

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 ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

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	2	72	16	32	0		24	0	3
Итого	2	72	16	32	0	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Целью освоения дисциплины является подготовка студентов к решению инженерных задач на основе строгих научных методов. Приводятся примеры и углубленно изучается ряд вопросов, составляющих научную базу для анализа и расчета как перспективных ядерных, так и термоядерных энергетических установок.

Знания, полученные на лекциях, получают развитие и закрепляются в процессе решения задач в рамках самостоятельной работы студентов.

Учебная программа соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта третьего поколения.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является подготовка студентов к решению инженерных задач на основе строгих научных методов. Приводятся примеры и углубленно изучается ряд вопросов, составляющих научную базу для анализа и расчета как перспективных ядерных, так и термоядерных энергетических установок.

Знания, полученные на лекциях, получают развитие и закрепляются в процессе решения задач в рамках самостоятельной работы студентов.

Учебная программа соответствует требованиям Государственного образовательного стандарта третьего поколения.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина посвящена подготовке студентов к решению инженерных задач расчета ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач, характерных для расчета ядерных энергетических установок

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	З-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий

УК-2 [1] – Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	З-УК-2 [1] – Знать: этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами У-УК-2 [1] – Уметь: разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла В-УК-2 [1] – Владеть: методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта
--	---

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	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 тепло-гидравлических измерений и расчетов; У-ПК-1.1[1] - уметь выполнять нейтронно-физические и тепло-гидравлические измерения в реакторной установке; В-ПК-1.1[1] - владеть прикладным программным обеспечением

	модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики 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-7 [1] - способен использовать и оценивать современные достижения науки и техники для решения профессиональных задач в научно-исследовательской деятельности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-7[1] - знать новые методы совершенствования действующих технологических процессов; ; У-ПК-7[1] - уметь анализировать информационные документы с результатами научных исследований;; В-ПК-7[1] - владеть современными пакетами прикладных компьютерных программ
проектирование, создание и эксплуатация	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические	ПК-8 [1] - способен владеть расчетно-теоретическими и	З-ПК-8[1] - знать типовые методики и номенклатуру

атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	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	экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	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, 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	ПК-1.2 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации ядерно-энергетических установок <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-1.2[1] - знать правила охраны труда и культуру безопасности; У-ПК-1.2[1] - уметь обеспечивать безопасную эксплуатацию систем и оборудования; В-ПК-1.2[1] - владеть методами и приемами безопасного выполнения работ с соблюдением требований охраны труда и инструкций

	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		по безопасности
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	ПК-9 [1] - способен владеть методами испытания основного оборудования энергетических установок, выполнения технико-экономических расчетов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-9[1] - знать технические характеристики оборудования, порядок ввода и вывода систем в работу; ; У-ПК-9[1] - уметь экономически эффективно эксплуатировать и контролировать техническое состояние оборудования; В-ПК-9[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования

	исследования явлений и закономерностей в области теплофизики 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-10 [1] - способен разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	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
проектный			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных	ядерные реакторы, термоядерные и энергетические установки, теплогидравлические	ПК-3 [1] - способен владеть основами проектирования и конструирования оборудования	З-ПК-3[1] - знать основы компьютерных и информационных технологий ;

энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	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	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	У-ПК-3[1] - уметь работать с документацией по эксплуатации систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматики, средств вычислительной техники; В-ПК-3[1] - владеть навыками оформления результатов проведенных измерений, расчетов и других работ при проектировании и конструировании оборудования
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	ПК-4 [1] - способен использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии и алгоритмы <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-4[1] - знать основы компьютерных и информационных технологий; ; У-ПК-4[1] - уметь обобщать и анализировать информацию; В-ПК-4[1] - владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики

	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		
педагогический			
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	ПК-6 [1] - способен использовать учебно-методическую литературу, лабораторное оборудование и программное обеспечение для проведения лекций, практических и лабораторных занятий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-6[1] - знать порядок разработки технических решений и заданий; ; У-ПК-6[1] - уметь разрабатывать рабочие программы;; В-ПК-6[1] - владеть навыками проведения обучения персонала

	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/ Практ. (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	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Рб.	1-8	8/16/0		25	СК-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-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-2, У-УК-2, В-УК-2

2	Ядерные энергетические реакторы поколения IV.	9-15	8/16/0		25	СК-15	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-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-2, У-УК-2, В-УК-2
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	3	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-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7,

							3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, 3-УК-2, У-УК-2, В-УК-2
--	--	--	--	--	--	--	---

