление, вакуум. Приборы для измерения давления и вакуума. Свойства гидростатического давления. Основное уравнение гидростатики.

Давление жидкости на плоскую и криволинейную поверхности. Сила давления, центр давления.

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

## **Уравнение баланса количества движения и момента количества движения, уравнение баланса энергии.**

Закон изменения количества движения. Закон изменения количества движения. Закон изменения момента движения. Силовое воздействие потока на ограничивающие его стенки. Общее уравнение баланса энергии в интегральной и дифференциальной формах.

## **Одномерные потоки жидкости и газа.**

Основные уравнения. Скорость звука. Различные формы уравнения энергии. Изоэнтропийное течение. Параметры торможения и критические параметры. Газодинамические функции. Внешние воздействия на поток и условия перехода через критическое состояние. Критический расход. Суживающее сопло и сопло Лаваля.

Установившееся течение сжимаемой вязкой жидкости в теплоизолированной трубе постоянного сечения. Критическая длина трубы. Распределение скоростей и давлений вдоль трубы.

Течение идеальной сжимаемой жидкости в канале с постоянной площадью поперечного сечения и прямым скачком уплотнения.

### **Подобие гидромеханических процессов.**

Основные понятия физического подобия. Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие потоков жидкости и газа. Критерии подобия и моделирования. Идентичность безразмерных форм уравнений движения. Критерии подобия и моделирования. Роль подобия в теоретических и экспериментальных исследованиях.

### **Плоское (двумерное) движение жидкости.**

Кинематика плоских потенциальных течений. Начальные и граничные условия уравнений идеальной жидкости. Понятие о линиях и трубках тока, расходе, живом сечении, смоченном периметре, гидравлическом радиусе. Уравнение неразрывности. Вихревое и безвихревое (потенциальное) движения. комплексный потенциал и комплексная скорость. Применение функций комплексного переменного к расчету потоков.

### **Уравнение движения для вязкой жидкости. Уравнения Навье-Стокса. Сопротивление при течении жидкости в трубах.**

Уравнение движения для вязкой несжимаемой жидкости и уравнение Навье-Стокса. Ламинарное установившееся течение вязкой жидкости в трубах. Распределение скоростей в поперечном сечении. Безразмерный коэффициент сопротивления. Закон Хагена-Пуазейля. Универсальные законы распределения скорости.

### **Турбулентность и ее основные статические характеристики. Уравнения Рейнольдса. Местные сопротивления.**

Особенности турбулентного течения. Степень турбулентности. Статические характеристики турбулентности. Уравнение Рейнольдса для турбулентного течения несжимаемой жидкости. Турбулентное течение в трубах. Универсальные законы сопротивления для гладких труб. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. Различные виды местных сопротивлений. Сопротивление при внезапном изменении площади каналов.

## **Классификация трубопроводов и их гидравлический расчет. Явление гидравлического удара.**

Простые трубопроводы, сложные трубопроводы, трубопроводы с переменным расходом по пути. Принципы расчета тупиковых и кольцевых трубопроводных сетей. Основные расчетные уравнения простого, гидравлически длинного трубопровода. Последовательное и параллельное соединение трубопроводов.

Гидравлический удар в трубах, формула Жуковского. Виды гидравлического удара.

## **Насосы. Насосные установки.**

Классификация насосов. Принцип действия динамических и объемных насосов. Основные параметры: подача (расход), напор, мощность, КПД. Основы теории лопастных насосов. Теоретический напор. Влияние конструктивных и режимных параметров. Полезный напор. Баланс энергии. Характеристики центробежных насосов. Основы теории подобия и формулы пересчета. Коэффициент быстроходности и типы лопастных насосов. Основные сведения об осевых насосах.

Насосные установки. Регулирование подачи. Последовательное и параллельное соединение насосов. Кавитация в лопастных насосах. Кавитационный запас и кавитационные характеристики. Формула С.С. Руднева и ее применение.

