

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Техническая термодинамика**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Сухих А.А.                   |
|  | Идентификатор                                      | R263e31c0-SukhikhAA-8cd24e7d |

(подпись)

А.А. Сухих

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Рогалев А.Н.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B |

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Рогалев А.Н.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rb956ba44-RogalevAN-6233a28B |

(подпись)

А.Н. Рогалев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

ИД-5 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач

2. ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

ИД-2 Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах. (Контрольная работа)
2. Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок (Контрольная работа)
3. Расчет циклов паротурбинных установок (Контрольная работа)
4. Термодинамические процессы идеального газа (Контрольная работа)
5. Термодинамические свойства и процессы водяного пара (Контрольная работа)
6. Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

1. Выполнение и защита лабораторных работ (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе (Расчетно-графическая работа)
2. Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями (Расчетно-графическая работа)

## БРС дисциплины

3 семестр

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |     |     |     |
|-------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|
|                   | Индекс                          | КМ- | КМ- | КМ- |

|  | КМ:      | 1  | 2  | 3  | 4  |
|--|----------|----|----|----|----|
|  | Срок КМ: | 4  | 7  | 12 | 16 |
| Основные понятия термодинамики   |          |    |    |    |    |
| Основные понятия термодинамики   | +        |    |    |    |    |
| Первый закон термодинамики   |          |    |    |    |    |
| Первый закон термодинамики   | +        |    |    |    |    |
| Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов                             |          |    |    |    |    |
| Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости идеальных газов                             | +        |    |    |    |    |
| Процессы с идеальными газами   |          |    |    |    |    |
| Процессы с идеальными газами   |          |    |    | +  |    |
| Второй закон термодинамики   |          |    |    |    |    |
| Второй закон термодинамики   |          |    | +  |    |    |
| Смеси газов  |          |    |    |    |    |
| Смеси газов  |          |    | +  |    |    |
| Методы термодинамического анализа  |          |    |    |    |    |
| Методы термодинамического анализа  |          |    |    |    | +  |
| Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами                                      |          |    |    |    |    |
| Фазовые диаграммы и процессы с реальными веществами                                      |          |    |    |    | +  |
| Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики |          |    |    |    |    |
| Характеристические функции, уравнения состояния и дифференциальный аппарат термодинамики |          |    |    |    | +  |
| Основы химической термодинамики  |          |    |    |    |    |
| Основы химической термодинамики  |          |    |    |    | +  |
| Третий закон термодинамики и его следствия   |          |    |    |    |    |
| Третий закон термодинамики и его следствия   |          |    |    |    | +  |
|  | Вес КМ:  | 30 | 20 | 15 | 35 |

4 семестр

| Раздел дисциплины | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|
|                   | Индекс КМ:                      | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 | КМ-9 |
|                   | Срок КМ:                        | 4    | 9    | 12   | 15   | 15   |

|   |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|
| Процессы истечения газов и жидкостей в соплах |    |    |    |    |    |
| Процессы истечения газов и жидкостей в соплах | +  |    |    |    | +  |
| Влажный воздух                                |    |    |    |    |    |
| Влажный воздух                                | +  |    |    |    | +  |
| Циклы паротурбинных установок                 |    |    |    |    |    |
| Циклы паротурбинных установок                 | +  | +  |    |    | +  |
| Теплофикационные циклы                        |    |    |    |    |    |
| Теплофикационные циклы                        | +  | +  | +  |    |    |
| Циклы АЭС                                     |    |    |    |    |    |
| Циклы АЭС                                     |    | +  | +  |    |    |
| Процессы сжатия в компрессорах                |    |    |    |    |    |
| Процессы сжатия в компрессорах                |    |    |    | +  |    |
| Циклы ГТУ и ДВС                               |    |    |    |    |    |
| Циклы ГТУ и ДВС                               |    |    |    | +  |    |
| Циклы парогазовых установок                   |    |    |    |    |    |
| Циклы парогазовых установок                   |    |    |    | +  |    |
| Циклы холодильных и теплонасосных установок   |    |    |    |    |    |
| Циклы холодильных и теплонасосных установок   |    |    |    | +  |    |
| Вес КМ:                                       | 25 | 25 | 10 | 20 | 20 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор   | Запланированные результаты обучения по дисциплине  | Контрольная точка   |
|--------------------|---|--|---|
| ОПК-3              | ИД-5 <sub>ОПК-3</sub> Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач | Знать:<br>основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; основные законы термодинамики, особенности их применения для расчета и анализа термодинамических процессов о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них основы экспериментального исследования и математического моделирования термодинамических процессов и циклов | Термодинамические процессы идеального газа (Контрольная работа)<br>Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов (Контрольная работа)<br>Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе (Расчетно-графическая работа)<br>Термодинамические свойства и процессы водяного пара (Контрольная работа)<br>Выполнение и защита лабораторных работ (Лабораторная работа) |

