

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)**

**Программа вступительного испытания  
по научной специальности  
2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»**

Форма обучения  
Очная

**Москва, 2023**

## Общие положения

### Форма проведения испытания:

Вступительное испытание по научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» проводится в виде собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

### Структура испытания:

Испытание состоит из ответов на вопросы билета и дополнительные вопросы в рамках программы вступительного испытания.

### Оценка испытания:

Оценка за собеседование выставляется по 100-балльной шкале. Минимальный балл, необходимый для успешного прохождения собеседования и дальнейшего участия в конкурсе – 60 баллов.

### Критерии оценки результатов испытания:

100-90 баллов - даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией.

89-80 баллов - даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания, умение пользоваться современной научной терминологией.

79-70 баллов - даны обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания.

69-60 баллов - даны в целом правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, при этом абитуриент недостаточно аргументирует ответы.

59-0 баллов – абитуриент демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, поверхностность и слабую аргументацию суждений или допущены значительные ошибки.

## Вопросы для подготовки к вступительному испытанию

### 1. ТЕРМОДИНАМИКА

- 1.1 Термодинамические системы. Термодинамические переменные. Гомогенные и гетерогенные системы. Постулаты термодинамики. Равновесные и неравновесные ТД-состояния. Уравнения состояния. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы.
- 1.2 Первое начало термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Химический потенциал. Второе начало. Основное уравнение термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Основное неравенство термодинамики. Третье начало.

- 1.3 Метод термодинамических циклов. Метод термодинамических потенциалов. Дифференциальные уравнения термодинамики в частных производных. Метод термодинамического подобия.
- 1.4 Необходимые условия равновесия. Устойчивость равновесия. Равновесие в гетерогенной системе. Правило фаз Гиббса. Химическое равновесие.
- 1.5 Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста. Переход жидкость-пар. Область двухфазных состояний. Критические и докритические явления.
- 1.6 Обобщенный цикл тепловых двигателей. Обратимые циклы тепловых машин. Показатели эффективности обратимых циклов. Циклы холодильной машины. Цикл теплового насоса. Сжатие газов в компрессоре.
- 1.7 Цикл Карно. Цикл Ренкина. Цикл с промежуточным перегревом пара. Регенеративные циклы.

## **2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

- 2.1 Невязкая жидкость. Уравнение Эйлера, уравнение Бернулли. Безвихревое движение невязкой несжимаемой жидкости. Потенциальное обтекание тел. Ньютоновская жидкость. Закон вязкого трения Ньютона. Уравнение Навье-Стокса. Неньютоновские жидкости. Условия однозначности в гидродинамике.
- 2.2 Вязкостный режим течения. Понятие о пограничном слое. Уравнения ламинарного пограничного слоя. Пограничный слой на пластине. Особенности течения в пограничном слое с продольным градиентом давления. Установившееся ламинарное течение жидкости в трубах. Полное гидравлическое сопротивление трубы и канала.
- 2.3 Неустойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Универсальный профиль скорости. Турбулентный пограничный слой. Гидравлическое сопротивление гладких и шероховатых труб.
- 2.4 Уравнения высокоскоростного пограничного слоя. Частные решения уравнения энергии. Адиабатная температура стенки, коэффициент восстановления. Распределение скоростей и температур в пограничном слое. Трение и теплоотдача.

## **3. ТЕОРИЯ ТЕПЛООБМЕНА**

- 3.1 Теплопроводность
  - 3.1.1 Тепловой поток. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия.
  - 3.1.2 Стационарная теплопроводность. Краевые задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла.
  - 3.1.3 Нестационарная теплопроводность. Методы решения линейных краевых задач. Простейшие задачи для конечных и бесконечных областей.
  - 3.1.4 Нелинейные задачи теплопроводности. Автомодельные решения. Тепловые волны.
- 3.2 Конвективный теплообмен.
  - 3.2.1 Уравнения, начальные и граничные условия. Условия сопряжения.
  - 3.2.2 Методы подобия и размерности в теории теплообмена. Критерии подобия и их физический смысл. Критериальные формулы для расчета теплоотдачи. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции.

