

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

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	7 семестр - 32 часа;
Практические занятия	7 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	7 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	7 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	7 семестр - 0,5 часа;

Москва 2020

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зайченко М.Н.
	Идентификатор	R1b71fe1e-ZaichenkoMN-184d9a9

(подпись)

М.Н. Зайченко

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

(подпись)

К.А. Плешанов

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Плешанов К.А.
	Идентификатор	R002eb276-PleshanovKA-9092810

(подпись)

К.А. Плешанов

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: формирование знаний о процессах, протекающих в ядерных реакторах, типах, конструктивных исполнениях и специфических особенностях их работы

Задачи дисциплины

- –формирование знания о теории ядерных и физических процессов, протекающих в активной зоне реактора;

- –изучение основных принципов управления и обеспечения безопасности работы реакторов;

- –ознакомление со специфическими особенностями реактора как энергетического устройства, типами, достоинствами и недостатками энергетических реакторов, их конструкцией и основными элементами;

- –изучение основных положений теплового расчета реактора и получение навыков их использования применительно к ВВЭР.

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-1 Способен к конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения	ИД-4 _{ПК-1} Демонстрирует знание конструкции и принципа работы объектов профессиональной деятельности	знать: - – основные типы энергетических реакторов, их достоинства и недостатки, назначение и типичные конструкции основных элементов, основные способы управления работой реакторов, системы обеспечения их безопасной работы. уметь: - – разбираться в конструкциях основных элементов реактора, назначении и условиях работы этих элементов и обосновывать достоинства и недостатки разных типов реакторов, а также отличительные особенности работы реакторов по сравнению с другими генераторами теплоты на органическом топливе.
ПК-2 Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического машиностроения	ИД-2 _{ПК-2} Проводит комплекс расчетов элементов объекта профессиональной деятельности	уметь: - – выбирать параметры теплоносителя и рабочего тела, выполнять тепловой расчет реактора, самостоятельно анализировать основные процессы, способы их организации в активной зоне реактора, представлять проведённые расчёты и их результаты в рамках расчётного задания.
ПК-2 Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при создании объектов энергетического	ИД-3 _{ПК-2} Принимает обоснованные технические решения при проектировании объекта профессиональной	знать: - – аспекты топливной проблемы в атомной энергетике и пути ее решения, основные ядерные и физические процессы, протекающие в

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
машиностроения	деятельности	энергетических реакторах, теоретические основы этих процессов, основные положения физического и теплового расчета реактора.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Котлы, камеры сгорания и парогенераторы АЭС (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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. Ядерный реактор. Атомное топливо	5	7	2	-	2	-	-	-	-	-	1	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Ядерный реактор. Атомное топливо"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 29-33, стр. 78-81</p>		
1.1	Ядерный реактор. Атомное топливо	5		2	-	2	-	-	-	-	-	-	1		-	
2	2. Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции	9		6	-	-	-	-	-	-	-	-	3		-	
2.1	Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции	9		6	-	-	-	-	-	-	-	-	3		-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 12-28, стр. 33-78 [2], стр. 29-63</p>
3	3. Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов	30		-	-	16	-	-	-	-	-	-	14		-	
3.1	Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов	30		-	-	16	-	-	-	-	-	-	14		-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 393-396 [2], стр. 241-254, стр. 299-335 [3], стр. 149-160 [4], стр. 13-15</p>
4	4. Основы физических	35		22	-	-	-	-	-	-	-	-	13		-	

3.2 Краткое содержание разделов

1. 1. Ядерный реактор. Атомное топливо

1.1. Ядерный реактор. Атомное топливо

Ядерный реактор и его специфические особенности как энергетического устройства. Основные узлы и системы. Классификация реакторов. Атомное топливо. Аспекты топливной проблемы..

2. 2. Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции

2.1. Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции

Структура ядра; нуклоны. Дефект массы и энергия связи. Спин ядра. Ядерные силы и их свойства. Капельная модель ядра. Формула энергии связи. Способы получения свободной энергии. Возбужденное состояние ядра. Энергетический спектр ядра. Время жизни и ширина уровней. Устойчивость ядер. Радиоактивность. Виды излучения. Закон радиоактивного распада. Основные определения и характеристики. Микро- и макроскопические эффективные сечения реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях. Классификация ядерных реакций, процесс рассеяния. Возможные механизмы ядерных реакций. Механизм составного ядра Бора. Энергия возбуждения, вклад кинетической энергии в энергию возбуждения. Ограничения по энергии и спину. Реакции под действием заряженных частиц. Нейтрон и его свойства. Классификация нейтронов по энергиям. Взаимодействие нейтронов с ядрами. Зависимость эффективного сечения реакции от энергии нейтрона. Реакция деления. Возможность деления. Делящиеся и сырьевые нуклиды. Механизм деления. Нейтроны и продукты деления. Энергия деления. Остаточное энерговыделение..

