

# Белорусский национальный технический университет

Кафедра ЮНЕСКО  
«Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»

## ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩИЕ МАШИНЫ

**Учебная программа для специальности:**

1-43 01 06 (Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент);

Курс – 3

Семестр – 5

Лекции - 52 часа

Практические занятия – 34 часа

Лабораторные занятия - 16 часов

Всего аудиторных часов

по дисциплине – 102

Всего часов

по дисциплине - 214

Экзамен 5 семестр

Курсовая работа – 5 семестр

Форма получения

высшего образования –

дневная, заочная

Минск

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа «Энергопреобразующие машины» разработана для специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» Белорусского национального технического университета.

Цель изучения данной дисциплины состоит в ознакомлении с теоретическими основами взаимного преобразования тепловой, механической энергии потока рабочего тела в электрическую, а также электрической и механической энергии нагнетательных устройств в механическую энергию потока жидкости либо газа, с принципами действия нагнетательных машин и тепловых двигателей, работающих на различных рабочих телах. Изучению подлежат используемые в энергетическом хозяйстве промышленных предприятий нагнетательные машины и тепловые двигатели, включающие в себя вентиляторы, насосы, компрессоры, паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания; электродвигатели и электрогенераторы, методы расчета составных элементов изучаемых устройств, конструктивное оформление, режимы работы и технико-экономические показатели.

Изучение данной дисциплины преследует следующие задачи:

- дать студентам представления об основных принципах преобразования энергии в технических устройствах,
- привить умение использовать полученные знания для расчетов процессов, происходящих в нагнетателях и тепловых двигателях,
- привить навыки работы с нагнетательными устройствами и тепловыми двигателями, обеспечивающей наиболее экономичный режим их эксплуатации.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных в курсах «Физика», «Высшая математика», «Механика жидкости и газа», «Техническая термодинамика».

Полученные знания в дальнейшем используются при изучении специальных дисциплин, связанных главным образом с производством, преобразованием, транспортом и потреблением тепловой энергии и холода, и позволяют подходить к решению этих проблем с точки зрения повышения эффективности этих процессов.

При выполнении лабораторных работ осуществляется практическое освоение методов работы с нагнетательными устройствами, определение их рабочих параметров и характеристик, определение режимов работы на сеть, сравнение различных методов регулирования.

В результате освоения курса «Энергопреобразующие машины» студент должен:

### **знать:**

- гидромеханические и термодинамические процессы, происходящие в тепломеханическом оборудовании;
- методы расчетов процессов, происходящих в нагнетателях и тепловых двигателях;

### **уметь:**

- осуществлять расчет процессов, происходящих в нагнетателях и тепловых двигателях;

- выбрать необходимый тип машины для работы в данных условиях эксплуатации;
- обеспечить правильную эксплуатацию машин, регулирование режимов их работы;
- выбрать наиболее экономичный режим работы устройств;

**приобрести навыки:**

- работы с нагнетательными устройствами и тепловыми двигателями;
- определения режима работы устройств;
- экономичной эксплуатации устройств, регулирования режимов их работы.

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *Раздел I. Основные понятия об устройствах преобразования энергии*

#### **Тема 1.1. Введение**

Общая характеристика курса, его назначение. Общие сведения о преобразовании энергии в насосах, вентиляторах, газодувках, компрессорах, турбинных установках, двигателях внутреннего сгорания, электроустройствах.

Инновационные направления в развитии техники для перекачивания жидкостей и газов. Классификация нагнетателей и тепловых двигателей.

#### **Тема 1.2. Основные параметры работы нагнетателей**

Основные уравнения для потока несжимаемой и сжимаемой жидкости. Основные характеристики и параметры потоков в каналах.

Основные параметры работы нагнетателей – производительность, давление, напор, мощность и КПД. Выражения для определения параметров нагнетателей.

### *Раздел II. Центробежные нагнетатели*

#### **Тема 2.1. Преобразование энергии в колесе центробежного нагнетателя**

Физический механизм преобразования энергии в центробежном нагнетателе. Треугольники скоростей. Уравнение Эйлера. Теоретический и действительные напоры нагнетателя.

#### **Тема 2.2. Напор нагнетателей**

Параметры, влияющие на напор нагнетателя. Влияние угла входа потока в рабочее колесо. Основные уравнения для нагнетателя с радиальным входом. Влияние угла выхода с лопатки на полный, статический и динамический напоры центробежного нагнетателя. Типы лопастей.

#### **Тема 2.3. Характеристики нагнетателей**

Теоретические и действительные характеристики напора, мощности и КПД нагнетателей. Виды характеристик.

#### **Тема 2.4. Подобие нагнетателей**

Условия подобия. Перерасчет рабочих параметров нагнетателей при изменении их геометрических характеристик, условий работы, свойств среды и частоты вращения рабочего колеса. Коэффициент быстроходности.

