

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
А.В. Германенко
20__ г.






РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТУРБОМАШИНЫ И ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры <i>Турбомашины и поршневые двигатели</i>	Код ПА 2.4.7
Группа специальностей <i>Энергетика и электротехника</i>	Код 2.4
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» №315/03 от 31.03.2022

Екатеринбург
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Комаров Олег Вячеславович	кандидат технических наук, доцент	Заведующий кафедрой	Турбины и двигатели	
2	Плотников Леонид Валерьевич	доктор технических наук, доцент	Профессор	Турбины и двигатели	
3	Недошивина Татьяна Анатольевна	кандидат технических наук доцент,	Доцент	Турбины и двигатели	

Рекомендовано учебно-методическим советом института Уральского энергетического

Председатель учебно-методического совета
Протокол № 3 от 16.05.22 г.



[Н.В. Гредасова]

Согласовано:

Начальник ОПНПК



[Е.А. Бутрина]

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ Турбомашины и поршневые двигатели

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам базовой 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 с учетом Паспорта научной специальности 2.4.7 Турбомашины и поршневые двигатели. Программа объединяет предыдущие номенклатуры специальностей: 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки, 05.04.02- Тепловые двигатели.

Дисциплина формирует комплексные знания на базе теоретических, экспериментальных и прикладных исследований термодинамических, тепловых, гидрогазодинамических, механических и физико-химических процессов, протекающих в турбомашинах различных турбоустановок (паротурбинных, газотурбинных, парогазовых) и оборудовании их технологических подсистем, а также в цилиндрах, системах и механизмах поршневых двигателей внутреннего сгорания с внешним подводом теплоты.

1.2. Язык реализации дисциплины - русский

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- принципы работы основного и вспомогательного оборудования энергетических установок
- перспективы и пути развития энергомашиностроения, турбоустановок, поршневых двигателей
- современные тенденции и методы проектирования и повышения эффективности, надежности и безопасности турбомашин и поршневых двигателей
- основы современных методов технико-экономического анализа применительно к задачам энергомашиностроения.
- основные подходы к планированию и проведению экспериментальных исследований в области турбоустановок и поршневых двигателей;
- основные методики моделирования рабочих процессов турбомашин, бензиновых и дизельных двигателей;

Уметь:

- анализировать информацию, получаемую с объектов энергомашиностроения и принимать на ее основе обоснованные технические решения;
- определять возможные направления совершенствования турбомашин и поршневых двигателей и энергоустановок на различных этапах их жизненного цикла
- составить программу экспериментальных исследований рабочего процесса турбомшины или/и бензинового или дизельного двигателя;
- проводить численное моделирование рабочих процессов турбомашин и поршневых двигателей с помощью современных программных комплексов.

Демонстрировать навыки и опыт деятельности:

- навыками постановки задачи для экспериментального исследования или математического моделирования в области турбомашин и поршневых двигателей;
- в вопросах проектирования и эксплуатации турбомашин и турбоустановок.

1.4. Объем дисциплины

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

*Контактная работа составляет:

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

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1.	Теоретические основы проектирования турбин и двигателей	
P1.T.1	Тепловые циклы турбинных установок	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.T.2	Теоретические и методологические аспекты исследований	Понятия эксперимента, моделирования и модели. Классификация видов и методов математического моделирования и экспериментальных исследований. Примеры математических моделей рабочих процессов тепловых двигателей.
P1.T.3	Физическое (экспериментальное) и математическое моделирование	Понятие физической модели. Роль физического моделирования. Методы планирования эксперимента. Понятие о математическом моделировании и математических моделях. Имитационное моделирование. Оптимизация при моделировании. Методы оптимизации. Выработка рекомендаций для производства.
P1.T.4	Турбины для комбинированной выработки тепла и электрической энергии	Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара. Ступенчатый подогрев воды. Диаграммы режимов работы турбины. Использование для теплофикации тепла ГТУ и АЭС.
P1.T.5	Теплообмен в элементах турбомашин	Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен при проникающем охлаждении и газовых завесах. Распределение температуры в охлаждаемых турбинных лопатках,

		<p>роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.</p>
P1.T6	Механика жидкости и газа	<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, Громеко-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 ?. 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 сопл и непрофилированных отверстий. Переменные режимы суживающихся сопл. Сопло Лавля и диаграмма переменных режимов сопл Лавля. Профилированные сопла Лавля. 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 турбулентности. Отрыв пограничного слоя и пути его предотвращения. Численные решения задач МЖГ.</p> <p>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.</p>
P.2	Проектирование турбоустановок	
P2.T1	Ступень турбомашин	<p>Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней. Особенности проектирования ступеней большой верности. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени. Основные виды потерь в</p>

		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.
P2.T2	Решетки турбомашин	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.
P2.T3	Многоступенчатые турбины	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. Технико-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).
P2.T4	Расчет и проектирование многоступенчатых компрессоров	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.
P2.T5	Динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин	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.
P3.	Управление турбомашинами	
P3.T1.	Переменный режим работы турбин	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 пропускания

		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.
РЗ.Т2	Регулирование турбин	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.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Практические занятия

«не предусмотрено»

3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

3.2.1. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

«не предусмотрено»

3.2.2. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

«не предусмотрено»

4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. 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
Знания	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.
Умения	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)
Личностные качества	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.

4.2. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

«не предусмотрено»

4.2.2. 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 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 уравновешивания. 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. САУ.
44. Оборудование и методы проведения исследований в области поршневых двигателей. Одноцилиндровые отсеки. Горячие и холодные бомбы.
45. Приборно-измерительная база и методы исследований течения газов во впускных и выпускных системах поршневых двигателей.
46. Приборно-измерительная база и методы исследований процессов распыла и смесеобразования топливно-воздушной смеси в поршневых двигателях.
47. Опытно-доводочные испытания на одноцилиндровом двигателе и стендовые испытания на полноразмерных двигателях: цели, особенности, возможности, результаты.
48. Основные возможности программных комплексов (САЕ-систем) при выполнении расчетов на прочность и моделировании газодинамики потоков.
49. Назначение, основные возможности и ограничения САЕ-систем для моделирования газодинамики и теплообмена газовых потоков.
50. Специализированные программы для моделирования рабочего процесса поршневого двигателя: назначение, возможности, области применения, ограничения.
51. Основные направления развития и совершенствования САЕ-систем для моделирования процессов в поршневых двигателях.
52. Цифровой двойник поршневого двигателя внутреннего сгорания: концепция, реалистичность, назначение, точность, возможности, практическое применение

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1.Рекомендуемая литература

5.1.1. 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
6. Шароглазов Б.А., Фарафонов М.Ф., Клементьев В.В. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов. Учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания / под ред. Засл. Деят. Науки РФ Б.А. Шароглазова. Челябинск: ЮУрГУ, 2010. 382 с.
7. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» направления подготовки «Энергомашиностроение» / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. М.: Машиностроение, 2008. 496 с.
8. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 720 с.
9. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учеб. / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высш. шк., 1995. 368 с.
10. Костюк А.Г. Паровые и газовые турбины для электростанций. (Электронный ресурс) Учебник для вузов / Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е. , Трухний А.Д. М.: Издательский дом МЭИ. 2016 2
11. Баринберг Г.Д. и др. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода, изд. 2-е, перераб. и доп. Екатеринбург, «Априо», 2010. -488с.
12. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов . <https://openedu.urfu.ru/files/book/index.html>

13. Ремонт и техническое обслуживание оборудования паротурбинных установок / Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Гофман Ю.М. и др. // Справочник в 2-х т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 1125 с. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/58614>
14. Материалы конференции «Авиадвигатели XXI века». М.: ЦИАМ, 2010.

5.1.2. 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. Елифанов, 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
16. Pulkrabek W.W. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. 2004. New Jersey: Pearson Prentice-Hall. 411 p.

17. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988. 546 p.
18. Incropera F.P., DeWitt D.P. Fundamentals of heat and mass transfer. New York: Wiley, 1996, 248 p.
19. Урьев Е.В. Вибрационная надежность и диагностика турбомашин. Часть I. Вибрация и балансировка, 2 издание (исправленное и дополненное): Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 200с.
20. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкция турбин: Учебник для ВУЗов: 82 кн. Кн.2 -6-е изд. перераб., доп., подгот. к печати Б.М.Трояновским. М.: Энергоатомиздат, 1993. 416 с.
21. Зарицкий С.П. Лопатин А.С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов. Учебное пособие (в частях) – М. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003
22. Ревзин Б. С. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом. Учебное пособие. Екатеринбург.: УГТУ-УПИ. 269 с.
23. Энергетические машины и установки : учебное пособие / В.Л. Блинов ; Мин-во науки и высш. образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020.— 128 с
24. Проскуряков Г. В. Приводные ГТУ и конвертированные ГТД для транспорта газа. Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1990. 168 с.
25. Стационарные газотурбинные установки /под ред. Арсеньева Л. В. и Тырышкина В. Г./ Л.: Машиностроение, 1989. 543 с.
26. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров. М.: Мир, 2000, 688 с.
27. Сироткин Я.А. Аэродинамический расчёт лопаток осевых турбомашин. М.: Машиностроение. 1972, 448 с.
28. ЦИАМ. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Москва 2004.

5.2. Методические разработки

Не используются

5.3. Программное обеспечение

Программный комплекс Дизель-РК (распространяется бесплатно)

5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1) eLibrary <http://elibrary.ru/>
- 2) Scopus <http://www.scopus.com/>
- 3) Web of Science <http://apps.webofknowledge.com/>
- 4) EBSCO publishing <http://search.ebscohost.com/>
- 5) ЭБС Университетская библиотека онлайн <http://www.biblioclub.ru/>
- 6) Издательство "Лань" <http://e.lanbook.com/gok.com/>
- 7) Поисковая система Google <https://www.google.com/>
- 8) Поисковая система Yandex <https://yandex.ru/>

5.5. Электронные образовательные ресурсы

Не используются

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Google Chrome, Mozilla Firefox
2	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Персональные компьютеры по количеству обучающихся Подключение к сети Интернет	Windows Server Datacenter 2012R2 Single MVL 2Proc A Each Academic Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Google Chrome, Mozilla Firefox