

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

ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 8/1/2024

от 28.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
6	4	144	15	15	30		39	0	Э
Итого	4	144	15	15	30	15	39	0	

АННОТАЦИЯ

Этот курс описывает методы построения математических моделей устройств (например атомных электростанций) для задач управления и контроля. Изучается методика построения математических моделей топливного элемента, канала реактора и парогенератора.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Математические модели физических процессов» являются:

- показать область разработки современного прикладного математического обеспечения;
- на конкретных примерах продемонстрировать математические модели физических процессов;
- показать проблемы управления сложным техническим объектом – ядерным энергоблоком.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Освоение данной дисциплины должно предшествовать освоению следующих дисциплин:

Непрерывные математические модели

Технология разработки, верификация и сертификация программного обеспечения

НИР в области разработки математического обеспечения ядерно-энергетических систем

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-2 [1] – Способен использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач	3-ОПК-2 [1] – знать существующие математические методы и системы программирования необходимые для реализации алгоритмов решения прикладных задач У-ОПК-2 [1] – уметь использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования необходимые для реализации алгоритмов решения прикладных задач В-ОПК-2 [1] – владеть навыками реализации математических алгоритмов для решения прикладных задач с использованием существующих систем программирования
ОПК-3 [1] – Способен применять и модифицировать математические модели для решения задач в области профессиональной	3-ОПК-3 [1] – знать принципы построения математических моделей физических явлений и процессов У-ОПК-3 [1] – уметь формулировать математические

деятельности	модели различных явлений и процессов на основе физических принципов и законов В-ОПК-3 [1] – владеть навыками построения математических моделей физических явлений и процессов
УКЕ-1 [1] – Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	З-УКЕ-1 [1] – знать: основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования У-УКЕ-1 [1] – уметь: использовать математические методы в технических приложениях, рассчитывать основные числовые характеристики случайных величин, решать основные задачи математической статистики; решать типовые расчетные задачи В-УКЕ-1 [1] – владеть: методами математического анализа и моделирования; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем, основными приемами обработки экспериментальных данных, методами работы с прикладными программными продуктами

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования

		производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (В21)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением</p>

		роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного колLECTивизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.</p>

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>6 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/16		25	КИ-8	З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, З-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
2	Часть 2	9-15	7/7/14		25	КИ-15	З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, З-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, З-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		15/15/30		50		
	Контрольные мероприятия за 6 Семестр				50	Э	З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, З-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3

* – 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>6 Семестр</i>	15	15	30

1-8	Часть 1	8	8	16
1 - 2	Введение Введение. Замедление нейтронов. Потеря энергии при столкновении с рассеянием. Средняя логарифмическая потеря энергии. Коэффициент замедления. Выбор замедлителя. Спектр замедления. Уравнение замедления. Спектр Максвелла. Вероятность избежать резонансного поглощения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Диффузия нейтронов Диффузия нейтронов. Уравнение диффузии. Граничные условия. Решение уравнения диффузии для реакторов различной геометрии.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	Уравнение возраста Уравнение возраста. Критический реактор в диффузионно-возрастном приближении. Эффективное одногрупповое приближение.	Всего аудиторных часов		
		4	4	8
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	7	7	14
9 - 10	Кинетика реактора Кинетика реактора Кинетика реактора. Точечная кинетика. Решение кинетики с одной группой запаздывающих нейтронов. Регулирующие стержни. Запас реактивности.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Продукты деления Продукты деления. Отравление реактора ксеноном и самарием. Ксеноновые колебания.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Выгорание топлива Выгорание топлива. Уравнения выгорания. Решение уравнений выгорания. Коэффициент воспроизведения. Ядерный топливный цикл.	Всего аудиторных часов		
		2	2	4
		Онлайн		
		0	0	0
15	Системы контроля и управления реактором Системы контроля и управления реактором. Разработка математического и программного обеспечения современных ядерно-энергетических систем	Всего аудиторных часов		
		1	1	2
		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

На лекционных и практических занятиях студентам предлагается принимать активное участие в процессе обучения: отвечать на вопросы, выходить к доске для решения и разбора примеров.

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)
ОПК-2	З-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
ОПК-3	З-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
УКЕ-1	З-УКЕ-1	КИ-8, КИ-15
	У-УКЕ-1	КИ-8, КИ-15
	В-УКЕ-1	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		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности,
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	

			недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении 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 Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 621.039 Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Я34 Ядерная энергетика. Проблемы. Решения Ч.2 , , Москва: ЦСПиМ, 2011

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

Необходимо посещать все лекции, практические занятия и выполнить предлагаемые лабораторные работы.

