

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ЮТИ ТПУ

В.Л. Бибик

" " \_\_\_\_\_ 2016 г.

## БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ (ДИСЦИПЛИНЫ)

### ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

НАПРАВЛЕНИЕ ООП: **ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ПРОФИЛИ ПОДГОТОВКИ: **Защита в чрезвычайных ситуациях; Инженерная защита окружающей среды**

КВАЛИФИКАЦИЯ (СТЕПЕНЬ): бакалавр

БАЗОВЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН ПРИЕМА 2016 г.

КУРС 2; СЕМЕСТР 4;

КОЛИЧЕСТВО КРЕДИТОВ: 4

КОД ДИСЦИПЛИНЫ: Б1.БМ3.9

ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ВРЕМЕННОЙ РЕСУРС:

ЛЕКЦИИ	32	часа (ауд.)
ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ	16	часов (ауд.)
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	16	часов (ауд.)
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ	64	часа
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	80	часов
ИТОГО	144	часа

ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ: ЭКЗАМЕН В 4 СЕМЕСТРЕ

ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ КАФЕДРА: "Горно-шахтное оборудование"

ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ: к.т.н., доцент Казанцев А.А.  
РУКОВОДИТЕЛЬ ООП: к.т.н., доцент Солодский С.А.  
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: к.т.н., доцент Воробьев А.В.

2016 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

В результате освоения данной дисциплины бакалавр приобретает знания, умения и навыки, обеспечивающие достижение целей основной образовательной программы "Техносферная безопасность".

Целью изучения дисциплины является подготовка выпускников к проектно-конструкторской деятельности в области создания и внедрения средств обеспечения безопасности и защиты человека от техногенных и антропогенных воздействий, подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к специальным дисциплинам профессионального цикла (Б.3.Б4). Она непосредственно связана с дисциплинами естественнонаучного и математического цикла (математика, физика) и общепрофессионального цикла (механика) и опирается на освоенные при изучении данных дисциплин знания и умения. Коррективитами для дисциплины "Гидрогазодинамика" является дисциплина ОП циклов: "Теплофизика".

## 3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины (модуля) направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

Составляющие результатов обучения,  
которые будут получены при изучении данной дисциплины

Результаты обучения (компетенции из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1, Р3, Р4	3.1.1, 3.1.5, 3.3.1, 3.4.2.	Фундаментальные законы природы и основные физические законы в области кинематики и динамики жидкостей и газов, гидромеханики. Численные методы моделирования газо- и гидро-	У.1.1, У.1.5, У.3.1, У.4.2.	Применять методы дифференциального и интегрального исчисления для решения практических задач гидрогазодинамики. Применять физические законы для анализа и решения практических задач; использовать справочную лите-	В.1.1, В.1.5, В.3.1, В.4.2.	Элементами функционального анализа. Методами физических измерений, корректной оценки погрешности при проведении физического эксперимента. Методами планирования и создания

		динамических явлений и процессов.		ратуру для выполнения расчетов. Решать теоретические задачи, используя основные законы гидрогазодинамики, проводить гидромеханические расчеты аппаратов и процессов в техносфере. Применять численные методы моделирования для решения практических задач гидрогазодинамики.		имитационной модели; методами оценки точности результатов; инструментальными средствами и языками моделирования. Методами теоретического и экспериментального исследования в гидрогазодинамике.
--	--	-----------------------------------	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

В результате освоения дисциплины (модуля) «Гидрогазодинамика» студентам должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

**Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

№ п/п	Результат
РД1	Применять базовые и специальные естественно-научные и математические знания, достаточные для комплексной инженерной деятельности в области техносферной безопасности.
РД3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с организацией защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей, осуществлять надзорные и контрольные функции в сфере техносферной безопасности.
РД4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретацию полученных данных, на этой основе разрабатывать технику и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Раздел 1. Введение

*Лекция.* Предмет гидрогазодинамики, основные понятия и определения. История механики жидкости и газа, роль русских ученых.

### Раздел 2. Основы гидростатики

*Лекция.* Сжимаемые и несжимаемые жидкости. Физические свойства жидкостей - плотность, сжимаемость, вязкость. Закон Ньютона для вязкого трения. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости, их зависимость от температуры. Идеальная жидкость. Поверхностное натяжение и тепловое расширение жидкостей.

Гидростатическое давление. Давление в покоящейся жидкости. Абсолютное и избыточное давление, манометрическое давление, вакуум. Приборы для измерения давления и вакуума.

Давление жидкости на стенку. Сила давления, центр давления.

