

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**РАСЧЕТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЫСТРЫХ  
РЕАКТОРОВ И ОБЪЕКТОВ ЗЯТЦ**

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
2	3	108	15	30	0	63	0	3
Итого	3	108	15	30	0	16	63	0

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы физики преобразования нуклидов в реакторе и вне реактора, остаточного тепловыделения, активности, радиационной безопасности, погрешности рассчитываемых параметров как в реакторах на быстрых нейтронах, так и объектов ЗЯТЦ. Проводится обучение основам работы с кодом COMPLEX предназначенного для обоснования радиационной безопасности ОИАЭ.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является подготовка студентов к решению инженерных задач связанных с обоснованием радиационной безопасности современных и перспективных ядерных энергетических установок на этапах проектирования и эксплуатации. Изучается ряд вопросов, составляющих базу для анализа радиационной безопасности. Среди задач курса:

- Изучение основных принципов и критериев обеспечения радиационной безопасности быстрых реакторов и объектов ЗЯТЦ.
- Обучение студентов проводить численную оценку параметров радиационной безопасности при помощи расчетных программ.
- Формирование способности у студентов применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и эксплуатацией быстрых реакторов.
- Обучение студентов умениям применять полученные знания в производственной и научной деятельности, приобретение навыков работы с научной, справочной и электронной литературой.

### 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
ОПК-1 [1] – Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	В-ОПК-1 [1] – владеть: систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме. У-ОПК-1 [1] – уметь: составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты

	3-ОПК-1 [1] – знать: цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов
ОПК-2 [1] – Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	У-ОПК-2 [1] – Уметь: применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы 3-ОПК-2 [1] – Знать: современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы; В-ОПК-2 [1] – Владеть: навыками применения современных методов исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий 3-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности
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:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно- исследовательский			
Выработка направлений и проведение прикладных научных исследований в	Объекты использования атомной энергии.	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические	3-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения

<p>области по повышению эффективности и безопасности объектов использования атомной энергии.</p>		<p>исследования для решения научных и производственных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008</p>	<p>экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач</p>
<p>инновационный</p>			
<p>Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.</p>	<p>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,</p>	<p>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.</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-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 применять полученные знания к решению практических задач связанных с проектированием и</p>

	в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.		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.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-	ПК-14 [1] - Способен оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных подразделений  <i>Основание:</i> Профессиональный	З-ПК-14[1] - Знать методы оценки эффективности разработок ; У-ПК-14[1] - Уметь оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных

объектов использования атомной энергии.	аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	стандарт: 24.078	подразделений; В-ПК-14[1] - Владеть методами экономического расчета и обоснования инновационных проектов
---	--	------------------	--

#### 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>2 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/15/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-

							13, 3-ПК- 14, У- ПК- 14, В- ПК- 14, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 6.2, У- ПК- 6.2, В- ПК- 6.2
2	Раздел 2	9-15	7/15/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	3- ОПК- 1, У- ОПК- 1, В- ОПК- 1, 3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3-ПК- 13, У- ПК- 13, В- ПК- 13, 3-ПК- 14, У-

							ПК-14, В-ПК-14, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	30	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.2, У-ПК-6.2, В-ПК-6.2,

							3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-ПК-14, У-ПК-14, В-ПК-14, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 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
ЗО	Зачет с оценкой
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
--------	---------------------------	------------	----------------	------------

	<i>2 Семестр</i>	15	30	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	8	15	0
1 - 8	<b>Раздел 1.</b> Радиационная безопасность в БР и объектов ЗЯТЦ. Особенности источников радиоактивного излучения в быстрых реакторах. Трансмутация топлива и активация конструкционных материалов, теплоносителя. Радиационная безопасность узлов хранения свежего и облученного топлива. Код обоснования радиационной безопасности COMPLEX. Знакомство с возможностями кода. Источники ядерных данных. Современные мировые библиотеки ядерных данных. Номенклатура ядерных данных для нужд решения задач переноса и нуклидной кинетики. Нуклидная кинетика. Явление взаимодействие ядер вещества с нейтронами и реакции распада. Моделирование нуклидной кинетики при помощи программ. Код нуклидной кинетики, расчета активности и остаточного тепловыделения BPSD. Знакомство с возможностями кода. Расчет модельных задач по выгоранию топлива и активации нетопливных материалов. Код расчета источника радиоактивного излучения RASTAS. Знакомство с возможностями кода. Расчет модельных задач.	Всего аудиторных часов		
		8	15	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Раздел 2</b>	7	15	0
9 - 15	<b>Раздел 2</b> Методы решения уравнений переноса нейтронов и гамма-квантов. Источники данных для программ. Метод Монте-Карло. Детерминистические методы. Код расчета активной зоны на базе SN-приближения CORNER. Знакомство с возможностями кода. Расчет модельной задачи «кампания ТВС». Код расчета радиационной защиты на базе метода конечных элементов ODETTA. Знакомство с возможностями кода. Расчет простых модельных задач. Код расчета активной зоны и радиационной защиты на базе методов Монте-Карло MCU-FR. Знакомство с возможностями кода. Расчет простых модельных задач.	Всего аудиторных часов		
		7	15	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы

ИС	Интерактивный сайт
----	--------------------

## 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. 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)
ОПК-1	З-ОПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	ЗО, КИ-8, КИ-15
ОПК-2	З-ОПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-2	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-13	З-ПК-13	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-13	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-13	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-14	В-ПК-14	ЗО, КИ-8, КИ-15
	З-ПК-14	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-14	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	ЗО, КИ-8, КИ-15
ПК-6.2	З-ПК-6.2	ЗО, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.2	ЗО, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.2	ЗО, КИ-8, КИ-15
УКЦ-1	В-УКЦ-1	ЗО
	З-УКЦ-1	ЗО
	У-УКЦ-1	ЗО
УКЦ-2	З-УКЦ-2	ЗО
	У-УКЦ-2	ЗО
	В-УКЦ-2	ЗО

## 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	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 – <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. ЭИ К 893 Моделирование физических процессов в энергетических ядерных реакторах на быстрых нейтронах : Допущено УМО вузов направления подготовки 140300 «Ядерная физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Ядерная физика и технологии», Москва: МЭИ, 2019

2. ЭИ К 64 Основы радиационной безопасности : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Л 33 Ядерные энергетические установки : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 С29 Кинетика реакторов на быстрых нейтронах : , Москва: Наука, 2013
2. ЭИ О-11 О потенциале гибридных (синтез-деление) наработчиков топлива для ядерных реакторов (стабилизированные размножающие свойства, глубокое выгорание, защищенное топливо) : Монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

#### 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 15-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.

### **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.

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 для проверки знаний. Для проверки и закрепления практических навыков студентам предлагается выполнить индивидуальные домашние задания.

Автор(ы):

Мосунова Настасья Александровна

Рецензент(ы):

Тихомиров Г.В.