МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

УТВЕРЖДАЮ
Декан Факультета урбанистики и
городского хозяйства
_____ / Л.А. Марюшин/

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
# «Нагнетатели и тепловые двигатели»

Направление подготовки
**13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Профиль подготовки
**Теплоэнергетические установки, системы и комплексы**

Квалификация (степень) выпускника
**Бакалавр**

Форма обучения
**Очная**

Москва
2022

## 1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» относятся:

– изучение тепловых двигателей и нагнетателей, применяемых в промышленности;

– овладение современными методами технологических расчетов и выбором энергетического оборудования для промышленных установок с различным целевым направлением;

– расширение кругозора, проявление самостоятельности при выполнении расчетов и технико-экономического обоснования принятых технических решений.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» относятся:

– приобретение студентами знаний о типах и конструкциях основных нагнетателей и тепловых двигателей, применяемых в промышленных установках;

– изучение технических характеристик тепловых двигателей и нагнетателей, а также методы выбора их для энергетических установок;

– освоение способов регулирования производительности тепловых двигателей и нагнетателей;

– приобретение навыков использования методических нормативных материалов, технических и технологических документаций, современных информационных средств и технологий

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Нагнетатели и тепловые двигатели» относится к числу профессиональных учебных дисциплин вариативной части основной образовательной программы бакалавриата. «Нагнетатели и тепловые двигатели» взаимосвязаны логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Техническая термодинамика;
- Тепломассообмен;
- Водоподготовка;
- Гидрогазодинамика;
- Технологические энергоносители предприятий;
- Тепломассообменное оборудование предприятий.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

| **Код компетенции** | **В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать** | **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине** |
|---|---|---|
| **ОПК-4** | способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности | **знать:**<br>• основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями<br>**уметь:**<br>• использовать типовые методы работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями<br>**владеть:**<br>• методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями |
| **ПК-3** | Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов | **знать:**<br>• типовые методы и способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования в соответствии с нормативной документацией<br>**уметь:**<br>• использовать нормативную документацию при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования<br>**владеть:**<br>• методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования в соответствии с нормативной документацией |

| | | |
|---|---|---|
| **ПК-4** | Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД | **знать:**<br>• основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей<br>**уметь:**<br>• использовать типовые методы работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей<br>**владеть:**<br>• методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей |

Общая трудоемкость дисциплины составляет **5** зачетные единицы, т.е. **180** академических часа (из них 90 часа – самостоятельная работа студентов). Разделы дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» изучаются на третьем курсе.

**Пятый семестр:** лекции – 54 часов, семинарские занятия – 36 часов, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» по срокам и видам работы отражены в приложении.

## Содержание разделов дисциплины

**Пятый семестр:**

**Тема 1.** *Назначение и содержание курса.*

Назначение курса. Схемы и области применения нагнетателей и тепловых двигателей в системах энергоснабжения предприятий. История создания и развития. Основные понятия и определения. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.

**Тема 2.** *Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин.*

Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов. Применение законов термодинамики к описанию процессов. Уравнение сохранения энергии для потока массы при сжатии и

расширении. Идеальные и реальные процессы. Общая классификация тепловых потерь. Интерпретация процессов в диаграммах состояния. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.

**Тема 3.** *Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин.*

Динамический нагнетатель. Кинематика процессов, треугольники скоростей в осевой и радиальной ступенях. Активный и реактивный принцип работы. Параметры ступени нагнетателя. Определение окружного и осевого усилий в нагнетательной и расширительной машинах. Газодинамические основы расчета турбомашин. Уравнение Эйлера. Анализ уравнения Эйлера применительно к осевой и радиальной ступеням.

**Тема 4.** *Паровые турбины.*

Активная и реактивная турбинная ступень. Общие сведения. Анализ уравнения Эйлера для турбинной ступени. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках. Характер изменения параметров рабочего тела в проточной части турбинной ступени. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени. Внутренние и внешние потери в проточной части турбинной ступени, их физическое толкование. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Методика теплового расчета турбинной ступени. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства и принцип действия. Конструктивные особенности многоступенчатых активных и реактивных турбин. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины. Регулирование паровых турбин. Предварительный тепловой расчет многоступенчатых турбин. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.

**Тема 5.** *Газовые турбины.*

Реальные циклы газотурбинных установок. Стандартные параметры пара. Парораспределение. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок. Парогазовые установки. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике.

**Тема 6.** *Нагнетатели объемного действия*.

Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения. Ротационные и поршневые нагнетатели. Работа сжатия в идеальном и реальном поршневом компрессоре. Удельная и полная работа, мощность поршневого компрессора. Мертвое пространство и его влияние на производительность поршневого компрессора. КПД компрессора. Способы регулирования производительности поршневых компрессоров. Методика определения основных размеров поршневых компрессоров, подбор привода.

**Тема 7.** *Нагнетатели кинетического действия.*

Классификация нагнетателей кинетического действия. Теоретический напор центробежного нагнетателя. Зависимость напора от характерных

размеров и частоты вращения колеса центробежного нагнетателя. Теоретические и действительные характеристики центробежных нагнетателей. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Условия работы нагнетателя на сеть. Допустимая высота всасывания центробежного насоса. Кавитация. Типы насосов и вентиляторов, области их применения. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж. Влияние начальных условий и рода газа на характеристики компрессора. Центробежный и осевой компрессоры, преимущественные области их применения. Особенности конструкций многоступенчатых центробежных и осевых компрессоров. Методы расчета основных размеров турбокомпрессоров. Выбор компрессора и привода к нему. Струйные нагнетатели.