|       |  |  |   |
|-------|--|--|---|
|       |  | <p>теплосиловых установок</p> <p>Уметь:</p> <p>применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании</p> <p>применять знания о термических и калорических свойствах веществ для расчета и анализа термодинамических процессов в техническом оборудовании, пользоваться справочными данными для их поиска</p> |   |
| ОПК-4 | ИД-2 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей | <p>Знать:</p> <p>термодинамические методы расчета и анализа типовых процессов в техническом оборудовании, циклов и их показателей</p> <p>термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках,</p>   | <p>Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах. (Контрольная работа)</p> <p>Расчет циклов паротурбинных установок (Контрольная работа)</p> <p>Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями (Расчетно-графическая работа)</p> <p>Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок (Контрольная работа)</p> |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | <p>показатели их<br/>эффективности<br/>Уметь:<br/>вычислять показатели<br/>энергетической<br/>эффективности<br/>термодинамических<br/>процессов, прямых и<br/>обратных<br/>термодинамических<br/>циклов<br/>определять рабочие<br/>параметры технического<br/>оборудования,<br/>анализировать влияние их<br/>изменения на показатели<br/>эффективности<br/>теплотехнических<br/>установок и систем</p> |  |
|--|--|--|--|



## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 3 семестр

#### КМ-1. Термодинамические процессы идеального газа

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

#### Краткое содержание задания:

Контрольная точка направлена на освоение знаний 1-го закона термодинамики, расчета изопроцессов идеальных газов, построение процессов идеальных газов в  $p-v$ ,  $p-T$ ,  $v-T$  диаграммах.

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |  |
|--|--|
| Знать: основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл; основные законы термодинамики, особенности их применения для расчета и анализа термодинамических процессов | 1.Билет №5<br>Сжатый газ CO <sub>2</sub> , поступающий из газопровода при $P_1=9$ бар и $t_1=40$ °C в количестве $V_0=270$ м <sup>3</sup> /час нагревается в проточном теплообменнике до $t_2$ за счет подвода теплоты $q=500$ кДж/кг, а затем расширяется адиабатно в турбине до атмосферного давления. Определить мощность газовой турбины, конечную температуру газа, а также суммарное изменение энтальпии и энтропии. Изобразить процессы на $Pv$ и $Ts$ диаграммах.<br>2.Основные понятия и термины в области технической термодинамики, их физический смысл<br>3.Основные законы термодинамики, особенности их применения для расчета и анализа термодинамических процессов |
|--|--|

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки, или ошибки в изображении процессов.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно. Графическое пояснение материала правильное не менее 50%.

## **КМ-2. Термодинамические свойства и процессы смесей идеальных газов**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

### **Краткое содержание задания:**

Контрольная работа направлена на умение применять знания о термических и калорических свойствах веществ для смеси идеальных газов, на умение пользоваться справочными материалами для определения свойств идеальных газов. Умение рассчитать термодинамические параметры и параметры состояния смеси.

### **Контрольные вопросы/задания:**

|  |   |
|--|---|
| Уметь: применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании | 1. Билет 10<br>Смесь из 0,1 кг N <sub>2</sub> и 0,3 кг CO при температуре 100 <sup>o</sup> C изотермически сжимается до объема в 2 раза меньшего, чем первоначальный. Определить затраченную работу и изменение энтропии системы. |
|--|---|

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно.

## **КМ-3. Расчет цикла на идеально-газовом рабочем веществе**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение самостоятельного расчетного задания (срок 2 недели).

### Краткое содержание задания:

Расчетно-графическая работа направлена на проверку навыков применения знаний об основных процессах с идеальным газом, методик расчета подведенной/отведенной теплоты, работы и изменения функций состояния в термодинамических циклах.

### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| <p>Уметь: применять знания о термических и калорических свойствах веществ для расчета и анализа термодинамических процессов в техническом оборудовании, пользоваться справочными данными для их поиска</p> | <p>1.МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ</p> <p>Кафедра Теоретических основ теплотехники<br/>ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ № 1-1<br/>по курсу "Термодинамика"</p> <p>Цикл состоит из следующих процессов:</p> <p>(1 – 2) <math>V = \text{Const}</math><br/>(2 – 3) <math>S = \text{Const}</math><br/>(3 – 4) <math>n = \text{Const}</math><br/>(4 – 5) <math>T = \text{Const}</math><br/>(5 – 1) <math>P = \text{Const}</math></p> <p>Рабочее тело – <math>H_2O</math>. Показатель политропного процесса <math>n = 1,2</math></p> <p><math>P_1 = 0,4</math> бар <math>P_2 = 3 \cdot P_1</math> <math>P_4 = P_2</math></p> <p><math>T_1 = 0</math> <math>^{\circ}C</math> <math>T_3 = 700</math> <math>^{\circ}C</math></p> <p>Р а с с ч и т а т ь :</p> <p>1) параметры (<math>P, V, T</math>) в каждой точке цикла и функции состояния (<math>u, h, s</math>);</p> <p>2) теплоту, работу расширения, изменение внутренней энергии, Энтальпии и энтропии для каждого процесса. Рассчитать это же за весь цикл;</p> <p>3) термический коэффициент полезного действия цикла; Газ считать идеальным, его теплоемкость – зависящей от температуры, процессы – обратимыми.</p> <p>Представить две сводные таблицы: первая – параметров и функций состояния для каждой точки цикла, и вторая – для теплоты, работы,</p> <p>Представить цикл в масштабе в <math>P, V</math> и <math>T, s</math> диаграммах. Для вычерчивания цикла при необходимости рассчитать несколько промежуточных точек. Считать, что <math>s = 0</math> при <math>T_0 = 273,15</math> К и <math>P_0 = 0,1</math> МПа.</p> <p>Группа _____ Срок выдачи задания _____</p> <p>Студент _____ Срок сдачи задания _____</p> |
|--|---|

|  |                           |
|--|---------------------------|
|  | <hr/> Преподаватель <hr/> |
|--|---------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 95*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме и в отведенный срок.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если допущены незначительные арифметические ошибки, а графическое изображение процессов правильное.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если допущены незначительные арифметические ошибки, но соотношения для расчета параметров правильные, а также графическое изображение процессов правильно.

**КМ-4. Термодинамические свойства и процессы водяного пара**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 35

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа направлена на умение применять знания о термических и калорических свойствах веществ для смеси идеальных газов, на умение пользоваться справочными материалами для определения свойств идеальных газов. Умение рассчитать термодинамические параметры и параметры состояния смеси.

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |   |
|---|---|
| Знать: о термических и калорических свойствах веществ, методах получения информации о них | <b>1.Билет №1</b><br><b>1. Дано: <math>p = 110</math> бар; <math>t = 300</math> оС ; состояние, <math>v</math>, <math>h</math>, <math>s</math> – ?</b><br><b>2. Дано: <math>p = 200</math> бар; <math>s = 4,35</math> кДж / (кг К) ; <math>v</math> – ?</b><br><b>3. Дано: <math>p_1 = 5</math> бар; <math>x_1 = 0,9</math> ; <math>t = \text{const}</math> ; <math>p_2 = 0,5</math> бар.</b><br><b>Определить <math>t</math>, <math>q</math>, <math>l</math>, дельта <math>u</math> – ? Изобразить состояния и процессы во всех задачах в P-v; T-s; P-T; h-s и h-P диаграммах. Если состояние Ж, то h-s не использовать”</b> |
|---|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки, или незначительные ошибки в изображении процессов.

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть (меньшая) ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно. Графическое пояснение материала правильное не менее 50%.

#### 4 семестр

#### КМ-5. Истечение идеальных газов и водяного пара из сопел и в диффузорах.

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

#### **Краткое содержание задания:**

Контрольная работа направлена на умение применять знания о термических и калорических свойствах идеальных газов, на умение пользоваться справочными материалами для определения свойств идеальных газов. Умение рассчитать термодинамические параметры при истечении из сопла идеальных и реальных газов.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|   |   |
|---|---|
| Знать: термодинамические методы расчета и анализа типовых процессов в техническом оборудовании, циклов и их показателей | <p>1. <b>Билет №7</b></p> <p>7.1. Водяной пар при давлении <math>P_0=4</math> МПа и температуре <math>t_0=450</math>°C поступает к соплам Лавала. Давление за соплами <math>P_{ср}=0,5</math> МПа. Определить диаметры минимального и выходного сечения и длину расширяющейся части сопла, если угол раскрытия <math>6^\circ</math>. Если площадь минимального сечения сопел равна <math>f_{мин}=90</math> мм<sup>2</sup>. Изобразить процесс в диаграммах <math>h,S</math> и <math>T,S</math>.</p> <p>7.2. Воздух при давлении <math>P_1=2</math> МПа и температуре <math>t_1=4200</math>°C поступает с начальной скоростью <math>W_1=140</math> м/с к суживающим соплам. Давление за соплами <math>P_{ср}=1,2</math> МПа. Определить скорость истечения и расход газа, если площадь минимального сечения сопел равна <math>f_2=260</math> мм<sup>2</sup>. Коэффициент скорости 0,95. Изобразить процесс в диаграммах <math>p,v</math> и <math>T,S</math>.</p> |
|---|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки, или незначительные ошибки в изображении процессов.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть (меньшая) ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно. Графическое пояснение материала правильное не менее 50%.

