

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 РАДИАЦИОННОЙ ФИЗИКИ И БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

БЕЗОПАСНОЕ ОБРАЩЕНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ РАО И ОЯТ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
[2] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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
7	1-2	36-72	32	0	0		4-40	0	3
Итого	1-2	36-72	32	0	0	0	4-40	0	



## **АННОТАЦИЯ**

Курс посвящен вопросам безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО) и методам первичной и долговременной изоляции этих отходов. На первом этапе анализируются современное состояние и перспективы развития ядерной энергетики и связанные с этим объемы подлежащих захоронению радиоактивных отходов. Подробно рассматриваются классификация отходов, основные источники и характеристики различных (газообразных, жидких или твердых) радиоактивных отходов. Основное внимание в курсе уделено обращению с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и с высокоактивными жидкими и твердыми радиоактивными отходами, методам переработки и способам захоронения. Анализируется проблема трансмутации радиоактивных отходов, оценивается ее эффективность по сравнению с прямым захоронением отработавшего ядерного топлива. Кратко излагаются проблемы безопасности ядерного комплекса, исследуются и анализируются как произошедшие, так и гипотетические аварии на ядерно-технических установках.

Курс рассчитан на выпускников, предполагающих работать в атомной отрасли промышленности. Для прохождения курса необходима предварительная подготовка в области ядерной и радиационной физики, включая вопросы физики реакторов и дозиметрии, и в области решения уравнений математической физики.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения учебной дисциплины является введение в курс одного из приоритетных направлений современной радиационной физики – проблемам обращения с радиоактивными отходами (РАО) и отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и методам их захоронения.

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

Профессиональный курс рассчитан на выпускников, предполагающих работать в атомной отрасли промышленности, особенно в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности атомных технологий, посвящен вопросам безопасного обращения с радиоактивными отходами и методам первичной и долговременной изоляции этих отходов. Подробно рассматриваются классификация отходов, основные источники и характеристики различных (газообразных, жидких или твердых) радиоактивных отходов. Основное внимание в курсе уделено обращению с отработавшим ядерным топливом и с высокоактивными жидкими и твердыми радиоактивными отходами, методам переработки и способам захоронения. Анализируется проблема трансмутации радиоактивных отходов, оценивается ее эффективность по сравнению с прямым захоронением отработавшего ядерного топлива.

Для прохождения курса необходима предварительная подготовка в рамках высшего образования в области ядерной и радиационной физики, включая вопросы физики реакторов и дозиметрии, и в области решения уравнений математической физики. Студент должен быть знаком с нормами радиационной безопасности, физикой защиты от излучений, иметь представления о развитии ядерной энергетики.

Тематика курса с одной стороны является составной частью цикла дисциплин о безопасности атомных технологий, а с другой стороны предваряет рассмотрение определенных вопросов в курсах «Основы безопасности атомных технологий», «Радиоэкология» и др. Необходима для практики студентов на предприятиях атомной отрасли.



### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-8 [2] – Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	<p>З-УК-8 [2] – Знать: требования, предъявляемые к безопасности условий жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и пути обеспечения комфортных условий труда на рабочем месте</p> <p>У-УК-8 [2] – Уметь: обеспечивать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и комфортные условия труда на рабочем месте; выявлять и устранять проблемы, связанные с нарушениями техники безопасности на рабочем месте</p> <p>В-УК-8 [2] – Владеть: навыками предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций (природного и техногенного происхождения) на рабочем месте</p>

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
<b>проектный</b>			
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками,	<p>ПК-10.2 [2] - Способен к расчету и проектированию биологических защит и систем контроля радиационной безопасности АЭС</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-10.2[2] - Знать основные законы распространения ионизирующих излучений в однородных и неоднородных средах;</p> <p>У-ПК-10.2[2] - Уметь проектировать системы контроля радиационной безопасности на АЭС и безопасного обращения с ОЯТ и РАО;</p> <p>В-ПК-10.2[2] -</p>



	<p>программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>		<p>Владеть методами проектирования биологических защит радиационно-опасных объектов АЭС</p>
научно-исследовательский			
<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных</p>	<p>ПК-7.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на основе апробированной методики с целью определения теплофизических и нейтронно-физических параметров ЯЭУ различного назначения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-7.2[1] - знать методы проведения исследований теплофизических и нейтронно-физических процессов; У-ПК-7.2[1] - уметь проводить экспериментальные исследования по заданной методике; В-ПК-7.2[1] - владеть методами анализа погрешности физических экспериментов</p>



проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	реакторов		
Подготовка специалистов с фундаментальной физико- математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно- физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно- физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	ПК-1 [2] - Способен к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032	З-ПК-1[2] - Знать методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик; У-ПК-1[2] - Уметь разрабатывать методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик; В-ПК-1[2] - Владеть методами прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик.
Исследования перспективных типов ядерных	Ядерные реакторы, энергетические установки,	ПК-1 [1] - Способен использовать научно- техническую	З-ПК-1[1] - знать отечественный и зарубежный опыт по



