

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Нижегородский государственный технический университет**  
**имени Р.Е. Алексеева» (НГТУ)**

---

---

Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической физики  
имени академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯЭиТФ  
\_\_\_\_\_ М.А. Легчанов  
« 20 » \_\_\_\_\_ июня 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ОД.7 «Физика ядерных реакторов»**

**для подготовки бакалавров**

Направление подготовки: 14.03.02 "Ядерные физика и технологии"  
(код и наименование направления подготовки)

Направленность: "Ядерные реакторы и энергетические установки"  
(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)

Форма обучения: очная  
(очная, очно-заочная, заочная)

Год начала подготовки: 2023

Выпускающая кафедра: ЯРиЭУ  
(аббревиатура кафедры)

Кафедра-разработчик: ЯРиЭУ  
(аббревиатура кафедры)

Объем дисциплины: 288/8  
(часов/з.е.)

Промежуточная аттестация: Экзамен  
(экзамен, зачет с оценкой, зачет)

Разработчик(и): Власичев Г.Н., д.т.н., доцент.  
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание)

НИЖНИЙ НОВГОРОД, 2023 год

Рецензент: Головки В.Ф., д.т.н., профессор  
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

« 31 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Физика ядерных реакторов» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 14.03.02 "Ядерная физика и технологии", утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 28.02.2018 № 150 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ

протокол от « 18 » мая 2023 г. № 21

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры разработчика программы протокол от 30.05.2023 г. № 8

Зав. кафедрой, *д.т.н., профессор, Андреев В.В.* \_\_\_\_\_  
подпись

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института, где реализуется данная программа

ИЯЭиТФ, протокол от 20.06.2023 г. № 23

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 14.03.02-Я-36

Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ

\_\_\_\_\_  
Н.И. Кабанина

(подпись)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Цели и задачи освоения дисциплины .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины .....	5
4. Структура и содержание дисциплины .....	8
5. Текущий контроль успеваемости и аттестация по итогам освоения дисциплины.....	11
6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	18
7. Информационное обеспечение дисциплины.....	19
8. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с овз .....	20
9. Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	21
10. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины .....	22
11. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины .....	23
Приложения .....	
Лист актуализации рабочей программы дисциплины.....	24
Рецензия .....	25

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

### **1.1. Целью освоения дисциплины является:**

- приобретение студентами основ знаний, умений и навыков в области ядерно-энергетической технологии высокого уровня на основе реакторов деления в соответствии с требованиями образовательного стандарта по направлению подготовки.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины:**

- сформировать общее представление о нейтронно-ядерных процессах в активной зоне реактора, типах и физических особенностях ядерных реакторов деления, теоретических основах расчета основных нейтронно-физических характеристик активной зоны, топливных циклах, проблемах утилизации отработанного ядерного топлива и нераспространения ядерных материалов и технологий.
- научить студента умению использовать теоретические положения, применять компьютер с прикладными программными средствами для решения научно-технических задач в области физики ядерных реакторов;
- освоить основные аспекты ведения научных исследований современными методами.

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

Учебная дисциплина (модуль) Б1.В.ОД.7 «Физика ядерных реакторов» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП по направлению подготовки 14.03.02. «Ядерные физика и технологии».

Изучение дисциплины «Физика ядерных реакторов» осуществляется на 4-м курсе в 7-м и 8-м семестрах. Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется данная дисциплина, являются: «Математика», «Физика», «Атомная физика», «Ядерная физика», «Информатика», «Уравнения математической физики», «Математические методы моделирования физических процессов».

Кроме дисциплины «Физика ядерных реакторов» в формировании компетенций:

- ПКС-5 параллельно участвуют дисциплины: «Радиационная безопасность», «Принципиальные схемы судовых ядерных энергетических установок», «Экономика ядерной энергетики», «Основы проектирования защиты ядерных энергетических установок», «Инженерные расчеты и проектирование ядерных энергетических установок», «Генерация пара», «Управление качеством и техническое регулирование на предприятиях атомного энергетического машиностроения», «Ядерные топливные материалы», «Турбомашины», «Тепловые схемы ядерных энергетических установок», «Циркуляторы физико-энергетических установок», «Насосы и компрессоры», «Дополнительные главы по циркуляторам физико-энергетических установок», «Научно-исследовательская работа», «Преддипломная практика», «Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы»;

- ПКС-6 параллельно участвуют дисциплины: «Цифровые технологии в энергомашиностроении», «Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности», «Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы».

В результате изучения дисциплины студент приобретает необходимые знания, умения и навыки в области физики ядерных реакторов деления.

