

Кафедра «Химии и технологии материалов современной энергетики»

ОДОБРЕНО
Ученым советом СТИ НИЯУ МИФИ
протокол № 5 от 28.06.2023

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ПЕРЕРАБОТКА И РЕФАБРИКАЦИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО
ТОПЛИВА

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ

14.04.02 Ядерные физика и технологии

НАИМЕНОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Ядерные энерготехнологии нового поколения

Форма обучения: очная

Семестр	Трудоемкость, ЗЕ	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практические занятия, час.	Лабораторные работы, час.	В форме практической подготовки / в интерактивной форме, час.	СРС, час.	Форма(ы) контроля (Э, З, ДифЗ, КР, КП)
3	3	108	32	16	0	34	60	Зач.
Итого	3	108	32	16	0	34	60	

Аннотация

Рабочая программа дисциплины «Переработка и рефабрикация отработавшего ядерного топлива» составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта НИЯУ МИФИ и рабочим учебным планом по направлению подготовки (специальности) 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», образовательной программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения».

В результате освоения дисциплины, у выпускника должны быть сформированы следующие результаты обучения (РО):

1) знать:

3.1 радиохимические методы переработки ОЯТ, основные стадии, недостатки и преимущества, возможные пути совершенствования способов переработки;

3.2 физико-химические свойства соединений актиноидов и продуктов деления, способы их разделения и выделения;

3.3 особенности переработки плотного и смешанного оксидного топлива;

3.4 основные свойства и способы обращения с делящимися материалами, основы системы учета и контроля делящихся и радиоактивных материалов;

2) уметь:

У.1 подбирать справочную и нормативно-техническую литературу по радиохимической тематике;

У.2 выбирать методы радиохимической переработки ОЯТ, осуществлять руководство практической работой отделения радиохимического предприятия;

3) владеть или быть в состоянии продемонстрировать:

В.1 методами расчета и анализа технологических схем и оборудования радиохимических производств;

В.2 методами определения оптимальных и рациональных технологических режимов работы оборудования.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Целями освоения дисциплины «Переработка и рефабрикация отработавшего ядерного топлива» являются:

изучение вопросов, связанных с переработкой облученного ядерного топлива (ОЯТ), в том числе, плотного и смешанного оксидного уран-плутониевого топлива для реакторов на быстрых нейтронах радиохимическими методами, извлечения ядерных делящихся материалов и других ценных компонентов из ОЯТ, их повторное использование в ядерной (рефабрикация топлива) и других высокотехнологичных отраслях промышленности.

Основными задачами дисциплины являются:

изучение свойств ОЯТ, физико-химических основ методов выделения, разделения и очистки ценных компонентов от примесных радионуклидов; основных технологических процессов и аппаратурного оформления производства радиохимической переработки ОЯТ; свойств и технологий обращения с ядерными делящимися материалами и уран-плутониевым облученным ядерным топливом; вопросов повторного использования ядерных материалов для производства плотного и смешанного топлива (рефабрикация).

2 Место учебной дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Переработка и рефабрикация отработавшего ядерного топлива» (Б1.В.ОД.1.4) - Профессиональный модуль образовательной программы.

3 Формируемые компетенции и планируемые результаты обучения

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
тип задач профессиональной деятельности: экспертный			
анализ технологий получения новых видов топлива и материалов для ядерной энергетики	ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности использования природного урана и отработавшего ядерного топлива	ПК-12 Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение	З-ПК-12 Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню У-ПК-12 Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение В-ПК-12 Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам
тип задач профессиональной деятельности: проектный			
комплексное проектирование по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов в атомной отрасли и других высокотехнологичных секторах экономики	ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности	ПК-24.1 Способен проводить моделирование, расчет и экспериментальные исследования вовлечение в топливный цикл урана-238 и продуктов переработки ОЯТ для перспективных ядерных энергетических установок	З-ПК-24.1 Знать основные методы моделирования и расчета вовлечения в топливный цикл уран-238 и продукты переработки ОЯТ для перспективных ядерных энергетических установок У-ПК-24.1 Уметь рассчитывать топливные уран-плутониевые циклы для перспективных ядерных энергетических установок В-ПК-24.1 Владеть навыками по операциям химической переработки ОЯТ (экстракция, осаждение)