<p>энергетических установок, теплофизические исследования перспективных ТВЭЛов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов</p>	<p>теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области, ; У-ПК-1[1] - уметь использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области; В-ПК-1[1] - владеть современными компьютерными технологиями и методами использования информационных ресурсов в своей предметной области</p>
<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений</p>	<p>ПК-2 [2] - Способен к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-2[2] - Знать методы проведения физического и численного эксперимента, и подготовки соответствующих экспериментальных стендов.; У-ПК-2[2] - Уметь проводить физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды; В-ПК-2[2] - Владеть методами</p>



	и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;		проведения физического и численного эксперимента и подготовки соответствующих экспериментальных стендов.
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы,	ПК-4 [2] - Способен применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-4[2] - Знать стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; У-ПК-4[2] - Уметь применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов; В-ПК-4[2] - Владеть навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов



	<p>экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p> <p>безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>		
--	---	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)	<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</p>



		<p>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>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за обеспечение кибербезопасности объектов атомной отрасли (В25)	<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</p>



		<p>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.</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</p>



		<p>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.</p> <p>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.</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>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/0/0		25	КИ-8	3-ПК-10.2, У-ПК-10.2, В-ПК-10.2, 3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-УК-8, У-УК-8, В-УК-8
2	Часть 2	9-16	16/0/0		25	КИ-16	3-ПК-10.2, У-ПК-10.2, В-ПК-10.2, 3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2,



							В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-УК-8, У-УК-8, В-УК-8
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	3-УК-8, У-УК-8, В-УК-8, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-10.2, У-ПК-10.2, В-ПК-10.2

\* – 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
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	0	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	16	0	0
1	<b>Лекция 1</b> Энергетика и окружающая среда. Изменение объемов потребления энергии в индустриальную эпоху и тенденции изменения в будущем. Структура и развитие мировой энергетики. Структура топливно-энергетического баланса (ТЭБ) современного общества. Основные источники сырья для ТЭБа. Мировые ресурсы различных источников сырья для обеспечения энергопотребления	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	<p>человечества. Перспективы его обеспечения в будущем. Проблема истощения органических источников энергии. Мировой технический потенциал различных энергетических источников. Современный уровень и перспективы использования альтернативных источников энергии. Принципиальные трудности на пути реализации альтернативной энергетики. Атомная энергетика. Физические основы ядерной энергетики. Состав природного урана. Реакторы на тепловых нейтронах (РТН) и реакторы на быстрых нейтронах (РБН). Состояние мировой ядерной энергетики. Роль ядерной энергетики в общем энергопотреблении. Ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Открытый и замкнутый ядерно-топливный цикл (ОЯТЦ и ЗЯТЦ). Энергетическая эффективность использования природного урана в разных циклах производства. Ресурсы ядерной энергетики и перспективы ее развития. Техничко-экономические и экологические преимущества атомной энергетики. Сравнение ядерной энергетики со станциями на органическом топливе. Общественность и развитие ядерной энергетики.</p>			
2	<p><b>Лекция 2</b> Современное состояние атомной энергетики. АЭС в мире и в России, их роль и объемы производства. Доля ядерной энергетики в выработке электричества в различных странах мира. Основные типы реакторов. Базовые параметры различия. Определение ОЯТ и РАО. Принципиальные отличия. Соотносительные объемы и активность ОЯТ и РАО. Источники образования радиоактивных отходов (РАО) в России и некоторых странах с развитой атомной энергетикой. Сравнение потребляемого ежегодно топлива и производства отходов на станциях разного типа. Технологическая схема современной атомной энергетики России. Программа развития атомной энергетики России. Основные проблемы при обращении с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и РАО и пути их решения. Обращение с ОЯТ в ОЯТЦ и ЗЯТЦ. Количество и темпы накопления ОЯТ в мире и в России. Проблемы, связанные с концепцией прямого захоронения ОЯТ. Несбалансированность потоков выгружаемого и перерабатываемого топлива в ЗЯТЦ. Мощности предприятий по регенерации топлива. Накопление и хранение ОЯТ в России. Реализация концепции ЗЯТЦ в России. Принципиальная схема обращения с ОЯТ на АЭС с ВВЭР-440 и с ВВЭР-1000. Критическое положение с хранением ОЯТ реакторов РБМК-1000 на АЭС. Хранение и переработка радиоактивных отходов. Темпы образования РАО на АЭС. Показатели образования РАО для разных типов АЭС. Проблематика их хранения на АЭС. Наполненность хранилищ жидких и твердых РАО. Суммарное количество РАО в мире и в России. Законодательная концепция обращения с РАО в России. Отложенные проблемы</p>	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	России по ОЯТ и РАО.			
3	<b>Лекция 3</b> Принципы и критерии экологической безопасности при обращении с РАО. Классификация РАО. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99), "Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002)" и другие регламентирующие документы. Категории газообразных, жидких и твердых РАО. Категории РАО с точки зрения выбора концепции захоронения. Долгоживущие и короткоживущие радионуклиды (ДЖРН и КЖРН). Нормативные уровни удельной и объемной активности наиболее токсичных радионуклидов в отходах. Классификация твердых РАО по уровню загрязнения поверхностей. Обращение с РАО как составная часть системы радиационной защиты населения. Естественный радиационный фон и регламентированные нагрузки при обращении с РАО. Основные составляющие радиационного фона. Средние дозы облучения населения в мире и в России. Основные радионуклиды (РН) космогенного и земного происхождения. Периоды полураспада и кларки РН земной коры. Единая концепция радиационной безопасности населения и профессиональных работников. Квоты источников радиационного воздействия. Острое лучевое поражение и хроническое облучение. Единицы опасности. ЛД50 и ПДД. Радиационный риск. Концепция приемлемого риска. Сравнение риска от ядерной энергетики с другими факторами риска. Основные принципы национальных концепций обращения с РАО и ОЯТ в России и некоторых зарубежных странах.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Лекция 4</b> Распределение извлекаемых запасов урана в различных странах мира. Производство и потребление урановой руды. Современная добыча урана по основным странам и добывающим предприятиям. Схема размещения урановорудных районов России. ПГХО Краснокаменского района Читинской области. Планы ввода в эксплуатацию новых урановых рудников. Прогноз развития мировой уранодобывающей отрасли. Количественные характеристики трансформации урановой руды в ЯТЦ. Предприятия начальной стадии ЯТЦ. Совокупность и структура предприятий по добыче урановой руды. Урановый рудник, дробильно-обогащительные и радиометрические обогащительные фабрики, гидрометаллургический завод. Основные способы добычи урановой руды. Основные стадии получения уранового концентрата. Суммарная активность урановой руды. Образующиеся отходы и меры по их изоляции. Особенности РАО начальной стадии ЯТЦ. Основные радионуклиды (РН) уранодобывающих предприятий. Радиоактивные отходы уранодобывающих предприятий и их воздействие на окружающую среду. Характеристики	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	радиоактивного загрязнения основных элементов окружающей среды уранодобывающих и перерабатывающих предприятий. Загрязнение атмосферы дочерними продуктами деления радона. Загрязнение почвы и воды вокруг уранодобывающих предприятий. Хвостохранилище. Мощность экспозиционной дозы по периметру и в центре ограждающей дамбы.			
5	<b>Лекция 5</b> Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации, консервации и перепрофилировании уранодобывающих предприятий. Характеристика остаточного радиационного загрязнения некоторых объектов консервируемых уранодобывающих и перерабатывающих предприятий. Характерные параметры изоляции рекультивируемых объектов от окружающей среды. Радиационная обстановка на бывшем предприятии ЛГП "Алмаз". Дозовые нагрузки уранодобывающих предприятий на персонал и население. Ретроспективный анализ изменения дозовых нагрузок уранодобывающих предприятий со временем развития ядерной энергетики. Обращение с газообразными радиоактивными отходами (ГРО). Классификация ГРО. Основные радиационные характеристики газообразных радионуклидов. Биологически значимые радионуклиды. Основные источники и радиационные характеристики ГРО на АЭС. Активационные газы и газообразные продукты деления. Концептуальные различия газообразных отходов реакторов с водой под давлением (двухконтурных) и кипящих реакторов (одноконтурных). Эжектор конденсатора реактора РБМК и байпасная система очистки теплоносителя первого контура реактора ВВЭР. Активность ГРО и их количество на реакторах различного типа. Сопоставительный анализ обобщенных оценок выбросов и сбросов реакторов различного типа.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Лекция 6</b> Выбросы и сбросы АЭС России. Годовые допустимые выбросы радиоактивных газов и аэрозолей на АЭС с РБМК, ВВЭР и БН. Изменения допустимых выбросов с 1999 г. Выполнение нормативных требований. Радионуклидный состав выбросов АЭС с реакторами разного типа. Сравнение концентрации естественных и техногенных радионуклидов в приземном воздухе, в почве и в воде районов АЭС. Их зависимость от расстояния до источника. Сравнение с допустимыми концентрациями. Запас прочности реального радиационного влияния АЭС на окружающую среду при нормальной эксплуатации. Аварийные выбросы. Оценки мощности дозы облучения организмов в районах АЭС при штатных условиях эксплуатации. Средние индивидуальные и коллективные дозовые нагрузки воздействия АЭС с реакторами разного типа на население и персонал. Снижение дозовых нагрузок за последние два десятилетия. Выбросы и сбросы предприятий по переработке топлива, их принципиальные	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	отличия от АЭС. Очистка ГРО от радионуклидов и от радиоактивных аэрозолей. Эффективность очистки газоаэрозольных выбросов. Методы обезвреживания ГРО: основные промышленные методы дезактивации ГРО. Система очистки газообразных отходов на АЭС: газгольдеры выдержки и радиохроматографическая система. Основные операции технологического цикла очистки газов на АЭС. Основные технические показатели отечественных установок очистки газов АЭС от радиоактивности. Принципиальные технологические схемы установок газоочистки СОГ и УПАК. Коэффициенты адсорбции. Фильтрация аэрозолей. Технические характеристики аэрозольных фильтров.			
7	<b>Лекция 7</b> Обращение с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО). Источники ЖРО и их количество. Система обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) на АЭС – система переработки трапных вод. Система очистки воды первого контура; система очистки бассейна выдержки; система хранения и переработки теплоносителя; система очистки воды парогенераторов, котловой воды и воды контрольных баков; воды дезактивации помещений и оборудования; неорганизованные протечки. Бак трапных вод. Гомогенные (кубовый остаток) и гетерогенные (пульпы фильтроматериалов) жидкие отходы. Количественные показатели образования ЖРО в год и их характеристики для разных типов отечественных реакторов. Структурная схема формирования отходов в оборудовании системы трапных вод. Периодичность обслуживания (регенерация, взрыхление) фильтров систем спецводоочистки (СВО) и периодичность гидровыгрузки фильтров. Активность и радионуклидный состав гомогенных и гетерогенных жидких отходов на АЭС. Методы обращения с ЖРО. Термические методы. Установки глубокого упаривания. Схемы выпарных аппаратов. Степень очистки конденсата и степень концентрирования отходов. Сорбционные методы очистки. Динамическая сорбция: катиониты и аниониты (ионообменные смолы) и статическая сорбция. Мембранные методы: обратный осмос, электродиализ и ультрафильтрация. Классификация ЖРО по методам обращения и классификация жидких РАО ядерно-энергетических установок и методов их переработки в зависимости от солесодержания. Технологическая схема переработки отходов среднего и низкого уровней активности. Схема хранения отработавших ионообменных фильтров и кубового остатка на АЭС.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Семинарское занятие 1</b> Семестровый контроль. Тестовый контроль знаний.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	16	0	0



