

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

"Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Козорез Д.А.

3 июля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (000197775)

Термодинамика

(указывается наименование дисциплины по учебному плану)

| | |
|--|---|
| Направление подготовки | 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов |
| Квалификация выпускника | Бакалавр |
| Профиль подготовки | Технология производства авиационных ГТД |
| Форма обучения | очно-заочная (очно, очно-заочное, заочное) |
| Выпускающая кафедра | ТПАД |
| Обеспечивающая кафедра | ТПАД |
| Кафедра-разработчик рабочей программы | ТПАД |

| Семестр | З.Е. | Трудоемкость, час. | Лекций, час. | Практич. занятий, час. | Лаборат. работ, час. | СРС, час | Экзамен- нов, час. | Форма промежуточног о контроля |
|---------|------|-----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------|-----------------------|--------------------------------------|
| 5 | 4 | 144 | 16 | 0 | 16 | 76 | 36 | Э |
| Итого | 4 | 144 | 16 | 0 | 16 | 76 | 36 | |

Москва

2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы рабочей программы

1. Цели освоения дисциплины. Перечень планируемых результатов обучения.
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
3. Структура и содержание дисциплины.
4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.
5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.
8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Прикрепленные файлы

Программа составлена в соответствии с требованиями СУОС МАИ, разработанного на основе ФГОС ВО (3++) по направлению 24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

Авторы программы:

Бабин С.В.

Заведующий обеспечивающей кафедрой ТПАД

Программа одобрена:

Заведующий выпускающей кафедрой
ТПАД

Директор выпускающего филиала СТ

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.

Целью освоения дисциплины Термодинамика является достижение следующих результатов освоения(РО):

| N | Шифр | Результат обучения |
|----|---------------|---|
| 1 | В-3(ОПК-1.3) | Владеть навыками решения задач механики, термодинамики, электродинамики, квантовой физики |
| 2 | 3-4(ОПК-2.1) | Знать, как применить основные законы термодинамики для оценки энергетических величин при исследовании рабочего процесса |
| 3 | У-2(ОПК-2.1) | Уметь применять основные законы термодинамики для оценки энергетических величин при исследовании рабочего процесса |
| 4 | В-2(ОПК-2.1) | Владеть знаниями необходимыми для решения задач термодинамики в области общетехнических дисциплин |
| 5 | В-3(ОПК-2.1) | Владеть знаниями необходимыми для решения задач теплопередачи в области общетехнических дисциплин |
| 6 | 3-1(ОПК-2.2) | Знать основные законы термодинамики и методы определения параметров состояния рабочего тела |
| 7 | У-1(ОПК-2.2) | Уметь применять основные законы термодинамики при расчете параметров состояния рабочего тела |
| 8 | В-1(ОПК-2.2) | Владеть навыками расчета термодинамических характеристик рабочего тела |
| 9 | 3-4(ОПК-2.3) | Знать основные законы термодинамики и методы определения характеристик газовой смеси и прямого газового цикла |
| 10 | У-4(ОПК-2.3) | Уметь применять основные законы термодинамики при расчете термодинамических характеристик газовой смеси и прямого газового цикла |
| 11 | В-5(ОПК-2.3) | Владеть навыка расчета термодинамических характеристик газовой смеси и прямого газового цикла |
| 12 | В-12(ОПК-2.3) | Владеть навыками применения общетехнических знаний для решения учебных задач |
| 13 | 3-1(ОПК-7.1) | Знать применяемые физические и математические модели при разработке ДЛА |
| 14 | 3-1(ОПК-7.3) | Знать методы исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов |
| 15 | В-1(ОПК-7.3) | Владеть методиками исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов |
| 16 | 3-4(ОПК-8.1) | Знать основные пути и развития и совершенствования в области экспериментальных исследований и доводки авиационных и ракетных двигателей, силовых и энергетических установок |

Перечисленные РО являются основой для формирования следующих компетенций:

| N | Шифр | Компетенция |
|----------|-------------|--|
| 1 | ОПК-1 | Способен применять знания высшей математики и естественных наук в профессиональной деятельности |
| 2 | ОПК-2 | Способен применять общеинженерные знания в профессиональной деятельности |
| 3 | ОПК-7 | Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники |
| 4 | ОПК-8 | Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники |

Индикаторы достижения компетенций, служащие для проверки сформированности части соответствующей компетенции:

| N | Шифр | Индикатор компетенций |
|----------|-------------|--|
| 1 | ОПК-1.3 | Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением знаний высшей математики и естественных наук |
| 2 | ОПК-2.1 | Демонстрирует знания теории и основных законов в области общеинженерных дисциплин |
| 3 | ОПК-2.2 | Использует законы и принципы общеинженерных дисциплин в своей профессиональной деятельности |
| 4 | ОПК-2.3 | Решает стандартные задачи профессиональной деятельности с применением общеинженерных знаний |
| 5 | ОПК-7.1 | Демонстрирует знания методик исследования физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов профессиональной деятельности для решения инженерных задач |
| 6 | ОПК-7.3 | Использует методы исследования технических систем для анализа и определения характеристик исследуемых процессов |
| 7 | ОПК-8.1 | Знает основные пути развития и совершенствования в области двигателестроения и энергетической техники |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.

Дисциплина Термодинамика является предшествующей и последующей для следующих дисциплин:

| N | Предшествующие дисциплины | Последующие дисциплины |
|----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Химия | Детали машин и основы конструирования |
| 2 | Начертательная геометрия | Материаловедение |
| 3 | Теоретическая механика | Технология конструкционных материалов |
| 4 | Теория механизмов и машин | Механика жидкости и газа |

| | | |
|----|--|---|
| 5 | Сопротивление материалов | Теплопередача |
| 6 | Инженерная графика | Электротехника и электроника |
| 7 | Введение в авиационную и ракетно-космическую технику | Итоговая гос. аттестация |
| 8 | Искусственный интеллект и системный анализ | Теоретические основы проектирования технологических процессов ДЛА |
| 9 | Линейная алгебра и аналитическая геометрия | Учебная практика |
| 10 | Математический анализ | Методы математического моделирования |
| 11 | Дифференциальные уравнения | |
| 12 | Теория вероятностей и математическая статистика | |
| 13 | Физика | |
| 14 | Численные методы | |
| 15 | Информатика | |

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость практики составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы), 144 часа(ов).

| Модуль | Раздел | Лекции | Практич. занятия | Лаборат. работы | СРС | Всего часов | Всего с экзаменами и курсовыми |
|---------------|--|-----------|------------------|-----------------|-----------|-------------|--------------------------------|
| Термодинамика | Основные понятия. Термодинамическая система и её состояние | 4 | 0 | 4 | 12 | 20 | 144 |
| | Законы (Начала) термодинамики | 4 | 0 | 8 | 18 | 30 | |
| | Термодинамика газовых потоков | 4 | 0 | 4 | 14 | 22 | |
| | Тепловые машины | 4 | 0 | 0 | 6 | 10 | |
| Всего | | 16 | 0 | 16 | 50 | 82 | 144 |

3.1. Лекции

| № п/п | Раздел дисциплины | Объем часов | Тема лекции |
|---------------|---|-------------|---|
| 1 | 1.1. Основные понятия. Термодинамическая система и её состояние | 4 | Основные законы и понятия. Термодинамическая система и её состояние |
| 2 | 1.2. Законы (Начала) термодинамики | 4 | Законы (Начала) термодинамики |
| 3 | 1.3. Термодинамика газовых потоков | 4 | Термодинамика газовых потоков. Реальные газы и пары. Дросселирование газов. |
| 4 | 1.4. Тепловые машины | 4 | Тепловые машины. Машины для сжатия и расширения. Циклы тепловых машин. |
| Итого: | | 16 | |

3.2. Содержание лекций

1.1.1. Основные законы и понятия. Термодинамическая система и её состояние (АЗ: 4, СРС: 6)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Введение. Термодинамическое рабочее тело. Термодинамическая система и термодинамические параметры (температура, давление, объём).

Энергия, теплота, работа. Внутренняя и механическая энергия системы. Уравнение Эйнштейна. Уравнения состояния вещества. Уравнение Менделеева-Клайперона. Уравнение состояния реального газа. Понятие о теплоёмкости. Теплоёмкость идеального газа. Зависимость теплоёмкости от температуры и давления. Теплоёмкость газовой смеси. Отношение теплоёмкостей. Газовые смеси и их свойства.

Фазовые переходы вещества. Правила Гиббса. Уравнение Клайперона-Клазиуса. Изотерма Ван-дер-Ваальса. Изотерма реального газа. Термодинамические коэффициенты сжимаемости и расширения.

