

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

ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
КАФЕДРА АВТОМАТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**УПРАВЛЕНИЕ И БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК**

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	16	32	0		60	0	30
Итого	3	108	16	32	0	0	60	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина является основой для получения студентами знаний о том, какое место занимают задачи управления нейтронно-физическими параметрами ЯЭУ и обеспечения безопасной эксплуатации в жизнедеятельности АЭС, о том какие задачи стоят перед службами инженерной поддержки эксплуатации и учебной подготовки персонала АЭС и как они решаются в настоящее время.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- приобретение знаний о конструкции и физических характеристиках оборудования ЯЭУ с ВВЭР, о системах: СУЗ, СВРК, АKNП, - о нейтронно-физических и тепло-гидравлических характеристиках активной зоны ВВЭР, о перечне моделируемых режимов, необходимых для обоснования эксплуатационных характеристик ЯЭУ при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации.
- получение знаний о системе управления и защиты (СУЗ) реактора в современных ЯЭУ, о функциональном назначении основных компонентов СУЗ, по принципам работы основных регуляторов СУЗ;
- получение знаний об основных параметрах безопасности, определяющих состояние защитных физических барьеров (корпуса реактора, оболочки ТВЭЛ и топливной матрицы ТВЭЛ), о пределах нормальной эксплуатации, о физических явлениях, приводящих к ядерно-опасным ситуациям в случае аварии;
- получение знаний о системах контроля параметров ЯЭУ, определяющих безопасность эксплуатации оборудования АЭС, о технологии проведения плановых измерений нейтронно-физических характеристик активной зоны и задачах в правильной интерпретации результатов этих измерений;
- приобретение знаний о динамических характеристиках ЯЭУ как объекта управления, о поведении реактора при разгоне реактора на мгновенных и запаздывающих нейтронах, о характеристиках данных процессов и поведении основных параметров безопасности активной зоны в этих процессах, о зависимости характеристик разгонов от типа топливной загрузки и момента кампании.
- приобретение знаний о влиянии качества моделирования физических процессов в оборудовании АЭС (способы интерполяции нейтронных сечений в модели активной зоны, способы учета резонансного захвата нейтронов в топливе и т.д.) на проверку работы систем управления и комплексное тестирование алгоритмов управления и технологических систем энергоблока;
- получение знаний о системах безопасности на действующих энергоблоках АЭС и на вновь строящихся АЭС, о методологии расчетного обоснования технической безопасности ЯЭУ на стадии проектирования и расчетной обработки динамических испытаний при пуске-наладке новых энергоблоков;
- получение знаний о проектном перечне аварий, о тяжелых авариях на АЭС, о мерах по их недопущению, о методологии проведения противоаварийных тренировок персонала АЭС при моделировании ТА на ПМТ

- приобретение навыков по расчету нейтронно-физических характеристик органов регулирования в составе СУЗ, понимания взаимообусловленности характеристик основных регуляторов управления мощностью с н/ф характеристиками активной зоны;
- приобретение навыков по управлению энергоблоком при его пуске из горячего состояния на мощность, по оптимальному управлению в переходных режимах при частичных нарушениях нормальной эксплуатации;

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для изучения данной дисциплины студент должен обладать знаниями:

- по следующим разделам высшей математики: линейная алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения, уравнения математической физики, операционное исчисление в объеме общеобразовательных программ для технических вузов;
- по общей физике и физике ядерных энергетических установок в объеме общеобразовательных и специализированных программ для технических вузов;
- по вопросам безопасной эксплуатации ЯЭУ в объеме специализированных программ для технических вузов.

