

Направление подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»  
Профиль «Атомные электростанции и установки»  
РПД Б1.В.11 «Теория переноса нейтронов»



Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора филиала  
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
канд. техн. наук, доцент  
В.В. Рожков

«27» 10 2025

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Теория переноса нейтронов

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика»

Профиль: «Атомные электростанции и установки»

Уровень высшего образования: бакалавриат

Нормативный срок обучения: 4 года

Форма обучения: очная

Год набора: 2026

Смоленск

Программа составлена с учетом образовательного стандарта высшего образования (ОС ВО) по направлению подготовки 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика», утвержденного ректором ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Н.Д. Рогалевым 27.10.2023.

**Программу составил:**



подпись

к.т.н., доцент

Новиков Г.Ю.

ФИО

« 10 » октября 2025 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «**Промышленная теплоэнергетика**»:  
« 15 » октября 2025 г., протокол № 2

**Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»:**



подпись

В.А. Галковский

Ф.И.О.

« 20 » октября 2025 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе  
с ЛОВЗ и инвалидами**



подпись

зам. начальника УУ

Е.В. Зуева

ФИО

« 20 » октября 2025 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель** освоения дисциплины является формирование знаний, умений и навыков в области физических принципов перемещения нейтронов в различных реакторных средах

**Задачи:** изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Теория переноса нейтронов» относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые следующими базовыми дисциплинами:

Физика;

Ядерная физика;

Химия;

Моделирование физических процессов работы атомных станций..

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения данной дисциплины, являются базовыми для изучения следующих дисциплин:

Ядерные энергетические реакторы

Эксплуатация АЭС

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ПК-2. Демонстрирует понимание основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ПК-2.2 Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплоэнергетических установок и систем	Знает: основные законы теплообмена Умеет: применять теплообменные процессы при эксплуатации ядерных реакторов Владеет: методиками оценки влияния процессов протекающих в ядерном реакторе на теплообменное оборудование АЭС

<p>ПК-3. Способен проводить экспериментальные исследования и теоретическое описание основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании</p>	<p>ПК-3.2 Знает и умеет использовать аппарат механики сплошных сред для анализа основных теплофизических процессов в энергетическом оборудовании</p>	<p>Знает: теоретические основы аппарата механики сплошных сред Умеет применять теоретические знания для анализа функционирования и эксплуатации оборудования АЭС Владеет: методиками оценки физических процессов протекающих в ядерном реакторе на эффективность функционирования АЭС</p>
--	--	---



**Содержание дисциплины:**

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p>лекционные занятия 17 шт. по 2 часа:</p> <p>1.1. Тема Диффузия моноэнергетических нейтронов (10 часов)                      Понятие о диффузии нейтронов. Плотность потока нейтронов. Скорость взаимодействия. Характерные длины пробега нейтронов. Плотность тока нейтронов. Уравнение диффузии. Граничные условия на границах двух сред и среды с вакуумом. Условия применимости диффузионного приближения. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов. Скорость взаимодействия в случае немонаэнергетических нейтронов. Длина диффузии. Время диффузии нейтрона в среде..</p> <p>1.2. Тема. Замедление нейтронов в бесконечных средах (12 часов)                      Рассеяние в лабораторной системе координат. Ступенька замедления. Закон рассеяния. Средняя логарифмическая потеря энергии при одном столкновении. Понятие летаргии. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечных гомогенных средах. Замедление на водороде без поглощения и с поглощением. Вероятность избежать поглощения при замедлении. Замедление на тяжелых рассеивателях без поглощения и с поглощением. Эффективный резонансный интеграл поглощения. Резонансный интеграл поглощения при бесконечном разбавлении..</p> <p>1.3. Тема Пространственно-энергетическое распределение нейтронов (12 часов)                      Модель непрерывного замедления. Уравнение возраста. Уравнение замедления в возрастном приближении. Возраст нейтронов. Площадь миграции нейтронов. Многогрупповое приближение. Групповые диффузионные уравнения. Термализация нейтронов. Температура нейтронного газа.</p>
2	<p>лабораторные работы 4 шт. по 4 часа:</p> <p>2.1. Определение коэффициента диффузного отражения тепловых нейтронов.                      2.2. Определение сечения радиационного захвата тепловых нейтронов для водорода.                      2.3. Определение длины диффузии для графита методом сигма-призмы                      2.4. Исследование процессов накопления и распада радиоактивных ядер</p>
3	<p>практические занятия 8 шт. по 2 часа:</p> <p>1.1. Тема Диффузия моноэнергетических нейтронов (8 часов)                      Понятие о диффузии нейтронов. Плотность потока нейтронов. Скорость взаимодействия. Характерные длины пробега нейтронов. Плотность тока нейтронов. Уравнение диффузии. Граничные условия на границах двух сред и среды с вакуумом. Условия применимости диффузионного приближения. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов. Скорость взаимодействия в случае немонаэнергетических нейтронов. Длина диффузии. Время диффузии нейтрона в среде..</p> <p>1.2. Тема. Замедление нейтронов в бесконечных средах (8 часов)                      Рассеяние в лабораторной системе координат. Ступенька замедления. Закон рассеяния. Средняя логарифмическая потеря энергии при одном столкновении. Понятие летаргии. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечных гомогенных средах. Замедление на водороде без поглощения и с поглощением. Вероятность избежать поглощения при замедлении. Замедление на тяжелых рассеивателях без поглощения и с поглощением. Эффективный резонансный интеграл поглощения. Резонансный интеграл поглощения при бесконечном разбавлении..</p>

