

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета _____ Бурковский А.В.
«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Гидрогазодинамика»

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль «Промышленная теплоэнергетика»

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 м.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

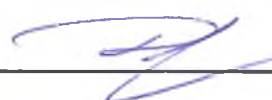
Автор программы

 /Кожухов Н.Н./

Заведующий кафедрой Теоретической и промышленной теплоэнергетики

 /Портнов В.В./

Руководитель ОПОП

 /Дахин С.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины ознакомление студентов с основными законами протекания гидромеханических и газодинамических процессов, а также методами теоретического и экспериментального анализа этих процессов в различных энергетических установках.

1.2. Задачи освоения дисциплины ознакомление студентов со способами переноса массы;

овладение закономерностями основных процессов переноса массы;
изучение основных и специальных уравнений механики жидкости и газа путем распространения фундаментальных законов механики (законы сохранения вещества, принципа сохранения механической энергии и первого начала термодинамики второго закона Ньютона) на движущуюся жидкость;

освоение фундаментальных понятий и определений механики жидкости: классификация течений жидкости; пограничный слой; турбулентные течения;

изучение основных газодинамических процессов;

развитие способности обучаемых к физическому и математическому моделированию процессов переноса массы, протекающих в реальных физических объектах, в частности – установках энергетики и промышленности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Гидрогазодинамика» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Гидрогазодинамика» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-3 - Способен проводить расчеты энергетического и теплотехнического оборудования по типовым методикам

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать: основные физические свойства жидкостей и газов; силы, действующие в жидкостях; общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов; уравнения движения для вязкой и идеальной жидкостей; основы теории пограничного слоя; сверхзвуковые течения; скачки уплотнений; особенности двухкомпонентных и двухфазных течений;

	уметь: рассчитывать гидростатические и гидродинамические нагрузки на элементы энергетического оборудования; рассчитывать гидрогазодинамические параметры потоков; определять потребный напор и расход различных типов теплоносителей для расчетных режимов работы энергооборудования; оптимизировать напорно-расходные характеристики гидравлических и газовых систем энергоснабжения; производить выбор устройств для гидравлических систем.
	владеть: основами расчета процессов массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Гидрогазодинамика» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	36	36
Курсовая работа	+	+
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

заочная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	12	12
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Самостоятельная работа	92	92
Курсовая работа	+	+

Часы на контроль	4	4
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Физико-механические основы гидрогазодинамики	Предмет науки. Разделение механики жидкостей и газов. Некоторые сведения из истории развития гидромеханики. Содержание курса и роль гидрогазодинамики в подготовке инженеров-протеплоэнергетиков. Предмет науки. Разделение механики жидкостей и газов. Некоторые сведения из истории развития гидромеханики. Содержание курса и роль гидрогазодинамики в подготовке инженеров-протеплоэнергетиков. Гидромеханическое представление о жидкости как сплошной и легкоподвижной среде. Газ как сжимаемая жидкость. Плотность и удельный объем; их зависимость от температуры и давления для капельных жидкостей и газов. Жидкости однородные и неоднородные. Вязкость жидкостей и газов. Молекулярная природа вязкости. Закон вязкого трения Ньютона. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные. Вязкость жидкостных и газовых смесей; Способы измерения давления; Расчет поплавковых устройств. Определение вязкости жидкости (визкозиметр Энглера);	6	2	4	6	18
2	Основы гидростатики. Основные уравнения и теоремы динамики жидкости и газа	Напряжения в покоящейся жидкости. Гидростатическое давление. Дифференциальные уравнения Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой и несжимаемой жидкостей. Полный дифференциал гидростатического давления. Барометрическая формула и основная формула гидростатики. Понятие о напоре. Силы давления на плоские и криволинейные поверхности. Эпюры гидростатического давления. "Котельная" формула. Плавание тел. Закон Архимеда. Случаи относительного покоя жидкостей. Основные определения. Общий характер движения жидких частиц по данным наблюдений. Местная скорость. Установившееся движение. Два режима движения. Распределение скорости по сечению. Число Рейнольдса и его критические значения. Методы аналитического исследования потоков. Поле скоростей,	6	2	4	6	18

