

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.О.26
(индекс дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы гидравлики и термодинамики

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки
13.03.03 Энергетическое машиностроение

направленность (профиль)
Двигательные установки беспилотных мобильных систем

Форма обучения: заочная

Год набора: 2024

Общая трудоемкость: 4 ЗЕ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	3	Итого
Вид занятий	Зачет с оценкой	
Лекции	4	4
Лабораторные		
Практические		
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР		
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Контактная работа	4,25	4,25
Самостоятельная работа	136	136
Контроль	3,75	3,75
Итого	144	144

Рабочую программу составил(и):

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☐

Отсутствует

☐

Рецензент

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана
направления подготовки
13.03.03 Энергетическое машиностроение

Срок действия рабочей программы дисциплины до «28» августа 2030г.

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры
«Энергетические машины и системы управления»

(протокол заседания № 1 от «28» августа 2023 г.).

1. Цель освоения дисциплины

Цель – формирование у студентов представления о физических состояниях жидкостей и газов при равновесном и подвижном состояниях, а также основ преобразования энергии, законов термодинамики, термодинамических процессов и циклов, для решения прикладных инженерных задач.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина: «Высшая математика», «Физика», «Механика».

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Научные исследования и испытания в энергетическом машиностроении, Конструирование энергетических машин и установок, Электрические приводы и вспомогательные силовые установки транспортных средств, Теория рабочих процессов и комплекс расчетов энергетических установок, выпускная квалификационная работа.

3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ОПК-4. Способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ОПК-4.1. Демонстрирует понимание основных законов термодинамики.	Знать: – Введение в термодинамику. Основные законы термодинамики. Первый закон термодинамики. Энергия. Второй закон термодинамики. Энтропия.
		Уметь: – Виды переноса теплоты. Сложный теплообмен. Градиент температуры. Градуировка технических термометров. – пользоваться справочной литературой по направлению своей профессиональной деятельности.
		Владеть: – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела. – навыками применения методов подобия для расчетов термодинамических задач. – Навыками расчета процессов термодинамики горения.
	ОПК-4.2. Выполняет расчеты основных	Знать: – Методические основы анализа

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
	показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности	эффективности термодинамических циклов и пути их совершенствования, расчет состояния рабочих тел, анализ способов повышения их эффективности. – Модель «Идеального газа». Влажный и сухой «Воздух». – Эксергетический анализ. – Паровые и газовые энергетические циклы. Уметь: – Проводить исследования процессов и циклов тепловых машин; – применять математические методы при решении профессиональных задач. – пользоваться справочной литературой по направлению своей профессиональной деятельности. Владеть: – методами расчет компрессорных и подобных установок. – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела. – навыками расчета основных показателей термодинамических циклов и анализ их эффективности
	ОПК-4.3. Демонстрирует понимание основных законов движения жидкости и газа	Знать: – Введение в гидравлику. Понятие о реальной и идеальной жидкости. Основные физические свойства жидкостей и газов. Общие законы и закономерности жидкостей и газов. Гидростатика; – Элементы тензорного анализа. Основы кинематики и динамики жидкостей и газов. Основные понятия о движении жидкости. Основы теории гидравлических

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		сопротивлений. Основные критерии гидродинамического подобия. Уметь: – рассчитать влияние силы давления жидкостей и газов на различные поверхности; произвести измерения гидравлических параметров при равновесном и подвижном состояниях; – проводить измерение вязкости жидкости и исследование режимов движения жидкости. – проводить измерение параметров, входящих в уравнение Бернулли; – понимать сущность процессов, происходящих при движении жидкости и газа в различных инженерных устройствах. – пользоваться справочной литературой по направлению своей профессиональной деятельности. – проводить расчет простых трубопроводов. – проводить расчет сложных трубопроводов. Владеть: – методами подобия для расчетов гидравлических задач. Основные критерии гидродинамического подобия. – основами экспериментального исследования гидродинамических и газодинамических процессов; – методами расчетов давления жидкости на различные геометрические поверхности. Эпюры давлений. Закон Архимеда. Равновесие газов. Основные уравнения и поверхность уровня.
	ОПК-4.4. Определяет параметры потоков	Знать: – основные закономерности

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
	рабочих сред.	равновесного и подвижного состояния жидкостей и газов, являющихся базой для способности к конструктивной деятельности; – Основные законы движения жидкости и газа. Газовая динамика. – Расчет параметров потоков рабочих сред. Аналитические, экспериментальные методы. Обзор современных систем расчетов параметров потока рабочих сред. Вычислительная гидродинамика CFD. Уметь: – определять потери напора по длине в трубопроводе постоянного сечения; – определять коэффициенты местных сопротивлений; – понимать сущность процессов, происходящих при движении жидкости и газа в различных инженерных устройствах. – составить уравнение баланса энергетических и геометрических параметров в условиях равновесия и движения жидкостей и газов; – рассчитать потери давления при подаче жидкостей в любой гидравлической системе; – произвести гидравлический расчет трубопроводов подачи жидкостей. – пользоваться справочной литературой по направлению своей профессиональной деятельности. Владеть: – методами расчета гидродинамических и газодинамических процессов при конструировании и совершенствовании работы объектов профессиональной

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		деятельности. – основами экспериментального исследования гидродинамических и газодинамических процессов; – способами, процедурами и процессами моделирования гидро-газодинамических явлений; – методами измерения гидравлических параметров при равновесном и подвижном состояниях; – сущностью процессов, происходящих при движении жидкости и газа в различных инженерных устройствах.
	ОПК-4.5. Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы.	Знать: – Основные законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы. – Свойства вещества. – Теплоемкость вещества. – Теплопередача. – Пути интенсификации теплопередачи. – Уравнение теплового баланса. – Тепловое излучение.
		Уметь: – Определять коэффициента теплопроводности металлов. – Определять коэффициента теплоотдачи в условии свободной конвекции – применять математические методы при решении профессиональных задач. – пользоваться справочной литературой по направлению своей профессиональной деятельности.
		Владеть: – методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		исследования в термодинамике и тепломассообмене – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела. – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела и эффективность энергоустановок в целом; исследования процессов и циклов тепловых машин;
	ОПК-4.6. Проводит исследования и расчет процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой.	Знать: – Основные законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы; – Методические основы исследования и расчета процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой. – Энтропия и её анализ. – Область применения регулирования объемом; – Политропные процессы; – Идеальные газовые смеси; – Обобщенные диаграммы для энтальпии, энтропии и летучести; – Многокомпонентные Системы; – Химический Потенциал; – Равновесие реакции горения; – Энергетическая эффективность. Уметь: – проводить исследования и расчет процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой – проводить термодинамические расчеты в процессах в теплосиловых установках, находить резервы энергосбережения, использовать физико-математический аппарат

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
		для решения проблем термодинамики и тепломассообмена, возникающих в ходе профессиональной деятельности. – применять математические методы при решении профессиональных задач. – применять модели Вошни для анализа теплого потока в стенку. – Выполнять работы с лабораторно-испытательными теплоэлектроизмерительными приборами. Владеть: – методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования в термодинамике и тепломассообмене – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела. – навыками определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела и эффективность энергоустановок в целом.

4. Структура и содержание дисциплины

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1 «Основы гидравлики»	Лек	Введение в гидравлику. Понятие о реальной и идеальной жидкости. Основные физические свойства жидкостей и газов. Общие законы и закономерности жидкостей и газов. Гидростатика	6	2	Псщ.	—	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Измерение вязкости жидкости и исследование режимов движения жидкости.	6	2	4	—	Лабораторная работа №1. Вопросы к зачету.
	Пр	Применения методов подобия для расчетов гидравлических задач. Основные критерии гидродинамического подобия.	6	2	3	—	Практическая работа №1. Вопросы к зачету.
	Пр	Давление жидкости на различные геометрические поверхности. Эпюры давлений. Закон Архимеда. Равновесие газов. Основные уравнения и поверхность уровня.	6	2	3	—	Практическая работа №2. Вопросы к зачету.
	Лек	Элементы тензорного анализа. Основы кинематики и динамики жидкостей и газов. Основные понятия о движении жидкости. Основы теории гидравлических сопротивлений. Основные критерии гидродинамического подобия.	6	2	Псщ.	—	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Опытная демонстрация уравнения Бернулли. Измерение параметров входящих в уравнение Д. Бернулли.	6	2	4	—	Лабораторная работа №2. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет простых трубопроводов	6	2	3	—	Практическая работа №3. Вопросы к зачету.