**КМ-6. Расчет циклов паротурбинных установок**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 25**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

**Краткое содержание задания:**

Задание направлено на проверку умения выполнять расчеты параметров и основных термодинамических характеристик циклов паротурбинных установок.

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| Уметь: определять рабочие параметры технического оборудования, анализировать влияние их изменения на показатели эффективности теплотехнических установок и систем | <b>1.Билет №5</b><br>Определить изменение термического КПД и часового расхода пара ПТУ мощностью 300МВт после применения регенеративного подогревателя поверхностного типа, температура подогрева воды в котором на 9,9оС ниже температуры насыщения при Р01. Параметры водяного пара перед турбиной Р1=100бар и t1=570оС, давление в регенеративном отборе Р01 =10бар, давление в конденсаторе Р2 =0,05бар. Представить схему установки и TS-диаграмму цикла. |
|---|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки, или незначительные ошибки в изображении процессов.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть (меньшая) ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно. Графическое пояснение материала правильное не менее 50%.*

### **КМ-7. Расчет цикла ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выполнение самостоятельного расчетного задания (срок 2 недели).

#### **Краткое содержание задания:**

Задание направлено на проверку умения самостоятельно выполнять расчеты циклов ПТУ с промежуточным перегревом и 2-мя регенеративными подогревателями, пользоваться справочником “Теплофизические свойства воды и водяного пара”, использовать 2-ную интерполяцию.

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| <p>Уметь: вычислять показатели энергетической эффективности термодинамических процессов, прямых и обратных термодинамических циклов</p> | <p>1.КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕПЛОТЕХНИКИ им. М.П. ВУКАЛОВИЧА<br/>Домашнее задание по курсу «ТЕРМОДИНАМИКА»<br/><b>Вариант №5</b><br/>Рассчитать термический и внутренний КПД, удельный расход пара и условного топлива для турбоустановки с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными подогревателями: 1-й - поверхностного, 2-й - смешивающего типов. Определить также среднеинтегральную температуру подвода теплоты в цикле.<br/><b>Задано:</b><br/>Начальные параметры водяного пара: <math>P_1=10</math> МПа, <math>t_1=540</math>оС,<br/>Давление пара в конденсаторе: <math>P_2=4</math> кПа.<br/>Параметры пара после промежуточного перегрева: <math>P_p=3</math> МПа, <math>t_p=520</math>оС.<br/>1-ый отбор от головы ЦНД.<br/>Давление пара во втором регенеративном подогревателе выбирается из условия <math>Dt_1= Dt_2</math><br/>Недогрев жидкости до температуры конденсации греющего пара в первом регенеративном подогревателе равен <math>Dt_1=40</math>С, во втором- <math>Dt_2=00</math>С.<br/>Внутренние относительные КПД отсеков турбины и</p> |
|---|--|

|  |   |
|--|---|
|  | <p>насосов: чвд - 0,93; чнд - 0,91; насоса - 0,84; КПД других элементов установки: котла-агрегата - 0,92; механический - 0,99; паропроводов - 0,99; электрогенератора - 0,99.</p> <p>Представить схему ПТУ и цикл в T-s диаграмме в масштабе.</p> |
|--|---|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 95*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме и в отведенный срок.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если допущенные незначительные арифметические ошибки, а графическое изображение процессов правильное.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если допущенные незначительные арифметические ошибки, но соотношения для расчета параметров правильные, а также графическое изображение процессов правильно.

**КМ-8. Расчет процессов сжатия в компрессорах, циклов газотурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания, холодильных машин и теплонасосных установок**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Раздаются билеты с задачами. Время выполнения-2 учебных часа. Разрешается пользоваться материалами семинарских и лекционных занятий, справочниками. Запрещается пользование мобильными телефонами.

**Краткое содержание задания:**

Контрольная направлена на умение рассчитывать термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в газотурбинных, холодильных и теплонасосных установках, а также в двигателях внутреннего сгорания. Определять показатели их эффективности.

**Контрольные вопросы/задания:**

|   |  |
|---|--|
| <p>Знать: термодинамические процессы и циклы преобразования энергии, используемые в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках, показатели их эффективности</p> | <p>1.Билет №8</p> <p>Определить мощность ГТУ, а также изменение действительного КПД цикла за счет применения регенеративного подогрева воздуха, если <math>P_1 = 0,1 \text{ МПа}</math>, <math>t_1 = 24^\circ\text{C}</math>, <math>t_{\text{max}} = 800^\circ\text{C}</math>, степень повышения давления 3,5; расход воздуха 500т/час. Внутренние относительные КПД компрессора 0,85, а турбины 0,9. Степень регенерации – предельная. Изобразить цикл в координатах Ts и представить принципиальную схему установки.</p> |
|---|--|



**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если применены правильные соотношения, выбрано верное направление для решения задач, но допущены некоторые арифметические ошибки, или незначительные ошибки в изображении процессов.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено в объеме не менее 50%, часть ответов ошибочна, хотя основные соотношения написаны правильно.