*Лабораторная работа №1.*

Измерение гидростатического давления.

### Раздел 3. Основные понятия и уравнения гидродинамики.

#### Уравнение Бернулли

*Лекция.* Основные понятия кинематики жидкости. Установившееся и неустановившееся движение. Траектория, линия тока, элементарная струйка. Поток жидкости, живое сечение, расход. Уравнение неразрывности для элементарной струйки и целого потока.

Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости.

Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости. Геометрический и энергетический смысл уравнения Бернулли. Пьезометрическая линия, скоростной напор, гидродинамическая линия. Трубка Пито.

Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости. Потери напора, гидравлический уклон. Уравнение Бернулли для целого потока, коэффициент неравномерности скорости. Примеры применения уравнения Бернулли. Истечение несжимаемой жидкости через отверстия и насадки. Расходомер Вентури, водомерное сопло, диафрагма. Кавитация.

Уравнение количества движения. Давление струи на преграду. Реакция вытекающей струи. Уравнение моментов количества движения.

*Практическая работа №1.*

Решение задач с применением уравнения Бернулли.

*Лабораторная работа №2.*

Измерение пьезометрического и скоростного напоров.

### Раздел 4. Гидравлические сопротивления и потери напора.

#### Расчет трубопроводов

*Лекция.* Режимы движения вязкой жидкости, число Рейнольдса. Пульсации скорости и давления в турбулентном потоке. Зависимость потерь напора от скорости течения при ламинарном и турбулентном режимах. Формулы Вейсбаха и Дарси. Распределение скоростей и потери напора при ламинарном и турбулентном режимах. Зависимость гидравлического коэффициента трения от числа Рейнольдса и шероховатости стенок трубы.

Местные сопротивления. Коэффициент местного сопротивления, его определение по гидравлическим справочникам. Установившееся движение жидкости в трубопроводах, гидравлический расчет расхода и потерь напора.

Неустановившееся движение жидкости в трубах. Гидравлический удар в трубах. Формула Жуковского для прямого гидроудара. Скорость распространения ударной волны. Фазы гидроудара. Непрямой гидравлический удар. Предохранение трубопроводов от гидравлического удара.

*Практическая работа №2.*

Гидравлический расчет трубопроводов.

*Лабораторная работа №3.*

Определение коэффициентов местных сопротивлений.

## **Раздел 5. Одномерное движение газа**

*Лекция.* Основные уравнения одномерного движения. Скорость звука в газовом потоке. Дозвуковые и сверхзвуковые течения, числа  $M$  и  $X$ . Уравнение энергии, критическая и максимальная скорости. Параметры изоэнтропийного торможения газа. Зависимость скорости газа от сечения потока при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях, сопло Лавалья. Газодинамические функции. Решение задач одномерного изоэнтропийного течения. Истечение газа из отверстий и сопел.

Одномерное течение при наличии трения. Распределение давлений и скоростей по длине трубы при различных числах Маха. Приведенная длина трубы.

*Практическая работа №3.*

Расчет истечений газа через сопла.

## **Раздел 6. Двумерные течения газа**

*Лекция.* Распространение возмущений в плоском потоке. Понятие о характеристиках сверхзвукового потока. Волны разрежения. Изменение параметров газового потока в волнах разрежения. Прямой скачок уплотнения, изменение параметров потока при переходе через скачок. Нарастание энтропии газа в скачке. Косые скачки уплотнения, изменение параметров газа в косом скачке. Потери энергии в косых скачках.

Построение поля течения, расчет скоростей и давлений при сверхзвуковом обтекании пластинки и крылового профиля. Волновое сопротивление.

*Практическая работа №4.*

Расчет параметров двумерных потоков газа.

*Лабораторная работа №4.*

Основы работы в системе SolidWorks.

## **Раздел 7. Основы динамики идеальной несжимаемой жидкости**

*Лекция.* Кинематический анализ движения жидкой частицы. Скорости поступательного, вращательного и деформационного движения. Вихревое и безвихревое течение.

Функция тока и потенциал скорости. Примеры потенциальных течений. Метод ЭГДА и экспериментальное изучение потенциальных течений на электрических моделях. Вихрь скорости и циркуляция. Поле скоростей, вызываемое вихрями. Циркуляционное течение. Обтекание кругового цилиндра без циркуляции и с циркуляцией, распределение скоростей и давлений на поверхности обтекаемых тел. Теорема Жуковского для подъемной силы. Появление циркуляции при обтекании крыла, постулат Чаплыгина - Жуковского. Моделирование циркуляционного обтекания крыла методом ЭГДА.

