

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой энергетики  
\_\_\_\_\_ Ю.В. Мясоедов  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

## **ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальности

140101.65 – «Тепловые электрические станции»

Составитель: А.Н. Кудряшов, А.Н. Козлов

Благовещенск  
2012 г.

## Содержание

Аннотация	2
Рабочая программа	3
1. Краткий конспект лекций	16
2. Практические занятия	24
3. Лабораторные работы	25
4. Самостоятельная работа студентов	26
5. Материалы по контролю качества образования	28

## **АННОТАЦИЯ**

В рамках направления 650800 «Теплоэнергетика» на кафедре Энергетики реализуется подготовка дипломированного специалиста по специальности 140101.65 - «Тепловые электрические станции».

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель дисциплины - обеспечение знаний студентов в области теории теплового процесса, конструкции и эксплуатации паровых турбин, необходимые при изучении курсов «Тепловые и атомные электрические станции» и «Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС».

Основные задачи дисциплины – приобретение студентами знаний в области теории, расчета и конструирования паровых турбин; создание фундамента для усвоения профилирующих дисциплин специальности; развитие навыков и умения творческого использования знаний при решении конкретных задач в области теплоэнергетики.

Базовыми для данной дисциплины являются курсы «Математика», «Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен», «Теоретические основы теплотехники. Термодинамика».

### **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:**

Дисциплина «Турбины тепловых и атомных электростанций» является для специальности 140101.65 специальной дисциплиной и предусмотрена Государственным образовательным стандартом в разделе СД под шифром СД.Ф.2.

Изложение содержания дисциплины базируется на математической и

В свою очередь знания и умения, полученные в курсе, являются необходимыми для изучения специальных дисциплин «Тепловые и атомные электрические станции» и «Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС» и используются при выполнении расчетных и лабораторных работ по указанным дисциплинам, а также при выполнении дипломных проектов и работ.

#### **2.1 Содержание дисциплины СД.Ф. 2 «Турбины тепловых и атомных электрических станций»**

Принцип действия турбин; конструкция паровой и газовой турбин, компрессора; показатели экономичности турбоустановок; ступень турбины; преобразование энергии в ступени; характеристики турбинных решеток; определение размеров решеток в ступени; особенности ступеней влажного пара турбин атомных электрических станций; многоступенчатые турбины; тепловой расчет паровой турбины; особенности расчета газовых турбин; работа ступени и турбины при переменном режиме; турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии; расчет на прочность элементов конструкции турбин; вибрационная надежность работы турбины; регулирование турбин; схема масляного хозяйства турбины; конденсационные устройства паровых турбин и условия их эксплуатации в переменных режимах.

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате изучения дисциплины студенты должны **знать**:

- классификацию и принцип действия паровых турбин разных типов;
- характеристики и конструкции паровых турбин;
- основы теплового расчета агрегатов;
- конструкцию и принцип действия вспомогательного оборудования;
- основы эксплуатации паровых турбин ТЭС и АЭС.

**Уметь**:

- применять уравнения и справочную литературу для определения термодинамических свойств рабочего тела;
- рассчитывать величины, характеризующие преобразование энергии при работе паровых турбин;
- составлять тепловой и материальные балансы установок;
- анализировать влияние изменения характеристик термодинамических параметров рабочего тела на энергетическую эффективность турбинных установок.

**Владеть**:

- методиками испытаний;
- методикой расчета проточной части турбины;
- навыками дискуссии по профессиональной тематике;
- основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией;
- навыками применения полученной информации при проектировании проточной части турбины;
- терминологией в области турбиностроения;
- навыками поиска информации о конструкциях турбин и турбинных установок.

### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля
		Лекции	Практ (час.)	Лабор. ты (ча	СРС (	
<i>Семестр 6</i>						
1	<i>Раздел 1 «Паровые турбины. Общие вопросы»</i> 1.1 Турбины и турбинные установки ТЭС	14	4		4	Посещение лекций. Отчеты по выполненным практическим работ.

	1.2 Паротурбинная установка и ее экономичность 1.3 Основные конструктивные элементы паровых турбин					
<b>2</b>	<b>Раздел 2 «Преобразование энергии в паровой турбине»</b> 2.1 Турбинные решетки 2.2 Преобразование энергии в осевой турбинной ступени 2.3 Потери в ступени	<b>10</b>	<b>6</b>		<b>4</b>	<b>Посещение лекций. Отчеты по выполненным практическим работ.</b>
<b>3</b>	<b>Раздел 3 «Вспомогательное оборудование турбоагрегатов»</b> 3.1 Конденсационные устройства паровых турбин 3.2 Система смазки, регулирования и защиты турбоагрегата	<b>12</b>	<b>8</b>		<b>2</b>	<b>Посещение лекций. Отчеты по выполненным практическим работ.</b>
<b>Семестр 7</b>						
<b>4</b>	<b>Раздел 4 «Работа турбин в переменном режиме»</b> 4.1 Работа ступени и турбины при переменном режиме 4.2 Характер распределения давлений по сечению 4.3 Выбор типа парораспределения	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>Посещение лекций. Отчеты по выполненным практическим и лабораторным работ.</b>
<b>5</b>	<b>Раздел 5 «Колебания и вибрация»</b> 5.1 Теоретические основы колебаний 5.2 Вибрация обратной частоты 5.3 Низко- и высокочастотная вибрация	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>Посещение лекций. Отчеты по выполненным практическим и лабораторным работ.</b>
<b>6</b>	<b>Раздел 6 «Технологии пуска и останова паровых турбин»</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>Отчеты по выполненным практическим и лабораторным работ.</b>

<p><b>вых турбин»</b> 6.1 Технология пуска 6.2 Порядок операций пуска и останова</p>					<p><b>ных работ.</b></p>
--	--	--	--	--	--------------------------

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1 ЛЕКЦИИ

#### Семестр 6

##### *Раздел 1 «Паровые турбины. Общие вопросы»*

**Тема 1. Турбины и турбинные установки ТЭС.** Турбина как основной двигатель современной тепловой и атомной электрической станции. Принцип действия турбин. История развития паровых и газовых турбин. Конструкции типовых паровой и газовой турбин и компрессора.

**Тема 2. Паротурбинная установка и ее экономичность.** Показатели экономичности турбоустановок. Пути повышения КПД. Регенеративный подогрев питательной воды. Промежуточный перегрев. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Паротурбинные установки АЭС. Материалы, применяемые в паротурбостроении.

**Тема 3. Основные конструктивные элементы паровых турбин.** Фундамент, ротор, статор, обоймы, диафрагмы, уплотнения, муфты, подшипники. Ступень турбины. Типы, требования к изготовлению.

