



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический
университет» (БГТУ)

Факультет энергетики и электроники
(наименование факультета/института)
Кафедра «Турбиностроение, электро- и теплоэнергетика»
(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
по учебной работе и цифровизации
_____ В.А. Шкаберин
«26» апреля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

«Турбомашины и поршневые двигатели»
(наименование дисциплины)

2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели
(код и наименование научной специальности)

Технические науки
(наименование отрасли науки)

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации
(уровень образования)

очная
(форма обучения)

2024
(год набора)

Брянск 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

учебной дисциплины

«Турбомашины и поршневые двигатели»

(наименование дисциплины)

2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели

(код и наименование научной специальности)

Разработал:

Профессор кафедры «ТЭиТЭ»,

Д.Т.Н., доцент

*(должность, ученая степень, ученое звание)**(подпись)*

А.А. Обозов

(И.О. Фамилия)

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры

«Турбиностроение, электро- и теплоэнергетика»

(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)

«21» марта 2024 г., протокол № 3

Врио заведующего кафедрой

Д.Т.Н., доцент

*(ученая степень, ученое звание)**(подпись)*

А.А. Пугачев

(И.О. Фамилия)

ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Турбомашины и поршневые двигатели» направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине по научной специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является подготовка аспирантов к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине по научной специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- формирование навыков и умений в области теории и практики разработки и создания турбомашин и поршневых двигателей;
- изучение основных методов научных исследований, применяемых при выполнении разработок турбомашин и поршневых двигателей.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина «Турбомашины и поршневые двигатели» относится к образовательному компоненту программы аспирантуры и реализуется на 4 курсе в 1 семестре.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

По окончании освоения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

знать:

- основные принципы использования современных методов исследования в области энергетики (энергетических машин);
- основной круг проблем (задач), встречающихся в сфере научной деятельности энергетики, и основные способы (методы, алгоритмы) их решения;
- основные методы и подходы проведения моделирования рабочих процессов турбомашин и поршневых двигателей и их систем с использованием современных программных комплексов;
- основные методы и подходы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области энергетики (энергетических машин) с использованием передовых технологий;

уметь:

- выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования; анализировать функционирование турбомашин и поршневых двигателей и их систем;
- пользоваться современными методами обработки, систематизации и интерпретации результатов исследования энергетических машин на математических и физических моделях;
- находить (выбирать) наиболее эффективные (методы) решения основных типов проблем (задач), встречающихся в сфере указанной научной деятельности;

– использовать существующие инструменты моделирования процессов в энергетических машинах (тепловых двигателях) и их системах, предлагаемые специализированными программными комплексами;

– анализировать и сопоставлять результаты собственных исследований с современными представлениями научного сообщества в области своей научной специальности;

владеть:

– навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов;

– навыками представления и продвижения результатов научной деятельности; способностью системного подхода к анализу научных проблем;

– современными методами, инструментами и технологией научно-исследовательской и проектной деятельности;

– навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в энергетике (по профилям турбиностроения и поршневых энергетических машин);

– методами компьютерного моделирования рабочих процессов турбомашин и поршневых двигателей.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 академических часа). Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы и семестрам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы и семестрам

Виды учебной работы в соответствии с учебным планом программы аспирантуры	Трудоемкость, час.	
	Всего	Семестр
		7
1. Контактная работа, в том числе:	36	36
1.1. Лекции	18	18
1.2. Практические занятия,	18	18
2. Самостоятельная работа	72	72
Общая трудоемкость (з.е. 108)	108	108

5 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Структура дисциплины

Структура дисциплины представлена в виде тематического плана в таблице 2.

Таблица 2 – Тематический план дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
Модуль 1 - «Турбомашин»		
1	Паро- и газотурбинные уста-	Принципиальные схемы паро- и газотурбинных устано-