*Практическая работа №5.*

Моделирование циркуляционного обтекания крыла методом ЭГДА.

*Лабораторная работа №5.*

Основы работы в системе SolidWorks FlowSimulation.

## **Раздел 8. Основы динамики вязкой жидкости.**

### **Моделирование в гидрогазодинамике**

*Лекция.* Касательные напряжения внутреннего трения в вязкой жидкости. Связь напряжений со скоростями деформации. Уравнения Навье-Стокса.

Моделирование в гидрогазодинамике. Условия гидродинамического подобия потоков. Общий закон динамического подобия Ньютона. Аэродинамические трубы, буксировочные бассейны. Расчет натуральных гидродинамических сил по данным опыта на динамически подобной модели. Коэффициент сопротивления. Моделирование при преимущественном значении сил тяжести, вязкого трения, сжимаемости среды. Числа подобия. Полное и частичное подобие. Расчет параметров модели и пересчет данных модельного эксперимента на натуру.

*Практическая работа №6.*

Решение задач с применением теории подобия.

*Лабораторная работа №6.*

Моделирование местных сопротивлений в системе SolidWorks FlowSimulation.

## **Раздел 9. Основы теории пограничного слоя**

*Лекция.* Движение жидкости в пограничном слое. Дифференциальные уравнения Прандтля и граничные условия для пограничного слоя. Интегральные соотношения Кармана. Условные толщины пограничного слоя: вытеснения, потери импульса, потери энергии.

Пограничный слой на пластинке: распределение скоростей, нарастание толщины слоя, касательные напряжения, коэффициент сопротивления. Переход ламинарного слоя в турбулентный. Расчет турбулентного слоя. Пограничный слой при обтекании тела конечной толщины. Отрыв пограничного слоя и сопротивление при отрывном обтекании, кризис обтекания. Факторы, влияющие на турбулизацию и отрыв пограничного слоя. Управление пограничным слоем.

*Лабораторная работа №7.*

Моделирование изменения скоростей в пограничном слое в системе SolidWorks FlowSimulation.

## **Раздел 10. Крыло и лопаточная решетка в потоке**

*Лекция.* Крыло, его геометрические параметры. Аэродинамические характеристики крыла. Влияние сжимаемости газа на аэродинамические характеристики, критическое число Маха. Индуктивное сопротивление, элементы теории крыла конечного размаха.

Течение газа через лопаточные решетки турбомашин. Геометрические параметры решеток. Силовое взаимодействие потока с одиночной лопаткой решетки, формулы Эйлера. Сила Жуковского и добавочная осевая сила. Потери энергии в решетках, влияние геометрических и режимных параметров на характеристики решеток.

*Практическая работа №7.*

Расчет потерь энергии в решетках.

*Лабораторная работа №8.*

Моделирование движения газа через решетки в системе SolidWorks FlowSimulation.

## **Раздел 11. Движение газа в диффузорах и эжекторах.**

### **Элементы гидромеханики двухфазных сред**

*Лекция.* Основные характеристики и расчет диффузоров. Потери энергии в диффузоре как сумма потерь на трение в пограничном слое и потерь расширения. Влияние угла раствора и степени расширения в диффузоре на потери. Ступенчатые и комбинированные диффузоры. Сверхзвуковые диффузоры.

Степень эжектора. Влияние турбулентности потока и волновой структуры сверхзвуковой струи на процесс смешения в эжекторе. Работа ступени эжектора при переменных режимах. Выбор геометрических параметров ступени эжектора.

Течение двухфазных жидкостей. Спектры капель. Влияние дисперсности жидкой фазы на расходные и энергетические характеристики потоков. Скачки конденсации и скачки уплотнения в двухфазных средах. Движение двухфазных сред в соплах и диффузорах. Особенности течения насыщенного и влажного пара через турбинные решетки. Эрозия элементов энергетического оборудования при движении влажного пара.

*Практическая работа №8.*

Расчет характеристик диффузоров.  
*Лабораторная работа №9.*  
Моделирование течений газа в диффузорах.

## **6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов (СРС)**

**6.1 Текущая и опережающая СРС**, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе бакалавров с лекционным материалом;
- выполнении домашних заданий,
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- изучении теоретического материала к лабораторным и практическим занятиям,
- подготовке к экзамену.

### **6.1.1. Темы, выносимые на самостоятельную проработку:**

- Распределение давлений и скоростей по длине трубы при различных числах Маха.
- Косые скачки уплотнения, изменение параметров газа в косом скачке.
- Аэродинамические трубы, буксировочные бассейны.
- Факторы, влияющие на турбулизацию и отрыв пограничного слоя. Управление пограничным слоем.
- Особенности течения насыщенного и влажного пара через турбинные решетки.

