

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**

**НЕЙТРОНИКА АКТИВНЫХ ЗОН БЫСТРЫХ РЕАКТОРОВ И ЗАМКНУТЫЙ ЯДЕРНЫЙ  
ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ**

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	4-5	144- 180	15	45	0		48-84	0	Э
Итого	4-5	144- 180	15	45	0	24	48-84	0	

## АННОТАЦИЯ

Курс предназначен для подготовки магистров специализирующихся в области реакторных технологий быстрых реакторов, работающих в системе замкнутого ядерного топливного цикла. В рамках курса рассматриваются: базовые особенности нейтронной физики быстрых ядерных реакторов; концептуальные положения по выбору нейтронно-физических параметров и характеристик реакторов исходя из требований ЗЯТЦ; физики воспроизводства топлива, трансмутация актинидов.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс предназначен для подготовки магистров на кафедре «Технологии замкнутого ядерного топливного цикла», специализирующихся в области реакторных технологий быстрых реакторов, работающих в системе замкнутого ядерного топливного цикла.

Основными задачами курса являются:

- знакомство с базовыми особенностями нейтронной физики быстрых ядерных реакторов, определяющих их системообразующую роль в ЗЯТЦ;
- изучение основных концептуальных положений по выбору нейтронно-физических параметров и характеристик реакторов исходя из требований ЗЯТЦ;
- изучение методов формирования компоновок активных зон быстрых реакторов с учетом современных требований по естественной безопасности;
- изучение и освоение методом расчетно-теоретического анализа, получение информации по методам экспериментального подтверждения нейтронно-физических характеристик быстрых реакторов;
- изучение физики воспроизводства топлива, процессов трансмутации актинидов, получения других полезных нуклидов, обращения с радиоактивными материалами с учетом принципа радиационного-эквивалентного обращения в радиоактивными отходами;
- изучение российского опыта создания и исследования нейтронно-физических свойств быстрых реакторов и знакомство с перспективными разработками быстрых реакторов естественной безопасности и задач, стоящих перед разработчиками и специалистами.

### 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, «Общенаучный модуль», «Дисциплины по выбору» .

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

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

<p>ОПК-2 [1] – Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы</p>	<p>З-ОПК-2 [1] – Знать: современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы; У-ОПК-2 [1] – Уметь: применять 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</p>
<p>ОПК-3 [1] – Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ</p>	<p>У-ОПК-3 [1] – Уметь: оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ. З-ОПК-3 [1] – Знать: основы оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ. В-ОПК-3 [1] – Владеть: навыками оформления результатов научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ.</p>
<p>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</p>	<p>З-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 В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий</p>
<p>УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования</p>	<p>З-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологи 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</p>

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;	Код и наименование индикатора достижения
--	---------------------------	--	--

		<b>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>профессиональной компетенции</b>
научно- исследовательский			
Выработка направлений и проведение прикладных научных исследований в области по повышению эффективности и безопасности объектов использования атомной энергии.	Объекты использования атомной энергии.	ПК-3 [1] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008	3-ПК-3[1] - Знать достижения научно-технического прогресса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач.; В-ПК-3[1] - владеть методами моделирования физических процессов.
Выработка направлений и проведение прикладных научных исследований в области по повышению эффективности и безопасности объектов использования атомной энергии.	Объекты использования атомной энергии.	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008	3-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения 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
		ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий  <i>Основание:</i>	
		ПК-6 [1] - Способен оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения  <i>Основание:</i>	
инновационный			
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	ПК-6.1 [1] - Способен применять полученные знания для разработки новой технологической платформы атомной энергетики с вовлечением в топливный цикл урана-238 и продуктов переработки отработавшего ядерного топлива.  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.1[1] - Знать промышленно-реализованные и перспективные технологии переработки отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах, требования к конечным продуктам переработки отработавшего ядерного топлива, основные методы обращения с радиоактивными

	использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.		отходами.; У-ПК-6.1[1] - Уметь применять полученные знания в производственной и научной деятельности.; В-ПК-6.1[1] - Владеть методами обеспечения ядерной безопасности и взрыво- и пожаробезопасности применительно к технологиям переработки отработавшего ядерного топлива.
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/ Практи. (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	Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.	1-8	8/24/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	З-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-

							ПК-5, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Концепция реакторов естественной безопасности.	9-15	7/21/0	КИ-15 (25)	25	КИ-15	3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ОПК-3, У-ОПК-3, В-ОПК-3, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-

							6, У- ПК-6, В- ПК-6
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/45/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	3- ОПК- 2, У- ОПК- 2, В- ОПК- 2, 3- ОПК- 3, У- ОПК- 3, В- ОПК- 3, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5, 3-ПК- 6, У- ПК-6, В- ПК-6, 3-ПК- 6.1, У- ПК-

							6.1, В- ПК- 6.1, 3-ПК- 13, У- ПК- 13, В- ПК- 13, 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
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	45	0
1-8	<b>Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.</b>	8	24	0
1 - 8	<b>Особенности нейтронной физики (нейтроники)</b>	Всего аудиторных часов		

<p><b>реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.</b></p> <p>Системообразующая роль быстрых реакторов в замкнутом ядерном топливном цикле. Схема и варианты реализации ЗЯТЦ, общая схема рециклирования топлива реактора на быстрых нейтронах, решения по обращения с ОЯТ и РАО. Способы решения задач по переходу с урана-235 на уран-238, отказа от накопления ОЯТ и РАО. Потенциальные функции быстрых реакторов в системе ЗЯТЦ. 5 базовых требований к реакторам на быстрых нейтронах и ЗЯТЦ. Концепции старта быстрых реакторов с ОЯТ тепловых реакторов и с обогащенного урана.</p> <p>Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах. Основы компоновки активных зон, базовые элементы и системы. Принципиальные отличия от активных зон тепловых реакторов. Принципиальные подходы к выбору параметров систем.</p> <p>Базовые нейтронно-физические параметры: реактивность, эффекты и коэффициенты реактивности, максимальный запас реактивности, объемная и линейная тепловая нагрузка на твэл, параметр радиационного повреждения материалов – количество смещений на атом, выгорание топлива, их роль при обосновании ядерной и радиационной безопасности. Баланс реактивности и требования ПБЯ к балансу реактивности. Связь нейтронно-физических параметров облучения твэл и ТВС и параметров обоснования их работоспособности. Требования ПБЯ по ограничению уровня повреждения твэл.</p> <p>Методы расчетного обоснования основных нейтронно-физических характеристик активных зон и параметров ядерной безопасности. Основные российские и зарубежные коды. Диффузионное приближение, кинетические коды, метод Монте-Карло: выбор адекватного метода моделирования и нейтронно-физической модели. Оценка точности, верификация и аттестация кодов.</p> <p>Нейтронные константы для расчета нейтроники быстрых реакторов: детальный ход и групповые константы.</p> <p>Основные российские и зарубежные файлы оцененных нейтронных данных, библиотеки групповых констант.</p> <p>Оценка константной составляющей погрешности расчетов, интегральные эксперименты на критических стендах и их роль в снижении константной составляющей. Российские стенды комплекса БФС.</p> <p>Базовые методы экспериментального обоснования нейтронно-физических характеристик активных зон энергетических реакторов на быстрых нейтронах.</p> <p>Реактиметры и метод обратного решения уравнения кинетики. Методы проведения активационных измерений полей энерговыделения (активационных детекторов и <math>\square</math>-сканирования ТВС). Гравирадиохимический метод определения воспроизводства топлива. Применение методов в реакторах БН-350 и БН-600: опыт и результаты.</p>	8	24	0
	Онлайн		
	0	0	0