		линии и трубки тока. Ускорение жидкой чтицы в переменных Эйлера. Уравнение неразрывности в дифференциальной и гидравлической формах. Пульсация скорости в турбулентном потоке. Усреднение скорости по времени и по поверхности; Уравнение неразрывности в криволинейных ортогональных координатах; Понятие о дозвуковых и сверхзвуковых диффузорах. Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли. Построение напорной и пьезометрической линии					
3	Основные разделы гидродинамики	Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (Эйлера). Интегралы уравнений Эйлера. Обобщение уравнения Бернулли на поток конечных размеров. Геометрическая и энергетическая интерпретация уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости. Приложения уравнения Бернулли. Структура общих формул для вычисления потерь. Истечения жидкости через отверстия и насадки. Общая форма уравнения количества движения жидкого объема. Силовое воздействие напорного потока. Уравнение моментов количества движения. Общая форма уравнений энергии для установившегося движения сжимаемой жидкости. Основные признаки и свойства одномерных течений. Плавно изменяющееся движение и закон распределения давления по сечению. Средняя скорость и расход. Природа потерь напора (энергии). Классификация гидравлических сопротивлений. Коэффициенты гидравлического трения и местного сопротивления. Опытные данные о коэффициенте гидравлического трения. Ламинарное течение в трубах. Формула Пуазейля. Начальный участок ламинарного течения. Элементы полуэмпирической теории турбулентного сопротивления. Гладкостенное течение: распределение скоростей и закон сопротивления. Квадратичный закон сопротивления. Начальный участок при турбулентном течении. Основные типы местных гидравлических сопротивлений. Потери на внезапное расширение и вход в трубу. Зависимость коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса. Взаимное влияние местных сопротивлений. Течения в диффузорах. Способы улучшения работы диффузоров. Течение в криволинейных каналах. Сопротивление пучка труб. Одномерные течения идеального газа. Различные формы уравнения Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Энтальпия газового потока. Скорости распространения звука и число М. Закономерность изменения параметров газа вдоль струйки. Уравнение Гюгонио. Условие непрерывного перехода через звуковое значение скорости. Кри-	6	2	4	6	18

		тическая, максимальная скорости и параметры торможения. Безразмерные скорости газа. Основные газодинамические функции, их графическое представление и использование в таблицах. Истечение газа через сужающее сопло. Формула Сан-Венана-Венцеля. Закономерность изменения весового расхода газа. Критическое отношение давлений. Сопло Лавала и режимы его работы.. Методы моделирования. Определение коэффициента потерь на трение по длине трубопровода (прибор Бернулли),					
4	Одномерные течения идеальных газов. Ударные волны и скачки уплотнения	Типы трубопроводов. Основные задачи расчета трубопроводных систем. Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ. Построение пьезометрических графиков. Всасывающие трубопроводы. Определение реакций фасонных частей трубопроводов. Распространение малых возмущений; линии и углы Маха. Обтекание малого угла. Обтекание конечного угла. Ударные волны в напорном потоке капельной жидкости. Явление гидравлического удара. Величина ударного давления. Скорость распространения ударной волны. Ударные волны и скачки уплотнения в потоке сжимаемого газа. Основные уравнения теории скачков. Уравнение ударной адиабаты, сравнение с адиабатой Пуассона. Степень сжатия газа в скачке. Рост энтропии в скачке и невозможность скачка разрежения. Изменение параметров газа при переходе через скачок. Методы управления пограничным слоем. Определение коэффициентов местных сопротивлений (прибор Бернулли).	6	4	2	6	18
5	Двумерные течения идеальной жидкости и газа.	Кинематический анализ составляющих движения жидкой частицы. Теорема Коши-Гельмгольца. Вихревое движение и основные характеристики поля вихрей. Свойства вихревых трубок. Понятие о циркуляции скорости. Теоремы о вихрях. Потенциальное течение жидкостей и газов. Понятие о потенциале скорости и его свойства. Метод наложения потенциальных потоков. Плоские течения жидкости. Функция тока и ее физический смысл. Гидродинамическая сетка, методы ее построения и использование для расчета поля скоростей. Плоский потенциальный поток несжимаемой жидкости. Обтекание кругового цилиндра. Циркуляция, эффект Магнуса и образование подъемной силы. Теорема Н.Е. Жуковского о подъемной силе. Отрывное обтекание тел по схеме Жуковского-Кирхгофа. Кавитация в жидкостях и образование каверн. Вязкая жидкость. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформации. Уравнения Навье-Стокса. Граничные условия. Турбулентные движения и об-	6	4	2	6	18

		щие уравнения усредненно-установившегося турбулентного потока (уравнение Рейнольдса). Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Современное представление о структуре турбулентного потока. Устойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Основные статистические характеристики турбулентных течений. Понятие о подобии гидромеханических процессов. Общие теоремы подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений гидрогазодинамики. Критерии подобия определяющие и определяемые. Критериальное уравнение. Законы подобия при движении газа с большими скоростями. Понятие об анализе размерностей. Понятие об автомодельности. Повтор пройденного материала. Определение гидростатического давления.					
6	Основы динамики вязкой жидкости	Пограничный слой. Основные физические представления о пограничном слое. Толщина пограничного слоя, условные толщины пограничного слоя. Интегральное соотношение (уравнение количества движения) для пограничного слоя. Расчет ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью интегрального соотношения. Переход ламинарного слоя в турбулентный. Критическое число Рейнольдса и положение точки перехода на пластине. Влияние степени турбулентности внешнего потока на критическое число Рейнольдса. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя. Определение точки отрыва. Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений; течение жидкости при фазовом равновесии; тепловой скачок и скачок конденсации". Пористые среды. Основные понятия. Классификация. Получение. Использование. Основные закономерности. Повтор пройденного материала. Построение напорной и пьезометрической линии	6	4	2	6	18
Итого			36	18	18	36	108