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

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья РПД разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

Все это является основой для дальнейшей подготовки студента как высококвалифицированного специалиста в области ядерных энергетических установок, свободно владеющего современными методами научных исследований.

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Этапы формирования компетенций

В результате освоения дисциплины «Физика ядерных реакторов» у обучающегося частично формируются компетенции ПКС-5 и ПКС-6, полное формирование которых последовательно осуществляется при изучении других дисциплин и в процессе практической подготовки (таблица 1).

Таблица 1 - Формирование компетенции ПКС-5, ПКС-6

Код компетенции	Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования компетенций дисциплинами и практиками							
		1 сем.	2 сем.	3 сем.	4 сем.	5 сем.	6 сем.	7 сем.	8 сем.
ПКС-5	Радиационная безопасность								
	Принципиальные схемы судовых ядерных энергетических установок								
	Экономика ядерной энергетики								
	Физика ядерных реакторов								
	Основы проектирования защиты ядерных энергетических установок								
	Инженерные расчеты и проектирование ядерных энергетических установок								
	Генерация пара								
	Управление качеством и техническое регулирование на предприятиях атомного энергетического машиностроения								
	Ядерные топливные материалы								
	Турбомашины								
	Тепловые схемы ядерных энергетических установок								
	Циркуляторы физико-энергетических установок								
	Насосы и компрессоры								
	Дополнительные главы по циркуляторам физико-энергетических установок								
	Научно-исследовательская работа								
ПКС-6	Преддипломная практика								
	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы								
	Физика ядерных реакторов								
	Цифровые технологии в энергомашиностроении								
ПКС-6	Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности								
	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы								

### 3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП

Профессиональные компетенции ПКС-5 и ПКС-6 формируются с приобретением знаний, умений и навыков, сформулированных в дескрипторах достижения этих компетенций и с которыми обучающийся готов выполнять конкретные действия, прописанные в индикаторах достижения тех же компетенций (таблица 2).

**Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения**

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Знать	Уметь	Владеть	Текущего контроля	Промежуточной аттестации
<b>ПКС-5</b> Способен провести расчет, концептуальную и проектную проработку, технико-экономический анализ современных физических установок, обеспечить их безопасность с использованием современных информационных технологий, современных систем учета и контроля ядерных материалов, методов обеспечения их защищенности.	<b>ИПКС-5.1</b> Проводит расчет, концептуальную и проектную проработку, технико-экономический анализ современных физических установок с учетом требований безопасности.	- механизмы взаимодействия нейтронов с ядрами материалов активной зоны, замедления и диффузии нейтронов в активной зоне реактора; - основные соотношения для оценок нейтронно-физических характеристик элементарных ячеек активной зоны реактора; - о временных процессах выгорания горючего, отравления реактора, об обратных связях в активной зоне и регулировании реактивности в реакторе; - различные методы расчета активной зоны реактора.	- определять взаимосвязь между конструкцией реактора и методами, используемыми для оценки нейтронно-физических характеристик активной зоны; - использовать методы оценки нейтронно-физических характеристик активной зоны; - использовать справочные материалы.	- терминологией, принятой в физике ядерных реакторов; - проблематикой ядерных реакторов в объеме, необходимом для практического применения знаний при их разработке.	Планы лекций с перечнями обсуждаемых вопросов (оценка по критерию 1 и 2)	Перечень контрольных вопросов
	<b>ИПКС-5.2</b> Использует современные информационные технологии, современные системы учета и контроля ядерных материалов, методы обеспечения их защищенности.	- основы работы с компьютерной техникой для проведения нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов.	- применять компьютерные программы для проведения нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов.	- навыками использования современных компьютерных программ, применительно к нейтронно-физическим расчетам ядерных реакторов.		

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Знать	Уметь	Владеть	Текущего контроля	Промежуточной аттестации
<b>ПКС-6</b> Способен осваивать и применять цифровые технологии для объектов профессиональной деятельности	<b>ИПКС-6.1</b> Осваивает цифровые технологии математического и информационного моделирования используемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной деятельности	- постановку проблем математического и информационного моделирования сложных систем в профессиональной области	- планировать процесс моделирования и вычислительного эксперимента в профессиональной деятельности	- методами постановки задач и обработки результатов компьютерного моделирования в профессиональной деятельности	Планы лекций с перечнями обсуждаемых вопросов (оценка по критерию 1 и 2)	Перечень контрольных вопросов
	<b>ИПКС-6.2</b> Применяет цифровые технологии в профессиональной деятельности		- работать на современной электронно-вычислительной технике с объектами профессиональной деятельности	- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современной вычислительной технике		