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
	новки. Применение комбинированных установок	вок для электростанций на органическом и ядерном топливах. Тепловая эффективность установок и методы ее повышения. Теплообменное и сепарационное оборудование тепловых схем ПТУ и ГТУ. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Атомные станции теплоснабжения (АСТ). Перспективные схемы турбинных установок для электростанций на органическом и ядерном топливах. Комбинированные турбинные установки.
2	Течение сжимаемой жидкости в решетках турбомашин.	Основные уравнения движения сжимаемой жидкости. Турбинные и компрессорные решетки и их аэродинамические характеристики при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Методы расчета плоского и осесимметричного потенциальных потоков в решетках. Профилирование лопаток в решетках.
3	Ступени турбомашин.	Преобразование энергии в турбинной и компрессорной ступенях. Выбор характеристик и расчет турбинной и компрессорной ступеней. Проектирование ступеней большой веерности. Ступени скорости, радиальные и радиально-осевые турбинные ступени. Двухъярусные ступени. КПД ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД, степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности на основные характеристики ступени
4	Многоступенчатые турбомашины.	Предельная мощность однопоточной турбины, пути повышения предельной мощности турбин. Техно-экономические основы выбора конструкции турбины. Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров турбины. Влияние влажности на экономичность и надежность паровых турбин. Схемы и расчет воздушного и жидкостного охлаждения сопловых и рабочих лопаток и дисков ротора газовых турбин. Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров. 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.
5	Переменный режим работы турбомашин.	Переменный режим работы турбинной ступени. Последние ступени конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Обобщение характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работ турбины. Системы парораспределения. Изменение нагрузки турбины при переменном режиме работы, Занос солями проточной части. Переменный режим работы газотурбинной установки.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
6	Металлы, динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин.	Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах. Свойства сталей и сплавов, применяемых в турбиностроении, и требования к ним. Процессы, возникающие в металлах при высоких температурах, длительной работе и переменных нагрузках. Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбин под влиянием агрессивных примесей в паре. Рабочие лопатки, их прочность и вибрации. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента. Низкочастотные вибрации роторов. Методика численного расчета. Гидродинамические силы в ступенях, уплотнения в подшипниках. Маневренность турбин. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость.
Модуль 2 - «Поршневые двигатели»		
1	Вводная лекция. Повторение курсов «Термодинамика и теплопередача», «Гидрогазодинамика», «Теория рабочих процессов ДВС», «Динамика двигателей», «Автоматическое регулирование двигателей», «Топливная аппаратура энергетических машин» (бакалавриат, магистратура).	<p>Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии; уравнение состояния идеального газа; понятие газовой постоянной; истинная и средняя теплоёмкости; эмпирические формулы теплоёмкости газов; внутренняя энергия и энтальпия газов; термодинамические циклы; термический коэффициент полезного действия теплового двигателя; Энтропия идеального газа. $T - S$ диаграмма состояния газов и её свойства; газовые процессы в $T - S$, $h - S$ диаграммах....</p> <p>Физические свойства жидкостей и газов, идеализированная модель течения газа. Линии тока и траектория. Вихревое и потенциальное течение газа, закон сохранения массы в потоке; Закон сохранения импульса (теорема Стокса), обтекание твердого тела жидкостью (газом). Термодинамические циклы поршневых двигателей. Анализ показателей циклов. Стехиометрическое количество воздуха, коэффициент избытка воздуха. Состав горючей смеси и продуктов сгорания. Теплота сгорания горючей смеси. Теплоемкость и внутренняя энергия смеси и продуктов сгорания. Процессы газообмена в двигателях.</p> <p>Перемещение, скорость и ускорение движения поршня двигателя; силы, действующие в КШМ двигателя.</p> <p>Уравновешивание инерционных сил, действующих на элементы КШМ; крутильные колебания системы коленчатого вала, собственные и вынужденные колебания; явление резонанса.</p> <p>Регулирование частоты вращения поршневого двигателя, механический чувствительный элемент (ЧЭ) регулятора; поддерживающая и восстанавливающая силы ЧЭ; регулятор прямого и непрямого действия; устройство гидромеханического усилителя регулятора непрямого действия.</p> <p>Топливная аппаратура (ТА) поршневых двигателей: бензиновых двигателей с принудительным воспламенением; бензиновых инжекторных двигателей; дизельных дви-</p>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
		гателей (традиционной конструкции, с ТПА типа «Common Rail»)..
2	Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршневых двигателей). Современные отечественные и зарубежные программные комплексы.	Численное математическое моделирование; решение дифференциального уравнения численными методами. Фундаментальные законы термодинамики: законы сохранения энергии, импульса, массы. Физические процессы, происходящие в цилиндре поршневого двигателя; открытая термодинамическая система с изменяемой массой; термодинамические параметры рабочего тела: температура, давление, внутренняя энергия; энтальпия; индикаторная (механическая) работа рабочего тела. Численное математическое моделирование рабочего процесса поршневого двигателя в среде программирования «MS Excel»; программные комплексы «Compass-3D», «Дизель - РК», «AVL Fire», «Ansys Forte».
3	Методология разработки поршневых двигателей, обладающих высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям..	Технико-экономические показатели поршневых двигателей: моторесурс, экономичность, ремонтно-пригодность, «экологичность», себестоимость производства и утилизации; Технологии САПР. 2-D и 3-D твердотельное моделирование деталей и узлов поршневого двигателя (в ПК Compass-3D, SolidWorks), анимационное представление результатов моделирования динамических процессов. Оптимизация процессов и конструктивных решений (применение наддува, оптимизация фаз газораспределения, процесса топливоподачи, формы камеры сгорания, формы каналов системы газообмена); целевая функция оптимизации и факторное пространство; аналитические и численные методы поиска оптимального решения; условная оптимизация.
4	Процессы топливоподачи, смесеобразования и сгорания в поршневых двигателях. Улучшение экологических показателей поршневых двигателей (вредные выбросы, акустическое излучение).	Современные системы топливоподачи поршневых двигателей (инжекторные, системы Common Rail). Процессы смесеобразования и сгорания топлива в цилиндре поршневого двигателя. Вредные выбросы с отработавшими газами (NOx, CO, CH, сажа); совершенствование процесса топливоподачи и конструкции камеры сгорания; нейтрализация токсичных компонентов, содержащихся в отработавших газах; конструкция нейтрализаторов; система рециркуляции отработавших газов; гибкое (адаптивное) управление процессом топливоподачи; системы электронного управления поршневыми двигателями Способы снижения шума от работы поршневого двигателя; конструкция глушителей шума.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий представлена в таблице 3.

Таблица 3 -Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Трудоемкость, час.			
		Всего	Лекции	Практические	Самостоятельная

				занятия	работа
Модуль 1 - «Турбомашины»					
1.	Паро- и газотурбинные установки. Применение комбинированных установок	7	1	-	6
2.	Течение сжимаемой жидкости в решетках турбомашин	7	1	-	6
3.	Ступени турбомашин	10	2	2	6
4.	Многоступенчатые турбомашины	10	2	2	6
5.	Переменный режим работы турбомашин	10	2	2	6
6.	Металлы, динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин	10	2	2	6
Модуль 2 - «Поршневые двигатели»					
1.	Вводная лекция. Повторение курсов «Термодинамика и теплопередача», «Гидрогазодинамика», «Теория рабочих процессов ДВС», «Динамика двигателей», «Автоматическое регулирование двигателей», «Топливная аппаратура энергетических машин» (бакалавриат, магистратура).	11	2	-	9
2.	Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршневых двигателей). Современные отечественные и зарубежные программные комплексы.	15	2	4	9
3.	Методология разработки поршневых двигателей, обладающих высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям..	15	2	4	9
4.	Процессы топливоподачи, смесеобразования и сгорания в поршневых двигателях. Улучшение экологических показателей поршневых двигателей (вредные выбросы, акустическое излучение).	13	2	2	9
	Всего часов	108	18	18	72

5.3. Лекции

Перечень занятий лекционного типа, их содержание и трудоемкость представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Тематика и содержание лекций

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика лекций	Трудоемкость (час.)
Модуль 1 - «Турбомашины»			
1	1	Паро- и газотурбинные установки. Применение комбинированных установок	1
2	2	Течение сжимаемой жидкости в решетках турбомашин.	1
3	3	Ступени турбомашин.	2
4	4	Многоступенчатые турбомашины.	2
5	5	Переменный режим работы турбомашин.	2
6	6	Металлы, динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин.	2
Модуль 2 - «Поршневые двигатели»			
1	1	Вводная лекция. Краткое повторение курсов «Термодинамика», «Теория рабочих процессов ДВС», «Гидрогазодинамика», «Динамика двигателей», «Автоматическое регулирования двигателей», «Топливная аппаратура энергетических машин» (бакалавриат, магистратура).	2
2	2	Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршневых двигателей). Современные отечественные и зарубежные программные комплексы..	2
3	3	Методология разработки поршневых двигателей с высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям. Теоретические основы методологии оптимизации, применяемой при создании поршневых двигателей.	2
4	4	Процессы топливоподачи, смесеобразования и сгорания в поршневых двигателях. Улучшение экологических показателей поршневых двигателей (вредные выбросы, акустическое излучение).	2
Итого			18

5.4. Практические занятия

Практические занятия по дисциплине предусмотрены учебным планом образовательной программы.

