

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

**Нововоронежский политехнический институт –**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(НВПИ НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДЕНА:

Руководителем НВПИ НИЯУ МИФИ

  
Е.Н. Булатова  
«14» марта 2023г.  


## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Физика ядерных реакторов»

**Направление подготовки:** 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

**Наименование образовательной программы:** Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт оборудования АЭС

**Уровень образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Нововоронеж 2023 г.

**Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 кредита, 144 час.**

	<i>всего</i>
<b><i>Контактная работа</i></b>	<b><i>64</i></b>
в т.ч. в интерактивной форме	
лекции	32
практические занятия	32
<b><i>Самостоятельная работа</i></b>	<b><i>44</i></b>

***Форма отчетности:***

Экзамен 5 семестр

**Курс: 3**

**Семестр: 5**

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1.1 Цель дисциплины: овладение основами физической теории ядерных реакторов, основами физических расчетов реакторов различных типов с учетом их нейтронно-физических особенностей, а также методами экспериментального определения некоторых характеристик реакторных сред и установок.

### **1.2 Задачи дисциплины:**

- получение студентами знаний по основным вопросам физической теории ядерных реакторов (теория критических размеров, теория гетерогенного реактора, физика нестационарных процессов в ядерных реакторах),
- ознакомление с методами физического расчета ядерных реакторов разных типов,
- овладение физическими основами эксплуатации реакторов ВВЭР-1000 на АЭС.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Дисциплина «Физика ядерных реакторов» относится к обязательной части Блока 1, является одним из базовых специальных предметов при подготовке бакалавров по направлению 14.03.01 «Ядерная энергетика и теплофизика» и служит теоретической основой для изучения ряда специальных дисциплин.

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин вузовской образовательной программы по физике и высшей математике, теории переноса нейтронов:

- физика: механика (теория удара), молекулярная физика и термодинамика (явления переноса, идеальный и реальный газы, т.д.), атомная и ядерная физика (ядерные реакции, деление тяжелых ядер, т.д);
- высшая математика: дифференциальное и интегральное исчисление; специальные функции, теория вероятностей;
- теория переноса нейтронов: основы ядерной физики, ядерные реакции, характеристики нейтронного поля и сред активной зоны ядерного реактора, зависимости сечений взаимодействия практически значимых изотопов от энергии нейтронов, диффузия и замедление нейтронов, возрастная теория, условия критичности ядерного реактора (ЯР), физические основы теории критических размеров ЯР.

Компетенции, полученные при освоении дисциплины «Физика ядерных реакторов» необходимы при

- выполнении всех разделов курсового и дипломного проектирования, связанных с разработкой и эксплуатацией ядерных энергетических реакторов;
- непосредственно при практической работе выпускников по специальности (реакторные цеха, ОЯБиН атомных станций).

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

ПК-1 – Способен к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик.

ПК-4 – Способен применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы пакетов

ПК-17- Способен анализировать технологическую документацию с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции

ПК-18- Способен участвовать в демонтаже, ремонте, проверке, монтаже, наладки борудования, проведения входного контроля поступившего оборудования

Согласно рабочему учебному плану направления в формировании данных компетенций участвуют дисциплины и виды практик:

#### ПК-1

Химия

Информатика

Линейная алгебра. Аналитическая геометрия. Начала анализа

Математический анализ

Дифференциальные уравнения. Теория рядов

Теория вероятностей. Математическая статистика

Общая физика (Механика. Молекулярная физика и основы термодинамики)

Общая физика (Электричество и магнетизм)

Общая физика (Волны и оптика)

Общая физика (Элементы квантовой физики атомов и физики атомного ядра )

Физика ядерных реакторов

Принципы обеспечения безопасности АЭС

Культура безопасности

Учебная практика (ознакомительная)

Учебная практика (технологическая)

Производственная практика (эксплуатационная)

Производственная практика (преддипломная)

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

#### ПК-4

Начертательная геометрия и инженерная графика

Тепломассообмен

Электротехника и электроника

Теория переноса нейтронов

Физика ядерных реакторов

Гидродинамика энергетических установок

Учебная практика (ознакомительная)

Учебная практика (технологическая)  
Производственная практика (эксплуатационная)  
Производственная практика (преддипломная)  
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  
ПК-17

Начертательная геометрия и инженерная графика  
Техническая термодинамика  
Общая энергетика  
Организация производства и менеджмент  
Физика ядерных реакторов  
Обеспечение радиационной безопасности  
Основы профессиональной коммуникации на иностранном языке  
Неразрушающие методы контроля оборудования АЭС  
Принципы обеспечения безопасности АЭС  
Культура безопасности  
Обращение с ядерным топливом и радиоактивными отходами  
Эксплуатация АЭС  
Эксплуатация турбомашин АЭС  
Учебная практика (ознакомительная)  
Учебная практика (технологическая)  
Производственная практика (эксплуатационная)  
Производственная практика (преддипломная)  
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы  
ПК-18

Физика ядерных реакторов  
Теплообменные аппараты и парогенераторы  
Тепломассообмен  
Техническое диагностирование технологического оборудования  
Испытание и наладка энергетического оборудования  
Экспериментальные методы исследований на АЭС  
Учебная практика (ознакомительная)  
Учебная практика (технологическая)  
Производственная практика (эксплуатационная)  
Производственная практика (преддипломная)  
Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- 3.1.** методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;
- 3.2.** стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;
- 3.3.** технологическую документацию выпускаемой продукции;
- 3.4.** демонтаж, ремонт, проверку, монтаж, наладку оборудования;

**Уметь:**

- У.1.** прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;
- У.2.** применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;
- У.3.** анализировать технологическую документацию с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции;
- У.4.** проводить входной контроль поступившего оборудования.

**Владеть:**

- В.1.** методами прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;
- В.2.** навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;
- В.3.** методами анализа технологической документации с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции
- В.4.** навыками демонтажа, ремонта, проверки, монтажа, наладки оборудования, проведения входного контроля поступившего оборудования

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел
			Лекции	Практ. работы	Лаб. работы	В т.ч. в ИФ	Самостоятельная работа			
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	1-7	14	14	–	-	22	3 РЗ 6 ПР	7 Т	25
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов, выполнение контрольной работы	8-17	18	18	–	-	22	12 РЗ 14 ПР	17 Т	35
Всего			32	32		-	44			60
Экзамен										40

Примечание: УО – устный опрос, РЗ – решение задач, ДЗ – домашнее задание, ПР – практическая работа, Т – тест

### 4.2 Содержание разделов дисциплины

#### 4.2.1 Лекционные занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание лекционного занятия	Кол-во акад. часов
1	<b>НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ</b>	Основные положения теории переноса нейтронов Спектр замедляющихся нейтронов. Замедление со слабым поглощением Замедление с резонансным поглощением. Спектр Вигнера Возраст нейтронов. Уравнение возраста Уравнение диффузии с источником в виде плотности замедления Критичность реактора с учетом замедляющихся нейтронов Неравномерность нейтронного поля. Коэффициенты неравномерности	14
2	<b>НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ</b>	Реактор с отражателем в одногрупповом приближении Реактор с отражателем в двухгрупповом приближении Управление нейтронным полем. Физическое профилирование Введение в метод многих групп Метод многих групп (продолжение). Обзор многогрупповых нейтронно-физических кодов	18

		Гетерогенные ядерные реакторы, их физические особенности. Введение в теорию решётки Гетерогенные ядерные реакторы. Коэффициенты нейтронного цикла Гетерогенные ядерные реакторы. Расчёт блок-эффекта Гетерогенные ядерные реакторы. Оптимизация соотношения топливо-замедлитель Реактивность и эффекты реактивности Нейтронно-физические особенности ВВЭР и PWR	
Итого			32

### **5 семестр, 32 час.**

## **РАЗДЕЛ 1. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРАХ**

### **Лекция 1. Вводная. Основные положения теории переноса нейтронов, 2 час.**

Представление преподавателя. Место дисциплины среди специальных дисциплин специальности. Структура курса. Рекомендуемая основная и дополнительная литература, рекомендуемые интернет-источники. Курс «Теория переноса нейтронов» как теоретическая база физики ядерных реакторов. Основные понятия и ключевые моменты курса «Теория переноса нейтронов»: нейтронные реакции и их сечения; превращение ядерной энергии в тепло; диффузионное приближение; уравнение диффузии и его решения для размножающей среды; условия критичности реактора в диффузионном приближении; закономерности замедления нейтронов; потеря энергии при столкновении; спектр замедляющихся нейтронов; нейтронный цикл в тепловом ядерном реакторе.

### **Лекция 2. Спектр замедляющихся нейтронов. Замедление с поглощением, 2 час.**

Решение уравнения для плотности замедления при наличии слабого поглощения на водороде. То же для произвольного замедлителя.

Понятие вероятности избежать захвата при замедлении. Постановка задачи для анализа резонансного поглощения.

Спектр Вигнера в окрестности узкого изолированного резонанса. Вероятность избежать захвата при прохождении одного УИР.

Резонансные зависимости сечений компонентов активной зоны реактора. Вероятность избежать захвата на цепочке УИР. Эффективный резонансный интеграл. Инженерные формулы для оценки резонансного поглощения.

### **Лекция 3. Возраст нейтронов. Уравнение возраста, 2 час.**

Нестационарное уравнение диффузии для плотности источников замедляющихся нейтронов. Переход от времени к энергии. Понятие возраста нейтронов, его размерность, характерные значения. Уравнение возраста. Физический смысл возраста как меры смещения замедляющихся нейтронов.



#### **Лекция 4. Критичность реактора с учетом замедляющихся нейтронов, 2 час.**

Уравнение диффузии с источником. Вывод диффузионно-возрастного уравнения. Его сопоставление с уравнением диффузии. Профиль нейтронного поля реактора-пластины, параллелепипеда, сферы, цилиндра. Материальный параметр реактора с учётом замедляющихся нейтронов.

Условие критичности реактора с учётом замедляющихся нейтронов. Вероятность избежать утечки при замедлении и диффузии. Выражение для эффективного коэффициента размножения. Длина и площадь миграции. Уточнение диффузионного приближения длиной миграции.

#### **Лекция 5. Неравномерность нейтронного поля. Коэффициенты неравномерности, 2 час.**

Неравномерность профиля нейтронного поля. Численные характеристики. Осевые и радиальные коэффициенты. Связь неравномерности нейтронного поля и энерговыделения. Важность выравнивания поля энерговыделения для эксплуатации ЯЭУ. Вычисление теоретических коэффициентов неравномерности однородных реакторов различной формы. Фактические значения коэффициентов неравномерности ВВЭР и РБМК.

#### **Лекция 6. Реактор с отражателем в одnogрупповом приближении, 2 час.**

Утечка нейтронов. Функции отражателя. Гомогенный реактор с отражателем в одnogрупповом приближении. Граничные и краевые условия. Методика получения условия критичности в одnogрупповом приближении. Тонкий и толстый отражатель, бесконечно толстый отражатель. Эффективная добавка отражателя. Гомогенный реактор в одnogрупповом приближении в виде пластины с отражателем и цилиндра с боковым (торцевым) отражателем. Эквивалентный реактор. Эффективные размеры активной зоны. Понятие «большого» или «малого» ЯР с точки зрения размеров и величины утечки нейтронов из активной зоны ядерного реактора (качественное объяснение).

#### **Лекция 7. Реактор с отражателем в двухгрупповом приближении, 2 час.**

Гомогенный реактор с отражателем в двухгрупповом приближении. Граничные и краевые условия. Методика получения условия критичности в двухгрупповом приближении. Распределение тепловых нейтронов в отражателе.

## **РАЗДЕЛ 2. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

#### **Лекция 8. Управление нейтронным полем. Физическое профилирование, 2 час.**

Неравномерность поля энерговыделения и методы выравнивания поля энерговыделения в активной зоне ядерного реактора. Коэффициенты неравномерности поля энерговыделения в ядерном реакторе и способы их уменьшения. Физическое профилирование в многозонном ядерном реакторе. Картограмма топливной загрузки ядерного реактора.

### **Лекция 9. Введение в метод многих групп, 2 час.**

Метод многих групп. Выбор числа групп. Многогрупповое уравнение для плотности потока нейтронов, смысл его слагаемых. Многогрупповое уравнение для плотности потока нейтронов и методика решения. Нормировка констант на удельную тепловую мощность реактора.

### **Лекция 10. Метод Монте-Карло.**

Основы моделирования переноса нейтронов методом Монте-Карло. Розыгрыш нейтронных реакций.

Нейтронно-физические коды на методе Монте-Карло (на примере MCU, Serpent).

### **Лекция 11. Ядерные данные и расчётные коды**

Экспериментальные и оцененные ядерные данные. Виды нейтронно-физических кодов: детерминистические и статистические, мало- и многогрупповые, редкосеточные и мелкосеточные. Иерархия кодов. Критические бенчмарки и интегральные эксперименты.

### **Лекция 12. Гетерогенные ядерные реакторы, их физические особенности. Введение в теорию решётки, 2 час.**

Основные понятия теории решётки. Тесные и редкие решётки. Нейтронное поле в блоках и каналах.

Решётки ВВЭР, РБМК, БН, PWR, BWR, CANDU, ВТГР.

Разбор влияния гетерогенности на выход вторичных нейтронов, на размножение на быстрых нейтронах, на утечку и захват замедляющихся нейтронов, на утечку и паразитное поглощение тепловых нейтронов.

### **Лекция 13. Гетерогенные ядерные реакторы, ч. 2, 2 час.**

Подробный анализ блок-эффекта. Расчёт внешнего и внутреннего блок-эффектов с помощью решения уравнения диффузии в блоке и замедлителе. Характерные численные значения блок-эффектов.

Обоснование выбора соотношения топливо/замедлитель исходя из нейтронно-физических и теплогидравлических соображений. Ядерная безопасность редких и тесных решёток.

### **Лекция 14. Влияние температуры на коэффициенты нейтронного цикла, 2 час.**

Обратные связи в ядерном реакторе. Влияние температуры на коэффициенты нейтронного цикла (4 сомножителя), на утечку нейтронов. Учёт ядерного и плотностного эффектов. Учёт Доплер-эффекта. Некоторые расчётные формулы.

### **Лекция 15. Реактивность и эффекты реактивности, 2 час.**

Эффект реактивности как интегральная характеристика. Коэффициент реактивности как дифференциальная характеристика. Температурный эффект и температурный коэффициент реактивности (ТЭР и ТКР). Ядерный и плотностной ТЭР. Мощностной эффект и коэффициент реактивности (МЭР и МКР). Барометрический и паровой эффекты и коэффициенты реактивности.

Саморегулирование ядерных реакторов. Требования ядерной безопасности к знаку и величинам (соотношению) ТЭР и МЭР, ТКР и МКР. Эффекты реактивности в процессе снижения мощности и расхолаживания ядерного реактора. Температура повторной критичности. Запас реактивности. Система компенсации запаса реактивности.

## Лекция 16. Нейтронно-физические особенности ВВЭР и PWR

Температурные и мощностные эффекты в ВВЭР. Влияние давления первого и второго контура на реактивность.

Компенсация запаса реактивности ВВЭР. Борное регулирование и борная компенсация. Влияние борного регулирования на ядерную безопасность ВВЭР (зависимость температурного коэффициента реактивности от концентрации борной кислоты).

### 4.2.2 Практические занятия

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и содержание практического занятия	Кол-во акад. часов
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	Решение задач на энергию деления, выгорание топлива (повторение ТПН)	2
		Решение задач на параметры замедления в разных средах I	2
		Решение задач на параметры замедления в разных средах II	2
		Решение задач на оценку возраста и длины миграции в разных средах	2
		Решение задач на критические конфигурации реакторов I	2
		Контрольная работа (условия критичности реакторов)	2
		Тест по материалу раздела 1	2
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	Решение задач на критические конфигурации реакторов II	2
		Расчёт добавки от отражателя из разных материалов I	2
		Расчёт добавки от отражателя из разных материалов II	2
		Решение задач на критические размеры реактора с отражателем I	2
		Решение задач на критические размеры реактора с отражателем II	2
		Расчёт нейтронного поля в реакторе с отражателем	2
		Контрольная работа. Критический размер реактора с отражателем	2
		Элементы конструирования ячейки реактора	2
		Тест по материалам раздела 2. Аттестация семестра	2
	Всего	32	

#### 4.2.3 Лабораторный практикум

Лабораторные занятия рабочим учебным планом не предусмотрены.

#### 4.2.4 Самостоятельная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Виды самостоятельной работы	Кол-во акад. часов	
			в период теор. обучения	в сессию
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	Подготовка к экзамену	–	16
		Самостоятельное изучение тем модуля, выполнение контрольной работы часть 1	10	–
		Подготовка к аттестации раздела	12	–
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	Подготовка к экзамену	–	16
		Самостоятельное изучение тем модуля, выполнение контрольной работы часть 2	10	–
		Подготовка к аттестации раздела	12	–
Итого			44	36

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Тема и вопросы для самостоятельного изучения
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	Подготовка к экзамену – 16 ч. Подготовка к аттестации раздела – 12 ч. Самостоятельное изучение особенностей резонансного поглощения нейтронов, особенностей распределения замедляющихся нейтронов в реакторе – 10 ч.
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	Подготовка к экзамену – 16 ч. Подготовка к аттестации раздела – 12 ч. Самостоятельное изучение особенностей расчета реактора с отражателем, методики расчета реакторов методом многих групп, материалов по нейтронно-физическим кодам – 10 ч.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 5.1. Образовательные технологии

При реализации программы курса «Физика ядерных реакторов» используются различные (традиционная и интерактивная) образовательные технологии – аудиторные занятия проводятся в форме лекций и практических занятий. Задачи

для решения на практических занятиях сформулированы для решения преимущественно с помощью пакета MathCAD. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала и рекомендуемой литературы для подготовки теоретического материала, материала практических занятий, решение заданий ведущего практические занятия преподавателя.

## 5.2. Информационные технологии

Для освоения дисциплины необходимы:

- учебная аудитория, оснащённая проектором, экраном и компьютерными рабочими местами (не менее одного рабочего места на двух обучающихся);
- программное обеспечение: средства работы с документами и электронные таблицы (Microsoft Office или Open Office), математический пакет MathCAD.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВХОДНОГО, ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (АННОТАЦИЯ)

6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

### 6.1.1 Модели контролируемых компетенций

Оценочные средства для контроля по дисциплине направлены на проверку знаний и умений студентов, являющихся основой формирования у обучающихся компетенции.

ПК-1 – Способен к участию в разработке методов прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик.

ПК-4 – Способен применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы пакетов

ПК-17- Способен анализировать технологическую документацию с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции

ПК-18- Способен участвовать в демонтаже, ремонте, проверке, монтаже, наладки оборудования, проведения входного контроля поступившего оборудования

В результате освоения дисциплины студенты для формирования данных компетенций должны:

В результате освоения дисциплины студент должен:

### **Знать:**

- 3.1.** методы прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;
- 3.2.** стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;
- 3.3.** технологическую документацию выпускаемой продукции;
- 3.4.** демонтаж, ремонт, проверку, монтаж, наладку оборудования;

### **Уметь:**

**У.1.** прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;

**У.2.** применять стандартные пакеты прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;

**У.3.** анализировать технологическую документацию с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции;

**У.4.** проводить входной контроль поступившего оборудования.

**Владеть:**

**В.1.** методами прогнозирования количественных характеристик процессов, протекающих в конкретных технических системах на основе существующих методик;

**В.2.** навыками работы со стандартными пакетами прикладных программ для математического моделирования процессов и режимов работы объектов;

**В.3.** методами анализа технологической документации с целью повышения эффективности производства и обеспечения качества выпускаемой продукции

**В.4.** навыками демонтажа, ремонта, проверки, монтажа, наладки оборудования, проведения входного контроля поступившего оборудования.

*6.1.2 Программа оценивания контролируемой компетенции:*

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	
			текущий	рубежный
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	ПК-1 ПК-4 ПК-17 ПК-18	3 РЗ 6 ПР, КРчасть 1	7 Т
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	ПК-1 ПК-4 ПК-17 ПК-18	12 РЗ 14 ПР, КРчасть 2	17 Т

Формой аттестации по дисциплине является экзамен в традиционной форме.

**6.2.** Оценочные средства для входной, текущей и промежуточной аттестации (аннотация).

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	2	3	4
1	РЗ1	Задачи на параметры замедления нейтронов на различных ядрах	Набор задач с исходными данными
2	РЗ2	Задачи на условия критичности реакторов с отражателями и без	Набор задач с исходными данными
3	КР часть 1	Задача на критическую конфигурацию реактора без отражателя	Набор заданий по вариантам
4	КР часть 2	Задача на расчёт реактора с отражателем	Набор заданий по вариантам
5	Т1	Тест по разделу 1	Набор вопросов с вариантами ответов
6	Т2	Тест по разделу 2	Набор вопросов с вариантами ответов
7	ПР1	Расчёт коэффициента размножения активной зоны	Методические указания и варианты исходных данных
8	Э	Вопросы к экзамену	Список вопросов

№ п/п	Контролируемые модули, разделы (темы) дисциплины*	Рубежный контроль	Макс. балл	Компетенции	Распределение баллов
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	7 – Т	25	ПК-1 ПК-4 ПК-17 ПК-18	КР часть1 – 15б. Т1 – 10б.
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	17 – Т	35	ПК-1 ПК-4 ПК-17 ПК-18	КР часть2 – 10б. Т2 – 10б. ПР1 – 15б.
	Экзамен		40		Э – 40

Формами аттестации по дисциплине являются практическая работа (ПР), устный опрос (УО), КР – контрольная работа.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### а) Основная литература:

1. Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты [Текст] : [ учеб. пособие] / В. А. Аспе [и др.]. – Долгопрудный : Интеллект, 2014. – 296 с.

2. Савандер, В.И. Физическая теория ядерных реакторов [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. И. Савандер, М. А. Увакин. - Москва : НИЯУ МИФИ. Ч.2 : Теория возмущений и медленные нестационарные процессы. - [Б. м.], 2013. – Режим доступа: [http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?PATH=book-mephi%2FSavander\\_Fizicheskaya\\_teoriya\\_yadernyh\\_reaktorov\\_ch.2\\_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426](http://library.mephi.ru/pdfunnel.php?PATH=book-mephi%2FSavander_Fizicheskaya_teoriya_yadernyh_reaktorov_ch.2_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426)

3. Матвеев, В. И. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Матвеев, Ю. С. Хомяков ; под ред. В. И. Рачков. - Москва : МЭИ, 2012. – 356 с. : ил.

4. Кузнецов, И. А. Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтронах [Текст] / И. А. Кузнецов, В. М. Поплавский ; под общ. ред. В. И. Рачкова. – Москва : ИздАТ, 2012. – 632 с.

5. Физические и конструкционные особенности ядерных энергетических установок с ВВЭР [Текст] : учеб. пособие для вузов / [С. Б. Выговский и др.] - М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 376 с.

6. Широков С.В. Физика ядерных реакторов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Широков С.В.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2011.— 349 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/20292>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю.

б) *Дополнительная литература:*

1. Наумов, В.И. Физические основы безопасности ядерных реакторов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. И. Наумов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. – Режим доступа:

[http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FNaumov\\_Fizicheskie\\_osnovy\\_bezопасности\\_yadernyh\\_reaktorov\\_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426](http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FNaumov_Fizicheskie_osnovy_bezопасности_yadernyh_reaktorov_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426)

2. Увакин, М.А. Лабораторный практикум "Физическая теория ядерных реакторов" [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / М. А. Увакин, В. И. Савандер. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. – Режим доступа:

[http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FUvakin\\_Laboratornyj\\_praktikum\\_Fizicheskaya\\_teoriya\\_yadernyh\\_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426](http://library.mephi.ru/pdftunnel.php?PATH=book-mephi%2FUvakin_Laboratornyj_praktikum_Fizicheskaya_teoriya_yadernyh_2013.pdf&Z21FAMILY=%D0%9D%D0%B0%D0%B1%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%B0&Z21ID=2012092426)

3. Баранник А.А. Лекции по курсу «Теория переноса нейтронов».[Текст]: учеб. пособие для вузов /А.А. Баранник. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2012. -164 с.

4. Шелегов, А. С. Физические особенности и конструкция реактора РБМК-1000 [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. С. Шелегов, С. Т. Лескин, В. И. Слободчук. - М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 64 с.

5. Лескин, С. Т. Физические особенности и конструкция реактора ВВЭР-1000 [Текст] : учеб. пособие для вузов / С. Т. Лескин, А. С. Шелегов, В. И. Слободчук. - М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 116 с.

6. Савандер, В.И. Физическая теория ядерных реакторов [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов / В. И. Савандер, М. А. Увакин. - Москва : МИФИ.Ч.1 : Однородная размножающая среда и теория гетерогенных структур : учебное пособие для вузов. - [Б. м.], 2007. – Режим доступа:

[http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Savander\\_Fizicheskaya\\_teoriya\\_yadernyh\\_reaktorov\\_2007&page=1&Z21ID=1918195761955910305932](http://libcatalog.mephi.ru/cgi/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=pdf&P21DBN=BOOK&path=book-mephi/Savander_Fizicheskaya_teoriya_yadernyh_reaktorov_2007&page=1&Z21ID=1918195761955910305932)

7. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов / В.И. Владимиров. изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 304 с., ил.

8. Ганев, И.Х. Физика и расчет реактора [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. Х. Ганев; под общ. ред. Н.А. Доллежала. - М.: Энергоиздат, 1981. - 368 с.

в) *Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»*

[www.rosatom.ru/](http://www.rosatom.ru/) - официальный сайт госкорпорации «Росатом»;

[www.rosenergoatom.ru](http://www.rosenergoatom.ru) - официальный сайт ОАО «Концерн Росэнергоатом»;

<https://www.oecd-nea.org/janis/> – база ядерных данных JANIS;

[www.mephi.ru](http://www.mephi.ru) – портал НИЯУ МИФИ с доступом к электронной библиотеке НИЯУ МИФИ;

<http://vlr.mephi.ru/spec.php> - виртуальные лабораторные работы НИЯУ МИФИ по курсу физика ядерных реакторов (теория ядерных реакторов);



<http://nuclphys.sinp.msu.ru/> – проект МГУ «Ядерная физика в интернете»  
<http://www.nndc.bnl.gov/wallet/wccurrent.html> – карта нуклидов на сайте центра ядерных данных США  
<http://lib.wwer.ru/> - электронная библиотека по атомной энергетике;

7.2. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

№	Раздел(тема)	Вид издания	Автор (авторы)	Год издания	Место хранения и количество
1	Нейтронно-физические процессы в ядерных реакторах	Учебное пособие. Лекции по курсу "Теория переноса нейтронов"	А.А. Баранник	2012 г.	ЭБС НИЯУ МИФИ
2	Нейтронно-физический расчёт ядерных реакторов	Учебное пособие. Лекции по курсу "Физика ядерных реакторов"	А.А. Баранник	2012 г.	ЭБС НИЯУ МИФИ

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине проводятся в оборудованных учебных кабинетах, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением. Учебная дисциплина обеспечена необходимой учебно-методической документацией и материалами. Ее содержание представлено в локальной сети института и находится в режиме свободного доступа для студентов.

Кабинет технологического обслуживания технических систем и оборудования атомных электростанций

Кабинет эксплуатации теплоэнергетического оборудования и технических систем атомных электростанций\1

Стол преподавателя;

Стул преподавателя;

Стол ученический – 30 шт.;

Стул ученический –60 шт.;

Комплект мультимедийного оборудования:

мультимедиа-проектор, компьютер экран настенный.

- Виртуальный учебный комплекс "Схемотехника и оборудование АЭС"

- Стенд тренажер «Монтаж и испытание трубопроводных соединений, ремонт трубопроводов» МиИ-ТС-РТр-020-4ЛР

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; качественно выполнять чертежи; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий, чертежей с помощью рекомендованной учебной литературы. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, просмотр рекомендуемой литературы, выполнение графических заданий, решение задач по алгоритму.