**Тема 8.** *Детандеры.*

Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.

**Тема 9.** *Двигатели внутреннего сгорания*

Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания. Двигатели Стерлинга. Экономические показатели работы двигателей внутреннего сгорания.

## 5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– обсуждение и защита докладов по дисциплине;

– организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 25% от объема аудиторных занятий.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

– доклад по теме: «Нагнетатели и тепловые двигатели» (индивидуально для каждого обучающегося);

– подготовка и выступление на семинарском занятии с докладом и обсуждением;

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины, защита рефератов, решение задач.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, экзаменационных билетов, приведены в приложении.

### 6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

#### 6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать |
|---|---|
| ОПК-4 | способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности |
| ПК-3 | Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов |
| ПК-4 | Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД |

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

## 6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

| **ОПК-4 - способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Показатель** | **Критерии оценивания** | | | |
| | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **знать:** Основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: Основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: Основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: Основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями, свободно оперирует приобретенными знаниями. |
| **уметь:** Использовать типовые методы работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать типовые методы работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по освоению и доводке технологических процессов, | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по освоению и доводке технологических процессов, | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по освоению и доводке технологических процессов, |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | тепловыми двигателями. | осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации. | осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| **владеть:** Методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями | Обучающийся владеет методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | Обучающийся частично владеет методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся в полном объеме владеет методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |
| **ПК-3 - Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов** | | | | |
| **знать:** Типовые методы и способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Типовые методы и | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: Типовые методы и | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: типовые методы и |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией | знаний: Типовые методы и способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией | способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией, свободно оперирует приобретенными знаниями. |
| **уметь:** Использовать нормативную документацию при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать нормативную документацию при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: Использование нормативной документации при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: Использование нормативной документации при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: Использование нормативной документации при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | переносе на новые ситуации. | | |
| **владеть:**<br><br>Методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией | Обучающийся владеет методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | Обучающийся частично владеет методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся в полном объеме владеет методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехническо го оборудования в соответствии с нормативной документацией, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |
| **ПК-4 – Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД** | | | | |
| **знать:**<br>Основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: Основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: Основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: Основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | нагнетателей и тепловых двигателей | тепловых двигателей. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | двигателей, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | двигателей, свободно оперирует приобретенными знаниями. |
| **уметь:**<br><br>Использовать типовые методы работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать типовые методы работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: Использование типовых методов работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **владеть:**<br><br>Методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей | Обучающийся владеет методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | Обучающийся частично владеет методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся в полном объеме владеет методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактическ их осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Нагнетатели и тепловые двигатели»

| *Шкала оценивания* | *Описание* |
|---|---|
| *Отлично* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.* |
| *Хорошо* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.* |
| *Удовлетворительно* | *Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.* |
| *Неудовлетворительно* | *Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.* |

Фонды оценочных средств представлены в приложении к рабочей программе.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**а) основная литература:**


**1.** Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций :учеб. пособие для вузов. / Буров В.Д., Ремизов А.Н.; под ред. С.В. Цанева М.: МЭИ, 2009 Гриф УМО.


**б) дополнительная литература:**


**2.** Теплоэнергетика и теплотехника :справ.: в 4 кн. Кн. 3: Тепловые и атомные электростанции/ М.С.Алхутов, А.Н.Безгрешнов, Р.Г.Богоявленский и др. / под ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина М.: МЭИ, 2007.

**3.** Журнал «Главный энергетик», ИД "Панорама".


**в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Программное обеспечение не предусмотрено.

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

**4.** http://www.energy2022.ru

5. http://www.energosovet.ru

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Проведение всех видов аудиторных занятий осуществляется с использованием материально-технической базы университета, соответствующей действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Необходимый для реализации ООП бакалавриата перечень материально-технического обеспечения включает в себя лаборатории, компьютерные классы, специально оборудованные кабинеты и аудитории: мультимедийная аудитории кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Ав2415, Ав2404, оснащенные оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.).

Для использования электронных изданий каждый обучающийся обеспечивается во время самостоятельной подготовки рабочим местом в компьютерном классе с выходом в Интернет в соответствии с объемом изучаемой дисциплины.

## 9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

| Раздел дисциплины (тема) | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля | Необходимая литература |
|---|---|---|---|
| Тема 1 | Самостоятельное изучение. Назначение и содержание курса. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 1 | Самостоятельное изучение. Назначение и содержание курса. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 2 | Самостоятельное изучение. Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 2 | Самостоятельное изучение. Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 3 | Самостоятельное изучение. Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 3 | Самостоятельное изучение. Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 4 | Самостоятельное изучение. Паровые турбины. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 4 | Самостоятельное изучение. Паровые турбины. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 5 | Самостоятельное изучение. Газовые турбины. | Устный опрос | [1-2] |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Тема 5 | Самостоятельное изучение. Газовые турбины. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 6 | Самостоятельное изучение. Нагнетатели объемного действия. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 6 | Самостоятельное изучение. Нагнетатели объемного действия. | Письменное тестирование | [1-3] |
| Тема 7 | Самостоятельное изучение. Нагнетатели кинетического действия. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 7 | Самостоятельное изучение. Нагнетатели кинетического действия. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 8 | Самостоятельное изучение. Детандеры. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 8 | Самостоятельное изучение. Детандеры. | Письменное тестирование | [1-2] |
| Тема 9 | Самостоятельное изучение Двигатели внутреннего сгорания. | Устный опрос | [1-2] |
| Тема 9 | Самостоятельное изучение Двигатели внутреннего сгорания. | Письменное тестирование | [1-2] |