9	<b>Лекция 8</b> Радиохимический завод (РХЗ) по переработке облученного топлива. Особенности газообразных выбросов радиохимических заводов. Мощность газоаэрозольных выбросов РХЗ и сопутствующие дозы облучения населения. Глобальное радиоактивное загрязнение биосферы. Выбросы и сбросы глобальных радионуклидов на АЭС и на РХЗ. Ожидаемые коллективные дозы облучения населения. Радиационная обстановка на ПО «Маяк». Выбросы и сбросы радионуклидов на Южном Урале с 1948 г. Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). Территория ВУРС. Плотность загрязнения почвы территории ВУРС основными радионуклидами $^{90}\text{Sr}$ и $^{137}\text{Cs}$ . Суммарное радиоактивное загрязнение поймы реки и воды реки Течи. Динамика оценок дозовых нагрузок на жителей населенных пунктов вдоль реки Течи. Сравнение радиационного и химического риска для жителей поселка Новогорный, расположенного вблизи ПО «Маяк». Совокупные масштабы загрязнения и облучения населения на оборонных предприятиях России. Радиохимическая переработка облученного топлива. Водные методы переработки ОЯТ: "пурекс (Purux) - процесс". Жидкие отходы высокой удельной активности (ОВУА). Активность и тепловыделение ОВУА. Очистка и концентрирование жидких отходов высокого уровня активности. Обращение с жидкими РАО на заводах по переработке ОЯТ. Схема обращения с ЖРО ПО "Маяк". Контролируемое хранение растворов ОВУА: обеспечение температурного режима хранения, контроль над безопасными концентрациями взрывоопасных газообразных отходов и радиационно-химическими процессами. Используемые резервуары для изоляции жидких ОВУА и методы их хранения.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Лекция 9</b> Обращение с твердыми радиоактивными отходами (ТРО). Источники и характеристики ТРО. Методы переработки твердых отходов. Сжигание горючих ТРО и прессование отходов. Переработка металлических РАО. Отверждение РАО. Перевод ЖРО в твердые формы. Применяемые в мировой практике методы отверждения. Достоинства и недостатки используемых методов отверждения. Физико-химические основы процессов отверждения. Параметры, характеризующие необходимые качества высокоактивных отвержденных отходов. Битумирование жидких отходов. Опыт битумирования ЖРО в странах с развитой ядерной энергетикой. Характеристики битумных компаундов. Аппаратурное оформление битумирования. Промышленные битуматоры. Цементирование РАО. Допустимые пределы качества цементного компаунда. Кальцинация и остекловывание жидких ОВУА. Одностадийный и двухстадийный процесс	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	остекловывания жидких ВАО. Контейнер для перевозки и сухого хранения отвержденных РАО. Показатели работы плавителя ЭП-500. Теплофизические характеристики остеклованных блоков и герметичного контейнера для их хранения. Сравнение характеристик отвержденных различными методами продуктов. Оснащенность отечественных АЭС установками по переработке РАО. Обращение и хранение ОЯТ на АЭС. Приповерхностное сухое хранение ОЯТ и остеклованных компаундов. Проект хранилища остеклованных отходов с воздушным охлаждением. Проектные решения систем обращения с РАО АЭС нового поколения: метод селективной сорбции, установки глубокого упаривания до солевого плава, цементирование радиоактивных солевых концентратов, новые материалы для иммобилизации радионуклидов и др.			
11	<b>Семинарское занятие 2</b> Доклад и обсуждение рефератов	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Лекция 10</b> Обращение с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ). Параметры ТВС и твэлов. Некоторые технические характеристики топлива и активной зоны отечественных реакторов разного типа. Физико-химические и количественные характеристики накопленных продуктов деления и трансурановых элементов (ТУЭ) в выгруженном топливе реакторов. Выгорание ядерного топлива в реакторе. Глубина выгорания, характерные значения глубины выгорания для различных реакторов. Основные характеристики и состав ОЯТ. Изотопный состав ОЯТ: актиноиды (малые актиноиды) и продукты деления. Радиационные и тепловые характеристики ОЯТ: активность ОЯТ, мощность дозы и остаточное тепловыделение от ОЯТ. Изменение радиационных и тепловых параметров со временем. Характерные периоды времени для спада активности. Спад энергосвечения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Радиотоксичность ОЯТ. Существующие концепции захоронения РАО и ОЯТ. Классификация современных методов подземной изоляции РАО. Время изоляции РАО. Принципиальные особенности систем захоронения РАО: беспрецедентно длительный срок изоляции и определяющая роль природных (естественных) барьеров безопасности. Невозможность полномасштабного натурного эксперимента и фактор неопределенности. Захоронение РАО в геологические формации. Принцип мультибарьерной защиты при захоронении РАО. Требования и критерии оценки геологической среды. Геологические среды для захоронения РАО: скальные и глинистые породы, соляные формации. Национальные программы захоронения РАО в некоторых странах. Проект Юкка-Маунтин.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