1.2.1. Законы (Начала) термодинамики (АЗ: 4, СРС: 6)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Первый закон термодинамики. Основные термодинамические процессы. Второй закон термодинамики. Изменение энтропии в процессах. Энтропийные диаграммы. Третье начало термодинамики. Первый закон термодинамики. Закон сохранения энергии (эксперимент М. В. Ломоносова). Закон превращения энергии (эксперимент Джоуля). Закон сохранения и превращения энергии в общем случае незамкнутой термодинамической системы. Интегральная и дифференциальная запись закона для изохорного, изобарного и адиабатного процессов. Равновесные термодинамические процессы и их обратимость. Закономерности термодинамических процессов. Зависимость между параметрами газа в политропном процессе. Работа, внутренняя энергия и теплота политропного процесса. Исследование политропного и адиабатного процессов. Уравнение политропы и адиабаты. Определение показателя политропы. Уравнение Майера. Определение работы и теплоты при политропном процессе и в частных случаях. Представление термодинамических процессов в P - V и T - S координатах. Характеристики политропных процессов в зависимости от значения показателя политропы. Второй закон термодинамики. Цикл Карно.

1.3.1. Термодинамика газовых потоков. Реальные газы и пары. Дросселирование газов.

(АЗ: 4, СРС: 6)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Одномерные уравнения газового потока: уравнение энергии, уравнение сохранения массы, уравнение количества движения. Одномерное адиабатическое течение газа. Скорость звука в газе. Определение параметров потока. Параметры торможения. Критические параметры. Истечение газа из ёмкости в атмосферу. Реальные газы. Водяной пар и его свойства. Парообразование при постоянном давлении. Изменение агрегатного состояния. Параметры состояния воды и водяного пара. Диаграммы T-S и I-S водяного пара. Парогазовые смеси. Диаграмма I-S влажного воздуха. Дросселирование идеальных и реальных газов. Эффект Джоуля-Томпсона. Дросселирование идеального газа. Интегральный и дифференциальный дроссель эффекты. Дросселирование реального газа. Физические способы ускорения и торможения газа (формула Вулиса). Геометрическое сопло. Сопло Лаваля. Массовое сопло, тепловое-комбинированное сопло, механическое сопло.

1.4.1. Тепловые машины. Машины для сжатия и расширения. Циклы тепловых машин. (АЗ: 4, СРС: 6)

Тип лекции: Информационная лекция

Форма организации: Лекция

Описание: Компрессор. Основные процессы в одноступенчатом компрессоре. Работа и мощность на привод компрессора. Многоступенчатый компрессор. Детандеры.

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных установок. Циклы жидкостного ракетного двигателя и ракетного двигателя твердого топлива. Циклы воздушно-реактивных двигателей. Циклы паросиловых установок. Циклы холодильных машин. Тепловой насос. Максимальная работа. Эксергетический метод исследования. Принципы работы тепловых машин и графическое представление циклов в P-V и T-S диаграммах.

3.3. Практические занятия

Не предусмотрено учебным планом.

3.4. Лабораторные работы

| № п/п | Раздел дисциплины | Объем часов | Наименование лабораторной работы | Наименование лаборатории |
|-------|---|-------------|---|---|
| 1 | 1.1.Основные понятия.Термодинамическая система и её состояние | 4 | Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении | Лаборатория термодинамики, тепломассообмена и гидрогазодинамики |
| 2 | 1.2.Законы (Начала) термодинамики | 4 | Исследование термодинамических процессов | Лаборатория термодинамики, тепломассообмена и гидрогазодинамики |

| | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-----------|---|--|
| 3 | 1.2.Законы (Начала) термодинамики | 4 | Определение отношения теплоёмкостей газа при постоянном давлении и объёме | Лаборатория термодинамики, теплообмена и гидрогазодинамики |
| 4 | 1.3.Термодинамика газовых потоков | 4 | Исследование цикла Брайтона | Лаборатория термодинамики, теплообмена и гидрогазодинамики |
| Итого: | | 16 | | |

3.5.Содержание лабораторных работ

1.1.1. Определение удельной теплоёмкости воздуха при постоянном давлении (АЗ: 4, СРС: 6)

Форма организации: Лабораторная работа

1.2.1. Исследование термодинамических процессов (АЗ: 4, СРС: 6)

Форма организации: Лабораторная работа

1.2.2. Определение отношения теплоёмкостей газа при постоянном давлении и объёме (АЗ: 4, СРС: 6)

Форма организации: Лабораторная работа

1.3.1. Исследование цикла Брайтона (АЗ: 4, СРС: 8)

Форма организации: Лабораторная работа

3.6. Курсовые работы и проекты по дисциплине

1.1. РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

ТЕПЛОВЫХ МАШИН

Тематика: РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

ТЕПЛОВЫХ МАШИН

Трудоемкость(СРС): 26

Прикрепленные файлы: metodichka.pdf

3.7. Промежуточная аттестация

1. Экзамен (5 семестр)

Прикрепленные файлы: БИЛЕТЫ ТЕРМОДИНАМИКА.pdf

4. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Основная и дополнительная литература по дисциплине
2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».
3. Ресурсы научно-технической библиотеки МАИ.
4. Информационные стенды кафедры.

Вопросы для самостоятельной работы по темам:

| № | Раздел дисциплины | Вопросы для самостоятельной работы |
|----------|-------------------------------|--|
| 1 | Законы (Начала) термодинамики | Подготовка к лабораторной работе "Исследование термодинамических процессов" |
| 2 | Законы (Начала) термодинамики | Подготовка к лабораторной работе "Определением теплоемкости воздуха при постоянном давлении" |
| 3 | Законы (Начала) термодинамики | Подготовка к лабораторной работе "Исследование адиабатного истечения воздуха из сопла" |
| 4 | Законы (Начала) термодинамики | Подготовка к лабораторной работе "Определение отношения теплоемкостей" |

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Описание показателей, критерии оценивания компетенций и описание шкал оценивания осуществляются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки результатов обучения студентов по дисциплине (Приказ №42 от 04.04.2014 «Об утверждении положения «Рейтинг по дисциплине»).

Для оценивания интегрированных и практико-ориентированных заданий обучающихся используются следующие критерии по 100-балльной шкале:

1. Формулирование представленной информации в виде проблемы;
2. Предложение способа решения проблемы;
3. Обоснование способа решения проблемы;
4. Демонстрация способа решения проблемы.

Оценивание осуществляется по следующей шкале:

| 100-балльная шкала | Результат освоения |
|---------------------------|---------------------------|
| менее 40 | Критерий не сформирован |
| 41-70 | Критерий четко не выражен |
| 71-100 | Критерий выражен четко |

Для оценивания ситуационных заданий используется следующая шкала:

| 100-балльная шкала | Результат освоения |
|--------------------|---|
| менее 30 | обучающийся не может сформулировать проблему, представленную в задании |
| 31-50 | обучающийся формулирует поставленную задачу, у него сформированы изолированные знания и умения, однако отсутствуют интегрированные понятия и навыки, в результате чего допущены ошибки в решении и задание не выполнено |
| 51-80 | задание выполнено, обучающийся применяет знания для решения поставленной проблемы, однако не сформированы компетенции, вследствие чего обучающийся испытывает затруднения в демонстрации способов решения задачи |
| 81-100 | задание выполнено как в теоретическом, так и в практическом плане, обучающийся легко демонстрирует свою компетентность по данному вопросу |

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения, включают в себя:

- вопросы к промежуточной аттестации.

Перечень компетенций и этапы их формирования приведены в следующей таблице:

| N | Шифр | Компетенция | Этапы формирования компетенции |
|---|-------|---|---|
| 1 | ОПК-1 | Способен применять знания высшей математики и естественных наук в профессиональной деятельности | Владеть навыками решения задач механики, термодинамики, электродинамики, квантовой физики Семестр - 5 |

| | | | |
|---|-------|---|---|
| 2 | ОПК-2 | Способен применять общеинженерные знания в профессиональной деятельности | <p>Владеть навыками расчета термодинамических характеристик рабочего тела</p> <p>Знать основные законы термодинамики и методы определения характеристик газовой смеси и прямого газового цикла</p> <p>Уметь применять основные законы термодинамики при расчете термодинамических характеристик газовой смеси и прямого газового цикла</p> <p>Владеть навыка расчета термодинамических характеристик газовой смеси и прямого газового цикла</p> <p>Владеть навыками применения общеинженерных знаний для решения учебных задач</p> <p>Знать, как применить основные законы термодинамики для оценки энергетических величин при исследовании рабочего процесса</p> <p>Уметь применять основные законы термодинамики для оценки энергетических величин при исследовании рабочего процесса</p> <p>Владеть знаниями необходимыми для решения задач термодинамики в области общеинженерных дисциплин</p> <p>Владеть знаниями необходимыми для решения задач теплопередачи в области общеинженерных дисциплин</p> <p>Знать основные законы термодинамики и методы определения параметров состояния рабочего тела</p> <p>Уметь применять основные законы термодинамики при расчете параметров состояния рабочего тела</p> <p>Семестр - 5</p> |
| 3 | ОПК-7 | Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники | Семестр - |
| 4 | ОПК-8 | Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники | <p>Знать основные пути и развития и совершенствования в области экспериментальных исследований и доводки авиационных и ракетных двигателей, силовых и энергетических установок</p> <p>Семестр - 5</p> |

Вопросы к промежуточной аттестации
"Термодинамика"

1. Экзамен (5 семестр)

Прикрепленные файлы: БИЛЕТЫ ТЕРМОДИНАМИКА.pdf

6. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Основная литература:

