

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 ТЕХНОЛОГИИ ЗАМКНУТОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА (ЧАСТЬ 2)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
3	5	180	16	32	0		96	0	Э
Итого	5	180	16	32	0	16	96	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Переработка отработавшего ядерного топлива (2)» посвящена ознакомлению студентов с инженерными и химико-технологическими задачами, связанными разработкой технологий переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и оборудования для их реализации.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины «ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА (2)» является подготовка студентов к решению инженерных и химико-технологических задач, связанных разработкой технологий переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и оборудования для их реализации. Среди задач курса:

- Изучение промышленно-реализованных и перспективных технологий переработки ОЯТ РБН.
- Понятие открытого и замкнутого топливного цикла. Место переработки ОЯТ в ЯТЦ.
- Ознакомление с основными процессами технологии переработки ОЯТ и оборудованием для их реализации.
- Особенности переработки ОЯТ тепловых и быстрых реакторов.
- Ознакомление с требованиями к конечным продуктам переработки ОЯТ. Ознакомления с требованиями к системе обращения с РАО и основными методами обращения с РАО.
- Изучение основных принципов обеспечения ядерной безопасности и взрывопожаробезопасности. .
- 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 образовательного стандарта высшего образования национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» по направлению 14.04.02 - Ядерные физика и технологии, «Профессиональный модуль», «Дисциплины по выбору».

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УКЦ-1 [1] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные	З-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы

задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	У-УКЦ-1 [1] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности В-УКЦ-1 [1] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	З-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологии и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

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

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
инновационный			
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового	ПК-6.1 [1] - Способен применять полученные знания для разработки новой технологической платформы атомной энергетики с вовлечением в топливный цикл урана-238 и продуктов переработки отработавшего ядерного топлива. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-6.1[1] - Знать промышленно-реализованные и перспективные технологии переработки отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах, требования к конечным продуктам переработки отработавшего ядерного топлива, основные методы обращения с радиоактивными отходами.; У-ПК-6.1[1] - Уметь применять полученные знания в производственной и научной деятельности.;

	обоснования и обеспечения безопасности.		В-ПК-6.1[1] - Владеть методами обеспечения ядерной безопасности и взрыво- и пожаробезопасности применительно к технологиям переработки отработавшего ядерного топлива.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-аналитического анализа безопасности АЭС, объекты использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.
Исследования и разработки, направленные на создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности	Ядерные энерготехнологии нового поколения; функциональные и конструкционные материалы ядерных реакторов; программные комплексы и математические модели для теоретического и расчетно-	ПК-14 [1] - Способен оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных подразделений <i>Основание:</i> Профессиональный	З-ПК-14[1] - Знать методы оценки эффективности разработок ; У-ПК-14[1] - Уметь оценивать экономический эффект от внедрения продуктов инновационной деятельности производственных и научных

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

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	ОЯТ на основе смешанного уран-плутониевого топлива. Неводные методы переработки ОЯТ.	1-8	8/16/0	КИ-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-ПК-14, У-ПК-14, В-ПК-14, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Фторидная технология переработки ОЯТ. Безопасность радиохимических производств.	9-16	8/16/0	КИ-16 (25)	25	КИ-16	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, 3-ПК-14, У-ПК-14, В-ПК-14, 3-УКЦ-1,