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение. Физико-механические основы гидрогазодинамики	Предмет науки. Разделение механики жидкостей и газов. Некоторые сведения из истории развития гидромеханики. Содержание курса и роль гидрогазодинамики в подготовке инженеров-протеплоэнергетиков. Предмет науки. Разделение механики жидкостей и газов. Некоторые сведения из истории развития гидромеханики. Содержание курса и роль гидрогазодинамики в подготовке инженеров-протеплоэнергетиков. Гидромеханическое представление	2	-	2	14	18

		о жидкости как сплошной и легкоподвижной среде. Газ как сжимаемая жидкость. Плотность и удельный объем; их зависимость от температуры и давления для капельных жидкостей и газов. Жидкости однородные и неоднородные. Вязкость жидкостей и газов. Молекулярная природа вязкости. Закон вязкого трения Ньютона. Коэффициенты и единицы измерения вязкости. Зависимость вязкости от температуры и давления. Силы, действующие в жидкости: массовые и поверхностные. Вязкость жидкостных и газовых смесей; Способы измерения давления; Расчет поплавковых устройств. Определение вязкости жидкости (визкозиметр Энглера);					
2	Основы гидростатики. Основные уравнения и теоремы динамики жидкости и газа	Напряжения в покоящейся жидкости. Гидростатическое давление. Дифференциальные уравнения Эйлера и его интегрирование для случаев сжимаемой и несжимаемой жидкостей. Полный дифференциал гидростатического давления. Барометрическая формула и основная формула гидростатики. Понятие о напоре. Силы давления на плоские и криволинейные поверхности. Эпюры гидростатического давления. "Котельная" формула. Плавание тел. Закон Архимеда. Случаи относительного покоя жидкостей. Основные определения. Общий характер движения жидких частиц по данным наблюдений. Местная скорость. Установившееся движение. Два режима движения. Распределение скорости по сечению. Число Рейнольдса и его критические значения. Методы аналитического исследования потоков. Поле скоростей, линии и трубки тока. Ускорение жидкой частицы в переменных Эйлера. Уравнение неразрывности в дифференциальной и гидравлической формах. Пульсация скорости в турбулентном потоке. Усреднение скорости по времени и по поверхности; Уравнение неразрывности в криволинейных ортогональных координатах; Понятие о дозвуковых и сверхзвуковых диффузорах. Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли.	2	-	2	14	18
3	Основные разделы гидродинамики	Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости (Эйлера). Интегралы уравнений Эйлера. Обобщение уравнения Бернулли на поток конечных размеров. Геометрическая и энергетическая интерпретация уравнения Бернулли. Уравнение Бернулли для струйки вязкой жидкости. Приложения уравнения Бернулли. Структура общих формул для вычисления потерь. Истечения жидкости через отверстия и насадки. Общая форма уравнения количества движения жидкого объема. Силовое воздействие напорного потока. Уравнение моментов количества движения. Общая форма уравнений энергии для установившегося движения	-	-	-	16	16

		сжимаемой жидкости. Основные признаки и свойства одномерных течений. Плавное изменяющееся движение и закон распределения давления по сечению. Средняя скорость и расход. Природа потерь напора (энергии). Классификация гидравлических сопротивлений. Коэффициенты гидравлического трения и местного сопротивления. Опытные данные о коэффициенте гидравлического трения. Ламинарное течение в трубах. Формула Пуазейля. Начальный участок ламинарного течения. Элементы полуэмпирической теории турбулентного сопротивления. Гладкостенное течение: распределение скоростей и закон сопротивления. Квадратичный закон сопротивления. Начальный участок при турбулентном течении. Основные типы местных гидравлических сопротивлений. Потери на внезапное расширение и вход в трубу. Зависимость коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса. Взаимное влияние местных сопротивлений. Течения в диффузорах. Способы улучшения работы диффузоров. Течение в криволинейных каналах. Сопротивление пучка труб. Одномерные течения идеального газа. Различные формы уравнения Бернулли для адиабатического течения идеального газа. Энтальпия газового потока. Скорости распространения звука и число М. Закономерность изменения параметров газа вдоль струйки. Уравнение Гюгонио. Условие непрерывного перехода через звуковое значение скорости. Критическая, максимальная скорости и параметры торможения. Безразмерные скорости газа. Основные газодинамические функции, их графическое представление и использование в таблицах. Истечение газа через сужающее сопло. Формула Сан-Венана-Венцеля. Закономерность изменения весового расхода газа. Критическое отношение давлений. Сопло Лавала и режимы его работы.. Методы моделирования. Определение коэффициента потерь на трение по длине трубопровода (прибор Бернулли).					
4	Одномерные течения идеальных газов. Ударные волны и скачки уплотнения	Типы трубопроводов. Основные задачи расчета трубопроводных систем. Аналитические и графические методы расчета, применение ЭВМ. Построение пьезометрических графиков. Всасывающие трубопроводы. Определение реакций фасонных частей трубопроводов. Распространение малых возмущений; линии и углы Маха. Обтекание малого угла. Обтекание конечного угла. Ударные волны в напорном потоке каплярной жидкости. Явление гидравлического удара. Величина ударного давления. Скорость распространения ударной волны. Ударные волны и скачки	-	-	-	16	16

