

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

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

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

Курс «Технологии обращения с радиоактивными отходами» является дисциплиной вариативной части профессионального модуля и предназначен для подготовки магистров по направлению 14.04.02 «Ядерные физика и технологии», специализирующихся в области новой технологической платформы ядерной энергетики.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Научно-технический прогресс немыслим без развития атомной науки и техники. В различных областях человеческой деятельности использование радиоактивных изотопов и ядерных излучений все более расширяется, что сопровождается и ростом количества экологически опасных радиоактивных отходов. В связи с этим обезвреживание и локализация радиоактивных отходов является крупнейшей технической, экономической и социальной проблемой. Целью данной дисциплины является ознакомление студентов технологиям обращения с радиоактивными отходами (РАО), образующимися в результате работы с радионуклидами.

Основными задачами данного курса являются:

- Знакомство с базовыми принципами обращения с РАО.
- Изучение технологий обработки радиоактивных отходов.
- Изучение технологических процессов иммобилизации РАО и физико-химических свойств матриц, используемых для включения РАО.
- Изучение организации и требований к долгосрочному хранению, а также способов захоронения РАО.

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. Для группы Ф03-89М, «Профессиональный модуль».

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 задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать	З-УКЦ-1 [1] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы 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

работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием 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 обоснования и обеспечения безопасности.	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	3-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.; 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	Ядерные энерготехнологии нового поколения;	ПК-6.4 [1] - Способен освоить специальные знания и практические	3-ПК-6.4[1] - Знать основы государственной

создание новой технологической платформы атомной энергетики, расчетное сопровождение энергетического оборудования, обоснование ядерной и радиационной безопасности объектов использования атомной энергии.	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.	навыки в области регулирования и обоснования безопасности объектов использования атомной энергии и ядерного наследия. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	политики Российской Федерации в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.; У-ПК-6.4[1] - Уметь делать анализ объектов использования атомной энергии и ядерного наследия, в части научно-технического и организационно-правового обоснования и обеспечения безопасности.; В-ПК-6.4[1] - Владеть компетенциями связанными с содействием в реализации международных обязательств Российской Федерации по формированию инфраструктуры регулирования безопасности в странах, выступающих заказчиками сооружения АЭС по российским проектам, в части формирования и развития компетенций персоналом национальных органов регулирования безопасности при использовании атомной энергии и их организаций научно-технической поддержки.
--	--	---	--

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	Технологии обработки и кондиционирования РАО.	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-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1
2	Обращение с РАО. Технологии очистки и захоронения.	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-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1
	<i>Итого за 3 Семестр</i>		16/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 3 Семестр				50	Э	3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1, 3-ПК-6.4, У-ПК-6.4, В-ПК-6.4, 3-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1

* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.,	Лаб.,
--------	---------------------------	-------	-----------	-------

		час.	час.	час.
	3 Семестр	16	32	0
1-8	Технологии обработки и кондиционирования РАО.	8	16	0
1 - 8	Технологии обработки и кондиционирования РАО. Введение. Задачи курса и его место в подготовке специалистов. Понятие «радиоактивные отходы». Цель и принципы обращения с радиоактивными отходами. Организация обращения с РАО. Ответственность государства и обязанности различных организаций. Радиоактивные отходы. Основные принципы и стадии обращения с радиоактивными отходами. Источники радиоактивных отходов. Классификация радиоактивных отходов. Химический и радионуклидный состав отходов. Сбор и первичная характеристика РАО. Технологии обработки радиоактивных отходов. Факторы, влияющие на выбор технологии обращения с РАО. Минимизация радиоактивных отходов. Очистка и концентрирование низкоактивных ЖРО. Механическая обработка ТРО. Термические и термохимические технологии обработки РАО. Технологии кондиционирования РАО. Включение РАО в цемент. Включение отходов в битумы и полимеры. Остекловывание РАО. Принципы включения ВАО в керамические матрицы. Критерии выбора технологии иммобилизации радиоактивных отходов.	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Обращение с РАО. Технологии очистки и захоронения.	8	16	0
9 - 16	Обращение с РАО. Технологии очистки и захоронения. Обращение с органическими радиоактивными отходами. Образование и характеристики органических отходов. Особенности обращения с органическими отходами. Обработка органических отходов. Технологии переработки некоторых органических материалов, используемых в атомной энергетике. Технологии очистки газообразных радиоактивных выбросов. Организация вентиляционной системы и ее основные задачи. Источники и характеристика газообразных выбросов на АЭС. Фильтрующие аппараты систем газоочистки. Схемы очистки воздуха на АЭС с реактором ВВЭР. Обращение с радионуклидными источниками. Характеристики и область применения основных радионуклидных источников ионизирующего излучения. Иммобилизация отработавших РНИ в бетон и металл. Общая схема подготовки к долговременному хранению. Долгосрочное хранение и захоронение РАО. Принципы безопасности хранения отходов. Способы захоронения РАО. Заключение. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности в 2008 г. и на период до 2015 г.» – ФЦП ЯРБ. Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Российской Федерации» № 190-ФЗ. Создания в Российской Федерации Единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО).			
--	---	--	--	--