При слушании лекций обращать особое внимание на физический смысл приводимых математических выражений (смысл отдельных членов выводимых уравнений, предельных случаев и т.д.).

Выполнению практических заданий должно предшествовать повторение лекционного материала. При решении предлагаемых задач:

1. Исследование процесса замедления нейтронов. Расчет коэффициента замедления в различных средах;
2. Решение и исследование стационарного уравнения диффузии для одномерного гомогенного реактора различных форм (бесконечная пластина, шар, параллелепипед, бесконечный и конечный цилиндр);
3. Двухзонный реактор (реактор с отражателем);
4. Решение уравнений точечной кинетики для одной и шести групп запаздывающих нейтронов;
5. Расчет концентраций йода и ксенона при скачкообразном изменении мощности «йодная яма»;
6. Решение уравнений изменения нуклидного состава топлива

Следует четко знать размерность величин, их возможный диапазон изменения, провести анализ предельных случаев. Результат аналитического решения выразить графически (например, с помощью программы EXCEL).

Выполнению лабораторных работ должно предшествовать повторение лекционного материала и подготовка к выполнению работы. При подготовке студент должен ознакомиться с соответствующим программным обеспечением, знать и уметь задавать исходные данные для исследования..

Лабораторные работы:

1. Расчёт коэффициента размножения по формуле 4-х сомножителей
2. Решение уравнения диффузии для одномерного случая
3. Влияние положения стержня регулирования на коэффициент размножения
4. Динамика концентраций осколков деления в ядерном реакторе

По результатам исследования должен составить отчет

Отчет должен иметь следующую структуру:

1. Титульный лист.
2. Оглавление
4. Теоретическая часть
5. Результаты исследования
5. Заключение

Формулы следует набирать в редакторе формул WORD. Рисунки могут быть сканированы. Не копировать «тупо» из интернета. Любая приводимая формула должна быть студентом понимаема. Студент должен уметь защищать основные положения отчета.

В качестве основной литературы для подготовки к занятиям следует использовать электронный ресурс «Математические модели физических процессов», содержащий конспект лекций (<https://yadi.sk/i/zQBjO1X2wf3QUg>),

учебное пособие УДК 621.039.5 Загребаев А.М., Овсянникова Н.В Автоматизированная обучающая система по физике реакторов Учебное пособие. М.: Изд МИФИ 1999 — 134с (<https://yadi.sk/d/buukdWbJSOg-TQ>).

Слайды по книге АОС (https://yadi.sk/d/YIFD_fQ9aZsG8w).

В качестве дополнительной литературы можно использовать классическую книгу авторов С.Глесстон и М. Эдлунд «Основы теории ядерных реакторов», Издательство Иностранной литературы, Москва, 19564г. (<https://yadi.sk/d/xqkVmzZWg9uTLw>). На этой книге выросли практически все физики-реакторщики.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В качестве основной литературы для подготовки к занятиям следует использовать электронный ресурс «Математические модели физических процессов», содержащий конспект лекций (<https://yadi.sk/i/zQBjO1X2wf3QUg>),

учебное пособие УДК 621.039.5 Загребаев А.М., Овсянникова Н.В Автоматизированная обучающая система по физике реакторов Учебное пособие. М.: Изд МИФИ 1999 — 134с (<https://yadi.sk/d/buukdWbJSOg-TQ>).

Слайды по книге АОС (https://yadi.sk/d/YIFD_fQ9aZsG8w).

В качестве дополнительной литературы можно использовать классическую книгу авторов С.Глесстон и М. Эдлунд «Основы теории ядерных реакторов», Издательство Иностранной литературы, Москва, 19564г. (<https://yadi.sk/d/xqkVmzZWg9uTLw>). На этой книге выросли практически все физики-реакторщики.

По темам, изложенным в календарном плане, следующие рекомендации:

Тема1

Введение. Замедление нейtronов. Акт рассеяния. Потеря энергии при рассеянии.

При изложении акта рассеяния обратить внимание на понимании студентами разницы при рассмотрении рассеяния в лабораторной системе и системе центра инерции

Тема2

Средняя логарифмическая потеря энергии. Летаргия. Число столкновений при замедлении. Замедляющая способность, коэффициент замедления, выбор замедлителя.

Привести таблицу с коэффициентом замедления и обсудить его составляющие. Указать наилучший по физическим свойствам замедлитель – тяжелую воду.