* – 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
СК	Семестровый контроль
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Pb.	8	16	0
1	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Pb. Обоснование технологии свинцового теплоносителя. Основные преимущества и проблемы, совместимость материалов. Технологии поддержания чистоты теплоносителя в контуре.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Проект реактора на быстрых нейтронах типа БРЕСТ. Системы безопасности реактора типа БРЕСТ. Существующий опыт исследовательских реакторов. Характеристики и особенности конструкции активной зоны реактора типа Брест. Теплогидравлический расчет установки. Основные системы безопасности реактора, особенности и режимы работы. Вопросы переработки нитридного топлива.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Pb-Bi. Особенности теплоносителя свинец-висмут по сравнению	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		

	с свинцовым теплоносителем. Основные преимущества и проблемы, совместимость материалов.	0	0	0
4	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Проект СВБР. Системы безопасности реактора СВБР. Опыт работ, реактор ядерных подводных лодок проекта 645. Принцип модульной компоновки АЭС. Проект СВБР: конструкция активной зоны, теплогидравлический расчет. Преимущества моноблочной компоновки реактора. Основные системы безопасности моноблоков СВБР. Конструкция страховочного корпуса, пассивной системы отвода остаточного тепловыделения. Анализ проектных аварий.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Опыт эксплуатации реакторов с газовым теплоносителем. История и опыт эксплуатации реакторов, использующих гелий в качестве теплоносителя. Преимущества высокотемпературных газовых реакторов: цикл Брайтона, водородная энергетика, промышленные реакторы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы с открытым топливным циклом. Основные проекты высокотемпературных газовых реакторов с тепловым спектром нейтронов. Конструкции активных зон газоохлаждаемых реакторов: призматические и шаровые ТВЭЛы. Проекты реакторов малой мощности.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Теплогидравлический расчет высокотемпературного газоохлаждаемого реактора. Особенности использования гелия в качестве теплоносителя. Теплоотдача в шаровых засыпках, затраты мощности на прокачку. Коэффициенты неравномерности и термические напряжения тепловыделяющих элементов.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Системы безопасности высокотемпературных газовых реакторов. Эволюция систем безопасности газоохлаждаемых реакторов от Magnox до THTR. Системы безопасности проектируемых реакторов большой мощности. Особенности систем безопасности модульных газоохлаждаемых реакторов.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Ядерные энергетические реакторы поколения IV.	8	16	0
9	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Быстрые газоохлаждаемые реакторы. Жидкосолевые реакторы. Обзор проектов газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом: БГР-300, GCFR-300, GCFR-1000, GBR-4. Особенности конструкций активных зон. Соотношение между объемными долями компонентов активных зон. Возникновение концепции жидкосолевых ядерных энергетических установок,	Всего аудиторных часов		
		2	3	0
		Онлайн		
		0	0	0

	преимущества и недостатки. Опыт работ с расплавами солей: химия, выбор конструкционных материалов, вопросы переработки. Основные разрабатываемые конструкции жидкосолевых реакторов. Концепция систем безопасности			
10	Революционные идеи ядерных энергетических установок, не вошедших в список поколения IV. Обзор концепций, существующие идеи и наработки.	Всего аудиторных часов		
		1	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Термоядерные реакторы. Основные принципы. Магнитное удержание плазмы. Критерий Лоусона. Движение частиц в электрических и магнитных полях, инвариант движения. Основные принципы магнитного удержания плазмы, самосжимающиеся разряды, ловушки с магнитными пробками, токамаки и стеллараторы, инерционное удержание плазмы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Основные принципы расчета термоядерного реактора. Бланкетные зоны термоядерных реакторов. Принципиальные физические схемы термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы. Уравнения баланса мощностей. Общая схема термоядерного реактора. Оценка конструкционных параметров термоядерного реактора и его выходной мощности. Конструкции бланкетных зон. Теплофизический расчет бланкетной зоны термоядерного реактора.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Проблемы конструирования термоядерных реакторов. Тритий. Инжекция топлива. Проблема первой стенки. Магнитные системы.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Материаловедческие проблемы термоядерных реакторов. Влияние облучения быстрыми нейтронами на металлы и сплавы, нейтронная активация конструкционных материалов. Керамические электроизоляционные материалы. Совместимость материалов. Запасы материалов и стоимость технологий.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Термоядерные импульсные реакторы. Лазерные реакторы: основные принципы и проекты. Релятивистские электронные пучки.	Всего аудиторных часов		
		1	2	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>
1	Сводка формул и расчет коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении несжимаемой жидкости с постоянными физическими свойствами. Сводка формул и расчет коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении несжимаемой жидкости с постоянными физическими свойствами.
2	Порядок расчета температур в канале реактора с водой под давлением. Порядок расчета температур в канале реактора с водой под давлением.
3	Сводка формул и расчет коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя с малыми числами Прандтля. Порядок расчета температур в канале реактора с жидкометаллическим теплоносителем. Сводка формул и расчет коэффициента теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя с малыми числами Прандтля. Порядок расчета температур в канале реактора с жидкометаллическим теплоносителем.
4	Теплообмен при обтекании упаковок шаров. Порядок расчета температур в газоохлаждаемом реакторе с шаровой засыпкой твэл. Теплообмен при обтекании упаковок шаров. Порядок расчета температур в газоохлаждаемом реакторе с шаровой засыпкой твэл.
5	Теплообмен при кипении. Влияние вынужденного движения. Теплообмен в переходных режимах кипения. Теплообмен при кипении. Влияние вынужденного движения. Теплообмен в переходных режимах кипения.
6	Расчет температур в канале реактора с кипящим теплоносителем. Расчет температур в канале реактора с кипящим теплоносителем.
7	Кризис теплоотдачи при кипении воды в продольно омываемых пучках стержней. Сводка формул. Кризис теплоотдачи при кипении воды в продольно омываемых пучках стержней. Сводка формул.
8	Запас до кризиса теплоотдачи. Пример расчета. Запас до кризиса теплоотдачи. Пример расчета.
9	Параметры двухфазного потока. Порядок расчета истинного паросодержания. Параметры двухфазного потока. Порядок расчета истинного паросодержания.
10	Расчет перепада давления в активной зоне. Однофазный теплоноситель. Расчет перепада давления в активной зоне. Однофазный теплоноситель.
11	Расчет перепада давления в активной зоне. Двухфазный теплоноситель. Расчет перепада давления в активной зоне. Двухфазный теплоноситель.
12	Принципы теплогидравлического профилирования, порядок расчета теплогидравлики активной зоны. Принципы теплогидравлического профилирования, порядок расчета теплогидравлики активной зоны.
13	Устойчивые и неустойчивые теплогидравлические характеристики активной зоны. Причины неустойчивости. Устойчивые и неустойчивые теплогидравлические характеристики активной зоны. Причины неустойчивости.
14	Теплообмен при пленочном режиме кипения. Сводка формул. Теплообмен при пленочном режиме кипения. Сводка формул.

15	Задача о повторном смачивании активной зоны. Задача о повторном смачивании активной зоны.
16	Порядок расчета температуры воды СКП при различных схемах циркуляции теплоносителя: однозаходной, двухзаходной. Теплоотдача к воде СКП: теоретические соотношения и экспериментальные корреляции. Порядок расчета температуры воды СКП при различных схемах циркуляции теплоносителя: однозаходной, двухзаходной. Теплоотдача к воде СКП: теоретические соотношения и экспериментальные корреляции.

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Pb. Обоснование технологии свинцового теплоносителя. Основные преимущества и проблемы, совместимость материалов. Технологии поддержания чистоты теплоносителя в контуре.
2	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Проект реактора на быстрых нейтронах типа БРЕСТ. Системы безопасности реактора типа БРЕСТ. Существующий опыт исследовательских реакторов. Характеристики и особенности конструкции активной зоны реактора типа Брест. Теплогидравлический расчет установки. Основные системы безопасности реактора, особенности и режимы работы. Вопросы переработки нитридного топлива.
3	Ядерные энергетические реакторы поколения IV с теплоносителем Pb-Bi. Особенности теплоносителя свинец-висмут по сравнению с свинцовым теплоносителем. Основные преимущества и проблемы, совместимость материалов.
4	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Проект СВБР. Системы безопасности реактора СВБР. Опыт работ, реактор ядерных подводных лодок проекта 645. Принцип модульной компоновки АЭС. Проект СВБР: конструкция активной зоны, теплогидравлический расчет. Преимущества моноблочной компоновки реактора. Основные системы безопасности моноблоков СВБР. Конструкция страховочного корпуса, пассивной системы отвода остаточного тепловыделения. Анализ проектных аварий.
5	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Опыт эксплуатации реакторов с газовым теплоносителем. История и опыт эксплуатации реакторов, использующих гелий в качестве теплоносителя. Преимущества высокотемпературных газовых реакторов: цикл Брайтона, водородная энергетика, промышленные реакторы.
6	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы с открытым топливным циклом. Основные проекты высокотемпературных газовых реакторов с тепловым спектром нейтронов. Конструкции активных зон газоохлаждаемых реакторов: призматические и шаровые твэлы. Проекты реакторов малой мощности.
7	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Теплогидравлический расчет высокотемпературного газоохлаждаемого реактора. Особенности использования гелия в качестве теплоносителя. Теплоотдача в шаровых засыпках, затраты мощности на прокачку. Коэффициенты неравномерности и термические напряжения тепловыделяющих элементов.
8	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Системы безопасности высокотемпературных газовых реакторов. Эволюция систем безопасности газоохлаждаемых реакторов от Magnox до THTR. Системы безопасности проектируемых реакторов большой мощности. Особенности