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
	Пр	Расчет сложных трубопроводов	6	2	3	–	Практическая работа №4. Вопросы к зачету.
	Лек	Основные законы движения жидкости и газа. Газовая динамика.	6	2	Псщ.	–	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Определение потери напора по длине в трубопроводе постоянного сечения.	6	2	4	–	Лабораторная работа №3. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет параметров движения газов в дозвуковых и сверхзвуковых каналах	6	2	3	–	Практическая работа №5. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет параметров истечения газов в дозвуковых и сверхзвуковых каналах	6	2	3	–	Практическая работа №6. Вопросы к зачету.
	Лек	Расчет параметров потоков рабочих сред. Аналитические, экспериментальные методы. Обзор современных систем расчетов параметров потока рабочих сред. Вычислительная гидродинамика CFD	6	2	Псщ.	–	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Определение коэффициентов местных сопротивлений.	6	2	4	–	Лабораторная работа №4. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет потока жидкости в современных программных комплексах	6	2	3	–	Практическая работа №7. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет потока газа в современных программных комплексах	6	2	3	–	Практическая работа №8. Вопросы к зачету.
	Ср	Расчет задач. Самостоятельное изучение	6	35,75	5	–	Реферат по

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
		материала по электронному учебнику. ТЕМЫ: – Закономерности гидростатики. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое давление и его свойства. – Дифференциальные уравнения гидростатики. Поверхности уровня. Равновесия жидкости в поле земного тяготения. Закон Паскаля. – методики расчёта влияния силы давления жидкостей и газов на различные поверхности; – измерения гидравлических параметров при равновесном и подвижном состояниях; сущность процессов, происходящих при движении жидкости и газа в различных инженерных устройствах.					результатам самостоятельного изучения материала Вопросы к зачету
Модуль 2 «Основы термодинамики»	Лек	Введение в термодинамику. Основные законы термодинамики. Первый закон термодинамики. Энергия. Второй закон термодинамики. Энтропия.	6	2	Псщ.	–	Тест Вопросы к зачету
	Лаб	Виды переноса теплоты. Сложный теплообмен. Градиент температуры. Градуировка технических термодатчиков.	6	2	4	–	Лабораторная работа №5. Вопросы к зачету.
	Пр	Определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела	6	2	3	–	Практическая работа №9. Вопросы к зачету.
	Пр	Применения методов подобия для расчетов	6	2	3	–	Практическая

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
		термодинамических задач. Термодинамика горения.					работа №10. Вопросы к зачету.
	Лек	Методические основы анализа эффективности термодинамических циклов и пути их совершенствования, расчет состояния рабочих тел, анализ способов повышения их эффективности. Модель «Идеального газа». Влажный и сухой «Воздух». Эксергетический анализ. Паровые и газовые энергетические циклы.	6	2	Псщ.	—	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Исследование процессов и циклов тепловых машин	6	2	4	—	Лабораторная работа №6. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет компрессора	6	2	3	—	Практическая работа №11
	Пр	Расчеты основных показателей термодинамических циклов и анализ их эффективности	6	2	3	—	Практическая работа №12. Вопросы к зачету.
	Лек	Основные законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы. Свойства вещества. Теплоемкость вещества. Теплопередача. Пути интенсификации теплопередачи. Уравнение теплового баланса. Тепловое излучение.	6	2	Псщ.	—	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Определение коэффициента теплопроводности металлов. Определение коэффициента теплоотдачи в условии свободной конвекции	6	2	4	—	Лабораторная работа №7. Вопросы к зачету.
	Пр	Расчет теплообменного аппарата.	6	2	3	—	Практическая работа №13.

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
							Вопросы к зачету.
	Пр	Основные законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы	6	2	3	—	Практическая работа №14. Вопросы к зачету.
	Лек	Методические основы исследования и расчета процессов тепломассообмена в соответствии с заданной методикой	6	2	Псщ.	—	Тест. Вопросы к зачету.
	Лаб	Истечение воздуха из суживающегося сопла. Работы с лабораторно-испытательными теплоэлектроизмерительными приборами	6	2	4	—	Лабораторная работа №8. Вопросы к зачету.
	Пр	Определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела и эффективность энергоустановок в целом.	6	2	3	—	Практическая работа №15. Вопросы к зачету.
	Пр	Применение модели Вошни для анализа теплого потока в стенку	6	2	3	—	Практическая работа №16. Вопросы к зачету.
	СР	Расчет задач. Самостоятельное изучение материала по электронному учебнику. ТЕМЫ: — Утверждение Кельвина–Планка; — Энтропия и её анализ; — методические основы анализа эффективности термодинамических циклов и пути их совершенствования, расчет состояния рабочих тел, способы повышения эффективности теплообменных аппаратов; — Область применения регулирования объемом;	6	44	5	—	Реферат по результатам самостоятельного изучения материала Вопросы к зачету

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
		– Политропные процессы; – Идеальные газовые смеси; – Обобщенные диаграммы для энтальпии, энтропии и летучести; – Многокомпонентные Системы; – Химический Потенциал; – Равновесие реакции горения; – Энергетическая эффективность.					
	ПА	Промежуточная аттестация. Зачет с оценкой.	6	0,25	100	–	Тест
	Псц	Проверка посещаемости занятий	6		10	–	Оценка посещаемости лекционных занятий.
Итого:				144	200		

Схема расчета итогового балла

Текущий рейтинг (все занятия и промежуточные тесты) + Результат итогового теста и все делится на 2

5. Образовательные технологии

При изучении дисциплины «Основы гидравлики и термодинамики» используются следующие образовательные технологии:

Технология традиционного обучения – организация учебного процесса, основанная на лекционно–семинарско-зачетной формах обучения: лекция; лабораторная работа; самостоятельная работа. Используемые методы обучения: наглядные, словесные, практические(лабораторные);

Интерактивные технологии – способы активации деятельности субъектов в процессе взаимодействия (обучение в процессе общения). Форма обучения: проблемная лекция; лекция беседа; проблемный семинар. Используемые методы обучения: презентационный и демонстрационный метод, работа в парах или группах.

Дистанционное обучение: Сетевая технология – изучение курса (учебной дисциплины) посредством электронных учебно-методических материалов, размещенных в обучающей среде с использованием компьютера, подключенного к сети интернет.

6. Методические указания по освоению дисциплины

Занятия по дисциплине «Основы гидравлики и термодинамики» для студентов вузов проводятся в соответствии с учебным планом. Аудиторная работа студентов под руководством преподавателей осуществляется в соответствии с расписанием в рамках лекций и лабораторных занятий. В самостоятельную работу студентов входит более глубокое изучение теоретического материала при помощи системы Росдистант.

7. Оценочные средства

7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
6	ОПК-4.	Тестовые задания №1-500 Вопросы к зачету №1-66 Лабораторная работа №1-8 Практическая работа №1-16

7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

7.2.1. Комплект лабораторных заданий

Лабораторная работа №1 «Измерение вязкости жидкости и исследование режимов движения жидкости.»

Форма отчета по лабораторной работе №1

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Определение вязкости жидкости. Физическая формулировка расчетных формул и их применения по определению вязкости испытуемой жидкости;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Общие выводы.

Лабораторная работа №2 «Опытная демонстрация уравнения Бернулли. Измерение параметров входящих в уравнение Д. Бернулли»

Форма отчета по лабораторной работе №2

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Формы записи уравнения Д.Бернулли и расшифровка их параметров. Теоретические формулы определения гидродинамических параметров движущейся потока жидкости в трубопроводе;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости геометрического, пьезометрического и скоростного напоров от изменения расчетных сечений в экспериментальной трубке Вентури в графическом виде;
6. Общие выводы

Лабораторная работа №3 «Определение потери напора в прямой трубе постоянного сечения»

Форма отчета по лабораторной работе №3

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;

3. Обоснования теоретических и эмпирических формул по определению потерь напора и коэффициента гидравлического трения по длине стальных трубопроводов;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости потерь напора от средней скорости в графическом виде;
6. Построение зависимости коэффициента гидравлического трения экспериментальной трубы от числа Рейнольдса в графическом виде;
6. Общие выводы.

Лабораторная работа №4 «Определение коэффициентов местных сопротивлений»

Форма отчета по лабораторной работе №4

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Обоснование теоретических и эмпирических формул по определению потерь напора на местных сопротивлениях и коэффициентов местных сопротивлений;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости коэффициента местного сопротивления вентиля от числа Рейнольдса в графическом виде;
6. Общие выводы.

Лабораторная работа №5 «Виды переноса теплоты. Сложный теплообмен. Градиент температуры. Градуировка технических термомпар»

Форма отчета по лабораторной работе №5

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Обоснование теоретических и эмпирических формул по определению параметров сложного теплообмена;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости градуировки технических термомпар в графическом виде;
6. Общие выводы.

Лабораторная работа №6 «Исследование процессов и циклов тепловых машин»

Форма отчета по лабораторной работе №6

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Обоснование теоретических и эмпирических формул по определению параметров процессов и циклов тепловых машин;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости теплопроводности в графическом виде;
6. Общие выводы.

Лабораторная работа №7 «Определение коэффициента теплопроводности металлов. Определение коэффициента теплоотдачи в условиях свободной конвекции»

Форма отчета по лабораторной работе №7

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Обоснование теоретических и эмпирических формул по определению параметров теплоотдачи;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости теплоотдачи в графическом виде;
6. Общие выводы.