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			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра,	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности,	ПК-2.1 [1] - Способен разработку систем радиационного контроля на атомных электрических станциях и проводить оценку накопления доз излучения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-2.1[1] - Знать нормы радиационной безопасности; У-ПК-2.1[1] - Уметь разрабатывать системы радиационного контроля на атомных электрических станциях; В-ПК-2.1[1] - Владеть методами оценки

частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		накопления доз излучения
--	---	--	---------------------------------

исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия	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
--	---	--	--

	излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
производственно-технологический			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности,	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине,	ПК-2.4 [1] - Способен делать оценку радиационной безопасности при эксплуатации АЭС и разрабатывать способы снижения радиационных нагрузок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-2.4[1] - Знать нормы радиационной безопасности; У-ПК-2.4[1] - Уметь разрабатывать способы снижения радиационных нагрузок; В-ПК-2.4[1] - Владеть методами оценки радиационной обстановки при эксплуатации АЭС

безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии	ПК-2.5 [1] - Способен разрабатывать и внедрять системы автоматики и управления технологическими процессами на АЭС <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-2.5[1] - Знать принципы автоматизированного управления технологическими процессами на АЭС; У-ПК-2.5[1] - Уметь внедрять системы автоматики и управления технологическими процессами на АЭС; В-ПК-2.5[1] - Владеть методами разработки систем автоматики и управления технологическими процессами на АЭС

физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества,	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная	ПК-2.6 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации АЭС <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-2.6[1] - Знать методы вероятностного анализа безопасности АЭС; У-ПК-2.6[1] - Уметь выбирать обоснованные критерии безопасной работы АЭС; В-ПК-2.6[1] - Владеть методиками оценки рисков при эксплуатации АЭС

физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
педагогический			
исследования, разработки и	атомное ядро, элементарные	ПК-6 [1] - способен использовать учебно-	3-ПК-6[1] - знать порядок разработки

технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и	методическую литературу, лабораторное оборудование и программное обеспечение для проведения лекций, практических и лабораторных занятий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	технических решений и заданий; ; У-ПК-6[1] - уметь разрабатывать рабочие программы;; В-ПК-6[1] - владеть навыками проведения обучения персонала
---	---	---	--

	неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4
2	Раздел 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4, 3-ПК-2.5, У-ПК-2.5, В-ПК-2.5, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	30	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4, 3-ПК-2.5, У-ПК-2.5, В-ПК-2.5, 3-ПК-2.6,

