



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

Факультет энергетики и электроники

(наименование факультета/института)

Тепловые двигатели

(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

по учебной работе и цифровизации

_____ **В.А. Шкаберин**

«25» апреля 2023 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

Турбوماшины и поршневые двигатели

(наименование дисциплины)

2.4.7. Турбوماшины и поршневые двигатели

(код и наименование научной специальности)

Технические науки

(наименование отрасли наук)

высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

(уровень образования)

Очная

(форма обучения)

2023

(год набора)

Брянск 2023

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине

Турбوماшины и поршневые двигатели*(наименование дисциплины)***2.4.7. Турбوماшины и поршневые двигатели***(код и наименование научной специальности)*

Разработал:

Зав. кафедрой «ТД»,

Д.Т.Н., доцент

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

А.А. Обозов

*(И.О. Фамилия)*Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Тепловые двигатели*(наименование кафедры, ответственной за реализацию дисциплины)*

«04» апреля 2023 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой

Д.Т.Н., доцент

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

А.А. Обозов

(И.О. Фамилия)

© Обозов А.А., 2023

© ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет», 2023

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программа кандидатского экзамена предназначена для сдачи аспирантами кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Турбомашины и поршневые двигатели» по программе аспирантуры по научной специальности 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Цель кандидатского экзамена – установить глубину профессиональных знаний аспиранта, уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Основными задачами является выявление:

- сформированности навыков и умений в области теории и практики разработки и создания турбомашин и поршневых двигателей;
- уровня знаний по темам исследования и моделирования турбомашин и поршневых двигателей.

2. МЕСТО КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине «Турбомашины и поршневые двигатели» является промежуточной аттестацией дисциплины «Электротехнические комплексы и системы», относится к образовательному компоненту программы аспирантуры и реализуется на 4 курсе в 1 семестре.

3. ОБЪЕМ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Общая трудоемкость кандидатского экзамена по специальной дисциплине составляет 1 зачетная единица (36 академических часа).

4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

4.1. Структура программы кандидатского экзамена

Структура кандидатского экзамена представлена в виде тематического плана в таблице 2.

Таблица 2 – Тематический план кандидатского экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
Модуль 1 - «Турбомашины»		
1	Паро- и газотурбинные установки. Применение комбинированных установок	Принципиальные схемы паро- и газотурбинных установок 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 аэродинами-

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
		ческие 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.
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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
		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 двигателей (традиционной конструкции, с ТПА типа «Common Rail»)..</p>
2	Численное математическое моделирование рабочих процессов поршневых двигателей (систем поршне-вых двигателей). Современные отечественные и зарубежные программные комплексы.	<p>Численное математическое моделирование; решение дифференциального уравнения численными методами.</p> <p>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.</p> <p>Численное математическое моделирование рабочего процесса поршневого двигателя в среде программиро-</p>

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (дидактические единицы)
		вания «MS Excel»; программные комплексы «Compass-3D», «Дизель - ПК», «AVL Fire», «Ansys Forte».
3	Методология разработки поршневых двигателей, обладающих высокими технико-экономическими показателями, отвечающих современным требованиям..	Технико-экономические показатели поршневых двигателей: моторесурс, экономичность, ремонтпригодность, «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. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

5.1. 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 втузов, 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.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для сдачи кандидатского экзамена:

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>.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

Для обеспечения проведения кандидатского экзамена имеется следующая материально-техническая база:

- 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.

7. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Проведение кандидатского экзамена для аспирантов с ограниченными возможностями здоровья проводится с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья.

При проведении промежуточной аттестации обеспечивается соблюдение следующих требований:

- для аспирантов из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья промежуточная аттестация проводится с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (далее - индивидуальные особенности);
- проведение мероприятий по промежуточной аттестации для лиц с ограниченными возможностями здоровья в одной аудитории совместно с аспирантами, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, допускается, если это не создает трудностей для аспирантов;

- присутствие в аудитории ассистента, оказывающего аспирантам необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, понять и оформить задание, общаться с преподавателем);
- предоставление аспирантам при необходимости услуги с использованием русского жестового языка, включая обеспечение допуска на объект сурдопереводчика, тифлопереводчика (в организации должен быть такой специалист в штате (если это востребованная услуга) или договор с организациями системы социальной защиты по предоставлению таких услуг в случае необходимости);
- предоставление аспирантам права выбора последовательности выполнения задания и увеличение времени выполнения задания (по согласованию с преподавателем);
- по желанию аспиранта устный ответ при контроле знаний может проводиться в письменной форме или наоборот, письменный ответ заменен устным.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ АСПИРАНТОВ

Сдача аспирантом кандидатского экзамена по специальной дисциплине «Турбомашины и поршневые двигатели» относится к оценке результатов освоения дисциплины «Турбомашины и поршневые двигатели», осуществляемой в рамках промежуточной аттестации.

Для приема кандидатского экзамена по специальной дисциплине создается экзаменационная комиссия. Регламент работы экзаменационной комиссии определяется Положением об экзаменационной комиссии и порядке приема кандидатских экзаменов в БГТУ.

Шкала оценивания

Уровень знаний аспиранта определяется оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Показатели и критерии оценивания промежуточной аттестации

Оценка «отлично» - аспирант дает полные, исчерпывающие и аргументированные ответы; грамотно использует научную терминологию; умеет связывать теорию с практикой, высказывать и обосновывать свои суждения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на три вопроса экзаменационного билета.

Оценку «хорошо» - аспирант дает достаточно полные и аргументированные ответы; применяет научную терминологию, но при этом допускает ошибку или неточность в определениях, понятиях; умеет связывать теорию с практикой, высказывать и обосновывать свои суждения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на три вопроса экзаменационного билета. Допускаются незначительные недочеты и неточности, которые аспирант исправляет самостоятельно в процессе беседы с экзаменационной комиссией.

Оценку «удовлетворительно» - аспирант дает неполные и слабо аргументированные ответы; допускает существенные терминологические неточности;

частично аргументирует собственную позицию или точку зрения. Во время экзамена аспирант должен подробно ответить на один вопрос экзаменационного билета и частично на два других вопроса.

Оценку «неудовлетворительно» - отмечается отсутствие знания терминологии, научных оснований, признаков, характеристик рассматриваемой проблемы; не представлена собственная точка зрения по данному вопросу. Во время экзамена аспирант частично отвечает на вопросы.

8.1. Контрольно-измерительные материалы для промежуточной аттестации аспирантов

8.1.1. Вопросы для промежуточной аттестации аспирантов

Модуль 1 «Турбомашин»

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.