Лабораторная работа №8 «Истечение воздуха из суживающегося сопла. Работы с лабораторно-испытательными теплоэлектроизмерительными приборами»

Форма отчета по лабораторной работе №8

Отчет должен содержать:

1. Цель и задачи работы;
2. Описание лабораторной установки;
3. Обоснование теоретических и эмпирических формул по определению параметров истечения воздуха из суживающегося сопла;
4. Результаты измерений и расчетов в табличной форме;
5. Построение зависимости истечения воздуха в графическом виде;
6. Общие выводы.

Критерии оценки лабораторных работ №1-8:

Максимальное количество баллов – 4.

Оформление отчета со всеми расчетами согласно требованиям - 2 балла;

Защита работы - 2 баллов.

Не зачтено: студент не выполнил лабораторную работу. Количество баллов – 0

7.2.2. Комплект заданий для решения задач.

Задача 1. В баллоне находится сжатый воздух под избыточным давлением $p_1 = 2,94$ МПа, Определить отношение абсолютных давлений, если давление окружающей среды 742 мм рт. ст при температуре 293 °K

Задача 2. Разряжение в конденсаторе паровой турбины составляет $P_{\text{вак}}=0.95$ бар при атмосферном давлении $B_o = 745$ мм рт. ст. Определить абсолютное давление в конденсаторе.

Задача 3. Давление по манометру в паровом котле составляет 9 атм. Какое абсолютное давление в котле?

Примечание. При больших значениях избыточного давления (выше 3-5 атм) барометрическое давление, если оно не задано, можно принять (так обычно поступают) равным 1 атм.

Задача 4. Найти плотность ρ_n и удельный объем v_n углекислого газа CO_2 при нормальных физических условиях ($p=760$ мм рт. ст., $t=0^\circ\text{C}$).

Задача 5. Идеальный газ объемом 273 м^3 нагревают при постоянном давлении от 546 до 547°К . Определить приращение объема.

Задача 6. Для обеспечения процесса горения в топку котла вентилятором подается воздух в объеме $5 \text{ м}^3/\text{с}$ при нормальных физических условиях. Атмосферный воздух имеет температуру 298°К и абсолютное давление $0,0958 \text{ МПа}$. На какой объем засасываемого воздуха должен быть рассчитан вентилятор, чтобы он мог обеспечить работу котла?

Задача 7. Смесь состоит из 5 кг газа CO_2 и 3 кг газа O_2 . Определить относительный массовый состав, процентный массовый состав смеси и молекулярную массу смеси по объемному составу.

Задача 8. Атмосферный воздух по объемному составу имеет: $r_{\text{N}_2} = 0,79$ и $\phi_2 = 0,21$. Определить для воздуха, как для смеси, кажущуюся молекулярную массу, газовую постоянную, плотность и удельный объем при нормальных физических условиях, а также массовые доли составляющих газов.

Задача 9. Газовая смесь, состоящая из двух ~~компонентов~~ ^{0,6} (кислорода и углекислого газа), имеет относительный объемный состав: $r = 0,4$. Смесь находится в емкости объемом $V = 6 \text{ м}^3$ и избыточным давлением $p_{\text{изб}} = 4 \text{ бар}$ и температуре $t = 300^\circ\text{С}$. Определить массу газовой смеси.

Задача 15. Определить массовую теплоемкость азота (N_2) при $p = \text{const}$ объемную теплоемкость удельного газа (CO_2) при $v = \text{const}$, считая теплоемкость величиной постоянной.

Задача 22. Определить среднюю массовую теплоемкость углекислого газа (CO_2) при постоянно давлении в интервале температур от 0 до 1000°С (нелинейная зависимость теплоемкости от температуры).

Задача 37. Воздух объемом 30 м^3 , взятый при нормальных физических условиях, охлаждается от 500 до 100°С . Найти отнятое количество тепла, если процесс охлаждения приходит при постоянном объеме. Принять для объема теплоемкости нелинейную зависимость $c_v^1 = f(t)$.

Задача 43. На сжатие 3 кг метана затрачено 800 кДж работы, при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 595 кДж . Определить количество тепла и указать, подводится или отводится; определите изменение температуры и энтальпии, если мольная теплоемкость метана при постоянном объеме равна $26,48 \text{ кДж}/(\text{кмоль град})$.

Задача 54. В калориметрической бомбе емкостью 300 см^3 , заполненной кислородом при давлении $2,5 \text{ МПа}$ и температуре 293°К , сгорает $0,3 \text{ г}$ топлива, имеющего теплопроводную способность $25100 \text{ кДж}/\text{кг}$. Определить повышение давления и температуру в конце сгорания, пренебрегая теплоотдачей к стенкам бомбы.

Задача 82. Определить количество тепла, полученное водородом в баллоне емкостью 40 л , изменением его температуры, внутренней энергии и энтальпии, если избыточное давление в результате нагревания баллона повысилась с 12 МПа до $13,2 \text{ МПа}$. Барометрическое давление 745 мм рт. ст. , начальная температура $T_1 = 273^\circ\text{К}$, теплоемкость водорода $c_p = 14,33 \text{ кДж}/(\text{кг град})$.

Задача 84. В цилиндре под поршнем может расширяться воздух, углекислота или гелий. Начальные параметры газа одинаковы: давление $0,7 \text{ МПа}$, температура 973°К . Расширение происходит до давления $0,12 \text{ МПа}$. Сравнить работу при адиабатном расширении газов, считая, что расход их одинаков, а теплоемкость постоянна.

Задача 91. Сравнить работу адиабатного расширения различных газов под поршнем (воздух, гелий и углекислота), если их начальные параметры одинаковы (давление 1,6 МПа, температура 973 °К), а температура их после расширения равна 323 °К. Расходы газов считать одинаковыми, а теплоемкости – постоянными. Определить также давление газов в конце процесса их расширения.

Задача 101. Осевой компрессор газовой турбины, всасывая воздух при давлении 0,1013 МПа и температуре 303 °К, подает его в камеру сгорания при давлении 0,73 МПа и температуре 640 °К. Определить показатель политропы процесса сжатия, его теплоемкость, количество тепла, изменение энтальпии, внутренней энергии и работу сжатия 1 кг воздуха в компрессоре.

Задача 145. Тепло горячей воды, движущейся внутри круга горизонтальной трубы, передается воздуху, омывающему трубу по наружной поверхности свободным потоком.

Требуется определить коэффициенты теплоотдачи водой внутренней поверхности трубы и наружной ее поверхностью воздуха, а также коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, отнесенный к 1 м длины трубы.

Для расчета принять:

- | | |
|--|---|
| 1. внутренний диаметр трубы | $d_1 = \dots \text{мм};$ |
| 2. толщину стенки трубы | $\delta = \dots \text{мм};$ |
| 3. длину трубы | $l = \dots \text{м};$ |
| 4. материал трубы | $\lambda = \dots \text{Вт/м} \cdot \text{К};$ |
| 5. среднюю скорость воды | $w = \dots \text{м/сек};$ |
| 6. среднюю температуру воды | $t_{ж1} = \dots \text{°С};$ |
| 7. температуру воздуха окружающего трубу | $t_{ж2} = 20 \text{°С}.$ |

Задача 157. Тепло дымовых газов передается через стенку котла кипящей воде.

Принимая температуру газов $t_1 = \dots \text{°С}$, воды $t_2 = \dots \text{°С}$, коэффициент теплоотдачи газами стенке $\alpha_1 = \dots \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, и от стенки воде $\alpha_2 = \dots \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$, считая стенку плоской, требуется:

1. посчитать термическое сопротивление R , коэффициенты теплопередачи, эквивалентные коэффициенты теплопроводности и количество передаваемого тепла от газов к воде через 1 м² стенки за 1 сек для следующих случаев:

- а) стенка стальная, совершенно чистая, толщиной $\delta_2 = \dots \text{мм}$

$$(\lambda_2 = 50 \text{ Вт/м} \cdot \text{К});$$

- б) стенка медная, совершенно чистая, толщиной $\delta_2 = \dots \text{мм}$

$$(\lambda_2 = 350 \text{ Вт/м} \cdot \text{К});$$

- в) стенка стальная, со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной $\delta_3 = \dots \text{мм}$

$$(\lambda_3 = 2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К});$$

- г) случай «в», но поверх накипи имеется слой масла толщиной $\delta_4 = 1 \text{ мм}$

$$(\lambda_4 = 0,1 \text{ Вт/м} \cdot \text{К});$$

- д) случай «г», но со стороны газов стенка покрыта слоем сажи толщиной $\delta_1 = \dots \text{мм}$

$$(\lambda_1 = 0,2 \text{ Вт/м} \cdot \text{К});$$

2. приняв количество тепла для случая «а» за 100%, посчитать проценты тепло для всех остальных случаев;
3. определить аналитически температуры всех слоев стенки случая «д».

