

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЕНИЯ имени К.Г. РАЗУМОВСКОГО
(Первый казачий университет)»**
(ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)»)

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель учебно-методического совета
Н.В. Жукова
« _____ 2021 г.



**Программа вступительных испытаний
в магистратуру по направлению
16.04.01 «Техническая физика»**

Магистерская программа
«Организация научно-исследовательских работ в области низких температур»

Москва
2021

Содержание

I. Требования к проведению вступительного испытания	4
II. Процедура сдачи вступительного испытания	4
III. Критерии экзаменационной оценки	5
IV. Содержание программы вступительного испытания.....	5
Численное решение задач теплофизики с применением вычислительной техники	6
Определение теплофизических свойств веществ на основе уравнения состояния	6
Определение функциональной зависимости между величинами по результатам их экспериментального исследования.....	6
Устойчивость схем дискретизации задачи, описываемой обобщенным уравнением переноса.	7
Обзор характерных задач теплофизики, решаемых численными методами .	8
Особенности низкотемпературных технических систем.....	8
Основные термодинамические процессы и их графическое изображение на диаграммах.	8
Основы расчета холодильных установок с вихревой трубой.....	8
Основные положения теплопроводности.	9
Основные положения конвективного теплообмена.....	9
Рекомендуемая литература	9
Вопросы для подготовки к вступительному испытанию.....	10

Настоящая программа составлена на основе требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки магистров 16.04.01 «Техническая физика»

Экзаменационные вопросы охватывают темы, необходимые для обучения по образовательной программе «Организация научно-исследовательских работ в области низких температур».

Поступающий в магистратуру сдает междисциплинарный экзамен в форме письменного вступительного испытания.

I. Требования к проведению вступительного испытания

Вступительное испытание в магистратуру МГУТУ имени К.Г. Разумовского (ПКУ) по направлению подготовки магистров 16.04.01 Техническая физика включает в себя три вопроса теоретической части.

Поступающий в магистратуру должен:

- **знать:** основные этапы численного решения теплофизических задач; Федеральные законы и нормативные документы в области ядерной энергетики; математическую постановку задачи и методы ее решения; математические проблемы численного решения задачи определения термодинамических свойств чистого вещества в заданной области изменения температуры и давления, пароэжекторные холодильные установки преобразования энергии;

- **уметь:** определять функциональную зависимость между экспериментально исследованными теплофизическими величинами с помощью метода наименьших квадратов (МНК), проводить статистическую обработку экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов (МНК) при использовании линейных параметрических моделей, решать дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в однофазной среде;

- **владеть:** навыками решения задач, описываемых уравнениями переноса, в пространственно-неоднородных системах, в системах с переменными физическими свойствами, навыками проведения анализа, расчета и оптимизации на основе использования специальных разделов термодинамики, навыками проведения системного анализа низкотемпературных устройств.

II. Процедура сдачи вступительного испытания

Поступающий в магистратуру по направлению 16.04.01 «Техническая физика» (образовательная программа «Организация научно-исследовательских работ в области низких температур») сдает междисциплинарное комплексное вступительное испытание **в форме письменного вступительного экзамена.**

Все вопросы вступительного собеседования оцениваются экзаменационной комиссией отдельно, по 100-балльной шкале. Итоговая оценка за вступительное испытание определяется на основании среднего

арифметического баллов, набранных абитуриентом по каждому из трех вопросов. Неудовлетворительная оценка по одному из вопросов (ниже 60 баллов) автоматически ведет к неудовлетворительной оценке за вступительное испытание в целом.

В состав экзаменационной комиссии входят: научный руководитель магистерской программы, ведущие преподаватели института «Технологии пищевых продуктов». Вступительное испытание оценивают в соответствии с требованиями Министерства образования и науки РФ.

III. Критерии экзаменационной оценки

ECTS	Баллы %	Критерии выставления оценки
A	90-100	Прекрасное знание рассматриваемого вопроса, с совершенно незначительными неточностями
B	82-89	Хорошее знание рассматриваемого вопроса, но с некоторыми неточностями
C	75-81	В целом неплохое знание рассматриваемого вопроса, но с заметными ошибками
D	67-74	Слабое знание рассматриваемого вопроса, с весьма заметными ошибками
E	60-66	Самое общее представление о рассматриваемом вопросе, отвечающее лишь минимальным требованиям. Серьезные ошибки
F	0-59	Полное незнание рассматриваемого вопроса. Грубейшие ошибки

По результатам вступительного испытания поступающий имеет право подать в апелляционную комиссию письменное заявление о нарушении, по его мнению, установленного порядка проведения испытания и (или) несогласии с его результатами в соответствии с Положением об апелляционной комиссией.

