

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

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



Первый проректор НИЯУ МИФИ

О.В. Нагорнов

января 2025 г.

Ответственный секретарь
Приемной комиссии

 Скритный В.И.
« 16 » января 2025 г.

**Программа вступительного испытания
по специальной дисциплине**

Ядерная энергетика, теплофизика и радиационная безопасность

Научные специальности

2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»

**2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл,
радиационная безопасность»**

Форма обучения
Очная

Москва, 2025

Оглавление

1. Общие положения	2
2. Вопросы для подготовки к первой части вступительного испытания	4
Вопросы для поступающих на научную специальность 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»	4
Вопросы для поступающих на научную специальность 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»	7
3. Материалы для подготовки ко второй части вступительного испытания	9

1. Общие положения

Форма проведения испытания:

Целью вступительного испытания является выявления у абитуриента объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для подготовки диссертации по научной специальности 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника» или 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность». Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию, умение планировать научную работу в рамках выбранной научной специальности. Вступительное испытание проводится в форме экзамена с элементами собеседования.

Вступительное испытание состоит из двух частей.

В первой части абитуриент отвечает на вопросы из билета. Билет включает в себя два вопроса. Абитуриент после получения билета подготавливает ответ, фиксируя основные тезисы на бланке для ответов, после чего отвечает на вопросы билета перед экзаменаторами. Экзаменаторы могут задавать дополнительные вопросы согласно программе вступительных испытаний.

Выявление факта пользования мобильным телефоном или шпаргалками ведет к безусловному удалению абитуриента с вступительного испытания и составлению соответствующего протокола. Абитуриент из конкурса выбывает.

Во второй части абитуриент представляет заранее подготовленные тему планируемого диссертационного исследования в соответствии с выбранной научной специальностью, обоснование актуальности темы, а также план выполнения диссертационного исследования. Представленные материалы оцениваются экзаменаторами. В процессе оценивания экзаменаторы могут уточнять различные аспекты, связанные с планируемым диссертационным исследованием.

Оценка испытания:

Оценка за вступительное испытание выставляется по 100-балльной шкале как сумма за первую и вторую часть испытания.

Максимальное число баллов за первую часть – 60 баллов.

Максимальное число баллов за вторую часть – 40 баллов.

Минимальный суммарный балл, необходимый для успешного прохождения испытания и дальнейшего участия в конкурсе – 60 баллов.

Критерии оценки результатов испытания

Вопрос № 1, 2	0-30 баллов за каждый вопрос	<p>27-30 баллов – дан исчерпывающий и обоснованный ответ на вопрос, абитуриент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией.</p> <p>22-26 баллов – дан полный, достаточно глубокий и обоснованный ответ на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания, умение пользоваться современной научной терминологией.</p> <p>18-21 баллов – даны обоснованные ответы на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания.</p> <p>13-17 баллов - даны в целом правильные ответы на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, при этом абитуриент недостаточно аргументирует ответы.</p> <p>0-12 баллов – абитуриент демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, поверхностность и слабую аргументацию суждений или допущены значительные ошибки.</p>
Оценка планируемого диссертационного исследования	0-40 баллов	<p>35-40 баллов – предполагаемая тематика соответствует паспорту научной специальности, является актуальной, план работы над диссертацией представлен на высоком уровне.</p> <p>30-34 баллов – предполагаемая тематика соответствует паспорту научной специальности, является актуальной, план работы над диссертацией требует доработки.</p> <p>20-29 баллов – предполагаемая тематика в целом соответствует паспорту научной специальности, но требует доработки в части актуальности, план работы над диссертацией требует доработки.</p> <p>12-19 баллов - предполагаемая тематика в целом соответствует паспорту научной специальности, но требует значительной доработки в части актуальности, и значительной переработки плана работы над диссертацией.</p> <p>0-11 баллов – предполагаемая тематика не соответствует паспорту научной специальности.</p>

2. Вопросы для подготовки к первой части вступительного испытания

Вопросы для поступающих на научную специальность 2.4.6 «Теоретическая и прикладная теплотехника»

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.

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 неравновесность 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. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках (основы расчета) / В.И. Субботин, М.Х. Ибрагимов, П.А. Ушаков и др. – М.: Атомиздат, 1975.
3. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. – М.: ИздАт, 2008.
4. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.3, 2014.
5. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.2, 2013.
6. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / ред. П. Л. Кириллов. – М.: ИздАТ. Т.1, 2010.