- 1. Базаров И. П. Б 17 Термодинамика: Учебник. 5-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 384 с. (Электронная версия учебника – доступ сервер кафедры ТПАД)
- 2. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена: учеб. пособие / В. Н. Афанасьев, С. И. Исаев, И. А. Кожин и др.; Под ред. В. И. Крутова и Г. Б. Петражицкого. — 2-е изд., стереотипное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 384 с. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД).
- 3. Борисов Б.В. Практикум по технической термодинамике: Учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск; Из-во Тоского политехнического университета, 2012 – 158 с (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД)
- 4. Кудинов В.А. Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для академ. бакалавриата вузов по инженерно-техн. направлениям / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - 4-е изд., испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2019. - 453,[1] с.
: ил. - (Бакалавр. Академический курс). - Доступна электронная версия издания 2020 г. URL: <https://urait.ru/bcode/449806>. Режим доступа: по подписке (свободный - из сети МАИ, из Интернета - после регистрации в ЭБС "Юрайт" из сети МАИ). - Библиогр.: с. 450-454 (91 назв.). - ISBN 978-5-534-06669-2.
- 5. Барилович В А Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена: Учебное пособие / В.А. Барилович, Ю.А. Смирнов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 432 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=356818>
- 6. Карминский В.Д., Техническая термодинамика и теплопередача. Курс лекций. М.: Маршрут, 2005. (Электронная версия – доступ сервер кафедры ТПАД)
- 7. Кириллин В.А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. - Изд. 6-е., перераб. и доп. - Москва : Издательский дом МЭИ, 2017. - 501 с. : ил. - Библиогр.: с.494
http://elibrary.mai.ru/MegaPro/UserEntry?Action=Link_FindDoc&id=61472&idb=0

б) Дополнительная литература:

- 1. Суров Н.С. Расчет термодинамических циклов| М.:МАТИ,2005.
- 2. Сапожников С.З. и др. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебник для вузов, СПб, 2003,319с.
- 3. Жуховицкий Д.Л. Сборник задач по технической термодинамике. Ульяновск, 2004
- 3. Бабин СВ. Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении. М.:МАТИ, 2015.
- 4. Кудинов В.А., Карташов Э.М. Техническая термодинамика. Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа,2001,261 с.
- 5. Электронный конспект лекций. М.: МАТИ,2006.
- 6. Термодинамика и теплопередача. Задачник. Учебное пособие. Под ред. В.Н. Кобелькова. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2005 г. – 93 с (Электронный вариант – доступ сервер кафедры ТПАД)
- 7. Бабин С.В., Воронина А. В. Основы термодинамики часть 1. Часть 2, Методическое пособие для изучения дисциплины «Термодинамика» для студентов направления «Двигатели летательных аппаратов» Ступино, каф. ТПАД, 2017 -190 с. (Электронный вариант – доступ сервер кафедры ТПАД)

7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения образовательного процесса по дисциплине обучающимся предоставляется возможность круглосуточного дистанционного индивидуального доступа к электронным библиотечным системам из любой точки, в которой имеется доступ к сети «Интернет».

| Наименование ресурса | Интернет-ссылка на ресурс |
|--|---|
| "ZNANIUM.COM" | |
| Договор № 4855 эбс/027-1-3200-20 от 08.12.2020 с ООО "ЗНАНИУМ" С «18»12.2020 г. по «17»12.2021 г | http://znanium.com |
| Договор № эбс/027-1-3026-21 от 22.12.2021 с ООО "ЗНАНИУМ" С «15»12.2021 г. по «31»12.2022 г | https://znanium.com/ |
| Договор № эбс/027-1-2586-22 от 07.12.2022 с ООО "ЗНАНИУМ" С «20»12.2022 г. по «31»12.2023 г | |
| ООО "Издательство Лань" | |
| Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "Издательство Лань" С «22 »_02. 2021г. по « 21» 02.2022 г | e.lanbook.com |
| Договор № 027-1-0234-21 от 18.02.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «22 »_02. 2021г. по « 21» 02.2022 | |
| Договор № СЭБ 027-0-0400-21 от 15.09.2021 года с ООО "ЭБС Лань" С «15 »_09. 2021г. по « 14» 09.2024 | |
| Договор № 027-1-0169-22 от 07.02.2022 года с ООО "Издательство Лань" С «22 »_02. 2022г. по « 21» 02.2023 г | |
| Договор № 027-1-0168-22 от 07.02.2022 года с ООО "ЭБС Лань" С «22 »_02. 2022г. по « 21» 02.2023 | |

| | |
|---|--|
| ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" | |
| Электронная библиотечная система ЮРАЙТ. ЭБС "Легендарные книги" | http://biblio-online.ru , https://biblio-online.ru/catalog/legendary |
| Договор № 027-1-3191-20 от 04.12.2020г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО С «04»12.2020 г. по «03»12.2021 | https://urait.ru/ |
| Договор № 027-1-3194-20 от 04.12.2020г. с ООО "Электронное издательства ЮРАЙТ" С «04»12.2020 г. по «03»12.2021 г | https://urait.ru/ |
| Договор № 027-1-3034-21 от 03.12.2021г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2021 г. по «03»12.2022 г | https://urait.ru/ |
| Договор № 150-1-3269-21 от 10.12.21 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО | https://urait.ru/ |
| Договор № 027-1-2554-22 от 01.12.2022г ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" С «04»12.2022 г. по «03»12.2023 г | |
| Договор № 5537 от 25.11.2022 ООО "Электронное издательство ЮРАЙТ" для СПО | |
| Электронная библиотека МАИ | |
| Электронная библиотека МАИ (собственность МАИ). Лицензионный договор № 0267-НИЧ-13 от 11.12.2013 г. с ООО "Дата Экспресс "на право использования программы для ЭВМ Автоматизированная интегрированная библиотечная система (АИБС) «МегаПро» (для размещения Электронной библиотеки МАИ) | https://elibrary.mai.ru/MegaPro/Web |
| Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России | |
| Электронная библиотека Консорциума аэрокосмических вузов России. Соглашение о создании Консорциума вузов России "Национальный объединенный аэрокосмический университет" от 03.09.2012 г. Договор о сетевом взаимодействии от 15.12.2014 г. Соглашение от «03»09.2012 г. бессрочно | |
| Библиотека РФФИ | |
| Библиотека РФФИ | http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library |
| Единое окно доступа к образовательным ресурсам | |
| Единое окно доступа к образовательным ресурсам | http://window.edu.ru/ |
| Polpred.com | |
| Polpred.com. Обзор СМИ | http://polpred.com |
| ООО "РУНЭБ" | |
| Договор № 027-1-3051-20 от 07.12.2020 с ООО "РУНЭБ" С «07»12.2020 г. по «06»12.2028 | http://elibrary.ru |
| Договор № 027-1-2895-21 от 03.12.2021 с ООО "РУНЭБ" С «03»12.2021 г. по «02»12.2039 | |
| Договор № 027-133215-22 от 20.12.2022 с ООО "НЭБ" С «20»12.2022 г. по «19»12.2030 | |

| ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" | |
|---|---|
| Договор № РКТ-054/20/027-1-1129-20 от 30.05.2020 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2020 г. по «31»05.2021 г | http://text.rucont.ru/ |
| Договор № 027-1-1235-21 от 01.06.2021 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2021 г. по «31»05.2022 г | https://text.rucont.ru/ |
| Договор № 027-1-1467-22 от 09.06.2022 с ООО "Национальный цифровой ресурс "Рукоонт" С «01»06.2022 г. по «31»05.2023 г | https://text.rucont.ru/ |
| ФГБУ "РГБ" | |
| Договор о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке (НЭБ) №101/НЭБ/2139 от 13.11.2018г. с ФГБУ" РГБ" С «13»11. 2018 г. по «12» 11. 2023 | http://нэб.рф |
| НП НЭИКОН | |
| Соглашение № 715 ДС-2011 от 16.05.2011 о сотрудничестве в Консорциуме НЭИКОН С «16» 05.2011 г с автоматическим продлением Национальная подписка на-2021 г с РФФИ Государственного задания № 075-00011-20-00 Web Of Science- https://apps.webofknowledge.com Scopus- http://scopus.com Elsevier- http://www.sciencedirect.com , http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct , https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections , https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections | http://archive.neicon.ru https://apps.webofknowledge.com http://scopus.com http://www.sciencedirect.com , http://www.elsevierscience.ru/products/science-direct , https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/journal-collections , https://www.elsevier.com/solutions/sciencedirect/content/backfile-collections |
| | http://rd.springer.com , http://www.springerprotocols.com |