## **Пограничный слой. Дифференциальное уравнение пограничного слоя.**

Пограничный слой. Основные гипотезы и допущения. Распределение скоростей в пограничном слое. Дифференциальное уравнение пограничного слоя для установившегося течения несжимаемой жидкости. Интегральное соотношение для пограничного слоя (уравнение Кармана). Коэффициенты трения и потери энергии при обтекании пластины.

Отрыв пограничного слоя. Схема отрыва. Особенности отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя. Сила сопротивления и безразмерный коэффициент сопротивления для цилиндра. Хорошо и плохо обтекаемые тела. Крыловидные профили и аэродинамические решетки. Закон сопротивления для цилиндра.

## **Сверхзвуковые течения. Скачки уплотнений.**

Особенности распространения слабых возмущений в дозвуковых и сверхзвуковых потоках. Волны возмущения и характеристики. Расчет простейших

сверхзвуковых течений. Образование скачков уплотнений. Обтекание тел сверхзвуковым потоком.

### **Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений.**

Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений. Течение газа с постоянной примесью. Течение жидкости с пузырьками газа. Течение жидкости при фазовом равновесии. Тепловой скачок конденсации. Уравнения скачка конденсации.

## **2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ**

### **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.

### **Перечень тем практических занятий.**

1. Основы кинематики жидкости. Основы гидростатики: Давление в покоящейся жидкости
2. Основные уравнения гидрогазодинамики: Силы давления покоящейся жидкости на плоские и криволинейные
3. Теория подобия и анализ размерностей: Одномерные течения с разного рода воздействиями
4. Режимы течения вязкой жидкости: Потенциальное течение жидкости
5. Одномерные течения. Установившиеся течения в трубах: Уравнение Бернулли
6. Одномерный поток газа: потери напора по длине и в местных сопротивлениях
7. Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии: Расчет трубопроводов
8. Скачки уплотнения. Основы теории пограничного слоя: Сверхзвуковые течения



9. Аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат (ЛА) и его элементы: Двухфазные и многокомпонентные течения

### План проведения практического занятия

Тема занятия 1: Давление в покоящейся жидкости

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  $\Delta P$  – 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;

$\rho$  - 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).

### Решение задач

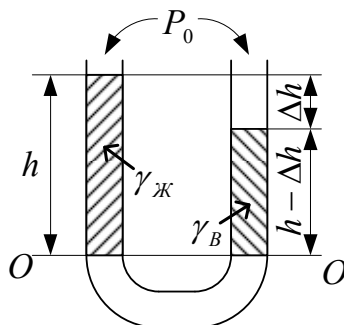
#### Указания.

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

При расчете необходимо составить уравнение равновесия относительно плоскости сравнения.

### **Задача**

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.



Решение:

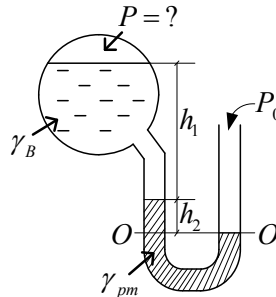
1. Выбираем горизонтальную плоскость сравнения.
2. Составляем уравнение равновесия относительно выбранной
3. Выражаем из уравнения равновесия неизвестную величину
4. Плотность и удельный вес жидкости берутся из справочников

### 3.4. Задачи для проведения практических занятий

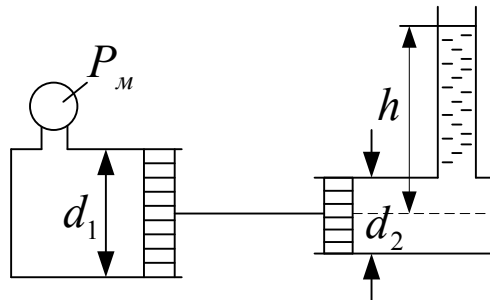
#### Тема занятия 1: Давление в покоящейся жидкости

#### Задачи

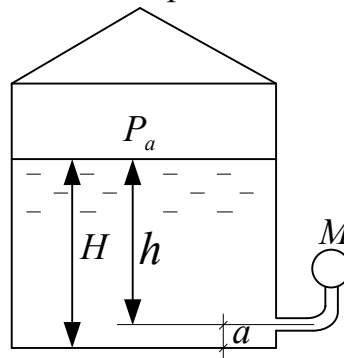
1. Определить абсолютное давление  $p$  на поверхности воды в сосуде и вакуум при разности уровней воды и ртути  $h_1 = 0,5$  м и  $h_2 = 0,08$  м.