		уплотнения в потоке сжимаемого газа. Основные уравнения теории скачков. Уравнение ударной адиабаты, сравнение с адиабатой Пуассона. Степень сжатия газа в скачке. Рост энтропии в скачке и невозможность скачка разрежения. Изменение параметров газа при переходе через скачок. Методы управления пограничным слоем. Определение коэффициентов местных сопротивлений (прибор Бернулли).					
5	Двумерные течения идеальной жидкости и газа	Кинематический анализ составляющих движения жидкой частицы. Теорема Коши-Гельмгольца. Вихревое движение и основные характеристики поля вихрей. Свойства вихревых трубок. Понятие о циркуляции скорости. Теоремы о вихрях. Потенциальное течение жидкостей и газов. Понятие о потенциале скорости и его свойства. Метод наложения потенциальных потоков. Плоские течения жидкости. Функция тока и ее физический смысл. Гидродинамическая сетка, методы ее построения и использование для расчета поля скоростей. Плоский потенциальный поток несжимаемой жидкости. Обтекание кругового цилиндра. Циркуляция, эффект Магнуса и образование подъемной силы. Теорема Н.Е. Жуковского о подъемной силе. Отрывное обтекание тел по схеме Жуковского-Кирхгофа. Кавитация в жидкостях и образование каверн. Вязкая жидкость. Обобщенная гипотеза Ньютона о связи между напряжениями и скоростями деформации. Уравнения Навье-Стокса. Граничные условия. Турбулентные движения и общие уравнения усредненно-установившегося турбулентного потока (уравнение Рейнольдса). Основные гипотезы о турбулентных напряжениях. Современное представление о структуре турбулентного потока. Устойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Основные статистические характеристики турбулентных течений. Понятие о подобии гидромеханических процессов. Общие теоремы подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений гидрогазодинамики. Критерии подобия определяющие и определяемые. Критериальное уравнение. Законы подобия при движении газа с большими скоростями. Понятие об анализе размерностей. Понятие об автомодельности. Повтор пройденного материала. Определение гидростатического давления.	-	2	-	16	18
6	Основы динамики вязкой жидкости	Пограничный слой. Основные физические представления о пограничном слое. Толщина пограничного слоя, условные толщины пограничного слоя. Интегральное соотношение (уравнение	-	2	-	16	18

		количества движения) для пограничного слоя. Расчет ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью интегрального соотношения. Переход ламинарного слоя в турбулентный. Критическое число Рейнольдса и положение точки перехода на пластине. Влияние степени турбулентности внешнего потока на критическое число Рейнольдса. Расчет турбулентного пограничного слоя на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв пограничного слоя. Определение точки отрыва. Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений; течение жидкости при фазовом равновесии; тепловой скачок и скачок конденсации". Пористые среды. Основные понятия. Классификация. Получение. Использование. Основные закономерности. Построение напорной и пьезометрической линии					
Итого			4	4	4	92	104

5.2 Перечень лабораторных работ:

1. Определение вязкости жидкости (визкозиметр Энглера);
2. Определение гидростатического давления;
3. Экспериментальная иллюстрация уравнения Бернулли. Построение напорной и пьезометрической линии;
4. Определение коэффициента потерь на трение по длине трубопровода (прибор Бернулли);
5. Определение коэффициентов местных сопротивлений (прибор Бернулли).