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. Классификация ЖРО и ТРО по уровню удельной активности, солевого составу и физическому состоянию. 2. Характеристики, ограничивающие выбросы радиоактивных и вредных веществ в окружающую среду. Очистка воздуха от радиоактивных благородных газов. Принципиальная схема адсорбции РБГ, азота, водорода, из газо-воздушной смеси. 3. Очистка технологических сдувок. Схема фильтра ФАРТОС Ц-200. Очистка воздуха от химических соединений в виде паров и газов. Схема очистки с трубой Вентури. 4. Очистка сухого и влажного вентиляционного воздуха от радиоактивных аэрозолей. 5. Факторы, влияющие на выбор схемы переработки ЖРО. Типы сорбентов применяемых в России для очистки ЖРО. Схема противоточного непрерывного ионного обмена. Схема патронного намывного фильтра. 6. Метод коагуляции. Основные реагенты, используемые в процессе коагуляции. 7. Принцип работы и схема контактного осветлителя. Метод электролиза. Основные достоинства и недостатки. 8. Принципиальная схема очистки САО на установке с доупаривателем. 9. Принципиальная схема переработки жидких ВАО. Схема выпарного аппарата отходов ВАО. 10. Принципиальная схема хранилища жидких САО и ВАО. Хранение концентратов жидких отходов среднего уровня активности. 11. Хранение высокоактивных отходов. Конструкции емкостей применяемые на практике. Основные процессы происходящие в растворах ВАО при хранении. 12. Методы отверждения растворов ВАО. Схема установки остекловывания растворов ВАО. 13. Методы отверждения растворов САО. Схема установки для процесса распылительная кальцинация – тигельное плавление.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы курса «Технологии обращения с радиоактивными отходами» используются различные образовательные технологии. Дисциплина реализуется в сетевой форме посредством кадровой и материальной базы партнера «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (РХТУ им. Д.И. Менделеева). Аудиторные занятия проводятся в интерактивных классах. Особое внимание студентов обращается на дополнительную литературу и интернет-ресурсы, где впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам, а также брать материал для рефератов. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекций и материала практических занятий, а также подготовку к контрольным работам.

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-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
ПК-6.4	З-ПК-6.4	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-6.4	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-6.4	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

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. 621.039 Н34 Научный годовой отчет об основных исследовательских работах, выполненных в 2018г. : , Димитровград: Научно-исследовательский институт атомных реакторов, 2019
2. ЭИ Н83 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) : СП 2.6.1.758-99. 2.6.1 Ионизирующее излучение, радиационная безопасность, , М.: Минздрав России, 1999
3. ЭИ П 81 Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла : , Пронкин Н.С., Москва: ЛОГОС, 2012
4. 621.039 П81 Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла : учебное пособие , Пронкин Н.С., Москва: ЛОГОС, 2012

5. 621.039 Р98 Очистка жидких радиоактивных отходов : , Рябчиков Б.Е., М.: ДеЛи принт, 2008
6. ЭИ С24 Технология и оборудование обезвреживания жидких радиоактивных отходов : учебное пособие, Стриханов М.Н., Жиганов А.Н., Сваровский А.Я., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
7. 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
8. 621.039 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
9. 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:

1. Международное агентство по атомной энергии. ()

<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

С целью приобретения и развития навыков самостоятельной работы студентам предлагается в течение семестра ознакомиться с дополнительной литературой. Перечень приведен в списке литературы. Эта литература должна активно использоваться при подготовке к контрольным работам. Каждая контрольная работа содержит теоретические вопросы из перечня основных вопросов с некоторым уменьшением объема.

Примеры контрольных работ и контрольные вопросы к экзамену, приведены в специальном разделе программы и могут корректироваться преподавателем в зависимости от степени усвоения студентами учебного материала в течение семестра.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При разработке курса использована современная отечественная и иностранная литература. Чтение лекций и проведение семинарских занятий рекомендуется проводить в интерактивных классах. Особое внимание студентов следует обратить на интернет ресурсы, где

впоследствии они самостоятельно смогут получать актуальную информацию по читаемым темам. В конце изучения курса рекомендуется выдать студентам использованные презентации в электронном виде, а также предоставить им доступ к материалам конференций и семинаров по быстрым реакторам.

Автор(ы):

Тюпина Екатерина Александровна, к.т.н., доцент

Рецензент(ы):

Лаврухин А.А.