Перечень практических занятий, их содержание и трудоемкость представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Тематика и содержание практических занятий

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (час.)
Модуль 1 - «Турбомашины»			
1	3	Выбор характеристик и расчет турбинной и компрессорной ступеней.	2
2	4	Технико-экономические основы выбора конструкции турбины.	2
3	5	Переменный режим работы газотурбинной установки.	2

4	6	Рабочие лопатки, их прочность и вибрации. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость деталей турбин.	2
Модуль 2 - «Поршневые двигатели»			
1	2	Обзор отечественных и зарубежных программных комплексов применяемых для моделирования процессов поршневых двигателей (ПК: МГТУ им. Н.Е. Баумана - «Дизель-РК», ЦНИДИ - «Импульс», «AVL Fire», «ANSYS Forte» и др.).	4
2	3	Численное математическое моделирование рабочего процесса поршневых двигателей (выполняется в среде программирования «Excel»)	2
3	3	Анализ образования газовых компонентов в камере сгорания поршневого двигателя (выполняется в среде программирования «Excel»).	2
4	4	Анализ химического состава отработавших газов двигателей внутреннего сгорания при стендовых испытаниях	2
Итого			18

5.5. Самостоятельная работа аспиранта

Виды самостоятельной работы аспиранта представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Виды самостоятельной работы

№ п/п	№ раздела дисциплины	Вид самостоятельной работы
Модуль 1 «Турбомашин»		
1	1-6	Изучения конспекта лекций и дополнительной литературы;
2	1-6	Подготовка к кандидатскому экзамену
Модуль 2 - «Поршневые двигатели»		
3	1-4	Изучения конспекта лекций и дополнительной литературы;
4	1-4	Подготовка к кандидатскому экзамену

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе освоения дисциплины применяются следующие образовательные технологии представленные в таблице 6.

Таблица 6 – Образовательные технологии, применяемые в ходе преподавания дисциплины

Вид учебной работы	Виды образовательных технологий
Лекции	Мультимедиа-лекция Проблемная лекция Лекция с разбором конкретных ситуаций Лекция-обсуждение
Практические занятия	Групповые дискуссии. Решение практических задач.
Самостоятельная работа	Индивидуальные исследования Технология индивидуализации обучения
Текущий контроль	Технология оценивания качества знаний на основе

7. РЕАЛИЗАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ И (ИЛИ) ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В электронной информационно-образовательной среде БГТУ размещается электронный курс дисциплины, включающий в себя:

- сведения об авторе курса;
- краткое описание курса;
- рабочую программу дисциплины;
- полный перечень тем дисциплины;
- презентационные материалы для проведения занятий лекционного типа;
- лекции/краткий конспект лекций по каждой теме;
- методические указания по выполнению каждого практического задания;
- материалы для текущего контроля успеваемости аспирантов.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Перечень основной, дополнительной и справочной учебной литературы:

Модуль 1 «Турбомашины»

а) основная литература:

1. Лапшин К.Л. Оптимизация проточных частей паровых и газовых турбин. СПб., Изд.-во СПбГПУ, 2011. – 177 с. [23 экз.].
2. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов, гриф МО РФ/Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин Ф.Е., Трухний А.Д. Под редакцией А.Г.Костюка. - Изд.-во МЭИ, 2008. – 556 с. [135 экз.].
3. Газотурбинные энергетические установки: учеб. пособие для вузов / Цанев с.в., Буров В.Д., Земцов А.С., Осыка А.С.; под ред. С. В. Цанева.- М.:МЭИ, 2011.- 426 С.

б) дополнительная литература:

1. Кириллов И.И., Кириллов А.И. Теория турбомашин. Л.: Машиностроение, 1974. – 320 с. [92 экз.].
2. Щегляев А.В. Паровые турбины. М: Энергия, 1976. – 365с. [131 экз.]
3. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. М:"Высшая школа", 1979. – 254с. [33 экз.].
4. Костюк А.Г. Динамика и прочность Турбомашин. М.Машиностроение, 1982. – 474с. [69 экз.].
5. Самойлович Г.С. Гидроаэромеханика. М.: Машиностроение, 1980. – 279с. Гриневич, Г.П. Комплексная механизация и автоматизация погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте: учебник для вузов ж.-д. транспорта /Г.П.Гриневич.- М.: Транспорт, 1981. [3 экз.].

6. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. Л.Машиностроение, 1982. – 311с. Соколов, С.А. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин: Учебное пособие / С. А. Соколов. – СПб.: Политехника, 2005 – 423 с. [68 экз.].

7. Самойлович Г.С. Трояновский В.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.:Энергоиздат, 1982. – 494с. [14 экз.]

8. Энергетические машины. Охлаждение элементов высокотемпературных газовых турбин / под ред. В.А. Рассохина, В.Г. Полищука. – СПб.: Изд.-во Политехнического ун.-та, 2008. – 223 с. [81 экз.].

9. Рабочие процессы газо- и паротурбинных установок тепловых электрических станций. Рабочие процессы газотурбинных установок: учебное пособие / [К. Д. Андреев [и др.]; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010 .— 226 с. [12 экз.].

10. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика", специальности "Тепловые электрические станции", по дисциплинам "Парогазовые и газотурбинные установки электростанций" и "Тепловые и атомные электрические станции" / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; под ред. С. В. Цанева .— 3-е изд., стер. — Москва : Издательский дом МЭИ, 2009 .— 578, [1] с. [61 экз.].

Модуль 2 «Поршневые двигатели»

а) основная литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» /Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с. [77 экз.]

2. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» /Д.Н. Вырубов, С.И.Ефимов, Н.А. Иващенко и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с. [26 экз.]

3. Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» /С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с. [48 экз.]

4. Автомобильные двигатели: учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М.Г.Шатров, К.А.Морозов, И.В.Алексеев и др.]; под ред. М.Г. Шатрова. - 2-е изд., испр. - М.: Издательский центр «Академия», 2011. - 464 с [8 экз.]

5. Круглов, М.Г., Меднов, А.А. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». —М.: Машиностроение, 1988. —360 с. [24 экз.]

6. Рогалев, В.В. Теория рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания [Текст] + [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Рогалев. – Брянск: БГТУ, 2010. – 222 с. [20 экз.]

б) дополнительная литература:

1. Кавтарадзе, Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы/ Р.З. Кавтарадзе. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 720 с. [16 экз.]

2. Лышевский, А.С. Системы питания дизелей: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». – М.: Машиностроение, 1981– 216 с. [24 экз.]

3. Рогалев, В.В. Механика жидкости и газа. [Текст] + [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ В.В. Рогалев, – Брянск: БГТУ, 2011. – 135 с. [27 экз.]

4. Алемасов, В.Е. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках/ В.Е. Алемасов [и др]. – М.: Химия, 2000. – 520 с. [5 экз.]

5. Звонов, В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – 2-е изд. перераб. –М.: Машиностроение, 1981. –160 с. [6 экз.]

6. Данилина, Н.И., Дубровская Н.С. и др. Численные методы. Учебник для техникумов., М., «Высшая школа», 1978. – 367 с. [26 экз.]

в) справочная литература

1. ГОСТ 2.114 – 2016. Единая система конструкторской документации. Технические условия. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 апреля 2017 г.

2. ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г.: Стандартиформ, 2015. - 9 с.

3. ГОСТ 2.118-2013. Единая система конструкторской документации. Техническое предложение. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г.: Стандартиформ, 2015. - 9 с.

4. ГОСТ 2.119-2013. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г.: Стандартиформ, 2018. - 8 с.

5. ГОСТ 2.120-2013. Единая система конструкторской документации. Технический проект. Введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2015 г. :Стандартиформ,2007. - 7с.

6. ГОСТ 15.101-2021 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ. – Введ. 2021-08-24. –М.: Российский институт стандартизации. -6 с.

7. ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - Введ. 2017-10-24. – Стандартиформ, 2017. - 32 с.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для изучения дисциплины:

1.Единое окно доступа к информационным ресурсам (<http://window.edu.ru>).

2. Национальная электронная библиотека (<http://www.elibrary.ru>).

3. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» (<http://school-collection.edu.ru>).

4. Федеральный Интернет-портал «Российское образование» (<http://www.edu.ru>).

5. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» (<http://www.iprbookshop.ru>).

6. Электронно-библиотечная система «Лань» (<https://e.lanbook.com>).

7. Сайт ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения обучения имеется следующая материально-техническая база:

- аудитория для проведения лекционных занятий и организации защиты рефератов, оборудованная персональными компьютерами, мультимедийным компьютерным проектором, средства звуковоспроизведения (по возможности), проекционным экраном, наличием доступа в информационно-коммуникационную сеть Интернет;
- учебная аудитория, оснащенная комплектом мебели и доской, для проведения консультаций и кандидатского экзамена;
- компьютерные классы с постоянным доступом к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также читальные залы научной библиотеки БГТУ для самостоятельной работы аспирантов.

10. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Изучение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья организуется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

При проведении учебных занятий обеспечивается соблюдение следующих требований:

- учебные занятия проводятся для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в одной аудитории совместно с обучающимися, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, если это не создает трудностей для обучающихся в ходе учебных занятий;
- присутствие ассистента из числа работников БГТУ или привлеченных лиц, оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, общаться с педагогическим работником и т. п.);
- обучающиеся с учетом их индивидуальных особенностей могут пользоваться необходимыми им техническими средствами;
- материально-технические условия должны обеспечивать возможность беспрепятственного доступа обучающихся в аудитории, туалетные и другие помещения, а также их пребывания в указанных помещениях (наличие панду-

сов, поручней, расширенных дверных проемов, лифтов, при отсутствии лифтов аудитория должна располагаться на первом этаже; наличие специальных кресел и других приспособлений).

Университетом созданы специальные условия для получения высшего образования обучающимися с ОВЗ:

- 1) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению:
 - наличие альтернативной версии официального сайта организации в сети "Интернет" для слабовидящих;
 - размещение в доступных для обучающихся, являющихся слепыми или слабовидящими, местах и в адаптированной форме (с учетом их особых потребностей) справочной информации о расписании учебных занятий (информация должна быть выполнена крупным рельефно-контрастным шрифтом (на белом или желтом фоне) и продублирована шрифтом Брайля);
 - присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь;
 - обеспечение выпуска альтернативных форматов печатных материалов (крупный шрифт или аудиофайлы);
 - обеспечение доступа обучающегося, являющегося слепым и использующего собаку-проводника, к зданию организации;
- 2) для лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху:
 - дублирование звуковой справочной информации о расписании учебных занятий визуальной (установка мониторов с возможностью трансляции субтитров (мониторы, их размеры и количество необходимо определять с учетом размеров помещения);
 - обеспечение надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации;
- 3) для лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, материально-технические условия должны обеспечивать возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, столовые, туалетные и другие помещения Университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие пандусов, поручней, расширенных дверных проемов, лифтов, локальное понижение стоек-барьеров; наличие специальных кресел и других приспособлений).

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

11.1. Методические рекомендации для преподавателей

Методика чтения лекций.

Лекции являются одним из основных методов обучения и должны решать следующие задачи:

- изложение наиболее важного материала программы курса, освещающего основные моменты;
- развитие у аспирантов теоретического понятийного мышления.

Главной задачей каждой лекции является раскрытие сущности темы и анализ ее основных положений. Рекомендуется на первой лекции довести до внимания аспирантов структуру курса и его разделы, а в дальнейшем указывать название каждого раздела, суть и его задачи, а, закончив изложение, подводить итог по этому разделу.

Содержание лекций

Содержание лекций определяется настоящей рабочей программой. Желательно, чтобы каждая лекция охватывала и исчерпывала определенную тему и представляла собой логически законченное изложение. Лучше сократить тему и не допускать перерыва ее в таком месте, когда основная идея еще полностью не раскрыта. В случае, если материал невозможно изложить в рамках одной лекции, то на следующей лекции в начале следует сделать краткий обзор материала предыдущей лекции с целью установления логической связи между лекциями.

Рассмотрение теоретических основ функционирования конкретного устройства или прибора необходимо сопровождать представлением временных диаграмм с помощью презентационного оборудования или на доске.

Следует уделять внимание практическим аспектам. Излагаемая формульная база должна быть напрямую привязана к расчетной практике. При подготовке лекций необходимо пользоваться современной литературой или средствами интернет. Содержание и доработку лекционного курса рекомендуется пересматривать раз в год.

Практические занятия

Практические занятия необходимо проводить в форме рассмотрения и решения задач и (или) семинаров по тематике, представленной в данной рабочей программе.

10.2. Методические рекомендации для аспирантов

Для успешного освоения дисциплины необходима регулярная и планомерная работа с конспектом лекций, рекомендуемой литературой, интернетом и типовыми задачами.

Лекционные занятия

Рекомендуется сразу же после окончания лекции просматривать конспект для определения материала, вызывающего затруднения для понимания. После этого необходимо обратиться к рекомендуемой в настоящей программе литературе с целью более углубленного изучения проблемного вопроса. В общем случае работа лишь с одним литературным источником часто является недостаточной для полного понимания. В этом случае рекомендуется просматривать несколько учебников для выбора того, который наиболее полно и доступно освещает изучаемый материал. В случае если проблемы с пониманием остались, необходимо обратиться к преподавателю на ближайшей лекции с заранее сформулированными вопросами.

Для успешного освоения лекционного курса рекомендуется регулярно повторять изученный материал, и проверять свои знания, отвечая на контрольные вопросы в рекомендуемых учебных пособиях.

Практические занятия

На практических занятиях следует уделять внимание применению методик расчета, изложенных на лекциях в реальной расчетной практике. Особое внимание нужно уделять работе с формульной базой, а также обращать внимание на полученные результаты расчета с целью контроля их достоверности с точки зрения физических соображений. Работа на практических занятиях не должна быть механической, поскольку в ряде случаев для расчета нужно применить последовательно несколько расчетных выражений, что в ряде случаев требует творческого подхода.

По работе с литературой

Перед изучением литературы аспиранту рекомендуется ознакомиться с информацией по изучаемой теме предложенной автором дисциплины. Это позволит исключить лишний объем информации и сосредоточиться лишь на необходимом материале. Кроме этого следует уточнить у преподавателя, какой именно литературный источник из приведенного списка наиболее полно раскрывает рассматриваемый вопрос.

12. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

12.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Текущий контроль проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся. Результаты текущего контроля являются допуском к промежуточной аттестации.

Шкала оценивания

Уровень освоения аспирантами учебного материала определяется оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Показатели и критерии оценивания текущих результатов освоения дисциплины

Оценку «отлично» заслуживает аспирант, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные учебной программой, изучивший основную и знакомый с дополнительной литературой.

Оценку «хорошо» заслуживает аспирант, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполнивший предусмотренные учебной программой задания, изучивший основную литературу.

Оценку «удовлетворительно» заслуживает аспирант, обнаруживший знание основного учебного материала в полном объеме, необходимом для подготовки к сдаче кандидатского экзамена, выполнивший предусмотренные учебной программой задания, знакомый с основной литературой.

Оценку «неудовлетворительно» заслуживает обучающийся, обнаруживший пробелы в знаниях основного учебного материала, допустивший принципиальные ошибки при выполнении предусмотренных программой заданий.

12.2. Контрольно-измерительные материалы для текущего контроля успеваемости

12.2.1. Вопросы для текущего контроля успеваемости

Модуль 1 «Турбомашины»

Раздел 1. «Паро- и газотурбинные установки. Применение комбинированных установок»

- 1) Принципиальные схемы паро- и газотурбинных установок для электростанций на органическом и ядерном топливах.
- 2) Схемы парогазовых установок.
- 3) Тепловая эффективность установок и методы ее повышения.
- 4) Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.
- 5) Атомные станции теплоснабжения (АСТ).
- 6) Перспективные схемы турбинных установок для электростанций на органическом и ядерном топливах.
- 7) Тепловые схемы и характеристики комбинированных установок.
- 8) Комбинированные турбинные установки с МГД-генераторами.
- 9) Комбинированные парогазотурбинные установки.
- 10) Теплообменное и сепарационное оборудование тепловых схем ПТУ и ГТУ.

Раздел 2. «Течение сжимаемой жидкости в решетках турбомашин»

- 11) Основные уравнения движения сжимаемой жидкости.
- 12) Турбинные и компрессорные решетки и их аэродинамические характеристики при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.
- 13) Методы расчета плоского и осесимметричного потенциальных потоков в решетках.
- 14) Профилирование лопаток в решетках.

Раздел 3. «Ступени турбомашин»

- 15) Преобразование энергии в турбинной и компрессорной ступенях.
- 16) Выбор характеристик и расчет турбинной и компрессорной ступеней.
- 17) Проектирование ступеней большой веерности.
- 18) Ступени скорости, радиальные и радиально-осевые турбинные ступени.
- 19) Двухъярусные ступени, КПД ступени.
- 20) Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД, степень реактивности и коэффициент расхода ступени.
- 21) Влияние влажности на основные характеристики ступени.
- 22) Переменные аэродинамические силы, вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора.
- 23) Вращающийся отрыв в решетках турбомашин.
- 24) Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.
- 25) Многоступенчатые турбины.

- 26) Тепловой процесс многоступенчатой турбины.
- 27) Концевые уплотнения.
- 28) Впускные и выхлопные патрубки.
- 29) Осевые усилия и их уравнивание.
- 30) Эрозия рабочих лопаток.
- 31) Защита элементов проточной части от эрозии.
- 32) Сепарация влаги из проточной части паровой турбины.
- 33) Выносные сепараторы-пароперегреватели турбин АЭС.

Раздел 4. «Многоступенчатые турбомашин»

- 34) Предельная мощность однопоточной турбины.
- 35) Пути повышения предельной мощности турбин.
- 36) Техничко-экономические основы выбора конструкции турбины.
- 37) Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров турбины.
- 38) Схемы и расчет воздушного и жидкостного охлаждения сопловых и рабочих лопаток и дисков ротора газовых турбин.
- 39) Многоступенчатый осевой компрессор.
- 40) Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора.
- 41) Неустойчивые режимы в работе компрессора.
- 42) Универсальная характеристика.
- 43) Моделирование компрессоров.
- 44) Многоступенчатые центробежные компрессоры.
- 45) Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора.
- 46) Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.
- 47) Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара.
- 48) Ступенчатый подогрев воды.
- 49) Диаграммы режимов турбин.
- 50) Использование для теплофикации тепла ГТУ и АЭС.

Раздел 5. «Переменный режим работы турбомашин»

- 51) Переменный режим работы турбинной ступени.
- 52) Последние ступени конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара.
- 53) Обобщение характеристики турбинных ступеней.
- 54) Распределение давлений по ступеням при изменении режима работ турбины.
- 55) Системы парораспределения.
- 56) Изменение нагрузки турбины при переменном режиме работы, занос солями проточной части.
- 57) Переменный режим работы газотурбинной установки.

Раздел 6 «Металлы, динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин»

58) Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации.

59) Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах.

60) Свойства сталей и сплавов, применяемых в турбиностроении, и требования к ним.

61) Процессы, возникающие в металлах при высоких температурах, длительной работе и переменных нагрузках.

62) Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбин под влиянием агрессивных примесей в паре.

63) Рабочие лопатки, их прочность и вибрации.

64) Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата.

65) Диски, их прочность и вибрации.

66) Вибрации роторов и фундамента.

67) Низкочастотные вибрации роторов.

68) Гидродинамические силы в ступенях, уплотнения в подшипниках.

69) Маневренность турбин.

70) Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость деталей турбин.

Модуль 2 - «Поршневые двигатели»

Раздел 1. Вводная лекция, основанная на курсах «Термодинамика и теплопередача», «Гидрогазодинамика», «Теория рабочих процессов ДВС», «Системы двигателей», «Конструирование двигателей», «Динамика двигателей», «Автоматическое регулирование двигателей» (бакалавриат, магистратура).

1) Рабочие циклы 2-х тактного и 4-х тактного поршневого двигателя. Анализ показателей циклов.

2) Основные показатели рабочего процесса ДВС. Показатели совершенства термодинамического цикла.

3) Газообмен в 2-х тактных и 4-х тактных двигателях. Схемы газообмена. Показатели процесса.

4) Применение наддува с целью улучшения показателей поршневых двигателей. Конструкции турбонаддувных агрегатов.

5) Конструкция поршневых двигателей различного назначения и их систем.

6) Геометрические, кинематические и динамические характеристики кривошипно-шатунного механизма (КШМ) поршневого двигателя. Диаграмма сил, действующих в КШМ поршневого двигателя; полярная диаграмма сил, действующая на шатунные и коренные шейки коленчатого вала; набегающий крутящий момент;

7) Основные положения по уравниванию поршневого двигателя. Центробежные силы инерции, силы инерции первого и второго прядка, моменты, возникающие от инерционных сил в многоцилиндровом двигателе; Механизм Ланчестера.

8) Крутильные колебания коленчатого вала. Понятие собственных и вынужденных колебаний системы, явление резонанса, пример конструкции демпфера крутильных колебаний.

9) Конструкция механического чувствительного элемента (ЧЭ) регулятора частоты вращения. Восстанавливающая и поддерживающая сила, Уравнение статического баланса данных сил.

Раздел 2. Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршневых двигателей). Современные отечественные и зарубежные (учебные и лицензионные) программные комплексы.

10) Понятие дифференциального уравнения. Численное интегрирование (метод Эйлера, улучшенный метод Эйлера, метод Рунге-Кутты).

11) Положения теории термодинамики, теплопередачи и массообмена содержащиеся в основе математической модели рабочего процесса поршневого двигателя.

12) Дифференциальное уравнение, описывающее изменение термодинамических параметров рабочего тела (РТ) в цилиндре поршневого двигателя (описывается процесс массообмена через органы газораспределения, теплообмен РТ со стенками камеры сгорания, теплоподвод к РТ в результате сгорания топлива, отвод внутренней энергии от РТ в результате совершения индикаторной работы).

13) Преобразование исходного дифференциального уравнения в уравнение, решаемое методом конечных разностей. Задание начальных условий.

14) Современные отечественные и зарубежные (учебные и лицензионные) программные комплексы для исследования процессов поршневых двигателей.

Раздел 3. Методология разработки поршневых двигателей с высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям.

15) Применение наддува с целью увеличения эффективной мощности и улучшения экономичности поршневого двигателя. Согласование характеристик турбонаддувочного агрегата и поршневой части двигателя в широком диапазоне нагрузочных режимов двигателя.

16) Использование методов оптимизации при проектировании систем двигателя (системы топливоподачи, газораспределения, системы смазки, и охлаждения).

17) Разработка систем управления двигателя на основе применения электронных средств (микропроцессорное управление).

18) Устройство типового микропроцессора: структурные элементы и функции. Датчики и исполнительные механизмы электронной системы управления поршневым двигателем.

19) Понятия «Оптимизация сложной технической системы», целевой функции, факторного пространства поиска минимума целевой функции.

20) Аналитический метод (на основе анализа производных целевой функции) и численные методы нахождения минимума целевой функции. Методы аппроксимации данных.

21) Понятие «условной» оптимизации (нахождение минимума функции в условиях накладываемых ограничений).

22) Технологии САПР. Классификация методов проектирования энергетических машин: автоматизация проектных работ, оригинальное проектирование, типовое проектирование, адаптивность проектных решений.

23) Интеграция отдельных САПР в единую систему проектирования энергетических машин

24) CAD системы для проектирования энергетических машин: 2-D и 3-D твердотельное моделирование деталей и узлов поршневого двигателя (в ПК Compass-3D, SolidWorks и др.), анимационное представление результатов моделирования динамических процессов.

Раздел 4. Процессы топливоподачи, смесеобразования и сгорания в поршневых двигателях. Улучшение экологических показателей поршневых двигателей (вредные выбросы, акустическое излучение).

25) Требования к качеству приготовления бензовоздушной смеси для карбюраторного и инжекторного двигателя. Способ воспламенения бензовоздушной смеси в цилиндре поршневого двигателя. Конструкция карбюратора, вспомогательные системы карбюратора.

26) Характеристики процессов смесеобразования дизельного двигателя традиционной конструкции и типа «Common Rail» (давление впрыскивания топлива, скорость истечения топлива из распылителя форсунки, скорость распространения топливного факела внутри камеры сгорания, характерные зоны топливного факела).

27) Выбор оптимального угла опережения подачи топлива. Время задержки самовоспламенения топлива и факторы, влияющие на него.

28) Конструкция и принцип действия топливной форсунки дизеля типа «Common Rail» (электрогидравлической, пьезоэлектрической). Форма и параметры электрического импульса, подаваемого системой управления на клапан электрогидравлической форсунки.

29) Статический расчет системы топливоподачи дизельного двигателя (порядок выполнения).

30) Влияние условий смесеобразования в цилиндре поршневого двигателя на образование вредных выбросов (NO_x , CO, CH, сажа). Основы химической кинетики. Скорость химической реакции, формула Аррениуса. Улучшение экологических параметров дизельного двигателя за счет оптимизации процессов смесеобразования и сгорания.

31) «Внешние» способы нейтрализации вредных выбросов: установка нейтрализаторов NO_x и CO и «дожигателя» сажи в системе выпуска дизеля.

32) Способы снижения акустического шума и вибрации поршневого двигателя. Установка глушителей шума; уравнивание инерционных эффектов, установка демпферов (гасителей) колебательных процессов.

12.2.2. Вопросы для выполнения практических контрольных заданий **Модуль 1 - «Турбомашины»**

Раздел 1. Паро- и газотурбинные установки. Применение комбинированных установок.

1. Классификация регенеративных ПТУ?
2. Способы повышения тепловой экономичности ПТУ.
3. Влияние температуры перегрева пара над температурой насыщения на относительный внутренний КПД турбины.
4. Уравнения теплового баланса подогревателей.
5. Как влияние оказывает регенеративный подогрев питательной воды на относительный внутренний к.п.д. паровой турбины?
6. Дайте характеристику тепловых процессов в элементах ПТУ с РППВ.
7. Тепловые процессы и преимущества регенеративных схем ГТУ.
8. Как промежуточное охлаждение воздуха между компрессором низкого давления и компрессором высокого давления влияет на мощность компрессора высокого давления?
9. Дайте характеристику низкотемпературной коррозии.
10. Приведите схему комбинированной парогазотурбинной установки.

Раздел 2. Течение сжимаемой жидкости в решетках турбомашин.

1. Дайте характеристику приведенной скорости рабочего тела?
2. Какой из критериев: число Маха или приведенная скорость имеют большую интенсивность изменения при течении газа в проточной части турбины?
3. Запишите уравнение неразрывности в дифференциальной и интегральной форме.
4. Как изменяется энтальпия рабочего тела в процессе дросселирования?
5. Почему теоретический процесс течения в элементах турбинной ступени принимают адиабатным?
6. Запишите уравнение для теоретического расхода через сопловой аппарат турбинной ступени.
7. Что такое критический режим течения?
8. Как изменится расход рабочего тела через сопловой аппарат при сверхкритическом режиме течения, если понизить давление за соплом?
9. Используя закон обращения воздействия, выберите форму диффузора для торможения потока от сверхкритической скорости до докритической.
10. Что такое угол атаки при обтекании рабочим телом профиля турбинной лопатки?

Раздел 3. Ступени турбомашин.

1. Дайте определение степени реактивности турбинной ступени.
2. Изобразите в si - диаграмме действительный процесс расширения рабочего тела в реактивной турбинной ступени.
3. Как изменяются величина и направление вектора скорости потока за сопловым аппаратом при дополнительном расширении в косом срезе?

4. Какой из критериев: число Маха или приведенная скорость имеют большую интенсивность изменения при течении газа в проточной части турбины?

5. Почему в уравнение закона сохранения энергии для потока не входит работа сил трения?

6. Как изменяется энтальпия рабочего тела в процессе дросселирования?

7. Что такое безударное обтекание профиля турбинной лопатки?

8. Изобразите в si - диаграмме действительный процесс расширения рабочего тела в реактивной турбинной ступени.

9. Как изменяются величина и направление вектора скорости потока за сопловым аппаратом при дополнительном расширении в косом срезе?

10. Постройте треугольники скоростей для осевой турбинной ступени с реактивностью $\rho=0$ и $\rho=0,5$.

Раздел 4. Многоступенчатые турбомашины.

1. Чем вызвано использование многоступенчатых турбин? Изобразите в si - диаграмме рабочий процесс многоступенчатой турбины с двумя ступенями скорости.

2. Приведите график внешних характеристик турбины.

3. Что такое оптимальная частота вращения ротора турбины?

4. Многоступенчатые тепловые турбины. Явление возврата тепла.

5. Оптимальное число ступеней многоступенчатой паровой турбины.

6. Изобразите тепловой процесс в si -диаграмме в многоступенчатой влажнопаровой турбине.

7. Дайте общую характеристику потерь в проточной части многоступенчатой турбины, учитываемых относительным внутренним к.п.д..

8. Приведите основные способы повышения предельной мощности турбомашин.

9. Что такое «Предельный вакуум ПТУ»?

10. Основные способы охлаждения проточной части газовых турбин и необходимость применения охлаждения.

Раздел 5. Переменный режим работы турбомашин.

1. Что такое режим "самоходности" газотурбинного двигателя?

2. Как изменяется степень реактивности по длине лопатки?

3. Дайте характеристику устройства. защиты ГТД от превышения частоты вращения ротора.

4. Назначение системы впрыска пара [воды] в ГТД?

5. Что такое безударное обтекание профиля турбинной лопатки?

6. Как изменяется оптимальная скоростная характеристика турбинной ступени при увеличении внутренних потерь энергии?

7. Как изменится мощность турбины при переходе на утяжеленную винтовую характеристику с сохранением частоты вращения?

8. Как изменится крутящий момент турбины при понижении частоты вращения и сохранении начальных параметров рабочего тела и давления за турбиной?

9. Как влияет понижение давления за ступенью на расход рабочего тела при докритическом режиме?

Раздел 6. Металлы, динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин.

1. Особенности работы металлов при высоких температурах.
2. Определение критической частоты вращения вала постоянного диаметра без дисков.
3. Расчет диска постоянного сечения с втулкой и отверстием для вала.
4. Вынужденные колебания лопаток.
5. Расчет диска произвольного профиля.
6. Предельная ометаемая площадь рабочих лопаток.
7. Обеспечение вибрационной надежности облопачивания.
8. Расчет температурных напряжений в диске.
9. Колебания единичной лопатки.
10. Расчет на прочность вала турбины.
11. В каких случаях для оценки работоспособности используют запас прочности, а в каких – запас долговечности?
12. Какие известны конструктивные способы повышения эффективности охлаждения лопаток?
13. Как рассчитывают охлаждаемые лопатки турбин, работающих на
14. Какие известны методы расчетов дисков произвольного профиля? В чем их отличие?
15. Какие виды концентраторов напряжений имеются в дисках? Как они влияют на напряженное состояние дисков?
16. Как проявляется ползучесть материала при работе диска? Как она учитывается в расчетах?
17. От каких конструктивных факторов зависят собственные частоты колебаний лопаток?
18. В чем заключаются особенности выбора материалов для охлаждаемых лопаток газовых турбин?
19. Какие особенности применения титановых сплавов в ГТ и КУ?
20. Что собой представляет композиционный материал для лопаток газовых турбин?

Модуль 2 - «Поршневые двигатели»

Раздел 1. Курсы «Термодинамика и теплопередача», «Гидрогазодинамика», «Теория рабочих процессов ДВС», «Динамика двигателей», «Автоматическое регулирование двигателей» (бакалавриат, магистратура).

1. Написать универсальное уравнение состояния идеального газа (формула Клайперона-Менделеева).
2. Написать формулу для вычисления показателя политропного термодинамического процесса. Показать случаи, когда показатель политропного процесса может принимать отрицательное значение.

3. Написать уравнение сохранения импульса потока (уравнение Навье-Стокса) с учетом и без учета эффекта вязкостного трения.
4. Написать формулу расчета термического КПД цикла (η_t) поршневого двигателя (цикла Карно). Отобразить цикл Карно в координатах P - V и T - S .
5. Нарисовать индикаторный процесс двигателя (со смешанным подводом тепла) в координатах P - V и T - S .
6. Вывести формулу для пересчета удельного эффективного расхода топлива (g_e) в эффективный коэффициент полезного действия (η_e).
7. Рассчитать удельный эффективный расход топлива на основе данных, получаемых в ходе натурных испытаний двигателя.
8. Выполнить расчет и построить график зависимостей:
 - перемещения поршня s ;
 - сил инерции поступательно движущихся масс КШМ двигателя P_j в функции от угла поворота коленчатого вала φ .
9. Нарисовать полярную диаграмму сил, действующих на шатунную шейку двигателя.
10. Нарисовать структурную схему механизма Ланчестера для уравнивания одноцилиндрового поршневого двигателя.
11. Определить функцию коэффициента динамической устойчивости режима работы для судового дизеля (работа на винт фиксированного шага).
12. Нарисовать структурную схему чувствительного элемента регулятора частоты вращения двигателя.
13. Дать определение, что такое «восстанавливающая сила E » и «поддерживающая сила $A\omega^2$ » чувствительного элемента. Привести формулы расчета сил E и $A\omega^2$.

Раздел 2. Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршневых двигателей). Современные отечественные и зарубежные программные комплексы.

1. Численным методом выполнить интегрирование заданного в аналитической форме дифференциального уравнения (применить метод конечных разностей Эйлера). Задание выполнить в среде программирования MS Excel.

2. Написать дифференциальное уравнение, описывающее изменение внутренней энергии рабочего тела (РТ) в цилиндре поршневого двигателя (с учетом процессов массообмена через органы газораспределения, теплообмена РТ со стенками камеры сгорания, теплоподвода к РТ в результате сгорания топлива, отвода внутренней энергии от РТ в результате совершения индикаторной работы).

3. Преобразовать исходное дифференциальное уравнение (п.2) в уравнение в терминах конечных разностей. Задать начальные условия. Выполнить интегрирование уравнения с использованием метода конечных разностей (методом Эйлера) в среде программирования MS Excel.

4. Охарактеризовать широко используемые отечественные и зарубежные (учебные и лицензионные) программные комплексы для исследования (моделирования) процессов поршневых двигателей.

Раздел 3. Методология разработки поршневых двигателей с высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям.

1. По методу Греневецкого-Мазинга выполнить два варианта расчета рабочего процесса дизеля Д-240:

- цикл без применения наддува;
- цикл, с применением наддува.

Расчеты выполнить в среде программирования MS Excel. Дать анализ характера изменения параметров двигателя при использовании наддува.

2. Дайте определение понятиям «Оптимизация сложной технической системы», целевая функция, факторное пространство поиска минимума целевой функции. Дать определение понятию «оптимизация с накладываемыми условиями».

3. Какие параметры поршневого двигателя (систем двигателя) могут быть выбраны в качестве оптимизируемых и какие, - в качестве независимых определяющих факторов, образующих факторное пространство?

4. Найти аналитическим методом и численным методом минимум целевой функции, заданной в форме полной квадратики от двух переменных.

5. Понятие технологии САПР. Привести классификацию методов проектирования энергетических машин.

6. Описать порядок твердотельного моделирования детали поршневого двигателя в ПК «Compass-3D» («SolidWorks и др.).

7. Выполнить анимационное представление результатов твердотельного моделирования узловой сборки поршневого двигателя (коленчатый вал двигателя + маховик).

Раздел 4. Процессы топливоподачи, смесеобразования и сгорания в поршневых двигателях. Улучшение экологических показателей поршневых двигателей (вредные выбросы, акустическое излучение).

1. Как определить оптимальный угол опережения подачи топлива в цилиндры двигателя?

2. От каких факторов зависит период задержки воспламенения смеси в камере сгорания дизельного двигателя? Напишите формулу Вошни для вычисления периода задержки воспламенения.

3. Как зависит дисперсность распыления топлива от давления, под которым осуществляется впрыскивание топлива?

4. С какой целью осуществляют многократное (многофазное) впрыскивание топлива?

5. Что означают термины «интегральная» и «дифференциальная» характеристика тепловыделения в цилиндре поршневого двигателя ?

6. Какие основные вредные химические компоненты содержатся в выпускных газах поршневых двигателей (бензиновых и дизельных)?

7. С какой целью осуществляют повышение давления впрыскивания топлива?

9. Нарисуйте структурную схему системы топливоподачи типа «Common Rail». Под каким давлением находится топливо в аккумуляторе данной системы? Зависит ли данное давление от режима работы дизеля ($M_{кр}$, n)?

10. Нарисуйте структурную схему системы рециркуляции отработавших газов, которая применяется для снижения выбросов окислов азота.