Рассмотрение апелляции не является пересдачей вступительного испытания. В ходе рассмотрения апелляции проверяется только правильность оценки результатов сдачи вступительного испытания.

IV. Содержание программы вступительного испытания

Численное решение задач теплофизики с применением вычислительной техники

Основные этапы численного решения теплофизических задач. Сопоставление объекта исследования и его модели. Особенности выбора

модели для численного решения задач с помощью вычислительной техники. Требования к математической постановке задачи. Методы и средства численного решения задач. Особенности машинной арифметики. Тестирование программного обеспечения, его цели, значение получаемых результатов тестирования. Составляющие погрешности результатов численного решения задач с помощью вычислительной техники. Обусловленность задачи. Устойчивость алгоритма численного решения.

Определение теплофизических свойств веществ на основе уравнения состояния

Численное решение задачи определения термодинамических свойств чистого газообразного вещества в заданной области изменения температуры и давления на основе типичного термического уравнения состояния этого вещества. Математическая постановка задачи и методы ее решения. Основные проблемы и методы их преодоления при численном решении задач в области существенной неидеальности газа. Примеры тестовых задач для отладки программного обеспечения подобных задач.

Численное решение задачи определения термодинамических свойств чистого вещества в двухфазном парожидкостном состоянии. Условия фазового равновесия при использовании единого термического уравнения состояния вещества. Математическая постановка задачи и методы ее решения. Основные проблемы и методы их преодоления при решении задач парожидкостного равновесия.

Математические проблемы численного решения задачи определения термодинамических свойств чистого вещества в заданной области изменения температуры и давления, включающей газообразное, жидкое и двухфазное (парожидкостное) состояния. Математическая постановка задачи и методы ее решения.

Определение функциональной зависимости между величинами по результатам их экспериментального исследования

Определение функциональной зависимости между экспериментально исследованными теплофизическими величинами с помощью метода наименьших квадратов (МНК). Параметрические модели обработки экспериментальных данных. Критерий МНК. Весовая матрица. Разновидности МНК. Влияние априорного анализа погрешности экспериментальных данных на выбор вида весовой матрицы. Система нормальных уравнений МНК (СНУ МНК). Особенности СНУ МНК при использовании линейных и нелинейных по параметрам моделей обработки. Методы решения СНУ МНК. Выбор модельной функции для обработки экспериментальных теплофизических данных. Статистическая обработка экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов (МНК) при использовании линейных параметрических моделей. Требования к базисным функциям. Традиционные

допущения о свойствах погрешности экспериментальных данных, математическая формулировка этих допущений. Свойства статистических оценок с помощью МНК при использовании адекватной модели обработки. Влияние весовой матрицы на эффективность оценок по МНК. Статистические оценки погрешности экспериментальных данных и погрешности параметров модели обработки. Влияние погрешности модели и вычислительной погрешности на результаты обработки. Значимость оценок параметров модели. Выбор числа параметров модели. Влияние объема экспериментальных данных (количества экспериментальных точек) на результаты статистической обработки этих данных.

Устойчивость схем дискретизации задачи, описываемой обобщенным уравнением переноса.

Применение метода фон Неймана для исследования устойчивости дискретных аналогов обобщенного уравнения переноса. Происхождение и роль правила положительности коэффициентов дискретного аналога обобщенного уравнения переноса.

Использование дискретного аналога описания задач нестационарной пространственно трехмерной диффузии для получения дискретного описания пространственно двумерных и одномерных, а также стационарных задач. Точные и итерационные методы решения дискретного аналога одно- и двумерных задач, описываемых уравнением переноса. Влияние выбора нумерации контрольных объемов на скорость решения точными методами. Метод продольно-поперечной прогонки.

Особенности решения задач, описываемых уравнениями переноса, в пространственно неоднородных системах, в системах с переменными физическими свойствами. Значение свойства консервативности схем дискретизации задач, описываемых обобщенным уравнением переноса. Определение обобщенных коэффициентов диффузии на гранях контрольных объемов в условиях сильной пространственной неоднородности свойств рассматриваемой системы.

Особенности дискретизации уравнения переноса по МКО с учетом конвекции. Аппроксимация плотности конвективно-диффузионного потока на грани контрольного объема. Схема «против потока» и экспоненциальная схема.

Обзор характерных задач теплофизики, решаемых численными методами

Метод Монте-Карло и молекулярной динамики для решения задач теплофизики. Периодические граничные условия как способ распространения результатов численного исследования малых систем на макроскопические системы.