- 3.2.3 Теплообмен в ламинарном пограничном слое. Пограничный слой на плоской пластине, трение и теплообмен при обтекании пластины несжимаемой жидкостью. Приближенные методы решения уравнений пограничного слоя. Интегральные соотношения.
- 3.2.4 Турбулентный пограничный слой. Усредненные уравнения. Профиль скорости. Вязкий подслой. Теплообмен и трение при турбулентном обтекании плоской пластины.
- 3.2.5 Естественная конвекция в замкнутых объемах. Теплообмен при совместном действии естественной и вынужденной конвекций.
- 3.3 Теплообмен при кипении.
  - 3.3.1 Термодинамика кипения. Перегревы теплоотдающей поверхности. Критический зародыш пара, центры парообразования.
  - 3.3.2 Кривая кипения. Кризис кипения в большом объеме. Гидравлическая теория С.С. Кутателадзе.
- 3.4 Гидродинамика и теплообмен двухфазных потоков
  - 3.4.1 Структура и режимы течения двухфазных потоков. Параметры, характеризующие состояние двухфазного потока. Модели двухфазных течений. Уравнения сохранения.
  - 3.4.2 Методы и средства диагностики двухфазных потоков. Внутренняя структурная нестационарность и неравномерность двухфазного потока. Истинное паросодержание.
  - 3.4.3 Перепад давления в двухфазном потоке. Методы определения потерь давления, обусловленных трением. Гидродинамические неустойчивости двухфазных течений.
  - 3.4.4 Кризис теплообмена при кипении жидкости в большом объеме и каналах. Механизмы кризиса. Основные факторы, определяющие критический тепловой поток и граничное паросодержание. Влияние неравномерности тепловыделения в канале на кризис теплообмена.
- 3.5 Теплообмен при испарении и конденсации.
  - 3.5.1 Теплоотдача при пленочной конденсации на вертикальной пластине и горизонтальном цилиндре. Влияние неконденсирующейся примеси газа на теплообмен при конденсации.
- 3.6 Лучистый теплообмен.
  - 3.6.1 Термодинамика равновесного теплового излучения. Спектр Планка. Радиационные свойства поверхностей.
  - 3.6.2 Уравнения переноса излучения в рассеивающей, поглощающей и излучающей среде. Приближенные методы решения уравнения переноса излучения. Граничные условия в приближении полусферически равновесного излучения.

#### **4. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ**

- 4.1 Взаимодействие между молекулами и структура вещества. Уравнение состояния. Теплофизические свойства идеальных и реальных газов. Кинетическое уравнение Больцмана. Газовые смеси. Теплофизические параметры газовых теплоносителей.
- 4.2 Структура жидкостей. Тепловое движение в жидкости. Полуэмпирические зависимости для расчета тепловых свойств жидкостей. Структура кристаллов и реальных веществ. Квазичастицы в металлах, диэлектриках, полупроводниках и сверхпроводниках. Механизмы рассеяния носителей тепловой энергии. Теплопроводность.
- 4.3 Теплофизические свойства реальных материалов. Поликристаллические, аморфные и композиционные материалы. Механизмы переноса в дисперсных и пористых материалах. Эффективная теплопроводность.

4.4 Экспериментальные методы измерения теплофизических параметров веществ и материалов. Стационарные и нестационарные методы. Основное экспериментальное оборудование для измерений при высоких, средних и низких температурах.

### Литература

1. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 2010.
2. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности: Учеб. пособие для вузов. В 2-х частях. Ч. 1. – М.: Высшая школа, 1982.
3. Галин Н.М., Кириллов П.Л. Тепломассообмен (в ядерной энергетике): Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках (основы расчета) / В.И. Субботин, М.Х. Ибрагимов, П.А. Ушаков и др. – М.: Атомиздат, 1975.
5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел: Пер. с англ. – М.: Наука, 1964.
6. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. – М.: ИздАт, 2008.
7. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.3, 2014.
8. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.2, 2013.
9. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.1, 2010.
10. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: Учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008.
11. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения: Учеб. пособие для втузов. – М. – Л.: Машгиз, 1957.
12. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.
13. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979.
14. Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И. Тепломассообмен и трение в турбулентном пограничном слое. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – Изд. 5-е, стереотип. – М.: Физматлит, 2006.
16. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – Изд. 7-е, испр. – М.: Дрофа, 2003.
17. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
18. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1963.
19. Новиков И.И., Боришанский В.М. Теория подобия в термодинамике и теплопередаче. – М.: Атомиздат, 1979.
20. Структура турбулентного потока и механизм теплообмена в каналах / М.Х. Ибрагимов, В.И. Субботин, В.П. Бобков и др. – М.: Атомиздат, 1978.
21. Теплообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов. – Изд. 3-е, перераб. и доп. / Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев, С.Л. Соловьев. – М.: Изд. МЭИ, 2003.
22. Хинце И.О. Турбулентность. – М.: Физматгиз, 1963.
23. Стырикович М.А., Полонский В.С., Циклаури Г.В. Тепломассообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций. – М.: Наука, 1982.

24. Теплопередача в двухфазном потоке / Под ред. Д. Баттерворса и Г. Хьюитта: Пер. с англ. – М.: Энергия, 1980.
25. Дорошук В.Е. Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
26. Делайе Дж., Гио М., Ритмюллер М. Теплообмен и гидродинамика двухфазных потоков в атомной и тепловой энергетике: Пер. с англ. / Под ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984.