2. 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/см<sup>2</sup>; диаметр водяного цилиндра  $d_2 = 0,05$  м. Считать, что система находится в равновесии. Трением поршней в цилиндрах пренебречь.

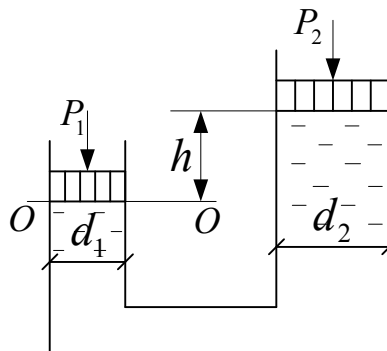


3. Бензин в гараже хранится в специальном резервуаре. Определить высоту столба  $H$  бензина в резервуаре, если манометр, присоединенный к нему показывает давление  $p_M = 0,25$  кг/см<sup>2</sup>. Давление на свободной поверхности бензина атмосферное. Манометр присоединен на расстоянии  $a = 0,2$  м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



4. На поршень одного из сообщающихся сосудов, заполненных водой, действует сила  $P_1 = 80$  кг. Какую силу надо приложить ко второму поршню, если уро-

вень 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.

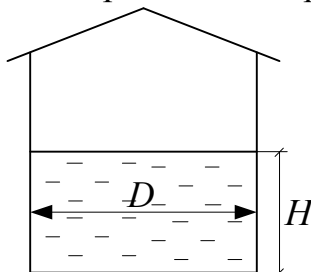


5. Определить манометрическое давление в точке А трубопровода, если высота столба ртути по пьезометру  $h_2 = 25$  см. Центр трубопровода расположен на  $h_1 = 40$  см ниже линии раздела между водой и ртутью.

Тема занятия 2. Силы давления покоящейся жидкости на плоские и криволинейные стенки

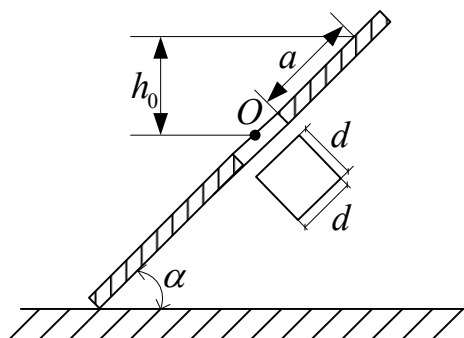
### Задачи

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.

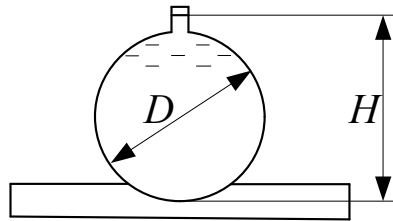


2. Определить силу гидростатического давления воды на квадратный щит, закрывающий отверстие в наклонной плоской стенке, а также глубину погружения центра давления при следующих данных:

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

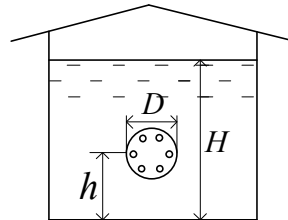


3. Определить силу гидростатического давления бензина на торцевую плоскую стенку горизонтальной цилиндрической автоцистерны диаметром  $D = 2 \text{ м}$ , если уровень бензина в цистерне находится на расстоянии  $H = 2,2 \text{ м}$  от дна. Цистерна герметически закрыта, и избыточное давление паров бензина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

