

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 ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ  
РЕАКТОРОВ**

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] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

<b>Семестр</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>В форме практической подготовки/ В</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КСР, час.</b>	<b>Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП</b>
9	3	108	16	32	0		24	0	Э
Итого	3	108	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Основным содержанием учебной дисциплины является описание современных ядерных технологий, используемых на различных стадиях топливного цикла гражданской ядерной энергетики, начиная с добычи урановой руды и кончая захоронением радиоактивных отходов. В рамках учебной дисциплины студенты будут ознакомлены с основными принципами и современным состоянием ядерных технологий; с опасностью ядерных технологий для окружающей среды и для режима нераспространения ядерного оружия.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания данной дисциплины состоит в том, чтобы познакомить студентов с основными ядерными технологиями, используемыми на различных стадиях топливного цикла гражданской ядерной энергетики, начиная с добычи урановой руды и кончая захоронением радиоактивных отходов. Дать студентам представление об основных принципах и современном состоянии ядерных технологий, об их потенциальной опасности с точки зрения обеспечения нераспространения ядерного оружия и защиты окружающей среды.

Основными задачами освоения дисциплины являются:

- понимание студентами базовых принципов технологий и основных элементов оборудования, используемых на предприятиях ядерного топливного цикла, для самостоятельного решения проблем учета и контроля ядерных материалов, а также проблем защиты персонала и окружающей среды;

- получение и закрепление теоретических знаний, необходимых для самостоятельной разработки и эксплуатации систем физической защиты, учета и контроля ядерных материалов на предприятиях ядерного топливного цикла.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Освоение данной дисциплины базируется на изучении студентом следующих дисциплин: Математика, Информатика, Физика, Химия, Экология, Материаловедение, Безопасность жизнедеятельности.

### 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)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	--	---

		стандарт-ПС, анализ опыта)	
экспертный			
Проведение работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-10 [1] - способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-10[1] - Знать требования и основные правила для разработки технических условий, стандартов и технических описаний установок, материалов и изделий ; У-ПК-10[1] - Уметь применять требования и основные правила для разработки технических условий, стандартов и технических описаний установок, материалов и изделий в профессиональной области ; В-ПК-10[1] - Владеть навыками разработки проектов технических условий, стандартов и технических описаний установок, материалов и изделий
производственно-технологический			
Инженерно-физическое сопровождение эксплуатации активной зоны реакторной установки	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-13 [1] - способен к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028, 24.030	З-ПК-13[1] - Знать нормы и правила производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда ; У-ПК-13[1] - Уметь оценивать ядерную и радиационную безопасность, оценивать воздействие на окружающую среду; В-ПК-13[1] - Владеть навыками контроля за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (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	Часть 1	1-9	9/18/0		25	КИ-8	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13
2	Часть 2	10-16	7/14/0		25	КИ-16	3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10
	<i>Итого за 9 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 9 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13