7.2.3. Комплект заданий для практических работ

(наименование оценочного средства)

Перечень практических работ

№ п/п	Наименование лабораторной работы
Практическая работа №1	Применения методов подобия для расчетов гидравлических задач. Основные критерии гидродинамического подобия.
Практическая работа №2	Давление жидкости на различные геометрические поверхности. Эпюры давлений. Закон Архимеда. Равновесие газов. Основные уравнения и поверхность уровня.
Практическая работа №3	Расчет простых трубопроводов.
Практическая работа №4	Расчет сложных трубопроводов.
Практическая работа №5	Расчет параметров движения газов в дозвуковых и сверхзвуковых каналах.
Практическая работа №6	Расчет параметров истечения газов в дозвуковых и сверхзвуковых каналах.
Практическая работа №7	Расчет потока жидкости в современных программных комплексах.
Практическая работа №8	Расчет потока газа в современных программных комплексах.
Практическая работа №9	Определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела.
Практическая работа №10	Применения методов подобия для расчетов термодинамических задач. Термодинамика горения.
Практическая работа №11	Расчет компрессора.
Практическая работа №12	Расчеты основных показателей термодинамических циклов и анализ их эффективности.
Практическая работа №13	Расчет теплообменного аппарата.
Практическая работа №14	Основные законы и основные физико-математические модели переноса теплоты и массы.
Практическая работа №15	Определения величин, характеризующих теплофизические свойства термодинамического рабочего тела и эффективность энергоустановок в целом.
Практическая работа №16	Применение модели Вошни для анализа теплого потока в стенку.

Краткое описание и регламент выполнения

Цель: Изучения подходов и методик, позволяющих проводить комплекс расчетов энергетических установок АТС и их компонентов.

Ожидаемый (е) результат (ы) формирование знаний и представлений о современном состоянии подходов и методик, позволяющих проводить комплекс расчетов энергетических установок АТС и их компонентов.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если правильно выполнено содержание отчета и получено более 50% положительных ответов на вопросы при обсуждении;
- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если неправильно выполнено содержание отчета и не получено более 50% положительных ответов на вопросы при обсуждении.

Типовые примеры заданий

Практическая работа №11. «Расчет компрессора»

Цель работы: провести реконструкцию компрессорной установки с заменой одноступенчатого компрессора многоступенчатым. Рассчитать характеристики компрессорной установки до, и после реконструкции и дать оценку эффективности последней

Краткие теоретические сведения. Компрессорами называются машины, предназначенные для нагнетания различных газов, в том числе и воздуха. Сжатый воздух, как энергоноситель используется во многих производствах для привода пневмоинструмента (шлифмашин, трамбовок, отбойных молотков и т.д.), для привода станков и агрегатов (пневмоподъёмников, пневматических прессов и молотов и т. п), для пневмотранспортировки сыпучих материалов и перекачки газа по магистральным газопроводам, а также для подачи воздуха в камеры сгорания различных силовых установок.

По принципу действия различают поршневые компрессоры, центробежные компрессоры и турбокомпрессоры. Поршневые компрессоры отличаются периодичностью (циклическостью) действия при возвратно-поступательном движении поршня 5 в цилиндре 6 (рисунок 1).

Цикл одноступенчатого компрессора состоит из:

- процесса всасывания воздуха (или газа) через открытый впускной клапан 8 при движении поршня 5 вправо (изобарный процесс 0-1);
- процесса сжатия газа при обратном ходе поршня и закрытых клапанах 7 и 8 (политропный процесс 1-2);
- процесса вытеснения сжатого газа в напорную магистраль через открытый выпускной клапан 7 при движении поршня 5 влево (изобарный процесс 2-3).

В реальных компрессорах между поршнем и головкой цилиндра с расположенными в нём клапанами остаётся некоторое «вредное пространство» равное объёму V_0 . Невытесненный воздух из этого объёма при движении поршня вправо расширяется до давления P_0 (адиабатический процесс 3-4) и всасывание новой порции воздуха начинается только от точки 4. Это уменьшает подачу компрессора и учитывается объёмным КПД:

$$\eta_v = (V_1 - V_0)/V_1,$$

где V_1 – рабочий объём компрессора;

V_0 – объём вредного пространства.

С увеличением давления нагнетания (линия 2'-3') влияние вредного объёма усиливается и объёмный КПД уменьшается. Поэтому существует ограничение на степень повышения давления в одной ступени компрессора.

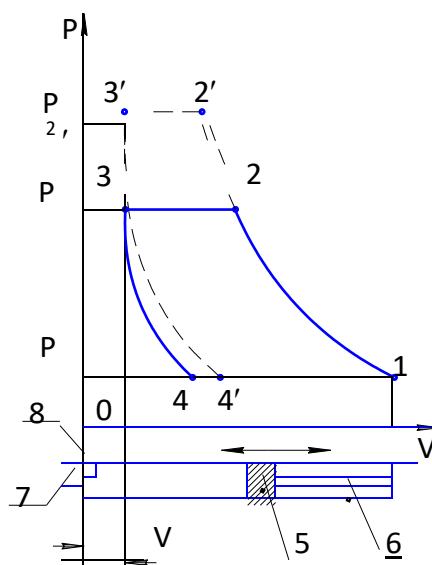


Рисунок 1 – Принцип действия и цикл одноступенчатого компрессора

Другое ограничение на степень повышения давления в одной ступени возникает по условиям надёжной работы смазки элементов конструкции компрессора, которая может коксоваться или даже самовозгораться при чрезмерном повышении температуры воздуха при сжатии. Последнее ограничение особенно важно для компрессоров, рассчитанных на

высокие давления нагнетания (свыше 0,5 МПа), и вынуждает переходить на многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением воздуха. Увеличение капиталовложений в компрессорную установку компенсируется при этом повышением её надёжности и снижением потребляемой мощности. Дело в том, что техническая работа l , затрачиваемая на нагнетание воздуха и выражаемая в $p-v$ - диаграмме площадью левее процесса сжатия 1-2, зависит от характера протекания этого процесса. При изотермическом сжатии работа сжатия минимальна, при адиабатическом сжатии максимальна. Охлаждая цилиндр, в процессе сжатия, можно несколько приблизиться к изотермическому сжатию и тем самым уменьшить работу, затрачиваемую на сжатие воздуха. Однако, ввиду небольшой поверхности охлаждения цилиндра компрессора обеспечить изотермическое сжатие практически невозможно. Поэтому для уменьшения работы сжатия обычно применяют многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением воздуха в специальных теплообменниках-охладителях, устанавливаемых на выходе каждой ступени воздуха.

Схема компрессорной установки с трехступенчатым сжатием и промежуточным охлаждением представлена на рисунке 2.

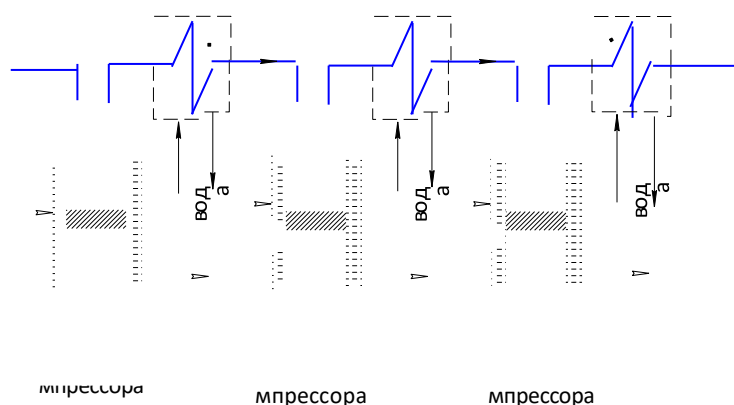


Рисунок 2 – Схема компрессорной установки с трехступенчатым сжатием и промежуточным охлаждением

На рисунке 3 представлена $p-v$ - диаграмма процесса трехступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением воздуха.

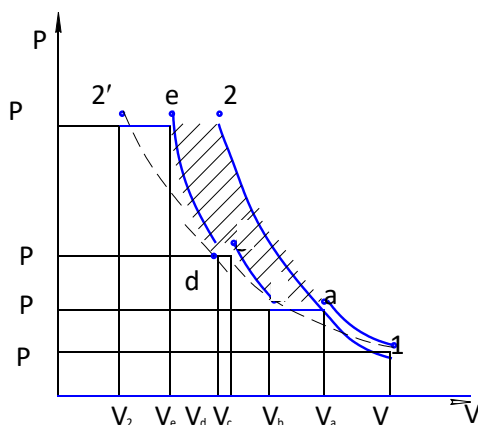


Рисунок 3 - $p-v$ диаграмма процесса трехступенчатого сжатия с промежуточным охлаждением воздуха

Как следует из рисунка и диаграммы, процесс сжатия при этом разбивается на 3 участка 1-а, b-с и d-e, причём после каждой ступени сжатия воздух охлаждается изобарно в

соответствующем охладителе (процессы $a-b$, $c-d$ и $e-2'$). В результате ступенчатый процесс $1-a-b-c-d-e-2'$ удаётся приблизить к изотерме $1-2'$ и тем самым уменьшить работу сжатия на величину заштрихованной площадки.

В задачу настоящей работы входит расчёт компрессорной установки после её реконструкции и анализа эффективности этого мероприятия по таким показателям, как изотермический и объёмный КПД компрессора, а также удельный расход электроэнергии на выработку 1 м³ сжатого воздуха.

Исходные данные

№ варианта	Производительность установки G , кг/с	Давление на впуске P_1 , МПа	Давление нагнетания P_2 , МПа	Температура воздуха на впуске t_1 , °C	Показатель политропы, n	Допустимое повышение температуры Δt , °C
1	0,1	0,1	6	20	1,24	180
2	0,2	0,1	7	21	1,25	181
3	0,3	0,1	8	22	1,26	182
4	0,4	0,1	9	23	1,27	183
5	0,5	0,1	10	24	1,28	184
6	0,6	0,1	11	25	1,29	185
7	0,7	0,1	12	26	1,3	186
8	0,8	0,1	13	27	1,31	187
9	0,9	0,1	14	28	1,32	188
10	1	0,1	15	29	1,33	189
11	1,1	0,1	16	30	1,34	190
12	1,2	0,1	17	31	1,35	191
13	1,3	0,1	18	20	1,36	192
14	1,4	0,1	6	21	1,37	193
15	1,5	0,1	7	22	1,38	194
16	1,6	0,1	8	23	1,24	195
17	1,7	0,1	9	24	1,25	180
18	1,8	0,1	10	25	1,26	181
19	1,9	0,1	11	26	1,27	182
20	2	0,1	12	27	1,28	183
21	2,1	0,1	13	28	1,29	184
22	2,2	0,1	14	29	1,3	185
23	2,3	0,1	15	30	1,31	186
24	2,4	0,1	16	31	1,32	187
25	2,5	0,1	17	20	1,33	188
26	2,6	0,1	18	21	1,34	189
27	2,7	0,1	6	22	1,35	190
28	2,8	0,1	7	23	1,36	191
29	2,9	0,1	8	24	1,37	192
30	3	0,1	9	25	1,38	193

1. Номер охладителя - 1-й.

2. Температура охлаждающей воды $t_{ж}'' = 15^\circ \text{C}$.

Практическая работа №13. «Расчет теплообменного аппарата»

2.1 Выбор прототипа теплообменника

Промежуточные воздухоохладители многоступенчатых компрессоров предназначены для улучшения условий работы их смазки (предотвращения ее коксования и воспламенения) и для снижения потребляемой компрессором мощности. Их расчет и конструирование рекомендуется начинать с выбора типа теплообменника (рекуперативный, регенеративный, смесительный); конфигурации поверхности теплообмена (трубчатый, пластинчатый, сотовый и т.п.); схемы движения теплоносителей (прямоток, противоток, перекрестный и

смешанный ток); характера обтекания поверхности теплообмена (внешнее или внутреннее, продольное или поперечное) и компоновки аппарата (вертикальная, горизонтальная).

При этом рекомендуется руководствоваться следующими соображениями. В аппаратах поверхностного типа (рекуперативных, регенеративных) передача тепла осуществляется с участием твердой стенки - поверхности теплообмена, в смесительных теплообменниках - при непосредственном контакте и смешении жидких, газообразных и порошкообразных тел. В рекуперативных аппаратах теплоносители одновременно омывают поверхность теплообмена с разных ее сторон и не смешиваются; в регенеративных аппаратах они попеременно омывают одну и ту же поверхность и при этом частично смешиваются. Для теплоносителей, имеющих повышенное давление, целесообразнее всего применять трубчатую конструкцию поверхности теплообмена. Для выравнивания коэффициентов теплоотдачи со стороны обоих теплоносителей рекомендуется применять оребрение трубок со стороны теплоносителя с ослабленным теплообменом. Из схем движения предпочтительнее противоток с поперечным обтеканием трубок со стороны теплоносителя с ослабленным теплообменом. Одна из распространенных конструкций аппаратов такого типа изображена на рисунке 5. Она представляет собой кожухотрубный теплообменник рекуперативного типа с прямыми оребренными трубками (рисунок 5). Ввиду значительного давления воздуха в корпусе аппарата последний выполнен цилиндрическим и снабжен крышкой, которая крепится к корпусу с помощью фланцев и патрубками для подвода воды. Концы трубок заделаны в две трубные доски, одна из которых неподвижная (зажатая между фланцев), а другая - подвижная, закрытая "плавающей крышкой" для обеспечения возможности термического расширения аппарата при его прогреве и остывании. Для улучшения теплоотдачи со стороны воздуха трубки оребрены. Чтобы облегчить установку перегородок по воздуху, предназначенных для обеспечения заданной скорости воздуха, оребрение выполнено сплошным (в виде пластин, надетых на трубки теплообменника).

Многоходовое движение воздуха обеспечивается перекрытием зазора между пластинами оребрения и корпусом аппарата в местах, не предназначенных для перетока воздуха. Патрубки для подвода и отвода размещены на цилиндрическом корпусе аппарата с противоположных концов его и снабжены гильзами для термометров. Такой охладитель размещается обычно в непосредственной близости к цилиндрам компрессора для уменьшения потерь давления в нем и komponуется горизонтально или вертикально.

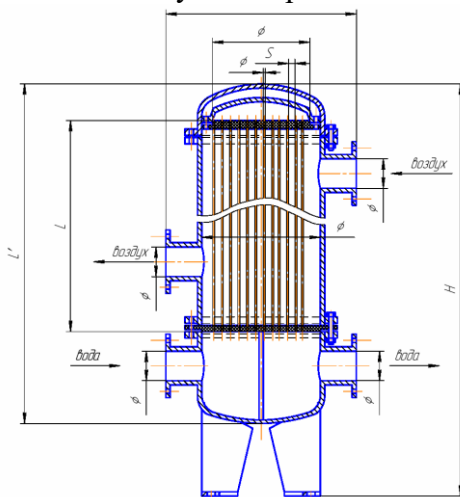


Рисунок 5 – Схема теплообменного аппарата

2.2 Тепловой расчет воздухоохладителя компрессора

Расчет теплопроизводительности аппарата

Обычно при конструкторском расчете теплопроизводительность аппарата Q задается или может быть определена на основании исходных данных. В рассматриваемом случае она

определяются расчетом компрессорной установки (как теплосъем в холодильниках компрессора, отнесенный к одному охладителю) и может быть также найдена по выражению

$$Q = G \cdot C_{pB} \cdot (t_B' - t_B'') = 2,5 \cdot 1,02 \cdot (175,14 - 20) = 395,618 \text{ кВт}$$

температур

$$t_B'' - t_B' = (175,14 - 20) = 155,14 \text{ } ^\circ\text{C},$$

определяется из таблицы «Теплофизические свойства сухого воздуха» (таблица 2 приложения Б).

Определение расхода охлаждающей воды

Расход воды определяется по формуле:

$$G_{\text{ж}} = \frac{Q}{C_{p\text{ж}} \cdot (t_{\text{ж}}' - t_{\text{ж}}'')} \cdot \eta = \frac{395,618}{4,183 \cdot (18 - 15)} \cdot 0,92 = 29,004 \text{ кг/с} \quad (2.2)$$

где $t_{\text{ж}}' = 20 - 2 = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$ – температура воды на выходе из теплообменника. Обычно ее принимают на 5...8 $^\circ\text{C}$ ниже самой низкой температуры воздуха, чтобы его охлаждение осуществлялось по всей поверхности теплообмена;

$C_{p\text{ж}} = 4,183$ – средняя изобарная теплоемкость воды в интервале температур $(t_{\text{ж}}' - t_{\text{ж}}'')$. Она определяется по таблицам теплофизических свойств воды (таблица 1 приложения Б);

η – КПД теплообменника, который учитывает потери тепла неизолированными поверхностями в окружающую среду. Он принимается порядка 0,9...0,95.

Расчет коэффициента теплоотдачи со стороны воды

На теплообмен при движении жидкости в трубах оказывают влияние режим ее движения, теплофизические свойства жидкости, а также (в небольшой степени) направление теплового потока и длина трубы. Обычно зависимость коэффициента теплоотдачи от этих факторов представляется экспериментатором в обобщенном (критериальном виде). Для каждого вида теплообмена в справочной литературе приводятся критериальные формулы, применимые к различным конкретным случаям. Так для течения жидкости в трубах при турбулентном режиме рекомендуется уравнение:

$$Nu_{\text{ж},d} = 0,021 \cdot Re_{\text{ж},d}^{0,8} \cdot Pr_{\text{ж}}^{0,43} \cdot \varepsilon_q \cdot \varepsilon_l \quad (2.3)$$

где $Nu_{\text{ж},d}$ – критерий теплоотдачи Нуссельта, характеризующий эффективность теплоотдачи;

Re – критерий Рейнольдса, характеризующий режим вынужденного движения;

Pr – критерий Прандтля, характеризующий теплофизические свойства теплоносителя (жидкости);

$\varepsilon_q \cdot \varepsilon_l$ – поправки на направление теплового потока и на длину трубы. Нижние индексы при критериях подобия указывают определяющий размер тела (в частности, d – диаметр трубы со стороны теплоносителя) и определяющую температуру (в частности, "ж" означает, что все теплофизические свойства в уравнении (2.3) определяются при средней температуре жидкости в трубе).

Вычисление коэффициента теплоотдачи производится в следующем порядке:

1 Находится определяющая (средняя) температура жидкости в трубе

$$t_{\text{ср}} = \frac{(t_{\text{ж}}' + t_{\text{ж}}'')}{2} = \frac{(18 + 15)}{2} = 16,5$$

2 По этой температуре находятся необходимые для расчета теплофизические свойства жидкости (таблица 1 приложения Б):

- ее плотность $\rho_{\text{ж}} = 998,2, \text{ кг/м}^3$;
- коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{ж}} = 0,599, \text{ Вт/м} \cdot \text{град} \cdot$;
- коэффициент кинематической вязкости $\nu_{\text{ж}} = 1,006 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}$ и
- число Прандтля $Pr_{\text{ж}} = 7,02$.

- 3 Выбирается скорость движения воды в трубах $W_{ж} = 0.9$ (обычно 0.5... 1.5 м/с, но не выше 2 м/с во избежание эрозии труб).
- 4 Выбирается диаметр трубок аппарата $d_B/d_H = 12/14$, ориентируясь на выпускаемые отечественной промышленностью сортаменты труб 12/14; 13/15; 14/16; 15/17; 16/18; 17/19; 18/20 и т.д. (в числителе указан внутренний диаметр труб d_B , мм, в знаменателе - наружный диаметр d_H).
- 5 Вычисляется безразмерный критерий Рейнольдса

$$Re_{ж,d} = \frac{W_{ж} \cdot d_B}{\nu_{ж}} = \frac{0.9 \cdot 0.012}{1,006 \cdot 10^{-6}} = 10735,586$$

По найденному значению числа Рейнольдса устанавливается режим движения жидкости в трубах (>10000 - режим турбулентный; < 2300 - режим ламинарный; $2300 < Re < 10000$ - переходный режим). Рекомендуется выбирать скорость жидкости и диаметр трубы таким образом, чтобы режим движения был турбулентным.

- 6 Для вычисления поправки на направление теплового потока (к трубе или от трубы) ε_q , учитывающей переменность теплофизических свойств жидкости по сечению трубы, необходимо предварительно задаться температурой стенки трубы $t_c = 30^\circ\text{C}$ (обычно она на несколько градусов выше температуры воды). Затем по тем же таблицам теплофизических свойств воды находится число Прандтля воды при температуре стенки $Pr_c = 5.42$. Поправка вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_q = \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0.25} = \left(\frac{7.02}{5.42} \right)^{0.25} = 1,067$$

- 7 Поправка на длину трубы ε_l , учитывающая относительно малую толщину пограничного слоя на начальном участке трубы длиной L , вводится для сравнительно коротких труб ($L/d < 50$). В этом случае она вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_l = 0,86 + 0,9 \left(\frac{d_B}{l} \right)^{0,4}$$

В первом приближении ее можно принять равным:

$$\varepsilon_l = 1.$$

- 8 Вычисляется число Нуссельта. Формула выбирается по таблице 4.

$$Nu_{ж,d} = 0.021 \cdot Re_{ж,d}^{0.8} \cdot Pr_{ж}^{0.43} \cdot \varepsilon_q \cdot \varepsilon_l$$

$$Nu_{ж,d} = 0.021 \cdot 10735,586^{0.8} \cdot 7,02^{0.43} \cdot 1,067 \cdot 1 = 868,739$$

- 9 По известному числу Нуссельта находится коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{ж} = \frac{Nu \cdot \lambda_{ж}}{d_B} = \frac{868,739 \cdot 0,599}{0,012} = 43364,55 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$$

Вычисление коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха

Коэффициенты теплоотдачи со стороны воздуха обычно намного меньше, чем со стороны воды. Поэтому для выравнивания условий теплоотдачи со стороны обоих теплоносителей часто применяется оребрение поверхности со стороны воздуха, что позволяет в несколько раз увеличить поверхность теплообмена. В этом случае расчет целесообразно начать с выбора параметров оребрения - высоты ребер h и шага между ребрами (поперек потока воздуха) b . Для труб с хорошо развитым оребрением расположение труб в пучке (шахматное или коридорное) не имеет столь существенного значения, как для гладких труб. При сплошном оребрении проще в изготовлении коридорные пучки с одинаковыми шагами поперек потока воздуха $S1$ и по ходу воздуха $S2$.

Это эквивалентно применению квадратных ребер с высотой ребра $h=S1/2$, м. Расстояние между ребрами (шаг ребер) рекомендуется выбирать в пределах $b=(0,25...0,5)dH$.

Степень оребрения поверхности (т.е. отношение оребренной поверхности к гладкой) при этом может быть найдена из выражения:

$$\varepsilon_p = 1 + \frac{d \left(\frac{h}{2} + \frac{h^2}{d} \right)}{d_H} = 1 + \frac{0,014 + 2 \cdot 0,014^2}{0,0056} = 11 \quad (2.4)$$

Вычисление коэффициента теплоотдачи производится в следующем порядке:

1 Выбирается тип пучка: коридорный.

Предварительно задаются шагами между трубками

$$S_1 = S_2 = 2 \cdot d_H = 2 \cdot 0,014 = 0,028 \text{ м,}$$

высотой h

$$h = \frac{S_1}{2} = \frac{0,028}{2} = 0,014 \text{ м}$$

и шагом оребрения b

$$b = 0,4 \cdot d_H = 0,4 \cdot 0,014 = 0,0056 \text{ м.}$$

Вычисляется степень оребрения ε_p по формуле (2.4).

2 Находится определяющая (средняя) температура воздуха

$$t_{Bcp} = \frac{(t_{B'} + t_{B''})}{2} = \frac{(175,14 + 20)}{2} = 97,572 \text{ °C}$$

3 По определяющей температуре воздуха t_{Bcp} по таблице 2 выбираются теплофизические свойства:

- плотность $\rho_B = 0,916$, кг/м³;
- коэффициент теплопроводности $\lambda_B = 3,12 \cdot 10^{-2}$ Вт/м град;
- коэффициент кинематической вязкости $\nu_B = 23,91 \cdot 10^{-6}$ м²/сек.

4 Выбирается скорость движения воздуха (обычно 8... 16 м/с).

$$W_B = 10 \text{ м/с}$$

5 Вычисляется критерий Рейнольдса

$$Re_{B,d} = \frac{W_B \cdot d_H}{\nu_B} = \frac{10 \cdot 0,014}{23,91 \cdot 10^{-6}} = 5855,29$$

и определяется режим движения воздуха.

6 Выбирается критериальное уравнение для расчета теплоотдачи при поперечном обтекании пучка оребренных труб (по таблице 4 приложения Б).

$$Nu_{Ж,d} = 0,104 \cdot Re_{Ж,d}^{0,72} \cdot \left(\frac{d_H}{b} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^{-0,14}$$

$$Nu_{Ж,d} = 0,104 \cdot 5855,29^{0,72} \cdot \left(\frac{0,014}{0,0056} \right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{0,014}{0,0056} \right)^{-0,14} = 28,78$$

7 Вычисляется поправка ε_s , которая учитывает плотность пучка. Она определяется по выражению

$$\varepsilon_s = \left(\frac{S}{d_H} \right)^{-0,15} = \left(\frac{0,028}{0,014} \right)^{-0,15} = 0,901$$

8 По известному числу Нуссельта находится коэффициент теплоотдачи α Вт/м² град

$$\alpha = \frac{Nu_{Ж,d} \cdot \varepsilon_s}{d_H} = \frac{28,78 \cdot 0,901}{0,014} = 1878,5780$$

Вычисление коэффициента теплопередачи

Приступая к вычислению коэффициента теплопередачи в теплообменнике, необходимо, прежде всего, выбрать материал трубок (таблица 3 приложения Б) и для него найти:

- коэффициент теплопроводности материала стенки – Алюминий, алюминиевые сплавы:

$$\lambda_c = 206, \text{ Вт/м.град.}$$

Затем необходимо определить:

- толщину стенок δ , м.

$$\delta_c = \frac{d^H - d^B}{2} = \frac{0.012}{2} = 0.001$$

Предварительно необходимо также оценить КПД ребра из приближенного соотношения

$$\eta_p = 1 - 0.05 \cdot \varepsilon_p = 1 - 0.05 \cdot 11 = 0,45 \quad (2.5)$$

Коэффициент теплопередачи оребренных труб с достаточной точностью может быть найден по более простой и наглядной формуле для плоской ребристой стенки:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ж}} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha^B \cdot \varepsilon_p \cdot \eta_p}} = \frac{1}{\frac{1}{43364,556} + \frac{0,001}{206} + \frac{1}{57,80 \cdot 11 \cdot 0,45}} = 283,85, \text{ Вт/м} \quad (2.6)$$

Согласно этому выражению, коэффициент теплопередачи приближается к эффективному значению коэффициента теплоотдачи ребристой стенки

$$\alpha_{эф} = \alpha_B \cdot \varepsilon_p \cdot \eta_p = 57,80 \cdot 11 \cdot 0,45 = 286,12,$$

оставаясь меньше его.