| | |
|--|---|
| <p>Математическая база данных zbMATH: http://zbMATH.org</p> <p>American Chemical Society (ACS)- https://www.acs.org/content/acs/en.html</p> <p>American Institute of Physics (AIP)- https://www.scitation.org/</p> <p>American Physical Society- https://journals.aps.org/about</p> <p>EBSCO Publishing (База CASC)- http://search.ebscohost.com</p> <p>Cambridge University Press (CUP)- https://www.cambridge.org/core</p> <p>IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers , Inc.)- https://ieeexplore.ieee.org</p> <p>INSPEC компании EBSCO- INSPEC</p> <p>Institute of Physics (IOP) издательства IOP Publishing- https://iopscience.iop.org/</p> <p>MathSciNet American Mathematical Society- https://www.ams.org/home/page</p> <p>Optical Society of America (OSA)- https://www.osapublishing.org/about.cfm</p> <p>Oxford University Press- https://academic.oup.com/journals/</p> <p>ProQuest Dissertations & Theses Global- https://search.proquest.com/index</p> <p>ORBIT Intelligence - база данных QUESTEL- https://www.orbit.com/</p> <p>SAGE Publication- https://journals.sagepub.com/</p> <p>Annual Reviews Science Collection (AR)- https://www.annualreviews.org</p> <p>JSTOR- www.jstor.org</p> <p>Wiley. John Wiley & Sons.- https://onlinelibrary.wiley.com/</p> <p>Национальная подписка на 2022 г с РФФИ Государственного задания</p> | <p>http://zbMATH.org</p> <p>https://www.acs.org/content/acs/en.html</p> <p>https://www.scitation.org/</p> <p>https://journals.aps.org/about</p> <p>http://search.ebscohost.com</p> <p>https://www.cambridge.org/core</p> <p>https://ieeexplore.ieee.org</p> <p>https://iopscience.iop.org/</p> <p>https://www.ams.org/home/page</p> <p>https://www.osapublishing.org/about.cfm</p> <p>https://academic.oup.com/journals/</p> <p>https://search.proquest.com/index</p> <p>https://www.orbit.com/</p> <p>https://journals.sagepub.com/</p> <p>https://www.annualreviews.org</p> <p>www.jstor.org</p> <p>https://onlinelibrary.wiley.com</p> |
| <p>Springer Nature:</p> <p>1. eBoock Collection: журналы, книги - https://link.springer.com</p> <p>2. Коллекция журналов и базы данных Springer Nature: https://link.springer.com</p> <p>Begell House Inc. https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html</p> <p>China Academic Journals (CD Edition) Electronic Publishing House Co., Ltd: https://ar.cnki.net/ACADREF</p> <p>Institute of Electrical and Electronics Engineers:</p> | <p>https://link.springer.com</p> <p>https://www.dl.begellhouse.com/collections/6764f0021c05bd10.html</p> <p>https://ar.cnki.net/ACADREF</p> <p>https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/</p> |
| <p>https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp; https://ieeexplore.ieee.org</p> | <p>home.jsp; https://ieeexplore.ieee.org</p> |

| | | |
|---|---|---|
| EBSCO. | https://www.search.ebscohost.com/ | https://www.search.ebscohost.com/ |
| INSPEC: | | |
| 1. База данных Academic Search Premier | | |
| 2. База данных eBook Academic Collection | | |
| 3. eBook EngineeringCore Collection | | |
| ORBIT Intelligence | - база данных QUESTEL: | https://www.orbit.com/ |
| https://www.orbit.com/ | | |
| SAGE | https://journals.sagepub.com/ | https://journals.sagepub.com/ |
| Publication: | | |
| Wiley: | https://onlinelibrary.wiley.com/ | https://onlinelibrary.wiley.com/ |

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Эффективным способом развития творческих способностей студентов при изучении дисциплины является самостоятельная работа, которая нацелена на проработку студентами материала прошедших контактных занятий и подготовку к предстоящим занятиям.

Самостоятельная работа студентов проводится ими в соответствии с собственными возможностями. Можно, однако, рекомендовать групповое изучение материалов, обеспечивающее совместную работу нескольких студентов, что положительно влияет на качество проработки программы курса.

В то же время высокая степень усвоения изучаемой дисциплины достигается при постоянной работе студентов над текущим материалом. В этой связи желательна проработка лекционного материала в день его прочтения, что позволяет, во-первых, оперативно (на следующей лекции) снимать возникающие вопросы и, во-вторых, создавать багаж знаний по дисциплине задолго до промежуточной аттестации.

При подготовке к практическим занятиям также необходима проработка лекционного материала. Это позволит осознанно работать с предлагаемым материалом преподавателем на практическом занятии, а, следовательно, закладывать базу методик и приемов при решении практических задач.

При изучении материала необходимо делать акцент не на зазубривании материала, а на понимании его физической сути, что развивает мышление и позволяет понять методологию изучаемой дисциплины.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Дисциплина ориентирована на применение компьютерной техники, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", электронной библиотеки МАИ для поиска, сбора, хранения, обработки и представления информации.

Программное обеспечение, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:

Стандартные офисные программы, электронные версии учебников, пособий, методических
Программа моделирования лабораторной работы "Определение теплоемкости воздуха при п
Программа моделирования лабораторной работы "Исследование термодинамических процес

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Мультимедийный переносной комплекс:

Экран – 1 шт.

Проектор Acer XXI6I – 1 шт.

Ноутбук Sony Vaio

Компьютерный класс. Компьютеры персональные – 14 шт.

Программа моделирования лабораторной работы "Определение теплоемкости воздуха при постоянном давлении"

Программа моделирования лабораторной работы "Исследование термодинамических процессов"

Аннотация рабочей программы

Дисциплина "Термодинамика" является частью "Блока 1 Дисциплины" дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 24.03.05 "Двигатели летательных аппаратов". Дисциплина реализуется на "Московского авиационного института (национального исследовательского университета)" кафедрой (кафедрами) .

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций: ОПК-1, ОПК-2, ОПК-7, ОПК-8.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с: расчетом термодинамических циклов двигателей в различных устройствах летательных аппаратов. Дисциплина рассматривает также процессы, сопровождающиеся различными преобразованиями энергии, как в покое, так и в движущейся газе.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: Лекция, Лабораторная работа.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: промежуточная аттестация в форме Экзамен (5 семестр).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (16 часов), лабораторные (16 часов) занятия и (76 часов) самостоятельной работы студента.

Приложение 2
к рабочей программе дисциплины
«Термодинамика»

Прикрепленные файлы

metodichka.pdf

БИЛЕТЫ ТЕРМОДИНАМИКА.pdf

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«МАТИ» - РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени К. Э. ЦИОЛКОВСКОГО**

Кафедра «Двигатели летательных аппаратов и теплотехника»

Утверждено
Редакционно-издательским
Советом института

**РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ
ТЕПЛОВЫХ МАШИН**

Методические указания к курсовой работе
по курсу «Термодинамика»

Составили: Попов В.Г.
Колесников С.П.
Хахин В.Н.

Москва 2005

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Курсовая работа направлена на усвоение основных положений термодинамики и позволяет студентам не только глубже понять основные закономерности процессов преобразования теплоты в механическую работу, а, следовательно, и принцип действия тепловых машин, но и получить необходимые практические навыки выполнения расчетов и анализа термодинамических циклов тепловых машин.

2. СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

При выполнении курсовой работы по термодинамике студенты рассчитывают замкнутый термодинамический процесс (цикл) по четырём составляющим его политропным участкам. По результатам расчета строятся графики цикла в p - v и T - s координатах.

Задание на курсовую работу выдается каждому студенту индивидуально на специальном бланке (Таблица 2.1), в котором приводятся необходимые для расчета исходные данные и общий вид рассчитываемого цикла в p - v координатах.

В процессе выполнения курсовой работы по исходным данным требуется определить:

1) Параметры состояния рабочего тела (воздуха): давление p , удельный объём v , температуру T и энтропию s во всех четырех узловых точках 1,2,3 и 4 цикла.

2) Параметры состояния воздуха (p, v, T и s) в 2-3-х промежуточных точках для каждого из 4-х процессов цикла.

3) Показатель политропы n для каждого процесса цикла, теплоёмкость c_n и работу расширения (сжатия) l воздуха в рассчитываемом процессе, количество подведенной (отведенной) в нём теплоты q , а также изменение внутренней энергии Δu , изменение энтальпии Δi воздуха, коэффициент ψ распределения тепла между внутренней энергией и совершаемой воздухом работой в рассматриваемом процессе данного цикла.

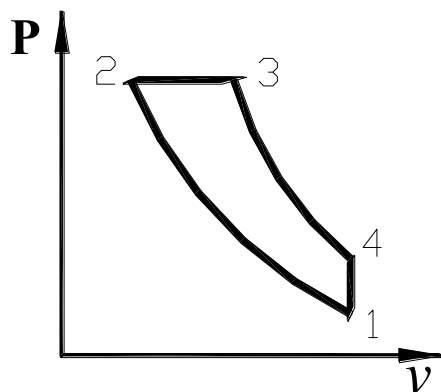
4) Работу $l_{\text{ц}}$ воздуха за цикл, количество теплоты $q_{\text{подв}}$, подведенной к воздуху извне за цикл, и теплоты $q_{\text{отв}}$, отведенной от воздуха в охладитель в ходе совершения цикла, а также количество теплоты $q_{\text{ц}}$, превращенной в работу, изменения внутренней энергии $\Delta u_{\text{ц}}$, энтальпии $\Delta i_{\text{ц}}$ и энтропии $\Delta s_{\text{ц}}$ воздуха за цикл, термический к.п.д. η_t рассчитываемого цикла и термический к.п.д. $\eta_{\text{тк}}$, соответствующего ему цикла Карно.

