

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 ТЕХНОЛОГИИ И ЭКОЛОГИЯ ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

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	4	144	32	16	0		60	0	Э
Итого	4	144	32	16	0	0	60	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями дисциплины является ознакомление студентов с основными физико - химическими процессами на разных этапах ядерного топливного цикла. 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.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями дисциплины является ознакомление студентов с основными физико - химическими процессами на разных этапах ядерного топливного цикла. 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

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

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
--	---------------------------	--	-------------------------------

		<b>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>достижения профессиональной компетенции</b>
<b>научно-исследовательский</b>			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества,	ПК-2.3 [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-2.3[1] - Знать основные законы физических процессов протекающих в ядерных энергетических установках; У-ПК-2.3[1] - Уметь проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах; В-ПК-2.3[1] - Владеть методами измерения физических характеристик ядерных энергетических установок

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

и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов	ПК-8 [1] - способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-8[1] - знать типовые методики и номенклатуру выполнения измерений и расчетов процессов; ; У-ПК-8[1] - уметь обрабатывать результаты измерений и анализировать результаты расчетов;; В-ПК-8[1] - владеть методами исследования физических процессов

физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
производственно-технологический			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная	ПК-2.6 [1] - Способен выбирать обоснованные критерии безопасной работы и оценивать риски при эксплуатации АЭС  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-2.6[1] - Знать методы вероятностного анализа безопасности АЭС; У-ПК-2.6[1] - Уметь выбирать обоснованные критерии безопасной работы АЭС; В-ПК-2.6[1] - Владеть методиками оценки рисков при эксплуатации АЭС

<p>изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		
<p>исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку</p>	<p>атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их</p>	<p>ПК-9 [1] - способен владеть методами испытания основного оборудования энергетических установок,</p>	<p>3-ПК-9[1] - знать технические характеристики оборудования, порядок ввода и вывода систем в</p>

<p>информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.</p>	<p>применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных</p>	<p>выполнения технико-экономических расчетов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>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</p>
---	---	---	--



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

	распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
проектный			
исследования, разработки и технологии, направленные на регистрацию и обработку информации, разработку теории, создание и применение установок и систем в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, физики разделения изотопных и молекулярных смесей, физики быстропротекающих процессов, радиационной медицинской физики, радиационного материаловедения, исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной	атомное ядро, элементарные частицы и плазма, конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине,	ПК-3 [1] - способен владеть основами проектирования и конструирования оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-3[1] - знать основы компьютерных и информационных технологий ; 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

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

физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	и установок для анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, конденсированного состояния вещества, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.		
--	---	--	--

#### 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 топливные циклы (ЯТЦ).	1-8	16/8/0	СК-8 (25)	25	СК-8	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-2.6,

							У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
2	Разделка ТВС и ТВЭЛ.	9-15	16/8/0	СК-15 (25)	25	СК-15	З-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, З-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		32/16/0		50		
	<b>Контрольные</b>				50	Э	З-ПК-2.3,

	мероприятия за 3 Семестр						У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, З-ПК-2.6, У-ПК-2.6, В-ПК-2.6, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1
--	--------------------------	--	--	--	--	--	--

