

406

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

Механико-технологический факультет
Кафедра «Сварочное производство, метрология и технология материалов»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
Д-р техн. наук, проф.
Н.В. Лобов
2017 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«Термодинамика»**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа специалитета

**Специальность 24.05.02 Проектирование авиационных
и ракетных двигателей**

| | |
|--|--|
| Специализация программы специалитета: | «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива» |
| Квалификация выпускника: | «инженер» |
| Выпускающая кафедра: | «Авиационные двигатели» (АД), «Ракетно-космическая техника и Энергетические системы» (РКТЭС) |
| Форма обучения: | очная |

Курс: 2

Семестр(ы): 4

Трудоёмкость:

| | |
|--------------------------------------|-------|
| Кредитов по рабочему учебному плану: | 4 ЗЕ |
| Часов по рабочему учебному плану: | 144 ч |

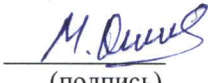

Виды контроля: Диф. зачёт в 4 семестре; курсовая работа в 4 семестре

Пермь, 2017 г.


Учебно-методический комплекс дисциплины «Термодинамика» разработан на основании:

- самостоятельно устанавливаемого образовательного стандарта высшего образования по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, рассмотренного и одобренного Учёным советом вуза 30 марта 2017 г., утвержденного приказом ректора от 03 апреля 2017 г., номер приказа 24-о;
- компетентностных моделей выпускника ОПОП по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок» и «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утверждённых 03 апреля 2017 г.;
- базовых учебных планов очной формы обучения по специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок» и «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива», утверждённых 03 апреля 2017 г.


Рабочая программа согласована с рабочими программами дисциплин Б1.Б.08 «Математика», Б1.Б.09 «Уравнения математической физики», Б1.Б.11 «Физика», Б1.Б.12 «Теоретическая механика», Б1.Б.14 «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», Б1.Б.15 «Сопrotивление материалов», Б1.Б.16 «Детали машин и основы конструирования», Б1.Б.17 «Теория механизмов и машин», Б1.Б.20 «Электротехника и электроника», Б1.Б.21 «Термодинамика», Б1.Б.22 «Теплопередача», Б1.Б.29 «Конструкция и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», Б1.В.04 «Системы автоматизированного проектирования», Б1.В.05 «Аэродинамика и летательные аппараты», Б1.В.12 «Экономика предприятия и отрасли», Б1.В.11 «Научно-исследовательская работа студента», Б1.В.14 «Управление проектированием и производством авиационных двигателей и энергетических установок», Б1.ДВ.02.1 «Математическое моделирование авиационных двигателей», Б2.Б.05 «Производственная практика (стажировка научно-инженерная)», участвующих в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

| | | | |
|-------------|--|---|--|
| Разработчик | <u>канд техн.наук., доц.</u> |  (подпись) | <u>М.А.Ошивалов</u> (инициалы, фамилия) |
| Рецензент | <u>канд техн.наук., доц.</u> (учёная степень, звание) |  (подпись) | <u>К.С.Галаягин</u> (инициалы, фамилия) |


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» «10» октября 2017 г., протокол № 3.

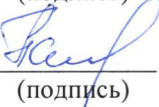
Заведующий кафедрой «Сварочное производство, метрология и технология материалов», д-р техн. наук, проф. 
(ученая степень, звание) (подпись) Ю.Д.ШИЦЫН
(инициалы, фамилия)


Рабочая программа одобрена учебно-методической комиссией Механико-технологического факультета «01» 11 2017 г., протокол № 5.

Председатель учебно-методической комиссии Механико-технологического факультета канд. пед. наук, доц. 
(ученая степень, звание) (подпись) Е.А.Синкина
(инициалы, фамилия)

Согласовано:

Заведующий выпускающей кафедрой «Авиационные двигатели» д-р техн. наук, проф. 
(ученая степень, звание) (подпись) А.А.Иноземцев
(инициалы, фамилия)

Заведующий выпускающей кафедрой «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» д-р техн. наук, проф. 
(ученая степень, звание) (подпись) М.И.Соколовский
(инициалы, фамилия)

Начальник управления образовательных программ канд. техн. наук, доц. 
(ученая степень, звание) (подпись) Д.С.Репецкий
(инициалы, фамилия)

1 Общие положения

1.1 Цель учебной дисциплины:

– приобретение комплекса знаний о теоретических основах преобразования энергии, законах термодинамики, формирование умений и навыков термодинамического исследования рабочих процессов в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива.