## 10. Методические рекомендации для преподавателя

| Тема занятий | Виды учебных занятий | Средства обучения | Методы обучения | Формы текущего контроля |
|---|---|---|---|---|
| Тема 1 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 1 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное тестирование |
| Тема 2 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 2 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное тестирование |
| Тема 3 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 3 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное тестирование. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Тема 4 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 4 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное тестирование. |
| Тема 5 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 5 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное тестирование. |
| Тема 6 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 6 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное Тестирование |
| Тема 7 | Лекции | Раздаточные материалы. Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 7 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное Тестирование |
| Тема 8 | Лекции | Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 8 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное Тестирование |
| Тема 9 | Лекции | Записи на доске. Мультимедийные средства. | Чтение лекций, метод ответов на вопросы, беседы. | Устный опрос. |
| Тема 9 | Практическое занятие | Раздаточные материалы. Мультимедийные средства. | Метод упражнений, ответов на вопросы, беседы. Метод мозгового штурма | Письменное Тестирование |

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций ПрООП ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Теплоэнергетические установки, системы и комплексы»

Авторы

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент В.С. Тимохин

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 26 мая 2022 г. № 11.

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП Е.А. Чугаев

Приложение 1

**Структура и содержание дисциплины «Нагнетатели и тепловые двигатели» по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**
**(бакалавр)**

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| | Пятый семестр | 5 | | | | | | | | | | | | |
| Тема 1 | **Назначение и содержание курса.** Назначение курса. Схемы и области применения нагнетателей и тепловых двигателей в системах энергоснабжения предприятий. История создания и развития. Основные понятия и определения. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия. | 5 | 1 | 6 | | | 2 | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Назначение и содержание курса» | 5 | 1 | | 2 | | 2 | | | | | | | |
| Тема 2 | **Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин.** Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов. Применение законов термодинамики к описанию процессов. Уравнение сохранения энергии для потока массы при сжатии и расширении. Идеальные и реальные | 5 | 2-3 | 6 | | | 4 | | | | | | | |

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| | процессы. Общая классификация тепловых потерь. Интерпретация процессов в диаграммах состояния. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин. | | | | | | | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Термодинамический анализ работы нагнетателей и тепловых машин». | 5 | 2-3 | | 4 | | 4 | | | | + | | | |
| Тема 3 | **Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин.** Динамический нагнетатель. Кинематика процессов, треугольники скоростей в осевой и радиальной ступенях. Активный и реактивный принцип работы. Параметры ступени нагнетателя. Определение окружного и осевого усилий в нагнетательной и расширительной машинах. Газодинамические основы расчета турбомашин. Уравнение Эйлера. Анализ уравнения Эйлера применительно к осевой и радиальной ступеням. | 5 | 4-5 | 6 | | | 4 | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Газодинамический анализ процессов расширения нагнетательных и расширительных машин». | 5 | 4-5 | | 4 | | 4 | | | | + | | | |

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| Тема 4 | **Паровые турбины.** Активная и реактивная турбинная ступень. Общие сведения. Анализ уравнения Эйлера для турбинной ступени. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках. Характер изменения параметров рабочего тела в проточной части турбинной ступени. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени. Внутренние и внешние потери в проточной части турбинной ступени, их физическое толкование. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Методика теплового расчета турбинной ступени. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства и принцип действия. Конструктивные особенности многоступенчатых активных и реактивных турбин. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины. Регулирование паровых турбин. Предварительный тепловой расчет многоступенчатых турбин. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин. | 5 | 6-8 | 6 | | | 6 | | | | | | | |

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| | Семинарское занятие «Паровые турбины». | 5 | 6-8 | | 6 | | 6 | | | | + | | | |
| Тема 5 | **Газовые турбины.** Реальные циклы газотурбинных установок. Стандартные параметры пара. Пароораспределение. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок. Парогазовые установки. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике. | 5 | 9-10 | 6 | | | 4 | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Газовые турбины». | 5 | 9-10 | | 4 | | 4 | | | | + | | | |
| Тема 6 | **Нагнетатели объемного действия.** Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения. Ротационные и поршневые нагнетатели. Работа сжатия в идеальном и реальном поршневом компрессоре. Удельная и полная работа, мощность поршневого компрессора. Мертвое пространство и его влияние на производительность поршневого компрессора. КПД компрессора. Способы регулирования производительности поршневых компрессоров. Методика определения | 5 | 11-12 | 6 | | | 4 | | | | | | | |

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| | основных размеров поршневых компрессоров, подбор привода. | | | | | | | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Нагнетатели объемного действия». | 5 | 11-12 | | 4 | | 4 | | | | + | | | |
| Тема 7 | **Нагнетатели кинетического действия.** Классификация нагнетателей кинетического действия. Теоретический напор центробежного нагнетателя. Зависимость напора от характерных размеров и частоты вращения колеса центробежного нагнетателя. Теоретические и действительные характеристики центробежных нагнетателей. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Условия работы нагнетателя на сеть. Допустимая высота всасывания центробежного насоса. Кавитация. Типы насосов и вентиляторов, области их применения. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж. Влияние начальных условий и рода газа на характеристики компрессора. | 5 | 13-15 | 6 | | | 6 | | | | | | | |

| | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | Т | К/р | Э | З |
| | Центробежный и осевой компрессоры, преимущественные области их применения. Особенности конструкций многоступенчатых центробежных и осевых компрессоров. Методы расчета основных размеров турбокомпрессоров. Выбор компрессора и привода к нему. Струйные нагнетатели. | | | | | | | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Нагнетатели кинетического действия». | 5 | 13-15 | | 6 | | 6 | | | | + | | | |
| Тема 8 | **Детандеры.** Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения | 5 | 16 | 6 | | | 2 | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Детандеры». | 5 | 16 | | 2 | | 2 | | | | + | | | |
| Тема 9 | **Двигатели внутреннего сгорания.** Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания. Двигатели Стерлинга. Экономические показатели работы двигателей внутреннего сгорания. | 5 | 17-18 | 4 | | | 4 | | | | | | | |
| | Семинарское занятие «Двигатели внутреннего сгорания». | 5 | 17-18 | | 4 | | 4 | | | | + | | | |
| | Форма аттестации | 5 | 19-21 | | | | | | | | | | Э | |
| | Всего часов по дисциплине в пятом семестре | | 180 | 54 | 36 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ОП (профиль): «Теплоэнергетические установки, системы и комплексы»

Форма обучения: очная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
# ПО ДИСЦИПЛИНЕ
# «Нагнетатели и тепловые двигатели»

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Оценочные средства
3. Темы докладов по дисциплине
4. Список экзаменационных вопросов по дисциплине
5. Примерный перечень вопросов для промежуточного тестирования
6. Задачи для практических занятий

Москва, 2022 год

# 1. Паспорт фонда оценочных средств

| **Нагнетатели и тепловые двигатели** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ФГОС ВО **13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»** | | | | | |
| В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции: | | | | | |
| **КОМПЕТЕНЦИИ** | | **Перечень компонентов** | **Технология формирования компетенций** | **Форма оценочного средства** | **Степени уровней освоения компетенций** |
| **ИНДЕКС** | **ФОРМУЛИРОВКА** | | | | |
| **ОПК-4** | способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности | Знать: основы работ по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями.<br>Уметь: использовать типовые методы работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями.<br>Владеть: методами работы по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями. | Лекции<br>Практические занятия<br>Собеседование<br>СРС<br>Решение задач | Вопросы к экзамену<br>Задачи<br>Ответы студента на дополнительные вопросы<br>Выполненный тест<br>Доклад | Базовый уровень: способен участвовать в работах по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями в стандартных производственных ситуациях<br>Повышенный уровень: способен участвовать в работах по освоению и доводке технологических процессов, осуществляемых нагнетателями и тепловыми двигателями в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ПК-3** | Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов | Знать**:** типовые методы и способы монтажа, испытания, наладки и пусковых работ нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования в соответствии с нормативной документацией.<br>Уметь**:** использовать нормативную документацию при испытании и наладке нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования.<br>Владеть: методами испытаний, наладки, эксплуатации и ремонта нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования в соответствии с нормативной документацией. | Лекции<br>Практические занятия<br>Собеседование<br>СРС<br>Решение задач | Вопросы к экзамену<br>Задачи<br>Ответы студента на дополнительные вопросы<br>Выполненный тест<br>Доклад | Базовый уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в стандартных производственных ситуациях<br>Повышенный уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах нагнетателей и тепловых двигателей теплотехнического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ПК-4 | Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД | Знать: основы работ по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей.<br>Уметь: использовать типовые методы работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей.<br>Владеть: методами работы по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей. | Лекции<br>Практические занятия<br>Собеседование<br>СРС<br>Решение задач | Вопросы к экзамену<br>Задачи<br>Ответы студента на дополнительные вопросы<br>Выполненный тест<br>Доклад | Базовый уровень: способен участвовать в работах по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей в стандартных производственных ситуациях<br>Повышенный уровень: способен участвовать в работах по оценке технического состояния и остаточного ресурса нагнетателей и тепловых двигателей, в организации профилактических осмотров и текущего ремонта нагнетателей и тепловых двигателей в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом. |

## 2. Оценочные средства

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | Разноуровневые задачи и задания (РЗЗ) | Различают задачи и задания:<br>а) репродуктивного уровня, позволяющие оценивать и диагностировать знание фактического материала (базовые понятия, алгоритмы, факты) и умение | Комплект разноуровневых задач и заданий |
| 2 | Доклад, сообщение (ДС) | Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно- практической, учебно-исследовательской или научной темы | Темы докладов, сообщений |
| 3 | Устный опрос собеседование, (УО) | Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины |
| 4 | Тест (Т) | Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося. | Фонд тестовых заданий |

## 3. Темы докладов по дисциплине

1. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.
2. Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов.
3. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.
4. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках.
5. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени.
6. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины.
7. Регулирование паровых турбин.
8. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.
9. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок.
10. Парогазовые установки.
11. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в промышленности и энергетике.
12. Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения.
13. Ротационные и поршневые нагнетатели.
14. Классификация нагнетателей кинетического действия.
15. Кавитация.
16. Типы насосов и вентиляторов, области их применения.
17. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов.
18. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж.
19. Струйные нагнетатели.
20. Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.
21. Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания.
22. Двигатели Стерлинга.
23. Турбины с двумя регулируемыми отборами пара.
24. Турбины с двумя отопительными отборами пара.