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
	использования природного урана и отработавшего ядерного топлива		
комплексное проектирование по принципу CDIO: планирование, проектирование, производство и применение реальных систем, процессов и продуктов в атомной отрасли и других высокотехнологичных секторах экономики	ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности использования природного урана и отработавшего ядерного топлива	ПК-24.2 Способен разрабатывать ядерные энерготехнологии нового поколения на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) с замкнутым ядерным топливным циклом для атомных электростанций, обеспечивающих потребности страны в энергоресурсах и повышение эффективности использования природного урана и отработавшего ядерного топлива	З-ПК-24.2 Знать принципы замыкания ядерно-топливного цикла, реализуемые на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) У-ПК-24.2 Уметь рассчитывать открытые и закрытые топливные циклы, реализуемые на различных ядерных энергетических установках В-ПК-24.2 Владеть методами обобщения полученных результатов проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработки предложений по разработке новых и усовершенствованию действующих ядерно-энергетических технологий

4 Воспитательный потенциал учебной дисциплины

Формирование воспитательного потенциала по данным образовательным программам не предусмотрено рабочей программой воспитания в Северском технологическом институте – филиале федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

5 Структура и содержание учебной дисциплины

5.1 Основные разделы дисциплины, трудоемкость и виды учебной работы

Настоящая рабочая программа составлена для формы обучения «очная» по направлению 14.04.02 «Ядерная физика и технологии», образовательной программе «Ядерные энерготехнологии нового поколения».

Общая трудоемкость дисциплины составляет в зачетных единицах – 3, 108 час., обучение по дисциплине проходит в семестре 3.

Дисциплина (модуль) содержит разделы:

- раздел 1 – «Свойства и обращение с ОЯТ»
- раздел 2 – «Радиохимические методы переработки ОЯТ»

– **раздел 3** – «Обращение с ядерными делящимися материалами и уран-плутониевым облучённым ядерным топливом»

Трудоемкость, формы и график контроля по разделам дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Трудоемкость, формы и график контроля отдельных разделов дисциплины

№	Наименование раздела	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость, час				Аттестационные мероприятия		Макс. балл за раздел
		Лекции	Практ. занятия	Лабор. работы	Самост. работа	Текущий контроль (нед/форма)	Аттестация раздела (нед/форма)	
3 семестр (18 недель)								
1	Свойства и обращение с ОЯТ	6	4		12		10/Т1	20
2	Радиохимические методы переработки ОЯТ	12	6		24		13/Т2	20
3	Обращение с ядерными делящимися материалами и уран-плутониевым облучённым ядерным топливом	14	6		24		16/Т3	20
	Зачет							40
Итого за 3 семестр:		32	16		60			100

В таблице 2 представлено соответствие содержания каждого раздела и результатов обучения, что позволяет оценить их вклад в достижение целей курса.

Таблица 2 – Соответствие содержания требуемым результатам обучения

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Номера разделов	Аттестационные мероприятия
– Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню (З-ПК-12)	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3, Зачет (3 сем.)
– Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение (У-ПК-12)	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3, Зачет (3 сем.)
– Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам (В-ПК-12)	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3, Зачет (3 сем.)
– Знать основные методы моделирования и расчета вовлечения в топливный цикл уран-238 и продукты переработки ОЯТ для перспективных ядерных энергетических установок (З-ПК-24.1)	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3, Зачет (3 сем.)
– Уметь рассчитывать топливные уран-плутониевые циклы для перспективных ядерных энергетических установок (У-ПК-24.1)	1, 2, 3	Т1, Т2, Т3, Зачет (3 сем.)

– Владеть навыками по операциям химической переработки ОЯТ (экстракция, осаждение) (В-ПК-24.1)	1, 2, 3	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
– Знать принципы замыкания ядерно-топливного цикла, реализуемые на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН, БРЕСТ) (З-ПК-24.2)	1, 2, 3	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
– Уметь рассчитывать открытые и закрытые топливные циклы, реализуемые на различных ядерных энергетических установках (У-ПК-24.2)	1, 2, 3	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
– Владеть методами обобщения полученных результатов проводимых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью выработки предложений по разработке новых и усовершенствованию действующих ядерно-энергетических технологий (В-ПК-24.2)	1, 2, 3	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)

5.2 Содержание лекционного курса дисциплины

Содержание лекционного курса дисциплины представлено в таблице 4.

Таблица 3 – Содержание и трудоемкость лекционного курса по разделам в целом по дисциплине

Содержание разделов / тематика разделов	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
Раздел 1 Свойства и обращение с ОЯТ	
1.1 Проблема накопления ОЯТ в современной ядерной энергетике. Принципы работы ядерных реакторов. Поведение ядерного топлива в ходе кампании. Проблема накопления ОЯТ в современной ядерной энергетике	2
1.2 Свойства ОЯТ. Зависимость состава ОЯТ от типа реакторов. Химический состав и тепловые свойства облученного ядерного топлива. Хранение ОЯТ.	2
1.3 Технологии обращения с ОЯТ (на примере ОЯТ реакторов ВВЭР). Подготовка ОЯТ реакторов ВВЭР к переработке. Вскрытие ОЯТ реакторов ВВЭР и перевод содержимого в жидкую фазу. Выбор вскрывающего агента и способов растворения топлива.	2
<i>Итого по разделу 1:</i>	
Раздел 2 Радиохимические методы переработки ОЯТ	
2.1 Радиохимические технологии переработки ОЯТ. Общая характеристика радиохимических методов переработки ОЯТ. Подготовка растворов ОЯТ к экстракции. Аппаратурное оформление процессов растворения и очистки растворов от примесей.	2
2.2 Водно-экстракционный цикл переработки ОЯТ реактора ВВЭР. Современные экстрагенты, применяемые в радиохимическом переделе. Физико-химические основы экстракционной переработки ОЯТ реактора ВВЭР. Поведение делящихся материалов и других ценных компонентов при экстракции. Разделение урана, плутония и ценных компонентов экстракцией. Аппаратурное оформление процессов переработки ОЯТ реактора ВВЭР	4

Содержание разделов / тематика разделов	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
2.3 Аффинаж урана и плутония. Водно-экстракционная схема аффинажа урана. Выделение, концентрирование и очистка урана. Экстракционная очистка плутония: Refлах-процесс. Выделение и очистка нептуния.	2
2.4 Особенности переработки ТВЭЛов на основе высокообогащенного урана. Особенности растворения ОЯТ на основе высокообогащенного урана. Особенности экстракционной переработки растворов ОЯТ на основе высокообогащенного урана. Переработка топлива военных реакторов	2
2.5 Альтернативные способы разделения урана, плутония и продуктов деления. Водные и безводные методы. Химическое разделение урана и плутония. Лантан-фторидный метод. Висмут-фосфатный метод. Соосаждение с двойными сульфатами	2
<i>Итого по разделу 2:</i>	<i>12</i>
Раздел 3 Обращение с ядерными делящимися материалами и уран-плутониевым облучённым ядерным топливом	
3.1 Ядерные делящиеся материалы (ЯДМ). Виды и классификация. Виды ЯДМ, учет ЯДМ. Специальные неядерные материалы. Хранилища ЯДМ в России: типы хранилищ, расположение, устройство.	2
3.2 Высокообогащенный уран (ВОУ). Технология переработки ВОУ в НОУ . Проблема накопления ВОУ. Национальные запасы ВОУ в различных странах мира; категории ВОУ; технология переработки ВОУ в НОУ. Основные операции технологии ВОУ-НОУ. Аппаратурно-технологическая схема переработки оружейного урана	2
3.3 Технологии обращения с плутонием. Ядерный бридинг, Свойства основных изотопов плутония. Оценочные запасы изотопов плутония в России и странах мира. Получение изотопов плутония. Классификация плутония как ЯДМ, получение и применение изотопов плутония.	2
3.4 Металлургия плутония. Физико-химические свойства плутония и его соединений. Наиболее важные соединения плутония. Процессы получения металлического плутония. Рафинирование металлического плутония: . Конструкция электролизера и состав электролита для электрохимического рафинирования.	2
3.5 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.	2
3.6 Переработка облученного нитридного топлива. Переработка нитридного топлива на основе PUREX-процесса. Проблема образования в облученном нитридном топливе радиоактивного ¹⁴ C. Использование процесса волоксидации для подготовки топлива к растворению. Растворение нитридов урана и плутония в азотной кислоте. Схемы переработки нитридного ОЯТ. Использование в нитридном топливе азота, обогащенного по изотопу ¹⁵ N. Технологическая схема усовершенствованной жидкостной переработки облученного топлива – SETFICS и TRUEX процессы.	4
<i>Итого по разделу 3:</i>	<i>14</i>
Всего по теоретическому разделу дисциплины:	32

5.3 Содержание лабораторного практикума

Лабораторный практикум в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрен.

5.4 Тематика практических / семинарских занятий

Тематика практических / семинарских занятий и их трудоемкость представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Тематика и трудоемкость практических / семинарских занятий

Перечень практических / семинарских занятий по разделам и их содержание	Трудоемкость разделов/тем, ауд. час
Раздел 1 Свойства и обращение с ОЯТ	
1.1 Принципы работы и состав ОЯТ ядерных реакторов, работающих на уране или его соединениях. Реакторы на медленных нейтронах. Состав и особенности переработки ОЯТ. РЕакторы на быстрых нейтронах, пристанционный ЗЯТЦ с реактором типа БРЕСТ (проект «Прорыв»)	2
1.2 Физико-химические свойства актиноидов, методы выделения урана из сырья и его рафинирования.	2
<i>Итого по разделу 1:</i>	4
Раздел 2 Радиохимические методы переработки ОЯТ	
2.1 Альтернативные водно-экстракционные способы переработки ОЯТ. Изучение альтернативных водно-экстракционных способов переработки ОЯТ (IMPUREX, UREX-процессы и др.)	2
2.2 Химическое разделение урана, плутония и ПД.. История открытия и получения плутония в промышленном масштабе. Химическое разделение урана, плутония и ПД.	2
2.3 Неводные методы переработки ОЯТ.. Неводные методы переработки ОЯТ. Литиевый процесс переработки ОЯТ легководных реакторов. Технология AIROX и OREOX - процессов. Пирохимические технологии переработки ОЯТ. Газофторидная технология переработки ОЯТ	2
<i>Итого по разделу 2:</i>	6
Раздел 3 Обращение с ядерными делящимися материалами и уран-плутониевым облучённым ядерным топливом	
3.1 Общие принципы организации работы с ядерными делящимися материалами. Проблема накопления ЯДМ. Хранилища ЯДМ. Переработка накопленных запасов ЯДМ и применение их в гражданских целях	2
3.2 Обращение с облученным нитридным топливом. Особенности поведения нитридного ядерного топлива в ядерном реакторе и обращение с ОЯТ на основе (U,Pu)N. Водно-экстракционная схема переработки нитридного топлива. Пирохимическая переработка облученного нитридного топлива. LINEX-технология переработки нитридного топлива. Фторидная технология переработки нитридного топлива	2
3.3 Обеспечение безопасности работ при переработке ОЯТ. Общие вопросы ядерной и радиационной безопасности при работе с ЯДМ и ОЯТ	2
<i>Итого по разделу 3:</i>	6
Всего по практическим / семинарским занятиям дисциплины:	16

5.5 Курсовое проектирование

Курсовая работа/проект в соответствии с рабочим учебным планом не предусмотрены.