Результаты расчета вносятся в бланк задания и по ним строятся в соответствующем масштабе рабочая p - v (рис.2.1) и тепловая T - s (рис.2.2) диаграммы рассчитанного термодинамического цикла.

ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ «ТЕРМОДИНАМИКА»

Студент _____ Группа _____ Факультет _____ Вариант № _____.
(фамилия, и., о.)

Произвести расчёт и анализ
термодинамического цикла



Рабочее тело – воздух, в количестве 1 кг.
Для воздуха:

$$R = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$c_v = 0,712 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Определить величины: а) p ; v ; T и s для
узловых точек цикла; б) n ; c ; l ; q ; Δu ;
 Δi ; Δs и ψ для процессов цикла; в) q подв.;
 q отв.; $l_{\text{ц}}$; $q_{\text{ц}}$; $\Delta u_{\text{ц}}$; $\Delta i_{\text{ц}}$; $\Delta s_{\text{ц}}$ и η_t для цикла в
целом.

Дополнительные данные: $v_1 / v_2 =$

| | Узловые точки | | | | Промежуточные точки | | | | | | Диа- грамма |
|-----------------|---------------|---|---|---|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | $x_1; x_1^1$ | $x_2; x_2^1$ | $x_3; x_3^1$ | $x_4; x_4^1$ | $x_5; x_5^1$ | $x_6; x_6^1$ | |
| p МПа | | | | | | | | | | | $p-v$ точки x_1, x_2, \dots |
| v м³/кг | | | | | | | | | | | |
| T К | | | | | | | | | | | $T-s$ точки x_1^1, x_2^1, \dots |
| s кДж/кг·К | | | | | | | | | | | |

| Для процесса | n | c кДж/кг·К | l кДж/кг | q кДж/кг | Δu кДж/кг | Δi кДж/кг | Δs кДж/кг·К | $\psi = \frac{\Delta u}{q}$ |
|-----------------|-----|-----------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 - 2 | | | | | | | | |
| 2 - 3 | | | | | | | | |
| 3 - 4 | | | | | | | | |
| 4 - 1 | | | | | | | | |

| Для цикла | q подв кДж/кг | q отв кДж/кг | $l_{\text{ц}}$ кДж/кг | $q_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta u_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta i_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta s_{\text{ц}}$ кДж/кг·К | η_t |
|--------------|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------|
| | | | | | | | | |

Выдано « ____ » _____ 200 г. Принято « ____ » _____ 200 г. Преподаватель _____

3. ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Приступая к выполнению курсовой работы, студенты должны проработать разделы, посвященные первому и второму законам термодинамики, а также исследованию политропных процессов и циклов, т.е. должны знать следующие основные соотношения термодинамики, справедливые для идеальных газов [1]:

1. Уравнение состояния идеального газа

$$pv = RT, \quad (1)$$

где R – газовая постоянная.

2. Уравнение политропного термодинамического процесса

$$pv^n = \text{const}, \quad (2)$$

где n – показатель политропы, равный

$$n = \frac{\lg \frac{P_1}{P_2}}{\lg \frac{v_2}{v_1}}. \quad (3)$$

Здесь и далее индексами «1» и «2» обозначены параметры состояния газа соответственно в начале и в конце рассматриваемого процесса.

3. Уравнение первого закона термодинамики

$$q = \Delta u + l. \quad (4)$$

Здесь Δu – изменение внутренней энергии, которое для всех процессов идеального газа равно

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1), \quad (5)$$

где c_v – теплоемкость газа в процессе при постоянном объеме, а l – работа расширения (сжатия) газа, которая во всех процессах, кроме изотермического, может быть определена из выражения

$$l = \frac{R}{1-n}(T_2 - T_1). \quad (6)$$

Работа газа в изотермическом процессе равна

$$l = RT \cdot \ln \frac{v_2}{v_1} = RT \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}. \quad (7)$$

Для определения работы газа в адиабатном процессе, кроме выражения (6) можно использовать следующую формулу

$$l = -\Delta u = c_v(T_1 - T_2). \quad (8)$$

Изменение энтальпии для всех процессов идеального газа равно

$$\Delta i = i_2 - i_1 = c_p(T_2 - T_1), \quad (9)$$

где в соответствии с формулой Майера теплоёмкость газа в процессе при постоянном давлении равна

$$c_p = c_v + R. \quad (10)$$

4. Уравнение для определения количества теплоты

$$q = c_n(T_2 - T_1), \quad (11)$$

где c_n – теплоёмкость газа в политропном процессе, равная

$$c_n = c_v + \frac{R}{1-n}, \quad (12)$$

или

$$c_n = c_v \frac{k-n}{1-n}. \quad (13)$$

Здесь k – показатель адиабаты, равный $k = \frac{c_p}{c_v}$, для воздуха $k=1,4$.

5. Аналитическое выражение второго закона термодинамики:

$$ds = \frac{dq}{T}, \quad (14)$$

или
$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_n \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (15)$$

и
$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}. \quad (16)$$

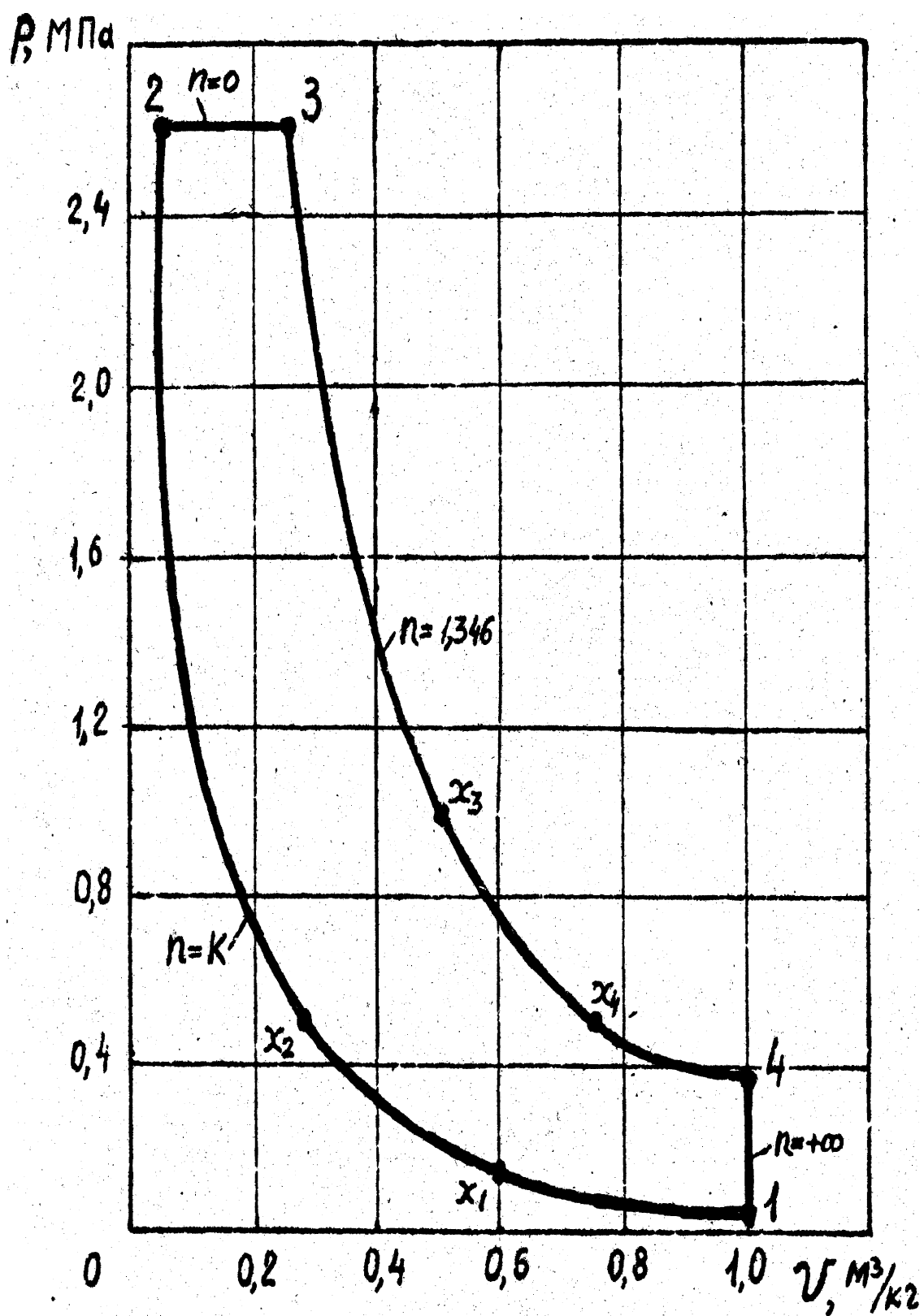


Рис.2.1. Рабочая диаграмма цикла.