##### *Раздел 2 «Преобразование энергии в паровой турбине»*

**Тема 4. Турбинные решетки.** Определение размеров решеток в ступени. Турбинные решетки, их геометрические и аэродинамические характеристики. Влияние геометрических и режимных параметров на потери энергии. Определение основных размеров сопловых и рабочих решеток. Выбор профилей лопаток, угла их установки, шага и других параметров. Течение пара в турбинных решетках. Тепловой расчет паровой турбины. Основные уравнения движения сжимаемой жидкости. Особенности расчета газовых турбин.

**Тема 5. Преобразование энергии в осевой турбинной ступени.** Преобразование энергии в осевой турбинной ступени. Треугольники скоростей. Относительный лопаточный КПД ступени. Зависимость лопаточного КПД активной и реактивной ступени от отношения скоростей. Ступени скорости.

**Тема 6. Потери в ступени.** Относительный внутренний КПД. Дополнительные потери в ступени: дискового трения, парциального подвода от утечек, от влажности. Сепарация пара в ступени. Эрозия рабочих лопаток и других элементов проточной части. Особенности ступеней влажного пара турбин атомных электрических станций. Многоступенчатые турбины, их преимущества. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

##### *Раздел 3 «Вспомогательное оборудование турбоагрегатов»*

**Тема 7. Конденсационные устройства паровых турбин.** Конденсационные устройства паровых турбин. Схема конденсационной установки, конструкция конденсаторов. Тепловой процесс в конденсаторе. Паровое сопротивление конденсаторов, переохлаждение конденсата. Воздушная и водяная плотности конденсатора. Деаэрация в конденсаторе. Условия эксплуатации конденсаторов в переменных режимах.

**Тема 8. Система смазки, регулирования и защиты турбоагрегата.** Схема масляного хозяйства турбины. Маслоснабжение подшипников. Задачи регулирования турбины. Принципиальные схемы регулирования турбин различных типов, включая газовые. Статические характеристики регулирования. Механизм управления турбины. Параллельная работа турбоагрегатов в энергосистеме. Система защиты турбоагрегата.

### Семестр 7

#### *Раздел 4 «Работа турбин в переменном режиме»*

**Тема 9. Работа ступени и турбины при переменном режиме.** Зависимость между расходом пара и параметрами пара перед и за решеткой. Степень реактивности и КПД при изменении отношения скоростей ступени.

**Тема 10. Характер распределения давлений по сечению.** Переменный режим решеток с суживающимися и расширяющимися соплами. Сетка расходов суживающегося сопла. Характер распределения давлений по сечению. Формулы Флюгеля-Стодолы. Работа последней ступени в группе.

**Тема 11. Выбор типа парораспределения.** Способы изменения расхода свежего пара. Дроссельное, сопловое, обводное парораспределение. Изменение расхода пара через турбину методом скользящего давления. Выбор типа парораспределения.

#### *Раздел 5 «Колебания и вибрация»*

**Тема 12. Теоретические основы колебаний.** Собственная частота колебательной системы. Явление резонанса. Типы вибрации. Методы измерения и снижения уровня вибрации. Характер и последствия воздействия вибрации на турбину. Допустимые значения. Расчет на прочность элементов конструкции турбин.

**Тема 13. Вибрация оборотной частоты.** Причины возникновения. Методы устранения. Критические частоты валопровода. Понятие жесткого и гибкого ротора.

**Тема 14. Низко- и высокочастотная вибрация.** Низкочастотная масляная и паровая вибрация. Причины возникновения. Критерий нагруженности подшипника. Высокочастотная вибрация. Методы диагностирования и устранения. Вибрационная надежность работы турбины.

#### *Раздел 6 «Технологии пуска и останова паровых турбин»*

**Тема 15. Технология пуска.** Технология пуска паровых турбин. Процессы, протекающие в конструктивных материалах при нестационарном режиме.



**Тема 16. Порядок операций пуска и останова.** Порядок операций пуска и останова паровых турбин (конденсационных, противодавленческих, блочных и др.). Аварийный останов турбоагрегата.

### 5.2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

На практических занятиях решаются задачи по математическому моделированию процессов, происходящих в турбине, а также выполняются тепловые и прочностные расчеты элементов турбины. Должны быть рассмотрены:

1. Изучение конструкций паровых турбин, отдельных их узлов и деталей.
2. Приобретение навыков в построении процесса расширения пара в турбинах различных типов.
3. Тепловые расчеты проточной части турбинных ступеней и турбины в целом
4. Прочностные расчеты рабочих лопаток, расчеты критических скоростей роторов, собственных частот рабочих лопаток

### 5.3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

На лабораторных занятиях закрепляются теоретические знания студентов, полученные на лекциях.

В рамках часов отведенных эти занятия, могут быть выполнены лабораторные работы по следующим блокам вопросов:

1. Изучение основных элементов регенеративной схемы, конденсационной установки.
2. Изучение питательно-деаэрационной схемы поперечной ТЭС.
3. Знакомство с эксплуатацией турбинного оборудования и режимами его работы

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа предусматривает подготовку студентов к лекционным и лабораторным занятиям, а также выполнение курсовой работы и курсового проекта.

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 6</i>			
1	<i>Раздел 1 «Паровые турбины. Общие вопросы»</i>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	4
2	<i>Раздел 2 «Колебания и вибрация»</i>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	4
3	<i>Раздел 3 «Вспомогательное оборудование»</i>	Подготовка отчетов по выполнению практических работ.	2

	<i>ние турбоагрегатов»</i>		
<i>Семестр 7</i>			
1	<i>Раздел 4 «Работа турбин в переменном режиме»</i>	Подготовка отчетов по выпо. лабораторных и практических	4
2	<i>Раздел 5 «Конструкции и режимы парогенераторов»</i>	Подготовка отчетов по выпо. лабораторных и практических	4
3	<i>Раздел 6 «Технологии пуска и останова паровых турбин»</i>	Подготовка отчетов по выпо. лабораторных и практических	4

## **6.1. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ, КУРСОВАЯ РАБОТА**

### **6.1.1. Курсовая работа «Тепловой расчет паровой турбины»**

#### ***Шестой семестр***

Производится приближенный расчет принципиальной тепловой схемы паротурбинной установки для определения расхода пара на входе в турбину, в отборы системы регенерации и тепловых потребителей с построением процесса расширения пара в H-S-диаграмме. Определяются основные технико-экономические показатели ПТУ на номинальном режиме. Графическая часть представлена принципиальной тепловой схемой.

### **6.1.2. Курсовой проект «Расчет регенеративной схемы паротурбинных установок»**

#### ***Седьмой семестр***

Выполняется детальный расчет регулирующей ступени с определением основных геометрических характеристик. Расчет диаметров первой и последней ступеней. Определение числа ступеней и распределение теплоперепадов между ними. В графической части вычерчивается проточная часть турбины, треугольники скоростей, процесс расширения пара в регулирующей ступени в H-S-диаграмме, профили сопловых, направляющих и рабочих решеток.

## **7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Наилучшей гарантией глубокого и прочного усвоения дисциплины «Турбины тепловых и атомных электростанций» является заинтересованность студентов в приобретении знаний. Поэтому для поддержания интереса студентов к материалу дисциплины необходимо использовать различные образовательные технологии и задействовать все атрибуты процесса научного познания.

При преподавании дисциплины «Турбины тепловых и атомных электростанций» используется технология блочного обучения.

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением раздела обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал раздела.

При выполнении практических и лабораторных работ используется прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирует реальное событие; с преподавателем обсуждаются цели работы и ход ее выполнения; при защите работы - обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

В процессе изучения дисциплины «Турбины тепловых и атомных электростанций» предусмотрены следующие виды промежуточного контроля знаний студентов:

Входной контроль по дисциплине – тестирование.

К промежуточным формам контроля знаний относятся блиц-опрос на лекциях, тестирование и проверочные работы, защита лабораторных и практических работ.

### **8.1. Вопросы к экзамену.**

#### ***Шестой семестр***

1. Принцип действия турбины. Конструкция паровой и газовой турбин, компрессора. Классификация паровых турбин.
2. Преимущества турбин. Применение турбин в энергетике и других отраслях промышленности. Принципиальные схемы ПТУ ТЭС.
3. Термодинамический процесс работы ПТУ. Определения КПД ПТУ.
4. Основные параметры состояния. Их влияние на экономичность цикла Ренкина.
5. Показатели экономичности турбоустановок. Технологические пути повышения экономичности ПТУ. Использование промежуточного перегрева.
6. Применение регенеративного подогрева и теплофикации.
7. Особенности ступеней влажного пара турбин атомных электрических станций.
8. Требования, предъявляемые к ПТУ. Материалы, применяемые в турбостроении.
9. Фундаменты паровых турбин. Статор, ротор. Конструктивные особенности. Ступень турбины. Применяемые материалы.

10. Рабочие лопатки. Обоймы. Диафрагмы. Конструктивные особенности. Применяемые материалы.
11. Уплотнения. Муфты. Валоповоротное устройство.
12. Подшипники паровых турбин. Опорный подшипник, конструкция, типы.
13. Подшипники паровых турбин. Упорный подшипник, конструкция, типы.
14. Течение пара в турбинных решетках. Уравнения движения сжимаемой жидкости. Характеристика относительных расходов.
15. Турбинные решетки, их геометрические и аэродинамические характеристики. Определение размеров решеток в ступени.
16. Реальное течение пара в турбинной ступени. Потери энергии.
17. Преобразование энергии в осевой турбинной ступени. Степень реактивности. Треугольники скоростей.
18. Относительный лопаточный КПД.
19. Относительный внутренний КПД. Степень парциальности.
20. Ступени скорости, их преимущества. Тепловой расчет паровой турбины.
21. Многоступенчатая конструкция паровой турбины. Преимущества и недостатки.
22. Турбины для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.
23. Особенности расчета газовых турбин.
24. Конденсационные устройства паровых турбин. Назначение, принцип работы. Конструктивное исполнение. Тепловой баланс.
25. Система смазки. Назначение, требования, типы.
26. Схема масляного хозяйства турбины. Масляный бак. Масляные насосы. Маслоохладители.
27. Система регулирования и управления. Предъявляемые требования. Простейшая система регулирования.
28. Статическая характеристика. Степень неравномерности. Степень нечувствительности.
29. Параллельная работа турбоагрегатов. Механизм управления турбиной.
30. Схема регулирования с гидравлическими связями и быстроходным регулятором скорости.
31. Регулирующие клапаны и их привод.
32. Система защиты турбоагрегата. Необходимость применения. Исполнительные органы.

### ***Седьмой семестр***

33. Классификация режимов. Понятие расчетного режима. Его характеристика. Нерасчетные режимы. Примеры фактической работы турбоагрегатов на ТЭС и АЭС.
34. Понятие номинальной и максимальной мощности. Коэффициент готовности. Влияние нерасчетных режимов на надежность и экономичность.

35. Работа ступени и турбины в переменном режиме. Треугольники скоростей при расчетных и нерасчетных режимах стационарных паровых турбин.
36. Влияние теплоперепада ступени, числа  $Re$ , отношения скоростей  $U/C_\phi$  на экономичность ступени. Работа группы ступеней при переменном режиме.
37. Переменный режим решеток с суживающимися соплами. Сетка расходов суживающегося сопла.
38. Переменный режим решеток с расширяющимися соплами. Характер распределения давлений по сечению.
39. Распределение давлений, теплоперепадов и других параметров по ступеням турбины при переменном пропуске рабочего тела. Формула Флюгеля-Стодолы. Работа последней ступени в группе.
40. Способы изменения расхода свежего пара. Дроссельное парораспределение.
41. Способы изменения расхода свежего пара. Дроссельное парораспределение.
42. Сопловое парораспределение.
43. Обводное парораспределение. Выбор системы парораспределения.
44. Регулирование турбин. Регулирование способом скользящего давления.
45. Условия эксплуатации конденсационных устройств паровых турбин в переменных режимах.
46. Теоретические основы колебаний. Понятие о собственной частоте колебаний. Явление резонанса. Расчет на прочность элементов конструкции турбин.
47. Типы вибрации. Характер и последствия воздействия вибрации на турбину. Методы измерения и снижения уровня вибрации. Допустимые значения.
48. Вибрация оборотной частоты. Причины возникновения. Методы устранения.
49. Критические частоты валопровода. Понятие жесткого и гибкого ротора.
50. Низкочастотная масляная вибрация. Причины возникновения. Критерий нагруженности подшипника. Вибрационная надежность работы турбины.
51. Низкочастотная паровая вибрация. Причины возникновения.
52. Классификация пусков. Дефекты, препятствующие пуску.
53. Пуск неблочной ПТУ из холодного состояния.
54. Особенности пуска противодавленческой турбины.
55. Особенности пусков блоков. Пусковые схемы блоков.
56. Пуск блока с барабанным котлом.
57. Особенности пуска блока с прямоточным котлом.
58. Останов турбины. Применяемые способы. Выбег ротора.
59. Останов турбины с расхолаживанием.
60. Аварийный останов турбины.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»

### а) основная литература:

1. Стерман, Л. С. Тепловые и атомные электрические станции [Текст] : учеб. / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. - 5-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2010. - 464 с.
2. Теплотехника [Текст] : учеб. / под ред. А. П. Баскакова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : БАСТЕТ, 2010. - 326 с.
3. Водно-химические режимы ТЭС и АЭС [Текст] : учеб. пособие : доп. УМО / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2009. - 240 с.

### б) дополнительная литература:

1. Турбины тепловых и атомных электрических станций [Текст] : учеб.: Рек. Мин. обр. РФ / Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2001. - 488 с.
2. Филиппова, Тамара Арсентьевна. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Текст] : учеб. / Т.А. Филиппова. - Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2005. - 298 с.
3. Тепловые и атомные электростанции [Текст] : справ. / под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2003. - 648 с.
4. Трухний, Алексей Данилович. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки [Текст] : учеб. пособие: доп. Мин. обр. РФ / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2002. - 540 с.
5. Турбины паровых и атомных электростанций [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140101 - Тепловые электрические станции / АмГУ, Эн.ф. ; сост. А. И. Яшин. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 24 с.
6. Сборник распорядительных документов по технике безопасности при обслуживании тепломеханического оборудования электростанций, тепловых сетей и объектов, подконтрольных Госгортехнадзору России [Текст]. - М. : НЦ ЭНАС, 1999. - 261с.
7. Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электрических станций [Текст] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140101 - Тепловые электрические станции / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. Н. Храмцова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 26 с.
8. Парогазовые и газотурбинные установки тепловых электрических станций [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс для спец. 140101 "Тепловые электрические станции" / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Н. Н. Храмцова. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

### в) периодические издания:

1. «Электричество».

2. «Электрические станции».
3. «Энергетик».
4. «Промышленная энергетика».
5. «Электротехника».
6. «Электрика».
7. «Энергохозяйство за рубежом».
8. «Electrical Power and Energy Systems».
9. «IEEE Transactions. Power systems».
10. «Energy Policy».
11. «Вестник ИГЭУ».
12. «Вестник Московского энергетического института».
13. «Известия вузов. Электромеханика».
14. «Известия РАН. Энергетика».
15. «Новости электротехники»
16. «Амурский дилижанс».
17. «Вестник Амурского государственного университета».
18. «Энергетика. Сводный том».
19. «Электротехника. Сводный том»
20. «Теплоэнергетика»
21. «Энергосбережение»

**г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<b>№</b>	<b>Наименование ресурса</b>	<b>Краткая характеристика</b>
1	<a href="http://www.iqlib.ru/">http://www.iqlib.ru/</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.

**10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДИСЦИПЛИНЫ «ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ  
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование лабораторий, ауд.</b>	<b>Основное оборудование</b>
1	2	3
1	105 (6) Лаборатория Гидрогазодинамики	Лабораторный комплекс для изучения тепловых процессов и процессов в газах

2	205(6) Лаборатория теплотехники	Лабораторный комплекс для изучения теплотехнического оборудования
3	107а (6) Пристройка к высоковольтной лаборатории	Учебная установка – паровая турбина и вспомогательное оборудование



# 1. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## Основные понятия и исходные положения курса «Паровые турбины ТЭС и АЭС».

1. Турбины и турбинные установки ТЭС.
2. Турбина как основной двигатель современной тепловой и атомной электрической станции.
3. Принцип работы турбины.
4. Конструкции типовых паровой и газовой турбин.

*Для самостоятельного изучения.*

Краткий исторический обзор развития паровых турбин

*Контрольные вопросы.*

1. В каких областях техники используются паровые турбины?
2. Преимущества паровых турбин по сравнению с другими двигателями?
3. Из каких основных элементов состоит типичная энергетическая паровая турбина?

## Экономичность ПТУ.

1. Паротурбинная установка и её экономичность.
2. Пути повышения КПД.
3. Промежуточный перегрев пара.
4. Регенеративный подогрев питательной воды.

*Для самостоятельного изучения.*

Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии

*Контрольные вопросы.*

1. В чем принципиальная разница абсолютных и относительных КПД?
2. Чем отличается эффективная мощность турбоагрегата от электрической?
3. Что такое эквивалентная температура подвода теплоты?
4. Как влияет промежуточный перегрев пара, осуществляемый в котельной установке, на термический КПД цикла и на относительный КПД турбины?
5. От чего зависит давление в конденсаторе?
6. Как влияет давление свежего пара на термический и абсолютный внутренний КПД ПТУ без промежуточного перегрева при  $t_0 = \text{const}$ ?
7. Чем объясняется выигрыш в экономичности при регенеративном подогреве питательной воды?
8. Почему экономически целесообразны ТЭЦ с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии?

## Паротурбинные установки АЭС.

1. Типы применяемых ядерных реакторов.
2. Выбор начального давления.
3. Внешняя сепарация влаги и промежуточный перегрев.

*Для самостоятельного изучения.*

## Регенеративный подогрев питательной воды

### *Контрольные вопросы.*

1. Почему АЭС с реактором БНР и теплоносителем жидкометаллическим натрием имеет трехконтурную схему?
2. Какие параметры свежего пара перед турбиной характерны для АЭС с водоохлаждаемыми реакторами?
3. Для чего в ПТУ АЭС применяется внешняя сепарация и промперегрев?
4. Как влияет паропаровой промежуточный перегрев на термический КПД турбоустановок насыщенного пара?

## **Материалы, применяемые в паротурбостроении.**

1. Основные свойства металлов.
2. Материалы, применяемые для деталей турбин.

### *Для самостоятельного изучения.*

Диаграмма Fe-C. Свойства сплавов и растворов.

### *Контрольные вопросы.*

1. В чем заключаются явления усталости и ползучести металлов?
2. Какое разрушение материалов более опасно – хрупкое или вязкое?
3. В чем состоит явление роста чугуна?
4. Какие основные химические элементы являются легирующими компонентами сталей?

## **Основные конструктивные элементы паровых турбин.**

1. Фундамент турбоагрегата.
2. Рабочие лопатки, типы, конструкции, условия работы.
3. Конструкции роторов турбин, условия работы.
4. Конструкции статоров турбин, типы, условия работы.
5. Обоймы, диафрагмы: назначение, способы изготовления и установки.
6. Уплотнения, соединительные муфты.
7. Валоповоротное устройство.

### *Для самостоятельного изучения.*

Подшипники турбоагрегатов: типы, требования, конструктивные особенности, способы установки.

### *Контрольные вопросы.*

1. Почему фикс-пункт К-турбины выполняют всегда в области конденсатора?
2. В чем разница условий работы лопаток первых и последних ступеней К-турбины?
3. Какие факторы определяют конструкцию хвостового соединения рабочих лопаток?
4. Каковы принципы изготовления роторов ВД, СД, НД?
5. Каковы преимущества двухстенной конструкции корпуса ЦВД?
6. Почему корпуса ЦНД мощных паровых турбин выполняют сварными?

7. Каково назначение обойм и как они устанавливаются в корпусе турбины?
8. Почему в ЦВД применяют сварные диафрагмы, а в ЦНД – литые?
9. Сформулируйте наиболее важные требования к уплотнениям турбины.
10. Для каких целей служит валоповоротное устройство и когда оно включается и выключается?

### **Турбинные решетки.**

1. Определение размеров решеток в ступени.
2. Турбинные решетки, их геометрические и аэродинамические характеристики.
3. Влияние геометрических и режимных параметров на потери энергии.
4. Определение основных размеров сопловых и рабочих решеток.
5. Выбор профилей лопаток, угла их установки, шага и других параметров.

*Для самостоятельного изучения.*

Выбор профилей лопаток, угла их установки, шага и других параметров.

*Контрольные вопросы.*

1. Что такое пограничный слой?
2. Каковы основные геометрические и режимные параметры турбинных решеток?
3. По какому размеру решетки принято определять число Re?
4. По каким параметрам подбирается типоразмер решетки?

### **Течение пара в турбинных решетках.**

1. Основные уравнения движения сжимаемой жидкости.
2. Реальное течение пара в каналах.
3. Потери энергии при обтекании турбинных решеток.
4. Коэффициенты расхода и углы выхода потока из турбинных решеток.

*Для самостоятельного изучения.*

Течение влажного пара в турбинных решетках

*Контрольные вопросы.*

1. Какие основные, фундаментальные уравнения используются для газодинамического расчета элементов турбин?
2. Что такое параметры торможения и как они определяются?
3. Каковы преимущества и недостатки турбинных решеток с расширяющимися каналами?
4. Что такое коэффициенты потерь энергии, скорости и расхода, от каких параметров они зависят?
5. Что такое расширение пара в косом срезе решетки?
6. Каковы виды состояния двухфазной среды?
7. Что такое переохлаждение влажного пара?

### **Турбинная ступень.**

1. Преобразование энергии в осевой турбинной ступени.
2. Треугольники скоростей.
3. Относительный лопаточный КПД ступени.
4. Ступени скорости.

*Для самостоятельного изучения.*

Зависимость лопаточного КПД активной и реактивной ступени от отношения скоростей.

*Контрольные вопросы.*

1. Как определяются располагаемые теплоперепады ступени и ее решеток?
2. Что такое степень реактивности турбинной ступени и каков ее физический смысл?
3. Что такое относительный лопаточный КПД ступени и какие потери энергии он учитывает?
4. От каких главных параметров ступени зависит оптимальное отношение скоростей  $U/C_\phi$ ?
5. Для чего и в каких случаях применяются ступени скорости?
6. Почему в двухвенечной ступени на выходе из сопловой решетки скорости потока сверхзвуковые?

### **Определение экономичности турбинных ступеней, их оптимизации.**

1. Относительный внутренний КПД.
2. Парциальный подвод пара.
3. Потери от утечек в ступени.
4. Оптимизация турбинных ступеней.

*Для самостоятельного изучения.*

Влияние влажности пара на КПД ступени (стр. 281-290 [1]).

*Контрольные вопросы.*

1. Какие потери в турбинной ступени учитываются относительным внутренним КПД?
2. Что такое степень парциальности турбинной ступени и каков ее физический смысл?
3. Каковы пути повышения относительного внутреннего КПД ступени при парциальном подводе пара?
4. Каковы причины снижения КПД ступени при работе ее влажным паром?
5. Как дополнительные потери влияют на оптимальное отношение скоростей?
6. По каким параметрам ступени проводится ее оптимизация, обеспечивающая наивысший КПД?

### **Многоступенчатые паровые турбины.**

1. Рабочий процесс многоступенчатой паровой турбины.
2. Преимущества использования многоступенчатых турбин.

*Контрольные вопросы.*

1. Какие достоинства и недостатки имеют многоступенчатые паровые турбины активного и реактивного типов?
2. Почему регулирующие ступени всегда выполняются активного типа?
3. В какой группе ступеней многоступенчатой турбины обычно достигается наивысший КПД?

**Конденсационные устройства паровых турбин.**

1. Назначение и принцип действия конденсатора и конденсационной установки.
2. Устройство конденсатора.
3. Тепловой процесс в конденсаторе.
4. Паровое сопротивление, явление переохлаждения конденсата.
5. Элементы конденсационной установки.

*Для самостоятельного изучения.*

Конструкции поверхностных конденсаторов

*Контрольные вопросы.*

1. Каковы основные функции конденсатора?
2. Почему в конденсаторе образуется глубокий вакуум?
3. Чем вредны присосы воздуха в конденсатор?
4. Почему конденсатор не крепят к фундаменту жестко, а устанавливают на пружинах?
5. Что такое кратность охлаждения?
6. Какие конструктивные решения обеспечивают плотное соединение трубок и трубной доски конденсатора?

**Системы смазки, регулирования и защиты паровой турбины.**

1. Назначение и принцип действия системы смазки, элементы системы.
2. Необходимость системы регулирования и управления.
3. Принципиальные схемы регулирования турбин различных типов.
4. Статические характеристики регулирования.
5. Параллельная работа турбоагрегатов в энергосистеме.
6. Система защиты турбоагрегата и ее исполнительные органы.

*Для самостоятельного изучения.*

Элементы гидравлических систем регулирования

*Контрольные вопросы.*

1. Каковы основные требования к системе смазки паровых турбин?
2. Чем определяются размеры масляного бака?
3. Для чего турбина снабжается системой автоматического регулирования?
4. Может ли статическая характеристика иметь горизонтальные участки?
5. В чем преимущества гидравлических связей перед рычажными?
6. Зачем в турбинах предусматривается автоматическая система защиты?

### **Работа турбины при переменном режиме.**

1. Расход пара через суживающиеся решетки.
2. Расход пара через расширяющиеся решетки.
3. Изменение параметров (степень реактивности, теплоперепад, расход) при переменном режиме ступени.
4. Характер распределения давления по сечению.
5. Формулы Флюгеля-Стодолы.

*Для самостоятельного изучения.*

Изменение КПД ступени при переменном режиме  
Работа последней ступени в группе

*Контрольные вопросы.*

1. Чем различаются расчетный, переменный и переходный режимы?
2. Почему принципиально различаются расходные характеристики решеток с суживающимися и расширяющимися каналами?
3. Какие основные критерии используются для анализа переменного режима ступени?
4. Как меняется степень реактивности ступени при изменении отношения скоростей?
5. Каковы основные принципы оптимизации ступени для работы в заданном диапазоне режима ее работы?
6. В чем особенность переменного режима работы последней ступени конденсационной турбины?
7. Как меняются теплоперепады нерегулируемых ступеней конденсационной турбины при изменении расхода пара?

### **Способы изменения расхода свежего пара.**

1. Дроссельное, сопловое и обводное парораспределение.
2. Выбор системы парораспределения.
3. Изменение расхода пара через турбину методом скользящего давления.

*Для самостоятельного изучения.*

Холостой ход турбоагрегата

*Контрольные вопросы.*

1. Что такое система парораспределения, какие виды систем существуют?
2. Каковы конструктивные особенности турбин с сопловым парораспределением?
3. В каких случаях целесообразно использовать обводное парораспределение?
4. Почему в турбине К-1200-23,5 применено дроссельное парораспределение?
5. Что называется режимом холостого хода турбоагрегата?
6. Каковы преимущества способа регулирования нагрузки скользящим давлением?
7. Каковы особенности работы турбин АЭС при регулировании мощности скользящим давлением?

### **Вибрационная надежность турбоагрегата.**

1. Теоретические основы колебаний.
2. Типы вибрации, методы измерения и снижения уровня вибрации.
3. Характер и последствия воздействия вибрации на турбину.
4. Вибрация оборотной частоты, причины возникновения, методы устранения.
5. Низкочастотная масляная и паровая вибрация, причины возникновения.
6. Высокочастотная вибрация.

*Для самостоятельного изучения.*

Собственная частота колебательной системы, явление резонанса  
Критерий нагруженности подшипника

*Контрольные вопросы.*

1. Каковы основные параметры колебательных процессов?
2. Каковы отрицательные последствия повышенной вибрации?
3. Почему при работе турбины на критической частоте вращения возникает интенсивная вибрация даже при небольшой неуравновешенности?
4. Каковы признаки вибрации, вызванной плохой балансировкой?
5. В чем состоит принципиальное отличие автоколебаний от вынужденных колебаний?
6. Почему при использовании сегментных подшипников не может возникнуть низкочастотная вибрация?
7. Каков механизм возникновения вибрации двойной оборотной частоты?

### **Технология пуска и останова паровых турбин.**

1. Классификация пусков, дефекты, препятствующие пуску.
2. Пуск неблочных/блочных ПТУ из холодного состояния.
3. Останов турбины и ее пуск из неостывшего состояния.
4. Аварийный останов турбины.

*Для самостоятельного изучения.*

Особенности пуска блочных ПТУ АЭС

*Контрольные вопросы.*

1. Какие дефекты турбоустановки препятствуют пуску?
2. В чем состоит главная особенность пуска турбин неблочного типа?
3. Почему в конденсационных турбинах перед толчком ротора создают вакуум?
4. Почему рациональнее производить пуск при полностью открытых регулирующих клапанах?
5. В чем состоит главная особенность пуска турбин блочного типа?
6. Почему стремятся ограничить время работы турбины на холостом ходу?
7. Почему при останове турбины происходит относительное сокращение ротора?
8. Когда турбину останавливают с расхолаживанием?
9. Когда следует использовать аварийный останов со срывом вакуума, а когда без срыва?

## 2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Методические рекомендации по проведению практических занятий

Практические занятия предусматривают изучение конструкций паровых турбин, отдельных узлов, деталей, практическую значимость применяемых способов решения технических проблем и задач. В данный объем входит решение задач по рассматриваемым разделам курса.

В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

Выдается домашнее расчетное задание (если оно предусмотрено по данной теме), анализируется выполнение предыдущего домашнего задания, разбираются типовые ошибки.

### Перечень тем практических занятий.

1. Изучение конструкций паровых турбин, отдельных их узлов и деталей.
2. Приобретение навыков в построении процесса расширения пара в турбинах различных типов.
3. Тепловые расчеты проточной части турбинных ступеней и турбины в целом.
4. Прочностные расчеты рабочих лопаток, расчеты критических скоростей роторов, собственных частот рабочих лопаток.

### План проведения практического занятия

Тема занятия: Приобретение навыков в построении процесса расширения пара в турбинах различных типов.

Цель: научить студентов выполнять построение процесса расширения пара в проточной части турбины, используя исходные данные принципиальных тепловых схем.

### Контрольные вопросы:

1. Какой тепловой цикл реализуется в реальных процессах преобразования энергии на ТЭС и АЭС?
2. Какие характерные термодинамические процессы протекают в паровой турбине?
3. В чем принципиальные отличия процессов расширения пара конденсационных и теплофикационных турбин?
4. Каково влияние элементов системы регенерации (регулируемых отборов) на процесс расширения пара?
5. Чем определяется конечное состояние пара в турбине?



## Решение задач

### Указания.

Записать краткое условие задачи, перевести исходные данные в систему СИ.

### Задача № 1

Определить параметры пара в камере регулирующей ступени турбины К-300-240 –  $T$ ,  $v$ ,  $h$ ,  $S$ .

$P_0=240 \text{ кгс/см}^2$ ;  $T_0=540 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\Delta P_{\text{РК}}=0,05$ ;  $P_1=190 \text{ кгс/см}^2$ ;  $\eta_{\text{Р.СТ.}}=0,8$

Решение.

1. т. 0. – из  $h$ - $S$ -диаграммы.

т.0'. – из  $h$ - $S$ -диаграммы (процесс дросселирования в регулирующих клапанах).

т.1'. – из  $h$ - $S$ -диаграммы (процесс изоэнтропийного расширения пара в регулирующей ступени).

т.1. – из  $h$ - $S$ -диаграммы (процесс реального расширения пара в регулирующей ступени).

	$P, \text{ кгс/см}^2$	$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$v, \text{ м}^3/\text{кг}$	$h, \text{ кДж/кг}$	$S, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$
0	240	540	0,01338	3324	6,1868
0'	228	535,5	0,01408	3324	6,2067
1'	190	502,3	0,01622	3268	6,2067
1	190	505,9	0,01635	3279	6,2209

### Задача № 2

Определить расход пара на турбину ПТ-60-130/13, если  $N_{\text{э}}=50 \text{ МВт}$ ;  $D_{\text{п}}=120 \text{ т/ч}$ ;  $D_{\text{т}}=80 \text{ т/ч}$ ; давления в П- и Т-отборах и конденсаторе номинальные.

### Задача № 3

Оценить срок снижения службы детали при повышении её температуры на  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , если при  $t_0=540 \text{ }^\circ\text{C}$  расчетный срок службы составляет  $\tau_{p0}=450000 \text{ ч}$ .

## **3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ**

### **Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий**

Лабораторные занятия предусматривают экскурсии студентов в турбинный цех «Благовещенской ТЭЦ» и практическое закрепление полученных теоретических знаний по конструкции элементов ПТУ, регенеративным схемам и эксплуатацией паровых турбин.

На каждом занятии руководитель проводит инструктаж по технике безопасности, делается соответствующая запись в журнале по ТБ СОТиН филиала.

ла «Амурская генерация». Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к прохождению экскурсий не допускаются.

Для защиты результатов лабораторной работы следует представить преподавателю отчет и ответить (письменно или устно) на контрольные вопросы.

Темы лабораторных занятий приведены в рабочей программе дисциплины и настоящем учебно-методическом комплексе.

### **Перечень тем лабораторных занятий**

1. Изучение основных элементов регенеративной схемы, конденсационной установки.
2. Изучение питательно-деаэрационной схемы поперечной ТЭС.
3. Знакомство с эксплуатацией турбинного оборудования и режимами его работы.

## **4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ**

### **Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы**

Самостоятельная работа предусматривает:

- подготовку студентов к аудиторным лекционным, практическим и лабораторным занятиям;
- выполнение курсовой работы;
- выполнение курсового проекта.

Темы аудиторных лекционных, практических и лабораторных занятий; темы и задания для курсовой работы и курсового проекта; рекомендуемая литература приведены в рабочей программе дисциплины и настоящем учебно-методическом комплексе.

### **Методические указания по выполнению курсовой работы**

Выполнение и защита курсовой работы является важной составляющей самостоятельной работы студентов. При выполнении курсовой работы производится расчет принципиальной тепловой схемы ПТУ и определяются основные технико-экономические показатели ТЭС. Знание методов чтения и анализа тепловых схем и умение применять эти методы для практических расчетов является обязательным условием изучения дисциплины «Паровые турбины ТЭС и АЭС». Необходимый теоретический материал, порядок и пример расчета, исходные данные для выполнения расчета приведены в [5].

Курсовая работа выполняется на листах формата А4 в объеме 25-30 страниц и графической части (1 лист) выполняемой в виде приложения формата А1.

Задание на курсовую работу выдается преподавателем индивидуально на отдельном листе, который включается в курсовую работу. В задании указывается: тема курсовой работы, исходные данные, содержание курсовой работы, дата выдачи задания и срок сдачи выполненной курсовой работы.

#### График выполнения курсовой работы

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	Построение процесса расширения пара в проточной части турбины в h-s-диаграмма.	4	Проверка полученных данных	1
2	Определение параметров пара и воды в регенеративных отборах и подогревателях	2	Проверка расчета	2
3	Расчет теплового баланса подогревателей принципиальной тепловой схемы	8	Проверка расчета	3
4	Определение основных ТЭП ПТУ	3	Проверка расчета	3
5	Оформление графической части курсовой работы	7	Нормоконтроль	4
6	Оформление текстовой части курсовой работы	6	Нормоконтроль	4

Выполненная курсовая работа сдается преподавателю для проверки (два-три дня), защита курсовой работы производится в соответствии с графиком, по итогам защиты выставляется оценка. Студенты, не выполнившие или не защитившие курсовую работу, к экзаменационной сессии не допускаются.

#### Методические указания по выполнению курсового проекта.

Выполнение и защита курсового проекта является заключительной стадией изучения дисциплины, в которой реализуется практическое применение полученных знаний при расчете проточной части турбоагрегата. При выполнении курсового проекта производится расчет регулирующей ступени на максимальный относительный внутренний КПД, определяются геометрические и аэродинамические характеристики профилей решеток, определяется количество нерегулируемых ступеней ЧВД, распределение теплоперепада между ними. Необходимый теоретический материал, порядок и пример расчета, исходные данные для выполнения расчета приведены в [5].

Курсовой проект выполняется на листах формата А4 в объеме 30-40 страниц и графической части (1 лист) выполняемой в виде приложения формата А1 и приложений формата А4 (3 листа).

Задание на курсовой проект выдается преподавателем индивидуально на отдельном листе, который включается в курсовой проект. В задании указывается: тема курсовой работы, исходные данные, содержание курсовой работы, дата выдачи задания и срок сдачи выполненной курсовой работы.

#### График выполнения курсового проекта

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля	Сроки (недели)
1	2	3	4	5
1	Расчет оптимального отношения скоростей и определение максимального относительного КПД ступени.	5	Проверка полученных данных	1
2	Детальный расчет регулирующей ступени на оптимальное отношение.	8	Проверка расчета	2
3	Выбор профиля проточной части ЧВД, количества и размеров нерегулируемых ступеней, теплоперепада между ними.	7	Проверка расчета	3
4	Оформление графической части курсового проекта	12	Нормоконтроль	4
5	Оформление текстовой части курсового проекта	8	Нормоконтроль	4

Выполненный курсовой проект сдается преподавателю для проверки (два-три дня), защита курсового проекта производится в соответствии с графиком, по итогам защиты выставляется оценка. Студенты, не выполнившие или не защитившие курсовой проект, к экзаменационной сессии не допускаются.

## 5.МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

### Методические указания по организации контроля знаний студентов

Важнейшей составляющей изучения дисциплины является контроль знаний студентов, в том числе тестовый контроль качества освоения профессиональной образовательной программы (проверка остаточных знаний). Предусмотрены следующие виды контроля знаний студентов:

#### *Входной контроль*

Входной контроль по дисциплине представляет собой тестовые задания, позволяющие оценить знание понятий, определений и закономерностей, используемых в данной дисциплине и изучаемых ранее в других курсах (техническая термодинамика, тепломассообмен, гидрогазодинамика), т.е. подготовленность студентов для освоения дисциплины.

### *Межсессионный контроль*

Межсессионный контроль включает теоретические задания по изучаемым темам, выполнение проверочных работ. По результатам текущего контроля проводится промежуточная аттестация (контрольные точки), экзаменационная оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов межсессионного контроля.

### *Экзаменационный контроль*

Итоговой формой контроля знаний студентов является экзамен. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе. Опрос студентов осуществляется в письменно-устной форме. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задачу (каждый вопрос и задача – по разным темам дисциплины). Для подготовки ответа на вопросы и решения задачи дается 50 мин.

### *Контроль остаточных знаний*

Проверка качества освоения профессиональной образовательной программы осуществляется после изучения дисциплины в виде тестирования.

## **Критерии оценки знаний студентов**

*Входной контроль, межсессионный (теоретические задания) контроль и контроль остаточных знаний*

Знания оцениваются по четырехбалльной шкале.

*Отлично* – не менее 85% правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 75% правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50% правильно выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50% правильно выполненных заданий.

### *Межсессионный контроль (проверочные работы)*

Каждая проверочная работа включает две задачи. Практические умения решения задач оцениваются по четырехбалльной шкале.

*Отлично* – правильно решены обе задачи. *Хорошо* – одна задача решена правильно, при решении второй задачи допущены ошибки (задача не решена до конца, неправильно найдены некоторые величины) или решение обеих задач содержит ошибки не принципиального характера. *Удовлетворительно* – правильно решена одна задача или решение обеих задач содержит принципиальные ошибки. *Неудовлетворительно* – обе задачи решены неверно.

### *Экзаменационный контроль*

Итоговой формой контроля знаний студентов по данной дисциплине является экзамен. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задача. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе. При этом учитываются: глубина и полнота знаний, владение необходимыми (в объеме программы) уме-

ниями, осознанность и самостоятельность применения знаний, логичность изложенного материала.

Оценка **«отлично»** ставится:

- в случае правильных и полных ответов на теоретические и практические вопросы билета.

Оценка **«хорошо»** ставится:

- в случае правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, которые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя и правильного ответа на практический вопрос;
- в случае правильных и полных ответов на теоретические вопросы и ошибочного ответа принципиального характера на практический вопрос.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится:

- в случае ответа, содержащего ошибки принципиального характера (или отсутствие ответа) на один из теоретических вопросов билета (при условии правильного и полного ответа на второй теоретический и практический вопросы).

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится:

- в случае неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета (несмотря на правильность выполнения практического вопроса).

### *Экзаменационный контроль*

#### Вопросы к экзамену

1. Принцип действия турбины. Краткая история развития турбостроения. Классификация паровых турбин.
2. Преимущества турбин. Применение турбин в энергетике и других отраслях промышленности. Принципиальные схемы ПТУ ТЭС.
3. Термодинамический процесс работы ПТУ. Определения КПД ПТУ.
4. Основные параметры состояния. Их влияние на экономичность цикла Ренкина.
5. Технологические пути повышения экономичности ПТУ. Использование промежуточного перегрева.
6. Применение регенеративного подогрева и теплофикации.
7. ПТУ АЭС. Принципиальные схемы, их экономичность.
8. Требования, предъявляемые к ПТУ. Материалы, применяемые в турбостроении.
9. Фундаменты паровых турбин. Статор, ротор. Конструктивные особенности. Применяемые материалы.

10. Рабочие лопатки. Обоймы. Диафрагмы. Конструктивные особенности. Применяемые материалы.
11. Уплотнения. Муфты. Валоповоротное устройство.
12. Подшипники паровых турбин. Опорный подшипник, конструкция, типы.
13. Подшипники паровых турбин. Упорный подшипник, конструкция, типы.
14. Течение пара в турбинных решетках. Уравнения движения сжимаемой жидкости. Характеристика относительных расходов.
15. Турбинные решетки, их геометрические и аэродинамические характеристики.
16. Реальное течение пара в турбинной ступени. Потери энергии.
17. Преобразование энергии в осевой турбинной ступени. Степень реактивности. Треугольники скоростей.
18. Относительный лопаточный КПД.
19. Относительный внутренний КПД. Степень парциальности.
20. Ступени скорости, их преимущества.
21. Многоступенчатая конструкция паровой турбины. Преимущества и недостатки.
22. Конденсационные установки. Назначение, принцип работы. Конструктивное исполнение. Тепловой баланс.
23. Система смазки. Назначение, требования, типы.
24. Масляный бак. Масляные насосы. Маслоохладители.
25. Система регулирования и управления. Предъявляемые требования. Простейшая система регулирования.
26. Статическая характеристика. Степень неравномерности. Степень нечувствительности.
27. Параллельная работа турбоагрегатов. Механизм управления турбиной.
28. Схема регулирования с гидравлическими связями и быстроходным регулятором скорости.
29. Регулирующие клапаны и их привод.
30. Система защиты турбоагрегата. Необходимость применения. Исполнительные органы.
31. Классификация режимов. Понятие расчетного режима. Его характеристика. Нерасчетные режимы. Примеры фактической работы турбоагрегатов на ТЭС и АЭС.
32. Понятие номинальной и максимальной мощности. Коэффициент готовности. Влияние нерасчетных режимов на надежность и экономичность.
33. Влияние расхода пара на режим работы турбины. Треугольники скоростей при расчетных и нерасчетных режимах стационарных паровых турбин.
34. Влияние теплоперепада ступени, числа  $Re$ , отношения скоростей  $U/C_\phi$  на экономичность ступени. Работа группы ступеней при переменном режиме.

35. Переменный режим решеток с суживающимися соплами. Сетка расходов суживающегося сопла.
36. Переменный режим решеток с расширяющимися соплами. Характер распределения давлений по сечению.
37. Распределение давлений, теплоперепадов и других параметров по ступеням турбины при переменном пропуске рабочего тела. Формула Флюгеля-Стодолы. Работа последней ступени в группе.
38. Способы изменения расхода свежего пара. Дроссельное парораспределение.
39. Способы изменения расхода свежего пара. Дроссельное парораспределение.
40. Сопловое парораспределение.
41. Обводное парораспределение. Выбор системы парораспределения.
42. Регулирование мощности турбины способом скользящего давления.
43. Теоретические основы колебаний. Понятие о собственной частоте колебаний. Явление резонанса.
44. Типы вибрации. Характер и последствия воздействия вибрации на турбину. Методы измерения и снижения уровня вибрации. Допустимые значения.
45. Вибрация оборотной частоты. Причины возникновения. Методы устранения.
46. Критические частоты валопровода. Понятие жесткого и гибкого ротора.
47. Низкочастотная масляная вибрация. Причины возникновения. Критерий нагруженности подшипника.
48. Низкочастотная паровая вибрация. Причины возникновения.
49. Классификация пусков. Дефекты, препятствующие пуску.
50. Пуск неблочной ПТУ из холодного состояния.
51. Особенности пуска противодавленческой турбины.
52. Особенности пусков блоков. Пусковые схемы блоков.
53. Пуск блока с барабанным котлом.
54. Особенности пуска блока с прямоточным котлом.
55. Останов турбины. Применяемые способы. Выбег ротора.
56. Останов турбины с расхолаживанием.
57. Аварийный останов турбины.