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 5 семестре для очной формы обучения, в 6 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Гидравлический расчет разветвленного трубопровода», «Расчёт «короткого» трубопровода», «Газодинамический расчет сопла «Лаваля»».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- Определение различных видов давления;
- Определение режимов течения жидких и газообразных сред;
- Определение расхода и скоростей различных сред;

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-3	знать: основные физические свойства жидкостей и газов; силы, действующие в жидкостях; общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов; уравнения движения для вязкой и идеальной жидкостей; основы теории пограничного слоя; сверхзвуковые течения; скачки уплотнений; особенности двухкомпонентных и двухфазных течений;	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: рассчитывать гидростатические и гидродинамические нагрузки на элементы энергетического оборудования; рассчитывать гидрогазодинамические параметры потоков; определять потребный напор и расход различных типов теплоносителей для расчетных режимов работы энергооборудования; оптимизировать напорно-расходные характеристики гидравлических и газовых систем энергоснабжения; производить выбор устройств для гидравлических систем.	Решение стандартных практических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: основами расчета процессов массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения, 6 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать: основные физические свойства жидкостей и газов; силы, действующие в жидкостях; общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов; уравнения движения для вязкой и идеальной жидкостей; основы теории пограничного слоя; сверхзвуковые течения; скачки уплотнений; особенности двухкомпонентных и двухфазных течений;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь: рассчитывать гидростатические и гидродинамические нагрузки на элементы энергетического оборудования; рассчитывать гидрогазодинамические параметры потоков; определять потребный напор и расход различных типов теплоносителей для расчетных режимов работы энергооборудования; оптимизировать напорно-расходные характеристики гидравлических и газовых систем энергоснабжения; выбор устройств гидравлических систем.	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть: основами расчета процессов массопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что такое жидкость?
 - а) физическое вещество, способное заполнять пустоты;
 - б) физическое вещество, способное изменять форму под действием сил;
 - в) физическое вещество, способное изменять свой объем;
 - г) физическое вещество, способное течь.
2. Какие силы называются поверхностными?
 - а) вызванные воздействием объемов, лежащих на поверхности жидкости;
 - б) вызванные воздействием соседних объемов жидкости и воздействием других тел;
 - в) вызванные воздействием давления боковых стенок сосуда;
 - г) вызванные воздействием атмосферного давления.
3. Указать приборы, измеряемые давление жидкости
 - а) дифманометр,
 - б) барометр;
 - в) сужающее устройство;
 - г) термометр.
4. Расходом жидкости называется ее количество, протекающее
 - а) через данное сечение в единицу времени;
 - б) по трубопроводу к потребителю;
 - в) от одного агрегата к другому.
5. Какие параметры входят в уравнение неразрывности (или расхода)
 - а) объем жидкости и время ее протекания;
 - б) скорость течения жидкости и сечение трубы;
 - в) объем жидкости и сечение трубы;
 - г) объем жидкости.
6. При ламинарном течении жидкости ее струйки
 - а) перемешиваются друг с другом;
 - б) не перемешиваются;
 - в) находятся в состоянии покоя;
 - г) перемещаются относительно окружающей сред.
7. Перечислить причины потерь напора в гидросистемах
 - а) трение жидкости о стенки трубопровода;
 - б) из-за перемешивания слоев жидкости;
 - в) из-за уменьшения давления в трубах;
 - г) из-за трения в трубопроводах и в местных гидравлических сопротивлениях.
8. При последовательном соединении трубопроводов
 - а) потери суммируют, а расход - величина постоянная;

- б) расход суммируют, а потери - величина постоянная;
- в) суммируют длины отрезков труб;
- г) суммируют диаметры труб.

9. Единица измерения напора

- а) кг;
- б) м;
- в) м/ мин;
- г) л/с.

10. Единица измерения расхода

- а) л/с ; кг/с; м³/с;
- б) н; кг; л;
- в) с; мин; час;
- г) В; А; Ом.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Чему равна высота столба ртути в опыте Торричелли (мм), если атмосферное давление равно $0,980 \cdot 10^5 \text{ Па}$? $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $g = 10 \text{ м/с}^2$.

- 1. 730
- 2. 700
- 3. 720
- 4. 710

2. Водяной насос прогоняет воду через некоторое отверстие. Во сколько раз надо увеличить его мощность, чтобы вдвое увеличить поток воды через отверстие? Работой против трения в движущихся частях вентилятора и его влиянием в отверстии стенки на струю пренебречь.

- 1. 4
- 2. 2
- 3. 18
- 4. 8

3. Скольким килопаскалям равно давление на дне озера глубиной 5 м, если атмосферное давление равно 100 кПа?

- 1. 100
- 2. 150
- 3. 50
- 4. 200

4. Три цилиндрических сосуда, высоты которых $h_1 > h_2 > h_3$, а площади основания S_1, S_2, S_3 , доверху заполнены жидкостями, плотности которых $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$. Сравните давления этих жидкостей p_1 , p_2 и p_3 на дно сосудов.