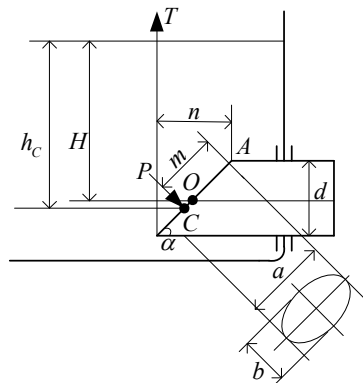


4. Для хранения бензина в гараже служит резервуар. Высота столба бензина  $H = 5 \text{ м}$ . Для возможности осмотра резервуара в процессе его эксплуатации имеется лаз, который закрывается крышкой. Диаметр лаза  $D = 0,8 \text{ м}$ ; расстояние от его центра тяжести до дна  $h = 0,9 \text{ м}$ . Крышка 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  $d = 300 \text{ мм}$ . Труба закрывается откидным клапаном, расположенным под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту. Глубина погружения центра тяжести  $O$  клапана  $H = 3 \text{ м}$ . 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/м<sup>3</sup>, 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/см<sup>2</sup>.

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 3. Одномерные течения с разного рода воздействиями

### Задачи

1. Воздух вытекает из большого бака через теплоизолированную трубу постоянной площади поперечного сечения. Температура воздуха в баке 400 К. Какая наибольшая скорость может быть достигнута в выходном сечении трубы, если давление в баке во много раз больше, чем давление в пространстве за трубой? Течение с трением считать одномерным.

2. Воздух течет из бака через короткое суживающееся сопло, соединенное с теплоизолированной трубой диаметром  $d$ . Безразмерная скорость на входе в трубу 0,5. Коэффициент трения 0,015.

3. Воздух из бака течет через сопло Лавалья и затем через присоединенную к нему теплоизолированную трубу диаметром 50 мм и длиной 2 м. Коэффициент трения 0,015. На входе в трубу безразмерная скорость сверхзвукового потока 1,9. В этом случае в трубе возникают скачки уплотнений, которые можно приближенно заменить прямым скачком уплотнения. Найти расстояние, на котором этот скачок отстоит от входа в трубу. Построить распределение скорости вдоль трубы. Течение одномерное.

4. При каком условии подвод теплоты дозвуковому потоку газа приведет к уменьшению его температуры? Газ движется по трубе постоянного сечения, влиянием трения пренебречь, течение считать одномерным.

#### Тема занятия 4. Потенциальное течение жидкости

##### **Задачи**

1. Можно ли рассматривать многочлен  $f(x,y)=x^5+ax^3y^3+5xy^4$  в качестве потенциала скорости некоторого плоского сечения несжимаемой жидкости? Если можно, то при каком значении коэффициента  $a$ ?

2. Потенциал скорости плоского сечения идеальной несжимаемой жидкости задан функцией  $f = x/(x^2+y^2)$ . Найти функцию тока  $u(x,y)$  для этого течения.

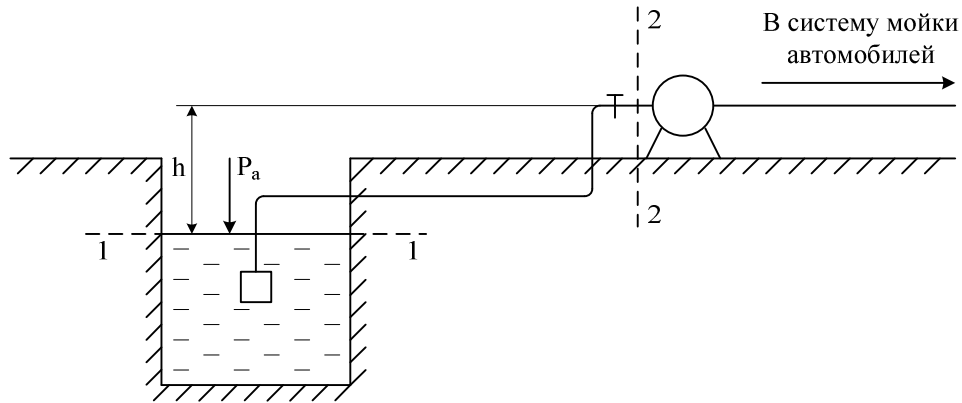
3. Плоское потенциальное течение идеальной несжимаемой жидкости в верхней плоскости вызвана вихрем с циркуляцией  $\Gamma$ , расположенном в точке с координатами  $x=0, y=h$ . Ось абсцисс является непроницаемой границей. Найти скорость жидкости в точке с координатами  $x=2h, y=0$ .