Особенности низкотемпературных технических систем.

Анализ, расчет и оптимизация на основе использования специальных разделов термодинамики. Возможности применения термодинамики для решения не только технических, но и технико-экономических задач.

Уравнения состояния термодинамической системы, как основа для получения информации о ее параметрах и их взаимосвязях. Законы термодинамического состояния системы и диаграммы данного состояния.

Основные термодинамические процессы и их графическое изображение на диаграммах.

Циклы установок преобразования энергии и термодинамический анализ эффективности процессов в них. Холодильные и криогенные циклы. Примеры расчета низкотемпературных циклов. Эксергетический анализ работы установок. p - h диаграмма. Развитие схем парожидкостных установок. Многоступенчатые и каскадные схемы. Тепловые насосы. Использование смесей. Диаграммы бинарных смесей. Ректификация. Растворимость газов и жидкостей в растворах. Использование газовых циклов. Установки со стационарными циклами. Нестационарные циклы. Основы построения машин Стирлинга и МакМагона. Пароэжекторные холодильные установки преобразования энергии. Газодинамические функции и их использование. Расчет пароэжекторных холодильных установок. Вихревая труба. Процессы при преобразовании энергии в вихревой трубе.

Основы расчета холодильных установок с вихревой трубой.

Абсорбционные холодильные установки. h - x диаграмма. Методика расчета данных установок. Необходимость использования для охлаждения электрических, магнитных и оптических методов. Термоэлектрическое охлаждение. Возможности повышения эффективности материалов. Многоступенчатые и комбинированные полупроводниковые термотрансформаторы. Расчет термоэлектрических модулей. Термомагнитное охлаждение. Основы построения схем установок. Основные понятия микрокриогенной техники. Наиболее популярные циклы. Построение схем жидкостных и баллонных систем микрокриогенной техники. Установки для получения сверхнизких температур. Эффект Померанчука. Основные понятия и принципы построения. Магнитокалорическое охлаждение в области криотемператур. Ограничения, связанные со свойствами магнетиков. Электрокалорическое охлаждение и материалы. Многоступенчатые системы. Системный анализ низкотемпературных устройств и экономика. Перспективы развития и новые области использования низких температур в промышленности, сельском хозяйстве и энергетике.

Основные положения теплопроводности.

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарные теплопроводность и теплопередача плоской стенки без внутренних источников тепла. Стационарные теплопроводность и теплопередача цилиндрической стенки без внутренних источников тепла. Стационарная теплопроводность при наличии тепловыделений. Теплопередача от ребренных поверхностей. Нестационарная теплопроводность бесконечной плоской стенки и цилиндра бесконечной длины. Определение количества теплоты в нестационарном процессе. Тела конечных размеров. Регулярный режим охлаждения тел.

Основные положения конвективного теплообмена.

Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в однофазной среде. Теплоотдача при свободной конвекции у вертикальной поверхности в большом объеме. Теплоотдача при свободной конвекции у горизонтальных труб, в замкнутом объеме. Теплоотдача при внешнем обтекании тел. Продольное обтекание пластины. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Теплоотдача при обтекании пучка труб. Особенности теплообмена при течении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении жидкости в прямых, круглых, гладких трубах, а также в изогнутых трубах и трубах некруглого сечения. Теплоотдача при конденсации чистых паров. Теплоотдача при кипении жидкостей. Кризисы кипения. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Плоскопараллельные тела. Тело с оболочкой. Произвольно расположенные тела. Теплообмен излучением в поглощающей среде. Закон Бугера. Степени черноты поглощающих газов.

Рекомендуемая литература

1. Насосное и теплообменное оборудование АЭС: Учеб. пособие / Дмитриев С.М., Платонов В.Б., Орлов А.Г. и др.; НГТУ; Под ред. С.М. Дмитриева. - Н.Новгород: Изд-во НГТУ, 2014.

2. Тепловой и гидравлический расчет активной зоны реактора с водяным кипящим теплоносителем : Метод. указания к практ. занятиям, - Н.Новгород : 2012.

3. Турбины тепловых и атомных электрических станций : Учебник / А. Г. Костюк [и др.] ; Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МЭИ, 2013.

4. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики, - М.: Наука, 2010

5. Гельфанд И.М., Фомин С.В. Вариационные исчисления. - М.: Наука, 2015

6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика. – М.: Наука, 2009
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Квантовая механика. – М.: Наука, 2010
8. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: Учеб. Пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 2011.
9. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 2011.
10. Кириллин В.А., Шейндлин А.Е., Шпильрайн Э.Э. Термодинамика растворов, М.: Энергия, 2010.
11. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач. М.: Энергаториздат, 2012

Вопросы для подготовки к вступительному испытанию

1. Перспективы развития и новые области использования низких температур в промышленности, сельском хозяйстве и энергетике.
2. Уравнения состояния термодинамической системы, как основа для получения информации о ее параметрах и их взаимосвязях.
3. Законы термодинамического состояния системы и диаграммы данного состояния.
4. Основные термодинамические процессы и их графическое изображение на диаграммах.
5. Холодильные и криогенные циклы.
6. Растворимость газов и жидкостей в растворах.
7. Пароэжекторные холодильные установки преобразования энергии.
8. Газодинамические функции и их использование.
9. Вихревая труба. Процессы при преобразовании энергии в вихревой трубе.
10. Термоэлектрическое охлаждение.
11. Многоступенчатые и комбинированные полупроводниковые термотрансформаторы.
12. Термомагнитное охлаждение. Основы построения схем установок.
13. Основные понятия микрокриогенной техники. Наиболее популярные циклы.
14. Построение схем жидкостных и баллонных систем микрокриогенной техники.
15. Установки для получения сверхнизких температур. Эффект Померанчука.
16. Магнитокалорическое охлаждение в области криотемператур.
17. Электрокалорическое охлаждение и материалы. Многоступенчатые системы
18. Парогенераторы, обогреваемые газовыми теплоносителями.

19. Основные критерии гидродинамического подобия. Их физический смысл.
20. Устройство проточной части насоса и назначение отдельных элементов.
21. Принципы и устройства очистки водяного теплоносителя.
22. Условие прочности при изгибе. Характеристики величин, входящих в формулу.
23. Уравнение теплопроводности.
24. Осевые силы в насосах и методы их уравнивания.
25. Основные положения теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
26. Стационарные теплопроводность и теплопередача плоской стенки без внутренних источников тепла.
27. Стационарные теплопроводность и теплопередача цилиндрической стенки без внутренних источников тепла.
28. Стационарная теплопроводность при наличии тепловыделений.
29. Теплоотдача при внешнем обтекании тел. Продольное обтекание пластины.
30. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра.
31. Теплоотдача при обтекании пучка труб.
32. Особенности теплообмена при течении жидкости в трубах и каналах.
33. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении жидкости в прямых, круглых, гладких трубах, а также в изогнутых трубах и трубах некруглого сечения.
34. Теплоотдача при конденсации чистых паров.
35. Теплоотдача при кипении жидкостей. Кризисы кипения.
36. Основные этапы численного решения теплофизических задач.
37. Особенности выбора модели для численного решения задач с помощью вычислительной техники.
38. Требования к математической постановке задачи.
39. Методы и средства численного решения задач.
40. Тестирование программного обеспечения, его цели, значение получаемых результатов тестирования.
41. Составляющие погрешности результатов численного решения задач с помощью вычислительной техники.
42. Численное решение задачи определения термодинамических свойств чистого газообразного вещества в заданной области изменения температуры.
43. Математическая постановка задачи и методы ее решения.
44. Основные проблемы и методы их преодоления при численном решении задач в области существенной неидеальности газа.
45. Численное решение задачи определения термодинамических свойств чистого вещества в двухфазном парожидкостном состоянии.
46. Математические проблемы численного решения задачи определения

термодинамических свойств чистого вещества в заданной области изменения температуры и давления.

47. Определение функциональной зависимости между экспериментально исследованными теплофизическими величинами с помощью метода наименьших квадратов (МНК).

48. Параметрические модели обработки экспериментальных данных.

49. Критерий МНК. Весовая матрица. Разновидности МНК.

50. Влияние априорного анализа погрешности экспериментальных данных на выбор вида весовой матрицы.

51. Система нормальных уравнений МНК (СНУ МНК).

52. Выбор модельной функции для обработки экспериментальных теплофизических данных.

53. Статистическая обработка экспериментальных данных с помощью метода наименьших квадратов (МНК) при использовании линейных параметрических моделей.

54. Требования к базисным функциям.

55. Свойства статистических оценок с помощью МНК при использовании адекватной модели обработки.

56. Влияние весовой матрицы на эффективность оценок по МНК.

57. Статистические оценки погрешности экспериментальных данных и погрешности параметров модели обработки.

58. Влияние погрешности модели и вычислительной погрешности на результаты обработки.

59. Значимость оценок параметров модели. Выбор числа параметров модели. 60. Влияние объема экспериментальных данных (количества экспериментальных точек) на результаты статистической обработки этих данных.