- 1. $p_1 > p_2 > p_3$
- 2. $p_1 < p_2 < p_3$
- 3. $p_1 = p_2 = p_3$

4. $p_2 > p_3 = p_1$

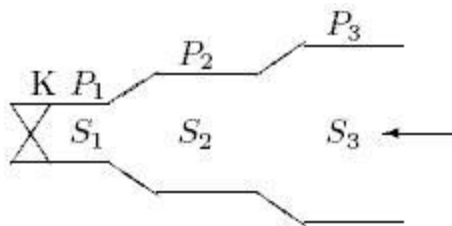
5. Определите плотность тела (кг/м^3), если вес тела в вакууме $2,6\text{Н}$, в воде $1,6\text{Н}$. Плотность воды 1000кг/м^3 .

1. 2800
2. 2600
3. 2900
4. 2000

6. Арбуз массой 8 кг и объемом 10 л опускают в воду. Какой объем арбуза окажется над водой (л)?

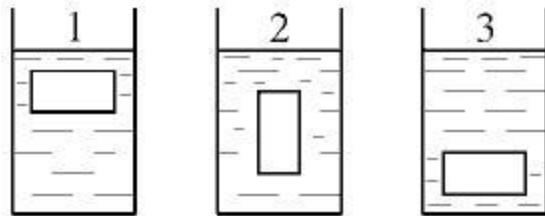
1. 2
2. 3
3. 1
4. 4

7. Укажите правильное соотношение между давлениями P_1 , P_2 и P_3 во время течения воды по трубам разной площади поперечного сечения S_1 , S_2 и S_3 (см. рис.)?



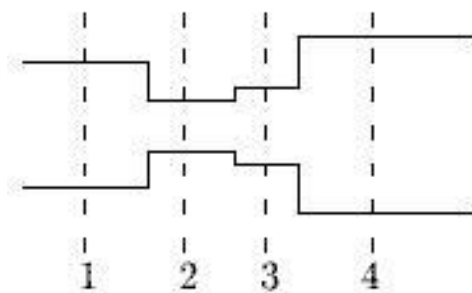
1. $P_1 = P_2 < P_3$
2. $P_3 > P_2 > P_1$
3. $P_1 = P_2 = P_3$
4. $P_1 > P_2 > P_3$

8. В каком из положений бруска (см. рис.) действующая на него сила Архимеда будет наибольшей?



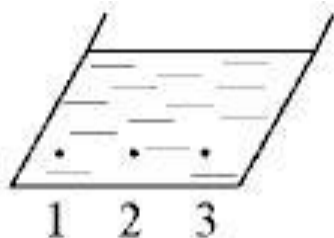
1. 1
2. 2
3. 3
4. сила Архимеда будет одинакова

9. Жидкость течет по трубе переменного сечения. В каком сечении трубы создаваемое жидкостью давление минимально?



1. 2
2. 4
3. 3
4. 1

10 Сосуд с водой имеет форму, показанную на рисунке. Сопоставьте гидростатические давления в точках 1, 2 и 3.



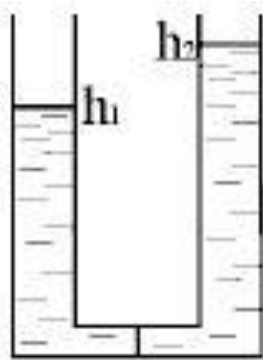
1. $p_1 = p_3 < p_2$
2. $p_1 > p_2 > p_3$
3. $p_1 < p_2 < p_3$
4. $p_1 = p_2 = p_3$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. На какой глубине (м) в водоеме давление в 3 раза больше атмосферного? $p_{ат}=105$ Па, $g=10$ Н/кг.

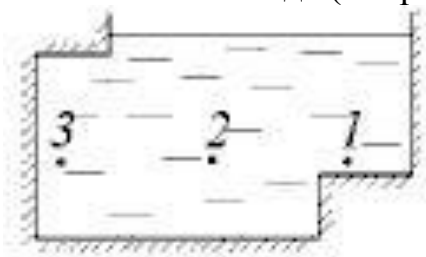
1. 2
2. 3
3. 30
4. 20

2. Одно колено сообщающихся сосудов заполнено водой, а второе – керосином. Каково соотношение высот столбов воды (h_1) и керосина (h_2), если плотности воды и керосина равны соответственно $\rho_в=1000$ кг/м³ и $\rho_к=800$ кг/м³?



1. 0,8
2. 1
3. 0,9
4. 1,2

3. Сопоставьте гидростатические давления в трёх точках внутри воды, находящихся на одинаковой глубине причём первая точка расположена непосредственно над ступенькой высотой 1 м, вторая – в метре от дна сосуда, а третья – в боковом отводе (см. рис).



1. $p_1 < p_2 < p_3$
2. $p_1 = p_2 = p_3$
3. $p_1 > p_2 > p_3$
4. $p_1 = p_2 > p_3$

4. Кусок материала плотностью 3000 кг/м^3 тонет в жидкости плотностью 900 кг/м^3 . С каким ускорением (м/с^2) погружался бы этот кусок, если пренебречь сопротивлением жидкости его движению? $g=10 \text{ м/с}^2$.