4. Плоский контур обтекается плоскопараллельным потоком идеальной несжимаемой жидкости. При угле  $\alpha_1$  направления скорости в бесконечности скорость в некоторой фиксированной точке контура  $w_1$ , а при угле  $\alpha_2$  скорость равна  $w_2$ . Определить скорость  $w$  в той же точке при произвольном угле  $\alpha$  направления скорости бесконечности.

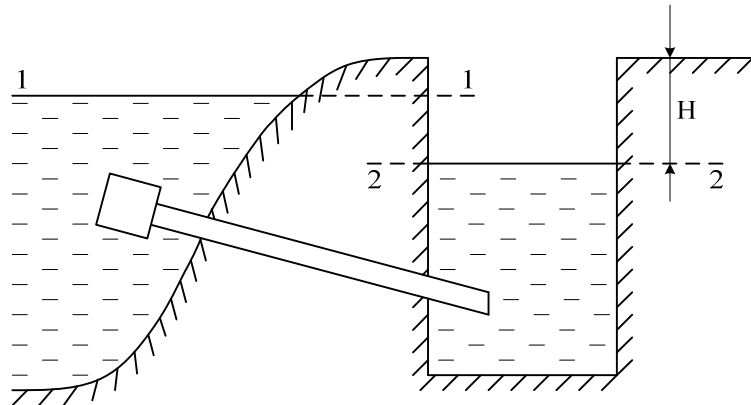
#### Тема занятия 5. Уравнение Бернулли

##### **Задачи**

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

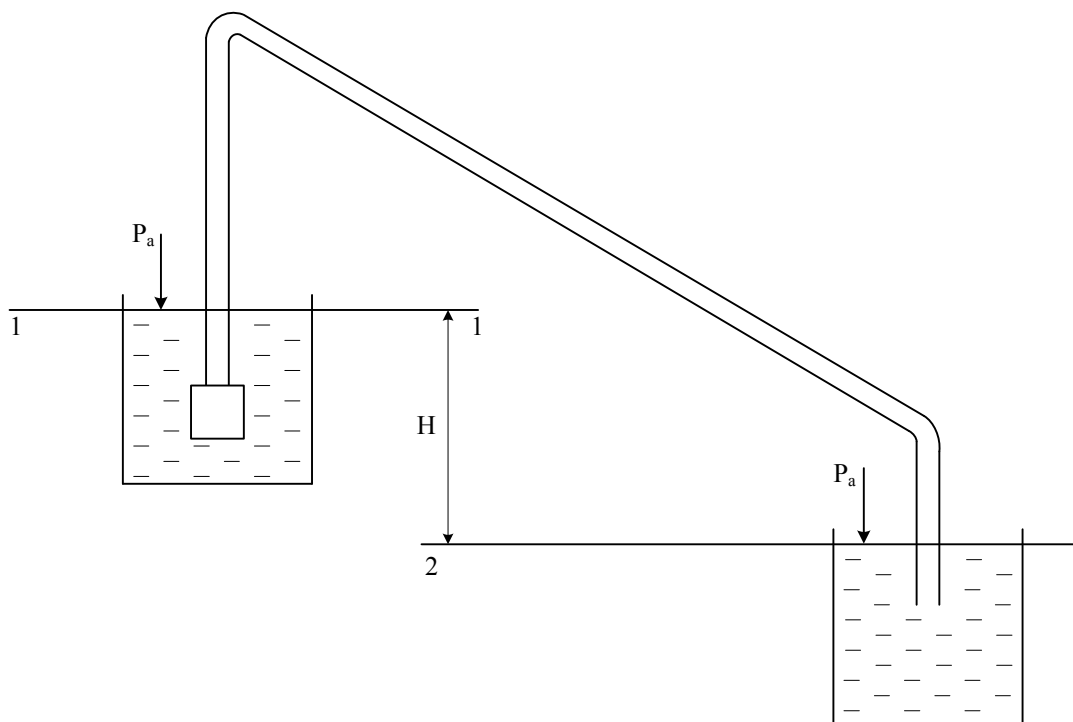


2. Определить расход воды, пропускаемый самотечной трубой длиной  $l = 50$  м и диаметром  $d = 250$  мм при разности уровней воды в колодцах  $H = 2,5$  м. Коэффициент гидравлического трения  $\lambda = 0,023$ . Коэффициенты местных сопротивлений:  $\zeta_{\text{сетки}} = 6$ ;  $\zeta_{\text{выхода}}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



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





4. Определить высоту установки  $h$  центробежного насоса над поверхностью воды в колодце при следующих данных: диаметр всасывающей трубы  $d = 250$  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/см<sup>2</sup>. Высота выступов шероховатости трубы  $\Delta = 1$  мм. Коэффициенты местных сопротивлений:  $\zeta_{\text{сетки}} = 6$ ;  $\zeta_{\text{колена}} = 0,4$ ;  $\zeta_{\text{вентиля}} = 2$ .

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

#### Тема занятия 6. 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  $d = 8$  мм, длина  $l = 1,5$  м. Расход бензина  $Q = 7,5$  см<sup>3</sup>/сек. Температура бензина  $t = 30$  °С. При этой температуре кинематический коэффициент вязкости бензина  $\nu = 0,0067$  см<sup>2</sup>/сек.

2. 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  $\nu = 0,01$  см<sup>2</sup>/сек.