## 4. Список экзаменационных вопросов по дисциплине

1. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей по принципу действия.
2. Динамический нагнетатель. Кинематика процессов, треугольники скоростей в осевой и радиальной ступенях. Активный и реактивный принцип работы. Параметры ступени нагнетателя.
3. Определение окружного и осевого усилий в нагнетательной и расширительной машинах.
4. Газодинамические основы расчета турбомашин. Уравнение Эйлера. Анализ уравнения Эйлера применительно к осевой и радиальной ступеням.
5. Основные параметры, характеризующие нагнетательные и расширительные машины. Термодинамические процессы сжатия и расширения газов. Применение законов термодинамики к описанию процессов.
6. Уравнение сохранения энергии для потока массы при сжатии и расширении. Идеальные и реальные процессы. Интерпретация процессов в диаграммах состояния.
7. Определение работы и мощности, КПД расширительных и нагнетательных машин.
8. Тепловой процесс в ступени паровой турбины. Расширение пара в сопловых и направляющих лопатках.
9. Характер изменения параметров рабочего тела в проточной части турбинной ступени.
10. Работа, мощность, расход пара турбинной ступени.
11. Внутренние и внешние потери в проточной части турбинной ступени, их физическое толкование.
12. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Методика теплового расчета турбинной ступени.
13. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства и принцип действия.
14. Конструктивные особенности многоступенчатых активных и реактивных турбин.
15. Влияние коэффициента возврата на КПД многоступенчатой турбины.
16. Регулирование паровых турбин.
17. Предварительный тепловой расчет многоступенчатых турбин.
18. Классификация, и энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных паровых турбин.
19. Реальные циклы газотурбинных установок. Стандартные параметры пара. Парораспределение.
20. Классификация, типы, принципиальные схемы, энергетические характеристики газотурбинных установок.
21. Парогазовые установки.
22. Особенности конструкции газовых турбин. Применение ГТУ в

промышленности и энергетике.

23. Классификация нагнетателей объемного действия, особенности их работы и область применения.
24. Ротационные и поршневые нагнетатели.
25. Работа сжатия в идеальном и реальном поршневом компрессоре. Удельная и полная работа, мощность поршневого компрессора.
26. Мертвое пространство и его влияние на производительность поршневого компрессора.
27. КПД компрессора. Способы регулирования производительности поршневых компрессоров.
28. Методика определения основных размеров поршневых компрессоров, подбор привода.
29. Классификация нагнетателей кинетического действия.
30. Теоретический напор центробежного нагнетателя. Зависимость напора от характерных размеров и частоты вращения колеса центробежного нагнетателя.
31. Теоретические и действительные характеристики центробежных нагнетателей.
32. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Условия работы нагнетателя на сеть.
33. Допустимая высота всасывания центробежного насоса.
34. Кавитация.
35. Типы насосов и вентиляторов, области их применения.
36. Особенности конструкции центробежных и осевых насосов и вентиляторов.
37. Работа компрессора на сеть. Устойчивая и неустойчивая работа нагнетателей. Помпаж.
38. Влияние начальных условий и рода газа на характеристики компрессора.
39. Центробежный и осевой компрессоры, преимущественные области их применения.
40. Особенности конструкций многоступенчатых центробежных и осевых компрессоров.
41. Методы расчета основных размеров турбокомпрессоров. Выбор компрессора и привода к нему.
42. Струйные нагнетатели.
43. Детандеры. Типы и характеристики детандеров, особенности их конструкции и области применения.
44. Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы, устройство и основные показатели работы двигателей внутреннего сгорания.
45. Двигатели Стерлинга.
46. Эрозия деталей паровых турбин; защитные мероприятия.
47. Турбины с двумя регулируемыми отборами пара.
48. Турбины с двумя отопительными отборами пара.
49. Встроенные пучки в конденсаторах теплофикационных турбин.

50.Диаграммы режимов турбин с двумя отопительными отборами пара.

## 5. Примерный перечень вопросов для промежуточного тестирования

1) Насос — это?
1. гидравлическая машина для напорного перемещения (нагнетания) жидкости в результате сообщения ей механической энергии
2. аппарат для хранения воды
3. устройство (гидравлическая машина или аппарат) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) главным образом капельной жидкости в результате сообщения ей механической энергии
4. гидравлическая машина для напорного перемещения (всасывания) жидкости в результате сообщения ей механической энергии

2) Компрессор — это?
1. машина для понижения давления и перемещения газа
2. машина для повышения давления
3. машина для перемещения газа
4. машина для повышения давления и перемещения газа

3) Компрессорная установка – это?
1. совокупность компрессоров, вспомогательного оборудования и без привода
2. совокупность компрессора, привода и вспомогательного оборудования
3. совокупность компрессора без вспомогательного оборудования
4. совокупность компрессора привода и без вспомогательного оборудования

4) Что относиться к компрессорным установкам?
1. газоохладитель
2. осушитель сжатого воздуха
3. Лопастные компрессоры
4. все ответы верны

5) Компрессоры, различные
1. по давлению, производительности
2. сжимаемой среде
3. условиям окружающей среды
4. имеют большое разнообразие конструкций и типов
5. все ответы верны

6) нагнетатель – это?
1. Гидравлические машины для подачи жидкостей и газов
2. Гидравлические машины для подачи только газов
3. Гидравлические машины для подачи только жидкостей
4. Гидравлические машина

7) Лопастные насосы также подразделяются:
1. по конструкции отвода
2. по числу потоков внутри рабочего колеса
3. по числу ступеней рабочих колес в насосе
4. по числу потоков
5. все ответы верны

8) Динамические насосы-машины бывают:
1. Центробежные
2. Осевые
3. Диагональные
4. Вихревые
5. Все ответы верны

9) Классификация центробежных насосов по потокам внутри рабочего колеса
1. только одностороннего входа
2. только двустороннего входа
3. одностороннего входа и двустороннего входа
4. нет правильного ответа

10) Какой тип насосов обознается буквой «Х»?
1. Хромовые
2. Химические
3. Хрупкие
4. Хордовые