Тема3

Спектр замедляющихся нейtronов. Уравнение замедления. Замедление на водороде с поглощением и без него. Спектр Максвелла. Плотность (поток) замедления. Связь плотности потока замедления с плотностью потока нейtronов. Вероятность избежать резонансного захвата.

Вывод уравнения замедления обязательно сопровождать схемой. Пояснить существенную разницу между плотностью потока замедления и плотностью потока нейtronов

Тема4

Диффузия нейtronов. Константы диффузии. Плотность тока при диффузии. Уравнение диффузии. Граничные условия. Решение уравнения диффузии с источником в бесконечной среде.

Связать константы диффузии с макроскопическими сечениями взаимодействия.
Остановиться на условиях справедливости диффузионного уравнения.

Тема5

Квадрат длины диффузии. Вывод уравнения критичности для реактора в форме бесконечной плоской пластины.

Дать геометрическую интерпретацию длины диффузии. Остановиться подробнее на физическом смысле собственных функций реактора

Тема6

Уравнение возраста. Физический смысл возраста.

Пояснить размерность возраста.

Тема7

Критическое состояние реактора в диффузионно-возрастном приближении.
Эффективное одногрупповое приближение. Квадрат длины миграции.

Очень подробно дать вывод

Тема8

Вывод уравнений точечной кинетики. Приближение мгновенного скачка.
Одногрупповое приближение.

Показать на рисунке суть приближения мгновенного скачка

Тема9

Решение уравнений точечной кинетики. Органы регулирования. Запас реактивности на органах СУЗ.

Привести схему обратных часов.

Тема10

Отравление реактора. Математическая модель ксенонового отравления. Йодная «яма».
Переходные режимы. Маневренность реактора.

Привести историю с первым американским реактором и идею Ферми

Тема11

Ксеноновые колебания. Условие устойчивости реактора. Оптимизационные задачи.

Рассказать о постановке и решении оптимизационных задач

Тема12

Отравление реактора самарием. Вывод уравнения отравления самарием. Самарийевые переходные процессы. Прометиевый «провал».

Указать существенную разницу между ксеноновым и самарийевым отравлением

Тема 13

Изменение изотопного состава. Уравнения выгорания.

Привести графики изменения изотопного состава

Тема 14

Коэффициент воспроизведения. Топливный цикл.

Дать схему топливного цикла.

Необходимо посещать все лекции, практические занятия и выполнить предлагаемые лабораторные работы.

При слушании лекций обращать особое внимание на физический смысл приводимых математических выражений (смысл отдельных членов выводимых уравнений, предельных случаев и т.д.).

Выполнению практических заданий должно предшествовать повторение лекционного материала. При решении предлагаемых задач:

1. Исследование процесса замедления нейтронов. Расчет коэффициента замедления в различных средах;
2. Решение и исследование стационарного уравнения диффузии для одномерного гомогенного реактора различных форм (бесконечная пластина, шар, параллелепипед, бесконечный и конечный цилиндр);
3. Двухзонный реактор (реактор с отражателем);
4. Решение уравнений точечной кинетики для одной и шести групп запаздывающих нейтронов;
5. Расчет концентраций йода и ксенона при скачкообразном изменении мощности «йодная яма»;
6. Решение уравнений изменения нуклидного состава топлива

Следует четко знать размерность величин, их возможный диапазон изменения, провести анализ предельных случаев. Результат аналитического решения выразить графически (например, с помощью программы EXCEL).

Выполнению лабораторных работ должно предшествовать повторение лекционного материала и подготовка к выполнению работы. При подготовке студент должен ознакомиться с соответствующим программным обеспечением, знать и уметь задавать исходные данные для исследования..

Лабораторные работы:

1. Расчёт коэффициента размножения по формуле 4-х сомножителей
2. Решение уравнения диффузии для одномерного случая
3. Влияние положения стержня регулирования на коэффициент размножения
4. Динамика концентраций осколков деления в ядерном реакторе

По результатам исследования должен составить отчет

Отчет должен иметь следующую структуру:

1. Титульный лист.
2. Оглавление
4. Теоретическая часть
5. Результаты исследования
5. Заключение

Формулы следует набирать в редакторе формул WORD. Рисунки могут быть сканированы. Не копировать «тупо» из интернета. Любая приводимая формула должна быть студентом понимаема. Студент должен уметь защищать основные положения отчета.

Автор(ы):

Загребаев Андрей Маркоянович, д.ф.-м.н.,
профессор