6 Образовательные технологии

При проведении лекций используются следующие образовательные технологии: IT-методы, Опережающая самостоятельная работа.

При проведении практических занятий используются следующие образовательные технологии: Работа в команде, Методы проблемного обучения, Опережающая самостоятельная работа.

Для организации самостоятельной работы используются следующие образовательные технологии: Опережающая самостоятельная работа.

Общее число часов занятий, проводимых в интерактивной форме – 34 час.

7 Аннотация фонда 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:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационные мероприятия
ПК-12	З-ПК-12	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-12	У-ПК-12	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-12	В-ПК-12	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.1	З-ПК-24.1	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.1	У-ПК-24.1	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.1	В-ПК-24.1	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.2	З-ПК-24.2	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.2	У-ПК-24.2	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)
ПК-24.2	В-ПК-24.2	T1, T2, T3, Зачет (3 сем.)

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 (**60 баллов**) и промежуточного контроля (**40 баллов**). Для допуска к промежуточному контролю по дисциплине студенту в течение календарного модуля необходимо набрать не менее 60% баллов при условии сдачи **всех** дисциплинарных разделов. Раздел считается сданным, если выполнены все виды контроля и набрано по ним не менее 60 % баллов от максимального по разделу.

В соответствии с учебным планом промежуточная аттестация в конце семестра осуществляется в форме Зачета.

Аттестация в 3 семестре:

Вид контроля	Наименование видов контроля	Максимальная положительная оценка в баллах	Минимальная положительная оценка в баллах
Текущая аттестация			

T1	Тестирование	20	12
T2	Тестирование	20	12
T3	Тестирование	20	12
Сумма:		60	36
Промежуточная аттестация			
Зачет		40	24
Итого:		100	60

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов по дисциплине	100–90	89–85	84–75	74–70	69–65	64–60	ниже 60
Оценка (ECTS)	A	B	C	D		E	F
Оценка по 4-х бальной шкале	отлично (отл.)	хорошо (хор.)		удовлетворительно (удовл.)		неудовлетворительно (неуд.)	
Зачет	Зачтено						Не зачтено

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.

Оценка *«хорошо»* выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

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.

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.

Вопросы для Зачета (3 семестр):

- 1 Проблема накопления ОЯТ в современной ядерной энергетике.
- 2 Принципы работы ядерных реакторов. Поведение ядерного топлива в ходе кампании.
- 3 Зависимость состава ОЯТ от типа реакторов.
- 4 Химический состав и тепловые свойства облученного ядерного топлива.
- 5 Хранение ОЯТ.
- 6 Вскрытие ОЯТ реакторов ВВЭР.
- 7 Подготовка растворов ОЯТ к экстракции.
- 8 Аппаратурное оформление процессов растворения и очистки растворов от примесей.
- 9 Физико-химические основы экстракционной переработки ОЯТ реактора ВВЭР.
- 10 Разделение урана, плутония и ценных компонентов экстракцией.
- 11 Аппаратурное оформление процессов переработки ОЯТ реактора ВВЭР
- 12 Выделение, концентрирование и очистка урана.
- 13 Экстракционная очистка плутония: Reflux-процесс.
- 14 Выделение и очистка нептуния.
- 15 Особенности растворения ОЯТ на основе высокообогащенного урана.
- 16 Особенности экстракционной переработки растворов ОЯТ на основе высокообогащенного урана.
- 17 Переработка топлива военных реакторов

- 18 Альтернативные способы разделения урана, плутония и продуктов деления
- 19 Химическое разделение урана и плутония.
- 20 Лантан-фторидный метод.
- 21 Висмут-фосфатный метод.
- 22 Соосаждение с двойными сульфатами
- 23 Ядерные делящиеся материалы (ЯДМ). Виды и классификация
- 24 Учет ЯДМ. Специальные неядерные материалы.
- 25 Хранилища ЯДМ в России: типы хранилищ, расположение, устройство.
- 26 Проблема накопления высокообогащенного урана (ВОУ), категории ВОУ
- 27 Технология переработки ВОУ в НОУ.
- 28 Аппаратурно-технологическая схема переработки оружейного урана
- 29 Ядерный бридинг, свойства основных изотопов плутония.
- 30 Получение изотопов плутония.
- 31 Классификация плутония как ЯДМ, применение изотопов плутония.
- 32 Физико-химические свойства плутония и его соединений.
- 33 Процессы получения металлического плутония.
- 34 Рафинирование металлического плутония.
- 35 Свойства облученного оксидного и нитридного смешанного топлива.
- 36 Термическая стабильность и теплопроводность оксидов и нитридов урана, плутония и смешанных композиций.
- 37 Переработка нитридного топлива на основе PUREX-процесса.
- 38 Проблема образования в нитридном ОЯТ радиоактивного ¹⁴C.
- 39 Использование процесса волоксидации для подготовки топлива к растворению.
- 40 Растворение нитридов урана и плутония в азотной кислоте.
- 41 Схемы переработки нитридного ОЯТ.
- 42 Использование в нитридном топливе азота, обогащенного по изотопу ¹⁵N.
- 43 Технологическая схема усовершенствованной жидкостной переработки облученного топлива – SETFICS и TRUEX процессы.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

8.1 Основная литература

Л1.1 Бекман, Игорь Николаевич. Ядерные технологии : Учебник для вузов / Бекман И. Н. — 2-е изд., испр. и доп. — Электрон. дан. — Москва : Юрайт, 2021. — 500 с. — (Высшее образование) .— URL: <https://urait.ru/bcode/471314> (дата обращения: 22.09.2021). — Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт, для авториз. пользователей .— ISBN 978-5-534-08681-2 : 1389.00 .— [URL:<https://urait.ru/bcode/471314>].

Л1.2 Бекман, Игорь Николаевич. Ядерные технологии : учебник для вузов / И. Н. Бекман .— 2-е издание, исправленное и дополненное .— Москва : Издательство Юрайт, 2020 .— 500 с. : ил. — (Высшее образование) .— Библиогр.: с. 499-500. — ISBN 978-5-534-00418-2.

8.2 Дополнительная литература

Л2.1 Беденко, Сергей Владимирович. Ядерная физика: хранение облученного керамического ядерного топлива : учебное пособие для вузов / С. В. Беденко, И. В. Шаманин .— Москва : Издательство Юрайт, 2020 .— 191 с. : ил. — (Высшее образование) .— Рекомендовано РИС ТПУ .— Библиогр.: с. 189 (Список 15 назв.) .— ISBN 978-5-534-04071-5.

Л2.2 Беденко, Сергей Владимирович (физик ; доцент Томского политехнического университета, кандидат физико-математических наук ; 1980-) . Надзор и контроль в сфере безопасности. Учет и контроль делящихся материалов : учебное пособие для магистратуры /

С. В. Беденко, И. В. Шаманин ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) .— Москва : Юрайт, 2019 .— 91 с. : ил. — (Университеты России) .— Рекомендовано РИС ТПУ .— Библиогр.: с. 89-90. — ISBN 978-5-9916-7030-2.

Л2.3 Радиохимическая переработка ядерного топлива АЭС / В. И. Землянухин [и др.] .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1989 .— 280 с. — ISBN 5-283-02981-6.

Л2.4 Андреев, Генрих Георгиевич. Фторидные технологии в производстве ядерного топлива [Текст] : монография / Г. Г. Андреев, А. Н. Дьяченко ; Министерство образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Томский политехнический университет .— Томск : Изд-во ТПУ, 2014 .— 150, [2] с. : ил. — Библиогр.: с. 148-150.

Л2.5 Беспалов, Валерий Иванович. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита : Учебное пособие для вузов / Беспалов В. И. — 5-е изд. — Электрон. дан. — Москва : Юрайт, 2021 .— 507 с .— (Высшее образование) .— URL: <https://urait.ru/bcode/470164> (дата обращения: 22.09.2021). — Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт, для авториз. пользователей .— ISBN 978-5-534-11595-6 : 1279.00 .— [URL:<https://urait.ru/bcode/470164>].