13	<b>Лекция 11</b> Изоляция средне- и низкоактивных РАО. Безопасность их приповерхностного захоронения. Критерии и принципы. Зоны аэрации и зоны активного водообмена. Поверхностные хранилища РАО, регламентация района размещения хранилища и выбор площадки для захоронения. Оценка количества РАО на территории России. Общенациональный могильник и возможности системы «Радон». Характеристики действующих хранилищ РАО спецкомбинатов "Радон". Опыт обращения с РАО Московского научно-производственного объединения «Радон». Природные условия района размещения и разрез геологической формации. Существующие технологические процессы и установки. Захоронение РАО в приповерхностных хранилищах. Схемы хранилищ твердых и жидких РАО. Разработка новых технологий. Негативные особенности размещения Ленинградского спецкомбината. Приповерхностное сухое хранение ОЯТ. Опыт Красноярского Горно-химического комбината (ГХК). Строительство и ввод в эксплуатацию «сухого» воздухоохлаждаемого хранилища ОЯТ на ГХК. Концепция обращения с РАО, образующимися при снятии АЭС с эксплуатации. Характеристики радиоактивных материалов, подлежащих хранению. Рассматривавшиеся варианты захоронения РАО. Практика захоронения РАО в Российской Федерации. Глубинное захоронение ЖРО в пористые геологические формации. Геологическая схема полигонов глубинного захоронения жидких отходов. Практика обеспечения и выполнения условий безопасности на отечественных полигонах по захоронению ЖРО.	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Семинарское занятие 3</b> Доклад и обсуждение рефератов	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Лекция 12</b> Критический обзор ЯТЦ. Совершенствование традиционных и разработка новых технологий обращения с РАО. Трансмутация РАО. Отделение малых актиноидов (МА) от ВАО и аспекты переработки ОЯТ. ЗЯТЦ с обычной переработкой топлива ("пурекс (Purhex) - процесс"). Проблемы переработки отработавшего МОХ топлива. Вклад Am и Cm в активность отходов и возможности их трансмутации. Многократное рециклирование МА и продуктов деления в реакторах. Переработка топлива с МА. Повторное изготовление свежего топлива. Оценка выгод от трансмутации для безопасности обращения с ядерными отходами. Сопоставление двух стратегий снижения риска от актиноидов: «выделение из отходов + трансмутация» и «прямое захоронение ОЯТ». Трансмутация РАО с применением ускорителей. Варианты технологических	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0



	платформ ЯТЦ в обозримом будущем. Проектное видение облика международного центра по обращению с РАО и ОЯТ. Создание замкнутого ЯТЦ на ФГУП «ГХК». Количество жидких отходов высокой удельной активности (ОВУА) при разных методах переработки. Неводные методы переработки ОЯТ. Переработка ОЯТ быстрых реакторов. Опытно-демонстрационный центр (ОДЦ) на ФГУП «ГХК» по отработке инновационных технологий переработки ОЯТ АЭС.			
16	<b>Семинарское занятие 4</b> Доклад и обсуждение рефератов	Всего аудиторных часов		
		2	0	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

Освоение дисциплины проходит в основном по традиционной схеме в активной форме. В лекционном курсе широко используются иллюстративный и раздаточный материал, а также технические средства для демонстрации слайдов.

## 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	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-10.2	З-ПК-10.2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-10.2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-10.2	З, КИ-8, КИ-16



ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-16
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16
УК-8	З-УК-8	З, КИ-8, КИ-16
	У-УК-8	З, КИ-8, КИ-16
	В-УК-8	З, КИ-8, КИ-16
ПК-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-7.2	З-ПК-7.2	КИ-8, КИ-16
	У-ПК-7.2	КИ-8, КИ-16
	В-ПК-7.2	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 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. 621.039 Б 43 Белая книга ядерной энергетики. Замкнутый ЯТЦ с быстрыми реакторами : , , Москва: ГУП НИКИЭТ, 2020
2. 621.039 П81 Обеспечение безопасности обращения с радиоактивными отходами предприятий ядерного топливного цикла : учебное пособие , Пронкин Н.С., Москва: ЛОГОС, 2012
3. ЭИ 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
4. 621.039 К89 Радиоэкология и радиационная безопасность (история, подходы, современное состояние) : учебное пособие для вузов, Кузнецов В.М., Хвостова М.С., Никитин В.С., Москва: НИПКЦ Восход-А, 2011
5. ЭИ Б19 Эксплуатация АЭС Ч.1: Работа АЭС в энергосистемах; Ч.2: Обращение с радиоактивными отходами , Баклушин Р.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 50 П16 Безопасность человека и окружающей среды в ядерной энергетике : учеб. пособие для вузов, Панин М.П., Скотникова О.Г., М.: МИФИ, 2006
2. 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
3. 61 Ч-57 Основы радиационной безопасности человека : , Чечёткин Ю.В., Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2008
4. 50 О-75 Основы экологии и охраны окружающей среды : учебное пособие для вузов, Скотникова О.Г. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
5. 50 С22 Радиоэкология : учебное пособие для вузов, Сахаров В.К., Санкт-Петербург: Лань, 2006

### 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**

Проблема обращения с РАО возникла фактически с самого начала промышленного освоения атомной энергетики. Тем не менее, исторически вопросам хранения РАО уделялось второстепенное значение по сравнению с вопросами создания и эксплуатации объектов атомной энергетики, науки и промышленности. "Концепция обращения с РАО" в СССР отсутствовала, а в России была введена приказом Минатома РФ только 16.03.2000г.

Общественность многих стран, в том числе стран – производителей ядерной энергии, продолжает обсуждать вопрос о необходимости развития ядерной энергетики. Средства массовой информации оценивают перспективы среднесрочного развития ядерной энергетики в диапазоне от стагнации до удвоенного роста. Долгосрочные прогнозы мировой атомной энергетики весьма противоречивы, что отражает и отношение к ней общества, и неблагоприятную для нее конъюнктуру, и настроения в самом ядерном сообществе после неудавшейся попытки решить все ее проблемы с ходу.

Сразу следует отметить и подчеркнуть, что важнейшая проблема атомной науки и техники – проблема изоляции РАО и ОЯТ - не зависит от того, будет ли в дальнейшем развиваться ядерная энергетика и какими темпами, или нет. Накопленные более, чем за 50 лет РАО и ОЯТ уже сами по себе создали трудно решаемую научную и техническую проблему. Разработка и совершенствование методов, а также практика рационального и безопасного обращения с отходами, образующимися в процессе работы атомных энергетических установок всех типов, является актуальной задачей в настоящее время и не утратит своей актуальности в будущем.

Поставленная проблема безопасного обращения и захоронения РАО и ОЯТ носит во многом количественный характер, она стратегически зависит от объемов уже накопленных и постоянно образующихся отходов и от соблюдения баланса между производством и утилизацией отходов. Поэтому при изучении курса необходимо опираться на самые свежие количественные показатели как отечественного, так и мирового производства.

Изучение курса фактически и начинается с изложения качественного и количественного состояния дел в рассматриваемой отрасли. Объемы и несбалансированность потоков образующихся и утилизируемых РАО и выгружаемого из реакторов и перерабатываемого топлива обусловили кризисное положение в решении проблемы.

Соответствующее тематическое направление подразумевает рассмотрение следующих вопросов.

Атомная энергетика в мире и в России. Обращение с радиоактивными отходами (РАО) как составная часть системы радиационной защиты населения.

Энергетика и окружающая среда. Структура и развитие мировой энергетики. Атомная энергетика. Ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Открытый и замкнутый ЯТЦ. АЭС в мире и в



России, их роль и объемы производства. Основные проблемы при обращении с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и РАО и пути их решения. Классификация РАО. Принципы и критерии экологической безопасности при обращении с РАО.

Избежать образования РАО даже при нормальной эксплуатации ядерно-энергетических установок не представляется возможным. Радиоактивные отходы образуются на всех этапах ядерного топливного цикла (ЯТЦ): при добыче и переработке урановой руды, изготовлении топлива для ядерных реакторов, регенерации облученного топлива, эксплуатации и выводе из эксплуатации ядерных объектов. С точки зрения дальнейшего захоронения отходов и воздействия ЯТЦ на биосферу наибольшее внимание представляют объемы, накапливаемые на начальной стадии добычи и переработки руды, при эксплуатации АЭС и при работе радиохимических заводов. Эти стадии ЯТЦ рассматриваются индивидуально в рамках следующих тематик:

Предприятия начальной стадии ЯТЦ.

Образующиеся отходы и меры по их изоляции. Радиоактивные отходы уранодобывающих предприятий и их воздействие на окружающую среду. Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации, консервации и перепрофилировании уранодобывающих предприятий.

Обращение с газообразными радиоактивными отходами (ГРО).

Основные источники и радиационные характеристики ГРО. Активность ГРО и их количество. Выбросы и сбросы АЭС и предприятий по переработке топлива. Дозовые нагрузки воздействия на население и персонал. Очистка ГРО от радионуклидов. Очистка ГРО от радиоактивных аэрозолей.

Обращение с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО).

Источники ЖРО и их количество. Методы обращения с ЖРО. Технологическая схема переработки отходов среднего и низкого уровней активности. Очистка и концентрирование жидких отходов высокого уровня активности. Обращение с жидкими РАО на заводах по переработке ОЯТ.

Основные положения, которые должны уяснить студенты по первой части программы, сводятся к следующим пунктам:

1. Классификация радиоактивных отходов (РАО) и основные регламентирующие документы по обращению с ними.
2. Основные радионуклиды при обращении с РАО и ОЯТ и их характеристики.
3. Структура производственного комплекса и РАО уранодобывающих предприятий.
4. Выбросы и сбросы различных предприятий ЯТЦ и их влияние на окружающую среду.
5. Дозовые нагрузки на население и персонал от различных стадий ядерного топливного цикла (ЯТЦ).
6. Основные источники и характеристики РАО и отработавшего ядерного топлива (ОЯТ).
7. Методы очистки газообразных РАО.
8. Методы обращения с жидкими РАО.
9. Технологические схемы по переработке газообразных, жидких и твердых РАО.

Проверка знаний по первой части программы проводится в рамках семестрового контроля. Максимальная оценка за первый итоговый контроль составляет 25 баллов.

Следующая часть курса посвящена специфическим проблемам отверждения ЖРО и рассмотрению современных представлений о методах окончательной изоляции РАО. Анализируются следующие тематики:



Радиохимический завод по переработке облученного топлива.

Параметры ТВС и твэлов. Физико-химические и количественные характеристики накопленных продуктов деления и трансурановых элементов. Основные радиационные и тепловые характеристики ОЯТ. Изменение радиационных и тепловых параметров со временем. Характерные периоды времени для спада активности. Совокупные масштабы загрязнения и облучения населения на оборонных предприятиях России. Экологическая обстановка на ПО Маяк.

Обращение с твердыми радиоактивными отходами (ТРО).

Источники и характеристики ТРО. Отверждение РАО. Перевод ЖРО в твердые формы. Различные методы отверждения. Опыт битумирования ЖРО, цементирования радиоактивных солевых концентратов и др. Методы захоронения ТРО. Сжигание горючих ТРО.

Классификация современных методов подземной изоляции РАО.

Геолого-гидрогеологические предпосылки подземного захоронения РАО. Обоснование условий локализации высокоактивных отходов и ОЯТ в глубоких подземных геологических формациях. Возможные технические решения долговременного хранения высокоактивных отходов и ОЯТ в подземных сооружениях. Глубинное захоронение ЖРО в пористые геологические формации. Математические методы расчета параметров хранилищ и могильников РАО и ОЯТ.

Приповерхностное хранение РАО.

Изоляция средне- и низкоактивных ТРО. Безопасность приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. Критерии и принципы. Общенациональный могильник и возможности системы «Радон». Опыт обращения с РАО Московского научно-производственного объединения «Радон». Приповерхностное сухое хранение ОЯТ.

Приемлемость того или иного способа захоронения еще не была продемонстрирована в промышленных масштабах нигде в мире и находится в стадии научных и опытно-конструкторских разработок. Однако уже сейчас стало понятно, что комплексно решить проблему только в рамках прошлых представлений не удастся. Необходимо совместить накопленный научный и технический опыт с новыми разработками. Эти вопросы рассматриваются в разделе:

Новые технологии обращения с РАО.