Определение температурного напора

Вычисление среднеинтегрального (среднелогарифмического) температурного напора в охладителе целесообразно предварительно осуществить для схемы противотока и лишь, затем внести в него поправку $\varepsilon_l < 1$ на отклонение реальной схемы движения от противотока. При этом рекомендуется вначале изобразить для наглядности схему противотока с указанием на ней фактических значений температур.

Из схемы несложно убедиться, что максимальный температурный напор $t\delta$ имеет место на горячем конце теплообменника и равен $tB' - tЖ''$, а наименьший температурный напор tM - на холодном его конце, где он равен $tB'' - tЖ'$.

$$t_{\delta} = t_B' - t_{ж}'' = 175,14 - 18 = 157,14$$

$$t_M = t_B'' - t_{ж}' = 20 - 15 = 5$$

Для противотока и прямотока среднелогарифмический температурный напор определяется по выражению

$$t_{CP} = \frac{t_{\delta} - t_M}{\ln \left(\frac{t_{\delta}}{t_M} \right)} = \frac{157,14 - 5}{\ln \left(\frac{157,14}{5} \right)} = 44,13 \quad (2.7)$$

С учетом поправки $\varepsilon_t = 0,9 \dots 0,94$ на смешанный ток

$$t_{CP}' = t_{CP} \cdot \varepsilon_t = 44,13 \cdot 0,92 = 40,60 \quad (2.8)$$

Вычисление поверхности теплообмена

Тепловой расчет завершается определением расчетной поверхности теплообмена аппарата F , м² из уравнения теплопередачи:

$$\bar{F} = \frac{Q}{k \cdot t_{CP}'} = \frac{395,618 \cdot 10^3}{283,85 \cdot 40,60} = 34,33 \quad \text{м}^2 \quad (2.9)$$

2.3 Конструктивный расчет воздухоохладителя компрессора

Определение конструктивных характеристик воздухоохладителя целесообразно проводить в следующей последовательности: «Живое сечение» для прохода воды $F_{жс}$ находится исходя из данного расхода воды $G_{ж}$, ее скорости $W_{жс}$ и ее плотности $\rho_{жс}$. Находим суммарное сечение трубок:

$$F_{\text{Ж}} = \frac{G_{\text{Ж}}}{\rho_{\text{Ж}} \cdot W_{\text{Ж}}} = \frac{29,004}{998,2 \cdot 0,9} = 0,0323 \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

Это сечение определяет число трубок, объединяемых в один ход по воде:

$$n_1 = \frac{4 \cdot F_{\text{Ж}}}{\pi \cdot d_B^2} = \frac{4 \cdot 0,0323}{\pi \cdot 0,012^2} = 285,46 = 286 \quad (2.11)$$

Полученное значение округляют до ближайшего целочисленного значения. «Живое сечение» для прохода воздуха определяется аналогично:

$$F_B = \frac{G_B}{\rho_B \cdot W^B} = \frac{2,5}{0,869 \cdot 10} = 0,2729 \text{ м}^2 \quad (2.12)$$

Затем прорабатываются два варианта компоновки аппарата с расположением труб в 2 и 4 хода по воде ($Z_{\text{Ж}} = 2, 4$) и общим числом трубок:

$$n_{\text{об}2} = Z_{\text{Ж}} \cdot n_1 = 2 \cdot 286 = 572 \quad (2.13)$$

$$n_{\text{об}4} = Z_{\text{Ж}} \cdot n_1 = 4 \cdot 286 = 1144$$

Длина труб в каждом варианте:

$$L_2 = \frac{4 \cdot F_m}{\pi \cdot d^H \cdot n^{\text{об}2}} = \frac{4 \cdot 34,33}{\pi \cdot 0,014 \cdot 572} = 5,46, \text{ м}$$

$$L_4 = \frac{4 \cdot F_m}{\pi \cdot d^H \cdot n^{\text{об}2}} = \frac{4 \cdot 34,33}{\pi \cdot 0,014 \cdot 1144} = 2,73, \text{ м}$$

Диаметр трубного пучка в каждом варианте:

$$D'_{\text{2}} = n_{\text{об}2}^{0,5} \cdot S_2 = 572^{0,5} \cdot 0,028 = 0,67, \text{ м}$$

$$D'_{\text{4}} = n_{\text{об}4}^{0,5} \cdot S_2 = 1144^{0,5} \cdot 0,028 = 0,947, \text{ м}$$

Расстояние между перегородками по воздуху:

$$h_2 = \frac{F_B}{D'^2} \cdot \left(1 - \frac{d^H}{S^2} \right) = \frac{0,2729}{0,670} \cdot \left(1 - \frac{0,014}{0,028} \right) = 0,204, \text{ м}$$

$$h_4 = \frac{F_B}{D'^4} \cdot \left(1 - \frac{d^H}{S^2} \right) = \frac{0,2729}{0,947} \cdot \left(1 - \frac{0,014}{0,028} \right) = 0,144, \text{ м}$$

Если длина трубок теплообменника оказалась не кратной расстоянию между перегородками h , ее округляют до ближайшего большего значения L , кратного h . Тем самым обеспечивается запас поверхности теплообмена на случай ее загрязнения.

Из двух вариантов компоновки (2-х и 4-х ходовой по воде) выбирают тот, в котором коэффициент запаса по поверхности ближе к оптимальному (1,2...1,3), а сам аппарат компактнее.

$$K_{3(2)} = \frac{F'_m}{F_m} = \frac{L'}{L} = \frac{5,502}{5,46} = 1,008$$

$$K_{3(4)} = \frac{F'_m}{F_m} = \frac{L'}{L} = \frac{2,738}{2,73} = 1,003$$

Выбираем вариант с четырьмя заходами.

После этого определяются остальные характеристики теплообменника.

Число ходов по воздуху

$$Z_B = \frac{L'}{h} = \frac{2,738}{0,144} = 27$$

определяем расположение патрубков для подвода и отвода воздуха: при четном числе ходов патрубки располагаются с одной стороны корпуса аппарата, при нечетном с разных

сторон.

Число перегородок по воздуху

$$k = Z_B - 1 = 26$$

Диаметр корпуса D принимается несколько больше, чем диаметр трубного пучка:

$$D = D' + 2 \cdot S_2 = 0,28 + 2 \cdot 0,028 = 0,333, \text{ м}$$

Диаметр подводющих патрубков для воздуха принимается ориентировочно равным

$$d_n > F_B^{0.5} = F_B^{0.5} = 0,2729^{0.5} = 0,5224 \approx 0.50 \text{ м.}$$

Критерии оценки практических работ №1-16:

Максимальное количество баллов – 3.

Оформление отчета со всеми расчетами согласно требованиям - 1 балла;

Защита работы - 2 баллов.

Не зачтено: студент не выполнил лабораторную работу. Количество баллов – 0

7.2.4. Банк тестовых заданий для проведения тестирований

Название банка тестовых заданий	Кол-во заданий в банке тестовых заданий	Разработчики
Основы гидравлики и термодинамики	500	Смоленский Виктор Владимирович

Регламент проведения тестирований

Название банка тестовых заданий	Кол-во заданий, предъявляемых студенту	Номера и наименования разделов теста	Кол-во заданий в разделе	Время на тестирование, мин.
Основы гидравлики и термодинамики	50	Модуль 1	250	60
		Модуль 2	250	

