

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Уральский энергетический институт

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке

В.В. Кружаев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ТУРБОМАШИНЫ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ТУРБОУСТАНОВКИ**

<b>Перечень сведений о рабочей программе дисциплины</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> Турбомашины и комбинированные турбоустановки	Код ОП 13.06.01
<b>Направление подготовки</b> Электро-и теплотехника	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 13.06.01
<b>Уровень подготовки</b> подготовка кадров высшей квалификации	
<b>ФГОС высшего образования по направлению подготовки 13.06.01. «Электро- и теплотехника»</b>	<b>Реквизиты приказа Минобрнауки РФ об утверждении ФГОС ВО:</b> Приказ Минобрнауки России от 30 .07.2014 г. № 878 с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г.

**СОГЛАСОВАНО**  
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
КАДРОВ ВЫСШЕЙ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург, 2018 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Структурное подразделение</b>	<b>Подпись</b>
1	Бродов Юрий Миронович	Доктор техн. наук, профессор	Зав. кафедрой	Кафедра «Турбины и двигатели»	
2	Недошивина Татьяна Анатольевна	Доцент, к.т.н.	доцент	Кафедра «Турбины и двигатели»	

**Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института**

Председатель учебно-методического совета

*Е.В. Черепанова*

**Согласовано:**

Начальник ОПНПК

*Е.А. Бутрина*

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ТУРБОМАШИНЫ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ТУРБОУСТАНОВКИ**

## **1.1. Аннотация содержания дисциплины**

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам вариативной части. Основная цель изучения дисциплины – формирование у аспирантов комплекса базовых знаний и практических навыков, позволяющих на современном уровне (на уровне современных требований) анализировать проблемы науки и производства в энергетическом машиностроении с целью его совершенствования.

Программа дисциплины разработана в соответствии с программой-минимумом кандидатского экзамена по специальности Турбомашины и комбинированные турбоустановки, подготовленной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии ВТИ им. Дзержинского, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, Московского энергетического института (технического университета). Программа составлена с опорой на дисциплины направления «Электро- и теплотехника» специальности «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели», связанные с особенностями анализа, синтеза и технического использования турбомашин и турбоустановок, агрегатов и аппаратов вспомогательного оборудования, используемых на электростанциях и на транспорте.

## **1.2. Язык реализации дисциплины - русский**

## **1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у аспиранта следующих компетенций:

- способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).
- владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах в области энергетики и энергомашиностроения (ПК-2);
- способность обрабатывать результаты исследований и интерпретировать их с целью составления практических рекомендаций по перспективному использованию данных научных исследований (ПК-4);

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- принципы работы основного и вспомогательного оборудования энергетических установок
- перспективы и пути развития энергомашиностроения и турбоустановок
- современные тенденции и методы проектирования и повышения эффективности, надежности и безопасности энергоустановок
- основы современных методов технико-экономического анализа применительно к задачам энергомашиностроения.

Уметь:

- анализировать информацию, получаемую с объектов энергомашиностроения и принимать на ее основе обоснованные технические решения;
- определять возможные направления совершенствования турбомашин и энергоустановок на различных этапах их жизненного цикла

Демонстрировать навыки и опыт деятельности:

- в вопросах проектирования и эксплуатации турбомашин и турбоустановок.

*Объем дисциплины*

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	6
1.	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия			
4.	Лабораторные работы			
5.	<b>Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации</b>	<b>104</b>	<b>1</b>	<b>104</b>
6.	<b>Промежуточная аттестация</b>	Э	<b>0,33</b>	Э
7.	<b>Общий объем по учебному плану, час.</b>	108	5,33	108
8.	<b>Общий объем по учебному плану, з.е.</b>	3		3

\*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3,4 - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.6 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

## 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код разделов и тем	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P.1.	<b>Теоретические основы проектирования турбин</b>	
P1.T.1	<b>Тепловые циклы турбинных установок</b>	Принципиальные схемы и тепловые циклы паро- и газотурбинных установок для электростанций, использующих органическое и ядерное топливо. Комбинированные циклы и

		схемы парогазовых установок. Тепловая эффективность установок и методы ее повышения. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Перспективные циклы и схемы турбинных и комбинированных установок для электростанций на органическом и ядерном топливе.
P1.T2	<b>Турбины для комбинированной выработки тепла и электрической энергии</b>	Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара. Ступенчатый подогрев воды. Диаграммы режимов работы турбины. Использование для теплофикации тепла ГТУ и АЭС.
P1.T3	<b>Теплообмен в элементах турбомашин</b>	Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен при проникающем охлаждении и газовых завесах. Распределение температуры в охлаждаемых турбинных лопатках, роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.
P2	<b>Механика жидкости и газа</b>	<p>Кинематика сплошной среды. Движение малой частицы жидкости и теорема Гельмгольца о движении жидкости в общем случае. Потенциальные и вихревые движения в жидкости. Линия тока и вихревая линия. Методы изучения движения жидкости. Циркуляция скорости. Формула Био-Савара.</p> <p>Основные уравнения движения жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение расхода. Уравнения движения в форме Эйлера, Громeko-Лэмба и Навье -Стокса. Интегральные уравнения движения для идеальной жидкости. Уравнение энергии и его формы.</p> <p>Одномерная схема течения. Уравнения одномерного течения. Параметры полного торможения. Скорость звука и критическая скорость. Связь безразмерных параметров потока с безразмерными скоростями и <math>\gamma</math>. Критические параметры. Условия перехода через скорость звука. Приведенный расход и удельный приведенный расход. Газодинамические функции. Осреднение неравномерных потоков и приведение их к одномерной схеме течения.</p> <p>Потенциальные течения. Плоские потенциальные течения несжимаемой жидкости. Комплексные потенциалы элементарных потоков и их использование для расчетов потенциальных течений. Уравнение для расчета скорости в сжимаемом потоке. Уравнение Н.Е. Жуковского о подъемной силе. Постулат Чаплыгина-Жуковского.</p> <p>Сверхзвуковые течения. Особенности сверхзвуковых потоков. Характеристики в плоскости течения и в плоскости годографа скорости. Диаграмма характеристик и ее использование для сверхзвуковых потоков. Возникновение скачков уплотнений. Прямой скачок уплотнения и его расчет. Диаграмма ударных поляр. Потери энергии в скачках уплотнения.</p> <p>Истечение из сопел и непрофилированных отверстий. Переменные режимы суживающихся сопел. Сопло Лавая и диаграмма переменных режимов сопел Лавая. Профилированные сопла Лавая. Истечение из непрофилированных отверстий. Коэффициенты расхода при истечении из щелей с острой кромкой.</p> <p>Теория подобия и размерностей. Задачи теории подобия. Коэффициенты подобия и числа подобия. П-теорема. Условие физического подобия течения. Критерии подобия. Полное и частичное моделирование.</p> <p>Течение вязкой жидкости. Точные решения уравнений Навье-Стокса. Ламинарный и турбулентный типы течения. Способы осреднения турбулентных потоков и их основные характеристики. Уравнение Рейнольдса. Пограничный слой. Пути решения уравнений для пограничного слоя. Модели</p>

		турбулентности. Отрыв пограничного слоя и пути его предотвращения. Численные решения задач МЖГ. Течение двухфазных и двухкомпонентных сред. Особенности двухфазных течений. Гомогенное течение с постоянной концентрацией второй фазы. Гомогенное течение жидкости с пузырьками газа. Течение двухфазной среды при фазовом равновесии или полном переохлаждении. Тепловые скачки и скачки конденсации.
Р.3	<b>Проектирование турбоустановок</b>	
Р3.Т1	<b>Ступень турбомшины</b>	Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней. Особенности проектирования ступеней большой веерности. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени. Основные виды потерь в ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД. Степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности и охлаждения на основные характеристики ступени паровой и газовой турбины.
Р3.Т2	<b>Решетки турбомашин</b>	Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Методы плоского, осесимметричного и пространственного расчета решеток. Профильные и концевые потери в решетках, методы их расчета. Решетки паровых турбин для влажного пара. Процессы неравновесного влагообразования в решетках. Основные особенности движения переохлажденного и влажного пара в решетках паровых турбин. Нестационарные течения в решетках турбомашин. Переменные, аэродинамические силы. Вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер и помпаж. Вращающийся отрыв в решетках турбомашин. Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.
Р3.Т3	<b>Многоступенчатые турбины</b>	Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной паровой и газовой турбины. Пути повышения предельной мощности турбины. Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров паровой турбины. Техничко-экономические основы выбора конструкции турбины. Осевые усилия в турбинах, их расчет и методы уравнивания. Концевые уплотнения. Регулирующие клапаны, впускные и выхлопные патрубки турбин. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины. Выносные сепараторы-пароперегреватели турбин атомных электростанций (АЭС).
Р3.Т4	<b>Расчет и проектирование многоступенчатых компрессоров</b>	Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Универсальная характеристика. Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.
Р3.Т5	<b>Динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин</b>	Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации. Материалы, используемые в турбостроении. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах. Свойства сталей и сплавов, применяемых в турбостроении, и требования к ним. Процессы, сопровождающие работу металлов при высоких температурах,

		длительной эксплуатации и переменных нагрузках. Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбины под влиянием агрессивных примесей в паре. Коррозия лопаток ГТУ, защитные покрытия. Рабочие лопатки, их вибрационная прочность. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента. Низкочастотные вибрации роторов. Методика численного анализа и расчета напряженного состояния деталей турбин. Гидродинамические силы в ступенях, уплотнениях и подшипниках. Маневренность турбин. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость.
<b>Р4.</b>	<b>Управление турбомашинами</b>	
Р4.Т1.	<b>Переменный режим работы турбин</b>	Газодинамическое подобие. Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины. Особенности работы последних ступеней конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Система парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления. Методы расчета турбин при переменном режиме работы. Загрязнение проточной части. Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин. Представление характеристик методами подобия. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.
Р4.Т2	<b>Регулирование турбин</b>	Принципиальные схемы регулирования паровых и газовых турбин. Статические характеристики регулирования. Параллельная работа турбогенераторов. Математическое описание системы регулирования турбин. Устойчивость системы регулирования турбин. Переходные процессы в системах регулирования турбин. Использование вычислительной техники для анализа переходных процессов в системе регулирования турбины и синтеза системы регулирования. Механизм управления паровой конденсационной турбиной. Особенности регулирования турбин для комбинированной выработки тепла и электрической энергии. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций и АЭС. Защитные устройства турбинных установок. Использование цифровых и микропроцессорных систем для управления турбинной установкой. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

### 3.1. Распределение аудиторной нагрузки и мероприятий самостоятельной работы по разделам дисциплины

Раздел дисциплины		Аудиторные занятия (час.)		Самостоятельная работа: виды, количество и объемы мероприятий																													
				Подготовка к аудиторным занятиям (час.)											Выполнение самостоятельных внеаудиторных работ (колич.)								Подготовка к контрольным мероприятиям текущей аттестации (колич.)	Подготовка к промежуточной аттестации по дисциплине (час.)		Подготовка в рамках дисциплины к промежуточной аттестации по модулю (час.)							
Код раздела, темы	Наименование раздела, темы	Всего по разделу (час.)	Всего аудиторной работы (час.)		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Всего самостоятельной работы аспирантов (час.)	Всего (час.)	Лекция	Практ., семинар, занятие	Лабораторное занятие	Н/и семинар, семинар-конференция, коллоквиум	Всего (час.)	Домашняя работа*	Графическая работа*	Реферат, эссе, творч. работа*	Проектная работа*	Расчетная работа, разработка программного продукта*	Расчетно-графическая работа*	Домашняя работа на иностр. языке*	Перевод инояз. литературы*	Курсовая работа*	Курсовой проект*	Всего (час.)	Контрольная работа*	Коллоквиум*	Зачет	Экзамен	Интегрированный экзамен по модулю	Проект по модулю		
			Всего аудиторной работы (час.)	Лекции																												Практические занятия	Лабораторные работы
P1	Теоретические основы проектирования турбин	21	1	1			20	20	20																								
P2	Механика жидкости и газа	21	1	1			20	20	20																0,0								
P3	Проектирование турбоустановок	26	1	1			26	26	26																0,0								
P4	Управление турбомашинами	20	1	1			20	20	20																0,0								
	<b>Всего (час), без учета промежуточной аттестации:</b>	<b>104</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0,0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>						
	<b>Всего по дисциплине (час.):</b>	<b>108</b>	<b>4</b>				<b>104</b>																										
В т.ч. промежуточная аттестация																										<b>0</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>				

\*Суммарный объем в часах на мероприятие указывается в строке «Всего (час.) без учета промежуточной аттестации»



### 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 4.1. Лабораторные работы

«не предусмотрено»

#### 4.2. Практические занятия

«не предусмотрено»

#### 4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

##### 4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

«не предусмотрено»

##### 4.3.2. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

«не предусмотрено»

##### 4.3.3. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

«не предусмотрено»

##### 4.3.4. Примерная тематика контрольных работ

«не предусмотрено»

##### 4.3.5. Примерная тематика коллоквиумов

«не предусмотрено»

### 4. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела, темы дисциплины	Активные методы обучения					Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение						
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы и тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции и семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
Р.1. Теоретические основы проектирования турбин				+								
Р.2. Механика жидкости и газа				+								
Р.3. Проектирование турбоустановок				+								
Р.4. Управление турбомашинами				+								

### 5. АТТЕСТАЦИЯ АСПИРАНТОВ

По результатам изучения дисциплины проводится экзамен, который является кандидатским по специальности.

## **6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)**

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **7.1.Рекомендуемая литература**

#### **7.1.1. Основная литература**

1. Щегляев А.В. Паровые турбины: Теория теплового процесса и конструкции турбин : Учебник для студентов энергомашиностр. и теплоэнергет. специальностей вузов : В 2 кн. Кн. 1 / А. В. Щегляев; Предисл. Б. М. Трояновского .— 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1993 .— 383 с. – 83 экз
2. Щегляев А.В. Паровые турбины : Теория теплового процесса и конструкции турбин : Учебник для студентов энергомашиностр. и теплоэнергет. специальностей вузов : В 2 кн. Кн. 2 / А. В. Щегляев; Предисл. Б. М. Трояновского .— 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1993 .— 414 с. – 81 экз
3. Турбины тепловых и атомных электрических станций: Учебник / Под ред. В.В. Фролова и А.Г. Костюка. М.: Изд-во МЭИ, 2001, 488 с. – 37 экз
4. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. "Энергомашиностроение" / А. Г. Костюк .— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : МЭИ, 2007 .— 476 с. – 20 экз
5. Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов "Энергомашиностроение" / [В. Л. Иванов, А. И. Леонтьев, Э. А. Манушин, М. И. Осипов] ; под ред. А. И. Леонтьева .— Изд. 2-е, стер. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 .— 592 с.- 4 экз

#### **7.1.2. Дополнительная литература**

1. Манушин, Э.А. Конструирование и расчет на прочность турбомашин газотурбинных и комбинированных установок : Учеб. пособие для вузов / Под ред. Н.Н. Малинина .— М. : Машиностроение, 1990 .— 399с. – 11 экз
2. Газовая динамика. Механика жидкости и газа : Учебник для вузов / В.С. Бекнев, В.М. Епифанов, А.И. Леонтьев и др. ; Под общ. ред. А.И. Леонтьева .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997 .— 671 с. – 6 экз
3. Газотурбинные установки : Конструкция и расчет : Справ. пособие / Л.В. Арсеньев, Ф.С. Бедчер, И.А. Богов и др. ; Под общ. ред.Л.В. Арсеньева, В.Г. Тырышкина .— Л. : Машиностроение, 1978 .— 232с. 12 экз
4. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. М.: Высш. шк., 1979. 536 с.– 29 экз
5. Кириллов, И.И. Паровые турбины и паротурбинные установки / И. И. Кириллов, В. А. Иванов, А. И. Кириллов; Под ред. И. И. Кириллова .— Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1978 .— 276 с. – 21 экз
6. Кириллов, И.И. Автоматическое регулирование паровых турбин и газотурбинных установок : Учеб. для вузов .— 2-е изд., перераб. и доп. — Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ие, 1988 .— 445с. — 20 экз

7. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. М.: Энергоатомиздат, 1985. – 303 с. – 7 экз
8. Самойлович Г.С. Гидрогазодинамика : Учеб. по спец. "Турбостроение" .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1990 .— 382 с. – 50 экз
9. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 494 с. – 18 экз
10. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. / А.Д. Трухний. М.: Энергоатомиздат, 1990. 640 с. – 38 экз
11. Ремонт и техническое обслуживание оборудования паротурбинных установок : справочник : [ в 2 т.]. Т. 2 / [Ю. М. Бродов, К. Э. Аронсон, Ю. М. Гофман [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Бродова ; Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Урал. энергет. ин-т .— Екатеринбург : УрФУ, 2011 .— 490 с. – 6 экз
12. Бродов Ю.М. Конденсационные установки паровых турбин: учеб. пособие для вузов / Ю.М. Бродов, Р.З. Савельев. М.: Энергоатомиздат, 1994. 288с. – 39 экз
13. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова.— Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006 .— 584, [4] с. – 5 экз
14. Назмеев Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. М.: М. : Энергоатомиздат, 1998 .— 288 с. : – 20 экз
15. Бродов Ю.М. Маслоохладители в системах маслоснабжения паровых турбин / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков. Екатеринбург: УГТУ, 1996. 103 с. – 6 экз

## **7.2. Методические разработки**

*«не используются»*

## **7.3. Программное обеспечение**

Корпоративные версии продуктов Microsoft: операционная система Windows Pro 10

## **7.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Электронные ресурсы ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;

Электронные ресурсы Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;

Электронные ресурсы ScienceDirect: <http://www.scifinder.com>

Электронные ресурсы Web of Science: <http://reaxys.org>

## **7.5. Электронные образовательные ресурсы**

*«не используются»*

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием**

Материально-техническое обеспечение должно способствовать изучению дисциплины, наглядно и в доступной форме иллюстрировать лекционный и практический материал.

1. Специализированная аудитория Т-703 (Т-708) с видеопроекционным комплексом на базе мультимедийного проектора и переносного компьютера.
2. Компьютерные классы, аудитории Т-709, Т-712.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 8.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	Высокий
<b>Знания</b>	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
<b>Умения</b>	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
<b>Личностные качества</b>	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

### 8.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ

## **И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

**8.2.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий**  
*«не предусмотрено»*

**8.2.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий**  
*«не предусмотрено»*

**8.2.3. Примерные контрольные кейсы**  
*«не предусмотрено»*

**8.2.4. Перечень примерных вопросов для зачета**  
*«не предусмотрено»*

**8.2.5. Перечень примерных вопросов для экзамена**

1. Принципиальные схемы и тепловые циклы паро- и газотурбинных установок для электростанций, использующих органическое топливо.
2. Комбинированные циклы и схемы парогазовых установок. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.
3. Тепловая эффективность установок и методы ее повышения.
4. Перспективные циклы и схемы турбинных и комбинированных установок для электростанций на органическом топливе.
5. Основные уравнения движения жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение расхода.
6. Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней.
7. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени.
8. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени. Основные виды потерь в ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД.
9. Степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности и охлаждения на основные характеристики ступени паровой и газовой турбины.
10. Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Методы плоского, осесимметричного и пространственного расчета решеток.
11. Решетки паровых турбин для влажного пара. Процессы неравновесного влагообразования в решетках. Основные особенности движения переохлажденного и влажного пара в решетках паровых турбин.
12. Нестационарные течения в решетках турбомашин. Переменные, аэродинамические силы.
13. Вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер и помпаж. Вращающийся срыв в решетках турбомашин.
14. Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.
15. Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин.
16. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной паровой и газовой турбины. Пути повышения предельной мощности турбины.
17. Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров паровой турбины. Техно-экономические основы выбора конструкции турбины.
18. Осевые усилия в турбинах, их расчет и методы уравнивания. Концевые уплотнения. Регулирующие клапаны, впускные и выхлопные патрубки турбин.
19. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины.
20. Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора.
21. Универсальная характеристика. Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры.

22. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.
23. Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней.
24. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины.
25. Особенности работы последних ступеней конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара.
26. Система парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления.
27. Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин.
28. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.
29. Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара. Ступенчатый подогрев воды. Диаграммы режимов работы турбины.
30. Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена.
31. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.
32. Материалы, используемые в турбостроении. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах. Свойства сталей и сплавов, применяемых в турбостроении, и требования к ним.
33. Процессы, сопровождающие работу металлов при высоких температурах, длительной эксплуатации и переменных нагрузках. Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбины под влиянием агрессивных примесей в паре. Коррозия лопаток ГТУ, защитные покрытия.
34. Рабочие лопатки, их вибрационная прочность. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата.
35. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента. Низкочастотные вибрации роторов.
36. Маневренность турбин. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость.
37. Принципиальные схемы регулирования паровых и газовых турбин. Статические характеристики регулирования.
38. Устойчивость системы регулирования турбин. Переходные процессы в системах регулирования турбин.
39. Механизм управления паровой конденсационной турбиной. Особенности регулирования турбин для комбинированной выработки тепла и электрической энергии.
40. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности.
41. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций.
42. Защитные устройства турбинных установок.
43. Использование цифровых и микропроцессорных систем для управления турбинной установкой. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.