

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 (ВВЕДЕНИЕ)

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
5	2	72	16	16	32		8	0	3
Итого	2	72	16	16	32	16	8	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Курс предназначен для ознакомления с областями разработки современного прикладного математического обеспечения

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются:

Показать основные проблемы в области разработки современного прикладного математического обеспечения;

На конкретных примерах продемонстрировать математические модели физических процессов. Показать проблемы управления сложным техническим объектом – ядерным энергоблоком;

Научить применять знания по разработке алгоритмов численной реализации модели, с учетом конкретной специфики объекта. Подготовить задел для курсов: «Математическое обеспечение ядерных энергетических установок», «Математические модели физических процессов».

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Курс представляет собой дисциплину, которая является частью теоретической профилирующей подготовки студентов. Для успешного освоения дисциплины необходимы знания основ общей физики, математического анализа, теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

В рамках курса закладывается основа для освоения таких курсов как Математическое обеспечение ядерных энергетических установок», «Математические модели физических процессов».

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>
---------------------------------------	---

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

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			

<p>Роль инженера МО: 1. Реализация ML-моделей в продуктивных системах 2. Оптимизация производительности и масштабирование моделей 3. Разработка ML-пайплайнов и автоматизация процессов</p>	<p>– информационные и программные системы; – летательные аппараты; – математические модели процессов в сложных технических системах; – системы ядерно-энергетического комплекса.</p>	<p>ПК-1.13 [1] - (ML-6) Способен применять алгоритмы обучения с подкреплением</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, Анализ опыта: Компетентностно-ролевая модель ИТМО. ML Engineer Проектирует, разрабатывает и улучшает алгоритмы/модели машинного обучения для продуктов компании с учетом требований к производительности и работе в продуктиве (оптимизация инференса, компрессия моделей) Data Analyst - Выбирает и обучает (дообучает) ML модели, проводит валидацию, реализует шаги по улучшению качества моделей</p>	<p>З-ПК-1.13[1] - знать TD-методы и методы Монте-Карло для обучения агента; задает цель агента с помощью полного вознаграждения, вознаграждения с обесценением, лямбда-дохода (Б); У-ПК-1.13[1] - уметь реализовать методы повышения устойчивости RL-систем (например, Safe Exploration, Robust RL, Regularization), проверяет гипотезы поведения модели в нестандартных или неопределенных средах (П); В-ПК-1.13[1] - владеть методами комплексного анализа результативности с учётом объяснимости моделей, устойчивости к атакам, использовать методы доверенного ИИ для оценки (Б).</p>
<p>Роль инженера МО: 1. Реализация ML-моделей в продуктивных системах 2. Оптимизация производительности и масштабирование моделей 3. Разработка ML-пайплайнов и автоматизация процессов</p>	<p>– информационные и программные системы; – летательные аппараты; – математические модели процессов в сложных технических системах; – системы ядерно-энергетического комплекса.</p>	<p>ПК-1.21 [1] - (MnI-1) Способен осуществлять трудовые функции, обусловленные профессиональной ролью, в области профессиональной деятельности.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011, Анализ опыта: Компетентностно-ролевая модель ИТМО Интеллектуальное ассистирование и поддержка принятия решений в</p>	<p>З-ПК-1.21[1] - знать проблемно-ориентированные технологии диагноза и прогноза в системах предиктивной аналитики оборудования (Б); У-ПК-1.21[1] - уметь применять технологии первичной обработки и анализа промышленных данных (П); В-ПК-1.21[1] - владеть методами разработки нейросетевых моделей устройств и</p>

		промышленности. физических процессов на основе технологических архивов предприятия (П)	
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	<p>ПК-1 [1] - Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать результаты научных исследований в области прикладной математики и информационных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-1[1] - знать основные методы научного познания, методы сбора и анализа информации;; У-ПК-1[1] - уметь анализировать информацию, строить логические схемы, интерпретировать результаты научных исследований, критически мыслить, сравнивать результаты различных исследований, формировать собственную позицию в рамках рассматриваемой задачи;; В-ПК-1[1] - владеть навыками работы с научной литературой и навыками интерпретации результатов научных исследований;</p>