11) Подача (производительность) насоса - это?
1. масса жидкости или газа, подаваемое машиной в сеть в единицу времени
2. масса только жидкости подаваемое машиной в сеть в единицу времени
3. масса только газа подаваемое машиной в сеть в единицу времени
4. количество вещества подаваемое машиной в сеть в единицу времени

12) Напор насоса (м)- это?
1. это энергия, сообщаемая насосом жидкости
2. это перемещение жидкости
3. это удельная механическая энергия, сообщаемая насосом жидкости в единицу времени
4. нет правильного ответа

13) Что должно стоять вместо знака вопроса?
1. нагнетатель
2. привод
3. компрессор

4. вспомогательная аппаратура

14) Всасывающая способность обусловлена явлением…
1. ускорением
2. гравитацией
3. кавитацией
4. вихревым потоком

15) Центробежные насосы используются в теплоэнергетических установках для…
1. питания котлов
2. подачи конденсата и сетевой воды
3. для подачи умеренно вязких жидкостей в химической и нефтехимической промышленности
4. все ответы верны

16) В конденсационных установках мощных паровых турбин применяют..
1. Струйные насосы
2. Осевые насосы
3. Поршневые насосы
4. Центробежные компрессоры

17) Осевые вентиляторы используются в установках ….
1. местного проветривания
2. в градирнях
3. 1 и 2 ответ верны
4. нет правильного ответа

18) На каком производстве в основном используют центробежные компрессоры?
1. на тепловых станциях
2. химическом и металлургическом производствах
3. машиностроительном производстве
4. в коттеджах

19) Почему действительный напор насоса меньше теоретического?
1. реальные лопатки имеют конечную толщину и их количество ограниченно
2. при течении жидкости в насосе
3. в межлопаточных каналах, при входе жидкости на лопатки, в улитке, во всасывающем и нагнетательном патрубках
4. все ответы верны

20) Что означает буква «А»

1. подвод конфузорного типа
2. приводной вал
3. рабочее колесо
4. зона возможной кавитации

21) Отводом называют….
1. часть проточной полости машины, принимающую перемещаемую среду из рабочего колеса и частично преобразующую кинетическую энергию этой среды в потенциальную
2. часть проточной полости машины, подводящую перемещаемую среду к входному отверстию рабочего колеса
3. часть проточной полости машины, подводящую перемещаемую среду из рабочего колеса и частично преобразующую кинетическую энергию этой среды в потенциальную
4. часть проточной полости машины, принимающую перемещаемую среду к входному отверстию рабочего колеса

22) Компенсация осевой силы происходит благодаря следующим конструктивным решениям
1. применению рабочего колеса с двусторонним входом либо с двусторонним симметричным входом (для многоступенчатых машин)
2. использованию переточных отверстий и ложной ступицы
3. выполнению импеллера на задней стороне рабочего колеса
4. в многоступенчатых насосах — установке разгрузочного диска (гидравлической пяты)
5. все ответы верны

23) Автоколебания, или помпаж – это?
1. Только при определенном сочетании форм, снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи, напора и мощности машины
2. При определенном сочетании форм характеристик машины и сети снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе происходят самопроизвольные колебания подачи
3. При определенном сочетании форм характеристик машины и сети снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи, напора и мощности машины
4. При определенном сочетании характеристик машины снятие возмущений не приводит к устойчивому равновесию, и в системе возбуждаются самопроизвольные колебания подачи напора

24) Конструктивные признаки центробежных насосов:
1. соединение рабочих органов с электродвигателем

2. расположение рабочих органов относительно жидкости в питающей емкости
3. уплотнение вала
4. материал проточной части (сталь, чугун, титан, неметаллические материалы)
5. все ответы верны

25) К эксплуатационным признакам центробежных насосов относятся:
1. температура перекачиваемой жидкости
2. содержание в ней твердых частиц
3. давление на входе в насос
4. все ответы верны

26) Условное обозначение материала проточной части химических насосов: «Д»
1. Титан
2. Различные покрытия
3. Хромоникельмолибденомедистая сталь
4. Хромистая сталь

27) Условное обозначение материала проточной части химических насосов: «Ю»
1. Алюминий
2. Хромоникелькремниевая сталь
3. Резина
4. Графит

28) Центробежные горизонтальные химические насосы типа «Х» предназначены для перекачивания:
1. нейтральных и агрессивных жидкостей
2. нейтральных жидкостей
3. воды и агрессивных жидкостей
4. воды и нейтральных жидкостей

29) СМ, СД, ФГ, КФС, СДВ, ДФ – какой вид насосов?
1. насосы осевые
2. насосы центробежные
3. насосы для сточно-массных сред
4. насосы струйные

30) Материал проточной части СМ, СД, ФГ, КФС, СДВ, ДФ?
1. серый чугун
2. железо
3. сталь
4. нержевейка

5. керамика

31) Электронасосные агрегаты типа СМ используются для перекачивания жидкостей?
1. бытовые и промышленные сточные воды
2. водные смеси с зерном и лакокрасочные пульпы
3. пищевые соки и пасты
4. картофельно-крахмальные суспензии и продукты сахарного производства
5. все ответы верны

32) Какой вид насосов для сточно-массных сред обозначается буквой «Д»?
1. Электронасосные агрегаты
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Насосы центробежные двустороннего входа
4. Насосы грязевые

33) какой вид насосов для сточно-массных сред обозначается буквой «ДФ»?
1. Насосы канализационные
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Электронасосные агрегаты
4. Насосы центробежные двустороннего входа

34) ГНОМ, ЦМК, ЦМФ – какой вид насосов?
1. Электронасосные агрегаты
2. Насосы центробежные двустороннего входа фекальные
3. Насосы центробежные двустороннего входа
4. Насосы грязевые, канализационные

35) Шестеренные насосы относятся к …
1. объемным роторным машинам
2. центробежным насосам
3. вихревым насосам
4. электронасосам

36) По конечному давлению компрессорные машины различают…
1. вакуум-компрессоры
2. компрессоры низкого давления
3. компрессоры сверхвысокого давления
4. компрессоры высокого давления
5. компрессоры среднего давления
6. все ответы верны

37) Компрессоры называют дожимающими, если…
1. давление всасываемого газа p0 существенно превышает атмосферное
2. давление всасываемого газа p0 существенно меньше атмосферное
3. давление всасываемого газа p0 равно атмосферному
4. давление всасываемого газа p0 существенно превышает вакуумное давление

38) По способу отвода теплоты различают компрессоры…
1. только с водяным охлаждением
2. с водяным и воздушным охлаждением
3. с воздушным охлаждением и с помощью хладагентов
4. только с помощью хладагентов

39) При каких давлениях используются ротационно-пластинчатые компрессоры?
1. до 1,2 МПа
2. 2,5 МПа
3. 1,6 МПа
4. все ответы верны

40) Мембранные компрессоры
1. в которых объем газа изменяется при возвратно-поступательном движении эластичной мембраны
2. в которых объем газа не изменяется при возвратно-поступательном движении эластичной мембраны
3. в которых объем газа изменяется при вращательном движении эластичной мембраны
4. в которых объем газа не изменяется при вращательном движении эластичной мембраны

41) Какой вид компрессора?
1. Жидкостно-кольцевой компрессор
2. Мембранный компрессор
3. Ротационно-пластинчатый компрессор
4. Винтовой компрессор сухого трения

42) Какой вид компрессора?
1. Жидкостно-кольцевой компрессор
2. Мембранный компрессор
3. Ротационно-пластинчатый компрессор
4. Винтовой компрессор сухого трения

43) Смерчевой вентилятор

1. При вращении колеса возникает вихревое течение, аналогичное смерчу, в центральной и периферийной частях которого образуется перепад давлений, являющийся побудителем движения воздуха
2. Газ вначале движется в осевом направлении и поступает во вращающееся рабочее колесо, где под действием центробежной силы проходит в радиальном направлении через межлопаточные каналы и выходит сквозь кольцевой радиальный лопастной диффузор
3. Если во вращающееся колесо барабанного типа поместить неподвижное тело, расположенное несимметрично относительно оси колеса, то осесимметричный вихрь, образующийся вокруг колеса, смещается в сторону, и возникает направленное течение газа перпендикулярно к оси вращения колеса
4. Все ответы верны

44) Для регулирования подачи поршневого компрессора как типичного представителя объемных машин используют:
1. периодическое отключение привода компрессора. Этот способ реализуют при наличии на линии нагнетания газонакопительной емкости (ресивера), обычно для машин малой производительности с воздушным охлаждением
2. изменение частоты двойных ходов поршня n (допустимо в ограниченных пределах, не приводящих к существенному нарушению динамической балансировки машины)
3. увеличение объема мертвого пространства путем подключения к рабочей камере машины одного или нескольких баллончиков (приводит к снижению производительности компрессора)
4. байпасирование — перепуск части газа на линию всасывания (для воздуха возможен сброс в атмосферу)
5. все ответы верны

45) Струйными аппаратами называют…
1. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс передачи потенциальной энергии одного потока другому
2. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс передачи кинетической энергии одного потока другому
3. Устройства, в которых путем непосредственного контакта (смешения) осуществляется процесс обмена кинетической энергии и потенциальной одного потока другому
4. Устройства с центробежным смещенным центром.

46) Струйные аппараты используются в качестве:
1. паро-воздушного эжектора для обеспечения высокого вакуума, в том числе в конденсационных установках паровых турбин ТЭС и АЭС

2. газового эжектора для повышения эффективности эксплуатации систем нефтегазосбора
3. паро-воздушного дутьевого инжектора в котельных установках
4. диспергатора в системах жидкость—жидкость
5. все ответы верны

47) Аппараты, в которых степень расширения может быть как сверхкритической, так и докритической называют
1. конфузорами
2. струйными
3. инжекторами
4. диффузорами

48) Газотурбинная установка (ГТУ) — это?
1. энергетическая установка, конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств
2. турбинная теплосиловая установка, рассчитанная на совместное использование в тепловом цикле 2 рабочих тел — водяного пара и газообразных продуктов сгорания топлива
3. это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.
4. электрогенерирующая станция, служащая для производства электроэнергии

49) Парогазотурбинная установка – это?
1. энергетическая установка, конструктивно объединённая совокупность газовой турбины, электрического генератора, газовоздушного тракта, системы управления и вспомогательных устройств
2. турбинная теплосиловая установка, рассчитанная на совместное использование в тепловом цикле 2 рабочих тел — водяного пара и газообразных продуктов сгорания топлива
3. это непрерывно действующий тепловой агрегат, рабочим телом которого является вода и водяной пар.
4. электрогенерирующая станция, служащая для производства электроэнергии

50) Электрический КПД современных газотурбинных установок составляет
1. 53 - 59%
2. 13 - 19%
3. 93 - 99%
4. 33 - 39%
51) Газотурбинные установки имеют незначительные вибрации и шумы в пределах:

1. 55–75 дБ
2. 65–75 дБ
3. 65–85 дБ
4. 65–67 дБ

52) ГТУ имеют ряд преимуществ перед паросиловыми установками:
1. низкие капиталовложения
2. короткое время запуска и выхода на режим нагрузки
3. компактность установки на 1 кВт установленной мощности
4. все ответы верны

53) Энергетические ГТУ снабжены блочными системами, которые обслужи¬вают их и являются частью всей установки. Какими системами?
1. Система топливоподачи ГТУ, система маслоснабжеиия ГТУ
2. Комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ) ГТУ
3. Система управления входным направляющим аппаратом (ВНА) компрессора
4. все ответы верны

54) К газообразному топливу относятся:
1. природный газ
2. воздух
3. пыль
4. гелий

55) Температура сжигаемого газа в ГТУ должна быть
1. 12-18 °С
2. 13-15 °С
3. 12-15 °С
4. 10-15 °С

56) К чему приводит загрязнение в топливе:
1. к образованию коррозии
2. быстрому сжиганию топлива
3. медленному разжиганию топлива
4. загрязнению дымохода

57) В зависимости от типа струи различают жидкостно-газовые аппараты…
1. с компактной струей и диспергированной струей +
2. только с диспергированной струей
3. только с компактной струей
4. нет правильного ответа

58) Парогазовые установки – это?
1. тип генерирующих станций, работающих на газе или на жидком топливе
2. тип генерирующих станций, работающих на жидком топливе
3. сравнительно новый тип генерирующих станций, работающих на газе
4. тип генерирующих станций, работающих на твердом топливе топливе

59) Парогазовая установка состоит из:
1. газотурбинной (ГТУ) установки и приводов
2. газотурбинной (ГТУ) и паросиловой (ПС) установок
3. приводов и паросиловой (ПС) установок
4. только из приводов

60) В первом, газотурбинном, цикле КПД:
1. превышает 38%
2. превышает 48%
3. превышает 25%
4. превышает 45%4. от 10 кВ до 40 кВ.

## 6. Задачи для практических занятий

**Задача 1.** Рассчитать центробежный (радиальный) или осевой вентилятор в зависимости от полученного коэффициента быстроходности, вычертить в масштабе его аэродинамическую схему и параллелограмм скоростей на выходе и входе рабочего колеса.

Исходные данные:

1. Производительность L=1,4 /с
2. Давление Р=1009 Па = 102,9 кгс/м
3. Частота вращения n=909 об/мин
4. Плотность =1,2 Д кг/м3

Величина полного и гидравлического к.п.д. вентилятора, коэффициент давления и закручивания задается на основании существующих экспериментальных данных, приведенных в литературе.

**Задача 2.** Исследование совместной параллельной и последовательной работы в общую сеть двух одинаковых вентиляторов.

Исходные данные:

| Параметры | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $L, м^3/ч$ | 10000 | 14000 | 18000 | 20000 | 25000 | 36000 | 35000 |
| $P, Па$ | 850 | 800 | 800 | 810 | 780 | 500 | 360 |
| $\eta$ | 0,6 | 0,69 | 0,75 | 0,77 | 0,79 | 0,74 | 0,6 |

**Задача 3.** Исходные данные:

- давление на выходе $p_3 = 3{,}1 МПа$
- производительность компрессора $V_1 = 200 м^3/ч$ ;
- показатель политропы $n = 1{,}28$.

В двухступенчатом двухцилиндровом ПК простого действия воздух сжимается от давления $p_1$ =0,1 МПа, при t=27°С до давления $p_3$ (согласно исходных данных). Степень повышения давления в обеих ступенях является одинаковой

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{p_3}{p_2} \qquad (1)$$

Стенки цилиндров первой ступени (ЦПС) и второй ступени (ЦВС) охлаждаются водой с одной интенсивностью, поэтому процессы сжатия в обеих ступенях происходят по политропе с одинаковым показателем n. После первой ступени в промежуточном охладителе воздух охлаждается при постоянном давлении $p_2$ до начальной температуры $t_1$. Производительность компрессора при параметрах на всасывании ($p_1$,$t_1$ ) равна $V_1$ . Для рабочего тела (воздуха) следует принять, что температура воздуха на выходе из обеих ступеней одинакова ($T_2 = T_3$ ).

Схема двухступенчатого двухцилиндрового ПК простого действия: 1 - цилиндр первой ступени (низкого давления); 2 - промежуточный охладитель воздуха; 3 - цилиндр второй ступени (высокого давления); 4 - коленчатый вал; 5 - маховик; 6 - штоки; 7 - шатуны; 8 – поршни.

Требуется определить:

1. Давление воздуха после первой ступени $p_2$.

2. Температуру в конце сжатия в каждой ступени $T_2$ и $T_3$ .

3. Объемный расход сжатого воздуха после первой ступени $V_2$ и после второй ступени $V_3$.

4. Производительность компрессора по массе сжатого воздуха G.

5. Изменение внутренней энергии ΔU и энтальпии Δh каждой ступени.

6. Количество теплоты, отводимое водой от воздуха при сжатии в каждой ступени q, а также в промежуточном охладителе $q^1$ и, соответственно, расход охлаждающей воды на цилиндры $G_{w1}$ и промежуточный охладитель $G_w$ полагая, что вода в них нагревается от $t_{1w}$=10°С входе и до $t_{2w}$=20°С на выходе.

7. Построить в pv-координатах по точкам графики процесса сжатия по политропе и изотерме для первой ступени с графическим изображением затрачиваемой технической работы.

8. Затрачиваемую техническую работу политропного lп и изотермического lи сжатия.

9. Теоретическую (Nи) и действительную (Ne) мощность, потребляемую компрессором, если его изотермический к.п.д. $\eta_u$=0,7.

10. Поверхность охлаждения промежуточного охладителя воздуха при противотоке, принимая коэффициент теплопередачи от воздуха к воде К=20 Вт/(м$^2$·К).