В процессе изучения данной дисциплины студент осваивает следующие профессиональные компетенции АПК.ПК-1, АПК.НИ-1:

- способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования (АПК.ПК-1);
- способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности (АПК.НИ-1).

1.2 Задачи учебной дисциплины:

• формирование знаний

- основные физические положения, законы термодинамики, описывающие рабочий процесс в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива;
- основные термодинамические свойства и параметры состояния идеальных газов;
- термодинамические процессы и циклы;
- принцип действия и устройства тепловых двигателей и других теплотехнических устройств;

• формирование умений

- применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива;
- проводить теплотехнические измерения, обрабатывать результаты измерений с применением компьютерной техники;
- определять основные свойства рабочих тел;

• формирование навыков

- навыками проведения тепловых расчетов рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива;
- навыками проведения теплотехнических измерений, обработки и анализа результатов.

1.3 Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты:

- основные законы термодинамики,
- термодинамические процессы и циклы,
- свойства рабочих тел (газов и паров),
- основы расчета тепловых двигателей;
- основы физического и математического моделирования теплофизических процессов

1.4 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Термодинамика» относится к базовой части блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной при освоении ОПОП по специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализациям «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива».

В таблице 1.1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций, заявленных в пункте 1.1.

Таблица 1.1 – Дисциплины, направленные на формирование компетенций

| Код | Наименование компетенции | Предшествующие дисциплины | Последующие дисциплины |
|-------------------------------------|--|--|---|
| Профессиональные компетенции | | | |
| АПК.ПК-1 | Способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования | Б1.Б.14 «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», Б1.Б.15 «Сопротивление материалов», Б1.Б.17 «Теория механизмов и машин» | Б1.Б.16 «Детали машин и основы конструирования», Б1.Б.22 «Теплопередача», Б1.В.04 «Системы автоматизированного проектирования», Б1.ДВ.02.1 «Математическое моделирование авиационных двигателей» |
| АПК.НИ-1 | Способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности | Б1.Б.08 «Математика», Б1.Б.09 «Уравнения математической физики», Б1.Б.11 «Физика», Б1.Б.12 «Теоретическая механика», Б1.Б.21 «Термодинамика» | Б1.Б.20 «Электротехника и электроника», Б1.Б.22 «Теплопередача», Б1.В.11 «Научно-исследовательская работа студента», Б1.ДВ.02.1 «Математическое моделирование авиационных двигателей», Б2.Б.05 «Производственная практика (стажировка научно-инженерная)» |

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций АПК.ПК-1, АПК.НИ-1.

2.1 Дисциплинарная карта компетенции АПК.ПК-1

| | |
|---------------------------------|--|
| Код АПК.ПК-1 | Формулировка компетенции: способность принимать участие в работах по расчёту и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок летательных аппаратов в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования |
| Код АПК.ПК-1.Б1.Б.21 | Формулировка дисциплинарной части компетенции: способность рассчитывать термодинамические рабочие процессы авиационных двигателей и энергетических установок, ракетных двигателей твердого топлива |

Требования к компонентному составу части компетенции

| Перечень компонентов | Виды учебной работы | Средства оценки |
|--|---|--|
| Знать: – основные свойства и параметры состояния идеальных газов; – основные виды термодинамических процессов и циклов; – основные физические положения, законы термодинамики; – основные закономерности термодинамических процессов в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива | Лекции. Самостоятельная работа. | Вопросы рубежных контрольных работ. Вопросы к диф.зачету. |
| Уметь: – проводить термодинамические расчеты рабочих процессов, прямых и обратных циклов – определять основные свойства рабочих тел; – применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках | Практические занятия. Лабораторные работы. Курсовая работа. | Задания к практическим занятиям Отчёты по практическим заданиям. Отчёты по лабораторным работам. Курсовая работа. |
| Владеть: – навыками проведения тепловых расчетов рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива | Практические занятия. Лабораторные работы. Курсовая работа. | Отчёты по практическим заданиям. Отчёты по лабораторным работам. Курсовая работа. |

2.2 Дисциплинарная карта компетенции АПК.НИ-1

| | |
|-------------------------|--|
| Код АПК.НИ-1 | Формулировка компетенции: способность творчески применять математические, естественнонаучные, профессиональные и специальные знания для подготовки и постановки в полном объёме задач научных исследований процессов, явлений и объектов в профессиональной сфере деятельности |
|-------------------------|--|

| | |
|--------------------------------------|--|
| Код АПК.НИ- 1.Б1.Б.21 | Формулировка дисциплинарной части компетенции: способность разрабатывать и применять физические и математические модели к анализу термодинамических процессов в узлах и элементах двигателей |
|--------------------------------------|--|