3. 3. Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов

3.1. Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов

Водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР). Нейтронно-физические и конструктивные особенности. Компенсация избыточной реактивности и органы управления. Коэффициент неравномерности энерговыделения. Методика теплового расчета реактора. Определение размеров активной зоны, коэффициентов запаса по критической тепловой нагрузке, распределения температур в тепловыделяющем элементе..

4. 4. Основы физических процессов в ядерных реакторах

4.1. Основы физических процессов в ядерных реакторах

Замедление нейтронов. Механизм замедления. Характеристики процесса замедления. Средняя длина пробега, транспортная длина, возраст нейтронов. Изменение энергии нейтронов в процессе рассеяния. Логарифмический декремент энергии. Замедляющая способность среды. Коэффициент замедления. Замедлители, их свойства. Диффузия тепловых нейтронов. Длина диффузии. Плотность потока нейтронов. Дифференциальное уравнение диффузии тепловых нейтронов. Диффузия замедляющихся нейтронов. Плотность замедления. Уравнение возраста нейтронов. Цепная реакция. Условия ее существования. Коэффициент размножения нейтронов. Формула четырех сомножителей. Утечка нейтронов. Эффективный коэффициент размножения. Критическое состояние реактора. Критические размеры реактора. Основные уравнения. Гомогенный реактор без отражателя. Критическое уравнение. Геометрический параметр. Минимальный критический объем для различных геометрических форм активной зоны реактора. Отражатель нейтронов. Материалы отражателей. Нейтронные распределения в реакторе с отражателем. Определение критических размеров активной зоны для реакторов с отражателями. Кинетика реактора.

Сохранение критичности во времени. Реактивность. Реактор на мгновенных нейтронах. Реактор с запаздывающими нейтронами. Температурные эффекты. Ядерная, плотностная и геометрическая составляющие температурного коэффициента реактивности. Изменение изотопного состава топлива. Шлакование и отравление реактора. Иодная яма. Глубина выгорания топлива. Кампания реактора и топлива. Воспроизводство ядерного горючего. Коэффициент воспроизводства. Регулирование реактора. Система управления и защиты. Рабочие органы СУЗ. Эффективность поглощающих стержней. Борное регулирование ВВЭР. Выгорающие поглотители..

5. 5. Конструкции и физические особенности ядерных реакторов

5.1. Конструкции и физические особенности ядерных реакторов

Водо-водяные кипящие реакторы. Конструкция и физические особенности. Способы уменьшения неравномерности энерговыделения по высоте активной зоны. Канальные графитовые реакторы. Конструкция и физические особенности. Тяжеловодные реакторы. Конструкция и физические особенности. Газографитовые реакторы. Конструкция. Тепловыделяющие элементы. Достоинства и недостатки. Реакторы на быстрых нейтронах. Особенности физических процессов. Конструкция и компоновка основных элементов. Система управления и защиты. Перспективы развития..

3.3. Темы практических занятий

1. Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. Их топливная композиция. Конструкция. Требования к оболочке. (4 часа);
2. Тепловыделяющая сборка (ТВС). Конструкция. (2 часа);
3. Корпус и крышка ВВЭР. Конструктивное исполнение, материалы, требования. (4 часа);
4. Внутрикорпусные устройства ВВЭР. (2 часа);
5. Система управления и защиты. Перегрузка ТВС. (2 часа);
6. Тепловой расчет ВВЭР. Цель, задачи теплового расчета и порядок его выполнения. Методика. Выбор параметров теплоносителя и рабочего тела (6 часов);
7. Определение размеров активной зоны. Скорости теплоносителя и коэффициент запаса по критической нагрузке. (4 часа);
8. Расчет температур оболочки ТВЭЛа и материала топливного сердечника. Распределение этих температур по высоте активной зоны. (4 часа);
9. Определение области надёжной и экономичной работы активной зоны ВВЭР. (4 часа).