Как изменятся потери напора, если по тому же трубопроводу будет транспортироваться нефть с тем же расходом. Кинематический коэффициент вязкости нефти  $\nu = 1$  см<sup>2</sup>/сек.

3. 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. Кинематический коэффициент вязкости жидкости  $\nu = 0,01$  см<sup>2</sup>/сек. Определить потери напора по длине.

4. Для условия предыдущей задачи определить потери напора по длине, если расход жидкости  $Q = 160$  л/сек.

5. Для тех же условий определить потери напора по длине, если расход жидкости  $Q = 6$  л/сек и кинематический коэффициент вязкости  $\nu = 0,1$  см<sup>3</sup>/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  $\lambda_{KB} = \frac{56,9}{Re}$ , а для прямоугольной (с отношением сторон  $h/b = 0,1$ )  $\lambda_{ПР} = \frac{84,5}{Re}$ .

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 7. Расчет трубопроводов

### **Задачи**

1. Из резервуара 1 по трубе диаметром  $d=200$  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 м, абсолютной шероховатости стенок труб 0,5 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 мм. Местными потерями напора пренебречь.

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

4. Стальной трубопровод, имеющий размеры  $D = 300 \text{ мм}$ ,  $\delta = 4 \text{ мм}$  и длину  $l = 510 \text{ м}$ . от напорного бака до затвора, пропускает расход воды  $Q = 85 \text{ л/с}$ .

Определить, в течение какого времени  $\tau_3$  надо закрыть затвор, чтобы максимальное повышение давления в трубопроводе было в 3 раза меньше, чем при мгновенном закрытии затвора.