**КМ-9. Выполнение и защита лабораторных работ**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Домашняя подготовка по темам лабораторных работ. Выполнение лабораторных работ на физических стендах. Оформление отчета по результатам выполненной работы и обработка результатов согласно требованиям методических указаний. Защита лабораторных работ по теме работы в виде тестирования.

**Краткое содержание задания:**

Программой курса предусмотрено выполнение 4-х лабораторных работ на физических стендах Лаборатории технической термодинамики. При дистанционном обучении предполагается выполнение виртуальных лабораторных работ. Названия лабораторных работ: 1. Изохорное нагревание воды и водяного пара. 2. Исследование процесса адиабатного истечения водяного пара (воздуха) через суживающееся сопло. 3. Определение термодинамических свойств воздуха при атмосферном давлении. 4. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Влияние параметров на энергетическую эффективность цикла ПТУ.

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| <p>Знать: основы экспериментального исследования и математического моделирования термодинамических процессов и циклов теплосиловых установок</p> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Методика расчета подведенной/отведенной теплоты, расчета массовых расходов и выходных скоростей при истечении в соплах.</li> <li>2.Основные законы термодинамики.</li> <li>3.Ход изучаемых процессов на <math>p_v</math> и <math>T_s</math> диаграммах.</li> <li>4.Схемы экспериментальных установок, принцип работы.</li> <li>5.Основные соотношения для расчета параметров влажного воздуха.</li> <li>6.Методику расчета параметров воздуха в процессе сушки влажного материала, определения</li> </ol> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно, в срок*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач.*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

|   |  |
|---|--|
| ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"<br>Кафедра Теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича<br>Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника<br>Дисциплина: Техническая термодинамика<br><br>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №5   | УТВЕРЖДАЮ<br><br>Зав. каф. ТОТ<br>25 декабря 202 |
| <p>1. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы. Вывод и примеры использования.</p> <p>2. Условия устойчивости и равновесия в изолированной однородной системе. Условие фазового равновесия жидкости и пара.</p> <p>3. В дроссельное устройство поступает влажный пар с <math>P_1 = 20</math> бар и <math>x_1 = 0,967</math>. В результате адиабатного дросселирования на выходе получают сухой насыщенный пар. Определить изменение температуры, давления и потерю эксергии при <math>T_{ос} = 283,15</math> К. Изобразить процесс в <math>h_p</math>, <math>h_s</math> и <math>T_s</math> диаграммах.</p> |  |

### Процедура проведения

Промежуточная аттестация по дисциплине в форме экзамена проводится в период экзаменационной сессии. Экзамен проводится в устной форме. В билете 2 теоретических вопроса и 1 задача. Решение задачи в письменном виде и ответы на теоретические вопросы записываются на экзаменационном листе, на котором стоит подпись преподавателя, время выдачи билета и его номер. Подготовка не более 70 мин. Опрос по материалам билета не более 20 мин., дополнительные вопросы не более 10 мин. дополнительные вопросы вместе с результатом ответа также записываются на экзаменационном листе. Студент может пользоваться рабочей программой дисциплины и калькулятором, справочной литературой и нормативными документами. Пользование учебниками, задачками, лекциями, мобильными телефонами и шпаргалками запрещается. При нарушении данного регламента студенту выставляется оценка "неудовлетворительно".

## ***1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины***

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-5<sub>ОПК-3</sub> Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач

### **Вопросы, задания**

1. Понятия о термодинамических системах, равновесных и неравновесных процессах, интенсивных и экстенсивных параметрах и функциях состояния.
2. Термические коэффициенты и соотношения между ними.
3. Принцип эквивалентности тепла и механической работы. Формулировки первого закона термодинамики. Внутренняя энергия и ее свойства.
4. Виды работ термомеханической системы и связь между ними. Графическая иллюстрация.
5. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы. Вывод и примеры использования.
6. Определение изобарной и изохорной теплоемкостей, вывод уравнения для их соотношения.
7. Определение теплоемкости. Размерность теплоемкостей. Соотношение массовой, мольной и объемной теплоемкостей.
8. Определение теплоемкости. Теплоемкость идеальных газов.
9. Вывод соотношений для относительных объемов и давлений для адиабатного процесса с учетом зависимости теплоемкости от температуры.
10. Вывод уравнения политропы идеального газа. Изображение политропных процессов в PV и TS диаграммах.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1.1. Термодинамическая система. Определение.

Ответы:

1. Термодинамическая система - это совокупность материальных тел с неменяющейся массой.
2. Термодинамическая система - это совокупность объектов с постоянным объемом.
3. Термодинамическая система – это совокупность материальных тел, имеющих объем, ограниченный контрольной поверхностью, которые взаимодействуют как между собой, так и с объектами за пределами внешней границы, т.е. с окружающей средой.
4. Термодинамическая система- это физическое тело (или совокупность), которое может совершать работу расширения.
5. Термодинамическая система- это физическое тело (или совокупность), которое может совершать работу техническую.