#### **Тема 2.5. Влияние частоты вращения колеса нагнетателя на характеристики**

Влияние частоты вращения колеса нагнетателя на его характеристики. Перерасчет характеристик нагнетателей при изменении частоты вращения. Универсальные характеристики.

#### **Тема 2.6. Работа нагнетателей в сети**

Понятие сети. Характеристика сети. Аналитический и графический методы определения режима работы нагнетателя на сеть. Оптимальная работа нагнетателя.

### **Тема 2.7. Регулирование подачи нагнетателей**

Способы регулирования подачи нагнетателей. Регулирование дросселированием сети. Частотный метод регулирования. Регулирование изменением угла входа на лопатку. Поля рабочих параметров при различных способах регулирования.

### **Тема 2.8. Совместная работа нагнетателей**

Совместная работа нагнетателей. Параллельное, последовательное и смешанное включение нагнетателей. Определение режимов работы нагнетателя на сеть при совместной работе.

### **Тема 2.9. Устойчивость работы нагнетателей**

Понятие устойчивой работы нагнетателей. Влияние на устойчивость работы характеристик нагнетателя и характеристик сети. Помпаж. Методы обеспечения устойчивой работы нагнетателей.

### **Тема 2.10. Высота всасывания центробежного насоса**

Кавитация. Допустимая высота всасывания. Влияние температуры и давления на допустимую высоту всасывания. Влияние параметров насоса на допустимую высоту всасывания. Запас на кавитацию. Кавитационная характеристика насоса. Две схемы установки насосов.

### **Тема 2.11. Конструкции центробежных насосов и вентиляторов**

Основные размеры рабочего колеса центробежного нагнетателя. Осевые усилия. Конструктивные узлы нагнетателей. Способы уплотнения подвижного вала. Магнитожидкостное уплотнение. Многоступенчатые и многопоточные нагнетательные устройства. Особенности эксплуатации нагнетательных устройств и техники безопасности.

## ***Раздел III. Осевые нагнетатели***

### **Тема 3.1. Осевые насосы и вентиляторы**

Преобразование энергии в осевом нагнетателе. Кинематика потока в осевых нагнетателях. Решетка профилей. Особенности рабочих характеристик осевых машин. Регулирование осевых нагнетателей. Устойчивость работы осевых нагнетателей.

## ***Раздел IV. Поршневые насосы***

### **Тема 4.1. Принцип действия и параметры поршневых насосов**

Поршневые насосы, их типы. Способ преобразования энергии. Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы. Подача поршневых насосов. Неравномерность всасывания и подачи. Мощность и КПД.

### **Тема 4.2. Характеристики и регулирование подачи**

Характеристики поршневых насосов. Работа поршневого насоса на сеть. Регулирование режима работы. Допустимая высота всасывания.

## ***Раздел V. Компрессоры***

### **Тема 5.1. Типы и основные параметры компрессоров**

Поршневые компрессоры. Типы компрессоров. Термодинамика компрессорного процесса. Процессы сжатия и расширения идеального и реального газов в компрессоре.

Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы. Влияние давления выхода на подачу компрессора. Мертвое пространство и его влияние на подачу поршневого компрессора. Мощность и КПД поршневого нагнетателя.

### **Тема 5.2. Характеристики и регулирование компрессоров**

Работа компрессора на сеть. Многоступенчатое сжатие и промежуточное охлаждение. Характеристики и регулирование центробежных компрессоров. Характеристики поршневых компрессоров и методы регулирования подачи.

Особенности эксплуатации компрессоров и техники безопасности.

## ***Раздел VI. Паровые турбины***

### **Тема 6.1. Турбинная ступень**

Принцип преобразования энергии в турбинной ступени. Активная и реактивная турбина. Паротурбинная установка и ее тепловой цикл. Описание с помощью диаграмм процесса изменения состояния газа и пара при истечении через сопло. Мощность и КПД паротурбинной установки.

### **Тема 6.2. Основы теплового расчет процессов в турбинной ступени**

Преобразование энергии рабочего тела в механическую работу в турбинной ступени. Сопловая и рабочая решетки. Процесс течения рабочего тела в сопловом канале турбины. Расчет параметров рабочего тела при течении в турбинной ступени. Треугольники скоростей в турбинной ступени. Определение основных размеров сопловых и рабочих лопаток. Анализ и определение дополнительных потерь ступени.

### **Тема 6.3. Работа и мощность ступени**

Усилия, действующие на рабочие лопатки. Удельная работа мощность и КПД ступени. Относительный лопаточный КПД ступени.

### **Тема 6.4. Комбинированная выработка теплоты и электрической энергии**

Типы турбин. Комбинированная выработка теплоты и электрической энергии. Турбина с промежуточным регулируемым отбором пара.