Критический обзор ЯТЦ. Совершенствование традиционных и разработка новых технологий обращения с РАО. Трансмутация РАО. Оценка выгод от выделения и трансмутации для безопасности обращения с ядерными отходами. Сопоставление двух стратегий снижения риска от актиноидов: выделение из отходов + трансмутация и прямое захоронение ОЯТ.

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

Дисциплина относится к профессиональному циклу дисциплин. Курс посвящен вопросам безопасного обращения с радиоактивными отходами (РАО) и методам первичной и долговременной изоляции этих отходов. На первом этапе анализируются современное состояние и перспективы развития ядерной энергетики и связанные с этим объемы подлежащих захоронению радиоактивных отходов. Подробно рассматриваются классификация отходов, основные источники и характеристики различных (газообразных, жидких или твердых) радиоактивных отходов. Основное внимание в курсе уделено обращению с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и с высокоактивными жидкими и твердыми радиоактивными



отходами, методам переработки и способам захоронения. Анализируется проблема трансмутации радиоактивных отходов, оценивается ее эффективность по сравнению с прямым захоронением отработавшего ядерного топлива. Кратко излагаются проблемы безопасности ядерного комплекса, исследуются и анализируются как произошедшие, так и гипотетические аварии на ядерно-технических установках.

Структура курса разбита на отдельные тематические направления, связанные общей идеологией. При изложении соответствующего материала с нашей точки зрения в них должны быть отражены следующие основные положения.

Атомная энергетика в мире и в России. Обращение с радиоактивными отходами (РАО) как составная часть системы радиационной защиты населения.

Энергетика и окружающая среда. Структура и развитие мировой энергетики. Атомная энергетика. Ядерный топливный цикл (ЯТЦ). Открытый и замкнутый ЯТЦ. АЭС в мире и в России, их роль и объемы производства. Основные проблемы при обращении с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и РАО и пути их решения. Классификация РАО. Принципы и критерии экологической безопасности при обращении с РАО.

Предприятия начальной стадии ЯТЦ.

Образующиеся отходы и меры по их изоляции. Радиоактивные отходы уранодобывающих предприятий и их воздействие на окружающую среду. Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации, консервации и перепрофилировании уранодобывающих предприятий.

Обращение с газообразными радиоактивными отходами (ГРО).

Основные источники и радиационные характеристики ГРО. Активность ГРО и их количество. Выбросы и сбросы АЭС и предприятий по переработке топлива. Дозовые нагрузки воздействия на население и персонал. Очистка ГРО от радионуклидов. Очистка ГРО от радиоактивных аэрозолей.

Обращение с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО).

Источники ЖРО и их количество. Методы обращения с ЖРО. Технологическая схема переработки отходов среднего и низкого уровней активности. Очистка и концентрирование жидких отходов высокого уровня активности. Обращение с жидкими РАО на заводах по переработке ОЯТ.

Радиохимический завод по переработке облученного топлива.

Параметры ТВС и твэлов. Физико-химические и количественные характеристики накопленных продуктов деления и трансурановых элементов. Основные радиационные и тепловые характеристики ОЯТ. Изменение радиационных и тепловых параметров со временем. Характерные периоды времени для спада активности. Совокупные масштабы загрязнения и облучения населения на оборонных предприятиях России. Экологическая обстановка на ПО ☐Маяк☐.

Обращение с твердыми радиоактивными отходами (ТРО).

Источники и характеристики ТРО. Отверждение РАО. Перевод ЖРО в твердые формы. Различные методы отверждения. Опыт битумирования ЖРО, цементирование радиоактивных солевых концентратов и др. Методы захоронения ТРО. Сжигание горючих ТРО.

Классификация современных методов подземной изоляции РАО.

Геолого-гидрогеологические предпосылки подземного захоронения РАО. Обоснование условий локализации высокоактивных отходов и ОЯТ в глубоких подземных геологических формациях. Возможные технические решения долговременного хранения высокоактивных отходов и ОЯТ в подземных сооружениях. Глубинное захоронение ЖРО в пористые



геологические формации. Математические методы расчета параметров хранилищ и могильников РАО и ОЯТ.

Приповерхностное хранение РАО.

Изоляция средне- и низкоактивных ТРО. Безопасность приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. Критерии и принципы. Общенациональный могильник и возможности системы Радон. Опыт обращения с РАО Московского научно-производственного объединения Радон. Приповерхностное сухое хранение ОЯТ.

Новые технологии обращения с РАО.

Критический обзор ЯТЦ. Совершенствование традиционных и разработка новых технологий обращения с РАО. Трансмутация РАО. Оценка выгод от выделения и трансмутации для безопасности обращения с ядерными отходами. Сопоставление двух стратегий снижения риска от актиноидов: выделение из отходов + трансмутация и прямое захоронение ОЯТ.

Автор(ы):

Демин Виктор Максимович, к.ф.-м.н., доцент