

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»



Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

2015 г.

### Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.04.12 Турбомашины и комбинированные турбоустановки

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Основные направления совершенствования парогазовых установок»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.1

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часов – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника,

код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 878, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников

05.04.12 Турбомашин и комбинированные турбоустановки

шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** освоения дисциплины является изучение перспектив развития и особенностей эксплуатации парогазовых установок.

**Задачами** дисциплины являются:

- освоение основных тенденций и направлений развития современных ПГУ;
- приобретение навыков по обоснованию выбора основного оборудования ПГУ на стадии исследовательского проектирования;
- освоение современного состояния, проблем и перспектив развития ПГУ;
- формирование практических умений и навыков расчета принципиальных тепловых схем ПГУ с использованием программных приложений;
- формирование навыков проектирования и осуществления комплексных исследований при решении проблем совершенствования парогазовых установок.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерирование новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);

- владение методами теоретических и экспериментальных исследований в области турбиностроения (ПК-1);
- владение методологией научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, используемых в турбиностроении (ПК-2);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования при решении проблем совершенствования паротурбинных установок (ПК-4).

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**знать:**

- возможности использования газотурбинных и парогазовых установок в энергетике, их преимущества и недостатки в сравнении с другими источниками электроэнергии (УК-1);
- характеристики комбинированного, бинарного и парогазового циклов; преимущества комбинированных термодинамических циклов. (ОПК-1);
- особенности газотурбинного и паросилового цикла ПГУ (УК-3);
- типы ПГУ и их особенности (УК-3);
- методы расчета тепловых схем парогазовых установок (ОПК-4).

**уметь:**

- использовать современные методики расчета тепловые схем утилизационных (ПК-1);
- проектировать и проводить комплексные исследования при решении проблем совершенствования парогазовых установок (ПК-4);
- использовать новейшие программные приложения для решения научно-исследовательских задач при проектировании экономичных схем ПГУ (ПК-2);
- использовать методы повышения экономичности утилизационных ПГУ (ОПК-3).

**владеть:**

- методами теоретических и экспериментальных исследований в области турбиностроения (ПК-1);
- методами расчета тепловых схем утилизационных ПГУ (ПК-4);
- современными программными приложениями для решения научно-исследовательских задач при проектировании ПГУ (ПК-2).

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **1. Развитие энергетических технологий в мире и России (16 час.)**

Использование газотурбинных и парогазовых установок в энергетике, их преимущества и недостатки в сравнении с другими источниками электроэнергии.

Понятие о комбинированном, бинарном и парогазовом циклах. Преимущества комбинированных термодинамических циклов. Вывод соотношения для КПД комбинированного и бинарного циклов. Коэффициент бинарности. Понятие о парогазовом цикле. Вывод соотношения для КПД парогазового цикла. Особенности газотурбинного и паросилового цикла ПГУ.

## **2. Типы ПГУ и их особенности (34 час.)**

Простейшая утилизационная ПГУ, ее теплосиловой цикл и технико-экономические показатели. Превращение теплоты в электроэнергию в утилизационной ПГУ

Схема и цикл ПГУ с параллельной схемой. Техничко-экономические показатели. Преимущества, недостатки и области использования ПГУ с параллельной схемой. Примеры работающих и строящихся ПГУ с параллельной схемой. ПГУ ТЭЦ Альтбах Датсау (Германия). Использование ПГУ с параллельной схемой для замены устаревшего оборудования ТЭЦ с поперечными связями.

Схема и цикл ПГУ с дожиганием. Их преимущества, недостатки и области использования Основные соотношения для определения экономичности. Схема ПГУ-ТЭЦ Носсенер Брюкке (г. Дрезден) с дожиганием и ее анализ.

Схема и цикл ГТУ с вводом воды в камеру сгорания. ПГУ с вводом пара в КС ГТУ. Их преимущества, недостатки и области использования. Вывод соотношения для КПД ПГУ с вводом пара в КС. Ограничения по вводу пара в ГТУ. ПГУ с ГТУ LM2500 и LM5000 Дженерал Электрик с вводом пара в КС.