Требования к компонентному составу части компетенции

| Перечень компонентов | Виды учебной работы | Средства оценки |
|--|--|---|
| Знать: – принцип действия и устройства тепловых двигателей и других теплотехнических устройств; – основные методы, применяемые для расчета термодинамических процессов; – основы построения физических и математических моделей термодинамических процессов. | Лекции. Практические занятия. Самостоятельная работа. | Вопросы рубежных контрольных работ. Вопросы к диф.зачету. Тестовые вопросы по ЛР. Отчёты по практическим заданиям. |
| Уметь: – формулировать, обосновывать и описывать физические и математические модели термодинамических явлений; – проводить теплотехнические измерения, обрабатывать результаты измерений с применением компьютерной техники. | Практические занятия. Лабораторные работы. Самостоятельная работа. | Вопросы к диф.зачету. Тестовые вопросы по ЛР. Отчёты по практическим заданиям. Отчёты по лабораторным работам. |
| Владеть: – навыками применения физических и математических моделей для анализа термодинамических явлений в авиационных и ракетных двигателях и энергетических установках. | Лабораторные работы. Самостоятельная работа. | Отчёты по практическим заданиям. Отчёты по лабораторным работам. |

3 Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объем дисциплины в зачетных единицах составляет 4 ЗЕ. Количество часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Объём и виды учебной работы

| № п.п. | Виды учебной работы | Трудоёмкость 4 семестр |
|--------|---|---------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Аудиторная (контактная) работа | 72 |
| | – лекции (Л) | 32 |
| | – лабораторные работы (ЛР) | 18 |
| | – практические занятия (ПЗ) | 18 |
| | Контроль самостоятельной работы (КСР) | 4 |
| 2 | Самостоятельная работа студентов (СРС) | 72 |
| | – изучение теоретического материала | 30 |
| | – подготовка к лабораторным занятиям | 4 |
| | – подготовка отчётов по лабораторным работам | 10 |
| | – выполнение практических заданий и подготовка отчётов по практическим занятиям | 10 |
| | – курсовая работа | 18 |
| 3 | Итоговый контроль (промежуточная аттестация обучающихся) по дисциплине: Диф. зачет | |
| 4 | Трудоёмкость дисциплины, всего: | |
| | в часах (ч) | 144 |
| | в зачётных единицах (ЗЕ) | 4 |

4 Содержание учебной дисциплины

4.1 Модульный тематический план

Таблица 4.1 – Тематический план по модулям учебной дисциплины

| Номер учебного модуля | Номер раздела дисциплины | Номер темы дисциплины | Количество часов (очная форма обучения) | | | | | Итоговый контроль | Самостоятельная работа | Трудоёмкость, ч / ЗЕ |
|---------------------------------|--------------------------|-----------------------|---|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|------------------------|----------------------|
| | | | аудиторная работа | | | | всего | | | |
| | | | Л | ПЗ | ЛР | КСР | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 9 | 4 | 2 | 3 | | 6 | 15 | |
| | | 2 | 11 | 4 | 2 | 4 | 1 | 10 | 21 | |
| | | 3 | 7 | 4 | 2 | | 1 | 6 | 13 | |
| | Всего по модулю: | | 27 | 12 | 6 | 7 | 2 | 22 | 49 / 1,36 | |
| 2 | 2 | 4 | 10 | 4 | 2 | 4 | | 8 | 18 | |
| | | 5 | 7 | 4 | 2 | | 1 | 8 | 15 | |
| | | 6 | 10 | 5 | 4 | | 1 | 18 | 28 | |
| | | 7 | 16 | 5 | 4 | 7 | | 10 | 26 | |
| | | 8 | 2 | 2 | | | | 6 | 8 | |
| | Всего по модулю: | | 45 | 20 | 12 | 11 | 2 | 50 | 95 / 2,64 | |
| Промежуточная аттестация | | | | | | | Диф. зачет | | | |
| Итого: | | | 72 | 32 | 18 | 18 | 4 | 0 | 72 | 144 / 4 |

4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Модуль 1. Основные законы термодинамики.

Раздел 1. Основные законы термодинамики.

Л – 12 ч, ЛР – 7 ч, ПЗ – 6, СРС – 22 ч, КСР – 2 ч.

