

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЭНИН

Завьялов В.М.

"17" 02 2016 г.

## БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТУРБИНЫ ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Направление ООП 13.03.01 «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА»

Профили подготовки: Тепловые электрические станции

Квалификация – Академический бакалавр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс 3,4 семестры 6,7,8

Количество кредитов 14

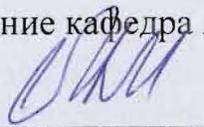
Код дисциплины ДИСЦ.В.М.3.1

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч	108
Практические занятия, ч	65
Лабораторные занятия, ч	27
Аудиторные занятия, ч	200
Курсовой проект	8 семестр
Самостоятельная работа, ч	304
ИТОГО, ч	504

Вид промежуточной аттестации экзамен в 6,7 семестре, зачет в 8 семестре, дифзачет (защита курсового проекта) в 8 семестре

Обеспечивающее подразделение кафедра АТЭС

Заведующий кафедрой



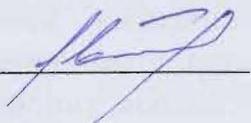
А.С. Матвеев

Руководитель ООП



А.М. Антонова

Преподаватель



Л.А. Беляев

2016г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Цели освоения дисциплины в области обучения, воспитания и развития, соответствующие целям ООП:

- подготовка выпускников к проектно-конструкторской и производственно-технологической деятельности в области теплоэнергетики, современных технологий производства электрической и тепловой энергии;
- подготовка выпускников к эксплуатации и обслуживанию установок и оборудования современного производства электрической и тепловой энергии с высокой эффективностью, выполнением требований защиты окружающей среды и правил безопасности производства.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к циклу дисциплин направления магистерской подготовки.

Пререквизиты – дисциплины «Техническая термодинамика», «Гидрогазодинамика», «Механика», «Тепловые электрические станции».

Кореквизиты – дисциплина «Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций», «Паротурбинные и парогазовые установки».

Требования к уровню подготовки к успешному освоению дисциплины:

### входные знания

- фундаментальных математических, естественнонаучных, социально – экономических и инженерных принципов, лежащих в основе профессиональной деятельности;
- законов сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты;
- калорических и переносных свойств веществ применительно к рабочим телам тепловых машин и теплоносителям;
- термодинамических процессов и циклов преобразования энергии, протекающие в теплотехнических установках;
- законов и основных физико-математических моделей переноса теплоты и массы применительно к теплотехническим и теплотехнологическим установкам и системам;
- интеллектуальных технологий инженерного анализа;
- основ методики технико-экономических расчетов теплоэнергетических объектов;
- номенклатуру технических материалов в теплоэнергетике, их структуру и основные свойства, атомно-кристаллическое строение металлов, фазово-структурный состав сплавов, типовые диаграммы состояния, свойства железа и сплавов на его основе;
- основных законов механики, видов механизмов, их классификацию и области применения;

- технологических схем производства электрической и тепловой энергии;
- общих законов и уравнений статики, кинематики и динамики жидкостей и газов;

ВХОДНЫЕ УМЕНИЯ

- рассчитывать передаваемые тепловые потоки;
- составлять алгоритмы и программы расчета оптимальных параметров паротурбинных установок на ПЭВМ;
- выполнять системное описание объекта анализа;
- определять параметры термодинамических циклов и показатели их тепловой экономичности;
- проводить гидравлический расчет трубопроводов;

ВХОДНОЙ ОПЫТ

- интерпретации физического смысла результатов исследований;
- термодинамического анализа циклов тепловых машин с целью их оптимизации;
- гидравлического расчета трубопроводов;
- теплогидравлического расчета теплообменных аппаратов;
- проектирования котлов ТЭС.

### 3. Результаты освоения дисциплины

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1 (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4, ОПК-1, ОПК-2)					В.1.1	математического и физического моделирования режимов, процессов, состояний объектов теплоэнергетики и теплотехники
	3.1.2	основных физических явлений и законов механики, органической и неорганической химии, технической термодинамики, тепломассообмена, гидрогазодинамики и их математическое описание	У.1.2	выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах различной физической природы и выполнять применительно к ним простые технические расчеты	В.1.2	анализа физических явлений в теплоэнергетических и теплотехнических системах, аппаратах и агрегатах

Р3 (ОК-3, ПК-1; ПК-3, ПК-9)	3.3.2	технических условий проектных разработок простых конструкций теплоэнергетических и теплотехнических установок, агрегатов, аппаратов и устройств; объектов теплоэнергетики – тепловых и атомных электростанций; схем теплоснабжения городов и предприятий, тепловых сетей и систем, теплового оборудования			В.3.2	работы с документацией, стандартами, патентами и другими источниками отечественной и зарубежной научно-технической информации
Р4 (ОПК-2, , ПК-2, ПК-4, ПК-10, ПК-11, ПК-12)	3.4.1	типовых стандартных приборов, устройств, аппаратов, программных средств, используемых при экспериментальных исследованиях	У.4.1	проводить эксперименты по заданным методикам с последующей обработкой и анализом результатов в области теплоэнергетики и теплотехники	В.4.1	работы с приборами и установками для экспериментальных исследований

В результате освоения дисциплины студент должен/будет:

*знать*

- методы моделирования и исследования турбин;
- методы оценки надежности, контроля и диагностики турбин;
- методы построения и анализа технико-экономического обоснования выбора параметров и экологических показателей действующих и проектируемых турбин ТЭС и АЭС;
- методы и приемы проектирования, наладки и эксплуатации турбин, отдельных устройств и их комплексов для получения тепловой и электрической энергии;

*уметь*

- составлять математические и физические модели для исследования процессов в паровых и газовых турбинах;

- использовать современные средства вычислительной техники для моделирования, анализа, обработки экспериментальных и статистических данных процессов и показателей проектируемых и действующих турбин ТЭС и АЭС;

- применять методы обоснованного выбора вспомогательного оборудования турбоустановок.