Освоение дисциплины причастно к освоению ТФ А/02.6 «Инженерно-физическое сопровождение эксплуатации активной зоны реакторной установки» (ПС 24.028 «Специалист ядерно-физической лаборатории в области атомной энергетики»), решает следующие профессиональные задачи:

- Расчет эксплуатационных параметров активных зон реакторов;
- Анализ переходных процессов в реакторах;
- Расчеты при планировании перегрузок топлива;
- Выполнение нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений;
- Расчет эффектов и коэффициентов реактивности реакторов;
- Анализ результатов измерений и расчетов эффектов и коэффициентов реактивности реакторов;
- Расчет потребности в ядерном топливе и дополнительных поглотителях.
- Использование методик нейтронно-физических и тепло-гидравлических измерений в реакторной установке;
- Использование методик расчета нейтронно-физических и тепло-гидравлических характеристик активной зоны реакторной установки;
- Использование методик расчета выгорания ядерного топлива и потребности в ядерном топливе;
- Применение методов расчета эксплуатационных параметров реакторной установки, эффектов и коэффициентов реактивности;
- Использование современных пакетов прикладных компьютерных программ по направлениям работ.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц (з.е.) или 288 академических часов, в том числе контактная работа обучающихся с преподавателем - 135 часов, самостоятельная работа обучающихся - 90 часов (таблица 3).

**Таблица 3 - Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ**

Вид учебной работы	Трудоёмкость, ч/з.е.		
	Всего	в том числе в 7 семестре	в том числе в 8 семестре
Формат изучения дисциплины		с использованием элементов электронного обучения	
Общая трудоёмкость, ч/з.е.	288/8	180/5	108/3
1. Контактная работа:	135	90	45
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	125	85	40
Занятия лекционного типа (Л)	54	34	20
Лабораторные работы (ЛР)	34	34	-
Практические занятия (ПЗ)	37	17	20
1.2. Внеаудиторная работа, в том числе:	10	5	5
Консультации по дисциплине	10	5	5
2. Самостоятельная работа студентов, в том числе:	90	54	36
Проработка источников информации (повторение пройденного материала, изучение и конспектирование рекомендованной литературы)	25	10	15
Подготовка к практическим занятиям	18	8	10
Подготовка к лабораторным занятиям	17	17	-
Расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)	30	19	11
3. Подготовка к экзамену (контроль)	63	36	27



## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тематический план освоения дисциплины по видам учебной деятельности приведен в таблице 4. Здесь указано структурное распределение объемов (в часах) разделов и тем дисциплины по видам учебной работы, аудиторных и внеаудиторных занятий, самостоятельной работы студента и периодического (текущего) контроля.

**Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Таблица 4 – Содержание дисциплины, структурированное по темам										
Планируемые (контролируемые) результаты освоения и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов и тем	Виды учебной работы, ч					Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Реализация в рамках практической подготовки (трудоемкость в часах)	Наименование разработанного электронного курса (трудоемкость в часах)
		Контактная работа				Самостоятельная работа студентов				
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине					
ПКС-5 ИПКС-5.1 ИПКС-5.2 ПКС-6 ИПКС-6.1 ИПКС-6.2	1. Общие сведения о ядерных реакторах	1	-	-	0,25	1	6.1.2, стр. 6-8; 6.1.1, стр. 7-11	Лекция и практическое занятие	-	-
	2. Параметры и виды взаимодействия нейтронов с ядрами	2	-	1	0,25	2	6.1.2, стр. 9-12; 6.1.1, стр. 12-15	Лекция и практическое занятие		
	3. Обзор сечений взаимодействия нейтронов с ядрами среды	3	-	-	0,25	2	6.1.2, стр. 13-21; 6.1.1, стр. 15-31	Лекция и практическое занятие	-	-
	4. Процесс деления и его параметры	2	-	1	0,25	2	6.1.2, стр. 22-26; 6.1.1, стр. 31-39	Лекция и практическое занятие	-	-
	5. Цепная реакция деления	2	-	2	0,25	2	6.1.2, стр. 27-32, 69-70; 6.1.1, стр. 39-44	Лекция и практическое занятие		
	6. Замедление нейтронов при упругом рассеянии	3	-	2	0,25	4	6.1.2, стр. 33-43, 62-65, 69; 6.1.1, стр. 44-57	Лекция и практическое занятие	-	-
	7. Диффузия моноэнергетических нейтронов в однородной среде	3	17	2	0,25	4	6.1.2, стр. 44-54, 70-71, 85-104; 6.1.1, стр. 57-73	Лекция и практическое занятие		
	8. Диффузия замедляющихся нейтронов	2	9	2	0,25	4	6.1.2, стр. 55-60, 71; 6.1.1, стр. 74-80	Лекция и практическое занятие		
	9. Теория критических размеров	3	-	2	0,5	6	6.1.2, стр. 72-84; 6.1.1, стр. 80-102	Лекция и практическое занятие		