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (В21)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)

## 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>5 Семестр</i>							
1	Часть 1	1-8	8/8/16		25	КИ-8	3-ПК-1.13, У-ПК-1.13, В-ПК-1.13, 3-ПК-1.21, У-ПК-1.21, В-ПК-1.21, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
2	Часть 2	9-16	8/8/16		25	КИ-16	3-ПК-1.13, У-ПК-1.13, В-ПК-1.13, 3-ПК-1.21, У-ПК-1.21, В-ПК-1.21, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1
<i>Итого за 5 Семестр</i>		16/16/32		50			
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>			50	3		3-ПК-1.13, У-ПК-1.13, В-ПК-1.13, 3-ПК-1.21, У-ПК-1.21, В-ПК-1.21, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1

\* – 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
З	Зачет

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	16	16	32
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	16
1 - 8	<b>Основы моделей специальных систем</b> Тема 1. Нейтронно - физические основы работы ядерного реактора. Общие сведения о принципах работы ядерного энергетического реактора. Основные элементы конструкции реактора. Поток нейтронов. Сечения взаимодействия. Реакции деления, рассеяния, поглощения. Жизненный цикл нейтронов. Коэффициент размножения. Формула четырех сомножителей. Реактивность реактора. Эффекты реактивности. Распределения плотности потока нейтронов и энерговыделения в реакторе. Связь между размерами и физическими свойствами в критическом реакторе. Лимитирующие параметры. Задачи контроля и управления полями энерговыделения в ядерном реакторе.  Тема 2. Теплофизика реактора. Тепловыделение и отвод теплоты в ядерном реакторе. Энергетический баланс реакции деления. Тепловыделение в элементах конструкции реактора. Теплоносители на АЭС. Отвод тепла из активной зоны. Термовая схема АЭС. Термовое воздействие АЭС на окружающую среду.  Тема 3. Контроль технологических параметров ядерного энергоблока. Способы контроля энерговыделения в ядерных реакторах, нейтронный, - способ. Внутризонные и внезонные детекторы, принцип действия. Термотехнический контроль. Измерение температуры, расхода, давления. Основной состав и задачи информационно-измерительных систем на АЭС	Всего аудиторных часов 8 Онлайн 0	0	0
<b>9-16</b>	<b>Часть 2</b>	8	8	16
9 - 16	<b>Особенности моделей специальных систем</b> Тема 4. Ядерный топливный цикл. Ядерный топливный цикл. Схема ядерного топливного цикла. Основные этапы переработки урановой руды. Обогащение урана. Производство топлива. Изменение нуклидного состава в реакторе. Проблемы захоронения отходов ядерного производства.  Тема 5. Проблемы безопасности атомных электростанций. Проблемы безопасности на атомных электростанциях. Концепция безопасности АЭС. Барьеры безопасности. Авария на ТМИ-2. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Описание Чернобыльской АЭС с реакторами РБМК-1000. Хронология развития аварии. Причины аварии. Последствия аварии. Меры по повышению безопасности действующих реакторов.	Всего аудиторных часов 8 Онлайн 0	0	0

	Тема 6. Современные ядерные энергетические реакторы. водяным и газовым теплоносителем. Реакторы с водой под давлением (ВВЭР-1000, PWR). Реакторы на быстрых нейтронах.. Тяжеловодные реакторы. Тема 7. Проблемы разработки прикладного математического обеспечения.		
--	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>
	<i>5 Семестр</i>
1 - 8	<b>Часть 1</b> 1. Сравнение эффективности ядерного топлива, органического и других видов; 2. Концентрации ядер, нейtronов, сечения взаимодействия;
9 - 16	<b>Часть 2</b> 3. Условие критичности; 4. Теплофизика реактора; 5. Радиоактивный распад;

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс базируется на сочетании и совмещении теоретической и практической подготовки студентов в рамках единых занятий. В начале занятий в форме лекции даются теоретические основы и описываются методы решения задачи, а затем в форме семинара проводится закрепление пройденного материала посредством решения задач, оценки различных вариантов решений, а также совместного обсуждения изученных приемов.