	<p>Воспроизводство топлива и его характеристики: коэффициент воспроизводства, коэффициент конверсии, breeding gain, время удвоения. Теоретические оценки и экспериментальное подтверждение возможностей расширенного воспроизводства в первом российском быстром реакторе БР-1 и реакторе БН-350. Концепция минимального времени удвоения. Роль уровня теплонапряженности, длительности внешнего топливного цикла, плотности топлива, выгорания в достижении минимального времени удвоения.</p> <p>Физика и специфика активных зон реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БР-10, БН-350, БН-600, БН-800), ориентированных на концепцию минимального времени удвоения - активных зон с повышенной теплонапряженностью и воспроизводством топлива. Нейтронно-физические характеристики, результаты исследований при физических пусках и эксплуатации. Роль боковых и торцевых зон воспроизводства. Натриевый пустотный эффект реактивности, его роль в выборе базовых параметров активных зон, концепция реакторов с нулевым НПЭР. Специфика выбора топлива (оксид, нитрид, карбид, металл) на нейтронно-физические характеристики активной зоны. Нейтронно-физические характеристики вариантов активных зон с различными видами топлива. Гетерогенные активные зоны с керамическим и металлическим топливом. Представления о нетрадиционных вариантах активных зон с различными видами топлива.</p>			
<b>9-15</b>	<b>Концепция реакторов естественной безопасности.</b>	7	21	0
9 - 15	<p><b>Концепция реакторов естественной безопасности.</b>  Концепция реакторов естественной безопасности. Реактивностные аварии, методы предотвращения и снижения последствий. Ограничение максимального запаса реактивности: цели и способы. Учет эффектов пространственной кинетики и оценка их роли. Критерий потенциальной опасности ядерной энерготехнологии. Методы и мультифизические коды расчета протекания аварийных процессов, оценки их последствий. Примеры расчета тяжелых аварий (типа УТОР, ULOF и других) для реакторов на быстрых нейтронах, роль эффектов реактивности в этих авариях. Анализ результатов последствий для учета при оптимизации активной зоны. Связь параметров быстрых реакторов и ЗЯТЦ. Современные представления о требованиях к воспроизводству топлива, длительности топливного цикла, выгоранию топлива. Концепция равновесных активных зоны с КВА~1 (активных зон на равновесном топливе). Проблема выхода в равновесное состояние, требования к топливу и его характеристикам. Методы достижения параметров воспроизводства в активной зоне. Радиационные свойства отработавшего ядерного топлива,</p>	Всего аудиторных часов		
		7	21	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>радиоактивных отходов и облученных материалов.  Остаточное энергосодержание и методы расчета.  Экспериментальное определение остаточного энергосодержания. Роль остаточного энергосодержания на безопасность активных зон и радиационную безопасность обращения с ТВС. Аварии с потерей отвода тепла (типа «Фукусима») и выбор уровня мощности систем отвода остаточного энергосодержания. Аварии при транспортировке и обращении с ТВС.  Трансмутация минорных актинидов. Принцип радиационно-эквивалентного обращения с РАО.  Особенности нейтронных данных <math>N_p</math>, <math>A_m</math>, <math>C_m</math> и их роль в нейтронике быстрых реакторов и трансмутации.  Специфика рециклирования <math>N_p</math>, <math>A_m</math>, <math>C_m</math> и эффективности их трансмутации.  Концепции гетерогенной и гомогенной трансмутации, сравнительный анализ возможностей реализации в реакторах с натриевым и свинцовым теплоносителем.  Расчетное и экспериментальное (БН-350) определение параметров трансмутации.  Нейтроника гетерогенных ловушек для трансформации спектра нейтронов с использованием замедлителей.  Применение ловушек для повышения реактивного веса и оптимизации рабочих органов СУЗ.  Нетрадиционные методы использования нейтронного потенциала быстрых реакторов для получения радионуклидов промышленного, медицинского и научного применения.  Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с натриевым теплоносителем типа БН (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования)  Нейтронно-физическая концепция реактора естественной безопасности с тяжелым теплоносителем типа БРЕСТ (комплексное рассмотрение: принципы выбора топлива, компоновки, базовых характеристик, результаты расчетов нейтронно-физических характеристик, результаты экспериментального обоснования).</p>			
--	--	--	--	--