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Ядерный реактор. Атомное топливо"
2. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции"
3. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов"

4. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Основы физических процессов в ядерных реакторах"
5. Консультации направлены на подготовку к контрольному мероприятию по разделу "Конструкции и физические особенности ядерных реакторов"

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:							
– основные типы энергетических реакторов, их достоинства и недостатки, назначение и типичные конструкции основных элементов, основные способы управления работой реакторов, системы обеспечения их безопасной работы	ИД-4ПК-1			+		+	Контрольная работа/Контрольная работа – «Конструкции и особенности энергетических ядерных реакторов»
– аспекты топливной проблемы в атомной энергетике и пути ее решения, основные ядерные и физические процессы, протекающие в энергетических реакторах, теоретические основы этих процессов, основные положения физического и теплового расчета реактора	ИД-3ПК-2	+	+		+		Контрольная работа/Контрольная работа «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 1» Контрольная работа/Контрольная работа – «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 2» Контрольная работа/Контрольная работа – «Теория ядерных реакторов»
Уметь:							
– разбираться в конструкциях основных элементов реактора, назначении и условиях работы этих элементов и обосновывать достоинства и недостатки разных типов реакторов, а также отличительные особенности работы реакторов по сравнению с другими генераторами теплоты на органическом топливе	ИД-4ПК-1			+		+	Расчетно-графическая работа/Проверка расчетного задания – выполнение расчётного задания в полном объеме
– выбирать параметры теплоносителя и рабочего тела, выполнять тепловой расчет реактора, самостоятельно анализировать основные процессы, способы их организации в активной зоне реактора, представлять проведённые расчёты и их результаты в рамках расчётного задания	ИД-2ПК-2					+	Расчетно-графическая работа/Промежуточная проверка расчетного задания – Выбор параметров теплоносителя; тепловой расчет реактора ВВЭР

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа – «Конструкции и особенности энергетических ядерных реакторов» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа – «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 2» (Контрольная работа)
3. Контрольная работа – «Теория ядерных реакторов» (Контрольная работа)
4. Контрольная работа «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 1» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Проверка расчетного задания – выполнение расчётного задания в полном объеме (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Соблюдение графика выполнения задания

1. Промежуточная проверка расчетного задания – Выбор параметров теплоносителя; тепловой рас-чет реактора ВВЭР (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов / Г. Г. Бартоломей, и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 512 с. - ISBN 5-283-03804-1 .;
2. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрушечко, и др. – М. : Логос, 2010. – 604 с. - ISBN 978-5-98704-496-4 .;
3. Теплоэнергетика и теплотехника: Кн.3. Тепловые и атомные электрические станции : справочник / Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2003. – 645 с. - ISBN 5-7046-0513-3 .;
4. Тевлин С.А.- "Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014134.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Acrobat Reader.

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. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>

5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

7. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>

8. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

9. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

10. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>

11. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

12. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Х-301, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Х-301, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стол компьютерный, доска меловая, колонки звуковые, мультимедийный проектор, экран, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Д-320, Кабинет сотрудников каф. "МиПЭУ"	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного	Д-305, Склад кафедры МиПЭУ	стул, шкаф

инвентаря		
-----------	--	--

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Энергетические ядерные реакторы

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 1» (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа – «Основы ядерной и нейтронной физики. Часть 2» (Контрольная работа)
- КМ-3 Промежуточная проверка расчетного задания – Выбор параметров теплоносителя; тепловой рас-чет реактора ВВЭР (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Контрольная работа – «Теория ядерных реакторов» (Контрольная работа)
- КМ-5 Контрольная работа – «Конструкции и особенности энергетических ядерных реакторов» (Контрольная работа)
- КМ-6 Проверка расчетного задания – выполнение расчётного задания в полном объеме (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	3	5	7	12	15	16
1	1. Ядерный реактор. Атомное топливо							
1.1	Ядерный реактор. Атомное топливо		+	+		+		
2	2. Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции							
2.1	Устойчивость атомных ядер и ядерные реакции		+	+		+		
3	3. Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов							
3.1	Конструкция и расчет водо-водяных энергетических реакторов						+	+
4	4. Основы физических процессов в ядерных реакторах							
4.1	Основы физических процессов в ядерных реакторах		+	+		+		
5	5. Конструкции и физические особенности ядерных реакторов							
5.1	Конструкции и физические особенности ядерных реакторов				+		+	+
Вес КМ, %:			13	13	10	26	19	19