Верный ответ: 3.

2.1-ый закон термодинамики.

Ответы:

1. Теплота, подведенная к системе приводит к увеличению её объема.
2. Теплота, подведенная к термодинамической системе, идет на увеличение энергии системы и совершение работы.

$$Q=(E_1-E_2)+L.$$

3. Теплота, подведенная к системе приводит к увеличению её температуры.
4. Теплота, отводимая от системы приводит к уменьшению её температуры.
5. Температура тела зависит от совокупной скорости движения молекул.

Верный ответ: 2.

3. Виды работ термомеханической системы и соотношение между ними.

Ответы:

1. Это работа расширения  $\int p dv$  и работа сжатия  $-\int p dv$ . Работа расширения со знаком "+". Работа сжатия со знаком "-." По модулю они равны между собой.
2. Эта та часть работы термодинамической системы, которая может перейти в техническую.
3. Это работа по ускорению потока и работа против сил трения.
4. Это работа расширения системы и работа техническая. Они равны между собой.
5. Это работа изменения объема  $\int p dv$ ; располагаемая работа  $-\int v dp$ ; работа проталкивания  $\int d(pv)$ . Соотношение:  $d(pv) = p dv + v dp$ .

Верный ответ: 5. Это работа изменения объема  $\int p dv$ ; располагаемая работа  $-\int v dp$ ; работа проталкивания  $\int d(pv)$ . Соотношение:  $d(pv) = p dv + v dp$ .

4. Аналитическая запись 2-ого закона термодинамики. Определение энтропии.

Ответы:

1.  $dS = dQ/T$  - для обратимых процессов.  $dS > dQ/T$  - для необратимых процессов.
2.  $dS = dQ/T$  - для обратимых процессов.  $dS < dQ/T$  - для необратимых процессов.
3.  $dS = dH/T$  - для обратимых процессов.  $dS > dH/T$  - для необратимых процессов.
4.  $dS = dU/T$  - для обратимых процессов.  $dS > dU/T$  - для необратимых процессов.
5.  $S = dQ/dT$  - для обратимых процессов.  $S > dQ/dT$  - для необратимых процессов.

Верный ответ: 5.  $S = dQ/dT$  - для обратимых процессов.  $S > dQ/dT$  - для необратимых процессов.

- 5.5. Графическая иллюстрация количества подведенной теплоты в T,s-диаграмме.

Ответы:

1. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади под процессом в проекции на ось ординат.  $Q = \int S dT$ .
2. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади под процессом в проекции на ось абсцисс.  $Q = \int T dS$ .
3. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади прямоугольника  $Q = T \Delta S$ .
4. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади прямоугольника  $Q = T \Delta S / 2$ .
5. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади прямоугольника  $Q = (T - T_0) \Delta S$ . Где  $T_0$  - температура окружающей среды.

Верный ответ: 2. Количество подведенной теплоты в TS-диаграмме равно площади под процессом в проекции на ось абсцисс.

6. Состояния водяного пара.

Ответы:

1. Перегретый пар и насыщенный пар.
2. Перегретый пар и влажный пар.
3. Влажный пар и насыщенный пар.
4. Влажный пар и сухой насыщенный пар.
5. Влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар.

Верный ответ: 5. Влажный пар, сухой насыщенный пар, перегретый пар.

7. Определение степени сухости влажного пара.

Ответы:

1.  $x = \frac{v - v'}{v'' - v'}$ .
2.  $x = \frac{h - h'}{h'' - h'}$ .
3.  $x = \frac{s - s'}{s'' - s'}$ .
4.  $x = \frac{m - m'}{m'' - m'}$ .
5.  $x = \frac{p - p'}{p'' - p'}$ .

Верный ответ: 4.

8. Определение теплоемкости.

Ответы:

1.  $c_x = \left(\frac{\partial q}{\partial T}\right)_x$ .

2.  $c_x = \frac{q}{\Delta T}$ .

3.  $c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$ .

4.  $c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$ .

5.  $c_x = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_x$ .

Верный ответ: 1.

9. Процесс адиабатного дросселирования.

Ответы:

1. Это процесс течения при  $S = \text{const}$ .

2. Необратимый процесс преодоления потоком гидравлического сопротивления с потерей давления при условии постоянства энтальпии.

3. Процесс течения потока, в котором не совершается технической работы.

4. Это процесс течения с понижением температуры и давления.

5. Это процесс течения с понижением энтальпии и давления.

Верный ответ: 2. Необратимый процесс преодоления потоком гидравлического сопротивления с потерей давления при условии постоянства энтальпии.