#### Тема занятия 8. Сверхзвуковые течения

##### **Задачи**

1. При обтекании выпуклого угла с вершиной в точке О сверхзвуковым потоком воздуха образуется центрированная волна разрежения АОВ. Угол, который составляет линия Маха ОА (характеристика) с набегающим потоком  $\alpha_1=62^\circ$  и угол линии Маха ОВ с уходящим потоком  $\alpha_2=47^\circ$ . Определить число М1 в набегающем и М2 в уходящем потоке, а также угол  $\Theta$  поворота потока.

2. Скорость потока воздуха перед прямым скачком уплотнения в 2 раза больше, чем за ним,  $w_1=2w_2$ . Найти числа Маха М1 и М2 после прямого скачка уплотнения.

3. Вывести формулу для определения отношения давления  $p_{02}/p_{01}$  изоэнтропийного торможения за прямым скачком уплотнения и изоэнтропийного торможения перед ним. Представить зависимость  $p_{02}/p_{01}$  как функцию безразмерной скорости перед скачком  $\lambda$ .

4. В сверхзвуковом потоке воздуха измерительный прибор, соединенный с зондом полного давления, показывает давление  $p_0=4 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Статическое давление в потоке  $p_1=0,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Вычислить число Маха М1 в набегающем потоке.

#### Тема занятия 9. Двухфазные и многокомпонентные течения

## Задачи

1. При течении в соплах Лаваля водяной пар переохлаждается при достижении некоторого переохлаждения  $\Delta T = T_{s1} - T_1$  «скачком» конденсируется, достигая теплового равновесия. Определить число М1 перед скачком конденсации, если  $p_1 = 10^6$  Па,  $\Delta T = 30$  К и степень повышения давления в скачке 1,25.
2. Найти минимальную скорость распространения звука в смеси, состоящей из воды и мелких, рассеянных по объему пузырьков воздуха. Давление смеси  $10^5$  Па, температура 293 К.
3. Вода, в которой рассеяны мелкие пузырьки воздуха, течет через суживающее сопло. Массовая концентрация воздуха в смеси  $0,2 \cdot 10^{-3}$ ; температура воды 293 К; давление торможения перед соплом  $1,8 \cdot 10^5$  Па; давление за соплом  $1,2 \cdot 10^5$  Па. Найти скорость смеси в выходном сечении сопла.
5. Найти критическое давление за соплом при течении турбинного масла, насыщенного мелкими пузырьками воздуха. Массовая концентрация воздуха в смеси  $0,15 \cdot 10^{-3}$ ; температура масла 293 К, давление торможения  $7 \cdot 10^5$  Па. Влиянием трения пренебречь.

## 3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 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.

### **Перечень тем лабораторных занятий**

1. Одномерный поток газа: Измерение манометрического и вакуумметрического давления.
2. Относительный покой жидкости во вращающемся сосуде.
3. Исследование процесса адиабатного истечения газов через сужающееся сопло.
4. Плоское сверхзвуковое течение газа при постоянной энтропии. Скачки уплотнения: Основы вычислительной гидрогазодинамики: Определение потерь напора по длине.
5. Основы вычислительной гидрогазодинамики: Определение местных потерь напора.
6. Основы вычислительной гидрогазодинамики: Определение коэффициента расхода диафрагмы.

### **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.

## 4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

### 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.

### График самостоятельной работы студентов

Таблица 1.

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	подготовка к лекционным занятиям подготовка к лабораторной работе	2 3	Тестирование на лекции	1
2	подготовка к лекционным и практическим занятиям подготовка к лабораторной работе	4 3	Проверочная работа № 1	2, 3
3	подготовка к лекционным занятиям	2	Тестирование на лекции	3, 4
4	подготовка к лекционным и практическим занятиям подготовка к лабораторной работе	4 3	Блиц-опрос на лекции.	4, 5, 6
5	подготовка к лекционным занятиям	2	Блиц-опрос на лекции	6, 7

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

### 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.

### 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  $V = 2,5$  м<sup>3</sup> 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  $\nu = 0,01$  см<sup>2</sup>/сек. Определить потери напора по длине.

