

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 ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВОДЯНЫМ И
ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

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	5	180	16	32	0		96	0	Э
Итого	5	180	16	32	0	16	96	0	

АННОТАЦИЯ

В рамках курса рассматриваются особенности конструкции реакторных установок с жидкометаллическим теплоносителем (основное оборудование, варианты компоновки, используемые и перспективные типы топлива и теплоносителя). На примере интегрального кода ЕВКЛИД/Е1.0 даются принципы связанного моделирования различных физических процессов. Разбираются примеры стационарных и нестационарных расчетов реакторных установок с жидкометаллическим теплоносителем интегральным кодом ЕВКЛИД/Е1.0 в связанной постановке.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка студентов к решению инженерных задач, связанных с проектированием и обоснованием безопасности существующих и перспективных ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем. Рассматриваются аспекты интегральных расчетов ЯЭУ, включающие моделирование нейтронно-физических, теплогидравлических и термомеханических процессов. Среди задач курса:

- Изучение принятых технологий и перспектив развития различных типов реакторов с жидкометаллическим теплоносителем.
- Ознакомление с основными нейтронно-физическими, теплогидравлическими и термомеханическими процессами, протекающими в ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем, изучение методов инженерных расчетов ядерных реакторов.
- Изучение основных принципов и критериев обеспечения безопасности ядерных энергетических установок. Ознакомление с системами безопасности существующих и перспективных ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем.
- Формирование способности у студентов применять полученные знания к решению практических задач, связанных с проектированием и расчетным обоснованием безопасности существующих и перспективных ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем.
- Обучение студентов умениям применять полученные знания в производственной и научной деятельности, приобретение навыков работы с научной, справочной и электронной литературой, применению современных компьютерных технологий при подготовке домашних заданий.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Учебная программа соответствует требованиям образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерные физика и технологии, «Профессиональный модуль».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения
--------------------------------	--

	компетенции
УК-3 [1] – Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	3-УК-3 [1] – Знать: методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства У-УК-3 [1] – Уметь: разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию; применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели В-УК-3 [1] – Владеть: умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	3-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологии и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

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
инновационный			
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа	ПК-6.2 [1] - Способен выбирать критерии безопасной работы и применять методы обоснования безопасности для количественных оценок эффективности функционирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии. <i>Основание:</i>	3-ПК-6.2[1] - Знать основные теплогидравлические и нейтронно-физические процессы, протекающие в быстрых реакторах; основные принципы и критерии обеспечения безопасности ядерных энергетических установок и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; У-ПК-6.2[1] - Уметь

атомной энергии.	безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	Профессиональный стандарт: 24.078	применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и эксплуатацией быстрых реакторов и объектов замкнутого ядерного топливного цикла.; В-ПК-6.2[1] - Владеть методами инженерных расчетов обоснования радиационной безопасности.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Прак- т. (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	Введение. Ядерные энергетические установки с натриевым и свинцовым теплоносителем. Описание интегрального кода ЕВКЛИД/Е1.0. Нейтронно-физический модуль. Модуль контрольных функций. Автономные нейтронно-физические расчеты установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0.	1-8	8/16/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Теплогидравлический модуль. Твэльный модуль. Интегральное моделирование реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0. Заключение.	9-16	8/16/0	КИ-16 (25)	25	КИ-16	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-УК-3, У-УК-3, В-УК-3,

							3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	Введение. Ядерные энергетические установки с натриевым и свинцовым теплоносителем. Описание интегрального кода ЕВКЛИД/Е1.0. Нейтронно-физический модуль. Модуль контрольных функций. Автономные нейтронно-физические расчеты установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0.	8	16	0
1 - 8	Введение. Ядерные энергетические установки с натриевым и свинцовым теплоносителем. Описание интегрального кода ЕВКЛИД/Е1.0. Нейтронно-физический модуль. Модуль контрольных функций. Автономные нейтроны Введение. Ядерные энергетические установки с натриевым и свинцовым теплоносителем. Существующие и разрабатываемые ядерные энергетические установки с жидкометаллическим теплоносителем. Конструктивные особенности. Описание интегрального кода ЕВКЛИД/Е1.0. Актуальность интегрального моделирования. Обзор существующих кодов. Подходы к разработке кода. Назначение и область применения. Модульная структура кода и алгоритм интеграции модулей. Учет обратных связей. Пакет поставки. Общие сведения о входных файлах. Библиотеки, используемые кодом. Общие сведения о выходных файлах. Препроцессор для кода ЕВКЛИД/Е1.0. Постпроцессор для кода ЕВКЛИД/Е1.0. Нейтронно-физический модуль. Блок-схема. Решение уравнения переноса нейтронов в диффузионном приближении. Решение уравнения переноса нейтронов методом дискретных ординат. Учет пространственной гетерогенности. Подготовка нейтронно-физических констант. Сетки теплогидравлических и	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0

	термомеханических параметров. Модуль контрольных функций. Назначение. Задание контрольных функций. Автономные нейтронно-физические расчеты установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0. Расчетные модели. Наборы входных данных. Стационарные состояния. Моделируемые режимы. Основные расчетные характеристики.			
9-16	Теплогидравлический модуль. Твэльный модуль. Интегральное моделирование реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0. Заключение.	8	16	0
9 - 16	Теплогидравлический модуль. Твэльный модуль. Интегральное моделирование реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0. Заключение. Теплогидравлический модуль. Система уравнений двухжидкостной теплогидравлики. Основное моделируемое оборудование. Модельные объекты теплогидравлического модуля. Твэльный модуль. Модель теплопроводности в твэле. Модель распухания топлива. Модель выхода ГПД под оболочку. Модель термомеханического состояния твэла. Интегральное моделирование реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителем с применением кода ЕВКЛИД/Е1.0. Расчетные модели. Наборы входных данных. Стационарные состояния. Моделируемые режимы. Основные расчетные характеристики. Заключение. Анализ результатов расчетов.	Всего аудиторных часов		
		8	16	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 СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1 - 8	Темы 1 1. Задание файла входных данных для автономных нейтронно-физических расчетов модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем. 2. Стационарные нейтронно-физические расчеты модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем.

	3. Задание файла входных данных для автономных нейтронно-физических расчетов модели активной зоны реакторной установки с натриевым теплоносителем. 4. Стационарные нейтронно-физические расчеты модели активной зоны реакторной установки с натриевым теплоносителем. 5. Задание контрольных функций для моделирования нестационарных режимов. 6. Нестационарные нейтронно-физические расчеты модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем. 7. Нестационарные нейтронно-физические расчеты модели активной зоны реакторной установки с натриевым теплоносителем.
9 - 16	Темы 2 8. Задание входных данных для интегральных расчетов модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем. 9. Проведение интегральных расчетов модели активной зоны реакторной установки со свинцовым теплоносителем. 10. Задание входных данных для интегральных расчетов модели активной зоны реакторной установки с натриевым теплоносителем. 11. Проведение интегральных расчетов модели активной зоны реакторной установки с натриевым теплоносителем.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в интерактивных классах. Особое внимание студентов обращается на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса используются тестовые технологии, то есть специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала, а также выполнение двух домашних заданий.

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-13	З-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6.2	З-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6.2	Э, КИ-8, КИ-16
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16

	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УКЦ-2	Э, 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-х 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 К 80 Задачник по гидравлике с примерами расчетов : учебное пособие для вузов, Крестин И. Е., Крестин Е. А., Санкт-Петербург: Лань, 2021

2. ЭИ К 88 Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях : учебное пособие, Кудинов В. А. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ М 34 Материалы к курсовому проекту "Теплогидравлические расчеты и проектирование перспективных ядерных энергетических установок ВВЭР-СКД" : , , М.: НИЯУ МИФИ, 2019
4. 621.039 В 85 Научные исследования и технологические разработки в обеспечение развития ядерных технологий нового поколения : Тезисы докладов, 2021
5. ЭИ Л 33 Ядерные энергетические установки : , Лебедев В. А. , Санкт-Петербург: Лань, 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Б 43 Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами : , , Москва: ГУП НИКИЭТ, 2020
2. 621.039 С29 Кинетика реакторов на быстрых нейтронах : , Селезнев Е.Ф., Москва: Наука, 2013
3. 532 Ф 19 Современная гидродинамика : Краткий курс, Фалькович Г., Москва-Ижевск: Институт Компьютерных исследований, 2018

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

С целью приобретения и развития навыков самостоятельной работы при решении различных задач студентам предлагается в течение семестра выполнить два домашних задания. Первое домашнее задание выдается на 4-й неделе семестра и принимается на 8-й неделе. Второе домашнее задание выдается на 10-й неделе и принимается на 16-й неделе. Примеры домашних заданий, приведены в специальном разделе программы и могут корректироваться преподавателем в зависимости от степени усвоения студентами учебного материала в течение семестра. В конце семестра итоговый контроль - экзамен.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Дисциплина посвящена подготовке студентов к решению инженерных задач расчета перспективных ядерных энергетических установок на основе строгих научных методов. При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. 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 и специализированное программное обеспечение (расчетные коды нового поколения).

Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения курса 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 индивидуальные домашние задания.

Автор(ы):

Мосунова Настасья Александровна

Рецензент(ы):

Лаврухин А.А.