							У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
--	--	--	--	--	--	--	---

* – 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

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Раздел I	8	16	0
1 - 2	Введение: Предмет курса и его задачи. Основные тенденции в развитии атомной энергетики в России и за рубежом, и в частности в АСУ ТП АЭС для энергоблоков нового поколения. Основные технические и конструкционные характеристики ЯЭУ нового поколения, общие характеристики СУЗ современных ЯЭУ и их функциональный состав. Характерные физические явления, присущие современным ядерным энергетическим установкам в переходных и аварийных режимах.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Основные нейтронно-физические (н/ф) характеристики активной зоны современных ЯЭУ. Динамические характеристики реактора как объекта управления. Понятия само защищённости ЯЭУ как ядерно-опасного объекта и саморегулирования реактора при небольших отклонениях от стационарных условий эксплуатации. Основные параметры, определяющих само защищённость и саморегулирование реактора: коэффициенты реактивности и их обусловленность состоянием активной зоны и составом топливной загрузки.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Основные нейтронно-физические (н/ф) характеристики активной зоны в составе ЯЭУ. Статические характеристики реактора как объекта управления. Статические характеристики ядерного реактора	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	представляют собой совокупность различных эффектов реактивности, которые определяют баланс нейтронов в активной зоне. В лекции подробно рассказано об обусловленности величин различных эффектов реактивности состоянием активной зоны и составом топливной загрузки. Даны понятия статической и динамической реактивности, объясняется физическое и математическое различие этих величин.			
5	Необходимый уровень моделирования физических процессов в оборудовании АЭС для тестирования проектируемых и модернизируемых алгоритмов управления. Показан необходимый уровень моделирования физических процессов для адекватного воспроизведения широкого спектра режимов с целью обоснования надежной работы систем управления и систем безопасности ЯЭУ в штатных и нештатных ситуациях при эксплуатации энергоблоков современных АЭС. Рассмотрены примеры влияния качества подготовки нейтронных сечений и их аппроксимации от режимных параметров на точность моделирования физических процессов, необходимую для достоверной верификации работы основных регуляторов в составе СУЗ реактора на стадии их проектирования или модернизации. Рассмотрены различные интерполяционные процедуры, основанные на различных методах и приемах, для аппроксимации нейтронных сечений, используемых в расчетных моделях активной зоны. Определены критерии успешности интерполяции для комплексных моделей ЯЭУ: обеспечение точности прогнозирования временного поведения объекта при внесении различного рода возмущений.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Лимитирующие параметры, определяющие пределы безопасной эксплуатации ЯЭУ. Контроль лимитирующих параметров ЯЭУ в стационарных условиях и в переходных режимах. Перечислены основные системы контроля ядерно-физических и радиационных параметров: АKNП, СВРК, АСКРО. Дана их краткая характеристика. Рассказано о трудностях в интерпретации результатов измерений ряда параметров, о физических и технологических причинах, предопределяющих эти трудности.. Рассказано о проблемах оперативных измерений нейтронного потока БИК и необходимость коррекции их показаний на мощности. Дана краткая характеристика систем АКЭ, АКПМ, КОРТ и т.д. Рассказано о трудностях, имеющих место в оперативном температурном контроле по технологическим датчикам 1-го контура ЯЭУ, и о задачах по определению тепловой мощности реактора и повышению точности этого определения. Рассказано об измерениях нейтронного потока датчиками СВРК – КНИ (ДПЗ), и о задачах восстановления нейтронных полей по	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	всему объему зоны системами ХОРТИЦА и КРУИЗ.			
9-16	Раздел 2	8	16	0
7	Нейтронно-физические характеристики групп и отдельных органов регулирования (ОР) в составе СУЗ. Дано понятие интегро-дифференциальной характеристики (ИДХ) групп и отдельных ОР СУЗ. Рассказано об расчетно-экспериментальных методах их определения. Сформулированы задачи интерпретации результатов измерений характеристик ОР СУЗ и рассказано об их обусловленности от места расположения БИК по отношению к измеряемому ОР. Проводится анализ зависимости характеристики ОР СУЗ от распределения нейтронного поля и взаимного расположения различных групп по активной зоне, проводится анализ влияния нестационарного отравления активной зоны ксеноном на эффективность групп ОР СУЗ. Рассматривается задачи расчета эффективности отдельных групп ОР СУЗ на мощности при проведении пуско-наладочных испытаний энергоблока.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Управление реактора при нормальной эксплуатации на базовой мощности и в условиях регламентных переходных режимов. В настоящей лекции уделено основное внимание освещению вопросов, связанных с работой основных регуляторов по поддержанию мощности ЯЭУ АРМ в составе СУЗ и ЭГСР в составе АСУТ и системе контроля нейтронного потока, поставляющую исходную информацию для регулятора АРМ и других систем управления. Измерительной частью АРМ является БИК в составе комплекса АКНП, который предназначен для контроля нейтронной мощности и периода реактора во всех режимах работы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	Управление полем энерговыделений в объеме активной зоны. Лекция посвящена рассмотрению ксеноновых колебаний локальной мощности в объеме активной зоны, причин их возникновения, алгоритмов подавления колебаний. В лекции рассмотрены различные методы определения критерия устойчивости реактора по отношению к ксеноновым колебаниям интегральной и локальной мощности. Предлагается метод на основе спектрального анализа характеристического уравнения, полученного из базовых системы уравнений нейтронной кинетики при упрощении пространственной дискретизации уравнений в частных производных. Рассказано об опасности колебаний локальной мощности в связи с превышением локальных лимитирующих параметров и алгоритмах подавления этих колебаний.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Концепция обеспечения безопасности ЯЭУ и АЭС в целом. В лекции изложены критерии и принципы безопасности, нормативные требования, принцип единичного отказа,	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	функции безопасности, методы обеспечения безопасности. Раскрыто понятие ядерной и теплотехнической безопасности активной зоны в составе реакторной установки. Рассказано о системах безопасности современных ядерных установок на действующих и проектируемых АЭС, их функциях и о проектно-технических решениях по повышению безопасности, которые находятся сейчас на стадии внедрения.			
11	Пределы нормальной эксплуатации. Технология формирования лимитирующих параметров, определяющих безопасность защитных барьеров конструкции активной зоны. О безопасности эксплуатации можно судить по результатам надёжного контроля параметров, характеризующих нормальные условия работы реакторного оборудования. Однако в случае серьёзного отказа какого-либо элемента оборудования контроль некоторых параметров становится зачастую невозможным или бессмысленным. Поэтому в случаях серьёзных аварий говорить нужно не о пределах нормальной эксплуатации, а о параметрах безопасности, которые являются сигналом о повреждении или даже разрушении барьеров безопасности. Предельные значения этих параметров, как правило, не зависят от внешних условий и определяются свойствами материалов и физикой процессов, происходящих при всевозможных авариях и нарушениях. В настоящей лекции даются определения этих параметров и для большей части из них указываются предельные значения, по которым можно контролировать состояние оборудования ЯЭУ и степень его повреждения. Среди параметров, о которых речь пойдет ниже, есть ненаблюдаемые параметры, которые, однако, являются истинным мерилем уровня безопасности активной зоны и ЯЭУ в целом.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Эксплуатационные режимы нормальной эксплуатации ЯЭУ и эксплуатационные режимы с нарушением условий нормальной эксплуатации. В лекции дан краткий обзор пусковых режимов ЯЭУ и режима планового останова энергоблока. Подробно рассмотрен регламент пуска энергоблока из горячего состояния после короткой и длительной остановок. Дано понятие «йодной ямы» при останове реактора и даны критерий попадания в такую «яму» и рекомендации выхода из неё. Разобраны режимы с нарушением нормальной эксплуатации и регламент выхода из них.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Проектные аварийные ситуации. Расчетное обоснование безопасности ЯЭУ в рамках ТОБ энергоблока АЭС. Основной целью расчетного обоснования безопасности является проверка не превышения основных показателей безопасности активной зоны разрешенных пределов в аварийных ситуациях. Пределы могут быть разного	Всего аудиторных часов		