\* – 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>9 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-9</b>	<b>Часть 1</b>	9	18	0
1	<b>Введение в технологии ядерных топливных циклов.</b> Стратегии использования природных ядерных материалов (ЯМ) в ядерных топливных циклах (ЯТЦ). Типы ЯТЦ. Основные стадии ЯТЦ. Роль систем физической защиты, учета и контроля ЯМ на различных стадиях ЯТЦ.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 4	<b>Добыча и первичная переработка урановых руд.</b> Обзор месторождений природных ЯМ в различных регионах земного шара. Основные технологические операции добычи урана. Категории урановых руд. Технологии первичной переработки урановой руды. Операции гидрометаллургического процесса.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 7	<b>Технологии обогащения урана.</b> Свойства гексафторида урана. Принципиальные особенности обогатительных технологий: газодиффузионный метод, метод газовой центрифуги, метод разделительного сопла. Принципиальные схемы построения обогатительных каскадов. Перспективные методы изотопного разделения: лазерные методы (AVLIS и MLIS-технологии), плазменный метод, химический метод. Потенциал и работа разделения. Единица работы разделения. Энергоемкость обогащения урана различными технологиями.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
8 - 9	<b>Технологии изготовления топлива ядерных реакторов.</b> Получение твердых соединений урана из гексафторида урана. Основные технологические операции изготовления и фабрикации топлива ядерных реакторов, тепловыделяющих элементов и тепловыделяющих сборок. Технологии изготовления смешанного уран-плутониевого топлива. Основные технологические звенья интегрированного ЯТЦ на АЭС.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>10-16</b>	<b>Часть 2</b>	7	14	0
10 - 12	<b>Технологии переработки облученного топлива ядерных реакторов.</b> Методы радиохимической переработки облученного топлива. Водная экстракционная технология разделения продуктов деления, урана и плутония. Выделение урана и плутония из растворов. Пирохимический метод. Операции фторирования облученного топлива, разделение продуктов деления, урана и плутония. Пирометаллургический метод. Разделение продуктов деления, урана и плутония с использованием расплавов солей и жидких металлов. Применение электрохимических процессов.	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Технологии защиты ЯТЦ от распространения ЯМ.</b> Традиционные ЯТЦ: защищенность от распространения ЯМ, понятие "стандарт отработанного топлива", возможность использования реакторного плутония в	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	качестве оружейного материала. Нетрадиционные ЯТЦ с элементами защиты от распространения ЯМ повышенным тепловыделением, нейтронной и гамма-активностью топлива. Защита ЯМ от распространения путем денатурации плутония.			
15 - 16	<b>Технологии переработки, хранения и захоронения радиоактивных отходов.</b> Хранение и транспортировка облученных ЯМ, контейнеры для перевозок ЯМ. Классификация радиоактивных отходов (РАО). Технологии переработки жидких, газообразных и твердых РАО. Технологии иммобилизации, контейнеризации и геологического захоронения переработанных РАО. Концепции уничтожения долгоживущих РАО (продуктов деления и младших актинидов) в ядерных реакторах, электроядерных и термоядерных установках.	Всего аудиторных часов		
		2	4	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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины используются следующие образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в форме лекций, а вне-аудиторные занятия – в форме самостоятельной работы студентов, связанных с написанием рефератов по заданной тематике. Для контроля усвоения студентом разделов данного курса используются тестовые технологии, т.е. специальный банк вопросов в открытой и закрытой форме, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса.

## 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-10	З-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-10	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-13	З-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-13	Э, КИ-8, КИ-16

### 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 твердо 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 М29 The Physics of Nuclear Reactors : , Marguet, Serge. , Cham: Springer International Publishing, 2017
2. 621.039 А77 Основы безопасного обращения с радиоактивными отходами : учеб. пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., М.: МИФИ, 2006
3. 621.039 Б 94 Экспериментальная реакторная физика : Учебное пособие, Алеева Т.Б., Бушуев А.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2020
4. 621.039 А77 Ядерные технологии : учебное пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., Москва: МИФИ, 2008
5. ЭИ А77 Ядерные технологии : учебное пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., Москва: МИФИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 К65 Конструкционные материалы ядерных реакторов : Учебник для вузов, Чернов И.И. [и др.], М.: Энергоатомиздат, 1995
2. 621.039 М12 Материалы ядерных энергетических установок : , Ма Б.М., М.: Энергоатомиздат, 1987
3. 539.1 Р15 Радиационные характеристики облученного ядерного топлива : Справочник, Рубцов П.М. [и др.], М.: Энергоатомиздат, 1983
4. 621.039 С44 Реакторное материаловедение : , Дашковский А.И., Скоров Д.М., Бычков Ю.Ф., М.: Атомиздат, 1979
5. 623 К60 Создание термоядерного оружия в СССР: страницы прошлого и значение для настоящего : , Колдобский А.Б., Москва: МИФИ, 2007
6. 621.039 С74 Справочник по ядерной энерготехнологии : , , Москва: Энергоатомиздат, 1989
7. 621.039 Т38 Технологические аспекты ядерных энергетических систем с воспроизводством топлива : , , Москва: Энергоатомиздат, 1988
8. 621.039 Г87 Химическая технология облученного ядерного топлива : Учебник, Громов Б.В., Шевченко В.Б., Савельева В.И., М.: Энергоатомиздат, 1983
9. 621.039 С38 Экономика атомной энергетики : Основы технологии и экономики ядерного топлива: Учеб.пособие для вузов, Синев Н.М., Батуров Б.Б., М.: Энергоатомиздат, 1984
10. 621.039 Я34 Ядерная технология : Учеб. пособие для вузов, Рыбальченко И.Л. [и др.], М.: Атомиздат, 1979

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется



LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<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**

При изучении курса необходимо твердо усвоить базовые понятия курса: ядерные материалы, ядерное топливо, ядерные технологии, ядерный топливный цикл. Надо знать основные стадии ядерного топливного цикла (открытого и замкнутого) и уметь оценивать эти стадии с точки зрения экологии и опасности для режима нераспространения ядерного оружия.