7. 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.
8. Кондратьев Г.М. Тепловые измерения: Учеб. пособие для втузов. – М. – Л.: Машгиз, 1957.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том.6. Гидродинамика. – Изд. 6-е. – М.: Физматлит, 2020.
10. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – Изд. 7-е, испр. – М.: Дрофа, 2003.
11. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967.
12. Новиков И.И., Боришанский В.М. Теория подобия в термодинамике и теплопередаче. – М.: Атомиздат, 1979.
13. Структура турбулентного потока и механизм теплообмена в каналах / М.Х. Ибрагимов, В.И. Субботин, В.П. Бобков и др. – М.: Атомиздат, 1978.
14. 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.
15. Стырикович М.А., Полонский В.С., Циклаури Г.В. Тепломассообмен и гидродинамика в двухфазных потоках атомных электрических станций. – М.: Наука, 1982.
16. Дорошук В.Е. Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

Вопросы для поступающих на научную специальность 2.4.9 «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

1. Уравнение диффузии нейтронов. Основные предположения диффузного приближения.
2. Фундаментальные решения уравнения диффузии. Метод функций Грина.
3. Интегро-дифференциальное уравнение переноса нейтронов. P_n - метод, P_1 - приближение.
4. Интегральное уравнение Пайерлса.
5. Теория замедления. Упругое рассеяние на ядрах.
6. Теория замедления. Спектр замедляющихся нейтронов. Особенности замедления на ядрах с массой равной и больше единице.
7. Замедление в средах с поглощением. Вероятность избежать захвата при замедлении.
8. Обоснование диффузно-возрастного приближения.
9. Особенности описания энергетического распределения нейтронов в области термализации.
10. Групповое описание пространственно-энергетического распределения нейтронов. Принципы составления групповых констант.
11. Баланс нейтронов в размножающих средах. Формула 4-х сомножителей.
12. Асимптотический спектр нейтронов и материальный параметр среды.
13. Условие критичности одного реактора. Эффективный коэффициент размножения.

14. Гетерогенный реактор. Особенности формирования пространственно-энергетического распределения. Баланс нейтронов.
15. Резонансный захват в гомогенных и гетерогенных средах. Эффективный резонансный интеграл. Соотношение эквивалентности.
16. Выгорание и воспроизводство. Условия и возможности расширенного воспроизводства. Топливные циклы.
17. Реактивность. Запас реактивности. Способы компенсации запаса реактивности.
18. Отравление и зашлаковывание реактора. Нестационарное отравление. Йодная яма. Ксеноновая неустойчивость.
19. Запаздывающие нейтроны. Их характеристика и роль в переходных процессах.
20. Кинетика реактора в точечном приближении. Асимптотический период. Связь с реактивностью.
21. Динамика реактора. Эффекты реактивности.
22. Обратные связи в реакторе. Понятие устойчивости.
23. Большие скачки реактивности. Нейтронные вспышки.
24. Особенности конструкций и основные параметры современных корпусных водо-водяных реакторов.
25. Особенности конструкций и основные параметры современных канальных реакторов.
26. Принципы конструкций реакторов-бридеров на быстрых нейтронах.
27. Топливный цикл ядерной энергетики.
28. Ядерная авария. Ядерная безопасность.
29. Радиационное воздействие АЭС на окружающую среду.
30. Крупные аварии на АЭС.
31. Теплогидравлический расчет активных зон, охлаждаемых однофазным, двухфазным водным, жидкометаллическим, газовым теплоносителем. Кризис теплообмена. Запасы до кризиса.

Литература

1. Савандер В.И. Физическая теория ядерных реакторов: учебное пособие для вузов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013.
2. Апсэ В.А., Шмелев А.Н., Куликов Е.Г., Куликов Г.Г. Ядерные технологии. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2013.
3. Апсэ В.А., Ксенофонов А.И., Савандер В.И., Тихомиров Г.В., Шмелев А.Н. Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014.
4. Кузьмин А.М., Шмелев А.Н., Апсэ В.А. Моделирование физических процессов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах: учебное пособие для вузов. – Москва: МЭИ, 2015.
5. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. –

М.: ИздАт, 2008.