4	курсовая работа (курсовой проект) Не предусмотрены.
5	расчетно-графическая работа (реферат) Не предусмотрены
6	<p>Самостоятельная работа студентов.(78 часов)</p> <p><b>Подготовка к текущему контролю:</b> Повторение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><b>Подготовка к лабораторной работе:</b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Диффузия моноэнергетических нейтронов" материалу.</p> <p><b>Подготовка к практическим занятиям:</b> Изучение материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Изучение дополнительного материала по разделу "Диффузия моноэнергетических нейтронов"</p> <p><b>Подготовка к текущему контролю:</b> Повторение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"</p> <p><b>Подготовка к лабораторной работе:</b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" материалу.</p> <p><b>Подготовка к практическим занятиям:</b> Изучение материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b> Изучение дополнительного материала по разделу "Пространственно-энергетическое распределение нейтронов"</p>

**Текущий контроль:** На 5-6 и 11-12 неделях студенты выполняют контрольные работы, на 3-4, 7-8, 9-10 неделях проводится устный опрос студентов по тематике разделов вынесенных на самостоятельное изучение, после выполнения студентами лабораторных работ осуществляется их защита, По итогам положительной аттестации студентов по всем, предусмотренным видам контроля, осуществляется их допуск к экзамену по дисциплине.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятий по дисциплине

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1	Лекции	Классическая (традиционная, информационная) лекция Интерактивная лекция (лекция с заранее запланированными ошибками) Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине
2	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и

		выполнения упражнений Технологии проведения практических занятий в форме семинара: с подготовленными докладами. Технология обучения в сотрудничестве (командная, групповая работа)
3	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий индивидуально Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде) Допуск к лабораторной работе
4	Консультации по курсовой работе (курсовому проекту)	Не предусмотрена
5	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине)
6	Контроль (промежуточная аттестация: зачет или экзамен)	Технология устного опроса Технология письменного контроля, в том числе тестирование

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

Вопросы выносимые на промежуточную аттестацию. ( вопросы к экзамену)

1. Понятие о диффузии нейтронов.
2. Плотность потока нейтронов. Скорость взаимодействия.
3. Характерные длины пробега нейтронов. Плотность тока нейтронов.
4. Уравнение диффузии.
5. Граничные условия на границах двух сред и среды с вакуумом.
6. Условия применимости диффузионного приближения.
7. Интегральное уравнение для потока моноэнергетических нейтронов.
8. Скорость взаимодействия в случае немонаэнергетических нейтронов.
9. Длина диффузии. Время диффузии нейтрона в среде.
10. Рассеяние в лабораторной системе координат.
11. Ступенька замедления. Закон рассеяния.
12. Средняя логарифмическая потеря энергии при одном столкновении.

13. Понятие летаргии.
14. Энергетическое распределение замедляющихся нейтронов в бесконечных гомогенных средах.
15. Замедление на водороде без поглощения и с поглощением.
16. Вероятность избежать поглощения при замедлении.
17. Замедление на тяжелых рассеивателях без поглощения и с поглощением.
18. Эффективный резонансный интеграл поглощения.
19. Резонансный интеграл поглощения при бесконечном разбавлении.
20. Модель непрерывного замедления.
21. Уравнение возраста. Уравнение замедления в возрастном приближении.
22. Возраст нейтронов. Площадь миграции нейтронов.
23. Многогрупповое приближение. Групповые диффузионные уравнения.
24. Термализация нейтронов. Температура нейтронного газа.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно", "зачтено", "не зачтено" (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – экзамен в 5-м семестре.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом не принципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
	под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».
«неудовлетворительно»/ не зачтено	Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий, оснащенная следующим основным оборудованием:

- доска маркерная – 1 шт.;
- доска меловая – 1 шт.;
- проектор LCD с экраном – 1 шт.;
- парты 25 шт. на 50 посадочных мест.

Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий, оснащенная следующим оборудованием:

- стенды с приборной техникой – 5 шт.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное компьютерной техникой, с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации <https://eleden.sbmpei.ru/>:

- персональный компьютер – 30 шт.;
- принтер – 1 шт.;
- мультимедийный проектор – 1 шт.;
- компьютерная сеть с выходом в Интернет – 1 шт.

## 8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости

**для слепых и слабовидящих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

**для глухих и слабослышащих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

**для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература.**

1. Байбаков, В. Д. Физика ядерных реакторов : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. Д. Байбаков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ". – М. : Изд-во МЭИ, 2016. – 420 с. – ISBN 978-5-7046-1793-8. <http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=8725>;
2. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров, и др. – М. : Логос, 2006. – 488 с. – ISBN 5-9870413-7-6.

### **Дополнительная литература**

1. Бартоломей, Г. Г. Сборник задач по курсу "Физика ядерных реакторов" / Г. Г. Бартоломей ; ред. Б. А. Дементьев ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ). – 1993. – 36 с. : 2.00.;
2. Окунев В. С., Лисицын И. С.- "Нейтронно-физический расчет решетки ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса", Издательство: "МГТУ им. Н.Э. Баумана", Москва, 2011 - (145 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52232](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52232).



**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

Но- мер из- ме- не- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	из- ме- нен- ных	за- ме- нен- ных	но- вых	ан- ну- ли- ро- ванн ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10