1. 7,3
2. 7,9
3. 7,6
4. 7,0

5. Определите работу (Дж), которую нужно совершить, чтобы поднять в воде кусок мрамора массой 35 кг на высоту 5 м . Плотность мрамора равна 2700 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 . Сопротивлением движению пренебречь.

1. 882
2. 1102,5
3. 661,5
4. 441

6. Определите работу (Дж), которую нужно совершить, чтобы поднять в воде кусок мрамора массой 30 кг на высоту 1 м. Плотность мрамора равна 2700 кг/м³, плотность воды 1000 кг/м³. Сопротивлением движению пренебречь.

1. 189
2. 378
3. 756
4. 567

7. Вода из верхней секции замкнутого бака перетекает в нижнюю через отверстие диаметром $d_1 = 30$ мм, а затем через цилиндрический насадок диаметром $d_2 = 20$ мм вытекает в атмосферу. Температура воды 20°C. Определить выходную скорость и расход жидкости через насадок, если показание манометра $p_m = 50$ кПа, а уровни в водомерных стёклах $H_1 = 2$ м и $H_2 = 3$ м. Чему при этом будет равно избыточное давление p_x над уровнем воды в нижней секции бака?

1. 1 м/с, 2 кг/с, 0,4 МПа
2. 0,5 м/с, 0,8 кг/с, 3 бар
3. 1,5 м/с, 2,4 кг/с, 3,4 МПа
4. все ответы неверные

8. Трубопровод диаметром $d = 500$ мм и длиной $L = 1000$ м наполнен водой при давлении 400 кПа, и температуре воды 5 °С. Определить, пренебрегая деформациями и расширением стенок труб, давление в трубопроводе при нагревании воды в нем до 15 °С, если коэффициент объемного сжатия $\beta_w = 5,18 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$, а коэффициент температурного расширения $\beta_t = 150 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

1. 3.25 МПа
2. 0.4 МПа
3. 1 МПа
4. 0,1 кПа

9. При гидравлическом испытании системы объединенного внутреннего противопожарного водоснабжения допускается падение давления в течение 10 мин. на $\Delta p = 4,97104$ Па. Определить допустимую утечку ΔW при испытании системы вместимостью $W = 80 \text{ м}^3$.

Коэффициент объемного сжатия $\beta_w = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

1. $1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
2. $2,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
3. $3,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
4. $4,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

10. Определить давление в резервуаре P_0 и высоту подъема уровня h_1 в трубке 1, если показания ртутного манометра $h_2 = 0,15 \text{ м}$, $h_3 = 0,8 \text{ м}$, $\rho_{\text{рт}} = 13,6 \text{ т/м}^3$, $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ т/м}^3$

1. 27,86 кПа, 2,84 м
2. 0,86 Па, 1,84 м
3. 1,86 кПа, 32,84 м
4. 2 МПа, 5,84 м

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Силы действующие в жидкости и газе.
2. Уравнение Навье-Стокса.
3. Вязкость жидкости и газа. Приборы для измерения вязкости.
4. Уравнение Навье-Стокса.
5. Гипотеза сплошности. Идеальной жидкости.
6. Уравнение движения идеальной жидкости в формуле Громека.
7. Истечение несжимаемой жидкости из отверстий и насадков
8. Основные формулы гидростатики.
9. Скачки уплотнения, физическая картина, основные уравнения.
10. Потери напора при внезапном расширении трубопровода
11. Гидравлический удар.
12. Дифференциальные уравнения Эйлера.
13. Уравнение гидростатики Эйлера. Условие равновесия жидкости, газа.
14. Расчет длинного трубопровода..
15. Уравнение Бернулли для струи идеального сжимаемого газа.
16. Потери напора в диффузоре..
17. Струйчатая схема течения. Поток жидкости, его характеристики – расход и средняя скорость.
18. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое уравнение.
19. Изменение газодинамических параметров на скачке уплотнения.
20. Уравнение движения идеальной жидкости в формуле Громека.

7.2.5 Примерный перечень заданий для решения экзаменационных задач

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 3 балла (2 балла верное решение и 1 балл за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 5.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не ответил на все вопросы в билете и не решил задачу.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент не ответил на все вопросы в билете и решил задачу или дал полный правильный ответ на 2 вопроса.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент дал полный правильный ответ на 1 вопрос в билете и решил задачу.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент дал полный правильный ответ на все вопросы в билете и решил задачу.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Физико-механические основы гидрогазодинамики	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, зачет
2	Основы гидростатики. Основные уравнения и теоремы динамики жидкости и газа	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, решение задач, зачет
3	Основные разделы гидродинамики	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, зачет
4	Одномерные течения идеальных газов. Ударные волны и скачки уплотнения	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, решение задач, зачет
5	Двумерные течения идеальной жидкости и газа	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, решение задач, расчет курсовой работы, зачет
6	Основы динамики вязкой жидкости	ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, зачет, защита курсовой работы, зачет с оценкой

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на

бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Муравьев А.В. Газодинамика: учеб. пособие. - Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2018. – 313 с.