10. Третий закон термодинамики.

Ответы:

1. Абсолютный ноль Кельвина - это такая температура, энтропия в которой равняется 0.

2. При приближении к абсолютному нулю температуры изобарная и изохорная теплоемкости становятся равными.

3. Абсолютный ноль температуры (Кельвина) не достигим.

4. При приближении к абсолютному нулю тепловые эффекты химических реакций уменьшаются.

5. Тепловой эффект химической реакции не зависит от последовательности промежуточных стадий такой реакции.

Верный ответ: 3. Абсолютный ноль температуры (Кельвина) не достигим.

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задача решена без ошибок, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 85%.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если задача решена с некоторыми незначительными (арифметическими) ошибками, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 70%.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задача решена с некоторыми незначительными (арифметическими) ошибками, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 50%.

### III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

4 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

|  |   |
|--|---|
| ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ"<br>Кафедра Теоретических основ теплотехники им. М.П. Вукаловича<br>Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника<br>Дисциплина: Техническая термодинамика<br>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №8  | УТВЕРЖДАЮ<br><br>Зав. каф. ТОТ<br>25 декабря 202_ |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы. Вывод и примеры использования.</li><li>2. Процессы с идеальными газами. Вычисление теплоты и работы.</li><li>3. Вычислить изменение энергии Гельмгольца для водяного пара при равновесном изотермическом переходе из точки с <math>P_1 = 5</math> бар и <math>x_1 = 0.80</math> на изобару <math>P_2 = 50</math> бар. Изобразить процесс в <math>T_s</math> и <math>P_v</math> диаграммах.</li></ol> |   |

### Процедура проведения

Промежуточная аттестация по дисциплине в форме экзамена проводится в период экзаменационной сессии. Экзамен проводится в устной форме. В билете 2 теоретических вопроса и 1 задача. Решение задачи в письменном виде и ответы на теоретические вопросы записываются на экзаменационном листе, на котором стоит подпись преподавателя, время выдачи билета и его номер. Подготовка не более 70 мин. Опрос по материалам билета не более 20 мин., дополнительные вопросы не более 10 мин. дополнительные вопросы вместе с результатом ответа также записываются на экзаменационном листе. Студент может пользоваться рабочей программой дисциплины и калькулятором, справочной литературой и нормативными документами. Пользование учебниками, задачками, лекциями, мобильными телефонами и шпаргалками запрещается. При нарушении данного регламента студенту выставляется оценка "неудовлетворительно".

### I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей

### Вопросы, задания

1. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока. Адиабатное течение газа и несжимаемой жидкости.
2. Уравнение неразрывности потока.

3. Вывод зависимости скорости звука от термодинамических параметров. Уравнение Лапласа.
4. Цикл и схема ПТУ с промежуточным перегревом пара. Термический КПД, удельные расходы пара и теплоты.
5. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Определение оптимального давления промперегрева.
6. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями смешивающего типа. Термический КПД, удельные расходы пара и теплоты.
7. Регенеративный цикл ПТУ. Схема с подогревателями поверхностного типа. Термический КПД, удельные расходы пара и тепла.
8. Зависимость термического КПД цикла от температуры питательной воды и числа регенеративных подогревателей.
9. Теплофикационный цикл ПТУ с противодавлением. Отопительный коэффициент и удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении.
10. Теплофикационный цикл с отборами пара. Отопительный коэффициент и удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении.
11. Методика разнесения затрат на выработку электрической и тепловой энергии эксергетическим и методом «недовыработки».
12. Циклы АЭС с насыщенным водяным паром. Применение сепарации и промперегрева пара.
13. Многоступенчатый турбокомпрессор. Процессы в  $P, v$  и  $T, s$  – диаграммах. Затраченная работа. Отведенная теплота.
14. Вывод соотношения для определения оптимального перепада давлений между ступенями компрессора.
15. Вывод соотношения для определения оптимального перепада давлений между ступенями компрессора.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Уравнение первого закона термодинамики для стационарного потока.

Ответы:

1.  $dq = dh + wdw + gdx + dl_{\text{тех}}$  .
2.  $dh = wdw + gdx + dl_{\text{тех}}$ .
3.  $dq = dh - vdp$  .
4.  $dq = du + hdv$ .
5.  $dq = du + pdv$ .

Верный ответ: 1.

2. Уравнение неразрывности потока.

Ответы:

1.  $\tau = \frac{fv}{W}$  .
2.  $f = \frac{mW}{v}$  .
3.  $m = \frac{fW}{v}$ .
4.  $m = \frac{fW}{\rho}$ .
5.  $E = mc^2$ .

Верный ответ: 3.

3. Термический КПД цикла.

Ответы:

1.  $\eta_t = \frac{N_t^T}{Q_{t1}}$ .