**6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР)** направлена на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала бакалавров и заключается в:

- поиске, анализе, структурировании и презентации информации, анализе научных публикаций по определенной теме исследований,
- анализе статистических и фактических материалов по заданной теме, проведении расчетов, составлении схем и моделей на основе статистических материалов,
- выполнении расчетно-графических работ,
- исследовательской работе и участии в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах,

### **6.2.1. Примерный перечень научных проблем и направлений научных исследований:**

1. Численные методы и их приложения в гидрогазодинамике: модели турбулентности; современные методы вычислительной гидрогазодинамики; применение универсальных пакетов прикладных программ.
2. Особенности решение ресурсоемких задач гидрогазодинамики на высокопроизводительных кластерных системах;



3. Экспериментальные и расчетные исследования нестационарных газодинамических течений.

## **7. Средства текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины**

Оценка успеваемости бакалавров осуществляется по результатам:

- самостоятельного (под контролем учебного мастера) выполнения лабораторной работы;
- устного опроса при сдаче выполненных индивидуальных заданий, защите отчетов по лабораторным работам и во время экзамена в пятом семестре (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины).

### **7.1. Требования к содержанию экзаменационных вопросов**

Экзаменационные билеты включают три типа заданий:

1. Теоретический вопрос.
2. Проблемный вопрос или расчетная задача.
3. Творческое проблемно-ориентированное задание.

### **7.2. Примеры экзаменационных вопросов**

1. Основные физические свойства жидкостей и газов. Сжимаемость. Текучесть. Законы вязкого трения.
2. Уравнение Бернулли для линии тока вязкой жидкости.
3. Классификация потоков. Идеальные жидкости и газы. Давление, температура. Уравнения состояния.

## **8. Рейтинг качества освоения дисциплины (модуля)**

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

В соответствии с «Календарным планом выполнения курсового проекта (работы)»:

- текущая аттестация (оценка качества выполнения разделов и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 22 баллов);
- промежуточная аттестация (защита проекта (работы)) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), по результатам защиты студент должен набрать не менее 33 баллов).

Итоговый рейтинг выполнения курсового проекта (работы) определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – 7-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с., 311 ил., 22 табл. – (Классики отечественной науки).

2. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Турбостроение". – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.: ил.

3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. в 2 ч. – М.: Физматгиз, 1963.

### **Вспомогательная литература**

1. Валуева Е.П., Свиридов В.Г. Введение в механику жидкости: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 212 с., ил.

2. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – Техника, 1987. – 175 с.: ил. – (Б-ка инженера). – Библиогр.: с. 165-173.

3. Сергель О.С. Прикладная гидрогазодинамика: Учебник для авиационных вузов. – М.: Машиностроение, 1981. – 374 с., ил.

### **Интернет-ресурсы:**

<http://ru.wikipedia.org/wiki/Гидрогазодинамика> – основные понятия и определения гидрогазодинамики;

<http://iproc.ru/interesting/hydro-history/> - история, основные положения гидродинамики;

[http://www.thesis.com.ru/software/flowvision/fv\\_exp.php](http://www.thesis.com.ru/software/flowvision/fv_exp.php) - материалы по опыту использования системы моделирования трехмерных течений жидкости и газа FlowVision в конструкторских бюро и на предприятиях различных отраслей промышленности.

### **Используемое программное обеспечение:**

1. Программный комплекс для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства "SolidWorks 2010".
2. Модуль инженерного анализа для моделирование течения жидкостей и газов с использованием различных физических моделей жидкостей и газов "SolidWorks FlowSimulation 2010".

#### **10. Материально-техническое обеспечение модуля (дисциплины)**

1. Гидростенд универсальный ГС-3 со сменными комплектами для проведения лабораторных работ.
2. Лабораторная установка для изучения гидростатического давления.
3. Лабораторная установка для изучения режимов движения жидкости.
4. Лабораторная установка для изучения гидравлических сопротивлений.
5. Лабораторный комплекс "Капелька", г. Томск.
6. Дисплейный класс (11 компьютеров).

\* приложение – Рейтинг-план освоения модуля (дисциплины) в течение семестра.

---

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению и профилю подготовки "Техносферная безопасность", профиль "Защита в чрезвычайных ситуациях".

Программа одобрена на заседании кафедры ГШО

(протокол № \_\_\_ от " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2016 г.).

Авторы: Воробьев А.В.