10. Гетерогенные реакторы - теория решетки	3	8	2	0,5	5	6.1.2, стр. 61-71; 6.1.1, стр. 103-126	Лекция и практическое занятие		
11. Температурные эффекты в реакторе	2	-	1	0,5	4	6.1.1, стр. 126-132	Лекция и практическое занятие		
12. Изменение изотопного состава реактора во времени, временные процессы	3	-	1	0,5	4	6.1.1, стр. 133-151	Лекция и практическое занятие		
13. Управление реактором	3	-	1	0,5	4	6.1.1, стр. 151-168	Лекция и практическое занятие		
14. Баланс реактивности и общая схема расчета кампании реактора	2	-	-	0,5	2	6.1.1, стр. 168-175	Лекция и практическое занятие		
15. Кинетическое уравнение баланса нейтронов	2	-	2	0,5	4	6.1.12, стр. 9-12; 6.1.1, стр. 176-179	Лекция и практическое занятие		
16. Основные формы представления нейтронных полей в реакторе	2	-	2	0,5	4	6.1.12, стр. 17-19 6.1.1, стр. 179-181	Лекция и практическое занятие		
17. Функция ценности нейтронов, кинетическое уравнение ценности	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 181-184; 6.1.10, стр. 375	Лекция и практическое занятие		
18. Простейшие формы кинетического уравнения	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 185-187	Лекция и практическое занятие		
19. Метод сферических гармоник, P1 и диффузионное приближения, Sn метод	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 187-194	Лекция и практическое занятие		
20. Метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 194-198	Лекция и практическое занятие		
21. Методы решения энергетической задачи	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 198-213	Лекция и практическое занятие		
22. Методы решения пространственных задач	2	-	2	0,5	8	6.1.1, стр. 213-225	Лекция и практическое занятие		
23. Теория возмущений	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 225-230	Лекция и практическое занятие		
24. Общие принципы проведения нейтронно-физических расчетов	2	-	2	0,5	4	6.1.1, стр. 230-245	Лекция и практическое занятие		
<b>ИТОГО:</b>	54	34	37	10	90				

## 5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Типовые контрольные вопросы и задания, необходимые для оценки знаний, умений и навыков или опыта деятельности

Таблица 5 – Перечни контрольных вопросов и заданий по темам занятий для проведения текущего контроля успеваемости

Номер темы		Перечни контрольных вопросов и заданий
цикла лекций	практических занятий	
1.	-	<p>Указать причину изменения изотопного состава природного урана со временем. Свободный нейтрон стабилен или претерпевает радиоактивный распад?</p> <p>Назвать основные составные части ядерного реактора и их назначение.</p> <p>Дать классификацию ядерных реакторов деления.</p> <p>Почему параметры ядерного реактора всегда известны с некоторой неопределенностью?</p>
2.	2	<p>Какие микрочастицы образуются в результате реакции радиационного захвата нейтрона ядром?</p> <p>Дать определение плотности рассеяния нейтронов.</p> <p>Указать размерность микросечения взаимодействия нейтронов с ядрами атомов.</p> <p>Указать размерность макросечения взаимодействия нейтронов с ядрами атомов.</p> <p>Указать размерность плотности потока нейтронов.</p> <p>Описать виды взаимодействия нейтронов с ядрами.</p>
3.	-	<p>Каков порядок величины сечения поглощения тепловых нейтронов ядрами Xe-135?</p> <p>Назвать виды взаимодействия нейтронов с ядрами, у которых зависимости сечений от энергии нейтрона имеют пороговый характер.</p> <p>Описать основные закономерности взаимодействия нейтронов с ядрами.</p>
4.	4	<p>На какую величину различаются энергия покоящегося ядра и составляющая энергий его нуклонов?</p> <p>Чем определяется порог деления для каждого изотопа?</p> <p>Назвать изотопы тяжелых ядер, делящиеся нейтронами любых энергий.</p> <p>По какому спектру распределены нейтроны, появляющиеся в результате деления ядер?</p> <p>Описать спектр мгновенных нейтронов при деления ядер тепловыми нейтронами.</p> <p>Какая энергия выделяется в среднем при делении тяжелого ядра?</p> <p>Чем определяется остаточное тепловыделение в остановленном реакторе?</p>
5.	5	<p>Чему равен коэффициент размножения критической среды?</p> <p>При каком приблизительно обогащении по U-235 бесконечная урановая среда становится критической?</p> <p>Можно ли создать ядерный реактор на природном уране?</p> <p>Какой процесс исчезновения нейтронов в размножающей среде принципиально характеризует конечную среду по сравнению с бесконечной?</p> <p>Указать процессы в истории нейтрона деления в тепловом реакторе в их хронологической последовательности.</p>
6.	6	<p>Сформулировать закон рассеяния нейтронов.</p> <p>Сравнить средний прирост летаргии при столкновении нейтронов с одинаковой энергией с ядром гелия (<math>A=4</math>) и ядром лития (<math>A=5</math>).</p> <p>Дать определение плотности замедления нейтронов.</p> <p>Какова зависимость плотности замедления нейтронов от энергии в бесконечной однородной гомогенной непоглощающей среде с равномерно распределенным изотропным источником постоянной мощностью?</p> <p>Как соотносятся величины истинного резонансного интеграла и эффективного резонансного интеграла?</p> <p>От чего зависит эффективный резонансный интеграл?</p> <p>Дать определение термализации нейтронов.</p> <p>В какой области энергий нейтронов устанавливается спектр Максвелла?</p> <p>Как соотносятся значения температуры нейтронного газа и температуры среды?</p> <p>Сравнить температуру нейтронного газа в бесконечной и конечной средах из одного и того же вещества.</p>