*владеет*

- основами формулирования и постановки задач расчетов турбин и их схем в целом;

- методами проектирования, монтажа, наладки и эксплуатации турбин ТЭС и АЭС с учетом их экологического воздействия на окружающую среду;

- использованием информационного и технического обеспечения всех стадий эксплуатации турбоустановок ТЭС и АЭС;

*1. Универсальные (общекультурные):*

- способность анализировать, синтезировать и критически резюмировать информацию.

*2. Профессиональные:*

- способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники, в области профессиональной деятельности;

- способность находить творческие решения профессиональных задач;

- способность анализировать естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;

- способность к профессиональной эксплуатации оборудования современных тепловых и атомных электростанций;

- готовность к проведению технических расчетов по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектных решений.

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

### **Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

РД1	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при постановке и решении задач анализа работы турбин тепловых и атомных электростанций
РД2	Разрабатывать математические модели процессов в турбинах и турбинных ступенях, обосновывать конструкторские решения элементов и узлов паровых турбин
РД3	Иметь первичные навыки проектирования паровой турбины, ее деталей и узлов

## **4. Структура и содержание дисциплины**

### **4.1 Содержание разделов дисциплины:**

#### **1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТУРБИНЕ И ТУРБИННОЙ УСТАНОВКЕ**

##### **1.1. Введение**

Предмет и задачи курса. Современное состояние теплоэнергетики и перспективы ее развития. Роль паро- и газотурбинных установок в энергетике и других отраслях. История развития турбостроения.

##### **1.2. Принцип действия турбины и ее место в энергетической установке**

Принцип действия турбинного двигателя. Типовые конструкции паровой турбины, ее основные узлы. Принципиальные схемы паро- и газотурбинных энергетических установок ТЭС и АЭС.

Циклы паротурбинных установок. КПД турбины и турбинной установки. Влияние начальных и конечных параметров пара. Промежуточный перегрев пара. Регенеративный подогрев питательной воды. Комбинированная выработка электроэнергии и теплоты.

Понятие мощности: идеальной турбины, внутренней, эффективной, электрической, номинальной и расчетной. Абсолютные и относительные КПД.

Классификация турбин. Условные обозначения турбин.

#### **2. ТЕПЛОВОЙ ПРОЦЕСС ТУРБИННОЙ СТУПЕНИ**

##### **2.1. Течение рабочего тела в турбинных решетках**

Основные уравнения потока для сжимаемой жидкости: состояния, неразрывности, количества движения, сохранения энергии. Понятие плоскопараллельного и пространственного течения.

Характеристики потока при расширении газа в каналах. Параметры полного торможения. Конфузорное и диффузорное течение потока. Определение выходной скорости при расширении газа в неподвижном канале. Критические параметры и критическая скорость. Критический расход. Приведенный расход. Изменение проходного сечения канала в зависимости от относительного давления. Расширение газа в каналах с потерями располагаемой энергии.

Суживающиеся и расширяющиеся каналы. Формы каналов турбинных решеток. Отклонение потока в косом срезе турбинных решеток. Предельное отклонение в косом срезе.

Геометрические и газодинамические характеристики решеток турбинных профилей. Обтекание потоком одиночного профиля в зависимости от геометрических и режимных параметров. Потери профильные, кромочные, концевые, волновые, от нестационарности потока. Коэффициенты скорости, потери располагаемой энергии, расхода.

## **2.2. Преобразование энергии в турбинной ступени**

Располагаемые теплоперепады ступени, сопловой и рабочей решеток. Степень реакции ступени. Активные и реактивные ступени. Абсолютные и относительные скорости потока в ступени и их определение. Треугольники скоростей.

Преобразование энергии на рабочих лопатках. Окружное и осевое усилие потока на лопатках. Мощность ступени. Удельная работа. Потери располагаемой энергии в соплах, на рабочих лопатках и с выходной скоростью. Определение выходной относительной скорости потока из вращающегося канала рабочих решеток.

Относительный КПД на лопатках ступени и факторы, его определяющие. Отношение скоростей  $u/c_\phi$  - как критерий экономичности ступени. Оптимальное отношение скоростей. Оптимальный располагаемый теплоперепад ступени.

Изображение процесса расширения газа в  $hs$  - диаграмме для ступени.

## **2.3. Турбины со ступенями скорости**

Назначение турбинных ступеней скорости. Тепловой процесс и КПД турбинной ступени скорости. Оптимальное отношение скоростей  $u/c_\phi$  для турбинной ступени скорости. Определение скоростей на выходе из решеток и потерь располагаемой энергии. Изображение процесса расширения в турбинной ступени скорости в  $hs$  - диаграмме.

## **2.4. Определение размеров турбинных ступеней**

Выбор характеристик ступени. Определение основных геометрических параметров (средний диаметр, выходные высоты, углы выхода потока, тип профиля лопаток, углы установки профиля, величины хорд, относительные и абсолютные шаги лопаток, зазоры и перекрыши и т.п.) Степень парциальности. Расчет решеток при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.

Использование аэродинамических характеристик решеток при их расчете. Нормали на профили сопловых и рабочих лопатках. Условные обозначения типов профилей.

Особенности расчета ступени с «длинными» лопатками. Понятие «длинных» лопаток. Изменение реактивности по высоте лопатки. Методы профилирования длинных лопаток.

Конструктивное выполнение сопловых и рабочих лопаток. Типы хвостовиков и бандажей.

Изображение процесса расширения пара в  $hs$  - диаграмме для ступени.

## **2.5. Относительный внутренний кпд ступени**

Дополнительные потери ступени. Внутренняя работа потока, относительный внутренний КПД ступени. Дополнительные потери ступени: потери трения диска и лопаточного бандажа; потери, связанные с парциальным подводом пара (на вентиляцию и сегментные); потери от

утечек через диафрагменное уплотнение и надбандажный зазор; потери от влажности пара.

Оптимальная степень парциальности ступени.