Схема и цикл сбросной ПГУ. Вывод соотношений для степени бинарности, КПД и соотношения мощностей паросиловой и газотурбинной части сбросной ПГУ. Ее преимущества, недостатки и области использования. Сравнение утилизационных и сбросных ПГУ. Тепловая схема сбросной ПГУ Молдавской ГРЭС. Сбросная ПГУ ТЭЦ Хемвег (Нидерланды).

Принципиальная схема и теплосиловой цикл ПГУ с высоконапорным парогенератором. Преимущества и недостатки ПГУ с ВПГ. Вывод соотношений для степени бинарности и КПД. Тепловая схема ПГУ-200 Невинномысской ГРЭС

Схема ПГУ с вытеснением регенерации и ее функционирование. Преимущества, недостатки и области использования ПГУ с вытеснением регенерации. Пример с использованием ГТУ с вытеснением регенерации для турбоустановки с турбиной Т-110-12,8 УТЗ.

## **3. Принципиальные тепловые схемы утилизационных ПГУ и их расчет (26 час.)**

Классификация утилизационных ПГУ. Преимущества, области использования и их недостатки.

Исходные данные для расчета утилизационной ПГУ. Общий подход к расчету тепловой схемы утилизационной ПГУ.

Тепловая схема и расчет одноконтурной ПГУ. Пути повышения ее экономичности. Области использования.

Тепловая схема и расчет двухконтурной ПГУ. Определение технико-экономических показателей.

Устройство трехконтурной ПГУ с промперегревом. Тепловая схема и расчет котла-утилизатора трехконтурной ПГУ. Расчет параметров и технико-экономических характеристик.

Технические требования к ГТУ утилизационных ПГУ. Конструктивные особенности ГТУ для ПГУ.

Требования к котлам-утилизаторам утилизационных ПГУ. Типы котлов-утилизаторов и их конструктивные особенности.

Влияние паросиловой установки на экономичность утилизационной ПГУ. Особенности паровых турбин утилизационных ПГУ. Примеры конструкций отечественных и зарубежных паровых турбин для ПГУ. Выбор концепции паровой турбины для ПГУ. Способы деаэрации основного конденсата в ПГУ. Выбор давления в конденсаторе ПГУ, обеспечивающий максимальные экономичность и надежность ее основного оборудования. Процесс расширения пара в двухконтурной и трехконтурной ПГУ. Порядок расчета паровой турбины ПГУ.

#### **4. Основные технологическое оборудование парогазовых установок (16 час.)**

Конструкции узлов и деталей газотурбинных двигателей утилизационных ПГУ. Технические требования к ГТД утилизационных ПГУ. Конструкции рабочих лопаток газовых турбин и компрессоров, сопловые аппаратов газовых турбин, роторов, камер сгорания, горелочных устройств, корпусов и опор ротора.

Конструкции современных энергетических ГТУ для утилизационных ПГУ отечественных и зарубежных производителей. Номенклатура и технические характеристики энергетических ГТУ.

Котельные установки парогазовых энергоблоков. Назначение и роль котельной установки в ПГУ. Технические требования к котельной установке и котлам-утилизаторам ПГУ. Тепловые схемы котельных установок. Классификация котлов-утилизаторов ПГУ. Конструкции горизонтальных и вертикальных котлов-утилизаторов.

Паротурбинные установки утилизационных ПГУ. Особенности ПТУ утилизационных ПГУ. Паровые турбины утилизационных ПГУ отечественных и зарубежных производителей. Теплофикационные установки утилизационных ПГУ.

#### **5. Основы эксплуатации утилизационных ПГУ (16 час.)**

Режимы работы ПГУ и управление ими. Техничко-экономические характеристики ПГУ и особенности ее работы в переменных режимах.

Нестационарные режимы работы. Особенности реализации пусковых и остановочных режимов работы ПГУ. Аварийные режимы.

ПГУ нового поколения и перспективы совершенствования ГТУ и утилизационных ПГУ

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

3 семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля и проведения зачета**

1. Как соотносятся комбинированный, бинарный и парогазовый циклы?
2. Определение степени бинарности. В чем ее физический смысл?
3. Простейшая утилизационная ПГУ, ее теплосиловой цикл и технико-экономические показатели.
4. Области использования, преимущества и недостатки ПГУ с «дожиганием».
5. Области использования, преимущества и недостатки ПГУ с параллельной схемой.
6. Области использования, преимущества и недостатки ПГУ с нагревом питательной воды выхлопными газами ГТУ
7. Области использования, преимущества и недостатки ПГУ с низконапорным парогенератором.
8. Области использования, преимущества и недостатки ПГУ с КУ и вводом пара в КС ГТУ.
9. В чем состоит различие между ГТД и ГТУ?
10. Требования к параметрам природного газа, подаваемого в камеру сгорания.
11. Системы, входящие в состав ГТУ и обеспечивающие ее работу. Функции, выполняемые каждой из систем.
12. Системы, входящие в состав котельной установки и обеспечивающие ее работу. Функции, выполняемые каждой из систем.
13. Системы, входящие в состав паротурбинной установки и обеспечивающие ее работу. Функции, выполняемые каждой из систем.
14. Особенности получения горячей сетевой воды от ПГУ-ТЭЦ.
15. Последовательность определения единичной мощности ГТУ при проектировании электростанции заданной мощности.
16. Факторы определяющие выбор начальной температуры пара в утилизационной ПГУ.
17. Последовательность расчета тепловой схемы утилизационной ПГУ.
18. Основные технические требования, предъявляемые к ГТУ, работающим в составе утилизационных ПГУ.
19. Основные элементы котельной установки.

20. Преимущества и недостатки вертикальных котлов-утилизаторов перед котлами горизонтальной компоновки.
21. Основные особенности паротурбинного цикла утилизационной ПГУ.
22. Основные отличия паровых турбин ПГУ от традиционных паровых турбин ПТУ.
23. Недостатки среднего расположения генератора в газопаротурбинном агрегате.
24. Преимущества и недостатки открытых воздушных систем охлаждения высокотемпературных газовых турбин
25. Назовите объем технических осмотров со вскрытием ГТУ.
26. При каких условиях производится замена отдельных деталей ГТУ.
27. Исходные данные необходимые для планирования длительности межремонтного планирования.
28. Факторы препятствующие быстрому проведению переходных в ГТУ, котле-утилизаторе и паровой турбине.
29. Назначение пусковой схемы ПГУ.
30. Основные этапы подготовки к пуску ПГУ из холодного состояния.
31. Что такое режим самоходности?
32. Особенности пуска парогазового дубль-блока по сравнению с моноблоком.
33. Типы остановов ПГУ.
34. Пути совершенствования современных ГТУ и ПГУ.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Парогазовые установки электростанций: Учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 648 с. (ISBN: 978-5-383-00721-1).
2. Основы современной энергетики: Учебник для вузов. В двух частях / Под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – 5-е издание, перераб. и доп. - Часть 1. Трухний А.Д., Изюмов М.А., Поваров О.А., Малышенко С.П. Современная теплоэнергетика: М.: Издательство МЭИ, 2010. – 470 с. (ISBN: 978-5-383-00502-6).
3. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. – 2-е изд., стереотипное. – М.: Издательский дом МЭИ. 2009. – 584 с. (ISBN: 978-5-383-00340-4).
4. Паровые и газовые турбины для электростанций: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. Под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательство МЭИ, 2008. (ISBN: 5-903072-53-4).

5. Трухний А.Д., Паршина Н.С., Лукьянова Т.С. Расчет тепловых схем трехконтурных утилизационных парогазовых установок. М.: Издательский дом МЭИ. 2010. – 46 с. (ISBN: 978-5-383-00721-1).
6. Трухний А.Д. Расчет тепловых схем утилизационных парогазовых установок: учебное пособие / А.Д. Трухний, А.А. Романюк.- М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 40 с. (ISBN: 5-903072-79-8).

**Дополнительная литература:**

7. Лукьянова Т.С., Трухний А.Д. Выбор параметров и конструкторский расчет трехконтурных ПГУ с вакуумным деаэратором и промежуточным перегревом пара. – Теплоэнергетика. 2011, №3.
8. Трухний А.Д., Паршина Н.С. Конструкторский расчет трехконтурных ПГУ с промежуточным перегревом пара. – Теплоэнергетика. 2010, №2.
9. Березинец П.А., Гриненко В.М., Долинин И.В. и др. Создание и освоение отечественной теплофикационной парогазовой установки. – Теплоэнергетика. 2011, №6.