							У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	З-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, З-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, З-ПК-14, У-ПК-14, В-ПК-14, З-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>3 Семестр</i>	16	32	0
1-8	ОЯТ на основе смешанного уран-плутониевого топлива. Неводные методы переработки ОЯТ.	8	16	0
1 - 8	ОЯТ на основе смешанного уран-плутониевого топлива. Неводные методы переработки ОЯТ. ОЯТ на основе смешанного уран-плутониевого топлива. Свойства облученного оксидного и нитридного смешанного топлива. Термическая стабильность оксидов и нитридов урана, плутония и смешанных композиций, выход газообразных продуктов деления из топлива, теплопроводность смешанных топлив. Неводные методы переработки ОЯТ. Общая характеристика неводных методов переработки ОЯТ. Литиевый процесс переработки ОЯТ легководных реакторов. Технология AIROX и OREOX - процессов.	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Пирометаллургические методы переработки ОЯТ.			
9-16	Фторидная технология переработки ОЯТ. Безопасность радиохимических производств.	8	16	0
9 - 16	Фторидная технология переработки ОЯТ. Безопасность радиохимических производств. Фторидная технология переработки ОЯТ. Характеристика основных свойств фторидов урана, плутония, материалов оболочек и продуктов деления. Применение галогенфторидов для фторирования и растворения ОЯТ. Фторидная технология переработки ОЯТ. Разделение фторидов урана, плутония и продуктов деления. Комбинированные схемы переработки ОЯТ. Безопасность радиохимических производств. Ядерная безопасность технологий переработки ОЯТ. Методы обеспечения ЯБ. Методы контроля ЯБ. Основные принципы обращения с ядерными делящимися материалами. Взрывопожаробезопасность. Принципы обеспечения ВПБ при переработке ОЯТ. Особенности обращения с разными топливными матрицами.	Всего аудиторных часов		
		8	16	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 - 16	Темы практических занятий 1 Пристанционный ЗЯТИЦ с реактором типа БРЕСТ (проект «Прорыв») 2 Особенности поведения нитридного ядерного топлива в ядерном реакторе и обращение с ОЯТ на основе (U,Pu)N 3 Неводные методы переработки ОЯТ. Литиевый процесс переработки ОЯТ легководных реакторов. Технология AIROX и OREOX - процессов. 4 Оборудование неводных методов переработки ОЯТ 5 Газофторидная технология переработки ОЯТ 6 Пирохимическая переработка облученного нитридного топлива. LINEX-технология переработки нитридного топлива 7 Фторидная технология переработки нитридного топлива 8 Обеспечение безопасности работ при переработке ОЯТ

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса «Переработка отработавшего ядерного топлива (2)» используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия проводятся в интерактивных классах. Курс реализуется в сетевой форме на базе Акционерного общества "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара" (АО «ВНИИНМ»). Особое внимание студентов обращается на научно-технические отчеты АО «ВНИИНМ», где они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам.

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-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
ПК-14	З-ПК-14	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-14	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-14	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-6.1	З-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6.1	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-1	З-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УКЦ-1	Э, КИ-8, КИ-16
УКЦ-2	З-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16
	У-УКЦ-2	Э, КИ-8, КИ-16
	В-УКЦ-2	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»	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. 621.039 О-75 Основы безопасного обращения и обезвреживания радиоактивных отходов : Учебное пособие, Куликов Е.Г. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2019
2. ЭИ С 426 Радиоактивные компоненты АЭС: обращение, переработка, локализация : Допущено УМО вузов России по образованию в области электро- и теплоэнергетики в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Ядерная энергетика и теплофизика", Скачек М.А., Москва: МЭИ, 2019

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 81 Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла : , Пронкин Н.С., Москва: ЛОГОС, 2012
2. 621.039 П81 Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла : учебное пособие , Пронкин Н.С., Москва: ЛОГОС, 2012

3. ЭИ С24 Технология и оборудование обезвреживания жидких радиоактивных отходов : учебное пособие, Стриханов М.Н., Жиганов А.Н., Сваровский А.Я., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ Ш72 Физические основы обезвреживания долгоживущих радиоактивных отходов. Потенциал инновационных технологий : учебное пособие для вузов, Шмелев А.Н., Апсэ В.А., Куликов Г.Г., Москва: МИФИ, 2008
5. 621.039 Я34 Ядерные технологии : учебное пособие, Куликов Е.Г. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2013

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Поскольку занятия проводятся на базе АО «ВНИИНМ», студенты получают доступ к научно-техническим отчетам предприятия, в которых они могут найти актуальную информацию по читаемым темам.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Дисциплина посвящена ознакомлению студентов с инженерными и химико-технологическими задачами, связанными разработкой технологий переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и оборудования для их реализации. При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Знания, полученные студентами при изучении различных дисциплин, применяются к решению задач характерных для ядерных энергетических установок.

Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в интерактивных классах. Сложные и многочисленные расчеты не должны затенять сути излагаемых методов, поэтому рекомендуется широко использовать системы символьной математики. В конце изучения курса рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде.

Особое внимание следует обратить на вопросы безопасности. Поскольку занятия проводятся на базе АО «ВНИИНМ» студенты должны получить форму допуска, пройти

медицинскую комиссию на предмет возможности обращения с источниками ионизирующего излучения.

Автор(ы):

Лаврухин Алексей Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

профессор Ананьев А.В.