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>2 Семестр</i>
1 - 8	<p><b>Особенности нейтронной физики (нейтроники) реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.</b></p> <p>1. Задача 1: Изучение взаимосвязи базовых параметров ЗЯТЦ с нейтронно-физическими параметрами реактора на быстрых нейтронах: энергонапряженность, выгорание, длительность топливного цикла, коэффициент воспроизводства топлива. Исследование вариантов запуска быстрых реакторов на ОЯТ тепловых реакторов и старта с обогащенного урана. Модель: Балансовая модель замкнутого ядерного топливного цикла.</p> <p>2. Задача 2. Знакомство и освоение базового кода нейтронно-физического расчета. Расчет нейтронно-физических характеристик для предлагаемых преподавателем вариантов активных зон с различным видами топлива. Сравнение с параметрами безопасности в соответствии с требованиями ПБЯ. Модель: Нейтронная физическая модель активной зоны на базе трехмерного расчета в диффузионном приближении.</p> <p>3. Задача 3. Оценка максимального уровня воспроизводства топлива при различных видах топлива и конфигурациях активной зоны. Модель: Нейтронная физическая модель активной зоны на базе трехмерного расчета в диффузионном приближении.</p> <p>4. Задача 4. Анализ работы реактора в условиях замкнутого ядерного топливного цикла с ограничением по запасу реактивности, выхода в равновесное состояние. Модель: Нейтронно-физическая модель активной зоны с выгоранием топлива и перегрузками. Перенос нейтронов - на базе диффузионного приближения, нуклидная кинетика – по физическим зонам перегрузок.</p>
9 - 15	<p><b>Концепция реакторов естественной безопасности.</b></p> <p>5. Задача 4. Анализ протекания реактивной аварии (исходное событие задается преподавателем). Оценка влияния базовых параметров на ее последствия: максимальный запас реактивности, температура топлива, величина Допплер-эффекта. Модель: упрощенная модель кинетики быстрого реактора с обратными связями.</p> <p>6. Задача 6. Расчет эффективности трансмутации минорных актинидов, анализ влияния параметров облучения и вариантов реализации ЗЯТЦ. Сравнительный анализ гомогенной и гетерогенной трансмутации. Модель: Модель нуклидной кинетики типа SCALE.</p>

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в компьютерных с использованием компьютерных моделей, позволяющих провести практическое знакомство с базовыми положениями курса на базе моделирования изучаемых процессов и явлений собственными силами. Результаты компьютерного моделирования используются, в том числе, для контроля за освоением материала. Компьютерные модели и коды их реализующие предоставляются студентам авторами курса (институтом).

## 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-2	З-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
ОПК-3	З-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-13	З-ПК-13	Э
	У-ПК-13	Э
	В-ПК-13	Э
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6.1	З-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-15
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э
	У-УКЦ-1	Э
	В-УКЦ-1	Э
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э
	У-УКЦ-2	Э
	В-УКЦ-2	Э

## Шкалы оценки образовательных достижений

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

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Э 41 Экспериментальная ядерная физика Т. 2 Физика ядерных реакций, : , 2022

2. ЭИ Б 42 Ядерные технологии : учебник для вузов, Москва: Юрайт, 2022

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Н22 Handbook of generation IV nuclear reactors / : , : Woodhead Publishing, 2016
2. ЭИ М29 The Physics of Nuclear Reactors : , Cham: Springer International Publishing, 2017
3. 621.039 С29 Кинетика реакторов на быстрых нейтронах : , Москва: Наука, 2013
4. 621.039 М33 Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем : учебное пособие для вузов , Москва: Издательский дом МЭИ, 2012
5. ЭИ К60 Файлы ядерных данных и их использование в нейтронно-физических расчетах : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
6. 621.039 Б43 Белая книга ядерной энергетики : , Под ред. Адамова Е.О., М.: ГУП НИКИЭТ, 2001

#### 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**

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 выполнении домашних заданий и подготовке к экзамену.

Для целей эффективного использования полученных знаний рекомендуется ознакомиться с интернет – ресурсами и дополнительной литературой. В дополнительной литературе изучаемые вопросы рассматриваются более глубоко, их изучение повышает квалификацию будущего специалиста.

Задачи домашнего задания аналогичны рассматриваемым на семинарских занятиях, поэтому рекомендуется выполнять их последовательно по мере изучения материала на занятиях.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Чтение лекций и проведение семинарских занятий проводятся в компьютерных классах с проектором и рабочими местами для студентов. Компьютерные модели, позволят провести практическое знакомство студентов с базовыми положениями курса на базе моделирования изучаемых процессов и явлений собственными силами. Результаты компьютерного моделирования используются, в том числе, для контроля за освоением материала. Компьютерные модели и коды их реализующие предоставляются студентам авторами курса (институтом).

Для проверки и закрепления практических навыков студентам предлагается выполнить индивидуальные домашние задания. На полное решение каждой из задач с вариациями условий предполагается отвести 4 часа самостоятельной работы студента и 2 часа совместной работы преподавателя и студентов. Кроме преподавателя, для оптимизации работы со студентами, при проверке домашних заданий и проведении семинарских занятий рекомендуется привлекать ассистентов.

Автор(ы):

Хомяков Юрий Сергеевич, д.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

Тихомиров Г.В.