	систем безопасности модульных газоохлаждаемых реакторов.
9	Ядерные энергетические реакторы поколения IV. Быстрые газоохлаждаемые реакторы. Жидкосолоевые реакторы. Обзор проектов газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах с замкнутым топливным циклом: БГР-300, GCFR-300, GCFR-1000, GBR-4. Особенности конструкций активных зон. Соотношение между объемными долями компонентов активных зон. Возникновение концепции жидкосолоевых ядерных энергетических установок, преимущества и недостатки. Опыт работ с расплавами солей: химия, выбор конструкционных материалов, вопросы переработки. Основные разрабатываемые конструкции жидкосолоевых реакторов. Концепция систем безопасности
10	Революционные идеи ядерных энергетических установок, не вошедших в список поколения IV. Обзор концепций, существующие идеи и разработки.
11	Термоядерные реакторы. Основные принципы. Магнитное удержание плазмы. Критерий Лоусона. Движение частиц в электрических и магнитных полях, инвариант движения. Основные принципы магнитного удержания плазмы, самосжимающиеся разряды, ловушки с магнитными пробками, токамаки и стеллараторы, инерционное удержание плазмы.
12	Основные принципы расчета термоядерного реактора. Бланкетные зоны термоядерных реакторов. Принципиальные физические схемы термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы. Уравнения баланса мощностей. Общая схема термоядерного реактора. Оценка конструкционных параметров термоядерного реактора и его выходной мощности. Конструкции бланкетных зон. Теплофизический расчет бланкетной зоны термоядерного реактора.
13	Проблемы конструирования термоядерных реакторов. Тритий. Инжекция топлива. Проблема первой стенки. Магнитные системы.
14	Материаловедческие проблемы термоядерных реакторов. Влияние облучения быстрыми нейтронами на металлы и сплавы, нейтронная активация конструкционных материалов. Керамические электроизоляционные материалы. Совместимость материалов. Запасы материалов и стоимость технологий.
15	Термоядерные импульсные реакторы. Лазерные реакторы: основные принципы и проекты. Релятивистские электронные пучки.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ, курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

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	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.1	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.1	З, СК-8, СК-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.2	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.2	З, СК-8, СК-15
ПК-10	З-ПК-10	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-10	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-10	З, СК-8, СК-15
ПК-3	З-ПК-3	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-3	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-3	З, СК-8, СК-15
ПК-4	З-ПК-4	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-4	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-4	З, СК-8, СК-15
ПК-6	З-ПК-6	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-6	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-6	З, СК-8, СК-15
ПК-7	З-ПК-7	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-7	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-7	З, СК-8, СК-15
ПК-8	З-ПК-8	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-8	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-8	З, СК-8, СК-15
ПК-9	З-ПК-9	З, СК-8, СК-15
	У-ПК-9	З, СК-8, СК-15
	В-ПК-9	З, СК-8, СК-15
УК-1	З-УК-1	З, СК-8, СК-15
	У-УК-1	З, СК-8, СК-15
	В-УК-1	З, СК-8, СК-15
УК-2	З-УК-2	З, СК-8, СК-15
	У-УК-2	З, СК-8, СК-15
	В-УК-2	З, СК-8, СК-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту,

			если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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»	Ф	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 Z81 Nuclear Energy for Hydrogen Generation through Intermediate Heat Exchangers : A Renewable Source of Energy, Zohuri, Bahman. , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ N91 Nuclear Fuel Cycle Science and Engineering : , , : Elsevier, 2012
3. 621.039 П63 Контроль распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ П63 Контроль распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие для вузов, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. 621.039 П63 Оптимизация распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
6. ЭИ П63 Оптимизация распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие для вузов, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

7. ЭИ Н34 Физические основы безопасности ядерных реакторов : учебное пособие, Наумов В.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

8. ЭИ Я34 Ядерные технологии: история, состояние, перспективы : учебное пособие для вузов, Андрианов А.А. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Р27 Введение в ядерные энерготехнологии : , Рачков М.В., Иванов Б.В., Лебедев Л.А., Москва: Наука, 2015

2. 621.039 Ж69 Жидкосолевые ЯЭУ : Перспективы и проблемы, Игнатьев В.В. [и др.], М.: Энергоатомиздат, 1990

3. 621.039 К77 Инженерные расчеты ядерных реакторов : , Шевелев Я.В., Крамеров А.Я., М.: Энергоатомиздат, 1984

4. 621.039 С74 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике Т.1 Теплогидравлические процессы в ЯЭУ, , Москва: ИздАТ, 2010

5. 621.039 К89 Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов : , Кузнецов Ю.Н., Москва: Энергоатомиздат, 1989

6. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : учеб. пособие для вузов, Петухов Б.С. [и др.], М.: МЭИ, 2003

7. 621.036 Ч-65 Теплофизические свойства материалов ядерной техники : Справочник, Чиркин В.С., М.: Атомиздат, 1968

8. 621.039 К59 Теплофизический расчет термоядерного реактора : Учеб. пособие, Харитонов В.В., Кокорев Л.С., М.: МИФИ, 1980

9. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Шмелев А.Н. [и др.], Долгопрудный: Интеллект, 2014

10. 621.039 Я34 Ядерные реакторы повышенной безопасности : Анализ концептуальных разработок, , М.: Энергоатомиздат, 1993

11. 621.039 Я34 Ядерные технологии : учебное пособие, Куликов Е.Г. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. World-nuclear (<http://world-nuclear.org/>)

2. Росатом (www.rosatom.ru)

3. Росэнергоатом (<http://www.rosenergoatom.ru>)
4. Урановый холдинг АРМЗ (<http://www.armz.ru>)
5. ТВЭЛ (<http://www.tvel.ru>)
6. Периодическая система (<http://www.periodictable.ru>)
7. ВЭБ элемент (<http://www.webelements.com>)
8. <http://www.iaea.org/> (<http://www.iaea.org/>)
- <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

Цель методических рекомендаций для студента – оптимизация процесса изучения данной дисциплины.

Материалы учебно-методического комплекса выдаются в электронном виде. Эти материалы не являются дословным изложением лекций и семинаров, а лишь их кратким содержанием. Они должны активно использоваться при подготовке к написанию тестов и экзамену.

Следует помнить, что в тестовые и экзаменационные вопросы не входит материал, который не был прочитан на лекциях или обсужден на семинарах. Тем не менее, для целей эффективного использования полученных знаний рекомендуется ознакомиться с интернет – ресурсами и литературой. В рекомендованной литературе, особенно дополнительной, изучаемые вопросы рассматриваются более глубоко, их изучение повышает квалификацию будущего магистра

Задачи домашнего задания аналогичны рассматриваемым на семинарских занятиях, поэтому рекомендуется выполнять их последовательно по мере изучения материала на занятиях. Для выполнения домашнего задания рекомендуется использование систем символьной математики.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Дисциплина посвящена подготовке студентов к решению инженерных задач расчета ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. При построении дисциплины учтено, что студенты имеют входные компетенции соответствующие подготовке магистров по направлению подготовки 140800 «Ядерные физика и технологии». При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература.

Первая часть порядку расчета канала реактора с кипящим, некипящим теплоносителем, или теплоносителем сверхкритических параметров. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач характерных для ядерных энергетических установок. Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в интерактивных классах. Сложные и многочисленные расчеты не должны затенять сути излагаемых методов, поэтому рекомендуется широко использовать системы символьной математики. То же относится ко второй части курса, где излагаются методы обоснования безопасности.

В третьей части курса описываются системы безопасности различных типов реакторов. В процессе преподавания здесь рекомендуется широко использовать презентации, а сами занятия проводить в интерактивных классах. Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения этой части рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде.

Для закрепления теоретического материала дисциплина содержит большое количество задач для самостоятельного решения и контрольные вопросы (банк тестовых заданий) для проверки знаний. Для проверки и закрепления практических навыков студентам предлагается выполнить индивидуальное домашнее задание, а также два теста.

Результатом изучения дисциплины должно стать развитие способности студентов к решению инженерных задач на основе строгих научных методов.

Автор(ы):

Рачков Валерий Иванович, д.т.н., профессор

Лаврухин Алексей Анатольевич

Харитонов Владимир Степанович, к.т.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

доцент Корсун А.С., доцент Куценко К.В.,
профессор Митрофанова О.В.