

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

Наименование образовательной программы: Моделирование процессов в ядерных реакторах

Уровень образования: высшее образование - специалитет

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	8 семестр - 32 часа;
Практические занятия	8 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 129,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Гольцев А.О.
	Идентификатор	R1192f195-GoltsevAO-90f55037

А.О. Гольцев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение и разработка методов обоснования радиационной безопасности, ядерного топливного цикла и экологической приемлемости ядерных технологий

Задачи дисциплины

- изучение последовательности повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов (ядерный топливный цикл);
- формирование навыков в области решения задач, связанных с проектировкой, обслуживанием, эксплуатацией, ремонтом, управлением сроком службы ядерных установок;
- формирование необходимой базы знаний в области современной атомной энергетики и радиационной безопасности.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен выполнять расчет оборудования ядерных энергетических установок, использовать специализированное программное обеспечение	ИД-5 _{ПК-2} Демонстрирует понимание процессов фабрикации и использования топлива на АЭС различных конструкций, включая технологии замкнутого топливного цикла	знать: - основы процессов диффузии и замедления нейтронов в различных средах; - спектры нейтронов в реакторе и определение их основных характеристик. уметь: - применять физические и химические законы для описания процессов использования воды и топлива на АС; - составлять математические модели процессов изменения нуклидного состава, протекающих в активной зоне реактора; - определять физически обоснованные упрощения основных уравнений, в том числе и переноса нейтронов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Моделирование процессов в ядерных реакторах (далее – ОПОП), направления подготовки 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы, уровень образования: высшее образование - специалитет.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать дисциплины: «Физика (общая)», «Ядерная физика», «Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике», «Математические методы моделирования физических процессов»,

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	1. Ядерные топливные циклы	26	8	7	-	4	-	-	-	-	-	15	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "1. Ядерные топливные циклы" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "1. Ядерные топливные циклы" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "1. Ядерные топливные циклы"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "1. Ядерные топливные циклы"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 20-70</p>	
1.1	1. Ядерные топливные циклы	26		7	-	4	-	-	-	-	-	-	15		-
2	2. Торий	28		7	-	4	-	-	-	-	-	-	17		-
2.1	2. Торий	28	7	-	4	-	-	-	-	-	-	17	-	<p><u>теоретического материала:</u> Изучение</p>	

														<p>дополнительного материала по разделу "2. Торий"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "2. Торий" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "2. Торий" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "2. Торий"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], стр. 100-120</p>
3	3. Торий для ядерных энергетических установок	27		7	-	3	-	-	-	-	-	17	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "3. Торий для ядерных энергетических установок"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "3. Торий для ядерных энергетических установок" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "3. Торий для ядерных энергетических установок" материалу. Дополнительно</p>
3.1	3. Торий для ядерных энергетических установок	27		7	-	3	-	-	-	-	-	17	-	

													<p>студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "3. Торий для ядерных энергетических установок"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр.10-20</p>	
4	4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении	25	6	-	2	-	-	-	-	-	-	17	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении"</p>
4.1	4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении	25	6	-	2	-	-	-	-	-	-	17	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении"</p> <p><u>Изучение материалов литературных</u></p>

													<u>источников:</u> [2], стр.50-85
5	5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах	38	5	-	3	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 255-300
5.1	5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах	38	5	-	3	-	-	-	-	-	30	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	96	33.5	
	Итого за семестр	180.0	32	-	16		2		-	0.5	129.5		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. 1. Ядерные топливные циклы

1.1. 1. Ядерные топливные циклы

Основные звенья цикла. Ядерный топливный цикл как энергетическая технология (ЯТЦ). Базовые типы ядерных топливных циклов (уран- плутониевый ЯТЦ; рециркуляция плутония или смешанный уран- плутониевый ЯТЦ; уран-ториевый ЯТЦ). Материалы, используемые в ЯТЦ. Обогащение топлива.

2. 2. Торий

2.1. 2. Торий

Химические свойства тория и его соединений. Распространение тория в природе, его минералы. Химические свойства тория. Важнейшие химические соединения тория. Технологии получения соединений тория. Обогащение торий содержащих руд. Переработка монацитановых концентратов. Методы очистки химических концентратов тория. Получение диоксида тория. Получение галогенидов тория. Получение металлического тория. Металлотермические методы. Электролитические методы получения тория. Методы получения компактного тория..

3. 3. Торий для ядерных энергетических установок

3.1. 3. Торий для ядерных энергетических установок

Ядерные, физические, теплофизические и механические свойства тория. Материалы на основе тория Радиационные эффекты. Влияние облучения на металлический торий, на его сплавы, на смешанные керамические соединения. Коррозионные эффекты. Радиоактивный распад в торий-урановом топливном цикле и его влияние на радиационную обстановку. Продукты распада урана-235 и тория. Сравнение свойств ядерного топлива на основе урана и тория (оксидное, карбидное, металлическое). Нейтронно-физические аспекты обращения с уран-ториевыми и плутоний-ториевыми сплавами..

4. 4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении

4.1. 4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении

Размножающие свойства делящихся элементов уран-ториевого и уран плутониевого циклов. Ядерно-физические параметры тория и урана- 238. Размножение на быстрых нейтронах. Накопление продуктов деления. Характеристики ториевых систем на тепловых и промежуточных нейтронах. Расчеты нуклидного состава и характеристик, связанных с выгоранием топлива, образованием продуктов деления и актиноидов. Сечение для нейтронов тепловых энергий, факторы Вексбота..

5. 5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах

5.1. 5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах

Организация торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийного ВВЭР-1000. Оптимизация схем загрузки и перемещения топлива, баланс актиноидов торий-плутониевом ЯТЦ. Смешанная нагрузка легководного реактора под давлением, организация открытого торий плутониевый ЯТЦ. Дефицит запаздывающих нейтронов в маневренном режиме реактора ВВЭР сплутонторивой загрузкой.

3.3. Темы практических занятий

1. Ядерные топливные циклы;
2. Торий;
3. Торий для ядерных энергетических установок;
4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении;
5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "1. Ядерные топливные циклы"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "2. Торий"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "3. Торий для ядерных энергетических установок"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "1. Ядерные топливные циклы"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "2. Торий"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "3. Торий для ядерных энергетических установок"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)					Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	
Знать:							
спектры нейтронов в реакторе и определение их основных характеристик	ИД-5ПК-2	+					Контрольная работа/Контрольная работа 1. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла
основы процессов диффузии и замедления нейтронов в различных средах	ИД-5ПК-2			+			Контрольная работа/Контрольная работа 2. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров.
Уметь:							
определять физически обоснованные упрощения основных уравнений, в том числе и переноса нейтронов	ИД-5ПК-2		+				Контрольная работа/Контрольная работа 1. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла
составлять математические модели процессов изменения нуклидного состава, протекающих в активной зоне реактора	ИД-5ПК-2				+	+	Контрольная работа/Контрольная работа 3. Последовательность повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов.
применять физические и химические законы для описания процессов использования воды и топлива на АС	ИД-5ПК-2			+			Контрольная работа/Контрольная работа 2. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров.

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

8 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа 1. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров. (Контрольная работа)
3. Контрольная работа 3. Последовательность повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов. (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Горбатов, В. П. Сборник задач по курсу " Экономика ядерной энергетики". Ч.1. Технико-экономические показатели электростанций и топливных циклов ядерной энергетики / В. П. Горбатов, А. В. Морозов, В. М. Рябов ; Ред. В. Г. Юрьев ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1993 . – 23 с.;
2. Гордеев, Б. К. Введение в экономику ядерного топливного цикла атомной энергетики / Б. К. Гордеев . – М. : ЦНИИАтоминформ, 2001 . – 128 с. - ISBN 5-87911-006-6 .;
3. Туманов, Ю. Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее / Ю. Н. Туманов . – М. : Физматлит, 2003 . – 760 с. - ISBN 5-922104-16-0 .;
4. Пронкин Н. С., Шарафутдинов Р. Б., Савандер В. И.- "Обеспечение безопасности хранилищ радиоактивных отходов предприятий ядерного топливного цикла", Издательство: "НИЯУ МИФИ", Москва, 2011 - (232 с.)
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75762.](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=75762)

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
5. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-406, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-406, Учебная аудитория "А"	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-307, Аудитория для проведения практических занятий	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Топливный цикл атомной энергетики

(название дисциплины)

8 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа 1. Технологии и предприятия ядерного топливного цикла (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа 2. Системы контроля нейтронно-физических и теплотехнических параметров. (Контрольная работа)
- КМ-3 Контрольная работа 3. Последовательность повторяющихся производственных процессов, начиная от добычи топлива (включая производство электроэнергии) и заканчивая удалением радиоактивных отходов. (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3
		Неделя КМ:	8	12	14
1	1. Ядерные топливные циклы				
1.1	1. Ядерные топливные циклы		+		
2	2. Торий				
2.1	2. Торий		+		
3	3. Торий для ядерных энергетических установок				
3.1	3. Торий для ядерных энергетических установок			+	
4	4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении				
4.1	4. Ядерно-физические параметры ториевого и уранового циклов в сравнении				+
5	5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах				
5.1	5. Открытый торий-плутониевый ЯТЦ на базе серийных легководных реакторах				+
Вес КМ, %:			30	30	40