2. Жуков Н.П. Газодинамика. Част 1. Гидравлика [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Ф. Майникова; Н.П. Жуков. - Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. - 140 с. - ISBN 978-5-8265-1434-4. URL: <http://www.iprbookshop.ru/64075.html>.

3. Белевич М. Ю. Гидромеханика. Основы классической теории : Учебное пособие / М.Ю. Белевич - Санкт-Петербург : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2013. - 213 с. - ISBN 5-86813-178-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/17911.html>

4. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. - 2-е изд.- М.: Машиностроение, 1987. - 440 с.

5. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч. - М.: Энергия, 1974. 592 с.

6. Самойлович Г.С. Газодинамика : Учебник / Г.С. Самойлович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1990. - 382 с.

7. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика / Г.Н. Абрамович. - Изд. 3-е. - Москва : Наука, 1969. - 826 с.

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=476989>

8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газа : учеб. пособие / Л.Г. Лойцянский. - 7-е изд., испр. - М. : Дрофа, 2003. - 840 с.

9. Фалеев В.В. Гидравлические расчеты в теплоэнергетических системах : учеб. пособие / В.В. Фалеев. - Воронеж : Изд-во ВГТУ, 2000. - 109 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Лицензионное программное обеспечение:

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic (многопользовательская лицензия)
- ABBYY FineReader 9.0
- LibreOffice

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

<http://www.edu.ru/>
Образовательный портал ВГТУ

Информационные справочные системы:
<http://window.edu.ru>
<https://wiki.cchgeu.ru/>

Современные профессиональные базы данных:
Сайт теплотехника
Адрес ресурса: <http://teplokot.ru/>
Министерство энергетики
Адрес ресурса: <https://minenergo.gov.ru/>
Чертижи.ru
Адрес ресурса: <https://chertezhi.ru/>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой и лабораторными стендами (ауд. 306/3).
2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения практических и лабораторных занятий (ауд. 304/3).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Гидрогазодинамика» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков гидравлических расчетов. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

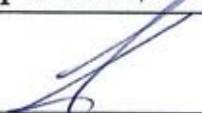
Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой, зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Пункт 8.1 изложить в следующей редакции	29.01.2025	

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Муравьев А.В. Газодинамика: учеб. пособие: в 2 ч. - Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2021. – Ч.1. - 161 с.

2. Муравьев А.В. Газодинамика: учеб. пособие: в 2 ч. - Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГТУ», 2021. – Ч.2. - 147 с.

3. Жуков Н.П. Газодинамика. Часть 1. Гидравлика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Ф. Майникова; Н.П. Жуков. - Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. - 140 с. - ISBN 978-5-8265-1434-4. URL: <http://www.iprbookshop.ru/64075.html>.

4. Белевич М. Ю. Гидромеханика. Основы классической теории: Учебное пособие / М.Ю. Белевич. - Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2013. - 213 с. - ISBN 5-86813-178-9. URL: <http://www.iprbookshop.ru/17911.html>

5. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. - 2-е изд.- М.: Машиностроение, 1987. - 440 с.

6. Дейч М.Е. Техническая газодинамика / М.Е. Дейч. - М.: Энергия, 1974. 592 с.

7. Самойлович Г.С. Газодинамика: Учебник / Г.С. Самойлович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 382 с.

8. Зауэр, Р. Введение в газовую динамику / Р. Зауэр; перевод Г. А. Вольперт. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 228 с. — ISBN 978-5-4344-0767-0. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/92110.html> (дата обращения: 29.01.2025).

9. Строгалева В. П. Основы прикладной газовой динамики: учебное пособие / В. П. Строгалева, И. О. Толкачева, Н. В. Быков. — Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014. — 174 с. — ISBN 978-5-7038-3980-5. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/136858.html> (дата обращения: 29.01.2025)

10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газа: учеб. пособие / Л.Г. Лойцянский. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.

11. Фалеев В.В. Гидравлические расчеты в теплоэнергетических системах: учеб. пособие / В.В. Фалеев. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. - 109 с.

12 Крестин, Е.А. Задачник по гидравлике с примерами расчетов / Е. А. Крестин. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012. — 360 с. — ISBN 978-5-9585-0492-3. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/20500.html> (дата обращения: 29.01.2025)

13 Ильина, Т. Н. Гидравлика. Примеры расчетов элементов инженерных сетей: учебное пособие / Т. Н. Ильина. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ЭБС АСВ, 2012. — 150 с. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/28343.html> (дата обращения: 29.01.2025)