

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**

**ДИНАМИКА И БЕЗОПАСНОСТЬ ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.05.02 Атомные станции: проектирование,  
эксплуатация и инжиниринг

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
8	5	180	30	0	15		51	30	Э
Итого	5	180	30	0	15	15	51	30	

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина ориентирована на студентов, специализирующихся в области физики ядерно-энергетических установок. Основное внимание в курсе уделено нестационарным процессам и особенностям их протекания в различных условиях, физической природе обратных связей, влияющих на динамику реактора, качественной и количественной оценке коэффициентов и эффектов реактивности. Наряду с классической точечной моделью анализируются пространственно-временные процессы в реакторах. Рассматривается проблема устойчивости плотности энерговыделения в реакторе, включая пространственно-временную неустойчивость, связанную с Ксеноном-135. На основе модели Нордгейма-Фукса рассматривается поведение реактора при больших скачках реактивности. Приведено описание остаточного энерговыделения и возможных физико-химических процессов, сопутствующих аварийным ситуациям. Обсуждается опыт крупных аварий на атомных электростанциях и основные положения официальных документов, регламентирующих вопросы безопасности ядерных реакторов.

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

Целью освоения учебной дисциплины динамика ядерных реакторов является ввод студентов, специализирующихся в области физики ядерных реакторов, в круг проблем, связанных с особенностями ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) как потенциальных источников ядерной и радиационной опасности.

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

Для освоения данной дисциплины необходимы следующие:

- Теория ядерных реакторов: основы теории переноса нейtronов, баланс нейtronов в размножающих средах, нестационарное уравнение диффузии;
- Физика ядерных реакторов: нейтронные сечения, процесс деления мгновенные и запаздывающие нейтроны, выгорание и изменение нуклидного состава топлива, процессы отравления и зашлаковывания, накопление биологически значимых радионуклидов;
- Теплофизика ядерных реакторов: основы теплоотвода, нестационарные процессы теплопередачи, теплофизические свойства реакторных материалов, ограничения на условия теплопередачи;
- Дифференциальные уравнения, теория устойчивости

Изучение курса позволит студентам войти в круг проблем, связанных с особенностями ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) как потенциальных источников ядерной и радиационной безопасности

### **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:

<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			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок,рабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерно-физические, тепло- гидравлические и электрические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; ядерно-энергетическое, безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-1.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения параметров реакторной установки и АЭС в целом  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-1.2[1] - Знать Методы и средства математической обработки результатов экспериментальных исследований; У-ПК-1.2[1] - Уметь Анализировать причины возникновения погрешностей при проведении экспериментальных исследований; В-ПК-1.2[1] - Владеть Методиками проведения физических экспериментов
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок,рабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерно-физические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-3 [1] - Способен к проведению исследований физических процессов в ядерных энергетических установках в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008, 40.011	З-ПК-3[1] - знать методы проведения исследований физических процессов ; У-ПК-3[1] - уметь проводить исследования и испытания оборудования ядерных энергетических установок ; В-ПК-3[1] - владеть методиками испытаний оборудования при его монтаже и наладке
проектирование, создание и эксплуатация атомных	ядерно-физические процессы, протекающие в	ПК-4 [1] - Способен составить отчет по выполненному	З-ПК-4[1] - знать нормативные документы для

<p>станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>	<p>заданию, готов к участию во внедрении результатов исследований и разработок в области проектирования и эксплуатации ЯЭУ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008, 40.011</p>	<p>составления отчетов по выполненным заданиям; ; У-ПК-4[1] - уметь обобщать и анализировать научно-техническую информацию;; В-ПК-4[1] - владеть методами проектирования ЯЭУ и внедрения результатов исследований в эксплуатацию</p>
<b>производственно-технологический</b>			
<p>проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок</p>	<p>ПК-9 [1] - Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033</p>	<p>З-ПК-9[1] - Знать правила и нормы в атомной энергетике, критерии эффективной и безопасной работы ЯЭУ; ; У-ПК-9[1] - уметь анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ;; В-ПК-9[1] - владеть методами анализа нейтронно-физических и технологических процессов в ЯЭУ.</p>
<p>проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля,</p>	<p>процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности,</p>	<p>ПК-10 [1] - Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами</p>	<p>З-ПК-10[1] - знать критерии ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ; ; У-ПК-10[1] - уметь проводить оценки ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ;; В-ПК-10[1] - владеть методами оценки ядерной и радиационной безопасности при</p>

защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033	эксплуатации ЯЭУ, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами
--	---	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 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>8 Семестр</i>							
1	Часть 1	1-8	16/0/8		25	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
2	Часть 2	9-15	14/0/7		25	КИ-15	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4,

						У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		30/0/15	50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>			50	Э	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10

\* – 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>8 Семестр</i>	30	0	15
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	16	0	8
<b>1 - 4</b>	<b>Особенности и потенциальная опасность нестационарных процессов в ядерных реакторах. Роль запаздывающих нейтронов. Кинетика реактора в точечном приближении. Реактивность. Периоды реактора. Качественный анализ нестационарных процессов на основе модели "точечной"</b>	Всего аудиторных часов 8 Онлайн	0 0	4 0

	кинетики с одной эффективной группой эмиттеров запаздывающих нейтронов. Приближение "мгновенного скачка", или "нулевого времени жизни мгновенных нейтронов". Модель "точечной" кинетики с шестью группами эмиттеров. Спектр эмиттеров. Реактор с внешним источником нейтронов.			
5 - 8	<b>Внутренние обратные связи в реакторе. Их стабилизирующая и дестабилизирующая роль.</b> <b>Коэффициенты и эффекты реактивности. Модели динамических процессов при наличии обратных связей. Характерные особенности</b> Внутренние обратные связи в реакторе. Их стабилизирующая и дестабилизирующая роль. Коэффициенты и эффекты реактивности. Модели динамических процессов при наличии обратных связей. Характерные особенности динамических процессов. Коэффициенты и эффекты реактивности в реакторах современных типов. Устойчивость реактора при наличии обратных связей. Основные понятия теории устойчивости. Способы исследования устойчивости.	Всего аудиторных часов 8      0      4 Онлайн 0      0      0		
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	14	0	7
9 - 10	<b>Распределённая модель кинетики. Качественный анализ пространственных эффектов и обоснование "точечной" модели. Распределённая модель динамики. Ксеноновые переходные процессы и пространственная ксенонона</b> Распределённая модель кинетики. Качественный анализ пространственных эффектов и обоснование "точечной" модели. Распределённая модель динамики. Ксеноновые переходные процессы и пространственная ксеноновая неустойчивость больших тепловых реакторов. Критерий устойчивости.	Всего аудиторных часов 5      0      2 Онлайн 0      0      0		
11 - 12	<b>Поведение реакторов при больших возмущениях реактивности. Большие нейтронные вспышки. Роль обратных связей. Модель Фукса-Хансена.</b> Поведение реакторов при больших возмущениях реактивности. Большие нейтронные вспышки. Роль обратных связей. Модель Фукса-Хансена.	Всего аудиторных часов 5      0      2 Онлайн 0      0      0		
13	<b>Остаточное энерговыделение в реакторе. Аккумулированное тепло в компонентах активной зоны. Энерговыделение за счёт физико-химических процессов.</b> Остаточное энерговыделение в реакторе. Аккумулированное тепло в компонентах активной зоны. Энерговыделение за счёт физико-химических процессов.	Всего аудиторных часов 2      0      3 Онлайн 0      0      0		
14 - 16	<b>Общие положения безопасности атомных станций. Технические требования к конструкции и характеристикам активной зоны. Системы безопасности, их функции. Особенности конструкций, характеристики активной зоны</b> Общие положения безопасности атомных станций.	Всего аудиторных часов 2      0      0 Онлайн 0      0      0		

	Технические требования к конструкции и характеристикам активной зоны. Системы безопасности, их функции. Особенности конструкций, характеристики активной зоны и меры по обеспечению ядерной безопасности современных и перспективных реакторов. Принцип "защиты в глубину". Концепция внутренней безопасности. Уроки крупных аварий на атомных станциях.		
--	--	--	--

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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>
	<i>8 Семестр</i>
	<b>Работа 1</b> Исследование поведения ядерного реактора при скачкообразном изменении реактивности
	<b>Работа 2</b> Источник нейтронов в подкритическом реакторе
	<b>Работа 3</b> Линейный ввод (вывод) реактивности
	<b>Работа 4</b> Исследование влияния обратных связей и механизма саморегулирования ядерного реактора
	<b>Работа 5</b> Исследование влияния возмущений входных параметров на поведение реактора с обратными связями по температуре топлива и теплоносителя
	<b>Работа 6</b> Динамика реакторов при больших скачках реактивности (нейтронные вспышки)

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривается использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных презентаций, разбора конкретных ситуаций по теме, проведения дискуссий) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебных курсов предусмотрены встречи с

представителями российских и зарубежных компаний, государственных и общественных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов.

## 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-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-9	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 иочно 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	4 – «хорошо»	C	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская
70-74		D	

			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, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	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 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 П 27 Python. Разработка на основе тестирования. Повинуйся Билли-тестировщику, используя Django, Selenium и JavaScript : , Персиаль Г. , Москва: ДМК Пресс, 2018
2. 621.039 Н34 Моделирование нестационарных и аварийных процессов в ядерных энергетических установках : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Смирнов В.Е., Наумов В.И., Москва: МИФИ, 2007
3. ЭИ Н34 Моделирование нестационарных и аварийных процессов в ядерных энергетических установках : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Смирнов В.Е., Наумов В.И., Москва: МИФИ, 2007
4. ЭИ Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 С12 Основы ядерной и радиационной безопасности на внешних этапах ядерного топливного цикла : учеб. пособие для вузов, Смирнов А.А., Савандер В.И., М.: МИФИ, 2006

### **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 студентам необходимо ознакомить с кругом проблем, связанных с особенностями ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) как потенциальных источников ядерной и радиационной опасности. Дисциплина является теоретической основой для выполнения заданий по ядерным энергетическим установкам.

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

Дисциплина ориентирована на студентов, специализирующихся в области физики ядерно-энергетических установок. Курс включает, кроме лекций, лабораторный практикум, два домашних задания. Основное внимание в курсе уделено нестационарным процессам и особенностям их протекания в различных условиях, физической природе обратных связей, влияющих на динамику реактора, качественной и количественной оценке коэффициентов и эффектов реактивности. Наряду с классической точечной моделью анализируются пространственно-временные процессы в реакторах. Рассматривается проблема устойчивости плотности энерговыделения в реакторе, включая пространственно-временную неустойчивость, связанную с Ксеноном-135. На основе модели Нордгейма-Фукса рассматривается поведение реактора при больших скачках реактивности. Приведено описание остаточного энерговыделения и возможных физико-химических процессов, сопутствующих аварийным ситуациям. Обсуждается опыт крупных аварий на атомных электростанциях и основные положения официальных документов, регламентирующих вопросы безопасности ядерных реакторов.

Автор(ы):

Волков Юрий Николаевич

Наумов Владимир Ильич, к.ф.-м.н., профессор