\* – 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
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	3 Семестр	32	16	0
1-8	<b>Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).</b>	16	8	0
1 - 2	<b>Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).</b> Стадии цикла. Замкнутый ядерный цикл в энергетике. Цикл природного урана, пути оптимизации ЯТЦ в реакторах на тепловых нейтронах.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Топливные материалы ядерной энергетики.</b> Характеристики ядерного топлива (ЯТ) энергонапряженность, глубина выгорания, кампания топлива. Виды ЯТ, их теплофизические и ядерные	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	свойства с точки зрения безопасности ядерного реактора (ЯР).			
4 - 5	<b>Добыча природного урана.</b> Гидрометаллургическая переработка. Основные стадии получения и первичного механического обогащения. Получение химических концентратов урана методами сорбции и экстракции. Получение гексафторида урана.	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 7	<b>Обогащение урана.</b> Основные методы получения обогащенного урана (электромагнитный, газодиффузионный, центробежный, лазерный и плазменный методы). Показатели эффективности разделительных аппаратов. Понятие единицы работы разделения. Накопление U-236 и его влияние на экономику топливного цикла.	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) и сборки (ТВС) ядерных реакторов.</b> Требования к ТВЭЛ и ТВС. Классификация ТВЭЛ. Изготовления и контроль качества ТВЭЛ. Влияние реакторного облучения на характеристики ТВЭЛ. Затраты на изготовление ТВЭЛ.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9	<b>Хранение и транспортировка облученного топлива.</b> Характеристики облученного топлива энергетических реакторов. Выдержка отработавшего топлива в ТВС в бассейнах реакторного зала. Транспортировка отработавших ТВС на радиохимический завод (РХЗ). Требования ядерной и радиационной безопасности к транспортным контейнерам. Хранение облученного топлива на РХЗ, устройства хранилищ и меры безопасности.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Разделка ТВС и ТВЭЛ.</b>	16	8	0
10	<b>Разделка ТВС и ТВЭЛ</b> Механическая, химическая и электрохимическая, пирометаллургическая разделка ТВЭЛ и ТВС. Меры по защите от радиоактивной пыли и подавлению выделения водорода.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Водные методы переработки облученного топлива.</b> Волоксияция как метод предварительной обработки топлива перед растворением. Схема водной переработки ЯТ реакторов на тепловых ней-тронах. Экстракционный метод переработки растворов. Характеристики экстракционных процессов. Экстрагенты и разбавители. Технологическая схема "пурекс-процесса". Особенности переработки облученного топлива реакторов на быстрых нейтронах.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Неводные методы переработки облученного топлива.</b> Газофторидный метод. Пирометаллургические методы (зонная плавка, фракционная кристаллизация, экстракция в системе металл-соль, электроаффинирование).	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Применение радиоизотопов из отработавшего ядерного топлива.</b> Применение Pu-238. Применение изотопов трансплутониевых элементов и изотопов благородных	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

	металлов.			
16	<b>Утилизация радиоактивных отходов.</b> Классификация радиоактивных отходов (РАО). Анализ способов захоронения РАО, схема утилизации РАО на РХЗ.	Всего аудиторных часов		
		3	1	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 - 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Месторождение и первичная переработка природных ядерных материалов</li> <li>• Месторождение и первичная переработка природных ядерных материалов</li> </ul>
3 - 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы разделения изотопов</li> <li>• Методы разделения изотопов</li> </ul>
5 - 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Работа разделения, потенциал разделения, сравнение технологий разделения</li> <li>• Работа разделения, потенциал разделения, сравнение технологий разделения</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Водные методы переработки облученного топлива</li> <li>• Водные методы переработки облученного топлива</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неводные методы</li> <li>• Неводные методы</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологии изготовления твэлов и ТВС</li> <li>• Технологии изготовления твэлов и ТВС</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Характеристики и состав ОЯТ</li> <li>• Характеристики и состав ОЯТ</li> </ul>
12 - 13	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Хранение и транспортировка ОЯТ</li> <li>• Хранение и транспортировка ОЯТ</li> </ul>
14	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обращение с РАО</li> <li>• Обращение с РАО</li> </ul>
15	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Упаковка РАО</li> <li>• Упаковка РАО</li> </ul>

#### ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>3 Семестр</i>
1 - 2	<b>Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).</b> Стадии цикла. Замкнутый ядерный цикл в энергетике. Цикл природного урана, пути оптимизации ЯТЦ в реакторах на тепловых нейтронах.



