

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

**КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ**

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ**

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
10	4-6	144- 216	15	30	0		45-117	0	Э
Итого	4-6	144- 216	15	30	0	0	45-117	0	

АННОТАЦИЯ

Курс направлен на формирование знаний в области моделирования нестационарных процессов, протекающих в активной зоне ядерного реактора. Рассматриваются математические модели нестационарных процессов, важных с точки зрения безопасности ядерного реактора. Изучаются различные методы построения этих моделей, обсуждаются их достоинства и недостатки

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью преподавания дисциплины является подготовка студентов к самостоятельной работе в области теоретических и практических проблем математического моделирования динамических режимов ядерных реакторных установок; формирование современного научного подхода к математической формулировке и компьютерной реализации задач динамики ЯЭУ.

Задачами изучения дисциплины являются: освоение студентами основных результатов качественного математического анализа нестационарного уравнения переноса нейтронов; приобретение навыков построения и обоснования приближенных моделей переноса нейтронов; ознакомление с наиболее распространенными в реакторных расчетах способами дискретизации нестационарных задач математической физики; изучение методов ускорения и оптимизации вычислительных алгоритмов в динамике ЯЭУ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Перечень дисциплин, необходимых для изучения данного курса:

- уравнения математической физики;
- ядерная физика и нейтронные эффективные сечения;
- теория тепломассопереноса;
- дифференциальные и интегральные уравнения;
- теория функций комплексной переменной;
- численные методы теории переноса нейтронов.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		опыта)	
научно-исследовательский			
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-2.1 [1] - Способен использовать современные численные методы и профессиональные расчетные пакеты прикладных программ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2.1[1] - Знать: возможности использования информационных технологий, методы численного анализа, методы определения проблемы и оценки полученных результатов для математического моделирования и анализа теплофизических и нейтронно-физических процессов с применением компьютерных кодов. ; У-ПК-2.1[1] - Уметь: использовать специальные программные обеспечения для решения нейтронно-физических задач, применяя современные экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований ; В-ПК-2.1[1] - Владеть: навыками работы с современными программными средствами для обеспечения безопасности ядерных установок и материалов
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-2.2 [1] - способен совершенствовать методы физического и математического моделирования ядерно-физических установок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-2.2[1] - Знать: современные методы для решения задач описания физических процессов в ядерных реакторах, методы моделирования нейтронно-физических процессов и методы теории возмущений, способы представления

			нейтронных эффективных сечений ; У-ПК-2.2[1] - Уметь: проводить анализ недостатков применения существующих методов и разрабатывать способы их нивелирования; В-ПК-2.2[1] - Владеть: навыками работы с современными языками программирования для автоматизации информационного процесса анализа данных
--	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование

		воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>10 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2
2	Второй раздел	9-15	7/14/0		25	КИ-15	З-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, З-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2

	<i>Итого за 10 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 10 Семестр				50	Э	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.2, У-ПК-2.2, В-ПК-2.2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>10 Семестр</i>	15	30	0
1-8	Первый раздел	8	16	0
1 - 4	Введение Существующие и перспективные типы ЯЭУ. Стационарные, переходные штатные и аварийные режимы работы ядерных реакторов. Задачи комплексного математического моделирования нестационарных процессов в практике проектирования и эксплуатации ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Существующие и перспективные типы ЯЭУ. Стационарные, переходные штатные и аварийные режимы работы ядерных реакторов. Задачи комплексного математического моделирования нестационарных процессов в практике проектирования и эксплуатации ЯЭУ. Существующие и перспективные типы ЯЭУ. Стационарные, переходные штатные и аварийные режимы работы ядерных реакторов. Задачи комплексного математического моделирования нестационарных процессов в практике проектирования и эксплуатации ЯЭУ.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Второй раздел	7	14	0
9 - 12	Проблемы численной реализации нестационарных математических моделей реакторных установок Основные особенности численного решения задач динамики: жесткость, размерность, блочность, нелинейность, разреженность, комплексный спектр и др. Векторное эволюционное уравнение общего вида. Линеаризация. Якобиан. Спектр. Жесткость. * Методы численного решения обыкновенных	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0