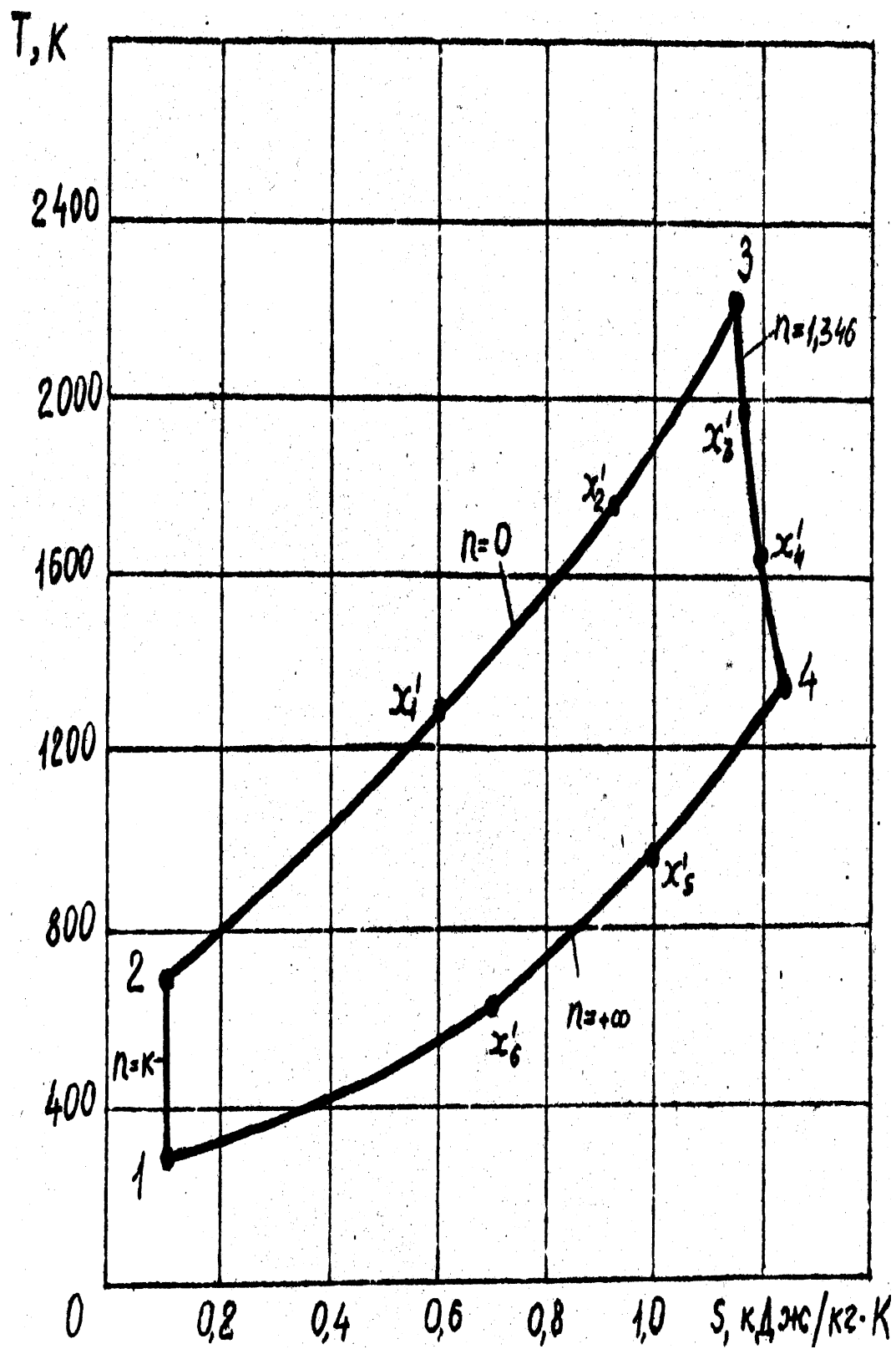


Рис. 2.2. Тепловая диаграмма цикла

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Расчет термодинамического цикла по четырем составляющим его политропным процессам для идеальных газов (воздуха) состоит в применении к ним рассмотренных выше основных соотношений термодинамики.

Выполнение курсовой работы следует начинать с составления плана проведения расчетов. В зависимости от исходных данных производят либо последовательный расчет параметров воздуха от точки 1 до точки 4 цикла, либо сначала определяют параметры воздуха в точках 1, 2, и 4, и лишь затем в точке 3 цикла. В остальном порядок проведения расчетов для различных вариантов задания не имеет существенных различий. Он включает в себя пять основных этапов.

1. Расчет параметров воздуха (p , v , T , s) в узловых точках цикла.

Порядок расчета следующий:

а) определяют начальное состояние воздуха в точке 1, при этом давление, удельный объём или температура вычисляются по формуле (1), а энтропия воздуха – по формуле (16). При этом считают, что для нормальных физических условий ($T_0=273$ К, $P_0=10^5$ н/м²), $s_0=0$. Тогда формула (16) имеет вид:

$$s_1 - s_0 = s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_0} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_0}; \quad (17)$$

б) определяют состояние воздуха в точке 2, при этом давление, удельный объём или температура воздуха находятся из уравнений (1) и (2).

Расчетные зависимости имеют следующий вид:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^n; \quad (18)$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^{\frac{1}{1-n}}; \quad (19)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (20)$$

Энтропия воздуха в точке 2 определяется из уравнения (15) или (16):

$$s_2 = s_1 + c_n \cdot \ln \frac{T_2}{T_1},$$

или

$$s_2 = s_1 + c_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1} - R \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}.$$

Аналогично рассчитывают параметры состояния воздуха и в других узловых точках цикла. При этом, если заданными являются величины Δu_{2-3} , Δi_{2-3} или q_{2-3} , то сначала из уравнений (5), (9) или (11) определяют температуру воздуха в точке 3, а затем по заданным величинам давления или удельного объёма, используя уравнения (1), (15) или (16), вычисляют остальные параметры в точке 3 цикла.

Основные параметры в точке 4 определяют или из уравнений (18-20), описывающих связи между параметрами газа в точках 3 и 4 (когда в точке 4 задан лишь один параметр из трёх и задан показатель политропы n_{3-4}), или непосредственно из уравнения состояния (когда в точке 4 заданы два параметра из трёх). При этом, если в последнем случае задаются также показатель политропы n_{3-4} и лишь один параметр воздуха в точке 3, то состояние воздуха в этой точке цикла определяют после точки 4, используя уравнения (18-20).

2. Расчет параметров воздуха (p , v , T , s) в промежуточных точках процессов цикла.

Промежуточные точки назначаются студентами самостоятельно и отдельно для диаграмм p - v и T - s цикла таким образом, чтобы на каждом криволинейном участке диаграммы было не менее 2-х точек.

Принятые промежуточные точки обозначаются через x_1 , x_2 и т.д. для рабочей (p - v) и x_1^1 , x_2^1 и т.д. для тепловой (T - s) диаграмм цикла. Параметры состояния воздуха в промежуточных точках цикла вычисляются по формулам (18) и (15), которые при принятых обозначениях принимают следующий вид:

$$P_x = P_1 \left(\frac{v_1}{v_x} \right)^n, \quad (21)$$

$$s_{x^1} = s_1 + c_n \ln \frac{T_{x^1}}{T_1}, \quad (22)$$

где значениями удельного объёма v_x в точке x и температуры T_{x^1} в точке x^1 цикла следует задаваться при расчете таким образом, чтобы промежуточные точки равномерно располагались на исследуемом участке диаграммы.

3. Построение рабочей ($p-v$) и тепловой ($T-s$) диаграмм цикла. Графики строят по узловым и промежуточным точкам, имея при этом в виду, что:

- цикл как в рабочей, так и в тепловой диаграммах, изображается замкнутой кривой, причем направление процессов цикла в этих диаграммах одинаково – по ходу движения часовой стрелки;
- все политропные процессы в тепловой диаграмме представляются логарифмическими кривыми, направленными выпуклостью вниз;
- расположение политропных процессов в рабочей диаграмме зависит от величины показателя политропы: при $\infty > n > 0$, как это следует из уравнения (18), политропа имеет гиперболический характер; при $0 > n > -\infty$ политропы представляют собой кривые, проходящие через начало координат, причем при $n > -1$ кривая процесса направлена выпуклостью вверх, а при $n < -1$ направлена выпуклостью вниз, в частности при $n = -1$ политропа является прямой линией.