7.	7	<p>Указать характеристики диффузии нейтронов.</p> <p>Чем отличается транспортное сечение от полного сечения?</p> <p>Дать понятие плотности тока нейтронов.</p> <p>Записать закон Фика и выражение для коэффициента диффузии нейтронов с учетом анизотропии.</p> <p>Указать физический смысл членов уравнения диффузии нейтронов.</p> <p>Указать область применимости уравнения диффузии нейтронов.</p> <p>Определить начальные и граничные условия для нейтронного потока к уравнению диффузии.</p> <p>Можно ли использовать теорию диффузии моноэнергетических нейтронов для описания нейтронного поля в среде, состоящей из чистого водорода?</p> <p>Дать понятие линейной экстраполяции распределения потока за границы реактора.</p> <p>Как изменится альbedo плоского слоя, если между отражателем и активной зоной ввести слой вакуума?</p>
8.	8	<p>Дать понятие модели непрерывного замедления нейтронов.</p> <p>Записать уравнение возраста нейтронов в реакторе.</p> <p>Дать понятие возраста нейтронов в реакторе.</p> <p>Рассчитать возраст нейтронов в реакторе, где длина диффузии тепловых нейтронов равна 5 см, а площадь миграции нейтронов <math>100 \text{ см}^2</math>.</p>
9.	9	<p>Записать волновое уравнение для гомогенного реактора без отражателя.</p> <p>Записать критическое уравнение для реактора в диффузионно-возрастном приближении.</p> <p>Записать выражение для вероятности избежать утечки из гомогенного реактора без отражателя в диффузионно-возрастном приближении.</p> <p>Записать выражение для материального параметра гомогенного реактора без отражателя в диффузионно-возрастном приближении.</p> <p>Записать выражение для материального параметра гомогенного реактора без отражателя в одно-групповом приближении.</p> <p>Указать размерность квадрата материального параметра.</p> <p>Указать размерность геометрического параметра.</p> <p>Какая геометрическая форма реактора обеспечивает наименьшую утечку нейтронов при фиксированном объеме?</p> <p>Расположите реакторы равных объемов, но разной формы, в порядке возрастания вероятности утечки нейтронов.</p> <p>Рассчитать эффективный коэффициент размножения шара из материала с длиной диффузии 2 см, радиусом <math>4\pi \text{ см}</math> и находящемся в критическом состоянии.</p> <p>Как изменится <math>K_{inf}</math> реактора при введении отражателя?</p> <p>Указать размерность эффективной добавки отражателя.</p> <p>Как при введении отражателя изменится коэффициент неравномерности энерговыделения в реакторе?</p>
10.	10	<p>Дать классификацию решеток.</p> <p>Назвать элементы в ячейке канального реактора, расположить их от центра к периферии.</p> <p>Назвать эффекты, влияющие на коэффициент размножения нейтронов для гетерогенного реактора.</p> <p>Дать понятие приближения Вигнера-Зейца для гетерогенного реактора.</p> <p>Дать понятие блок-эффекта для гетерогенного реактора.</p> <p>Как соотносятся вероятности избежать резонансного поглощения в гетерогенной и гомогенной средах?</p> <p>Как соотносятся коэффициенты использования тепловых нейтронов в гетерогенной и гомогенной средах для реактора с графитовым замедлителем?</p>
11.	11	<p>Дать определение температурного коэффициента реактивности.</p> <p>Определить зависимость числа нейтронов на один акт поглощения горючим от температуры в гомогенном реакторе.</p> <p>Определить зависимость вероятности избежать резонансного поглощения от температуры в гомогенном реакторе.</p> <p>Определить зависимость Коэффициента использования тепловых нейтронов от температуры в гомогенном реакторе.</p> <p>Определить зависимость геометрического параметра от температуры в гомогенном реакторе.</p> <p>Назвать наиболее важный эффект в зависимости коэффициента размножения от температуры в гетерогенном реакторе.</p>

12.	12	<p>Записать цепочки ядерных превращений в процессе выгорания ядерного топлива. Записать систему дифференциальных уравнений для изменения концентраций нуклидов ядерного топлива в процессе его выгорания.</p> <p>Указать наиболее значимые сильнопоглощающие нейтроны продукты деления и их микросечения.</p> <p>Указать размерность отравления реактора.</p> <p>Поставить в соответствие изотопам Xe-135 и Sm-149, образующимся в процессе отравления в активной зоне, их соответствующие родительские изотопы.</p> <p>Изобразить графически временной ход отравления ксеноном после остановки реактора, перехода на меньший и больший уровень мощности.</p> <p>В реакторах каких типов отсутствует отравление ксеноном?</p> <p>Указать наиболее значимые шлаки, образующиеся в процессе выгорания ядерного топлива.</p>
13.	13	<p>Записать выражение для расчета эффективности поглощающего стержня в центре реактора в одnogрупповом приближении.</p> <p>Дать понятия черного и серого поглощающего стержня.</p> <p>Сравнить графически распределения нейтронного потока в реакторе с поглощающим стержнем и без него.</p> <p>Какова должна быть относительная поглощающая способность регулятора, помещаемого в центр активной зоны, чтобы скомпенсировать увеличение реактивности, вызванное извлечением регулятора с периферии активной зоны?</p> <p>Рассчитать отношение потоков нейтронов в центре и на краю активной зоны, если эффективность регулятора в центре выше эффективности регулятора с краю активной зоны в 2,25 раза.</p> <p>Сравнить расчетные эффективности поглощающего стержня в центре реактора в одно- и двухгрупповом приближениях.</p> <p>Объяснить различие в расчетной эффективности поглощающего стержня в центре реактора в одно- и двухгрупповом приближениях.</p>
14.	14	<p>Дать понятие запаса реактивности, обосновать его необходимость и назвать компоненты.</p> <p>Сравнить зависимости коэффициента размножения нейтронов от времени в процессе кампании в реакторах без ограничения на запас реактивности и с выгорающим поглотителем.</p> <p>Как изменится глубина выгорания выгружаемого ядерного топлива при переходе от однократной перегрузки к двух- и трехкратной перегрузкам?</p>
15.	15	<p>Дать понятие фазового пространства в кинетической теории поведения нейтронов. На чем основан вывод кинетического уравнения переноса нейтронов?</p> <p>Указать физический смысл членов кинетического уравнения переноса нейтронов.</p> <p>Определить начальное и граничные условия для нейтронного потока для кинетического уравнения переноса.</p>
16.	16	<p>В каком реакторе нейтронное поле может быть представлено совершенно однозначно?</p> <p>Дать понятие условно-критического <math>\lambda</math>-представления нейтронного поля для надкритического реактора.</p> <p>Дать понятие асимптотического нейтронного распределения.</p> <p>Дать понятие условно-критического <math>\alpha</math>-представления нейтронного поля для подкритического реактора.</p>
17.	17	<p>Дать понятие и определения ценности нейтронов в реакторе.</p> <p>Определить принцип сохранения ценностей нейтронов в реакторе.</p> <p>Каков физический смысл функции ценности нейтронов в реакторе?</p> <p>Определить граничное условие для ценности нейтронов на поверхности реактора.</p>
18.	18	<p>Чем отличается кинетическое уравнение переноса нейтронов для бесконечной однородной среды от обобщенного кинетического уравнения?</p> <p>Дать описание односкоростного приближения кинетического уравнения переноса нейтронов и области его применения.</p> <p>Записать кинетическое уравнение переноса нейтронов в односкоростном приближении и его дальнейшие упрощения.</p> <p>Записать математическую связь между глобальным потоком и плотностью потока нейтронов.</p>

19.	19	<p>На чем основан метод сферических гармоник?</p> <p>Как осуществляется переход к P1 приближению кинетического уравнения переноса нейтронов?</p> <p>Как осуществляется переход от P1 приближения к диффузионному приближению кинетического уравнения переноса нейтронов?</p> <p>Какие приближения кинетического уравнения переноса нейтронов из P4, P2, P1, P3 точнее?</p> <p>Дать описание Sn метода решения кинетического уравнения переноса нейтронов.</p> <p>К уравнениям какого вида сводится кинетическое уравнение переноса нейтронов в результате его решения Sn методом, указать сопутствующие допущения.</p>
20.	20	<p>На чем основан метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности?</p> <p>От чего зависит погрешность метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности?</p> <p>Каким образом определяются начальные координаты нейтрона в метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности?</p>
21.	21	<p>Назвать подходы к решению энергетической задачи.</p> <p>Дать описание метода решения энергетической задачи применительно к реакторам на тепловых нейтронах.</p> <p>Дать понятие термализации нейтронов.</p> <p>Дать описание метода групп для решения энергетической задачи.</p> <p>Чем определяется система разбиения на энергетические группы для реакторов типа ВВЭР?</p> <p>Назвать системы групповых ядерно-физических констант, их особенности и параметры.</p> <p>Назвать константы системы групповых уравнений баланса нейтронов в P1 и диффузионном приближениях.</p>
22.	22	<p>Дать качественное описание метода получения спектра потока нейтронов и спектра ценностей в реакторе без отражателя.</p> <p>Назвать метод численного решения многогрупповых уравнений диффузии в одномерном приближении.</p> <p>Дать качественное описание численного метода решения многогрупповых уравнений диффузии в одномерном приближении.</p> <p>Назвать метод решения системы конечно-разностных уравнений, аппроксимирующих одномерные групповые уравнения диффузии.</p> <p>Дать качественное описание метода решения системы конечно-разностных уравнений, аппроксимирующих одномерные групповые уравнения диффузии.</p> <p>Назвать численный метод решения уравнений диффузии в двух- и трехмерном приближениях.</p> <p>Дать качественное описание численного метода решения уравнений диффузии в двух- и трехмерном приближениях.</p>
23.	23	<p>С какой целью для расчета изменения реактивности кроме решения прямой задачи привлекается решение сопряженной задачи?</p> <p>Дать физический смысл формулы теории возмущений для расчета изменения реактивности в общем виде.</p> <p>Дать физический смысл формулы теории возмущений в многогрупповом диффузионном приближении.</p> <p>Записать формулы для расчета эффективности стержня в центре большого реактора по теории возмущений.</p>
24.	24	<p>Назвать основные нейтронно-физические характеристики ядерных реакторов деления.</p> <p>Описать общие принципы проведения расчета нейтронно-физических характеристик реактора.</p> <p>Назвать и объяснить условия подобия физических процессов в экспериментальных критических сборках процессам в натурном реакторе.</p> <p>Назвать принцип масштабного моделирования распределений по объему нейтронных полей, влияния органов компенсации реактивности при изучении реакторов на критических сборках.</p> <p>Указать основные источники погрешности в оценке нейтронно-физических характеристик.</p> <p>Назвать цели верификации программ нейтронно-физического расчета.</p>

