

Компонент ОПОП 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
наименование ОПОП

Б1.В.03  
шифр дисциплины

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины  
(модуля)

Нагнетатели и тепловые двигатели

---

Разработчик:

Куренков В.В.

ФИО

Ст. преподаватель каф. СЭиТ

должность

\_\_\_\_\_  
ученая степень,  
звание

Утверждено на заседании кафедры

строительства, энергетики и транспорта

наименование кафедры

протокол № 7 от 07. 02. 2024 г.

Заведующий кафедрой СЭиТ

\_\_\_\_\_  
подпись

Челтыбашев А. А.  
ФИО

Мурманск  
2024

## Пояснительная записка

Объем дисциплины 5 семестр 3 з.е., 6 семестр - 4 з.е.

### 1. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

| Компетенции   | Индикаторы достижения компетенций  | Результаты обучения по дисциплине (модулю)   |
|---|--|--|
| <p><b>ПК-1</b><br/>Способен участвовать в проектировании и эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники</p> | <p><b>ИД-1</b><br/>Способен использовать нормативную документацию при разработке объектов теплоэнергетики и теплотехники.</p> <p><b>ИД-2</b><br/>Принимает участие в разработке принципиальных схем и оборудования для объектов теплоэнергетики и теплотехники</p> <p><b>ИД-3</b><br/>Принимает участие в оценке влияния объектов теплоэнергетики и теплотехники на экологическую обстановку</p> <p><b>ИД-4</b><br/>Принимает участие в оценке энергетической эффективности объектов теплоэнергетики и теплотехники</p> <p><b>ИД-5</b><br/>Выполняет эксперименты и расчеты по физико-химическим параметрам, характеристикам и условиям эксплуатации объектов теплоэнергетики и теплотехники</p> | <p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– конструктивное оформление нагнетателей и тепловых двигателей;</li> <li>– методы их расчета и конструирования;</li> <li>– характерные режимы и технико-экономические показатели их работы;</li> <li>– системы защиты и автоматического регулирования;</li> <li>– схемы и оборудование компрессорных, насосных, вентиляционных, паро- и газотурбинных установок.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оценивать и анализировать процессы преобразования энергии,</li> <li>– протекающие в рассматриваемом тепломеханическом оборудовании;</li> <li>– рассчитывать основные характеристики машин с учетом изменяющихся условий эксплуатации, типоразмеров, природы рабочего тела;</li> <li>– определять основные геометрические размеры машин по заданным условиям;</li> <li>– выбирать и рассчитывать наиболее экономичные, надежные и безопасные режимы работы и регулирования;</li> <li>– обеспечивать правильную эксплуатацию машин.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методиками проведения термодинамических и гидравлических</li> </ul> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>расчетов нагнетателей и тепловых двигателей с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации и применением средств и систем автоматизации выполнения;</p> <p>– методиками проведения экспериментов на нагнетателях и тепловых двигателях различного типа с привлечением соответствующего математического аппарата.</p> |
|--|--|--|

## 2. Содержание дисциплины (модуля)

**Тема 1. Введение.** Значение дисциплины в формировании инженера-промотеплоэнергетика. Отечественные и зарубежные достижения в исследовании и создании нагнетателей и тепловых двигателей. Место и роль нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Перспективы их разработки, производства и применения в народном хозяйстве исходя из задач ускорения научно-технического прогресса в промышленности и энергетике.

Классификация нагнетателей и тепловых двигателей, основные понятия и определения. Общность теоретических положений при комплексном изучении нагнетателей и тепловых двигателей. Анализ влияния начальных условий, охлаждения и подвода тепла, сжимаемости и типа рабочего тела на работу сжатия и расширения. Определение мощности машины, понятие о КПД нагнетателя и теплового двигателя.

**Тема 2. Газодинамические и термодинамические основы работы нагнетателей.** Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Предельная степень повышения давления в ступени, распределение давления между ступенями.

Рабочие параметры машин, подающих жидкости и газы. Основные положения теории течения сжимаемой и несжимаемой сред в нагнетателях. Отличия компрессорного процесса от процессов в насосах и вентиляторах. Термодинамика компрессорного процесса. Коэффициенты полезного действия компрессоров. Охлаждение и ступенчатое сжатие в компрессорах, количество ступеней, промежуточное давление. Общая классификация потерь в нагнетателях. Учет потерь и переход к действительной характеристике, понятие о рабочей зоне характеристики.

Условия работы нагнетателя на сеть, устойчивая и не устойчивая работа нагнетателей, помпаж. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть.

Принцип работы и область применения нагнетателей кинетического действия. Понятие удельной работы, напора и давления.

**Тема 3. Центробежные насосы и вентиляторы.** Классификация вентиляторов. Области применения, устройство и принцип действия. Способы изменения характеристики вентилятора. Основные допущения струйной теории центробежных нагнетателей. Треугольники скоростей, уравнение Эйлера. Теоретический и действительный напоры, развиваемые колесом. Влияние геометрии рабочих лопастей на создаваемый напор. Мощность и КПД. Многоступенчатые и многопоточные центробежные машины.

Теоретические и действительные характеристики нагнетателей. Подобие центробежных машин, коэффициент быстроходности, формулы пропорциональности. Безразмерные и универсальные характеристики. Способы регулирования.

Типы рабочих колес насосов различной быстроходности и формы характеристик. Определение основных размеров рабочего колеса, особенности конструкции насосов. Кавитация, допустимая высота всасывания. Меры по предотвращению и ослаблению кавитации. Выбор насосов по заданным рабочим параметрам, приводные двигатели. Устройство, автоматизация и эксплуатация насосных установок.

Конструктивное выполнение вентиляторов. Шум в вентиляторах и способы борьбы с ним. Вентиляторные установки. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

**Тема 4. Осевые насосы и вентиляторы.** Классификация насосов. Устройство и принцип действия, решетка профилей. Основные допущения и уравнения вихревой теории осевых турбомашин. Многоступенчатые осевые турбомашин. Теоретический и действительный напоры, потери энергии, КПД. Характеристики осевых насосов и вентиляторов, регулирование режимов работы. Определение основных размеров рабочего колеса. Сопоставление показателей и обоснование преимущественных зон применения центробежных и осевых компрессоров.

Конструкции осевых насосов и вентиляторов, области рационального применения, основы эксплуатации и автоматизации. Особенности работы насосов в сети. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

**Тема 5. Поршневые, роторные и струйные насосы.** Принцип действия и индикаторная диаграмма поршневого насоса. Подача, мощность и КПД. Способы уменьшения неравномерности всасывания и подачи. Теоретические и действительные характеристики, регулирование подачи. Допустимая высота всасывания. Определение основных размеров насосов, особенности конструкции и эксплуатации.

Области применения роторных насосов (шестеренных, винтовых). Подача, потери энергии. Характеристики, основы эксплуатации. Отличительные особенности поршневых и роторных насосов.

Устройство, принцип действия и области применения струйных насосов. Основные рабочие параметры, определение геометрических размеров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

**Тема 6. Центробежные и осевые компрессоры.** Области применения. Преобразование энергии в ступени центробежного и осевого компрессоров. Работа, КПД и степень реактивности. Расчет основных размеров ступени. Многоступенчатые турбокомпрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора. Пересчет характеристик турбокомпрессора при изменении частоты вращения, начальных условий всасывания, природы сжимаемой среды. Особенности регулирования. Схема защиты от помпажа.

Конструкции турбокомпрессоров и их узлов. Особенности компрессоров для сжатия паров холодильных агентов, кислорода, агрессивных газов. Выбор турбокомпрессора и привода к нему. Техно-экономические показатели серийно выпускаемых компрессоров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

**Тема 7. Поршневые и роторные компрессоры.** Схемы поршневых компрессоров. Нормализованные базы. Принцип работы поршневого детандера.

Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы поршневого

компрессора. Мертвое пространство и его влияние на подачу, коэффициент подачи. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Характеристики поршневых компрессоров и способы регулирования подачи. Предельная степень повышения давления в одном цилиндре компрессора. Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением и его энергетические преимущества. Определение основных размеров поршневых компрессоров, конструктивное оформление. Экономичность работы компрессора.

Роторные компрессоры (пластинчатые и винтовые). Подача, мощность, КПД, регулирование подачи. Конструкции роторных компрессоров.

Схемы компрессорных установок, выбор привода и оборудования. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

**Тема 8. Теоретические основы работы турбинной ступени.** Область применения различных типов тепловых двигателей. Классификация. Типы паровых турбин. Стандартные параметры пара. Схема устройства, принцип работы турбинной ступени. Активная и реактивная турбинная ступени. Сопловая и рабочая решетки. Особенности работы сопла с косым срезом. Преобразование энергии потока на лопатках активной и реактивной ступеней. Треугольники скоростей. Определение относительных и абсолютных скоростей потока в активной и реактивной ступенях. Силовое взаимодействие потока с обтекаемой им рабочей решеткой.

Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Относительный лопаточный КПД, его зависимость от отношения окружной скорости лопатки и скорости истечения рабочего тела из сопла. Относительный внутренний КПД ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. Понятие о диаграмме переменных режимов паровой турбины. Основы регулирования мощности паровых турбин.

Парциальный подвод рабочего тела, степень парциальности. Потери энергии при парциальном подводе рабочего тела. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства, принцип действия. Недостатки одноступенчатых турбин и переход к многоступенчатым.

**Тема 9. Многоступенчатые паровые турбины.** Преимущества многоступенчатой конструкции. Изображение рабочего процесса многоступенчатой паровой турбины в  $i-s$  диаграмме. Коэффициент возврата теплоты, его влияние на КПД. Характеристический коэффициент многоступенчатой турбины. Основы предварительного теплового расчета многоступенчатых турбин.

Классификация, обозначения, типы, основные параметры отечественных конденсационных и теплофикационных турбин в соответствии с ГОСТ 3618-78. Конструкции многоступенчатых конденсационных турбин. Конструкции турбин с противодавлением. Турбины для комбинированной выработки.

**Тема 10. Переменный режим работы, авторегулирование и защита паровых турбин.** Переменный режим работы сопловой решетки. Работа проточной части турбины при расходах и параметрах пара, отличных от номинальных. Зависимость расходов пара от мощности турбины. Связь расходов рабочего тела с давлением по отсекам турбины. Формула Флюгеля.

Парораспределение: дроссельное, сопловое, обводное, скользящим давлением.

Регулируемые и нерегулируемые отборы пара, пределы и методы регулирования.

Схемы авторегулирования конденсационных и теплофикационных паровых турбин. Масляная система, ее назначение, основные схемы и элементы.

Защита паровых турбин от разгона, осевого сдвига ротора, повышения давления в конденсаторе, снижения давления в системах смазки и регулирования.

**Тема 11.** Схемы, оборудование и вопросы эксплуатации паротурбинных установок.

Принципиальные тепловые схемы современных паротурбинных установок. Термический, абсолютный, внутренний, эффективный и электрический КПД установки, пути их увеличения. Стандартные параметры пара. Энергетические показатели турбоустановок.

Вспомогательное оборудование паротурбинных установок: конденсаторы, эжекторы, регенеративные подогреватели, деаэраторы, циркуляционные, питательные и конденсатные насосы.

Пуск и остановка турбины, наблюдение за ее работой. Причины неполадок в работе турбины. Основные мероприятия, предупреждающие аварии. Вопросы техники безопасности при эксплуатации турбоустановок.

**Тема 12.** Газовые турбины и газотурбинные установки. Газодинамические основы расчета турбомашин. Принцип работы и схемы газотурбинных установок (ГТУ). Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных газотурбинных установок. Основные способы повышения экономичности и единичной мощности ГТУ. Влияние ступенчатого сжатия воздуха, ступенчатого подогрева газа и регенерации на внутренний КПД установки

**Тема 13.** Двигатели внутреннего сгорания. Роль двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в народном хозяйстве. Принцип работы, классификация и область применения двигателей внутреннего сгорания, двигателей Стерлинга. Схемы двигателей, основные показатели работы двигателей. Схема устройства и принцип действия четырех- и двухтактного ДВС, их сравнение. Индикаторные диаграммы. Среднее индикаторное давление. Индикаторная и эффективная мощность, КПД и удельный расход топлива. Тепловой баланс ДВС. Определение основных размеров цилиндра двигателя.

Типы топлив, применяемых в ДВС. Физико-химические свойства и эксплуатационно-технические показатели газообразного и жидкого топлив. Топливоподающая система и смесеобразование в дизелях. Топливоприготовление в ДВС с внешним смесеобразованием. Принцип действия, карбюратора и газосмесителя. Система зажигания карбюраторных и газовых двигателей. Конструктивные особенности и основные элементы ДВС. Повышение мощности ДВС, системы наддува.

Режимы работы ДВС, скоростные и нагрузочные характеристики. Утилизация теплоты выхлопных газов и охлаждающей воды. Основы эксплуатации ДВС. Мероприятия по охране труда.

### **3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины (модуля)**

- мультимедийные презентационные материалы по дисциплине (модулю) представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;
- методические указания к выполнению лабораторных/практических работ представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;
- методические указания к выполнению контрольной работы и курсового проекта представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;
- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) представлены на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

### **4. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины (модуля);

- задания текущего контроля;
- задания промежуточной аттестации;
- задания внутренней оценки качества образования.

**5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы** (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

**Основная литература:**

1. Гримитлин, А. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий : учеб. пособие / А. М. Гримитлин, О. П. Иванов, В. А. Пухкал. - Санкт-Петербург : АВОК Северо-Запад, 2006. - 203 с. - (Серия "Учебная библиотека АВОК Северо-Запад"). - ISBN 5-902146-09-0 : 170-00.38.76 - Г 84 (количество экземпляров -18).

2. Щегляев, А. В. Паровые турбины: теория теплового процесса и конструкции турбин : учебник для вузов / А. В. Щегляев. - Изд. 5-е, доп. - Москва : Энергия, 1976. - 356, [1] с. : ил., чертежи. - 2-39.31.363 - Ш 33 (количество экземпляров - 21).

3. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А. Г. Костюк [и др.]; под ред. А. Г. Костюка. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Москва : Изд. дом МЭИ, 2008. - 556 с. : ил. - Библиогр.: с. 555-556. - ISBN 978-5-383-00268-1 : 1156-91.31.363 - П 18 (количество экземпляров - 30).

**Дополнительная литература:**

1. Черкасский В. М. Насосы. Вентиляторы. Компрессоры : учебник для теплоэнергет. специальностей вузов / В. М. Черкасский. - Москва : Энергия, 1977. - 421, [1] с. - Библиогр.: с. 416-417. - 1-30.39.459 - Ч-48 (количество экземпляров - 6).

2. Шляхин, П. Н. Паровые и газовые турбины : учебник / П. Н. Шляхин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1974. - 224 с. - 1-75.31.363 - Ш 70 (количество экземпляров -6).

4. Паровые турбины: Курсовое проектирование : учеб. пособие для вузов / М. М. Зуб. - Киев : Вища шк., 1974. - 88 с. : табл. - 0-25.31.363 - 3-91, (количество экземпляров - 45).

5. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов / [С. И. Ефимов и др.] ; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1985. - 455, [1] с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 2-00.39.455.5 - Д 23 (количество экземпляров - 2).

6. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов / [Д. Н. Вырубов и др.] ; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1983. - 374, [1] с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 1-70.39.455.5 - Д 23 (количество экземпляров -3).

**6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1. Электронно-библиотечная система "Лань" <http://e.lanbook.com/> с компьютеров МГТУ, подключенных к сети.

2. Электронно-библиотечная система "IPRbooks" <http://iprbookshop.ru>

3. Электронно-библиотечная система "Университетская библиотека онлайн" <http://biblioclub.ru/>.

4. Электронная библиотека МГТУ <http://lib.mstu.edu.ru>.

**7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

1. Операционная система Microsoft Windows Vista Business Russian Academic

OPEN, лицензия № 44335756 от 29.07.2008 (договор №32/379 от 14.07.08 г.)

2. Офисный пакет Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN, лицензия № 45676388 от 08.07.2009 (договор 32/224 от 14.07.2009 г.)

3. Офисный пакет Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN, № 47233444 от 30.07.2010 (договор №32/285 от 27.07.2010)

4. Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader Corporate 9.0 (сетевая версия), 2009 год (договор ЛЦ-080000510 от 28 апреля 2009 г.)

#### **8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ**

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)** представлено в приложении к ОПОП «Материально-технические условия реализации образовательной программы» и включает:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой магистратуры, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде МАУ.

Возможна замена оборудования виртуальными аналогами.



### 10. Распределение трудоемкости по видам учебной деятельности

Таблица 1 - Распределение трудоемкости - 5 семестр 3 з.е., 6 семестр - 4 з.е.

| Вид учебной нагрузки                  | Распределение трудоемкости дисциплины по формам обучения |     |             |              |  |             |              |  |             |
|---------------------------------------|--|-----|-------------|--------------|--|-------------|--------------|--|-------------|
|                                       | Очная  |     |             | Очно-заочная |  |             | Заочная      |  |             |
|                                       | Семестр  |     | Всего часов | Семестр      |  | Всего часов | Семестр/Курс |  | Всего часов |
|                                       | 5  | 6   |             |              |  |             |              |  |             |
| Лекции                                | 18   | 22  | 40          |              |  |             |              |  |             |
| Практические занятия                  | 10   | 20  | 30          |              |  |             |              |  |             |
| Лабораторные занятия                  | 8  | 10  | 18          |              |  |             |              |  |             |
| Самостоятельная работа                | 72   | 56  | 128         |              |  |             |              |  |             |
| Подготовка к промежуточной аттестации | -  | 36  | 36          |              |  |             |              |  |             |
| Всего часов по дисциплине             | 108  | 144 | 252         |              |  |             |              |  |             |

#### Формы промежуточной аттестации и текущего контроля

|                                       |     |     |     |  |  |  |  |  |
|---------------------------------------|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|
| Экзамен                               | -   | +   | +   |  |  |  |  |  |
| Зачет/зачет с оценкой                 | +/- | -   | +/- |  |  |  |  |  |
| Курсовая работа (проект)              | -   | -/1 | -/1 |  |  |  |  |  |
| Количество расчетно-графических работ | -   | -   | -   |  |  |  |  |  |
| Количество контрольных работ          | 1   | -   | 1   |  |  |  |  |  |

Таблица 2 - Перечень лабораторных работ по формам обучения

| № п/п | Темы лабораторных работ   |
|-------|---|
| 1     | 2   |
|       | <b>Очная форма</b>  |
| 1     | Испытание электроприводного поршневого насоса.                                    |
| 2     | Построение универсальной характеристики центробежного насоса.                     |
| 3     | Исследование совместной работы центробежных насосов.                              |
| 4     | Испытание роторного насоса.   |
| 5     | Определение геометрических размеров сопловых и рабочих лопаток турбинной ступени. |
| 6     | Изучение методов статической и динамической балансировки роторов ТК.              |
| 7     | Изучение конструкций турбокомпрессоров.   |
| 8     | Испытание дизеля на режимах нагрузочной характеристике.                           |

**Таблица 3 - Перечень практических занятий по формам обучения**

| №<br>п\п | Темы практических занятий  |
|----------|--|
| 1        | 2  |
|          | <b>Очная форма</b>   |
| 1        | Определение основных параметров нагнетателей динамического действия. Расчет высоты всасывания.                             |
| 2        | Пересчет характеристик центробежных нагнетателей при изменении частоты вращения, начальных условий всасывания.             |
| 3        | Работа насосов на сеть. Расчет характеристик сети при последовательном и параллельном включении центробежных нагнетателей. |
| 4        | Определение основных размеров и параметров поршневого компрессора с дифференциальным поршнем.                              |
| 5        | Построение треугольников скоростей на лопатках турбины.  |
| 6        | Изучение конструкций паровых турбин.   |
| 7        | Алгоритм теплового расчета турбинной ступени   |
| 8        | Изучение конструкций газотурбинных установок.  |
| 9        | Расчет циклов ДВС  |
| 10       | Изучение деталей остова и кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания                                    |
| 11       | Изучение механизма газораспределения двигателя внутреннего сгорания.   |
| 12       | Изучение систем двигателей внутреннего сгорания  |
|          |  |

**Таблица 4 - Перечень примерных тем курсовой работы /курсового проекта**

| №<br>п\п | Темы курсовой работы /проекта          |
|----------|--|
| 1        | Тепловой расчет паровой осевой турбины |
| 1        |  |
| 2        |  |
| 3        |  |