4. Определение величин, характеризующих процессы цикла:

- а) показатель политропы вычисляется по формуле (3);
- б) теплоёмкость воздуха в рассматриваемом процессе определяется по формуле (12) или (13), причем теплоёмкость отрицательна, если $1 < n < k$;
- в) работа, производимая воздухом в политропном процессе, определяется по одному из выражений (6), (7) или (8); полученная величина должна быть численно равна площади под кривой этого процесса в ($p-v$) диаграмме; работа считается положительной при расширении газа и отрицательной при сжатии газа;
- г) количество подводимой (или отводимой) теплоты в политропном процессе вычисляется по формуле (4) или (11); найденная величина должна быть численно равна площади под кривой процесса в ($T-s$) диаграмме; согласно уравнению (14), теплота подводится к газу извне (т.е. она положительная), если энтропия увеличивается ($ds > 0$) и, наоборот, теплота отводится от газа в окружающую среду (т.е. она отрицательная), если энтропия уменьшается ($ds < 0$).
- д) изменение внутренней энергии воздуха для процесса определяется по формуле (5);
- е) изменение энтальпии воздуха определяется по формуле (9);
- ж) изменение энтропии определяется по формулам (15) или (16);
- з) коэффициент распределения тепла между внутренней энергией и совершаемой работой воздуха за процесс находится по формуле:

$$\psi = \frac{\Delta u}{q}. \quad (23)$$

5. Определение величин, характеризующих цикл в целом:

а) работа воздуха за цикл определяется алгебраической суммой работ, совершенных газом в отдельных процессах цикла:

$$l_{\text{ц}} = l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-1} = \sum l ; \quad (24)$$

в соответствии с этим выражением за один цикл воздух совершает полезную работу, равную площади цикла, представленного в (p-v) диаграмме;

б) количество теплоты, превращенной в работу цикла, равно:

$$q_{\text{ц}} = q_{\text{подв}} - q_{\text{отв}}, \quad (25)$$

где $q_{\text{подв}}$ – теплота, подведенная к газу извне за цикл, а $q_{\text{отв}}$ – теплота, отведенная от газа в охладитель в ходе совершения цикла.

Из уравнения (25) видно, что теплота цикла $q_{\text{ц}}$, превращенная в работу цикла $l_{\text{ц}}$, определяется площадью цикла в (T-s) диаграмме. Следовательно, площади цикла в (p-v) и (T-s) диаграммах имеют одинаковые значения;

в) изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии воздуха за цикл равно нулю, так как конечное состояние газа в результате совершения цикла совпадает с начальным, поэтому:

$$\Delta u_{\text{ц}} = \Delta u_{1-2} + \Delta u_{2-3} + \Delta u_{3-4} + \Delta u_{4-1} = 0, \quad (26)$$

$$\Delta i_{\text{ц}} = \Delta i_{1-2} + \Delta i_{2-3} + \Delta i_{3-4} + \Delta i_{4-1} = 0, \quad (27)$$

$$\Delta s_{\text{ц}} = \Delta s_{1-2} + \Delta s_{2-3} + \Delta s_{3-4} + \Delta s_{4-1} = 0 \quad (28)$$

г) термический к.п.д. цикла, который характеризует степень совершенства преобразования теплоты в работу, равен отношению полезной работы $l_{\text{ц}}$ к подведенной теплоте $q_{\text{подв}}$:

$$\eta_t = \frac{l_{\text{ц}}}{q_{\text{подв}}} = \frac{q_{\text{ц}}}{q_{\text{подв}}} = \frac{q_{\text{подв}} - q_{\text{отв}}}{q_{\text{подв}}} = 1 - \frac{q_{\text{отв}}}{q_{\text{подв}}}. \quad (29)$$

Из этого выражения следует, что термический к.п.д. цикла, представленного в (T-s) диаграмме, определяется отношением площади цикла к площади, соответствующей количеству подводимой теплоты.

Совершенство произвольного обратимого цикла оценивается сравнением его термического к.п.д. с термическим к.п.д. обратимого цикла Карно, осуществляемого между крайними (T_{max} и T_{min}) температурами рассматриваемого цикла. Цикл Карно имеет максимальный термический к.п.д. для заданного интервала температур, равный:

$$\eta_{\text{тк}} = 1 - \frac{T_{\text{min}}}{T_{\text{max}}} . \quad (30)$$

Если сравнить рассчитываемый цикл с описанным вокруг него циклом Карно в (Т-s) диаграмме, то площадь рассматриваемого цикла получается меньше площади цикла Карно. Отношение этих площадей показывает насколько близко приближается рассматриваемый цикл к циклу Карно, т.е. определяют насколько термический к.п.д. рассматриваемого цикла меньше термического к.п.д. цикла Карно:

$$\frac{\eta_{\text{тк}} - \eta_{\text{т}}}{\eta_{\text{тк}}} \cdot 100\% .$$

5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Ниже приводится порядок выполнения курсовой работы на примере варианта задания, исходные данные которого представлены в таблице 2.1. План проведения расчетов следующий.

1. Расчет параметров p, v, T, s в узловых точках цикла:

а) начальное состояние воздуха в точке 1 согласно исходным данным и формулам (1) и (17) составляет:

$$P_1 = 0,08 \text{ МПа} = 0,8 \cdot 10^5 \text{ н/м}^2; \quad T_1 = 280 \text{ К};$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{287 \cdot 280}{0,8 \cdot 10^5} = 1 \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$s_1 = c_p \cdot \ln \frac{T_1}{T_0} - R \cdot \ln \frac{P_1}{P_0} = 1,0 \cdot \ln \frac{280}{273} - 287 \cdot \ln \frac{0,8 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5} = 0,092 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К},$$

где согласно формуле (10) $c_p = c_v + R = 0,712 + 0,287 \approx 1 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$;

б) состояние воздуха в точке 2 можно определить, используя соотношение $\frac{v_1}{v_2}$, когда сначала по вычисленному значению v_1 находится

удельный объём v_2 , а затем по формуле (18) - давление P_2 ; температура T_2 находится из уравнения состояния (1); так как процесс 1-2 адиабатный ($n = k$), то изменение энтропии в этом процессе $\Delta s_{1-2} = 0$ ($c_n = 0$) и $s_2 = s_1$;

в) учитывая далее, что процесс 2-3 является изобарным ($n = 0$), находим давление $P_3 = P_2$, а так как при этом теплоёмкость $c_n = c_p$, то по формуле (11) по заданному значению q_{2-3} и известной температуре T_2 вычисляем температуру воздуха T_3 в точке 3 цикла; энтропию s_3 находим по формуле (15);

г) учитывая, что процесс 4-1 изохорный ($n = + \infty$), находим удельный объём воздуха $v_4 = v_1$, а далее по заданному значению P_4 и вычисленному значению v_4 определяем температуру T_4 в точке 4 цикла, энтропию воздуха s_4 вычисляем по формуле (15), учитывая при этом, что теплоёмкость газа в процессе 4-1 $c_n = c_v$.

2. Расчет параметров p, v, T, s в промежуточных точках процессов цикла (см. п.2, раздел 4).

3. Построение рабочей ($p-v$) и тепловой ($T-s$) диаграмм цикла. По вычисленным значениям параметров состояния воздуха в узловых и промежуточных точках цикла в масштабе строятся рабочая (рис.2.1.) и тепловая (рис.2.2.) диаграммы цикла.

4. Определение величин, характеризующих процессы цикла (см. п.4, раздел 4).

5. Определение величин, характеризующих цикл в целом (см. п.5, раздел 4).

Результаты расчетов сводятся в общую таблицу 5.1.

6. ОТЧЕТНОСТЬ ПО РАБОТЕ

При защите курсовой работы студент должен представить пояснительную записку, оформленную соответствующим образом, и уметь ответить на вопросы, касающиеся содержания выполненной работы, обоснования используемых уравнений, а также на вопросы, связанные с термодинамическими особенностями процессов цикла (см. раздел 7).

Пояснительная записка должна содержать:

- оформленный и заполненный результатами расчетов бланк задания на курсовую работу (см. таблицу 5.1.);

- расчеты величин параметров состояния рабочего тела (воздуха) во всех узловых и промежуточных точках цикла, а также величин, характеризующих каждый из процессов цикла и цикл в целом. Все вычисления должны сопровождаться краткими пояснениями выбора расчетных формул и определения вспомогательных величин;

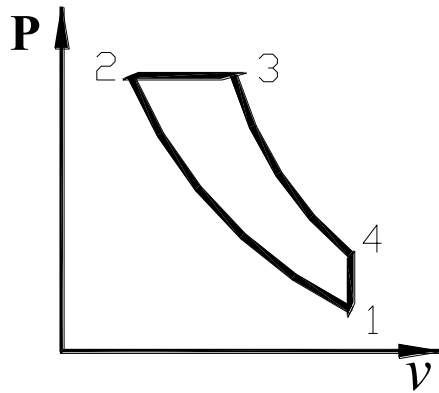
- рабочую и тепловую диаграммы цикла (см. рис.2.1 и рис.2.2).

Все расчеты выполняются в системе СИ: давление измеряется в н/м^2 или в Па; температура T - в К; удельный объём v - в $\text{м}^3/\text{кг}$; теплота q , внутренняя энергия u и энтальпия i - в кДж/кг ; теплоёмкость c_n , энтропия s и газовая постоянная R для 1 кг воздуха - в $\text{кДж/кг}\cdot\text{К}$.

ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ «ТЕРМОДИНАМИКА»

Студент _____ Группа _____ Факультет _____ Вариант № _____.
 (фамилия, и., о.)

Произвести расчёт и анализ
термодинамического цикла



Рабочее тело – воздух, в количестве 1 кг.
Для воздуха:

$$R = 0,287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

$$c_v = 0,712 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Определить величины: а) p ; v ; T и s для узловых точек цикла; б) n ; c ; l ; q ; Δu ; Δi ; Δs и ψ для процессов цикла; в) q подв.; q отв.; $l_{\text{ц}}$; $q_{\text{ц}}$; $\Delta u_{\text{ц}}$; $\Delta i_{\text{ц}}$; $\Delta s_{\text{ц}}$ и η_t для цикла в целом.

