

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»



ПРОГРАММА
вступительных испытаний
по специальной дисциплине Теплофизика и теоретическая теплотехника

программа подготовки научных и научно-педагогических кадров
в аспирантуре
по научной специальности 1.3.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника

Воронеж 2022 г.

Программа составлена в соответствии с Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)".

Программа разработана профессор В.М. Попов

Программа вступительных испытаний утверждена на заседании кафедры электротехники, теплотехники и гидравлики протокол № 8 от 11.03.2022 г.

Заведующий кафедрой электротехники,
теплотехники и гидравлики
профессор



О.Р. Дорняк «07» апреля 2022 г.

ПРОГРАММА
вступительного экзамена
«Теплофизика и теоретическая теплотехника»

1. Термодинамика

1.1. Газ как рабочее тело.

Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.

Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Уравнение первого закона термодинамики.

Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термодинамического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

1.2. Аналитические методы термодинамики.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики. Уравнение Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Теплоемкости.

Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.

Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.

1.3. Анализ термодинамических процессов.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля-Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процесс смешения. Процессы сжатия в компрессоре.

Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.

1.4. Анализ термодинамических циклов.

Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.

Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокомпрессионной холодильной установки. Цикл парожетторной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки. Цикл термоэлектрической холодильной установки. Принцип работы теплового насоса. Методы сжижения газов.

Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

2. Тепло- и массообмен

2.1. Способ передачи тепла теплопроводностью.

Теплопроводность. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Метод перемножения решений.

2.2. Конвективный теплообмен

Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена. Тройная аналогия.

Теплообмен при внешнем обтекании тела. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польшаузена. Соотношение для расчета теплообмена при различных числах Прандтля. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.

Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в

пограничном слое, ее модернизированный вариант (двухслойная схема), расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен на проницаемой поверхности. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

Теплообмен при течении жидкости в каналах. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

Теплообмен при свободной конвекции. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.

2.3. Теплообмен при фазовых переходах.

Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные условия совместности на межфазных границах. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.

Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Качественные закономерности капельной конденсации.

Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении.

Кризисы кипения в большом объеме.

Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, нагретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

2.4. Сложный теплообмен.

Совместные процессы тепло- и массопереноса. Общая характеристика процессов переноса массы и энергии. Состав смеси, диффузионные потоки, коэффициент диффузии. Перенос энергии и импульса в смеси.

Аналогия процессов тепло- и массообмена. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.

Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа.

Сублимация поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Коэффициент аккомодации. Зависимость скорости сублимации от температуры поверхности тела.

Термическое разложение тела, обтекаемого высокотемпературным потоком химически активного газа.

Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком.

Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Взаимодействие процессов горения и испарения.

2.5. Теплообмен излучением.

Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело.

Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

Теплообмен излучением в диатермической среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты). Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса энергии излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.

3. Основы расчёта теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты.

Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы, камеры сгорания ракетных

двигателей, бланкет термоядерного реактора. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Способы тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучистого) нагрева.

Проникающее охлаждение. Эффект вдува. Теплообмен между пористой матрицей и фильтрующимся охладителем.

Вопросы вступительного экзамена «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

1. Основные параметры состояния газа.
2. Понятия о термодинамическом процессе.
3. Смеси идеальных газов.
4. Теплоемкость газов, их разновидности.
5. Внутренняя энергия.
6. Энтальпия газа.
7. Работа процесса.
8. Теплота процесса.
9. Энтропия газа.
10. Первый закон термодинамики.
11. Изохорный процесс.
12. Изобарный процесс.
13. Изотермный процесс.
14. Адиабатный процесс.
15. Политропный процесс.
16. Понятие о термодинамическом цикле.
17. Процессы истечения газов и паров.
18. Дросселирование газов и паров.
19. Цикл ДВС с подводом тепла при $v = \text{const}$.
20. Цикл ДВС с подводом тепла при $p = \text{const}$.
21. Цикл ДВС с комбинированием тепла.
22. Водяной пар.
23. Диаграммы водяного пара.
24. Цикл ПСУ.
26. Цикл компрессионной холодильной установки.
27. Цикл одноступенчатого поршневого компрессора.
28. Способы передачи тепла через тела и между телами.
29. Теплопроводность. Закон Фурье.
30. Коэффициент теплопроводности.
31. Теплопроводность плоских стенок.

32. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
33. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости в трубе.
34. Теплоотдача при поперечном обтекании цилиндров.
35. Теплоотдача при кипении жидкости.
36. Теплоотдача при конденсации пара.
37. Лучистый теплообмен. Закон Стефана-Больцмана.
38. Излучательная способность тела.
39. Степень черноты тела.
40. Теплопередача. Уравнение теплопередачи.
41. Теплопередача через плоские стенки.
42. Интенсификация процесса теплопередачи.
43. Тепловая изоляция.
44. Теплообменные аппараты.
45. Уравнение для расчета теплообменников.
46. Конструктивный расчет теплообменных аппаратов.

Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру

Оценка	Критерии
Отлично	<ol style="list-style-type: none"> 1. Полно раскрыто содержание материала в объеме программы вступительного экзамена в аспирантуру. 2. Четко и правильно даны определения и раскрыто содержание материала. <p align="center">Ответ самостоятельный, при ответе использованы знания,</p> 3. знания, приобретенные ранее. 4. Сформированы навыки исследовательской деятельности.
Хорошо	<ol style="list-style-type: none"> 1. Раскрыто основное содержание материала в объеме программы вступительного экзамена в аспирантуру. 2. В основном правильно даны определения, понятия. 3. Материал изложен неполно, при ответе допущены неточности, нарушена последовательность изложения. 4. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов. Практические навыки нетвердые.
Удовлетворительно	<ol style="list-style-type: none"> 1. Усвоено основное содержание материала, но изложено фрагментарно, не всегда последовательно. 2. Определения и понятия даны не четко. 3. Допущены ошибки при выводах. 4. Практические навыки слабые.
Неудовлетворительно	<ol style="list-style-type: none"> 1. Основное содержание учебного материала не раскрыто. 2. Не даны ответы на дополнительные вопросы преподавателя. 3. Допущены грубые ошибки в определениях. 4. Отсутствуют навыки исследовательской деятельности.

Библиографический список
Основная литература

1. Цветков Ф. Ф. Тепломассообмен [Текст] : доп. М-вом образования Рос. Федерации в качестве учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по энергет. специальностям / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2005. - 550 с.

Дополнительная литература

1. Теплотехника [Текст] : доп. УМО вузов РФ по образованию в обл. трансп. машин трансп.-технол. комплексов учеб. для студентов высш. учеб. заведений / М. Г. Шатров, И. Е. Иванов, С. А. Пришвин, Л. М. Матюхин, А. Ю. Дунин, В. Е. Ерещенко; под ред. М. Г. Шатрова. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2012. - 288 с.

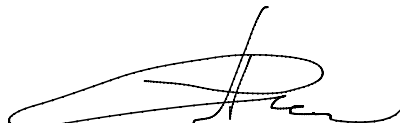
2. Инженерно-физический журнал [Текст] : журнал / Ин-а тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларусь. - Минск : Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова, 1958.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети
«Интернет»

1. Электронный каталог научной библиотеки ВГЛТА [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://195.98.72.241:8080/MarcWeb2/Default.asp/> – Загл. с экрана.

2. eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>. – Загл. с экрана.

Программу составил:
д. т. н., профессор



В.М. Попов