3	<b>Топливные материалы ядерной энергетики.</b> Характеристики ядерного топлива (ЯТ) энергонапряженность, глубина выгорания, кампания топлива. Виды ЯТ, их теплофизические и ядерные свойства с точки зрения безопасности ядерного реактора (ЯР).
4 - 5	<b>Добыча природного урана.</b> Гидрометаллургическая переработка. Основные стадии получения и первичного механического обогащения. Получение химических концентратов урана методами сорбции и экстракции. Получение гексафторида урана.
6 - 7	<b>Обогащение урана.</b> Основные методы получения обогащенного урана (электромагнитный, газодиффузионный, центробежный, лазерный и плазменный методы). Показатели эффективности разделительных аппаратов. Понятие единицы работы разделения. Накопление U-236 и его влияние на экономику топливного цикла.
8	<b>Тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ) и сборки (ТВС) ядерных реакторов.</b> Требования к ТВЭЛ и ТВС. Классификация ТВЭЛ. Изготовления и контроль качества ТВЭЛ. Влияние реакторного облучения на характеристики ТВЭЛ. Затраты на изготовление ТВЭЛ.
9	<b>Хранение и транспортировка облученного топлива.</b> Характеристики облученного топлива энергетических реакторов. Выдержка отработавшего топлива в ТВС в бассейнах реакторного зала. Транспортировка отработавших ТВС на радиохимический завод (РХЗ). Требования ядерной и радиационной безопасности к транспортным контейнерам. Хранение облученного топлива на РХЗ, устройства хранилищ и меры безопасности.
10	<b>Разделка ТВС и ТВЭЛ</b> Механическая, химическая и электрохимическая, пирометаллургическая разделка ТВЭЛ и ТВС. Меры по защите от радиоактивной пыли и подавлению выделения водорода.
11 - 12	<b>Водные методы переработки облученного топлива.</b> Волоксияция как метод предварительной обработки топлива перед растворением. Схема водной переработки ЯТ реакторов на тепловых ней-тронах. Экстракционный метод переработки растворов. Характеристики экстракционных процессов. Экстрагенты и разбавители. Технологическая схема "пурекс-процесса". Особенности переработки облученного топлива реакторов на быстрых нейтронах.
13 - 14	<b>Неводные методы переработки облученного топлива.</b> Газофторидный метод. Пирометаллургические методы (зонная плавка, фракционная кристаллизация, экстракция в системе металл-соль, электроафинирование).
15	<b>Применение радиоизотопов из отработавшего ядерного топлива.</b> Применение Pu-238. Применение изотопов трансплутониевых элементов и изотопов благородных металлов.
16	<b>Утилизация радиоактивных отходов.</b> Классификация радиоактивных отходов (РАО). Анализ способов захоронения РАО, схема утилизации РАО на РХЗ.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дисциплина 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-10	З-ПК-10	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-10	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-10	Э, СК-8, СК-15
ПК-2.3	З-ПК-2.3	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-2.3	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-2.3	Э, СК-8, СК-15
ПК-2.6	З-ПК-2.6	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-2.6	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-2.6	Э, СК-8, СК-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-3	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-3	Э, СК-8, СК-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-4	Э, СК-8, СК-15
ПК-7	З-ПК-7	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-7	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-7	Э, СК-8, СК-15
ПК-8	З-ПК-8	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-8	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-8	Э, СК-8, СК-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-9	Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-9	Э, СК-8, СК-15
УК-1	З-УК-1	Э, СК-8, СК-15
	У-УК-1	Э, СК-8, СК-15
	В-УК-1	Э, 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 М34 Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики : учебное пособие для вузов, Якушин В.Л. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
2. ЭИ В 39 Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи : учебное пособие, Ветошкин А. Г., Санкт-Петербург: Лань, 2014
3. ЭИ В38 Сборник тестовых заданий по экологии : учебное пособие для вузов, Весна Е.Б., Ксенофонтов А.И., Демин В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ В43 Экологические риски здоровью населения : монография, Морозова Е.Е., Викторов А.А., Ксенофонтов А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
5. 50 В43 Экологические риски здоровью населения : монография, Морозова Е.Е., Викторов А.А., Ксенофонтов А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
6. 50 Б79 Экология ядерной и возобновляемой энергетики : учебное пособие, Харитонов В.В., Болятко В.В., Ксенофонтов А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

7. ЭИ Б79 Экология ядерной и возобновляемой энергетики : учебное пособие для вузов, Харитонов В.В., Болятко В.В., Ксенофонов А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
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 М25 Атомная энергия и радиационная безопасность : , Маргулис У.Я., М.: Энергоатомиздат, 1988
2. 621.039 Р27 Введение в ядерные энерготехнологии : , Рачков М.В., Иванов Б.В., Лебедев Л.А., Москва: Наука, 2015
3. 50 М34 Материаловедческие проблемы экологии в области ядерной энергетики : учебное пособие для вузов, Якушин В.Л. [и др.], Москва: МЭИ, 2012
4. 621.039 О-23 Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике : учебное пособие для вузов, Куценко К.В. [и др.], Москва: МИФИ, 2007
5. 621.039 А77 Основы безопасного обращения с радиоактивными отходами : учеб. пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., М.: МИФИ, 2006
6. 621.039 К60 Проблемы утилизации отработавшего ядерного топлива : Учеб. пособие, Колбягин Н.П., Яковлев Г.Н., Соболев В.П., М.: МИФИ, 1990
7. ЭИ Р44 Ресурсы и факторы управления в энергосбережении и экологии : учебное пособие для вузов, Лаптева А.В. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
8. 621.039 К89 Российская и мировая атомная энергетика : , Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д., Москва: Московский гуманитарный ун-т, 2008
9. 50 В38 Сборник тестовых заданий по экологии : учебное пособие для вузов, Весна Е.Б., Ксенофонов А.И., Демин В.М., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
10. 621.039 К60 Химическая переработка облученного ядерного топлива : учебное пособие, Колбягин Н.П., Яковлев Г.Н., Сергиевский В.В., Москва: МИФИ, 1991
11. 621.039 К89 Экологическая безопасность объектов использования атомной энергии : учебное пособие для вузов, Кузнецов В.М., Чеченов Х.Д., Никитин В.С., Москва: НИПКЦ Восход-А, 2010
12. 621.039 С38 Экономика ядерной энергетики: основы технологии и экономики производства, экономика АЭС : Учеб. пособие для вузов, Синев Н.М., М.: Энергоатомиздат, 1987
13. 621.039 Я34 Ядерные технологии : учебное пособие, Куликов Е.Г. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
14. 621.039 А77 Ядерные технологии : учебное пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., Москва: МИФИ, 2008

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. World-nuclear (<http://world-nuclear.org/>)
2. Росатом ([www.rosatom.ru](http://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>)

<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**

Некоторые типичные задачи для семинарских занятий с решением и контрольные вопросы представлены в учебном пособии «Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике» Н.Н. Давиденко, К.В. Куценко, Г.В. Тихомиров, А.А. Лаврухин, И.:МИФИ, 2007 г. и в книге «Введение в ядерную энергетику» Дж. Коллиер, Дж. Хьюитт М.: Энергоатомиздат 1989 г.

Для решения некоторых задач необходимо уметь пользоваться прикладным математическим пакетом символьной математики (Mathcad, Mathematica). Для успешного освоения курса студент должен знать основы неорганической химии, ядерной физики и теории тепломассопереноса.

Вывод формулы для потенциала разделения и работы разделения приведен в учебном пособии «Ядерные технологии» В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, И.:МИФИ, 2001.-128 с.

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

### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Для успешного освоения материала студентами на лекциях и семинарах желательно выдавать раздаточный материал или подготовить презентации по основным технологическим схемам и установкам по переработке, транспортировке и хранению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива.

## НА ЧТО НЕОБХОДИМО ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ:

### ЛЕКЦИИ

Необходимое внимание на лекциях нужно уделить нормативным документам и правилам ядерной и радиационной безопасности ПБЯ-06-00-96, ПБЯ-06-08-77, ПРБ-88, НРБ-99, НП-053-04.

Главное внимание должно быть уделено базовым принципам, заложенным в каждую технологию, описанию используемого оборудования и условиям технологических процессов.

Важно дать анализ значимости и сравнительный анализ каждой технологии для поддержания режима нераспространения ядерных материалов.

### СЕМИНАРСКИЕ ЗАНЯТИЯ

При изучении темы «Методы обогащения урана» необходимо уделить особое внимание физическим принципам разделения изотопов на примере двух основных технологий: газодиффузионной (метод газовой эффузии) и центрифужной технологии.

Некоторые задачи для семинарских занятий и контрольные вопросы представлены в учебном пособии «Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами в атомной энергетике» Н.Н. Давиденко, К.В. Куценко, Г.В. Тихомиров, А.А. Лаврухин, И.:МИФИ, 2007 г. и в книге «Введение в ядерную энергетику» Дж. Коллиер, Дж. Хьюитт М.: Энергоатомиздат 1989 г.

Вывод формулы для потенциала разделения и работы разделения приведен в учебном пособии «Ядерные технологии» В.А. Апсэ, А.Н. Шмелев, И.:МИФИ, 2001.-128 с.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ПЕРПОДАВАТЕЛЯ

Дополнительную информацию по программам развития ядерной энергетики и ядерного топливного цикла также можно получить из следующих интернет-ресурсов:

<http://world-nuclear.org>

<http://www.rosatom.ru>

<http://www.rosenergoatom.ru>

<http://www.armz.ru>

<http://www.tvel.ru>

<http://www.periodictable.ru>

<http://www.webelements.com>

Автор(ы):

Куценко Кирилл Владленович, к.т.н., доцент

Рецензент(ы):

доцент Харитонов В.С., доцент Корсун А.С.