Дополнительные данные: $v_1 / v_2 = 12$

| | Узловые точки | | | | Промежуточные точки | | | | | | Диа- грамма |
|-----------------|---------------|-------|-------|--------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | $x_1; x_1^1$ | $x_2; x_2^1$ | $x_3; x_3^1$ | $x_4; x_4^1$ | $x_5; x_5^1$ | $x_6; x_6^1$ | |
| p МПа | 0,08 | 2,59 | 2,59 | 0,392 | 0,164 | 0,43 | 1,0 | 0,58 | - | - | $p-v$ точки x_1, x_2, \dots |
| v м³/кг | 1,0 | 0,083 | 0,246 | 1,0 | 0,6 | 0,3 | 0,5 | 0,75 | - | - | |
| T К | 280 | 752 | 2217 | 1365 | 1250 | 1750 | 1950 | 1650 | 1000 | 650 | $T-s$ точки x_1^1, x_2^1, \dots |
| s кДж/кг·К | 0,092 | 0,092 | 1,169 | 1,223 | 0,597 | 0,936 | 1,183 | 1,202 | 1,001 | 0,696 | |

| Для процесса | n | c кДж/кг·К | l кДж/кг | q кДж/кг | Δu кДж/кг | Δi кДж/кг | Δs кДж/кг·К | $\psi = \frac{\Delta u}{q}$ |
|-----------------|-----------|-----------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------|
| 1 – 2 | к | 0 | - 367 | 0 | 367 | 472 | 0 | ∞ |
| 2 – 3 | 0 | 1 | 451 | 1465 | 1014 | 1465 | 1,077 | 0,712 |
| 3 – 4 | 1,346 | - 0,111 | 704 | 95 | - 609 | - 852 | 0,0535 | - 6,4 |
| 4 – 1 | $+\infty$ | 0,712 | 0 | - 772 | - 772 | - 1085 | - 1,1305 | 1 |

| Для цикла | q подв. кДж/кг | q отв. кДж/кг | $l_{\text{ц}}$ кДж/кг | $q_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta u_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta i_{\text{ц}}$ кДж/кг | $\Delta s_{\text{ц}}$ кДж/кг·К | η_t |
|--------------|---------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------|
| | 1560 | 772 | 788 | 788 | 0 | 0 | 0 | 0,505 |

Выдано « ____ » _____ 200 г. Принято « ____ » _____ 200 г. Преподаватель _____

Пояснительная записка оформляется на стандартных листах или в отдельной тетради. На обложке или на титульном листе необходимо написать название записки: «Пояснительная записка к курсовой работе по термодинамике», и далее «Расчет термодинамических циклов тепловых машин»; фамилию и инициалы студента, выполнившего работу; группу, факультет и номер варианта; фамилию и инициалы преподавателя, учёную степень и звание; год выполнения работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется термодинамическим процессом?
2. Какой процесс называется политропным?
3. Какой процесс называется обратимым?
4. Что называется круговым процессом или циклом?
5. Какова физическая сущность газовой постоянной?
6. От каких параметров состояния зависит внутренняя энергия идеального газа?
7. Чему равно изменение внутренней энергии в круговом процессе (цикле)?
8. Что изображает площадь под кривой процесса в (p-v) диаграмме?
9. Что изображает площадь под кривой процесса в (T-s) диаграмме?
10. Сформулируйте Первый закон термодинамики.
11. Что называется удельной теплоёмкостью?
12. Почему теплоёмкость газа при постоянном давлении больше его теплоёмкости при постоянном объёме?
13. Как определить приращение энтропии идеального газа в зависимости от основных параметров состояния?
14. Почему в адиабатном процессе сжатия температура газа возрастает?
15. Почему в изотермическом процессе расширения газа его температура остается постоянной?
16. Как графически изображаются в p-v и T-s диаграммах изобара, изохора, изотерма и адиабата?
17. Какие условия требуются для создания непрерывного процесса превращения теплоты в работу?
18. Исследовать и изобразить в p-v и T-s диаграммах процессы сжатия воздуха при следующих значениях показателя политропы: $n=2$; $n=1,2$; $n=0,5$; $n=-0,5$; $n=-2$.
19. Исследовать и изобразить в p-v и T-s диаграммах процессы расширения воздуха при следующих значениях показателя политропы: $n=2$; $n=1,2$; $n=0,5$; $n=-0,5$; $n=-2$.


20. Исследовать и изобразить в p - v и T - s диаграммах процессы, проходящие с увеличением внутренней энергии воздуха при следующих значениях показателя политропы: $n=5$; $n=1,3$; $n=-5$.
21. Исследовать и изобразить в p - v и T - s диаграммах процессы, проходящие с уменьшением давления воздуха при следующих значениях показателя политропы: $n=2$; $n=1,1$; $n=0,5$; $n=-2$.
22. Написать уравнение работы расширения в произвольном процессе.


ЛИТЕРАТУРА


1. Болгарский А.В. и др. Термодинамика и теплопередача. М., Высшая школа, 1985г.
2. Карташев Э.М., Кудинов А.В. Техническая термодинамика. М., Высшая школа, 2000г.


ОГЛАВЛЕНИЕ


| | |
|---|----|
| 1. Цель работы..... | 3 |
| 2. Содержание задания и исходные данные..... | 3 |
| 3. Подготовка к выполнению курсовой работы..... | 5 |
| 4. Порядок выполнения работы..... | 9 |
| 5. Пример выполнения курсовой работы..... | 13 |
| 6. Отчетность по работе..... | 14 |
| 6. Контрольные вопросы..... | 16 |
| Литература..... | 17 |

| | | |
|--|---|---|
|  «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 11 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
| <p>1. Зависимость между параметрами газа в политропном процессе. Работа, внутренняя энергия и теплота политропного процесса.</p> <p>2. Основные уравнения газового потока. Уравнения неразрывности, энергии.</p> | | |

| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 6 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
| <p>1. Энтальпия. Теплоемкость: массовая, мольная, объемная, истинная, при постоянном давлении, средняя.</p> <p>2. Циклы газотурбинных установок.</p> | | |


| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 4 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
| <p>1. Газовые смеси.</p> <p>2. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Теоретический цикл и КПД двигателя.</p> | | |

| | | |
|--|---|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 12 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
| <p>1. Исследование политропного процесса.</p> <p>2. Турбореактивный двигатель. Теоретический цикл и КПД двигателя.</p> | | |

| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 7 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
|--|--|---|


1.Теплоемкость газовой смеси. Отношение теплоемкостей. Взаимодействие системы с окружающей средой. Закон сохранения энергии для изолированной системы.

2.Цикл жидкостно-реактивного двигателя.

| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 5 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
|--|--|---|


1.Работа и теплота. Внутренняя энергия.

2.Уравнение состояния реального газа.

| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 1 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
|--|--|---|

1.Первый закон термодинамики

2.Уравнение состояния идеального газа.

| | | |
|--|--|---|
|  «Московский авиационный институт» | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 2 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой <hr/> " ____ " ____ |
|--|--|---|

1.Параметры состояния. Параметры процесса. Термодинамические процессы.

2.Термодинамика.Виды. Основные положения. История развития

| | | |
|--|--|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 3 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|--|---|

1. Цикл Карно. Прямой и обратный. Цикл Карно в тепловой диаграмме.

2. Основные термодинамические тождества

| | | |
|--|--|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 8 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|--|---|

1. Работа расширения. Располагаемая работа. Максимальная работа.

2. Энтропия. Теорема Карно. Интеграл Клаузиуса. Тепловая теорема Нерста

| | | |
|--|--|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 9 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|--|---|

1. Математическое выражение второго закона термодинамики.

2. Энтропия. Вырождение замкнутой системы. Тепловая смерть.

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 10 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

1. Тепловые двигатели

2. Уравнение состояния реального газа.

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 13 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

1. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Индикаторная диаграмма

2. Истечение газов. Уравнение расхода. Анализ уравнения расхода

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 14 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

1. Обобщающее значение политропных процессов.

2. Зависимость теплоемкости от температуры. Теплоемкость реального газа.
Уравнение Майера

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 15 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

1. Политропные процессы в тепловой диаграмме. Обобщающее значение

2. Второй закон термодинамики. Основные положения

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 16 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

1. Раширяющиеся сопла.

2. Дросселирование газа

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 17 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

- 1.Основные уравнения газового потока
- 2.Уравнение состояния идеального газа.

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 18 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

- 1.Свойства обратимых и необратимых циклов.
- 2.Политропные процессы. Виды. Общие положения исследования

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 19 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

- 1.Циклы холодильных установок
- 2.Адиабатный процесс истечения газа

| | | |
|--|---|---|
| «Московский авиационный институт К.Э.Циолковского | Кафедра "Технология производства авиационных двигателей" ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ N 20 по дисциплине «ТЕРМОДИНАМИКА» | УТВЕРЖДАЮ Зав. кафедрой " ____ " ____ |
|--|---|---|

- 1.Круговые термодинамические процессы. Термический КПД и холодильный коэффициент
- 2.Аналитическое выражение работы процесса..