2.  $\eta_t = \frac{L_t^H}{Q_{1t}}$ .
3.  $\eta_t = \frac{L_t^H}{Q_1 - Q_2}$ .
4.  $\eta_t = \frac{L_t^H}{L_t^1}$ .
5.  $\eta_t = \frac{L_t^H}{Q_{1t}}$ .

Верный ответ: 2.

4.

Зависимость внутреннего КПД цикла ПТУ от давления  $p_1$  перед турбиной при фиксированных температурах.

Ответы:

1. Внутренний КПД цикла ПТУ увеличивается с ростом давления  $p_1$ .
2. Внутренний КПД цикла ПТУ не зависит от давления  $p_1$ .
3. Существует оптимальное значение давления  $p_1$ , при котором внутренний КПД цикла ПТУ максимален. Оно одинаковое для всех заданных температур перед турбиной  $T_1$ .
4. Существует оптимальное значение давления  $p_1$ , при котором внутренний КПД цикла ПТУ максимален. Максимум КПД смещается вправо с увеличением температуры перед турбиной  $T_1$ .
5. Существует оптимальное значение давления  $p_1$ , при котором внутренний КПД цикла ПТУ максимален. Максимум КПД смещается влево с увеличением температуры перед турбиной  $T_1$ .

Верный ответ: 4.

5. Существует ли оптимальное давление промежуточного перегрева пара, при котором КПД цикла максимален?

Ответы:

1. Да, существует.
2. Нет, в любом случае КПД ПТУ с промежуточным пароперегревателем увеличивается.
3. Это значение равно  $p_{\text{пп}} = \sqrt{p_1 \cdot p_2}$ , где  $p_1$ -давление перед турбиной,  $p_2$  - давление в конденсаторе.
4. Это значение равно  $p_{\text{пп}} = (p_1 + p_2)/2$ , где  $p_1$ -давление перед турбиной,  $p_2$  - давление в конденсаторе.
5. Это значение равно  $p_{\text{пп}} = (p_1 + p_2)/3$ , где  $p_1$ -давление перед турбиной,  $p_2$  - давление в конденсаторе.

Верный ответ: 1.

6. Чему равно численное значение работы цикла ПТУ в  $T_s$  - диаграмме?

Ответы:

1. Площади под процессом подвода теплоты в проекции на ось ординат.
2. Площади под процессом подвода теплоты в проекции на ось абсцисс.
3. Площади под процессом отвода теплоты в проекции на ось ординат.
4. Площади под процессом отвода теплоты в проекции на ось абсцисс.
5. Площади внутри цикла.

Верный ответ: 5.

7. Каким образом меняется степень сухости влажного пара на выхлопе турбины при увеличении температуры перед турбиной  $T_1$ , если давление  $p_1$  при этом не меняется?

Ответы:

1. Увеличивается.
2. Уменьшается.
3. Не меняется.
4. Сначала увеличивается, затем уменьшается.
5. Сначала уменьшается, затем остается постоянной.

Верный ответ: 2.

8. Каким образом влияет введение регенеративного подогрева питательной воды на КПД и мощность ПТУ?

Ответы:

1. КПД и мощность увеличиваются.
2. КПД растет, а мощность не меняется.
3. КПД растет, а мощность снижается.
4. КПД уменьшается, а мощность возрастает.
5. КПД не меняется, а мощность возрастает.

Верный ответ: 3.

9. Определить оптимальные значения степеней повышения давления в 3-ступенчатом компрессоре, если начальное давление газа  $p_H = 120 \text{ кПа}$ , а конечное  $p_K = 960 \text{ кПа}$ .

Ответы:

1.  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \sqrt{\frac{p_K + p_H}{p_H}} = 3,0.$
2.  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \sqrt{\frac{p_K}{p_H}} = 2,828.$
3.  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \sqrt[3]{\frac{p_K}{p_H}} = 2,0.$
4.  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \sqrt{\frac{p_K - p_H}{p_H}} = 2,646.$
5.  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \sqrt[3]{\frac{p_K + p_H}{p_H}} = 2,080.$

Верный ответ: 3.

10. Каким образом реализуется регенерация теплоты в ГТУ?

Ответы:

1. За счет дополнительного сжигания топлива.
2. За счет подогрева воздуха перед компрессором выхлопными газами.
3. За счет 2-х ступенчатого расширения и установки дополнительной камеры сгорания.
4. За счет подогрева воздуха выхлопными газами перед камерой сгорания.
5. За счет реализации 2-х ступенчатого сжатия в компрессорах.

Верный ответ: 4.

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задача решена без ошибок, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 85%.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если задача решена с некоторыми незначительными (арифметическими) ошибками, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 70%.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задача решена с некоторыми незначительными (арифметическими) ошибками, а ответы на теоретические вопросы правильные в объеме не менее 50%.

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.