7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр _____ 6 _____

№ п/п	Вопросы к зачету с оценкой (устно)
1.	Определение механики жидкостей и газов. Классификация жидкостей и газов
2.	Основные физические свойства жидкостей и газов. Газовые законы
3.	Силы, действующие в жидкости
4.	Гидростатическое давление и его свойство
5.	Дифференциальное уравнение покоящейся жидкости
6.	Основное уравнение гидростатики в поле земного тяготения
7.	Поверхность равного давления. Закон Паскаля
8.	Виды давления. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности
9.	Относительный покой жидкости. Закон Архимеда
10.	Равновесие газов. Основные уравнения
11.	Основные понятия кинематики жидкости
12.	Основные элементы потока движущейся жидкости
13.	Виды движения жидкости
14.	Уравнение неразрывности потока
15.	Дифференциальное уравнение движения невязкой жидкости
16.	Общее уравнение энергии в интегральной форме
17.	Основное уравнение баланса гидравлических параметров (уравнение Д.Бернулли)
18.	Геометрическая и энергетическая интерпретация уравнения Д.Бернулли
19.	Формы представления уравнения Д.Бернулли для потока реальной жидкости. Уравнение Бернулли для элементарной струйки невязкой сжимаемой жидкости
20.	Режимы течения жидкости, особенности существующих режимов, критерии Рейнольдса
21.	Виды гидравлических сопротивлений. Физические характеристики гидравлических сопротивлений
22.	Сопротивление по длине при движении в цилиндрической трубе при существующих режимах
23.	Формула Дарси-Вейсбаха, ее физический смысл
24.	Течение жидкости в гидравлически гладких и шероховатых трубах. Движение жидкости в трубах некруглого сечения
25.	Местные гидравлические сопротивления. Формулы определения потери напора при прохождении жидкости через местные преграды в трубопроводах. Эквивалентная длина
26.	Зависимость коэффициента местного сопротивления от числа Рейнольдса
27.	Классификация трубопроводов. Гидравлический расчет короткого трубопровода
28.	Гидравлический расчет длинных трубопроводов
29.	Гидравлический удар, Физический смысл и расчетные формулы

№ п/п	Вопросы к зачету с оценкой (устно)
30.	Истечение жидкости из отверстия в тонкой стенке. Основные расчетные формулы
31.	Зависимость коэффициентов истечения от числа Рейнольдса
32.	Истечение из насадков, виды насадков. Основные расчетные формулы
33.	Истечение при переменном напоре и под уровень жидкости
34.	Общие принципы подобия физических явлений
35.	Условия подобия гидродинамических явлений
36.	Основные критерии гидродинамического подобия
37.	Масштабы моделирования
38.	Теплотехника и ее роль в народном хозяйстве. Техническая термодинамика и их глоссарий.
39.	Основные термодинамические параметры состояния рабочего тела. Термическое уравнение состояния.
40.	Термодинамический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Термодинамическая система.
41.	Теплота и работа как формы передачи энергии. Аналитическое выражение и графическое изображение.
42.	Аналитические выражения I начала термодинамики.
43.	Второе начало термодинамики, второй закон термодинамики. Циклы прямые и обратные.
44.	Идеальные газы, их свойства и уравнение состояния.
45.	Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия идеального газа, их вычисление, их физический смысл
46.	Теплоемкость идеального газа. Ее виды и взаимосвязь теплоемкостей.
47.	Исследование изобарного процесса.
48.	Исследование изохорного процесса.
49.	Исследование изотермического процесса.
50.	Исследование адиабатного процесса.
51.	Зависимость между параметрами газа в политропном процессе. Работа внутренней энергии и теплота политропного процесса
52.	Политропные процессы. Их графическое изображение в I-d; и T-S диаграммах.
53.	Соотношение параметров в политропных процессах.
54.	Работа тепла в политропных процессах.
55.	Смеси идеальных газов. Способы задания смеси. Молекулярная масса и газовая постоянная смеси.
56.	Основные уравнения газового потока. Располагаемая работа газа в потоке.
57.	Скорость истечения и расход газа.
58.	Дросселирование газа
59.	Работа и мощность на привод компрессора. Многоступенчатый компрессор. Детандеры
60.	Основные законы идеальных газов.
61.	Реальные газы и пары, их свойства и уравнение состояния.
62.	Сопла, процессы преобразования энергии в них.
63.	Диффузоры, процессы преобразования энергии в них.
64.	Исследование процесса дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона.
65.	Прямые и обратные циклы, их назначение.
66.	Идеальный цикл Карно, его КПД, теорема Карно

7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
6	Зачет с оценкой (по накопительному рейтингу)	«отлично»	85-100 баллов по накопительному рейтингу на образовательном портале
		«хорошо»	70-84 баллов по накопительному рейтингу на образовательном портале
		«удовлетворительно»	55-69 баллов по накопительному рейтингу на образовательном портале
		«неудовлетворительно»	0-54 баллов по накопительному рейтингу на образовательном портале

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак ; под ред. А. В. Лепешкина	Гидравлика и гидропневмопривод : гидравлика	Учебник	2023	ЭБС Znanium
2	В. В. Вербицкий, В. М. Погосян, О. Н. Соколенко	Гидро- и пневмопривод в конструкции тракторов и автомобилей	Учебное пособие	2022	ЭБС Znanium.
3	Высоцкий Л. И.	Параметры продольно-однородных осредненных турбулентных потоков	Учебное пособие	2022	ЭБС "Лань"
4	И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов	Гидравлика	Учебник	2022	ЭБС "ZNANIUM.COM"
5	З. Х. Замалеев, В. Н. Посохин, В. М. Чефанов	Основы гидравлики и теплотехники	учебное пособие	2022	ЭБС "Лань"
6	Петров, А. И.	Техническая термодинамика и теплопередача	Учебник	2023	ЭБС "Лань"
7	Шаров, Ю. И.	Термодинамика и теплопередача	Учебник	2019	ЭБС "Консультант студента"

8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
-------	---------------------	----------------------	---	-------------	--

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Зуйков А. Л.	Гидравлика: Т. 1. Основы механики жидкости	Учебник	2014	ЭБС IPRbooks
2	Новикова А. М., Кудрявцев А. В., Иваненко И. И.	Механика жидкости и газа	Учебное пособие	2014	ЭБС IPRbooks
3	Гиргидов А. Д.	Механика жидкости и газа (гидравлика)	Учебник	2014	ЭБС Znanium
4	Алексеев Г. В., Бриденко И. И.	Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Механика жидкости и газа»	Учебное пособие	2013	ЭБС IPRbooks
5	Крестин Е. А.	Решебник по гидравлике	Учебное пособие	2014	ЭБС IPRbooks
6	Иваненко И. И.	Гидравлика	Учебное пособие	2012	ЭБС "IPRbooks"
7	Кудинов В. А.	Теплотехника	Учебное пособие	2015	ЭБС Znanium.
8	Журавец И. Б., Манойлина С. З.	Конспект лекций по теплотехнике	Учебное пособие	2016	ЭБС "IPRbooks"
9	Мирам А. О., Павленко В. А.	Техническая термодинамика. Тепломассообмен	Учебное пособие	2017	ЭБС "Консультант студента"

8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- WebofScience [Электронный ресурс]: мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: ClarivateAnalytics, 2016–. – Режим доступа: apps.webofknowledge.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Scopus [Электронный ресурс]: реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004–. – Режим доступа: scopus.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Elibrary [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Москва: НЭБ, 2000–. – Режим доступа: elibrary.ru. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- SpringerLink [Электронный ресурс]: [база данных]. – Switzerland: SpringerNature, 1842–. – Режим доступа: link.springer.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
- ScienceDirect [Электронный ресурс]: коллекция электронных книг издательства Elsevier. – Netherlands: Elsevier, 2018–. – Режим доступа: sciencedirect.com. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	Windows: WinPro 10 RUS Upgrd OLP NL Acdmc	договор № 757 от 04.07.2018, срок действия – бессрочно; контракт № 1653 от 14.12.2018, срок действия – бессрочно
2	Office Standard: Office Stdandard 2013 Russian OLP NL AcademicEdition	договор № 690 от 19.05.2015, срок действия – бессрочно
3	Антиплагиат	985/2016 от 06.10.2016
4	Mirapolis Human Capital Management	лицензионный договор № 234/10/21-К от 19.10.2021, срок действия – до 01.03.2022

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Б-209. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	Столы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский, кафедра, доска аудиторная (меловая), экран.
2	С-304. Лаборатория "Гидродинамика".	Стол преподавательский, Столы

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	ученические, стулья, шкаф, доска аудиторная, гидростенд ГС-3, стенд к лаб. работе, пожарный ящик, огнетушитель, жалюзи
3	С-301. Лаборатория "Гидравлика и гидравлические машины"	Стол преподавательские, Столы ученические, стулья, радиатор, доска аудиторная, стенд к лаб. работе №7-11, стенд к лаб. работе №6, стенд к лаб. работе №5, стенд к лаб. работе №3, демонстрационная насосная установка, стенд к лаб. работе №2, шкаф, шкаф металлический, стенд к лаб. работе №4, пожарный ящик, жалюзи.
4	С-302. Лаборатория "Термодинамика и теплопередача". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации.	Стол преподавательские, Столы ученические двухместные, шкаф, доска аудиторная меловая, эл. щит, стулья, стенды к лабораторным работам, компрессор, вентиляция, огнетушитель ОПУ-2_02.
5	Б-214. Лаборатория "Газовая динамика"	стеллаж с наглядными пособиями, стеллаж с лабораторными пособиями, вакуумный привод, столы ученические двухместные (моноблоки), доска аудиторная, турбокомпрессор, вакуумная заслонка, вакуумметр, наглядные пособия, стол преподавательский, стул преподавательский.
6	Г-401. Помещение для самостоятельной работы студентов	Стол ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет

