

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Тепловые электрические станции

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины
ПАРОВЫЕ И ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

| | |
|---|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.05.04 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 6 семестр - 4; 7 семестр - 5; всего - 9 |
| Часов (всего) по учебному плану: | 324 часа |
| Лекции | 6 семестр - 28 часа; 7 семестр - 32 часа; всего - 60 часов |
| Практические занятия | 6 семестр - 14 часов; 7 семестр - 16 часов; всего - 30 часов |
| Лабораторные работы | 6 семестр - 14 часов; |
| Консультации | 6 семестр - 2 часа; 7 семестр - 34 часа; всего - 36 часа |
| Самостоятельная работа | 6 семестр - 85,5 часа; 7 семестр - 93,2 часа; всего - 178,7 часа |
| в том числе на КП/КР | 7 семестр - 35,7 часа; |
| Иная контактная работа | 7 семестр - 4 часа; |
| включая: Тестирование Контрольная работа Перекрестный опрос | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 6 семестр - 0,5 часа; |
| Защита курсового проекта | 7 семестр - 0,3 часа; |
| Экзамен | 7 семестр - 0,5 часа; |
| | всего - 1,3 часа |

Москва 2019

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|--|--|---------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Тищенко А.А. |
| | Идентификатор | Rf6ebae2e-TishchenkoAA-b3ff309f |

(подпись)

А.А. Тищенко

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|--|--|--------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Тараторин А.А. |
| | Идентификатор | Ra801db72-TaratorinAA-0945af7f |

(подпись)

А.А. Тараторин

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Рогалев Н.Д. |
| | Идентификатор | R618dc98f-RogalevND-c9225577 |

(подпись)

Н.Д. Рогалев

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение теории процессов в энергетических турбомашин тепловых и атомных электростанций с приобретением практики их расчетов и проектирования, развитием понимания взаимосвязи работы паровых и газовых турбин с технологическими процессами в оборудовании тепловых схем энергоблоков разного назначения.

Задачи дисциплины

- изучение физико-математические моделей тепловых, аэродинамических и механических процессов в проточной части паровых и газовых турбин ТЭС и АЭС;
- освоение методик расчета и проектирования энергетических турбин, а также приобретение навыков их выбора в соответствии с заданными условиями;
- освоение методик и правил оценки надежности основных элементов турбин;
- изучение переменных режимов при эксплуатации турбоустановок;
- изучение конструкций энергетических турбомашин.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|---|--|--|
| ПК-1 Способен участвовать в производственно-технологической деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники | ИД-3 _{ПК-1} Демонстрирует понимание принципов и режимов работы объектов профессиональной деятельности и закономерностей процессов, происходящих в них | знать: - назначение и принцип работы основных элементов ПТУ; - основные характеристики конденсаторов паровых турбин и их конструкцию; - особенности работы системы регулирования мощности паровых турбин; - методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части паровых турбин; - методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части энергетических ГТУ. уметь: - проводить термодинамический анализ рабочих процессов в паровых турбинах для определения параметров их работы и тепловой эффективности. |
| ПК-1 Способен участвовать в производственно-технологической деятельности в сфере теплоэнергетики и теплотехники | ИД-4 _{ПК-1} Принимает обоснованные технические решения при разработке схем и/или конструкций элементов объектов профессиональной деятельности | знать: - типы и маркировки энергетических турбин, особенности тепловых схем и компоновки для современных энергоблоков ТЭС и АЭС; - основные особенности конструкций паровых турбомашин. уметь: - проводить расчеты режимов работы ПТУ; - выполнять оценки надежности и |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--------------------------------|--|-------------------------------------|
| | | экономичности турбинных ступеней. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Тепловые электрические станции (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зачетных единиц, 324 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания | |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|--|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| 1 | Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС | 16 | 6 | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.1 расчетного задания</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 9-42 [5], 9-42</p> | |
| 1.1 | Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС | 16 | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 8 | - | | |
| 2 | Турбинные ступени, их расчет и проектирование | 38 | | 10 | 6 | 6 | - | - | - | - | - | 16 | - | | <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.2 расчетного задания</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 43-142 [5], 43-142</p> |
| 2.1 | Турбинные ступени, их расчет и проектирование | 38 | | 10 | 6 | 6 | - | - | - | - | - | 16 | - | | |
| 3 | Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин | 20 | | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 10 | - | | <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.2 расчетного задания</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> |
| 3.1 | Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин | 20 | | 6 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 10 | - | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|-------|---|----|----|----|---|---|---|---|-----|------|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | [1], 143-189 [3], 1-55 [5], 143-189 | |
| 4 | Переменные режимы работы паровых турбин | 22 | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 14 | - | <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.3 расчетного задания |
| 4.1 | Переменные режимы работы паровых турбин | 22 | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 14 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 190-199, 216-224 [5], 190-199, 216-224 |
| 5 | Системы парораспределения паровых турбин | 12 | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Подготовка расчетных заданий:</u> выполнение п.4 расчетного задания |
| 5.1 | Системы парораспределения паровых турбин | 12 | | 4 | 2 | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 201-215 [5], 201-215 |
| | Экзамен | 36.0 | | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | | 28 | 14 | 14 | - | 2 | - | - | 0.5 | 52 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | | 28 | 14 | 14 | 2 | | - | | 0.5 | 85.5 | | |
| 6 | Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии | 8 | 7 | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 6.1 | Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии | 8 | | 2 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | [1], 225-238 [2], 313-328 [5], 225-238 |
| 7 | Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора | 14 | | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|----|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7.1 | Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора | 14 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 355-380 [2], 190-228 [5], 355-380 |
| 8 | Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов | 10 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 8.1 | Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов | 10 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | [1], 381-408 [2], 145-190 [5], 381-408 |
| 9 | Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов | 22 | 12 | - | 6 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) |
| 9.1 | Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов | 22 | 12 | - | 6 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 597-674 [3], 62-71 [5], 597-674 |
| 10 | Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике | 12 | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 10.1 | Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике | 12 | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 4 | - | [4], 24-36 [6], 24-36 |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|----------|------------|--------------|-------------|---|
| 11 | Турбомашины парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации | 6 | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 49-108, 421-483 [6], 49-108, 421-483 |
| 11.1 | Турбомашины парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации | 6 | | 2 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - | |
| | Экзамен | 36.0 | | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Курсовой проект (КП) | 72.0 | | - | - | - | 32 | - | 4 | - | 0.3 | 35.7 | - | |
| | Всего за семестр | 180.0 | | 32 | - | 16 | 32 | 2 | 4 | - | 0.8 | 59.7 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 180.0 | | 32 | - | 16 | 34 | 4 | 0.8 | | | 93.2 | | |
| | ИТОГО | 324.0 | - | 60 | 14 | 30 | 36 | 4 | 1.3 | | | 178.7 | | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС

1.1. Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС

Классификация электрических станций и место турбомашин в них: маркировки паровых турбин ТЭС и АЭС и основные сведения об их конструкциях; историческая справка о развитии теплоэнергетики и турбостроения. Особенности тепловых схем паротурбинных установок ТЭС и АЭС: место паровой турбины в термодинамическом цикле; показатели экономичности паровых турбин и турбоустановок; особенности тепловых схем турбоустановок ТЭС и АЭС и влияние основных параметров пара на их эффективность; реализация промежуточного перегрева пара и регенеративного подогрева питательной воды в турбоагрегатах..

2. Турбинные ступени, их расчет и проектирование

2.1. Турбинные ступени, их расчет и проектирование

Конструкция ступени осевого типа: система уравнений для расчетов термо- и газодинамических процессов в проточной части турбинной ступени; тепловая диаграмма процессов преобразования энергии в турбинных решетках; степень реактивности турбинной ступени; треугольники скоростей и методика их расчета. Мощность и экономичность турбинных ступеней: уравнения для расчетов усилий и мощности ступени; относительный лопаточный КПД; двухвенечные ступени скорости. Выбор турбинных решеток для турбинных ступеней: геометрические, газодинамические и режимные характеристики турбинных решеток; выбор типа лопаток для решеток ступеней; определение экономичности сопловой и рабочей решеток. Виды потерь в турбинной ступени и ее относительный внутренний КПД; зависимость относительного внутреннего КПД ступени от параметра $u/cф$. Методика расчета турбинной ступени: выбор исходных характеристик и параметров турбинной ступени; методика расчета турбинной ступени с $d/l \square 10 \dots 13$; особенности расчета и проектирования ступеней с длинными лопатками; законы закрутки турбинных лопаток. Проектирование и конструкции ступеней паровых турбин: особенности конструкций турбинных ступеней для цилиндров паровых турбин; правила их проектирования и нормативные документы..

3. Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин

3.1. Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин

Компоновки паровых турбин различного назначения: предельная мощность однопоточной конденсационной турбины; способы повышения предельной мощности; определение размеров последней ступени; компоновочные решения, показатели надежности и экономичности паровых турбин. Основные расчеты при проектировании многоцилиндровой паровой турбины: построение процесса расширения пара в проточной части турбины и оценки его расхода для реализации требуемой мощности турбоагрегата; расчет числа ступеней и распределение теплоперепадов; выбор частоты вращения валопровода турбоагрегатов, числа ЦНД и их компоновок. Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин: расчет осевых усилий в валопроводе турбоагрегата и способы их компенсации; статическая прочность рабочих лопаток ступеней; выбор конструкции роторов ЦВД, ЦСД и ЦНД турбин и их уплотнений; требования ГОСТ к конструкциям турбин; примеры исполнения турбин ТЭС и АЭС..

4. Переменные режимы работы паровых турбин

4.1. Переменные режимы работы паровых турбин

Общая характеристика переменных режимов: переменный режим турбинных решеток и турбинной ступени; особенности переменного режима турбинной ступени с $\sigma_2 = d_2/l_2 \leq 10$; переменный режим работы группы ступеней; закон Стодолы–Флюгеля; маневренность и программы регулирования энергоблоков; холостой ход турбоагрегата; моторный режим; режим горячего вращающегося резерва. Влияние отклонения начальных параметров водяного пара, параметров промперегрева и давления в конденсаторе на мощность турбин..

5. Системы парораспределения паровых турбин

5.1. Системы парораспределения паровых турбин

Способы парораспределения паровых турбин: дроссельное парораспределение; сопловое парораспределение; обводное парораспределение; выбор системы парораспределения; регулирование мощности турбоагрегатов способом скользящего давления..

6. Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии

6.1. Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии

Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии: турбины с противодавлением; турбины с промежуточным регулируемым отбором пара (тип Т) и их диаграммы режимов; турбины с двумя регулируемыми отборами пара (тип ПТ) и их диаграммы режимов; турбины с двухступенчатым отопительным отбором пара; энергетические характеристики теплофикационных паровых турбин..

7. Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора

7.1. Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора

Конденсационные установки паровых турбин: схема конденсационной установки и устройство конденсатора; тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; компоновки и конструкции конденсаторов паровых турбин; методика расчета конденсатора. Основы эксплуатации конденсационных установок: характеристика конденсатора и переменный режим его работы; воздухоотсасывающие устройства; особенности эксплуатации конденсационной установки..

8. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов

8.1. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов

Системы автоматического регулирования: основные задачи САР и принципиальная схема САР турбоагрегата; статическое и астатическое регулирование; параллельная работа турбоагрегатов в сети; схемы САР конденсационных и теплофикационных турбин. Системы аварийной защиты турбоагрегатов: основные системы защиты паровых турбин; особенности систем защиты для конденсационных и теплофикационных турбин; требования ГОСТ к системам регулирования и защиты турбоагрегатов. Системы маслоснабжения паровых турбин: схемы маслоснабжения; аварийная смазка турбин; эксплуатация турбинных масел; конструкции подшипников..

9. Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов

9.1. Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов

Вибрационная надежность турбоагрегатов: низкочастотная вибрация; вибрация оборотной частоты; высокочастотная вибрация; контроль и нормы вибрации; предупреждение повышенной вибрации валопровода; системы вибромониторинга и диагностики. Колебания лопаточного аппарата турбин: формы колебаний рабочих лопаток; расчет частот колебаний пакетов лопаток; вибрационная диаграмма лопаточного аппарата; правила отстройки от резонансных состояний. Конструкции и оценки надежности элементов валопровода турбоагрегата: оценка надежности ротора паровой турбины; расчеты критических частот вращения ротора; напряжения и деформации во вращающемся диске; расчет напряжений в диске; определение натяга и освобождающей частоты вращения; требования к надежности и ресурсным характеристикам роторов паровых турбин. Расчеты на прочность основных деталей статора турбины: конструкции и расчеты толщины корпусов турбин; напряженное состояние фланцевого разъема корпуса; оценки надежности диафрагм; материалы, применяемые для изготовления паровых турбин..

10. Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике

10.1. Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике

Энергетические газотурбинные установки: общие сведения об энергетических ГТУ и примеры их исполнения; термодинамический цикл и схемы ГТУ; показатели экономичности ГТУ и способы их повышения; применение ГТУ в тепловых электростанциях; ГТУ-ТЭЦ; применение ГТУ на базе авиационных двигателей. Газовые турбины: процесс расширения в газовой турбине и выбор числа ее ступеней; особенности турбинных ступеней газовой турбины; методика расчета проточной части; системы охлаждения газовых турбин. Компрессоры ГТУ: конструкция осевого компрессора; процессы в проточной части компрессорных ступеней и оценки их числа; режимы работы и характеристики осевых компрессоров ГТУ; явление помпажа; конструкции камер сгорания. Переменные режимы эксплуатации ГТУ: переменные режимы ГТУ; пуск газотурбинных установок; системы защиты и автоматического регулирования ГТУ..

11. Турбомашинные парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации

11.1. Турбомашинные парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации

Парогазовые установки: тепловые схемы, состав и показатели экономичности ПГУ; Особенности параметров паровых и газовых турбин для парогазовых установок с одно, двух и трехконтурными котлами-утилизаторами. Паровые турбины для ПГУ: особенности расчета и проектирования паровых турбин для ПГУ; конструкции турбин для ПГУ утилизационного типа; конструкции турбин для теплофикационных парогазовых установок. Основы эксплуатации турбоагрегатов: задачи эксплуатации и критерии надежности в работе турбин; особенности пусков и останова турбин..

3.3. Темы практических занятий

1. Вибрация роторов и оценки критических частот их вращения (2 часа);
2. Вибрационная надежность лопаточного аппарата турбин (2 часа);
3. Системы автоматического регулирования паровых турбин. Параллельная работа турбоагрегатов в сети (2 часа);
4. Тепловой расчет конденсатора и обзор их конструкций (4 часа);
5. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии (2 часа);

6. Выбор системы парораспределения (2 часа);
7. Расчет переменного режима турбинной ступени и отсека турбины. Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность турбины (2 часа);
8. Предельная мощность паровых турбин. Расчет числа ступеней и размеров последней ступени ЦВД. Определение числа ЦВД. Расчеты статической прочности рабочих лопаток и осевых нагрузок (2 часа);
9. Методика теплового расчета турбинной ступени (2 часа);
10. Расчет дополнительных потерь ступени. Внутренний относительный КПД (2 часа);
11. Турбинная ступень и ее параметры. Процесс расширения в турбинной ступени. Расчет треугольников скоростей (2 часа);
12. Показатели тепловой экономичности турбоустановок ТЭС и АЭС (2 часа);
13. Расчеты на прочность основных элементов турбины (2 часа);
14. Газотурбинные установки и их конструкции. Турбомашины парогазовых установок (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ

1. №1. Тепловая схема турбоустановки ТЭЦ МЭИ с паровой турбиной П-6-3,5 КТЗ (4 часа);
2. №2. Конструкция паровой турбины П-6-3,5 КТЗ. Парораспределение, система маслоснабжения и изучение конструкций подшипников турбины (6 часов);
3. №3. Конструкции конденсатора, конденсатного насоса и эжекторной установки (4 часа).

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 7 Семестр

Курсовой проект (КП)

График выполнения курсового проекта

| Неделя | 1 - 4 | 5 - 6 | 7 - 9 | 10 - 11 | 12 - 15 | 16 | Зачетная |
|---|-------|-------|-------|---------|---------|-----|--------------------------|
| Раздел курсового проекта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Защита курсового проекта |
| Объем раздела, % | 15 | 10 | 15 | 10 | 45 | 5 | - |
| Выполненный объем нарастающим итогом, % | 15 | 25 | 40 | 50 | 95 | 100 | - |

| Номер раздела | Раздел курсового проекта |
|---------------|---|
| 1 | Расчет числа ступеней ЦВД и выбор компоновки его проточной части |
| 2 | Расчет последней ступени ЦВД |
| 3 | Эскиз ротора ЦВД. Определение критических частот вращения ротора ЦВД турбины. |
| 4 | Оценка вибрационной надежности пакета рабочих лопаток последней ступени ЦВД по возмущающим силам I рода (с построением вибрационной диаграммы) и II рода. |
| 5 | Проектирование ЦВД паровой турбины с вычерчиванием в масштабе 1:10 совмещенного чертежа продольного разреза (верхняя часть) и |

| | |
|---|---|
| | внешнего вида (нижняя часть). Подготовка чертежей узлов и элементов паровой турбины. Выбор материалов основных элементов паровой турбины. |
| 6 | Подготовка пояснительной записки. |

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | | | | | | | Оценочное средство (тип и наименование) | | |
|--|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | 11 | |
| Знать: | | | | | | | | | | | | | | |
| методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части энергетических ГТУ | ИД-3ПК-1 | | | | | | | | | | | + | + | Тестирование/Тест № 6. Оценки прочности основных элементов статора и ротора. Термодинамический цикл и схемы ГТУ; показатели экономичности ГТУ и способы их повышения. |
| методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части паровых турбин | ИД-3ПК-1 | | + | + | | | | | | | | | | Тестирование/Тест № 2. Методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части паровых турбин, конструкции их основных элементов, основы проектирования паровых турбин и способы решения задач обеспечения их экономичности и надёжности Тестирование/Тест № 3. Основы проектирования паровых турбин. Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин. Особенности переменных режимов работы паровой турбины. Системы парораспределения. |
| особенности работы системы регулирования мощности паровых турбин | ИД-3ПК-1 | | | | | | | + | | + | | | | Тестирование/Тест № 5. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. |
| основные характеристики конденсаторов паровых турбин и их конструкцию | ИД-3ПК-1 | | | | | | | | + | | | | | Тестирование/Тест № 5. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|--|--|--|---|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. |
| назначение и принцип работы основных элементов ПТУ | ИД-3ПК-1 | | | | | | | | | | | | | | | Тестирование/Тест № 4. Контроль остаточных знаний по курсу «Паровые и газовые турбины электростанций». Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. |
| основные особенности конструкций паровых турбомашин | ИД-4ПК-1 | | | | + | | | + | | | | | | | | Тестирование/Защита лабораторной работы № 2. Конструкция паровой турбины П-6-3,5 КТЗ. Парораспределение, система маслоснабжения и изучение конструкций подшипников турбины Тестирование/Защита лабораторной работы №3. Конструкции конденсатора, конденсатного насоса и эжекторной установки. |
| типы и маркировки энергетических турбин, особенности тепловых схем и компоновки для современных энергоблоков ТЭС и АЭС | ИД-4ПК-1 | | | | | | | | | | | | | | + | Тестирование/Защита лабораторной работы № 1. Тепловая схема турбоустановки ТЭС МЭИ с паровой турбиной П-6-3,5 КТЗ Тестирование/Тест № 1.Классификация электрических станций. Маркировка паровых турбин ТЭС и АЭС. Особенности тепловых схем и влияние основных параметров пара на их эффективность. |
| Уметь: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| проводить термодинамический анализ рабочих процессов в паровых турбинах для определения параметров их работы и тепловой эффективности | ИД-3ПК-1 | | | | | | | | | | | | | | | Перекрестный опрос/Защита расчетного задания Контрольная работа/Контрольная работа. Тепловой цикл паротурбинной установки и показатели ее экономичности. Тепловой и |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------|--|--|--|--|--|---|--|---|---|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | аэродинамический расчет характеристик турбинной ступени. |
| выполнять оценки надежности и экономичности турбинных ступеней | ИД-4ПК-1 | | | | | | | | + | + | | | Контрольная работа/Контрольная работа № 3. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. |
| проводить расчеты режимов работы ПТУ | ИД-4ПК-1 | | | | | | + | | + | + | | | Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Защита лабораторной работы № 1. Тепловая схема турбоустановки ТЭЦ МЭИ с паровой турбиной П-6-3,5 КТЗ (Тестирование)
2. Защита лабораторной работы № 2. Конструкция паровой турбины П-6-3,5 КТЗ. Парораспределение, система маслоснабжения и изучение конструкций подшипников турбины (Тестирование)
3. Защита лабораторной работы №3. Конструкции конденсатора, конденсатного насоса и эжекторной установки. (Тестирование)
4. Контрольная работа. Тепловой цикл паротурбинной установки и показатели ее экономичности. Тепловой и аэродинамический расчет характеристик турбинной ступени. (Контрольная работа)
5. Тест № 1.Классификация электрических станций. Маркировка паровых турбин ТЭС и АЭС. Особенности тепловых схем и влияние основных параметров пара на их эффективность. (Тестирование)
6. Тест № 2. Методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части паровых турбин, конструкции их основных элементов, основы проектирования паровых турбин и способы решения задач обеспечения их экономичности и надёжности (Тестирование)
7. Тест № 3. Основы проектирования паровых турбин. Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин. Особенности переменных режимов работы паровой турбины. Системы парораспределения. (Тестирование)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита расчетного задания (Перекрестный опрос)

7 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 2. Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 3. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. (Контрольная работа)
3. Тест № 4. Контроль остаточных знаний по курсу «Паровые и газовые турбины электростанций». Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. (Тестирование)
4. Тест № 5. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. (Тестирование)
5. Тест № 6. Оценки прочности основных элементов статора и ротора. Термодинамический цикл и схемы ГТУ; показатели экономичности ГТУ и способы их повышения. (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.
Балльно-рейтинговая структура курсового проекта является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №6)

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

Экзамен (Семестр №7)

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

Курсовой проект (КП) (Семестр №7)

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Костюк, А. Г. Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций : учебник для вузов по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергетическое машиностроение" / А. Г. Костюк, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний ; ред. А. Д. Трухний . – М. : Издательский дом МЭИ, 2018 . – 688 с. - ISBN 978-5-383-01057-0 .;
2. Трухний, А. Д. Стационарные паровые турбины / А. Д. Трухний . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1990 . – 640 с. - ISBN 5-283-00069-9 .;
3. Трухний, А. Д. Атлас конструкций деталей турбин : Учебное пособие по направлениям "Энергомашинностроение" и "Теплоэнергетика" / А. Д. Трухний, Б. Н. Крупенников, С. В. Петрунин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – 2-е изд., стереотип . – М. : Изд-во МЭИ, 2000 . – 148 с. - ISBN 5-7046-0451-X .;
4. Трухний, А. Д. Парогазовые установки электростанций : учебное пособие для вузов по направлениям "Энергетическое машиностроение", "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. Д. Трухний . – М. : Издательский дом МЭИ, 2013 . – 648 с. - ISBN 978-5-383-00721-1 .;
5. Трухний А.Д.- "Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014004.html>;
6. Трухний А. Д.- "Парогазовые установки электростанций", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2013 - (648 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72261.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SmathStudio;
6. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|------------------------------------|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | А-404, Учебная аудитория "А" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран |
| | А-406, Учебная аудитория "А" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран |
| | Б-205, Учебная аудитория | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной работы | Т-512, Компьютерный класс | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | П-38, Кабинет сотрудников каф. ПТТ | |

| | | |
|--|--|--|
| | (доц. Медников А.Ф.) | |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | П-05/1, Помещение для учебного инвентаря | |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Паровые и газовые турбины электростанций

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Тест № 1. Классификация электрических станций. Маркировка паровых турбин ТЭС и АЭС. Особенности тепловых схем и влияние основных параметров пара на их эффективность. (Тестирование)
- КМ-2 Защита лабораторной работы № 1. Тепловая схема турбоустановки ТЭЦ МЭИ с паровой турбиной П-6-3,5 КТЗ (Тестирование)
- КМ-3 Тест № 2. Методики теплового и аэродинамического расчетов проточной части паровых турбин, конструкции их основных элементов, основы проектирования паровых турбин и способы решения задач обеспечения их экономичности и надёжности (Тестирование)
- КМ-4 Защита лабораторной работы № 2. Конструкция паровой турбины П-6-3,5 КТЗ. Парораспределение, система маслоснабжения и изучение конструкций подшипников турбины (Тестирование)
- КМ-5 Контрольная работа. Тепловой цикл паротурбинной установки и показатели ее экономичности. Тепловой и аэродинамический расчет характеристик турбинной ступени. (Контрольная работа)
- КМ-6 Защита лабораторной работы №3. Конструкции конденсатора, конденсатного насоса и эжекторной установки. (Тестирование)
- КМ-7 Тест № 3. Основы проектирования паровых турбин. Обеспечение надежности основных элементов паровых турбин. Особенности переменных режимов работы паровой турбины. Системы парораспределения. (Тестирование)
- КМ-8 Защита расчетного задания (Перекрестный опрос)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 5 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 14 |
| 1 | Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС | | | | | | | | | |
| 1.1 | Введение в курс и общая характеристика типов и маркировок турбоагрегатов ТЭС и АЭС | | + | + | | | | | | |
| 2 | Турбинные ступени, их расчет и проектирование | | | | | | | | | |
| 2.1 | Турбинные ступени, их расчет и проектирование | | | | + | | | | + | |
| 3 | Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|------------|--|---|---|----|----|----|----|---|----|
| 3.1 | Основы расчета, выбора конструкций и проектирования паровых турбин | | | + | + | + | + | + | + |
| 4 | Переменные режимы работы паровых турбин | | | | | | | | |
| 4.1 | Переменные режимы работы паровых турбин | | | | | + | | | + |
| 5 | Системы парораспределения паровых турбин | | | | | | | | |
| 5.1 | Системы парораспределения паровых турбин | | | | + | | + | | |
| Вес КМ, %: | | 5 | 5 | 15 | 10 | 15 | 10 | 5 | 35 |

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-9 Тест № 4. Контроль остаточных знаний по курсу «Паровые и газовые турбины электростанций». Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. (Тестирование)
- КМ-10 Контрольная работа № 2. Влияние начальных и конечных параметров пара на мощность паровых турбин. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии и их диаграммы режимов. (Контрольная работа)
- КМ-11 Тест № 5. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. (Тестирование)
- КМ-12 Контрольная работа № 3. Тепловые процессы в конденсаторе и его тепловой баланс; методика расчета конденсатора. Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов. Вибрационная надежность турбоагрегатов. (Контрольная работа)
- КМ-13 Тест № 6. Оценки прочности основных элементов статора и ротора. Термодинамический цикл и схемы ГТУ; показатели экономичности ГТУ и способы их повышения. (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-9 | КМ-10 | КМ-11 | КМ-12 | КМ-13 |
|---------------|---|------------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 14 | 15 |
| 1 | Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии | | | | | | |
| 1.1 | Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии | | + | + | + | | |
| 2 | Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора | | | | | | |
| 2.1 | Конденсационные установки. Тепловой расчет конденсатора | | | | + | | |
| 3 | Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов | | | | | | |

| | | | | | | |
|------------|--|----|----|----|----|----|
| 3.1 | Системы автоматического регулирования, защиты и маслоснабжения турбоагрегатов | | + | + | + | |
| 4 | Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов | | | | | |
| 4.1 | Вибрационная надежность турбин и оценки надежности их основных элементов | | + | | + | |
| 5 | Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике | | | | | |
| 5.1 | Схемы ГТУ. Конструкции газовых турбин и компрессоров ГТУ. Применение ГТУ в теплоэнергетике | | | | | + |
| 6 | Турбомашины парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации | | | | | |
| 6.1 | Турбомашины парогазовых установок, их конструкции. Основы эксплуатации | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | 10 | 35 | 10 | 35 | 10 |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Паровые и газовые турбины электростанций

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовому проекту:

- КМ-1 Контроль выполнения разделов
- КМ-2 Контроль выполнения разделов
- КМ-3 Контроль выполнения разделов
- КМ-4 Контроль выполнения разделов
- КМ-5 Контроль выполнения разделов
- КМ-6 Контроль выполнения разделов

Вид промежуточной аттестации – защита КП.

| Номер раздела | Раздел курсового проекта/курсовой работы | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 6 | 9 | 11 | 15 | 16 |
| 1 | Расчет числа ступеней ЦВД и выбор компоновки его проточной части | | + | | | | | |
| 2 | Расчет последней ступени ЦВД | | | + | | | | |
| 3 | Эскиз ротора ЦВД. Определение критических частот вращения ротора ЦВД турбины. | | | | + | | | |
| 4 | Оценка вибрационной надежности пакета рабочих лопаток последней ступени ЦВД по возмущающим силам I рода (с построением вибрационной диаграммы) и II рода. | | | | | + | | |
| 5 | Проектирование ЦВД паровой турбины с вычерчиванием в масштабе 1:10 совмещенного чертежа продольного разреза (верхняя часть) и внешнего вида (нижняя часть). Подготовка чертежей узлов и элементов паровой турбины. Выбор материалов основных элементов паровой турбины. | | | | | | + | |
| 6 | Подготовка пояснительной записки. | | | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 15 | 10 | 15 | 10 | 45 | 5 |