Тема 1. **Рабочее тело и его параметры.** Предмет и задачи курса термодинамики и ее метод. Исторические сведения о развитии термодинамики. Законы термодинамики. Термодинамическая система, окружающая среда и взаимодействие между ними. Термодинамическое равновесие и термодинамический процесс. Рабочее тело. Реальный газ и модель идеального газа. Основные параметры состояния. Законы идеального газа. Уравнения состояния для идеального и реального газов (Клапейрона и Ван-Дер-Ваальса). Тепловые свойства рабочих тел, газовая постоянная. Теплоемкость газов, ее виды и взаимосвязь между ними. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Истинная и средняя теплоемкости. Теплоемкость как функция процесса. Изохорная и изобарная теплоемкости, уравнение Майера. Внутренняя энергия и энтальпия газа. Смеси идеальных газов. Способы задания смеси газов, закон Дальтона. Определение плотности смеси, кажущейся относительной молярной массы и газовой постоянной. Теплоемкость смеси газов.

Тема 2. **Первый закон термодинамики.** Сущность и уравнение первого закона термодинамики. Слагаемые первого закона: внутренняя энергия, работа и теплота. Определение работы для газового потока и неподвижного газа. Математическая формулировка первого закона для газового потока и неподвижного газа, правило знаков. Равновесные термодина-

мические процессы и их графическое изображение в P-V диаграмме. Работа расширения-сжатия. Обратимые и необратимые процессы. Круговые термодинамические процессы (циклы). Первый закон термодинамики для цикла. Применение первого закона термодинамики для анализа политропных процессов. Уравнение политропы, показатель политропы, определение работы и теплоты. Теплоемкость процесса. Частные случаи политропного процесса: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы. P-V диаграмма политропных процессов.

Тема 3. Второй закон термодинамики. Различные формулировки второго закона термодинамики. Прямые и обратные циклы и их эффективность. Идеальный термодинамический цикл Карно и его к.п.д. Теорема Карно. Абсолютная температура. Отрицательные абсолютные температуры и их получение. Энтропия - параметр состояния. Энтропия - мера беспорядка и мера качества энергии. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики. Эксергия и максимальная работа. Статистический характер второго закона термодинамики. Термодинамическая вероятность. Уравнение Больцмана. Фундаментальный характер второго закона термодинамики. Иллюстрация второго закона термодинамики на примерах. Тепловые диаграммы T-S и I-S. Изображение процессов на тепловых диаграммах.

Модуль 2. Расчет и анализ циклов тепловых двигателей и других теплотехнических устройств.

Раздел 2. Расчет и анализ циклов тепловых двигателей и других теплотехнических устройств.

Л – 20 ч, ЛР - 11 ч, ПЗ – 12, СРС – 50 ч, КСР – 2 ч.

Тема 4. Компрессоры. Классификация компрессоров и их применение. Рабочие процессы в одноступенчатом поршневом компрессоре и их изображение на индикаторной диаграмме. Работа идеального компрессора. Изображение процессов сжатия на термодинамических диаграммах. Реальный компрессор. Вредный объем и объемный к.п.д. компрессора. Многоступенчатое сжатие газа в компрессоре.

Тема 5. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Индикаторная диаграмма ДВС и переход к идеальному циклу. Цикл Тринклера. Параметры цикла и его термодинамическое исследование. Цикл Отто. Цикл Дизеля. Определение параметров состояния рабочего тела, термического к.п.д. циклов. Сравнение циклов при различных условиях. Эффективный к.п.д.

Тема 6. Циклы газотурбинных установок. Схемы газотурбинных установок. Замкнутые и разомкнутые циклы. Циклы с изобарным (цикл Брайтона) и изохорным подводом теплоты. Определение параметров состояния рабочего тела. Расчет термического к.п.д. циклов. Анализ эффективности ГТУ. Оптимальная степень повышения давления для получения максимальной цикловой работы. Регенерация теплоты. Циклы с многоступенчатым подводом и отводом теплоты.

Тема 7. Циклы паросиловых установок. Водяной пар. Основные параметры воды и водяного пара. Теплота парообразования. Диаграммы состояния водяного пара P - V, T - S, I - S. Таблицы водяного пара. Цикл Ренкина. Определение термического к.п.д. и работы цикла. Регенеративный цикл ПСУ. Анализ эффективности циклов. Бинарные процессы и бинарные циклы. Схема установки и тепловая диаграмма цикла. Кратность рабочего тела. Определение термического к.п.д. цикла. Парогазовые установки (ПГУ). Изображение циклов ПГУ на тепловой диаграмме. Цикл МГД-генератора.