		1	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	уровня. Превышение пределов первого уровня свидетельствует о нарушениях нормальной эксплуатации (нет заметных повреждений защитных барьеров активной зоны и реактора). Превышение пределов второго уровня свидетельствует об аварийных ситуациях, при которых нарушаются нормальная эксплуатация (есть заметные повреждения защитных барьеров активной зоны и реактора, но нет разрушения конструкции зоны). Превышение пределов третьего второго уровня свидетельствует об аварийных ситуациях, при которых есть заметные повреждения защитных барьеров активной зоны и реактора, которые приводят к разрушению конструкции зоны. Задача технического обоснования безопасности (ТОБ) проверка в проектном перечне аварий (аварии с использованием принципа единичного отказа) не превышения пределов параметров безопасности третьего уровня. В лекции изложена суть принципа консервативности, принятого в расчетном анализе безопасности ЯЭУ, сделан краткий обзор имеющихся расчетных кодов, отмечены их достоинства и недостатки. Рассказано о комплексных полномасштабных математических моделях ЯЭУ и АЭС в целом.			
15 - 16	Запроектные аварии (ЗА) и тяжелые аварии (ТА). В данной лекции дается определение ЗА и ТА. Выделены два типа тяжелых аварий на АЭС с ВВЭР, переходящих в необратимую стадию. Один тип аварий связан с авариями, аналогичными МПА, т.е. авариями с разрывами различных трубопроводов в 1-ом контуре, приводящими к большим течениям теплоносителя и очень быстрому первичному обезвоживанию активной зоны до начала полноценной работы защитных систем, таких как САОЗ (как активных так и пассивных) высокого и низкого давления. Указанные аварии при переходе в запроектную стадию и, возможно, в тяжелую стадию характеризуются, как правило, потерей принудительной циркуляции САОЗ низкого давления. Второй тип аварий аналогичен аварии на АЭС «Three Miles Island», идентификация которой не проста, так как в этом случае трудно быстро определить малую течь из первого контура, и определить обезвоживание активной зоны можно только по косвенным признакам. В этих условиях самое важное знать, сколько времени осталось до начала необратимого разрушения конструкции активной зоны. Это нужно для того, чтобы оценить возможность дополнительных мероприятий в соответствии с РУТА для восстановления принудительной циркуляции теплоносителя через зону до начала разрушения основного защитного барьера топлива. Методам оценки времени до начала разрушения зоны и определения мероприятий для восстановления циркуляции через реактор и посвящена данная лекция. Рассказано о том, как проходят противоаварийные тренировки на ПМТ Российских АЭС.	Всего аудиторных часов		
		1	4	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
	Тема работы №1. Динамические и статические характеристики реактора ВВЭР-1000 как объекта управления. Изучение характеристик нейтронной вспышки на мгновенных нейтронах и масштаба само защищённости реактора ВВЭР и их зависимости от типа топливной загрузки и момента кампании реактора. Изучение разгона реактора на запаздывающих нейтронах и влияние точности моделирования на параметры данного процесса.
	Тема работы №2. Температурный и барометрический коэффициенты реактивности. Изучение их зависимости от обогащения топлива и расстановки топлива в активной зоне, а также от наличия ОР СУЗ в активной зоне. Изучение эксплуатационных мероприятий по обеспечению коэффициентов реактивности нужного знака для выполнения требований ПБЯ. Требования к точности моделирования и точности библиотеки нейтронных сечений для их использования в расчетных кодах.
	Тема работы №3. Нейтронно-физические характеристики групп органов регулирования (ОР) в составе СУЗ. Построение интегро-дифференциальной характеристики групп ОР СУЗ. Изучение их эффективности от взаимного расположения различных групп в зоне и от мощности. Сравнение характеристик групп ОР СУЗ, полученных расчетным путем из полного баланса нейтронов в зоне и в результате моделирования измерений по БИК. Анализ разницы и определение причины данного рассогласования.
	Тема работы №4. Определение «веса» аварийной защиты и отдельного ОР СУЗ при статическом и динамическом моделировании полного баланса нейтронов в зоне и моделировании проведения измерений по БИК на АЭС. Сопоставление полученных результатов и их анализ в зависимости от расстановки топлива в зоне. Изучение величины «веса» АЗ от времени по балансу нейтронов и по измерениям БИК. Выбор БИК и ОР СУЗ для получения консервативных оценок «веса» отдельного ОР из результатов измерений.
	Тема работы №5. Управление полем энерговыделений в объеме активной зоны. Изучение ксеноновых колебаний локальной мощности в объеме активной зоны и причин их возникновения, расчет параметров ксеноновых колебаний и изучение их зависимости от состояния активной зоны, выбор наиболее оптимального алгоритма подавления колебаний с целью не превышения лимитирующих безопасную эксплуатацию параметров по

	активной зоне.
	Тема работы №6. Изучение явления повторной критичности в реакторе ВВЭР, расчет параметров, характеризующих данное явление, причин его возможного возникновения, последствий на состояние оборудования активной зоны и различных способов устранения возможности данного явления в реакторе. Изучение явления повторной критичности в реакторе ВВЭР, расчет параметров, характеризующих данное явление, причин его возможного возникновения, последствий на состояние оборудования активной зоны и различных способов устранения возможности данного явления в реакторе.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Чтение лекций с использованием компьютерных технологий.
- Обсуждение контрольных вопросов при проведении аудиторных занятий.
- Проведение лабораторных работ с их защитой студентами и зачетом по отдельным блокам.

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-2.1	З-ПК-2.1	ЗО, КИ-8
	У-ПК-2.1	ЗО, КИ-8
	В-ПК-2.1	ЗО, КИ-8
ПК-2.4	З-ПК-2.4	ЗО, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2.4	ЗО, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2.4	ЗО, КИ-8, КИ-16
ПК-2.5	З-ПК-2.5	ЗО, КИ-16
	У-ПК-2.5	ЗО, КИ-16
	В-ПК-2.5	ЗО, КИ-16
ПК-2.6	З-ПК-2.6	ЗО
	У-ПК-2.6	ЗО
	В-ПК-2.6	ЗО
ПК-6	З-ПК-6	ЗО, КИ-16
	У-ПК-6	ЗО, КИ-16
	В-ПК-6	ЗО, КИ-16
ПК-8	З-ПК-8	ЗО, КИ-16
	У-ПК-8	ЗО, КИ-16
	В-ПК-8	ЗО, 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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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		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	3 – <i>«удовлетворительно»</i>		
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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. 621.039 В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
2. ЭИ В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

3. ЭИ Ф50 Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие для вузов, Выговский С.Б. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Ф50 Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие для вузов, Выговский С.Б. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

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

1. Указания для прослушивания лекций

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю. Не надо опасаться, что вопросы могут быть простыми.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Для более подробного изучения курса следует работать с рекомендованными литературными источниками и вновь появляющимися источниками.

2. Указания для выполнения лабораторных работ

Соблюдать требования техники безопасности, для чего прослушать необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы провести самостоятельно подготовку к работе изучив основные теоретические положения, знание которых необходимо для осмысленного выполнения работы.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться с преподавателем, не допуская по возможности неправильных действий.

Основные результаты экспериментов необходимо зафиксировать в письменном виде.

При сдаче зачета по работе подготовить отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

3. Указания для выполнения самостоятельной работы

Получить у преподавателя задание и список рекомендованной литературы. Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

Подготовить письменный отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Указания для проведения лекций

На первой вводной лекции сделать общий обзор содержания курса и отметить новые методы и подходы к решению задач, рассматриваемые в курсе. Дать перечень рекомендованной литературы и вновь появившихся литературных источников.

Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов.

Внимательно относиться к вопросам студентов и при необходимости давать дополнительные более подробные пояснения.

При чтении лекций преимущественное внимание следует уделять качественным вопросам, не следует увлекаться простыми математическими выкладками, оставляя их либо на студентов, либо отсылая студентов к литературным источникам и методическим пособиям.

В процессе лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям (здесь возможен выборочный контроль знаний студентов).

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

Давать рекомендации студентам для подготовки к очередным семинарам и лабораторным занятиям.

На последней лекции уделить время для обзора наиболее важных положений, рассмотренных в курсе.

2. Указания для проведения лабораторных занятий

Соблюдать требования техники безопасности и проводить необходимые разъяснения о правильности поведения в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы проверить степень готовности студентов, напомнить и обсудить основные теоретические положения, знание которых необходимо для осмысленного выполнения работ.

В процессе выполнения работы следует постоянно общаться со студентами, не допуская по возможности их неправильных действий.

Требовать, чтобы основные результаты экспериментов были зафиксированы студентами в письменном виде.

При приеме зачета по работе требовать отчет о проделанной работе, где должны быть отражены основные результаты и выводы.

3. Указания по контролю самостоятельной работы студентов

По усмотрению преподавателя задание на самостоятельную работу может быть индивидуальным или фронтальным.

При использовании индивидуальных заданий требовать от студента письменный отчет о проделанной работе.

При применении фронтальных заданий вести коллективные обсуждения со студентами основных теоретических положений.

С целью контроля качества выполнения самостоятельной работы требовать индивидуальные отчеты (допустимо вместо письменного отчета применять индивидуальные контрольные вопросы).

Автор(ы):

Чернов Евгений Владимирович