#### Проверочная работа № 3

##### «Уравнение Бернулли»



1. Определить высоту установки  $h$  центробежного насоса над поверхностью воды в колодце 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/см<sup>2</sup>. Высота выступов шероховатости трубы  $\Delta = 1$  мм. Коэффициенты местных сопротивлений:  $\zeta_{\text{сетки}} = 6$ ;  $\zeta_{\text{колена}} = 0,4$ ;  $\zeta_{\text{вентиля}} = 2$ .

## 5. МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

### 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.

## 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 принципиального характера. *Удовлетворительно* – правильно решена одна задача или решение обеих задач 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 теоретических вопроса 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 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.

### **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 № 2*

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 № 6, 7*

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 № 9*

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 № 10*

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. Классификация трубопроводов. Расчёт коротких трубопроводов.
19. Гидравлический расчёт трубопроводов. Соединения простых трубопроводов.
20. Гидравлический расчет сложных трубопроводов и трубопроводов с насосной подачей жидкости.
21. Явление гидравлического удара. Формула Жуковского.
22. Взаимодействие потока жидкости с ограничивающими его стенками.
23. Классификация насосов. Основные параметры насосов. Баланс энергии в лопастном насосе.
24. Принцип действия и устройство центробежного насоса. Классификация центробежных насосов.
25. Движение жидкости в рабочем колесе центробежного насоса. Характеристики центробежного насоса и их пересчет. Коэффициент быстроходности.
26. Регулирование режима насосной установки. Осевые насосы.
27. Последовательная и параллельная работа насосов.
28. Явление кавитации. Кавитационный запас, кавитационная характеристика. Последствия кавитации.
29. Поршневые насосы. Классификация и принцип действия.
30. Свойства и основные параметры объемных насосов.
31. Основные уравнения газодинамики.
32. Истечение газов через сопла и диффузоры

33. Пограничный слой. Основные гипотезы и допущения. Распределение скоростей в пограничном слое.
34. Интегральное соотношение для пограничного слоя (Уравнение Кармана).
35. Коэффициенты трения и потери энергии при обтекании пластины.
36. Отрыв пограничного слоя. Схема отрыва. Особенности отрыва ламинарного и турбулентного пограничного слоя.
37. Хорошо и плохо обтекаемые тела. Крыловидные профили и аэродинамические решетки.
38. Закон сопротивления для цилиндра. Кризис сопротивления плохо обтекаемых тел.
39. Особенности распространения слабых возмущений в дозвуковых и сверхзвуковых потоках. Расчет простейших сверхзвуковых течений.
40. Образование скачков уплотнений. Обтекание тел сверхзвуковым потоком.
41. Двухфазные одномерные течения. Особенности двухфазных течений.
42. Течение газа с постоянной примесью. Течение жидкости с пузырьками газа.
43. Течение жидкости при фазовом равновесии.
44. Тепловой скачок и скачок конденсации.

Образцы экзаменационных билетов

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Утверждено на заседании кафедры		Кафедра энергети-
ки		
от	протокол №	Факультет энерге-
тический		
Зав. кафедрой	Н.В. Савина	Курс второй
		Специальность
140101		
УТВЕРЖДАЮ		Дисциплина
		Гидрогазодинамика

Билет № 4

1. Идеальные и реальные жидкости. Силы, действующие на жидкость. Ньютоновские жидкости.
2. Тепловой скачок и скачок конденсации.

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  $\nu = 0,01$  см<sup>2</sup>/сек.

Как изменятся потери напора, если по тому же трубопроводу будет транспортироваться нефть с тем же расходом. Кинематический коэффициент вязкости нефти  $\nu = 1$  см<sup>2</sup>/сек.

*Контроль остаточных знаний*

Тестовые задания для проверки остаточных знаний  
по дисциплине «Гидрогазодинамика» для специальности 140101  
20 заданий

время тестирования 40 минут

Инструкция: При ответе следует выбрать один ответ из предложенных (задания содержат 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

- объём 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  $\nu=0,01 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/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:

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

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 со-общается 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.