Л2.6 Обращение с отработавшим ядерным топливом. Радиохимическая переработка ОЯТ: курс лекций / Министерство науки и высшего образования РФ. ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт НИЯУ МИФИ; составитель В. А. Андреев - Северск: Издательство СТИ НИЯУ МИФИ, 2021 - 166 с.

Л2.7 Андреев В. А. Расчет состава облученного ядерного топлива реакторов ВВЭР [Электронный ресурс]: методические указания / В. А. Андреев; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт - филиал НИЯУ МИФИ (СТИ НИЯУ МИФИ) - Северск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2013 - 25 с.

8.3 Информационно-образовательные ресурсы

Э1 Журнал «Радиохимия» – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

Э2 Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

Э3 Известия вузов. Сер.: Химия и химическая технология – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

Э4 Известия Томского политехнического университета. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

Э5 Электронный бюллетень Ядерный Контроль. – Режим доступа: <http://www.pircenter.org/pages/280-yadernyj-kontrol-arhiv-nomerov>

9 Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины приведено на сайте СТИ НИЯУ МИФИ <http://www.ssti.ru/objects.html>

10 Учебно-методические рекомендации для студентов

Самостоятельная работа студентов – это планируемая учебная и внеаудиторная работа студентов, выполняемая по заданию преподавателя и под его методическим руководством, но без его непосредственного участия.

Целью самостоятельной работы студентов является приобретение новых знаний, систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов.

Лекции. Рекомендации по написанию конспекта лекций: кратко, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения: пометать основные

мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь (тезаурис). Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на следующем занятии или консультации.

Практические занятия. Для подготовки к практическому занятию, необходимо повторить теоретический материал по теме с использованием лекций и рекомендуемой литературы.

На занятии желательно иметь конспект лекций (или учебник, учебное пособие), чтобы самостоятельно или с сокурсниками и преподавателем сориентироваться на каждую тему решаемой задачи, поставленной проблемы и пр.

При обсуждении основных положений и выводов, объяснении явлений и фактов, ответа на поставленные вопросы:

1) вырабатываются умения и навыки использовать приобретенные знания для различного рода профессиональной деятельности;

2) выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументированно и не должно сводиться к простому воспроизведению текста, не допускается и простое чтение конспекта. Необходимо, чтобы выступающий проявлял собственное отношение к тому, о чем он говорит, высказывал свое личное мнение, понимание, обосновывал его и мог сделать правильные выводы из сказанного. При этом студент может обращаться к записям конспекта и лекций, непосредственно к первоисточникам, использовать факты и наблюдения современной жизни и т. д.

Промежуточная аттестация. Для подготовки к промежуточной аттестации студенту необходимо проработать конспекты лекционных и практических занятий, подготовить ответы к вопросам, выносимым на промежуточную аттестацию, при необходимости воспользоваться рекомендуемой литературой.

11 Учебно-методические рекомендации для преподавателей

На лекционных, практических занятиях студентам сообщаются новые сведения, систематизируется и обобщается накопленный запас знаний, формируются на этой основе познавательные и профессиональные интересы. Преподаватель, проводя занятия, должен стремиться увлечь студентов, активно воздействовать на их эмоции, вызвать интерес к учебному предмету, стремление постоянно пополнять знания.

Самостоятельная работа студентов по данному курсу

- Проработка лекционного материала
- Подготовка к практическим занятиям, семинарам
- Подготовка к контрольным работам
- Подготовка к промежуточному контролю: Зачет (3 семестр)

В течение 3 семестра осуществляется контроль знаний студентов: см. раздел 5.1.

По результатам аттестационных мероприятий формируется допуск студента к итоговому контролю – Зачету по дисциплине. Студент на Зачете должен показать знание программного материала, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагать, уметь тесно увязывать теорию с практикой, использовать в ответе материал рекомендуемой литературы.

Автор(ы): В.А. Андреев