Тема 8. Идеальные обратные циклы. Цикл воздушной холодильной установки. Определение холодильного коэффициента. Цикл паровой компрессорной холодильной установки. Тепловой насос и его отопительный коэффициент.

4.3 Перечень тем практических занятий

Таблица 4.2 – Темы практических занятий

| № п.п. | Номер темы дисциплины | Наименование темы практического занятия |
|--------|-----------------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | 1 | Определение параметров состояния идеального газа. Расчет истинных и средних теплоемкостей газовых смесей. |
| | 2 | Решение задач с применением первого закона термодинамики. Расчет политропных процессов. |
| | 3 | Расчет изменения энтропии в термодинамических процессах. |
| 2 | 4 | Расчет рабочих процессов в одноступенчатом и многоступенчатом идеальных компрессорах. Изображение процессов сжатия на термодинамических диаграммах. |
| 3 | 5 | Термодинамические расчеты циклов двигателей внутреннего сгорания. |
| 4 | 6 | Термодинамические расчеты циклов газотурбинных установок и воздушно-реактивных двигателей. |
| 5 | 7 | Термодинамические расчеты циклов паросиловых установок. Расчет комбинированных циклов. |

4.4 Перечень тем лабораторных работ

Таблица 4.3 – Темы лабораторных работ

| № п.п. | Номер темы дисциплины | Наименование темы лабораторной работы |
|--------|-----------------------|---|
| 1 | Тема 1 | Определение температурной зависимости теплоемкости жидкости |
| 2 | Тема 2 | Исследование политропных процессов |
| 3 | Тема 4 | Исследование работы компрессора |
| 4 | Тема 7 | Определение параметров влажного воздуха |
| 5 | Тема 7 | Определение скрытой теплоты парообразования |

5. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по лабораторным работам и пояснительной записки к курсовой работе, строго выполнять методические указания по их оформлению.
4. Изучение дисциплины осуществляется в течение двух семестров, график изучения дисциплины приводится в п.7.
5. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. При выполнении курсовой работы особое внимание уделить междисциплинарным связям в вопросах конструкции лопаточных машин и компоновки проточной части, прочностного состояния основных элементов лопаточных машин.

Таблица 5.1 – Виды самостоятельной работы студентов (СРС)

| Номер темы дисциплины | Вид самостоятельной работы студентов | Трудоёмкость, часов |
|-----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Подготовка к практическим занятиям | 1 |
| | Подготовка к лабораторным работам | 1 |
| | Изучение теоретического материала | 2 |
| | Подготовка курсовой работы | 2 |
| 2 | Подготовка к практическим занятиям | 3 |
| | Подготовка к лабораторным работам | 3 |
| | Изучение теоретического материала | 4 |
| 3 | Подготовка к практическим занятиям | 3 |
| | Изучение теоретического материала | 3 |
| 4 | Подготовка к практическим занятиям | 2 |
| | Подготовка к лабораторным работам | 2 |
| | Изучение теоретического материала | 4 |
| 5 | Подготовка к практическим занятиям | 4 |
| | Изучение теоретического материала | 4 |
| 6 | Подготовка к практическим занятиям | 1 |
| | Изучение теоретического материала | 1 |
| | Подготовка курсовой работы | 16 |
| 7 | Подготовка к практическим занятиям | 3 |
| | Подготовка к лабораторным работам | 2 |
| | Изучение теоретического материала | 5 |
| 8 | Изучение теоретического материала | 6 |
| | Итого: в ч / в ЗЕ | 72 / 2 |

5.1. Тематика для самостоятельного изучения дисциплины

Модуль 1. Основные законы термодинамики.

Раздел 1. Основные законы термодинамики.

Тема 1. Рабочее тело и его параметры. Зависимость теплоемкости от температуры и давления. Истинная и средняя теплоемкости. Теплоемкость как функция процесса. Изохорная и изобарная теплоемкости, уравнение Майера. Внутренняя энергия и энтальпия газа. Смеси идеальных газов. Способы задания смеси газов, закон Дальтона. Определение плотности смеси, кажущейся относительной молярной массы и газовой постоянной. Теплоемкость смеси газов.

Тема 2. Первый закон термодинамики. Математическая формулировка первого закона для газового потока и неподвижного газа, правило знаков. Равновесные термодинамические процессы и их графическое изображение в P-V диаграмме. Работа расширения-сжатия. Обратимые и необратимые процессы. Круговые термодинамические процессы (циклы). Первый закон термодинамики для цикла. Частные случаи политропного процесса: изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы. P-V диаграмма политропных процессов.

Тема 3. Второй закон термодинамики. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики. Эксергия и максимальная работа. Статистический характер второго закона термодинамики. Термодинамическая вероятность. Уравнение Больцмана. Фундаментальный характер второго закона термодинамики. Иллюстрация второго закона термодинамики на примерах. Тепловые диаграммы T-S и I-S. Изображение процессов на тепловых диаграммах.

Модуль 2. Расчет и анализ циклов тепловых двигателей и других теплотехнических устройств.

Раздел 2. Расчет и анализ циклов тепловых двигателей и других теплотехнических устройств.

Тема 4. Компрессоры. Изображение процессов сжатия на термодинамических диаграммах. Реальный компрессор. Вредный объем и объемный к.п.д. компрессора. Многоступенчатое сжатие газа в компрессоре.

Тема 5. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Определение параметров состояния рабочего тела, термического к.п.д. циклов. Сравнение циклов при различных условиях. Эффективный к.п.д.

Тема 6. Циклы газотурбинных установок. Анализ эффективности ГТУ. Оптимальная степень повышения давления для получения максимальной цикловой работы. Регенерация теплоты. Циклы с многоступенчатым подводом и отводом теплоты.

Тема 7. Циклы паросиловых установок. Бинарные процессы и бинарные циклы. Схема установки и тепловая диаграмма цикла. Кратность рабочего тела. Определение термического к.п.д. цикла. Парогазовые установки (ПГУ). Изображение циклов ПГУ на тепловой диаграмме. Цикл МГД-генератора.

Тема 8. Идеальные обратные циклы. Цикл воздушной холодильной установки. Определение холодильного коэффициента. Цикл паровой компрессорной холодильной установки. Тепловой насос и его отопительный коэффициент.

5.2. Курсовая работа

Тема курсовой работы: «Расчет цикла газотурбинного двигателя (ГТД)».

Исходные числовые данные для расчета, вид цикла газотурбинного двигателя определяются персональным вариантом задания на выполнение курсовой работы и обновляются ежегодно. Состав исходных данных приведен в методических указаниях по выполнению курсовой работы.

Содержание курсовой работы.

В курсовой работе предусматривается выполнение следующих расчетов:

- проведение предварительных расчетов по определению параметров рабочего тела и цикла;
- определение термодинамических параметров в характерных точках цикла;
- изображение цикла на рабочей и тепловой диаграммах;
- определение работы цикла и термического к.п.д.;
- оценка влияния различных параметров на показатели цикла.

Выполненные расчеты представляются для защиты в виде расчетно-пояснительной записки объемом 10-15 страниц.

5.3. Реферат

Реферат не предусмотрен.

5.4. Расчетно-графические работы

Расчетно-графические работы не предусмотрены.

5.5. Индивидуальное задание

Индивидуальное задание не предусмотрено.

5.6 Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области; формируются группы (команды); каждое практическое занятие проводится по своему алгоритму. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем; отработка командных навыков взаимодействия; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором учащиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности учащихся на достижение целей занятия. Защита лабораторных работ проводится в режиме тестирования, с контролем уровня подготовленности по теоретическим и практическим вопросам лабораторных работ.

6 Фонд оценочных средств дисциплины

6.1 Текущий и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в указанных ниже формах.

- Контроль выполнения практических заданий и подготовки отчётов по практическим заданиям.
- Текущие контрольные работы для оценки знаний по темам.
- Контроль выполнения лабораторных работ и подготовки отчётов по лабораторным работам.

6.2 Рубежный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится по окончании модулей дисциплины в указанных ниже формах.

- Рубежные контрольные работы для анализа усвоения теоретического материала. Всего предусмотрено 2 рубежных контрольных работ (модуль 1, модуль 2).

Тематика рубежных контрольных работ:

- контрольная работа 1 (модуль 1): основные понятия и определения, законы термодинамики, термодинамические процессы в идеальных газах;
- контрольная работа 2 (модуль 2): циклы двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и паротурбинных установок;
 - тестирование по теоретическим и практическим вопросам лабораторных работ.
 - защита курсовой работы.

6.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

1) Дифференцированный зачёт.

Условия проставления зачёта по дисциплине:

– зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого промежуточного контроля и при выполнении практических заданий, защиты отчётов по лабораторным работам и практическим заданиям, успешного прохождения рубежного контроля.

2) Экзамен.

Не предусмотрен.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания к практическим занятиям и лабораторным работам, контрольные работы, критерии оценивания, перечень контрольных точек и таблицу планирования результатов обучения, позволяющие оценить результаты освоения данной дисциплины, входят в состав РПД в виде приложения.

6.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Таблица 6.1 - Виды контроля освоения элементов и частей компетенций

| Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы) | Вид контроля | | | | |
|---|-------------------------|-----|------------|---|--------------------------|
| | Текущий и промежуточный | | Рубежный | | Промежуточная аттестация |
| | ОПЗ | ОЛР | РКР | Т | Диф.зачет |
| Усвоенные знания | | | | | |
| 3.1 – основные свойства и параметры состояния идеальных газов; – основные физические положения, законы термодинамики; – основные виды термодинамических процессов и циклов; – основные закономерности термодинамических процессов в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива. | ОПЗ 1-5 | | РКР 1-3 | | ТВ |
| 3.2 – принцип действия и устройства тепловых двигателей и других теплотехнических устройств; – основные методы, применяемые для расчета термодинамических процессов; – основы построения физических и математических моделей термодинамических процессов. | ОПЗ 1-5 | | РКР 4-8 | | ТВ |

| Освоенные умения | | | | | |
|---|------------|------------|----|---|----|
| У.1 – проводить термодинамические расчеты рабочих процессов, прямых и обратных циклов – определять основные свойства рабочих тел; – применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках. | ОПЗ 1-5 | ОЛР 1-5 | | Т | ТВ |
| У.2 – формулировать, обосновывать и описывать физические и математические модели термодинамических явлений; – проводить теплотехнические измерения, обрабатывать результаты измерений с применением компьютерной техники. | ОПЗ 1-5 | ОЛР 1-5 | | Т | ТВ |
| Приобретенные владения | | | | | |
| В.1 – навыками проведения тепловых расчетов рабочего процесса в авиационных двигателях и энергетических установках, ракетных двигателях твердого топлива | ОПЗ 1-5 | ОЛР 1-5 | КЗ | | ТВ |
| В.2 – навыками применения физических и математических моделей для анализа термодинамических явлений в авиационных и ракетных двигателях и энергетических установках. | ОПЗ 1-5 | ОЛР 1-5 | КЗ | | |

Примечание:

ОПЗ – выполнение практических заданий с подготовкой и защитой отчёта (оценка знаний, умений и владений);

РКР – рубежные контрольные работы (контроль знаний по теме);

ОЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой и защитой отчёта (оценка умений и владений);

Т – рубежное тестирование;

ТВ – теоретический вопрос;

КЗ – комплексное задание курсовой работы.

7 График учебного процесса по дисциплине

Таблица 7.1 – График учебного процесса по дисциплине

| Вид работы | Распределение часов по учебным неделям (4 семестр) | | | | | | | | | | | | | | | | | Ито- го, час | |
|--|--|----|----|----|-------------|----|----|----|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|--------------------|----------------|
| | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | | 41 |
| Раздел: | P1 | | | | P1,2 | | | | P2 | | | | | | | | | | |
| Лекции | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 32 |
| Лаборатор- ные работы (ЛР) | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | 18 |
| Практиче- ские занятия (ПЗ) | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 18 |
| КСР | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | 2 | 4 |
| Подготовка к занятиям (ПЗ,ЛР) | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | 24 |
| Самостоя- тельное изу- чение мате- риала | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | | 30 |
| Курсовая ра- бота | | | | | | | | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 18 |
| Модуль: | M1 | | | | M1,2 | | | | M2 | | | | | | | | | 144 | |
| Контр. тес- тирование по лаборатор- ным работам | | | | + | | | | | + | | | | | + | | | | | + |
| Дисциплин. контроль | | | | | | | | | | | | | | | | | | | дифф. зачет |

8 Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

8.1 Карта обеспеченности дисциплины учебно-методической литературой

| | | |
|--|--|-------------------------------------|
| Б1.Б.21 Термодинамика | БЛОК 1. Дисциплины (модули) | |
| (индекс и полное название дисциплины) | (цикл дисциплины) | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | базовая часть цикла | <input checked="" type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> | вариативная часть цикла | <input type="checkbox"/> |
| | | обязательная |
| | | по выбору студента |
| 24.05.02 | «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», специализации «Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок», «Проектирование ракетных двигателей твердого топлива» | |
| (код направления подготовки / специальности) | (полное название направления подготовки / специальности) | |
| АРД / АД_с, РД_с | Уровень подготовки | <input checked="" type="checkbox"/> |
| (аббревиатура направления / специальности) | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