В рамках данного курса проводится серия лабораторных работ, состоящая в выполнении ряда заданий по ходу изучения дисциплины в компьютерных классах кафедры, оборудованных новейшей вычислительной техникой с последующей защитой лабораторных работ.

Теоретический материал курса представлен в виде текста лекций.

Практические задания и темы лабораторных работ разработаны для выработки навыков практического применения методов анализа и синтеза линейных САУ.

## **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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>	<b>Аттестационное мероприятие (КП 1)</b>
ПК-1	З-ПК-1	3, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	3, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	3, КИ-8, КИ-16
ПК-1.13	З-ПК-1.13	3, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.13	3, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.13	3, КИ-8, КИ-16
ПК-1.21	З-ПК-1.21	3, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.21	3, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.21	3, КИ-8, КИ-16

### **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:

<b>Сумма баллов</b>	<b>Оценка по 4-х балльной шкале</b>	<b>Отметка о зачете</b>	<b>Оценка ECTS</b>
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89			B
75-84	4 – «хорошо»		C
70-74			D
65-69			E
60-64	3 – «удовлетворительно»		
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не засчитано»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах

присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. 539.1 К49 Ядерная физика и ядерные реакторы : учебник для вузов, Климов А.Н., Москва: Энергоатомиздат, 2002
3. 621.039 Н60 Ядерные энергетические установки : учебник для вузов, Нигматулин И.Н., Нигматулин Б.И., Москва: Энергоатомиздат, 1986

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 З-14 Автоматизированная обучающая система по физике реакторов : Учеб.пособие, Овсянникова Н.В., Загребаев А.М., Москва: МИФИ, 2002
2. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Шмелев А.Н. [и др.], Долгопрудный: Интеллект, 2014

### **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**

Зачетная (Домашняя работа) для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Коллоквиум для проведения промежуточной аттестации по результатам написания рефератов.

На данном этапе изложения математических моделей физических процессов не приводится сложных математических моделей описания физических процессов. И студентам следует лишь внимательно конспектировать лекции и готовить рефераты по заданным темам.

Объем реферата должен раскрывать тему. Структура реферата должна быть стандартной:

1. Титульный лист.
2. Аннотация
3. Оглавление
4. Основная часть
5. Заключение
6. Список использованной литературы.

Титульный лист должен выглядеть так, как приведен ниже. Формулы следует писать в Microsoft Equation 3. Рисунки могут быть сканированы. Любая приводимая формула должна быть автором реферата понимаема. Студент должен уметь защищать основные положения реферата. Преподавателю сдается также электронная копия в Microsoft Word. Шрифт 14. Полутонный интервал.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Преподавание данного предмета предлагается вести в соответствии с утвержденной программой и календарным планом. Можно пользоваться пособием автора курса «Автоматизированная обучающая система по физике реакторов», а также книгами: А.Н.Климов «Ядерная физика и ядерные реакторы», В.И. Наумов «Физические основы безопасности ядерных реакторов», Б.А «Ядерные энергетические реакторы». Необходимо учесть, что в некоторых лекциях возникнет необходимость использования компьютера, экрана и проектора при демонстрации отдельных разделов.

Теперь конкретные рекомендации по отдельным темам.

Тема 1. Нейтронно - физические основы работы ядерного реактора.