6. 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.

3. Материалы для подготовки ко второй части вступительного испытания

При представлении плана научного исследования необходимо представить следующую информацию:

- Тема диссертации
- Предполагаемый научный руководитель (при наличии)
- Актуальность темы
- Цели и задачи исследования
- Развернутые формулировки теоретических и практических задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели с распределением их по семестрам обучения.
- Теоретическая значимость работы. Практическая значимость работы.
- Имеющийся задел по предполагаемому исследованию

Абитуриент готовит план будущего научного исследования заранее, до вступительного испытания, и на испытании представляет уже готовый план. При составлении плана необходимо помнить, что в рамках диссертационного исследования аспирант решает научную задачу, имеющую значение для развития соответствующей отрасли науки, либо разрабатывает новые научно-обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

Цель диссертации вытекает из формулировки научной проблемы, связанной с теоретической или практической нерешенностью темы или ее аспекта. Цель формулируется коротко и однозначно, она должна быть достигнута к концу работы. Исходя из единственной цели работы, определяется несколько задач. Разрешение каждой задачи является последовательным шагом на пути достижения цели.

Паспорт научной специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника» (отрасль наук – технические науки):

Направления исследований:

1. Теплофизические свойства чистых веществ и их смесей, включая флюидонасыщенные горные породы, в широкой области параметров состояния; связи между строением веществ и их феноменологическими свойствами; методы расчета термодинамических и переносных свойств в различных агрегатных состояниях.
2. Термодинамические процессы и циклы применительно к установкам производства, преобразования и потребления энергии.
3. Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом;

совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси.

4. Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.

5. Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты.

6. Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках.

7. Оптимизация схем теплоэнергетических установок и систем для генерации и трансформации энергоносителей, в том числе, основанных на принципах их комбинированного производства. Совершенствование методов расчета тепловых сетей и систем теплоснабжения с целью повышения их энергоэффективности.

8. Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров, использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.

9. Системы обеспечения теплового режима теплоэнергетических, промышленных и коммунальных объектов, теплоснабжающего и тепловыделяющего оборудования, методы их совершенствования. Математическое моделирование и оптимизация энерготехнологических систем промышленных предприятий и систем теплоснабжения зданий, районов и городов.

10. Теоретические аспекты и методы интенсивного энергосбережения в тепловых технологических системах и процессах. Теоретические основы создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок, способствующих защите окружающей среды.

Примечание: По научной специальности не рассматриваются работы, направленные на создание приборов и первичных преобразователей для экспериментальных исследований теплофизических свойств, а также не рассматриваются работы, в которых анализируются проблемы автоматизированного управления теплоэнергетическими и теплотехнологическими процессами.

Паспорт научной специальности 2.4.9. «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» (отрасль наук – технические науки):

Направления исследований:

1. Моделирование нейтронно-физических, химических, тепловых,

гидравлических и механических процессов, создание программных комплексов, обеспечивающих достоверное расчетное обоснование объектов ядерной техники и их безопасное функционирование при эксплуатации, а также снятии с эксплуатации.

2. Разработка методик экспериментальных методик и экспериментальные исследования в реакторных условиях и вне реакторов свойств и характеристик материалов, конструкций, оборудования и систем с целью выявления закономерностей их изменения в течение жизненного цикла объектов ядерной техники.

3. Разработка методов расчета технологических процессов в объектах ядерной техники с целью оптимизации их характеристик, повышения надежности оборудования и систем и обеспечения их ядерной и радиационной безопасности

4. Разработка оборудования и роботизированных комплексов производства и эксплуатации оборудования и технологических систем объектов ядерной техники.

5. Разработка методов управления сроком службы объектов ядерной техники и требований к проектным, конструкторским, технологическим решениям, влияющим на ядерную и радиационную безопасность.

6. Разработка методов обоснования ядерной и радиационной безопасности и экологической приемлемости технологий и объектов ядерной техники.

7. Разработка методов проведения исследований, проектирования, а также научно-обоснованных технических решений в области атомного реакторостроения, машин, агрегатов, технологии материалов атомной промышленности.

Примечание: По специальности не принимаются к защите работы соискателей, в которых исследуются проблемы мониторинга объектов ядерной техники или метрологические аспекты работы оборудования этих объектов.