

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ
РЕАКТОРОВ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ДИНАМИКА И КИНЕТИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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
3	3	108	32	0	0	76	0	3
Итого	3	108	32	0	0	76	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Динамика и безопасность ядерных энергетических установок» ориентирована на студентов, специализирующихся в области физики ядерно-энергетических установок. Курс рассчитан на один семестр и включает, кроме лекций, лабораторный практикум, семинарские занятия и 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.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины динамика и безопасность ядерных энергетических установок 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

Данная дисциплина относится к профессиональному модулю 2: Теория и методология нейтронно-физического расчета ядерных реакторов образовательной программы «Физика ядерных энергетических установок».

Следующие дисциплины необходимы для освоения данной:

- Теория ядерных реакторов: основы теории переноса нейтронов, баланс нейтронов 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

Курс «динамика и безопасность ядерно-энергетических установок» входит в число базовых при подготовке современных магистров по направлению «Ядерная физика и технологии». Его изучение 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:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно- исследовательский			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики	ПК-1.1 [1] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-1.1[1] - знать методы нейтронно-физических и теплогидравлических измерений и расчетов; У-ПК-1.1[1] - уметь выполнять нейтронно-физические и теплогидравлические измерения в реакторной установке; В-ПК-1.1[1] - владеть прикладным программным обеспечением

	и энергетики, перспективные методы преобразования энергии		
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	ПК-8 [1] - способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-8[1] - знать типовые методики и номенклатуру выполнения измерений и расчетов процессов; ; У-ПК-8[1] - уметь обрабатывать результаты измерений и анализировать результаты расчетов;; В-ПК-8[1] - владеть методами исследования физических процессов
производственно-технологический			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих,	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах	ПК-1.2 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации ядерно-энергетических	З-ПК-1.2[1] - знать правила охраны труда и культуру безопасности; У-ПК-1.2[1] - уметь обеспечивать безопасную эксплуатацию систем

<p>преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию</p>	<p>ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии</p>	<p>установок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>и оборудования; В-ПК-1.2[1] - владеть методами и приемами безопасного выполнения работ с соблюдением требований охраны труда и инструкций по безопасности</p>
<p>проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию</p>	<p>ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов и бланкетов термоядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-</p>	<p>ПК-10 [1] - способен разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-10[1] - знать передовой отечественный и зарубежный опыт в области использования атомной энергии; ; У-ПК-10[1] - уметь анализировать информационные документы с результатами научных исследований;; В-ПК-10[1] - владеть опытом разработка предложений по совершенствованию действующих процессов на основе передовых научных достижений</p>

	физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии		
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>3 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/0/0		25	КИ-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-

							10, У- ПК- 10, В- ПК- 10
2	Часть 2	9-16	16/0/0		25	КИ-16	3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 1.2, У- ПК- 1.2, В- ПК- 1.2, 3-ПК- 8, У- ПК-8, В- ПК-8, 3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		32/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	30	3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 1.2, У- ПК- 1.2, В-

							ПК-1.2, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-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
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Неделя	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	32	0	0
1-8	Часть 1	16	0	0
1 - 4	Особенности и потенциальная опасность нестационарных процессов в ядерных реакторах. Роль запаздывающих нейтронов. Кинетика реактора в точечном приближении. Реактивность. Периоды реактора. Качественный анализ 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" 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.	Всего аудиторных часов		
		8	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

5 - 8	Внутренние обратные связи в реакторе. Их стабилизирующая и дестабилизирующая роль. Коэффициенты и эффекты реактивности. Модели динамических процессов при наличии обратных связей. Характерные особеннос 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	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Часть 2	16	0	0
9 - 10	Распределённая модель кинетики. Качественный анализ пространственных эффектов и обоснование "точечной" модели. Распределённая модель динамики. Ксеноновые переходные процессы и пространственная ксеноно 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		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Поведение реакторов при больших возмущениях реактивности. Большие нейтронные вспышки. Роль обратных связей. Модель Фукса-Хансена. Поведение реакторов при больших возмущениях реактивности. Большие нейтронные вспышки. Роль обратных связей. Модель Фукса-Хансена.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Остаточное энерговыделение в реакторе. Аккумулированное тепло в компонентах активной зоны. Энерговыделение за счёт физико-химических процессов. Остаточное энерговыделение в реакторе. Аккумулированное тепло в компонентах активной зоны. Энерговыделение за счёт физико-химических процессов.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 16	Общие положения безопасности атомных станций. Технические требования к конструкции и характеристикам активной зоны. Системы безопасности, их функции. Особенности конструкций, характеристики активной з Общие положения безопасности атомных станций. 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.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Уроки крупных аварий на атомных станциях.			
--	---	--	--	--

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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

по направлению подготовки (специальности) предусматривается широкое 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.

6. 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-1.1	З-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.1	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-1.2	З-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1.2	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-10	З-ПК-10	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-10	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-10	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-8	З-ПК-8	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-8	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-8	ЗО, 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:

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 программного материала.
60-64			
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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ L24 A Primer on Scientific Programming with Python : , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
2. ЭИ Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. ЭИ Н34 Моделирование нестационарных и аварийных процессов в ядерных энергетических установках : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, В. И. Наумов, В. Е. Смирнов, Москва: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

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.

10. 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