Общие сведения о принципах работы ядерного энергетического реактора. Основные элементы конструкции реактора. Поток нейтронов. Сечения взаимодействия. Реакции деления, рассеяния, поглощения. Жизненный цикл нейтронов. Коэффициент размножения. Формула четырех сомножителей. Реактивность реактора. Эффекты реактивности. Распределения плотности потока нейтронов и энерговыделения в реакторе. Связь между размерами и физическими свойствами в критическом реакторе. Лимитирующие параметры. Задачи контроля и управления полями энерговыделения в ядерном реакторе.

При изложении этой темы уместно воспользоваться теоретической частью АОСа по физике реакторов. При изложении формулы четырех сомножителей целесообразно привести схему.

#### Тема 2. Теплофизика реактора.

Тепловыделение и отвод теплоты в ядерном реакторе. Энергетический баланс реакции деления. Тепловыделение в элементах конструкции реактора. Теплоносители на АЭС. Отвод тепла из активной зоны. Термовая схема АЭС. Термовое воздействие АЭС на окружающую среду.

Здесь следует акцентировать внимание на том, что только теплосъем ограничивает увеличение единичной мощности энергоблоков. Пояснить на термовой схеме, что влияет на коэффициент полезного действия установки.

#### Тема 3. Контроль технологических параметров ядерного энергоблока.

Способы контроля энерговыделения в ядерных реакторах, нейтронный,  $\square$  - способ. Внутризонные и внезонные детекторы, принцип действия. Термотехнический контроль. Измерение температуры, расхода, давления. Основной состав и задачи информационно-измерительных систем на АЭС

При изложении задач контроля и управления предварительно рассказать о принципах работы ионизационной камеры и датчика прямой зарядки.

#### Тема 4. Управление технологическими процессами в ядерном реакторе.

Средства и способы управления реактором. Управление мощностью и распределением энерговыделения. Системы органов регулирования и защиты энергоблоков с реакторами ВВЭР и РБМК. Основные проблемы создания современных СУЗ.

Здесь следует привести принципы управления полями в реакторах ВВЭР и РБМК

#### Тема 5. Биологическое воздействие ионизирующего излучения.

Биологическое воздействие облучения. Механизм воздействия облучения на клеточное вещество. Поглощенная, эквивалентная дозы. Биологические нарушения в зависимости от величины эквивалентной дозы. Источники радиоактивности на АЭС. Контроль и управление радиационной обстановкой на АЭС.

При изложении данной темы можно привести проблему обнаружения негерметичной ТВС в реакторах типа РБМК.

#### Тема 6. Ядерный топливный цикл.

Ядерный топливный цикл. Схема ядерного топливного цикла. Основные этапы переработки урановой руды. Обогащение урана. Производство топлива. Изменение нуклидного состава в реакторе. Проблемы захоронения отходов ядерного производства.

Привести рисунок, отражающий стадии переработки ядерного топлива, подробнее остановиться на движении ядерного топлива на АЭС.

#### Тема 7. Проблемы безопасности атомных электростанций.

Проблемы безопасности на атомных электростанциях. Концепция безопасности АЭС. Барьеры безопасности. Авария на ТМИ-2. Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия. Описание Чернобыльской АЭС с реакторами РБМК-1000. Хронология развития аварии. Причины аварии. Последствия аварии. Меры по повышению безопасности действующих реакторов.

При изложении темы пользоваться не только печатными материалами, но и результатами, изложенными в диссертациях А.В.Краюшкина и А.М.Федосова.

Тема 8. Современные ядерные энергетические реакторы.

Реакторы на атомных электростанциях. Графитовые реакторы с водяным и газовым теплоносителем. Реакторы с водой под давлением (ВВЭР-1000, PWR). Реакторы на быстрых нейтронах.. Тяжеловодные реакторы.

Лучше всего здесь материал изложен в книге В.И.Наумова. Советую пользоваться материалами этой книги.

Тема 9. Проблемы разработки прикладного математического обеспечения.

Здесь необходимо остановиться на разработках сотрудников кафедры Загребаева А.М., Овсянниковой Н.В., Саманчука В.Н., Костанбаева С.В. и др.

Автор(ы):

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