Необходимо владеть информацией об основных ядерных технологиях, используемых на различных стадиях ядерного топливного цикла. Для начальной стадии ядерного топливного цикла необходимо ознакомиться с данными по мировым запасам природных ядерных материалов и темпах их добычи, а также знать ядерные технологии, используемые при добыче и первичной переработке урановой руды.

Для стадии изотопного обогащения урана надо уметь пользоваться понятиями материального баланса, эффективности и энергоемкости обогатительных технологий, иметь представление об идеологии разделительных работ. Необходимо изучить принципы действия и отличительные особенности основных ядерных технологий, используемых для изотопного обогащения урана (электромагнитная и газо-диффузионная технология, газовые центрифуги, разделительное сопло, химические, лазерные и плазменные методы), и уметь оценить их опасность для режима нераспространения.

Для стадии изготовления ядерного топлива необходимо знать основные свойства физические и радиационные свойства диоксида урана, изучить технологии конверсии обогащенного гексафторида урана в окисный порошок и изготовления таблеток. Особое внимание следует уделить технологии изготовления смешанного уран-плутониевого оксидного топлива и основным стадиям изготовления твэлов и ТВС.

Для стадии использования ядерного топлива на АЭС необходимо владеть информацией об основных стратегиях и технологиях, используемых для перегрузок топлива в реакторах различного типа.

Для стадии химической переработки облученного ядерного топлива необходимо знать основные перерабатывающие технологии (водная экстракционная технология, неводные пирохимические и пирометаллургические технологии) и уметь сравнивать их по степени воздействия на окружающую среду и по опасности для режима нераспространения.

Для заключительной стадии ядерного топливного цикла (переработка и захоронение радиоактивных отходов) необходимо знать основные применяющиеся технологии, владеть информацией о проектах геологических хранилищ радиоактивных отходов и об условиях их подземного захоронения.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для начала необходимо ознакомить студентов с базовыми понятиями курса: ядерные материалы, ядерное топливо, ядерные технологии, ядерный топливный цикл. Надо дать общий обзор основных стадий ядерного топливного цикла (открытого и замкнутого) и оценить эти стадии с точки зрения экологии и привлекательности для распространения ядерного оружия.

Далее следует последовательно описывать основные ядерные технологии, используемые на различных стадиях ядерного топливного цикла.

Необходимо рассказать студентам о природных ядерных материалах, их мировых запасах и темпах добычи, а затем описать ядерные технологии, используемые при добыче и первичной переработке урановой руды.

Затем, переходя к изотопному обогащению урана, надо ввести понятия эффективности и энергоёмкости обогатительных технологий, дать студентам представление об идеологии разделительных работ, а затем описать основные ядерные технологии, используемые для изотопного обогащения урана (электромагнитная и газо-диффузионная технология, газовые центрифуги, разделительное сопло, химические, лазерные и плазменные методы), и оценить их опасность для режима нераспространения.

Описывая следующую стадию ядерного топливного цикла (изготовление ядерного топлива) необходимо рассказать студентам о диоксиде урана, о технологиях конверсии обогащенного гексафторида урана в окисный порошок и изготовления таблеток. Здесь следует остановиться на специфических особенностях изготовления смешанного уран-плутониевого оксидного топлива. Затем надо рассказать об основных стадиях изготовления ТВЭЛов и ТВС.

Описывая следующую стадию ядерного топливного цикла (использование ядерного топлива на АЭС) необходимо рассказать студентам о стратегиях и технологиях, используемых для перегрузок топлива в реакторах различного типа.

Описывая следующую стадию ядерного топливного цикла (химическая переработка облученного ядерного топлива) необходимо описать основные перерабатывающие технологии (водная экстракционная технология, неводные пирохимические и пирометаллургические технологии) и сравнить по степени воздействия на окружающую среду и по опасности для режима нераспространения.

Описывая заключительную стадию ядерного топливного цикла (переработка и захоронение радиоактивных отходов) необходимо рассказать студентам о применяющихся для этого технологиях, о проектах геологических хранилищ радиоактивных отходов и об условиях их подземного захоронения.

Автор(ы):

Апсэ Владимир Александрович, к.т.н.

Шмелёв Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор

