Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ (NUCLEAR FUEL CYCLE)

Направление подготовки (специальность)
[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии
[2] 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	**Трудоемкость, кред.**	**Общий объем курса, час.**	**Лекции, час.**	**Практич. занятия, час.**	**Лаборат. работы, час.**	**В форме практической подготовки, час.**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
2, 3	2	72	15	15	0		42	0	3
Итого	2	72	15	15	0	0	42	0	

АННОТАЦИЯ

Main content of the training course is a characterization of the contemporary technologies applied at various stages of civilian nuclear fuel cycle, beginning from mining of uranium ore and ending with ultimate disposal of radioactive wastes. Within the frames of the training course the students will be acquainted with basic principles and current state of main nuclear technologies, with the threats caused by application of nuclear technologies for the environment. Main nuclear technologies will be estimated from nuclear non-proliferation point of view.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

The following aims are pursued by the training course:

A. Acquaintance of the students with main nuclear technologies currently used at various stages of civilian nuclear fuel cycle, beginning from mining of uranium ore and ending with ultimate disposal of radioactive wastes.

B. Acquaintance of the students with current state of main nuclear technologies.

C. Acquaintance of the students with the threats caused by application of nuclear technologies for the environment and for nuclear non-proliferation regime.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

The academic discipline refers to the professional module "Physics of Nuclear Reactors".

The content of the discipline is the development and consolidation of knowledge obtained earlier in the bachelor's program. It uses the basic concepts and concepts, which represent a theoretical basis, mastered earlier by students.

The training course is one of the basic disciplines in the preparation of modern nuclear specialists at the master's level.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**
УК-1 [2] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	З-УК-1 [2] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [2] – Уметь: применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [2] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий

УК-2 [2] – Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	З-УК-2 [2] – Знать: этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами У-УК-2 [2] – Уметь: разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла В-УК-2 [2] – Владеть: методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта
УК-6 [2] – Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	З-УК-6 [2] – Знать: методики самооценки, самоконтроля и саморазвития с использованием подходов здоровьесбережения У-УК-6 [2] – Уметь: решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля; применять методики, позволяющие улучшить и сохранить здоровье в процессе жизнедеятельности В-УК-6 [2] – Владеть: технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни, в том числе с использованием здоровьесберегающих подходов и методик
УКЦ-1 [2] – Способен решать исследовательские, научно-технические и производственные задачи в условиях неопределенности, в том числе выстраивать деловую коммуникацию и организовывать работу команды с использованием цифровых ресурсов и технологий в цифровой среде	З-УКЦ-1 [2] – Знать современные цифровые технологии, используемые для выстраивания деловой коммуникации и организации индивидуальной и командной работы У-УКЦ-1 [2] – Уметь подбирать наиболее релевантные цифровые решения для достижения поставленных целей и задач, в том числе в условиях неопределенности В-УКЦ-1 [2] – Владеть навыками решения исследовательских, научно-технических и производственных задач с использованием цифровых технологий
УКЦ-2 [2] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	З-УКЦ-2 [2] – Знать основные цифровые платформы, технологи и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [2] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [2] – Владеть навыками самообучения, самооактулизации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

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

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	**Объект или область знания**	**Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)**	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**
производственно-технологический			
Инженерно-физическое сопровождение эксплуатации активной зоны реакторной установки	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-1.5 [1] - Способен самостоятельно решать задачи, связанные с управлением нейтронно-физическими параметрами и эксплуатацией ЯЭУ *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-1.5[1] - Знать: основные типы систем на атомных электростанциях, назначение основных структурных элементов таких систем; общую роль систем управления в ядерных реакторах, линейные системы управления, функционирование регулирующих стержней, выгорающий и растворимый поглотители ; У-ПК-1.5[1] - Уметь: разрабатывать стратегии управления, помогающие атомной электростанции безопасно и экономично осуществлять выработку электроэнергии. ; В-ПК-1.5[1] - Владеть: навыками создания и внедрения новых правил или процедур для улучшения эффективности управления, повышения уровня качества и безопасности на предприятиях ядерной отрасли;

			навыками конструирования новые технические устройства, учитывая заданные требования
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.	ПК-10 [1] - Способен решать инженерно-физические и экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-10[1] - Знать основные пакеты прикладных программ для решения инженерно-физических и экономических задач ; У-ПК-10[1] - Уметь осуществлять подбор прикладных программ для решения конкретных инженерно-физических и экономических задач; В-ПК-10[1] - Владеть навыками работы с прикладными программами для решения инженерно-физических и экономических задач
научно-исследовательский			
исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок,	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и	ПК-3.1 [2] - Способен рассчитывать и измерять физические характеристики ядерных энергетических установок, проводить гидродинамические и тепловые расчеты в сложных системах	З-ПК-3.1[2] - знать методы нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений и расчетов; У-ПК-3.1[2] - уметь выполнять нейтронно-физические и тепло-гидравлические

обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	*Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	измерения в реакторной установке; В-ПК-3.1[2] - владеть прикладным программным обеспечением
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений	ПК-3 [1] - Способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 24.078	З-ПК-3[1] - Знать достижения научно-технического прогресса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять полученные знания к решению практических задач.; В-ПК-3[1] - владеть методами моделирования физических процессов.

	и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.		
исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	ПК-7 [2] - способен использовать и оценивать современные достижения науки и техники для решения профессиональных задач в научно-исследовательской деятельности *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-7[2] - знать новые методы совершенствования действующих технологических процессов; ; У-ПК-7[2] - уметь анализировать информационные документы с результатами научных исследований;; В-ПК-7[2] - владеть современными пакетами прикладных компьютерных программ
исследования неравновесных физических процессов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, ядерно-физических	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль,	ПК-8 [2] - способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования физических процессов, выполнять экспериментальные исследования и	З-ПК-8[2] - знать типовые методики и номенклатуру выполнения измерений и расчетов процессов; ; У-ПК-8[2] - уметь обрабатывать результаты измерений и

установок, обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безопасности ядерных материалов и физической защиты ядерных объектов, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками.	теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	проводить обработку, анализ и обобщение полученных результатов *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	анализировать результаты расчетов;; В-ПК-8[2] - владеть методами исследования физических процессов
проектный			
проектирование атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и	ПК-3.2 [2] - Способен проектировать атомные станции и другие объекты, использующие и преобразующие тепловую энергию в электрическую. *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-3.2[2] - Знать основные методы преобразования ядерной энергии в электрическую, номенклатуру энергооборудования, методы автоматического проектирования энергообъектов.; У-ПК-3.2[2] - Уметь использовать пакеты прикладных программ для проектирования ядерно-энергетических и тепловых объектов. ; В-ПК-3.2[2] - Владеть методами, необходимыми для анализа безопасной эксплуатации и аварийных ситуаций на АЭС с учетом

	экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии		экологических последствий аварий
проектирование атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих тепловую и ядерную энергию	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	ПК-3 [2] - способен владеть основами проектирования и конструирования оборудования *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-3[2] - знать основы компьютерных и информационных технологий ; У-ПК-3[2] - уметь работать с документацией по эксплуатации систем, оборудования, средств измерения, контроля, управления, автоматики, средств вычислительной техники; В-ПК-3[2] - владеть навыками оформления результатов проведенных измерений, расчетов и других работ при проектировании и конструировании оборудования
проектирование атомных станций и других ядерных энергетических установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих	ядерные реакторы и энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов,	ПК-4 [2] - способен использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии и алгоритмы	З-ПК-4[2] - знать основы компьютерных и информационных технологий; ; У-ПК-4[2] - уметь обобщать и анализировать

тепловую и ядерную энергию	тепловые измерения и контроль, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии	*Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028	информацию; В-ПК-4[2] - владеть информацией по перспективам развития атомной энергетики
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для	ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 40.011	З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических

	теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.		процессов и установок
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.	ПК-6 [1] - Способен оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 24.078	З-ПК-6[1] - Знать основные нормативные документы по регулированию рисков возникающих в процессе эксплуатации новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения ; У-ПК-6[1] - Уметь оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; В-ПК-6[1] - Владеть методами оценки рисков и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать

			сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения
экспертный			
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.	ПК-11 [1] - Способен к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 40.011	З-ПК-11[1] - Знать законодательные и нормативные акты регулирующие деятельность в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности ; У-ПК-11[1] - Уметь проводить анализ технических и расчетно-теоретических разработок с учетом их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам; В-ПК-11[1] - владеть методами анализа технических и расчетно-теоретических разработок, и учета их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам

совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.	ПК-12 [1] - Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 24.078	З-ПК-12[1] - Знать основные критерии оценки предлагаемого решения или проекта по отношению к современному мировому уровню ; У-ПК-12[1] - Уметь оценивать предлагаемые решения на соответствие современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение; В-ПК-12[1] - Владеть навыками подготовки экспертных заключений по предлагаемым проектам
инновационный			
совокупность средств, способов и методов человеческой деятельности, связанных с разработкой, созданием и эксплуатацией установок, вырабатывающих, преобразующих и использующих ядерную энергию	ядерные реакторы и 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 ядерных	ПК-13 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике *Основание:* Профессиональный стандарт: 24.028, 40.011	З-ПК-13[1] - Знать математические методы и компьютерные технологии, необходимые для проектирования и разработки программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов. ; У-ПК-13[1] - Уметь разрабатывать и тестировать

	энергетических установок, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы и математические модели для теоретического и экспериментального исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, перспективные методы преобразования энергии.		программное обеспечение для инженерного анализа инновационных продуктов.; В-ПК-13[1] - владеть навыками разработки и тестирования программного обеспечения для инженерного анализа инновационных продуктов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	2 Семестр						
1	Первый раздел	1-8	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5,

							В-ПК-5, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11, З-ПК-12, У-ПК-12, В-ПК-12, З-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-2, У-УК-2, В-УК-2, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6, З-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Второй раздел	9-15	7/7/0		25	КИ-15	З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2,

							З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-ПК-11, У-ПК-11, В-ПК-11
	Итого за 2 Семестр		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	3	З-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, З-ПК-3, У-ПК-3, З-ПК-3.1, У-ПК-6, В-ПК-11, З-ПК-12, З-УК-2, У-УК-2, В-УК-2, З-УК-6, В-ПК-3, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-3.2, У-ПК-3.2, В-ПК-3.2, З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-ПК-6, В-ПК-6,

							З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, З-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, З-ПК-11, У-ПК-11, У-ПК-12, В-ПК-12, З-ПК-13, У-ПК-13, В-ПК-13, З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, У-УК-6, В-УК-6, З-УКЦ-1, У-УКЦ-1, В-УКЦ-1, З-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2

* – сокращенное наименование формы контроля

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

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	**Полное наименование**
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	2 Семестр	15	15	0
1-8	**Первый раздел**	8	8	0
1 - 2	**Introduction** Nuclear technology and the problem of non-proliferation of nuclear weapons. Nuclear technologies and problems of ecology. The concept of nuclear fuel. Primary and secondary nuclear fuel. Fuel elements and fuel assemblies (fuel elements and fuel assemblies) of nuclear reactors. The main nuclear materials and their role in the problem of non-proliferation of	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0

	nuclear weapons. Physical features of nuclear fuel and nuclear materials. The main differences between nuclear fuel and fossil fuels. Ecological problems of the use of nuclear fuel.			
3 - 4	**Nuclear Fuel Cycle** The concept of a nuclear fuel cycle (NFC). The main stages of the NFC. Open and closed nuclear fuel cycle: pre-adversities and shortcomings from the point of view of non-proliferation of nuclear weapons. Possible ways of switching nuclear materials to military use and ways to deal with it. The danger of the proliferation of nuclear materials at various stages of the NFC and in various types of nuclear reactors. Ecological hazards of different stages of the NFC. The main enterprises of the NFC of Russia.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0
5 - 6	**Extraction of natural nuclear materials** World reserves of uranium and thorium ores. Deposits, technologies for mining and primary processing of uranium ore. Technologies for extracting uranium from uranium ore and obtaining a pure uranium concentrate. The impact of mining and primary ore processing technologies on the environment.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0
7 - 8	**Isotope enrichment of uranium** Overview of the main technologies for separation of uranium isotopes. Equations of material balance in the separation process. The concept of separation works and separation potential. Physical and chemical properties of uranium hexafluoride. Physical basis of isotope enrichment of uranium by various methods: 1. gas-diffusion method; 2. enrichment in gas centrifuges; 3. Enrichment in the separation nozzle; 4. Laser enrichment; 5. chemical enrichment; 6. plasma enrichment. A comparison of the methods of uranium isotope enrichment in terms of efficiency and the risk of nuclear materials proliferation. Ecological Effects of Concentrating Technologies.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0
9-15	**Второй раздел**	7	7	0
9 - 10	**Manufacture of nuclear fuel** Technologies for the production of uranium oxide fuel (tablets, fuel rods and fuel assemblies). Features of manufacturing mixed uranium-plutonium oxide fuel. Technologies of manufacturing of metal uranium fuel. Control of nuclear materials at the stages of fuel rod and fuel assembly. Ensuring environmental safety at the stage of manufacturing nuclear fuel.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0
11 - 12	**Use of nuclear fuel in nuclear reactors** Reloading and rearrangement of fuel assemblies in power reactors, the goal of reloading. The main strategies for fuel overload are: 1. cyclic irradiation; 2. partial cyclic overload; 3. scattered overload; 4. overload "from the periphery to the center"; 5. Modified scattered overload. Advantages and disadvantages of various overload strategies. Technologies and equipment for carrying out reloading operations in various types of nuclear reactors. Transshipment from the point of	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0 0

	view of non-proliferation of nuclear materials and from the point of view of the safety of personnel and the environment.			
13 - 14	**Processing of irradiated nuclear fuel** Transportation of nuclear fuel. Typical container designs for transporting fresh and spent fuel assemblies. Requirements for the parameters of containers in terms of nuclear and radiation safety, in terms of environmental protection. Methods for testing containers. The tasks of chemical processing of irradiated nuclear fuel (SNF). The main stages of SNF reprocessing by water technology. Equipment for the reprocessing of spent nuclear fuel. Features of SNF reprocessing of fast reactors. Control over nuclear materials at radiochemical plants. Technologies for SNF reprocessing with increased protection against the spread of nuclear materials: SAFAR technology, sol-gel process. Non-aqueous technologies for reprocessing of spent nuclear fuel: pyro-chemical and pyrometallurgical methods. Environmental effects of SNF reprocessing technologies	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	**Processing and disposal of radioactive waste** Classification of radioactive waste (RW) for specific activity and aggregate state. Technologies for processing RW of various activities: vitrification, bituminization, cementation. SYNROC-technology of RW immobilization. Containerization and disposal of radioactive waste in geological formations. Physical processes in geological repositories of radioactive waste. Modern projects for the creation of underground radioactive waste repositories. Ecological problems of disposal of radioactive waste repositories.	Всего аудиторных часов		
		1	1	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

When implementing the program of discipline the following educational technologies are used: classroom lectures are conducted in the form of lectures, and out-of-class lessons in the form of independent work of students related to writing essays on a given topic. Testing technologies are used to control the student's mastering of the sections of this course. A special bank of questions in an open and closed form, the answers to which allow us to judge the mastery of this course by the student.

Topics of independent work of students (abstracts)

1. Is the nuclear fuel cycle necessary? (Review of publications on economic problems of the closure of the nuclear fuel cycle).

2. Do we need to close the nuclear fuel cycle? (Review of publications on environmental problems of the closure of the nuclear fuel cycle).

3. Do we need to close the nuclear fuel cycle? (Review of publications on the problem of the non-proliferation of nuclear weapons associated with the closure of the nuclear fuel cycle).

4. Review of publications on world reserves of uranium ores.

5. Review of publications on world reserves of thorium ores.

6. Review of publications on radioactive waste generated at the stage of extraction and primary processing of uranium ore.

7. Review of publications on methods of isotope enrichment of uranium.

8. Review of publications on container designs used for the transport of nuclear and radioactive materials.

9. Review of publications on extraction methods for processing irradiated nuclear fuel.

10. Review of publications on pyrometallurgical methods for processing irradiated nuclear fuel.

11. Review of publications on DUPIC technology used for processing irradiated nuclear fuel.

12. Review of publications on technologies used to immobilize radioactive waste.

13. Review of publications on economic problems of radioactive waste disposal in geological formations.

14. Review of publications on environmental problems of radioactive waste disposal in geological formations.

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-10	З-ПК-10	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-10	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-10	З, КИ-8, КИ-15
ПК-11	З-ПК-11	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-11	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-11	З, КИ-8, КИ-15
ПК-12	З-ПК-12	З, КИ-8
	У-ПК-12	З, КИ-8
	В-ПК-12	З, КИ-8
ПК-13	З-ПК-13	З, КИ-8
	У-ПК-13	З, КИ-8
	В-ПК-13	З, КИ-8
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-5	З-ПК-5	З, КИ-8, КИ-15

	У-ПК-5	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	З, КИ-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	З, КИ-8, КИ-15
УК-1	З-УК-1	З, КИ-8
	У-УК-1	З, КИ-8
	В-УК-1	З, КИ-8
УК-2	З-УК-2	З, КИ-8
	У-УК-2	З, КИ-8
	В-УК-2	З, КИ-8
УК-6	З-УК-6	З, КИ-8
	У-УК-6	З, КИ-8
	В-УК-6	З, КИ-8
УКЦ-1	З-УКЦ-1	З, КИ-8
	У-УКЦ-1	З, КИ-8
	В-УКЦ-1	З, КИ-8
УКЦ-2	З-УКЦ-2	З, КИ-8
	У-УКЦ-2	З, КИ-8
	В-УКЦ-2	З, КИ-8
ПК-1.5	З-ПК-1.5	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.5	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.5	З, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-3.1	З-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3.1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-3.2	З-ПК-3.2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3.2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3.2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-4	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	З, КИ-8, КИ-15
ПК-7	З-ПК-7	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-7	З, КИ-8, КИ-15
ПК-8	З-ПК-8	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8	З, КИ-8, КИ-15

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-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

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

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В помощь лектору, а также преподавателям, ведущим занятия по курсу, рекомендуется использовать следующие учебные пособия, методические и справочные материалы.

В качестве основной литературы:

1. Апсэ В.А., Шмелев А.Н. Ядерные технологии. М.: МИФИ, 2008.
2. Пшакин Г.М. и др. Ядерное нераспространение. М.: МИФИ, 2006.

Автор(ы):

Апсэ Владимир Александрович, к.т.н.