

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 ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.05.02 Атомные станции: проектирование,  
эксплуатация и инжиниринг

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, экс./зач./КР/КП
9	4	144	16	32	16		44	0	Э
Итого	4	144	16	32	16	16	44	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

Учебная программа соответствует требованиям ОС НИЯУ МИФИ.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

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

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную	ядерно-физические, тепло-гидравлические и электрические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования	ПК-1.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения параметров реакторной установки и АЭС в целом	З-ПК-1.2[1] - Знать Методы и средства математической обработки результатов экспериментальных исследований; У-ПК-1.2[1] - Уметь Анализировать причины возникновения

энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерной и тепловой энергии; ядерно-энергетическое, безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	погрешностей при проведении экспериментальных исследований; В-ПК-1.2[1] - Владеть Методиками проведения физических экспериментов
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерно-физические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-3 [1] - Способен к проведению исследований физических процессов в ядерных энергетических установках в процессе разработки, создания, монтажа, наладки и эксплуатации  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008, 40.011	3-ПК-3[1] - знать методы проведения исследований физических процессов ; У-ПК-3[1] - уметь проводить исследования и испытания оборудования ядерных энергетических установок ; В-ПК-3[1] - владеть методиками испытаний оборудования при его монтаже и наладке
<b>проектный</b>			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	ядерно-физические процессы, протекающие в оборудовании и устройствах для выработки, преобразования и использования ядерной и тепловой энергии; ядерно-энергетическое оборудование атомных электрических станций и других ядерных энергетических установок; безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-8 [1] - Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов, приборов и систем, готовностью осуществлять сбор, анализ и подготовку исходных данных для проектов ЯЭУ и их компонентов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078, 40.008	3-ПК-8[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при проектировании физических установок и систем; ; У-ПК-8[1] - уметь применять информационные технологии и прикладные пакеты используемые при проектировании физических установок и систем;; В-ПК-8[1] - владеть методами анализа и исходных данных для проектов ЯЭУ и их компонентов

производственно-технологический			
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	ПК-9 [1] - Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ с целью обеспечения их эффективной и безопасной работы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033	З-ПК-9[1] - Знать правила и нормы в атомной энергетике, критерии эффективной и безопасной работы ЯЭУ; ; У-ПК-9[1] - уметь анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, управления и защиты ЯЭУ;; В-ПК-9[1] - владеть методами анализа нейтронно-физических и технологических процессов в ЯЭУ.
проектирование, создание и эксплуатация атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию, включая входящие в их состав системы контроля, защиты, управления и обеспечения ядерной и радиационной безопасности	процессы контроля параметров, защиты и диагностики состояния ядерных энергетических установок; информационно-измерительная аппаратура и органы управления, системы контроля, управления, защиты и обеспечения безопасности, программно-технические комплексы информационных и управляющих систем ядерных энергетических установок	ПК-10 [1] - Способен провести оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.033	З-ПК-10[1] - знать критерии ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ; ; У-ПК-10[1] - уметь проводить оценки ядерной и радиационной безопасности ЯЭУ;; В-ПК-10[1] - владеть методами оценки ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ЯЭУ, а также при обращении с ядерным топливом и радиоактивными отходами

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих,	1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных

	<p>формирование культуры ядерной безопасности (B24)</p>	<p>дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов. 4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня</p>
--	---	--

		<p>безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за обеспечение кибербезопасности объектов атомной отрасли (В25)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирования личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и</p>

		<p>гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственной экологической позиции (B26)	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн. 2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирование личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами. 3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для</p>

		<p>формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.</p>
--	--	--

## 5. 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>9 Семестр</i>						
1	Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).	1-8	8/16/8	СК-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-3,



							У-ПК-3, В-ПК-3, 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
2	Разделка ТВС и ТВЭЛ.	9-15	8/16/8	СК-15 (25)	25	КИ-15	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 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
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/32/16		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-9, У-ПК-9, В-ПК-9

\* – 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
КИ	Контроль по итогам

Э	Экзамен
---	---------

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>9 Семестр</i>	16	32	16
<b>1-8</b>	<b>Ядерные топливные циклы (ЯТЦ).</b>	8	16	8
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		
		2	3	2
		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 свойства с точки зрения безопасности ядерного реактора (ЯР).	Всего аудиторных часов		
		2	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
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		
		1	3	1
		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		
		1	3	1
		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		
		1	2	1
		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		
		1	2	1
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Разделка ТВС и ТВЭЛ.</b>	8	16	8
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	Всего аудиторных часов		
		2	4	2
		Онлайн		
		0	0	0

	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.	Всего аудиторных часов		
		2	3	2
		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, электроафинирование).	Всего аудиторных часов		
		2	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Применение радиоизотопов из отработавшего ядерного топлива.</b> Применение Pu-238. Применение изотопов трансплутониевых элементов и изотопов благородных металлов.	Всего аудиторных часов		
		1	3	1
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Утилизация радиоактивных отходов.</b> Классификация радиоактивных отходов (РАО). Анализ способов захоронения РАО, схема утилизации РАО на РХЗ.	Всего аудиторных часов		
		1	3	1
		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>9 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>9 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> Волокисация как метод предварительной обработки топлива перед растворением. Схема водной переработки ЯТ реакторов на тепловых нейтронах. 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, электрорафинирование).
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.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Предусматривается 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.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
ПК-8	З-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	У-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	В-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
ПК-9	З-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	У-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15, СК-8, СК-15
	В-ПК-9	Э, КИ-8, КИ-15, 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»	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.

## 8. 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, 2022
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. 50 В43 Экологические риски здоровью населения : монография, Морозова Е.Е., Викторov А.А., Ксенофонтов А.И., Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

5. ЭИ 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., Ксенофонтов 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., Ксенофонтов 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 ЯЗ4 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/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

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.

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.

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



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.

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.

Необходимо уделить особое внимание физическим принципам разделения изотопов на примере двух основных технологий: газодиффузионной (метод газовой эффузии) и центрифужной технологии.

Автор(ы):

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

Рецензент(ы):

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