8.2. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

| № | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке + кафедре; местонахож- дение элек- тронных из- даний |
|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Основная литература | | |
| 1 | Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие для вузов. 4-е изд., стер.-М.:Аз-book, 2008-2009.-469 с.:ил.- Прил.:с.452-462.-Библиогр.: с.463. | 470 |
| 2 | Луканин В.Н., Шатров М.Г., Камфер Г.М. и др. Теплотехника: Учеб. для вузов. -4-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2005-2009. – 671 с. | 335 |
| 2 Дополнительная литература | | |
| 2.1 Учебные и научные издания | | |
| 1 | С.И. Исаев. Термодинамика: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2000. – 413 с. | 39 |
| 2 | Г.А. Мухачёв, В.К. Щукин. Термодинамика и теплопередача: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1991. – 480 с. | 360 |
| 3 | К.С. Галягин, Т.А. Ульрих, Е.И. Вахрамеев, В.А. Гордеев, И.П. Лошманов, М.А. Ошивалов, Ю.А. Селянинов. Теоретические основы теплотехники. Методические указания по выполнению лабораторных работ. – Пермь, Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 48 с. | 100 (на кафедре) |
| 2.2 Периодические издания | | |
| Не предусмотрены | | |
| 2.3 Нормативно-технические издания | | |
| Не предусмотрены | | |
| 2.4 Официальные издания | | |
| Не предусмотрены | | |
| 2.5 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины | | |
| 1 | Электронная библиотека Научной библиотеки Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных электрон. документов изданных в Изд-ве ПНИПУ]. – Электрон. дан. (1 912 записей). – Пермь, 2014- . – Режим доступа: http://elib.pstu.ru/ . – Загл. с экрана. | |
| 2 | Лань [Электронный ресурс : электрон.-библ. система : полнотекстовая база данных электрон. документов по гуманит., естеств., и техн. наукам] / Изд-во «Лань». – Санкт-Петербург : Лань, 2010- . – Режим доступа: http://e.lanbook.com/ . – Загл. с экрана. | |
| 3 | Консультант Плюс [Электронный ресурс : справочная правовая система : документы и комментарии : универсал. информ. ресурс]. – Версия Проф, сетевая. – Москва, 1992– . – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, свободный | |

8.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.3.1 Перечень программного обеспечения, в том числе компьютерные обучающие и контролирующие программы

Таблица 8.1 – Программы, используемые для обучения и контроля

| № п.п. | Вид учебного занятия | Наименование программного продукта | Рег. номер | Назначение |
|--------|----------------------|------------------------------------|------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | | Не предусмотрены | | |

8.3.2 Аудио- и видео-пособия

Таблица 8.2 – Используемые аудио- и видео-пособия

| Вид аудио-, видео-пособия | | | | Наименование учебного пособия |
|---------------------------|------------|--------|---------------|-------------------------------|
| теле-фильм | кино-фильм | слайды | аудио-пособие | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| – | – | – | – | Не предусмотрены |

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

9.1. Специализированные лаборатории и классы

Таблица 9.1 – Специализированные лаборатории и классы

| № п.п. | Помещения | | | Площадь, м ² | Количество посадочных мест |
|--------|---------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|----------------------------|
| | Название | Принадлежность (кафедра) | Номер аудитории | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Лаборатория термодинамики | Кафедра СПМиТМ | 222 к.А | 60 | 15 |
| 2 | Компьютерный класс | Кафедра СПМиТМ | 220 к.А | 18 | 5 |

9.2 Основное учебное оборудование

Таблица 9.2 – Учебное оборудование

| № п.п. | Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката) | Кол-во, ед. | Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.) | Номер аудитории |
|--------|--|-------------|--|-----------------|
| 1 | Лабораторная установка по исследованию политропных процессов | 3 | оперативное управление | 222 к.А |
| 2 | Лабораторная установка по исследованию работы компрессора | 3 | оперативное управление | 222 к.А |
| 3 | Измеритель теплоемкости | 1 | оперативное управление | 222 к.А |
| 4 | Компьютеры | 5 | оперативное управление | 220 к.А |

Лист регистрации изменений

| № п.п. | Содержание изменения | Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой |
|-------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |