

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Кафедра «Тепловые двигатели и гидромашинны» (МКЗ)

ПРОГРАММА

вступительного экзамена

в аспирантуру по научной специальности

2.4.7 «Турбомашинны и поршневые двигатели»

Калуга, 2024 г.

Введение

Программа предназначена для готовящихся к поступлению в аспирантуру по научной специальности 2.4.7 «Турбомашины и поршневые двигатели».

Прием на обучение осуществляется на конкурсной основе по результатам вступительных испытаний.

Программа содержит перечень вопросов для вступительных испытаний и список литературы, рекомендуемой для подготовки. Программа состоит из трех разделов: Механика жидкости и газа; Теплофизика и теоретическая теплотехника; Циклы двигателей. Турбомашины и турбоустановки.

Программа разработана кафедрой «Тепловые двигатели и гидромашины» (МКЗ) КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Раздел 1. Механика жидкости и газа

1. Динамика жидкой среды.

Математическая трактовка сплошности среды. Классификация сил, действующих в жидкости. Силы массовые и поверхностные. Уравнения движения в формах Эйлера, Навье-Стокса. Начальные и граничные условия. Уравнение Бернулли для установившегося движения.

2. Основы теории пограничного слоя.

Свойства пограничного слоя. Начальные и граничные условия. Ламинарный пограничный слой несжимаемой жидкости на плоскости пластины. Турбулентный пограничный слой на плоской пластине. Интегральные соотношения импульсов Кармана. Приближенные методы решения уравнений пограничного слоя. Отрыв пограничного слоя. Управление пограничным слоем.

3. Турбулентные течения.

Возникновение турбулентности и влияние различных факторов на устойчивость ламинарного пограничного слоя. Турбулентные касательные напряжения. Полуэмпирические теории турбулентности. Условные толщины пограничного слоя.

4. Основы теории сверхзвуковых течений.

Скорость распространения малых возмущений. Возникновение скачков уплотнения. Ударная адиабата. Ударная поляра. Коэффициент сохранения полного давления. Оптимальная система скачков уплотнения. Взаимодействие скачка уплотнения с пограничным слоем. Турбинные и компрессорные решетки и их аэродинамические характеристики при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.

5. Гидродинамическое подобие. Критерии подобия. Одномерное описание неустановившегося движения невязкой жидкости с учетом ее сжимаемости. Гидравлический удар. Кинематика и динамика невязкой жидкости. Кинематика плоского течения. Струйные течения. Кавитация. Обтекание тел. Неустановившееся движение вязкой жидкости.

Раздел 2. Теплофизика и теоретическая теплотехника

1. Развитие представлений о природе теплоты. Термодинамика как наука о способах обмена энергией. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамические параметры, функции состояния. Уравнение состояния.

2. Равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Внутренняя энергия системы. Теплота и работа как способы передачи энергии. Первый закон термодинамики. Основные

процессы изменения состояния. Теплоемкость. Вычисление теплоты процессов через теплоемкости.

3. Термическое и калорическое уравнения состояния. Уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. Обратимые и необратимые процессы и циклы. Второй закон термодинамики. Условия взаимного превращения теплоты и работы.

4. Цикл и теоремы Карно. Приведенное тепло. Термический КПД обратимого цикла Карно. Энтропия и абсолютная температура. Вычисление энтропии идеального газа в переменных Р-Т. Основное термодинамическое неравенство.

5. Дифференциальные соотношения для энтальпии, внутренней энергии и теплоемкостей. Характеристические функции и термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия и энтальпия как термодинамические потенциалы.

6. Теплоемкости одно- и многоатомных газов. Тепловая теорема Нернста. Недостижимость абсолютного нуля, вырождение идеального газа.

7. Химический потенциал. Условия равновесия сложных систем. Фазовые диаграммы чистого вещества, тройная и критические точки.

9. Закон действующих масс. Фазовые переходы 1-го рода. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Термодинамическое подобие. Закон соответственных состояний. Основные термодинамические процессы и их расчет с помощью таблиц или диаграмм.

10. Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля - Томсона. Теплосиловые термодинамические циклы. Характеристики циклов, оценка влияния начальных параметров на КПД.

11. Уравнение переноса массы, импульса, энергии. Плотность потоков массы, импульса и энергии. Уравнения сохранения. Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые условия.

12. Стационарная теплопроводность, решение задач для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла. Нестационарная теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей. Нелинейная теплопроводность. Тепловые волны. Приближенные численные методы решения.

13. Методы подобия и размерностей в теории теплообмена. Критерии подобия, критериальные уравнения теплообмена. Теплоотдача при естественной и вынужденной конвекции. Теплообмен и трение при турбулентном обтекании пластины несжимаемой жидкостью.

14. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при конденсации из парогазовой смеси. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения. Кризис кипения. Механизм теплообмена при пленочной конденсации. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном движении паровой пленки.

15. Основные законы теплового излучения. Формула Планка. Закон Кирхгофа. Законы Вина и Стефана-Больцмана. Лучистый теплообмен между телами. Теплообмен в излучающих и поглощающих средах.

Раздел 3. Циклы двигателей. Турбомашин и турбоустановки

1. Основные свойства теплосиловых циклов двигателей и холодильных машин. Анализ эффективности обратимых циклов. Методы анализа эффективности необратимых циклов. Поршневые двигатели внутреннего сгорания, циклы двигателей внутреннего сгорания: цикл Отто, цикл Дизеля. Сравнение циклов Отто и цикла Дизеля.

2. Циклы поршневых двигателей внешнего сгорания. Особенности двигателей внешнего сгорания. Цикл паровой машины. Цикл Стирлинга. Разновидности и применение поршневых двигателей внешнего сгорания.

3. Тепловые циклы турбинных установок. Принципиальные тепловые схемы паро- и газотурбинных установок для электростанций. Схемы парогазовых установок. Тепловая эффективность установок и методы ее повышения. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.

4. Ступень турбомшины. Преобразование энергии в турбинной и компрессорной ступенях. Выбор характеристик и расчета турбинной и компрессорной ступеней. Проектирование ступеней большой верности. Ступени скорости, радиальные и радиально-осевые турбинные ступени. Двухрусные ступени. КПД ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД, степень реактивности и коэффициенты расхода ступени. Влияние влажности на основные характеристики ступени.

5. Течение двухфазного рабочего тела в проточной части турбомашин. Основные особенности движения переохлажденного и влажного пара в проточной части турбины. Процессы неравновесного влагообразования и методы их расчета. Влияние влажности на экономичность и надежность турбомашин.

6. Нестационарные явления в турбомашинах. Переменные аэродинамические силы, вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер. Вращающийся отрыв в решетках турбомашин. Пульсация давления в потоках влажного пара. Нестационарные скачки конденсации.

7. Многоступенчатые турбины. Тепловой процесс многоступенчатой турбины. Концевые уплотнения. Впускные и выхлопные патрубки. Осевые усилия и их уравнивание. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины.

8. Выбор конструкции и расчет многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной турбины, пути повышения предельной мощности турбины. Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров турбины. Технико-экономическая основа выбора конструкции турбины. Схемы и расчет воздушного и жидкостного охлаждения сопловых и рабочих лопаток и дисков ротора газовых турбин.

9. Основы расчета и проектирования многоступенчатых компрессоров. Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы работы компрессора Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.

10. Переменный режим работы турбин. Переменный режим работы турбинной ступени. Последние ступени конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Системы парораспределения. Изменение нагрузки турбины методом скользящего деления. Методы расчета турбины при переменном режиме работы. Занос солями проточной части. Переменный режим работы газотурбинной установки.

11. Теплообмен в элементах турбомашин. Основные уравнения теплопроводности. Теплообмен при фазовых превращениях. Конвективный теплообмен при пористом охлаждении и газовых завесах. Распределение температур в охлаждаемых турбинных лопатках, роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин.

ЛИТЕРАТУРА к разделам 1,3

1. В.С. Бекнев, О.М. Панков, Р.А. Янсон "Газовая динамика газотурбинных и комбинированных установок", Машиностроение, 1973г., учебное пособие.
2. Щегляев А.В. Паровые турбины. М:"Энергия", 1976.
3. Костюк А.Г., А.Г. Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. М.:"Высшая школа", 1979.
4. Елисеев Ю.С., Манушин Э.А., Михальцев В.Е. и др. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов/ –2-е изд., – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
5. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. -М: МЭИ, 2002 г., 574 с.
6. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. М.: Машиностроение, 1982
7. Самойлович Г.С. Гидроаэромеханика. М.: Машиностроение, 1980.
8. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. Л.: Машиностроение, 1982.
9. Самойлович Г.С. Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.: Энергоиздат, 1982.

ЛИТЕРАТУРА к разделу 2

1. Теория теплообмена. /под редакцией А.И. Леонтьева, М., Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана 1997 г.
2. Кириллин В, А., Шейндлин А.Е., Сычев В. В, Техническая термодинамика. Издание 4-ое, М., Энергоиздат, 1983 г.
3. Теплоэнергетика и теплотехника (справочная серия) в 4-х книгах. Книга 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды, 1973г., м., издательство «Наука».
5. Архаров А.М. Теплотехника 2001г., М., издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.
6. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М., Атомиздат, 1979г.
7. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло -массообмена.

Составили:

Заведующий кафедрой тепловых двигателей и гидромашин



А.А. Жинов

Доцент кафедры тепловых двигателей и гидромашин



Д.В. Шевелев

Заведующий кафедрой тепловых двигателей и гидромашин
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана



А.А. Жинов