## ***Раздел VII. Газовые турбины***

### **Тема 7.1. Газовые турбины**

Принцип действия газовой турбины. Достоинства и недостатки газотурбинных установок. Схема и цикл газотурбинной установки. Основные показатели газотурбинных установок. Регулирование газотурбинных установок. Способы повышения экономичности ГТУ.

## ***Раздел VIII. Двигатели внутреннего сгорания***

### **Тема 8.1. Двигатели внутреннего сгорания**

Классификация двигателей внутреннего сгорания. Схемы осуществления рабочих процессов в поршневых двигателях внутреннего сгорания. Принцип работы 4-хтактного и 2-хтактного двигателей. Индикаторные диаграммы. Среднее индикаторное давление. Мощность и КПД двигателя внутреннего сгорания. Удельный расход топлива. Общие принципы устройства двигателей внутреннего сгорания.

## ***Раздел IX. Электромеханическое преобразование энергии***

### **Тема 9.1. Электродвигатели и электрогенераторы**

Основные принципы преобразования механической энергии в электрическую. Электродвигатели, генераторы. Электродвигатели переменного тока, принцип работы, рабочие характеристики. Электродвигатели постоянного тока, устройство и принцип действия. ЭДС, мощность и КПД генератора.

## ***Раздел X. МГД-преобразование энергии***

### **Тема 10.1. Основные понятия о МГД-преобразовании энергии**

Понятие о МГД-преобразовании энергии. Электромагнитные насосы. Магнитодинамическое генерирование электроэнергии.

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

1. Расчет рабочих параметров нагнетателей.
2. Определение теоретического и действительного напора центробежного нагнетателя. Уравнение Эйлера. Треугольники скоростей.
3. Коэффициент быстроходности. Определение рабочих характеристик нагнетателей с разными типами колес.
4. Соотношения подобия. Пересчет характеристик нагнетателей при изменении различных параметров.
5. Работа центробежного нагнетателя на сеть.
6. Определение режима работы нагнетателя при регулировании.
7. Расчет предельной высоты всасывания центробежного насоса.
8. Расчет рабочих параметров и характеристик поршневого насоса.
9. Термодинамические расчеты процесса сжатия и расширения газов, построение диаграмм состояния.
10. Расчет процессов в компрессоре.
11. Расчет процессов в турбинной ступени. Построение треугольников скоростей.
12. Тепловой расчет процессов в газовой турбине.
13. Тепловой расчет процессов в двигателях внутреннего сгорания.

### **ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Изучение распределения давления на поверхности турбинной лопатки в потоке воздуха.
2. Исследование сил, действующих на турбинные лопатки.
3. Определение и изучение характеристик центробежного вентилятора.
4. Определение и изучение характеристик осевого вентилятора.
5. Изучение режимов работы вентилятора на сеть.
6. Изучение работы параллельно включенных вентиляторов.
7. Изучение работы последовательно включенных вентиляторов.
8. Влияние частоты вращения колеса центробежного вентилятора на его характеристики.
9. Регулирование центробежных вентиляторов

### **ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Тема курсовой работы:

Расчет рабочего колеса центробежного насоса.

Расчет турбинной ступени



## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоиздат, 1984. – 415с.
2. Черкасский, В.М. Нагнетатели и тепловые двигатели / В.М. Черкасский, Н.В. Калинин, Ю.В. Кузнецов, В.И. Субботин. – Москва: Энергоатомиздат, 1997. – 383 с.
3. Дячек, П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: Учебное пособие / П.И. Дячек. – М.: Издательство АСВ. 2011. – 432 с.
4. Нигматулин, И.Н. Тепловые двигатели / И.Н.Нигматулин, В.А. Ценев, П.Н. Шляшин - М.: Высшая школа, 1974. - 375 с.
5. Костюк, А.Г. Паровые и газовые турбины / А.Г. Костюк, В.В. Фролов - М.: Энергоиздат, 1985. - 352 с.
6. Китунович, Ф.Г. Электротехника / Ф.Г. Китунович. – Минск: Вышэйшая школа, 1991. – 430.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

7. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат. – 1990. – 336 с.
8. Шерстюк, А.Н. Насосы, вентиляторы, компрессоры / А.Н.Шерстюк. - М.: Высшая школа, 1972. - 342 с.
9. Калинушкин, М.П. Насосы и вентиляторы / М.П. Калинушкин. – М.: Высшая школа, 1987. – 178 с.
10. Костюк, А.Г. Газотурбинные установки / А.Г. Костюк, А.Н. Шерстюк. М.: Высшая школа, 1979. – 254 с.
11. Повх И.Л.. Техническая гидромеханика / И.Л.Повх. - Л.: Машиностроение, 1976. – 504 с.