	дифференциальных уравнений (АЗК), используемые в реакторных расчетах. Локальная ошибка обрыва. Погрешность метода. Одношаговые методы Рунге-Кутты. Многошаговые методы. Явные и неявные схемы. * Явные и неявные методы интегрирования задач динамики ЯЭУ. Ограничения на временной шаг по устойчивости и точности. Неприемлемость явных методов для комплексных моделей. Система уравнений "корректора" в неявных методах интегрирования. Возможность применения прямых и итерационных методов решения уравнений "корректора" (пошаговых систем). * Методы решения системы уравнений "корректора". Явные итерационные методы (неоптимальной простой итерации, оптимальной простой итерации, методы с Чебышевскими параметрами, с автоматическим выбором ускоряющих параметров и др.) Основные проблемы при использовании явных итерационных схем. Неявные методы решения систем уравнений "корректора". Противоречивость требований к матрице преобразования (матрице "предобуславливания") Методы Ньютона, Шелдона, с трехдиагональной матрицей и др. Блочные методы, блочные итерационные процессы.			
13 - 15	Практическое применение методов построения эффективных приближенных моделей и ускорения итерационных процессов в современных динамических кодах для ЯЭУ. * Примеры эффективных приближенных моделей. Одноточечное приближение. Учет запаздывающих нейтронов с помощью понятия эффективной доли. Полутарогрупповое диффузионное приближение. Крупносеточные модели и нодальные методы. * Алгоритмические особенности современных программ динамического расчета ЯЭУ. Программы RELAP, COBRA, TRAC, ДИНАМИКА, РАДУГА, SCETCH, STEPAN, BARS-COTT и др.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции, практические занятия, самостоятельная работа студентов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2.1	З-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-2.2	З-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.2	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении
60-64			

			программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ L24 A Primer on Scientific Programming with Python : , Langtangen, Hans Petter. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ H33 An Introduction to Statistics with Python : With Applications in the Life Sciences, Haslwanter, Thomas. , Cham: Springer International Publishing, 2016
3. ЭИ K85 Теория переноса нейтронов : учебное пособие для вузов, Юрова Л.Н., Крючков Э.Ф., Москва: МИФИ, 2007
4. 539.1 K85 Теория переноса нейтронов : учебное пособие для вузов, Юрова Л.Н., Крючков Э.Ф., Москва: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Ф36 Теория ядерных реакторов Т.1 Элементарная теория реакторов, Фейнберг С.М., М.: Атомиздат, 1978

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса необходимо твердо усвоить современные экспериментальные методы измерений и обработки данных по ядерно-физическим и теплофизическим свойствам материалов; нейтронно-физических и теплогидравлических параметров ЯЭУ, современные методы моделирования динамических процессов, протекающих в активной зоне ЯЭУ.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В помощь лектору, ведущему занятия по курсу «Методы математического моделирования динамики ядерных реакторов» рекомендуется использовать следующие учебные пособия, методические и справочные материалы.

В качестве основной литературы:

1. Бать Г. А. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1982.
2. Белл Д., Глесстон С. Теория ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1974.
3. Казанский Ю. А., Матусевич Е. С. Экспериментальные методы физики реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Крянев А. В., Шихов С. Б. Вопросы математической теории ядерных реакторов (нелинейный анализ). М.: Энергоатомиздат, 1983.
5. Фейнберг С. М., Шихов С. Б., Троянский В. Б. Теория ядерных реакторов. Элементарная теория реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1978.
6. Фейнберг С. М., Шихов С. Б., Троянский В. Б. Теория ядерных реакторов. Газокинетическая теория. М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Зизин М. Н. Расчет нейтронно-физических характеристик реакторов на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1978.

В случае необходимости дополнительную информацию по вопросам, затрагиваемым в курсе «Методы математического моделирования динамики ядерных реакторов», можно получить, используя следующие материалы:

1. Крамеров А. Я., Шевелев Я. В. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Галанин А. Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Ершов Ю. И., Шихов С. Б. Математические основы теории переноса. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Необходимо познакомить студентов с современными экспериментальными методами измерений и обработки данных по ядерно-физическим и теплофизическим свойствам материалов; нейтронно-физических и теплогидравлических параметров ЯЭУ, с современными методами моделирования динамических процессов, протекающих в активной зоне ЯЭУ.

Учебная задача курса: сформировать знания в области моделирования нестационарных процессов, протекающих в активной зоне ядерного реактора, рассмотреть математические модели нестационарных процессов, важных с точки зрения безопасности ядерного реактора, изучить различные методы построения этих моделей и обсудить их достоинства и недостатки.

Автор(ы):

Щукин Николай Васильевич, д.ф.-м.н., с.н.с.