Назначение уплотнений в турбине и требования к ним. Типы уплотнений. Схема лабиринтового уплотнения. Течение пара через уплотнение. Процесс расширения пара в уплотнении в  $hs$ -диаграмме. Определение протечки пара через лабиринтовое уплотнение.

Изображение процесса расширения пара в  $hs$ -диаграмме для ступени.

Примеры конструктивного выполнения осевых ступеней.

### **3. МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ**

#### **3.1. Рабочий процесс многоступенчатой паровой турбины**

Схема устройства активной и реактивной турбины. Понятие регулируемых и не регулируемых ступеней.

Использование потери с выходной скоростью в ступенях. Коэффициент возврата тепла. Потери от дросселирования вне проточной части турбины.

Основные преимущества многоступенчатых турбин.

Эрозия рабочих лопаток и способы борьбы с ней.

Концевые уплотнения турбин. Схема отвода и подвода пара в уплотнении. Типы концевых уплотнений.

#### **3.2. Выбор конструкции и расчет многоступенчатых турбин**

Основы выбора конструкции турбин. Деление ступеней конденсационных турбин на группы.

Предельная и единичная максимальная мощность турбины. Способы увеличения предельной мощности. Однопоточные и многопоточные, одновальные и многовальные турбины.

Расчетная мощность турбины. Выбор теплоперепада и типа регулирующей ступени. Предварительная оценка размеров первой и последней нерегулируемых ступеней. Определение числа ступеней и распределение теплоперепада между ними. Особенности расчета ступеней отдельных групп конденсационных турбин.

Приближенная оценка КПД турбоагрегата и отдельных отсеков проточной части турбины.

Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров турбины.

Осевые усилия в турбинах и способы их уравнивания.

Обзор конструкций конденсационных турбин.

### **4. КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

#### **4.1. Детали корпуса турбин**

Конструкции корпусов, их материал и расчет. Обоймы. Тепловые расширения. Расчет фланцевого соединения.

Сопловые и направляющие лопатки. Сопловые сегменты. Крепление.

Конструкции и материал диафрагм. Крепление диафрагм. Расчет диафрагм. Диафрагменные уплотнения.

Конструкции концевых уплотнений турбин. Трубопроводы концевых уплотнений.

Системы парораспределения турбин.

Опорные подшипники и их конструкции. Расчет опорного подшипника. Крепление.

Упорные подшипники и их конструкции.

Организация температурных расширений ротора и статора турбины. Относительные удлинения. Фикс-пункт турбины.

#### ***4.2. Детали ротора турбины***

Конструкции и материал рабочих лопаток. Концевая часть лопаток и бандажи. Хвостовики лопаток. Замковые соединения. Расчет лопаток на прочность. Вибрация лопаток. Отстройка лопаток от опасных вибраций.

Роторы турбин и их конструкции. Крепление деталей на валу. Расчет дисков на прочность. Расчет вала на прочность. Критическая частота вращения ротора. Материалы дисков, валов, цельникованных роторов.

Соединительные муфты.

Валоповоротное устройство.

### **5. РАБОТА ТУРБИН ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ РЕЖИМАХ**

#### ***5.1. Работа ступени при переменных режимах***

Понятие переменного (нерасчетного) режима. Переменный режим суживающихся и расширяющихся решеток. Сетка относительных расходов. Предельное отношение давлений для расширяющейся решетки. Изменение степени реакции и расхода пара через ступень.

КПД ступени при изменении режима ее работы.

Детальный расчет переменного режима работы ступени. Приближенные методы расчета.

Условия работы регулирующих и последних ступеней турбин при переменном пропуске пара.

#### ***5.2. Работа многоступенчатой турбины при переменных режимах***

Распределение давлений и теплоперепадов в ступенях турбины при изменении режима работы.

Системы парораспределения турбин: дроссельная, сопловая, обводная, комбинированная. Тепловой процесс турбины при переменном пропуске пара в различных системах парораспределения. Распределение потоков пара между сопловыми сегментами. Изменение давлений пара за регулирующими клапанами и в камере регулирующей ступени при переменных расходах пара.

Выбор системы парораспределения. Регулирование мощности турбины способом скользящего давления.

Диаграмма режимов конденсационной турбины. Расход пара на холостой ход.

### **5.3. Влияние изменений параметров пара на мощность турбины**

Влияние отклонения начального давления пара при разных системах парораспределения. Изменение экономичности и надежности.

Изменение температуры свежего пара и промежуточного перегрева.

Влияние давления отработавшего пара. Универсальная зависимость изменения мощности конденсационной турбины от конечного давления.

Осевые усилия турбины при переменном режиме.

## **6. ТУРБИНЫ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ**

Турбины с противодавлением и условия их применения. Связь между противодавлением и нагрузкой турбины. Особенности конструктивного оформления.

Турбины с промежуточными регулируемым отборами пара. Процессы расширения пара в  $hs$ - диаграмме. Диаграммы режимов. Конструктивное оформление турбин. Поворотные диаграммы.

Турбины с двухступенчатым отопительным отбором пара. Диаграмма режимов.

Конструкции теплофикационных турбин.

## **7. ТУРБИНЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Особенности турбин для атомных электростанций. Сепарация влаги и промежуточный перегрев.

Конструкции турбин.

## **8. ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН**

### **8.1. Регулирование турбин**

Задачи регулирования турбин. Уравнение моментов турбогенератора. Условие постоянства частоты вращения.

Принципиальные схемы регулирования. Основные элементы систем регулирования. Регуляторы скорости. Золотники. Сервомоторы. Обратная связь. Механизм управления (синхронизатор). Регулирующие клапаны.

Статистическая характеристика регулирования.

Степень неравномерности и нечувствительности. Рациональная форма статической характеристики.

Работа регулирования при параллельном включении генераторов.

Основы статистического проектирования регулирования.

Переходные процессы регулирования турбин.

Особенности регулирования теплофикационных турбин. Поворотные диафрагмы.

Особенности регулирования турбин с промежуточным перегревом.

### **8.2. Защита турбин**

Задачи и виды защит паровых турбин. Защита от повышения скорости вращения. Реле осевого сдвига. Предохранительные и обратные клапаны.

Стопорные и отсеченные клапаны. Сервомоторы клапанов.

### **8.3. Маслоснабжение турбин**

Схемы маслоснабжения турбины и основные требования к ним. Турбинное масло. Элементы систем маслоснабжения. Масляный бак.

## **9. КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ПАРОВЫХ ТУРБИН**

Назначение конденсационных устройств. Схема конденсационной установки и ее элементы.

### **9.1. Конденсаторы паровых турбин**

Типы конденсаторов. Конструкция поверхностного конденсатора.

Тепловой процесс в конденсаторе. Количество воздуха, поступающее в конденсатор. Парциальные давления пара и воздуха. Температура конденсата и его переохлаждение. Зоны массовой конденсации и охлаждения. Паровое сопротивление конденсатора.

Общий порядок теплового расчета конденсатора. Тепловой баланс конденсатора. Выбор кратности охлаждения и скорости движения воды в трубках. Расчет поверхности охлаждения, числа ходов воды, числа трубок и их длины, размеров трубной доски.

Принципы рациональной компоновки трубного пучка.

Гидравлическое сопротивление конденсатора. Соединение с выхлопным патрубком турбины.

Построение тепловых характеристик конденсатора при изменении расхода пара, температуры и расхода охлаждающей воды.

### **9.2. Насосы конденсационной установки**

Воздухоотсасывающие устройства. Характеристика пароструйного эжектора.

Конденсатные и циркуляционные насосы.

Конструкции насосов.

## **10. ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ**

### **10.1. Схемы и циклы ГТУ**

Схемы и циклы ГТУ. Основные показатели, характеризующие ГТУ, и способы повышения их экономичности. Одновальные ГТУ с регенерацией. Сложные и многовальные ГТУ.

Парогазовые установки.

### **10.2. Конструктивное устройство ГТУ**

Типы газовых турбин. Конструкции основных деталей газовых турбин. Способы охлаждения деталей.

Камеры сгорания. Теплообменные аппараты. Компрессоры.

Использование ГТУ в энергетике.

## **6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **6.1. Виды и формы самостоятельной работы**

Характеристика видов и форм самостоятельной работы студентов, включая текущую и творческую/исследовательскую деятельность студентов:

- текущая СРС, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений:
  - работа с лекционным материалом,
  - поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса,
  - изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
  - подготовка к контрольным работам и коллоквиуму, к зачету, экзамену;
- творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР), ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов. ТСР включает следующие виды работ по основным проблемам курса:
  - поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
  - исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
  - анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
  - анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

### **6.3. Контроль самостоятельной работы**

Для текущего контроля в течение семестра предусматривается:

- результаты выполнения и защиты индивидуальных заданий и написания реферата;
- 3 контрольных работы в семестр по материалам лекций и практических занятий с целью проведения рейтинговой аттестации в конце каждого месяца (с 25 по 28 число).

В конце семестра студент должен набрать минимум баллов, необходимый для сдачи зачета. Подробно о видах оцениваемых работ и рубежных значениях суммы баллов изложено в рейтинг-плане. Рейтинг планы, тесты, вопросы и задачи для контрольных, вопросы итогового контроля и экзаменационные билеты прилагаются к рабочей программе.

## **7. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты
----------------------------	------------

	обучения по дисциплине
Выполнение и защита индивидуальных домашних заданий, лабораторных работ	РД1 – РД3
Контрольные работы, тестирование	РД1 – РД3
Экзамен	РД1 – РД3

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств): вопросы текущего контроля для оценки текущей успеваемости студентов по дисциплине; контрольные вопросы, задаваемых при выполнении и защите практических заданий, вопросы для самоконтроля, вопросы тестирований, вопросы по идентификации схем, вопросы, выносимые на экзамен.

Текущий контроль по дисциплине обеспечивается путем устного опроса при защите заданий и тестировании. Примеры вопросов и тестов приведены ниже.

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

Перечень вопросов текущего контроля

Текущий контроль по дисциплине обеспечивается путем устного опроса при защите заданий и тестированием по модулям дисциплины. Примеры вопросов и тестов приведены ниже.

#### Модуль 1

1. В чем заключается отличие в определении эффективности абсолютными и относительными КПД?
2. Определите понятие «эффективная мощность турбины». Как она определяется и чем отличается от мощности идеальной турбины?
3. Определите понятие «внутренняя мощность турбины». Как она определяется и чем отличается от электрической мощности турбогенератора?
4. Определите понятие «мощность идеальной турбины». Как она определяется и чем отличается от эффективной мощности турбины?
5. Если известно количество подведенной теплоты к паротурбинной установке, то что надо знать, чтобы определить эффективную мощность турбины? (Подробно!)
6. Если известна внутренняя мощность турбины, то что надо знать, чтобы определить количество подведенной теплоты к паротурбинной установке? (Подробно!)
7. Какое течение газа называется диффузорным? Как при таком течении изменяются параметры и почему?
8. Уравнение сохранения энергии для рабочих лопаток.
9. Уравнение сохранения энергии для неподвижных каналов турбинной ступени.
10. Различие в уравнениях неразрывности для теоретического и действительного течений.
11. Во сколько раз будут отличаться расходы пара через трубы, если их радиусы отличаются в три раза при прочих равных условиях? (Доказать!)
12. Во сколько раз нужно увеличить диаметр трубы, чтобы пропустить в два раза больший расход при прочих равных условиях?

13. Вывести формулу зависимости теоретической скорости на выходе из сопла от отношения давлений.
14. Запишите уравнение неразрывности для входного и выходного сечения канала.
15. Как изменится расход пара через сопло с известной площадью на выходе при изменении отношения давлений от 1 до 0. Почему так?
16. Дайте понятие коэффициента скорости и покажите его связь с коэффициентом потерь располагаемой энергии.
17. Определите понятие «критические параметры расширения».
18. Уравнение неразрывности в дифференциальной форме и его интерпретация для сопла.
19. Вывести формулу определения критического отношения давлений при идеальном расширении газа.
20. Определите понятие «параметры торможения» и как их определить по  $hs$ -диаграмме.
21. Какие величины определяют скорость пара на выходе из сопла при изоэнтропном расширении.
22. Дайте понятие коэффициента потерь располагаемой энергии и покажите его связь с коэффициентом скорости.
23. Дайте понятие коэффициента расхода, его физический смысл и покажите его связь с коэффициентом скорости.
24. Доказать, что для действительного процесса расширения критическое отношение давлений меньше чем для теоретического.

## Модуль 2

1. Как определить полное усилие (силу), действующие на рабочие лопатки турбинной ступени, по **уравнению сохранения энергии**?
2. Как определить тип канала (суживающийся или расширяющийся) рабочих решеток турбинной ступени, если заданы начальные параметры пара перед ступенью ( $p_0, t_0, c_0$ ), конечное давление ( $p_2$ ) и степень реактивности ( $\rho$ )?
3. Показать, как работа (мощность) на лопатках турбинной ступени связана с моментом силы, развиваемой ступенью.
4. Доказать, что в рабочих лопатках турбинной ступени ускорение потока происходит в относительном движении.
5. Доказать, что потеря располагаемой энергии в сопловых лопатках турбинной ступени уменьшается при увеличении степени реактивности при срабатывании одинакового теплоперепада.
6. Доказать, что относительный КПД на лопатках ступени наиболее сильно зависит от потери с выходной скоростью.
7. Доказать аналитически, что при определении работы (мощности) на лопатках турбинной ступени **по уравнению сохранения энергии** необходимо учитывать потерю с выходной скоростью.
8. Во сколько раз оптимальный теплоперепад ступени с диаметром 1,4 м больше по сравнению со ступенью диаметром 0,9 м?
9. Во сколько раз оптимальный диаметр ступени со степенью реактивности 0,4 отличается от ступени с  $\rho=0,1$ ? (Ступени срабатывают одинаковый теплоперепад.)
10. Изобразить действительный процесс расширения в  $hs$ -диаграмме для ступени с  $\rho=0$  (с указанием всех потерь располагаемой энергии в проточной части).
11. Изобразить действительный процесс расширения в  $hs$ -диаграмме для ступени с  $\rho<0$  (с указанием всех потерь располагаемой энергии в проточной части).

12. Доказать, что с увеличением числа венцов рабочих лопаток ( $m=1,2,3\dots$ ) оптимальное отношение скоростей уменьшается в  $m$  раз.
13. Почему располагаемый теплоперепад ступени постоянный по высоте лопаток?
14. Построить процессы расширения пара в корневом, среднем и периферийном сечении ступени.
15. Почему при оптимальном отношении давлений для двухвенечной ступени КПД двухвенечной ступени больше чем как у одновенечной, так и трехвенечной?
16. Определите зоны эффективности применения ступеней с различным числом венцов рабочих лопаток.
17. Построить процесс расширения пара в ступени с тремя венцами рабочих лопаток.
18. Почему и как изменяются профили сопловых и рабочих лопаток при использовании закрутки по методу постоянства циркуляции?
19. Почему реактивность изменяется по высоте рабочих лопаток?

### Модуль 3

1. Изменение треугольников скоростей ступени при неизменных начальных параметрах и изменении расхода пара через нее (а:  $G > G_0$ ; б:  $G < G_0$ ).
2. КПД турбины при дроссельной системе парораспределения. Зависимость коэффициента дросселирования от отношения давлений на турбину.
3. Изобразить процесс расширения пара в  $hs$ -диаграмме при неизменных начальных параметрах и изменении расхода пара через нее (а:  $G > G_0$ ; б:  $G < G_0$ ).
4. Как определить энтальпию пара в камере регулирующей ступени при переменном режиме.
5. Изменение давлений пара по проточной части турбины при возникновении в одной из ступеней критического режима.
6. Как определить давление пара перед первой ступенью турбины при дроссельной системе парораспределения и изменившемся расходе пара через турбину.
7. Изобразить в  $hs$ -диаграмме процесс расширения пара в турбине с сопловым парораспределением при расчетном режиме и режиме с частичным пропуском пара.
8. Изменение давлений пара по проточной части турбины при докритическом режиме течения во всех ступенях.
9. Изобразить в  $hs$ -диаграмме процесс расширения пара в турбине с обводным парораспределением при расчетном режиме и режиме с частичным пропуском пара.
10. Изменение теплоперепадов по ступеням проточной части конденсационной турбины
11. Определение КПД проточной части турбины с сопловым парораспределением при частичной нагрузке.
12. Факторы, влияющие на выбор располагаемого теплоперепада на регулирующую ступень.
13. Изменение давлений и расходов по проточной части турбины при обводной системе парораспределения.
14. Детальный расчет ступени турбины при переменном режиме.

### Модуль 4

1. Турбина с регулируемым отбором пара. Заданы начальные параметры, давление в отборе, давление в конденсаторе, отпускаемая теплота внешним потребителям, расход пара в конденсатор. Построить процесс и определить электрическую мощность турбины. Параметры расчетного режима известны.
2. Какая система парораспределения может применяться для противоаварийных турбин и почему?

3. Турбина с регулируемым отбором пара. Заданы начальные параметры, давление в отборе, давление в конденсаторе, расход пара на турбину, расход пара в конденсатор. Построить процесс, определить электрическую мощность турбины и отпускаемую теплоту. Параметры расчетного режима известны
4. Недостатки противодавленческих турбин.
5. Турбина с регулируемым отбором пара. Заданы начальные параметры, давление в отборе, давление в конденсаторе, расход пара на турбину, электрическая мощность турбины. Построить процесс и определить расход пара в конденсатор. Параметры расчетного режима известны.
6. Определить понятие теплофикационной и конденсационной мощности турбины с регулируемым отбором.
7. Турбина с регулируемым отбором пара. Заданы начальные параметры, давление в отборе, давление в конденсаторе, расход пара на турбину, отпускаемое тепло. Построить процесс, определить электрическую мощность и расход пара в конденсатор. Параметры расчетного режима известны.
8. Определить понятие теплофикационной и конденсационной мощности турбины с регулируемым отбором.

## Модуль 6

### 7.2. Примеры индивидуальных задач:

#### Задача 1-1

ПТУ имеет начальные параметры  $p_0=14 \text{ МПа}$ ,  $t_0=530^\circ\text{C}$ ,  $p_k=4,5 \text{ кПа}$ . Электрическая мощность турбогенератора  $N_{\text{Э}}=150 \text{ МВт}$ . Определить расход пара на турбину ( $G_0$ ), количество подведенной теплоты к установке ( $Q_{\text{ТГ}}$ ), всю систему относительных и абсолютных КПД. Принять  $\eta_m=0,98$ ,  $\eta_{\text{э}}=0,985$ .

Провести анализ полученных результатов.

#### Задача 2-1.

Заданы:

- длина канала  $x = 0,10 \text{ м}$ ;
- начальные параметры (статические) пара  $p_0 = 1,2 \text{ МПа}$ ;  $t_0 = 320 \text{ C}$ ;
- начальная скорость  $c_0 = 65 \text{ м/с}$ ;
- расход через сопло  $G = 6,2 \text{ кг/с}$ .

Определить:

- 1) изменение площади проходного сечения канала по шести сечениям) при равномерном изменении давления по длине канала ( $\Delta p = 9 \text{ МПа/м}$ )
- 2) средние ускорения потока на участках канала;
- 3) площадь минимального сечения канала.

Провести анализ полученных результатов.

#### Задача 2-2

Построить зависимость изменения проходного сечения сопла, скорости потока, удельного объема, относительного давления от располагаемого теплоперепада при расходе пара через сопло  $G=10 \text{ кг/с}$ ,  $c_0=40 \text{ м/с}$ ,  $p_0=10 \text{ МПа}$ ,  $t_0=350 \text{ C}$ . Теплоперепад равен 0,20,40,60, 80,100,120.

#### Задача 3-1

Построить зависимость изменения относительного лопаточного КПД ступени от отношения скоростей.

Задано: а) начальные параметры:  $p_0=1,0 \text{ МПа}$ ;  $t_0=345 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $c_0=120 \text{ м/с}$ ;

- б) средний диаметр ступени:  $d=1,05$ ;
- в) степень реактивности ступени:  $\rho=0,2$ ;
- г) частота вращения ротора:  $n=50 \text{ c}^{-1}$ ;
- д) угол выхода абсолютной скорости пара из сопел:  $\alpha_1=15^\circ$ ;
- е) угол выхода относительной скорости пара из рабочих лопаток:  $\beta_2= (\beta_1-8)^\circ$ ;
- ж) принять коэффициенты скорости:  $\varphi=0,98$ ;  $\psi=0,97$ ;
- з) давление за ступенью принимает значения:  $p_2=(0,85; 0,8; 0,76; 0,74; 0,7) \text{ МПа}$ .

Результаты вариантных расчетов представить в виде таблицы. Представить треугольники скоростей по вариантам выполненные в масштабе.

Провести анализ полученных результатов.

### Задача 3-2

На входе в турбинную решетку поток имеет следующие параметры:  $c_0=80 \text{ м/с}$ ,  $p_0=10 \text{ МПа}$ ,  $t_0=350^\circ \text{C}$ ,  $\alpha_0=90^\circ$ .

Определить: а) какой угол выхода будет иметь турбинная решетка;

б) отклонение в косом срезе решетки;

в) какой теплоперепад, определенный по статическим параметрам, срabатывается в решетке;

при отношениях давлений на решетку (0,8; 0,6; 0,4; 0,2) для двух случаев:

I. Теоретический процесс расширения.

II. Действительный процесс расширения с коэффициентом потерь  $\zeta_c=0,054$ . С учетом изменения критического отношения давлений.

Результаты представить в виде таблицы и графических зависимостей. Провести анализ полученных результатов.

### Задача 4-1

Определить изменение относительного лопаточного КПД в зависимости от  $x_\phi$  для двух ступеней: одновенечной и двухвенечной.

Обе ступени имеют средний диаметр  $d_{cp}=0,86 \text{ м}$ . Параметры пара перед ступенью  $c_0=80 \text{ м/с}$ ,  $p_0=10 \text{ МПа}$ ,  $t_0=350^\circ \text{C}$ , давление за ступенью  $p_2=6,3 \text{ МПа}$ . Зависимость построить по 5 точкам, приняв значения  $x_\phi=(0,18; 0,26; 0,33; 0,47; 0,52)$ , изменение  $x_\phi$  обеспечивается изменением частоты вращения.

Дополнительно принять:  $\alpha_0=90^\circ$ ,  $\alpha_1=14^\circ$ , углы выхода из рабочих лопаток и направляющего аппарата меньше углов входа на  $(2\div 5)^\circ$ . Степень реактивности ступени  $\rho=0,1$  (в двухвенечной ступени реактивность разбита на рабочие лопатки и направляющий аппарат поровну). Коэффициенты скорости:  $\varphi=0,97$ ;  $\psi_{p1}=0,96$ ;  $\psi_n=0,96$ ;  $\psi_{p2}=0,96$ .

Построить в масштабе треугольники скоростей  $x_\phi=(0,18; 0,26; 0,47)$ . Привести процессы расширения в ступенях в  $hs$  – диаграмме.

### Задача 5-1

Определить геометрические размеры одновенечной ступени при оптимальном отношении скоростей.

Исходные данные:

- данные и результаты расчета задачи 4-1;

- расход пара  $G=150 \text{ кг/с}$ .

Коэффициенты расхода и коэффициенты потерь располагаемой энергии определить по обобщенным газодинамическим характеристикам решеток.

Привести эскиз ступени.

### Задача 6-1

Выполнить расчет «закрутки» лопаток турбинной ступени методом постоянства циркуляции.

Расчет выполнить, разбив лопатки на три сечения: среднее, корневое и периферийное.

Исходные данные:

- расход пара  $G=683 \text{ кг/с}$ ;
- начальные параметры:  $p_0=1,52 \text{ МПа}$ ;  $x_0=0,9$ ;  $c_0=100 \text{ м/с}$ ;
- конечное давление  $p_2=0,96 \text{ МПа}$ ;
- частота вращения  $n=50 \text{ с}^{-1}$ .

Коэффициенты расхода и коэффициенты потерь располагаемой энергии определить по обобщенным газодинамическим характеристикам решеток.

Привести процессы расширения в  $hs$ -диаграмме и треугольники скоростей для рассчитываемых сечений, а также эскиз решеток профилей.

#### Задача 7-1

Определить для двух вариантов исходных данных:

- внутренний относительный КПД многоступенчатой турбины;
- физический коэффициент возврата теплоты и сравнить его с рекомендуемой формулой.

Исходные данные:

- начальные параметры:  $p_0=6,0 \text{ МПа}$ ,  $t_0=340 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- конечное давление:  $p_k=5 \text{ кПа}$ ;
- число ступеней: *вариант I – 5, вариант II – 8*;
- внутренний относительный КПД каждой ступени:  $0,83$ ;
- распределение теплоперепадов по основной изоэнтропе: *равномерное*.

#### Задача 7-2

Определить для двух вариантов исходных данных:

- внутренний относительный КПД многоступенчатой турбины;
- физический коэффициент возврата теплоты и сравнить его с рекомендуемой формулой.

Исходные данные:

- начальные параметры:  $p_0=6,0 \text{ МПа}$ ,  $t_0=340 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- конечное давление:  $p_k=5 \text{ кПа}$ ;
- число ступеней:  $7$ ;
- внутренний относительный КПД каждой ступени: *вариант I – 0,8, вариант II – 0,87*;
- распределение теплоперепадов по основной изоэнтропе: *равномерное*.

#### Задача 8-1

Начальные параметры пара перед цилиндром:  $p_0=9,2 \text{ МПа}$ ,  $t_0=460 \text{ }^\circ\text{C}$ ; конечное давление за цилиндром  $p_k=2,8 \text{ МПа}$ ; расход пара через цилиндр  $G=160 \text{ кг/с}$ .

Определить число ступеней в цилиндре для двух вариантов:

- а) диаметр первой ступени  $d_1=0,8 \text{ м}$ ;
- б) диаметр первой ступени  $d_1=0,95 \text{ м}$ ;

при условии постоянства корневого диаметра во всех ступенях.

Выполнить анализ полученных результатов.

#### Задача 9-1

Турбинная ступень имеет геометрические размеры (вариант 1-1, таблица 1).

Определить:

А: давление и температуру пара перед ступенью, внутренний относительный КПД ступени и реактивность ступени при следующих параметрах переменного режима (вариант 1-1, таблица 1).

В: тоже, что в пункте А, но давление и расход составляют 0,7 от соответствующих заданному. Энтальпия в конце процесса равна полученной энтальпии в расчете по пункту А.

### Задача 10-1

Конденсационная турбина с двумя регулируемые отборами с начальными параметрами:  $p_0=12,7$  МПа,  $t_0=560$  °С и конечным давлением  $p_k=4$  кПа в расчетном режиме имеет следующие параметры:

- давление в камере регулирующей ступени  $p_{pc0}=8,5$  МПа;
- давление в первом отборе  $p_{п0}=1,5$  МПа, давление за регулирующим органом первого отбора  $p'_{п0} = 1,2$  МПа, расход пара в первый отбор  $G_{п0}=100$  т/ч;
- давление во втором отборе  $p_{т0}=0,18$  МПа, давление за регулирующим органом второго отбора  $p'_{т0} = 0,08$  МПа, количество теплоты, отпускаемой из второго отбора  $Q_{т0}=80$  МВт;
- электрическая мощность турбогенератора  $N_{э0}=120$  МВт;
- внутренние относительные КПД частей и регулирующей ступени в расчетном режиме:  $\eta_{oi0}^{чвд} = 0,82$ ,  $\eta_{oi0}^{чсд} = 0,86$ ,  $\eta_{oi0}^{чнд} = 0,64$ ,  $\eta_{oi0}^{pc} = 0,74$ ;

Определить электрическую мощность турбогенератора, если:

- необходимая температура пара теплофикационного отбора снизится на  $17$  °С, количество отпускаемой теплоты из теплофикационного отбора останется тем же самым;
- необходимая температура пара производственного отбора снизится на  $6$  °С, количество отпускаемой теплоты из производственного отбора  $Q_{п}=58$  МВт;
- турбина работает по тепловому графику (вентиляционный расход пара  $G_k^{ген} = 7$  кг/с);
- внутренние относительные КПД частей и регулирующей ступени:  $\eta_{oi}^{чвд} = 0,81$ ;  $\eta_{oi}^{чсд} = 0,86$ ;  $\eta_{oi}^{pc} = 0,71$ .

### Задача 11-1

Паротурбинная установка работает при начальных параметрах:  $p_0=13,0$  МПа;  $t_0=540$  °С. Расход пара на турбину  $G_0=250$  кг/с. Внутренний относительный КПД турбины  $\eta_{oi}=0,83$ . Конденсатор паротурбинной установки имеет следующие характеристики:

- внутренний диаметр трубок:  $d_{вн}=29$  мм;
- длина трубок:  $l=24$  м;
- число трубок:  $z=7000$ ;
- коэффициент теплопередачи в конденсаторе  $k=2,3$  кВт/м<sup>2</sup>К;
- скорость воды в трубках:  $w_в=2,2$  м/с;
- температура воды на входе в конденсатор:  $t_{в1}=12$  °С.

Определить внутреннюю мощность турбины и термический КПД турбинной установки А) при «нормальной» работе конденсатора; В) при отключении одной половины конденсатора и сохранении скорости воды в трубках.

## 8. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен) производится в конце семестра

(оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

В соответствии с «Календарным планом выполнения курсового проекта»:

- текущая аттестация (оценка качества выполнения разделов и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 22 баллов);
- промежуточная аттестация (защита проекта) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), по результатам защиты студент должен набрать не менее 33 баллов).

Итоговый рейтинг выполнения курсового проекта определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

#### 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Паровые и газовые турбины для электростанций. / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Г. Костюка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 556 с.
2. Турбины тепловых и атомных электростанций. Проект многоступенчатой паровой турбины : учебное пособие / В. И. Беспалов, С. У. Беспалова; Томский политехнический университет (ТПУ), Институт дистанционного образования (ИДО). — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 100 с.: ил.. — Библиогр.: с. 76-78..
3. Атомные электростанции [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. М. Антонова, А. В. Воробьёв; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2-е изд., перераб. и доп.. — 1 компьютерный файл (pdf; 3.9 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из сети НТБ ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext3/m/2010/m43.pdf>
4. Singh, Murari. Blade Design and Analysis for Steam Turbines / M. P. Singh, G. Lucas. — New York : McGraw-Hill, 2011. — 364 p. : il.
5. Boyce, Meherwan P. Gas Turbine Engineering Handbook / M. P. Boyce. — 4th ed. — Boston : Elsevier Ltd, 2012. — 956 p. : il.
6. Gas Turbine Theory / H. Saravanamuttoo [and others]. — 6th ed. — Harlow : Pearson , 2009. — 590 p. : il.

Дополнительная

7. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.

8. Трояновский Б.М., Филиппов Г.А., Булкин А.Е. Паровые и газовые турбины атомных электростанций. - М., Энергоатомиздат, 1985, 256 с.
9. Щегляев А.В. Паровые турбины. Учебник для вузов. Кн. 1.- М.: Энергоатомиздат, 1993.- 384 с.
10. Щегляев А.В. Паровые турбины. Учебник вузов. Кн. 2. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 416 с.
11. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. - М.: Энергия, 1982. - 496 с.
12. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 640 с.
13. Щегляев А.В. Паровые турбины. - М.: Энергия, 1976. - 368 с.
14. Паровые и газовые турбины: Сборник задач: Учебное пособие для вузов. /Г.С.Самойлович, Б.М.Трояновский, В.Б.Нитусов, А.Н.Занин. Под ред. Г.С. Самойловича и Б.М.Трояновского. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - с.
15. Атлас конструкций деталей турбин. Учебное пособие. /Трухний А.Д., Крупенников Б.Н. и др. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 148 с

#### *Журналы*

1. «Теплоэнергетика».
2. «Газотурбинные технологии».
3. «Электрические станции».
4. «Энергохозяйство за рубежом»;
5. «Известия вузов», серия: Энергетика;
6. «Мировая энергетика»;
7. «Энергобезопасность и энергосбережение»;
8. «Теплоэнергетика» – реферативный журнал;
9. International Journal of Heat and Mass Transfer;
10. International Journal of Heat and Fluid Flow;
11. International Journal of Thermal Sciences;
12. Experimental Thermal and Fluid Science;
13. Applied Energy;
14. Energy and Buildings;
15. Energy Conversion and Management;
16. International Journal of Engineering Science;
17. Energy;
18. Applied Thermal Engineering;

#### *программное обеспечение*

- Презентации лекций в среде PowerPoint.
- Компьютерные программы:
- Программа исследования турбинной ступени;
- программа определения термодинамических и теплофизических параметров воды и водяного пара;
- «tegress» – программа регрессионного анализа для обработки результатов эксперимента;

- WaterSteamPro – программа теплофизических и термодинамических свойств рабочего тела;
- «TABL1», «TFS», «TFM» – для расчета свойств теплоносителей.

*Internet-ресурсы:*

- Сайт специальности «Тепловые электрические станции»  
<http://www.03-ts.ru/>;
- WebCT – Тепловые электрические станции  
<http://e-le.lcg.tpu.ru/webct/public/home.pl>;
- Бесплатная электронная библиотека Ивановского государственного энергетического университета  
<http://www.library.ispu.ru/elektronnaya-biblioteka>;
- Крупнейшая бесплатная электронная интернет библиотека для "технически умных" людей <http://www.tehlit.ru/>;
- Электронная Энциклопедия Энергетики  
<http://tw.t.mpei.ac.ru/ochkov/trenager/trenager.htm>;
- Сайт кафедры ТЭС, Новосибирский государственный технический университет <http://tes.power.nstu.ru/>.

#### 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения проведения лекционных и практических занятий, самостоятельной работы студентов используются аудитории, оборудованные техническими средствами, мультимедийным оборудованием (компьютеры, мониторы, экраны), автоматизированной системой управления познавательной деятельностью студента (АСУ ПДС), компьютерный класс кафедры. Компьютерный класс находится в локальной компьютерной сети с выходом в корпоративную сеть университета и глобальную сеть Internet. Студенческие файлы данных хранятся на сервере в сетевой структуре каталогов. Этим достигается независимость доступа к данным от рабочей станции, удобство контроля и администрирования. Все необходимые учебно-методические материалы по дисциплине находятся в корпоративном портале ТПУ со свободным доступом к ним.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению и профилю подготовки 140100 ТЕПЛОЭНЕРGETИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Программа одобрена на заседании кафедры Атомных и тепловых электростанций.

(протокол № 2 от «11» 02.2016 г.).

Автор Л.А. Беляев

Рецензент В.И. Беспалов