**Таблица 6 – Перечень контрольных вопросов для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

№ п/п	Контрольные вопросы для проведения экзамена
1.	Классификация ядерных реакторов по различным признакам.
2.	Эффективные нейтронные сечения, общие понятия, классификация.
3.	Сечение взаимодействия быстрых нейтронов с веществом.
4.	Потенциальное и резонансное взаимодействие нейтронов с веществом, формула Брейта-Вигнера.
5.	Допплер-эффект в ядерном реакторе.
6.	Сечения взаимодействия нейтронов с веществом в области тепловых энергий.
7.	Процесс деления и параметры его определяющие.
8.	Цепная реакция деления, критические, надкритические и подкритические системы.
9.	Формула четырех сомножителей для бесконечной системы, значение сомножителей для гомогенного реактора на тепловых нейтронах.
10.	Эффективный коэффициент размножения, разложение его на множители.
11.	Оптимальный состав и размеры гомогенного реактора.
12.	Характеристики основных замедлителей.
13.	Спектр замедляющихся нейтронов в бесконечной среде без поглощения.
14.	Замедление нейтронов в водородсодержащей среде с поглощением.
15.	Эффективный резонансный интеграл.
16.	Спектр замедляющихся и замедлившихся нейтронов.
17.	Спектр нейтронов в реакторе, усреднение констант.
18.	Характеристики диффузии моноэнергетических нейтронов в однородной среде, закон Фика.
19.	Уравнение диффузии нейтронов.
20.	Простейшие решения уравнения диффузии в неразмножающей среде.
21.	Альбеда нейтронов.
22.	Уравнение возраста, возраст нейтронов.
23.	Решение уравнения возраста для простейших случаев, длина замедления теплового нейтрона, площадь миграции.
24.	Гомогенный реактор без отражателя, материальный параметр.
25.	Коэффициенты размножения нейтронов в конечной и бесконечной средах, условия критичности.
26.	Запись условия критичности реактора в различных приближениях и формах.
27.	Материальный и геометрический параметры.
28.	Решение волнового уравнения для реакторов простейших форм.
29.	Распределение плотности потока нейтронов и плотности энерговыделения в реакторе.
30.	Метод обратного умножения и его использование при сборке критической системы и контроле подкритичности.
31.	Экспоненциальный опыт.
32.	Влияние отражателя нейтронов на критичность реактора и на распределение тепловыделения.
33.	Поток нейтронов в реакторе, коэффициенты неравномерности потока для реакторов простейших форм.
34.	Распределение плотности потока тепловых, резонансных и быстрых нейтронов в элементарной двухзонной ячейке Вигнера-Зейца.
35.	Метод ВПС и его использование при расчете коэффициента размножения нейтронов в ячейке реактора.
36.	Число нейтронов на акт поглощения в гомогенном и гетерогенном реакторах.
37.	Коэффициент размножения на быстрых нейтронах в гомогенном и гетерогенном реакторах.
38.	Вероятность избежать резонансного захвата в гомогенном и гетерогенном реакторах.
39.	Коэффициент использования тепловых нейтронов в гомогенном и гетерогенном реакторах.
40.	Длина диффузии и возраст нейтронов в гомогенной и гетерогенной размножающей среде.
41.	Вычисление критических размеров гетерогенного реактора.
42.	Температурные и мощностные эффекты реактивности.
43.	Зависимость от температуры сомножителей в выражении для коэффициента размножения гомогенного реактора на тепловых нейтронах.
44.	Изменение изотопного состава топлива в процессе работы реактора на мощности.
45.	Стационарное и нестационарное отравление ксеноном-135, йодная яма.
46.	Зашлаковывание и отравление реактора.
47.	Расчет эффективности стержней управления, расположенных произвольно в активной зоне реактора.
48.	Использование выгорающих поглотителей для управления реактивностью и полем энерговыделения.
49.	Способы управления реактором.
50.	Эффективность поглощающего стержня в центре реактора.
51.	Баланс реактивности в реакторе.
52.	Общая схема расчета кампании реактора.
53.	Кинетическое уравнение баланса нейтронов
54.	Задача о критическом реакторе

55.	Функция ценности
56.	Простейшие формы кинетического уравнения: для бесконечной однородной среды; односкоростное приближение
57.	Метод сферических гармоник
58.	P1 и диффузионное приближения кинетического уравнения
59.	Sn метод решения кинетического уравнения
60.	Метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности
61.	Диффузионно-возрастное приближение для решения энергетической задачи
62.	Метод групп для решения энергетической задачи
63.	Простейшие методы получения многогрупповых сечений. Системы ядерно-физических констант
64.	Многогрупповое уравнение баланса нейтронов в P1 и диффузионном приближении
65.	Решение многогрупповых уравнений диффузии для потока и ценности нейтронов в голом реакторе
66.	Численные методы решения многогрупповых уравнений диффузии
67.	Методы решения пространственной задачи для 2-х мерных и 3-х мерных областей
68.	Формула теории возмущений для расчета изменения реактивности в общем виде
69.	Формула теории возмущений в многогрупповом диффузионном приближении
70.	Эффективность стержня в центре реактора по теории возмущений
71.	Общие принципы проведения нейтронно-физических расчетов реактора, проектные и реперные программы, роль экспериментов на критических сборках
72.	Принципы масштабного моделирования при изучении реакторов на критических сборках
73.	Основные погрешности в оценке нейтронно-физических характеристик

## 5.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Процедуры оценивания формируемых компетенций определяют следующие нормативные документы, разработанные в НГТУ и к которым возможен доступ на сайте учебно-методического управления <https://www.nntu.ru/structure/view/podrazdeleniya/uchebno-metodicheskoe-upravlenie> по вкладке «Нормативные документы и локальные акты по обеспечению образовательного процесса НГТУ»:

Положение о текущем контроле успеваемости и проведении промежуточной аттестации обучающихся Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ ПВД 11.2/30-18).

В результате изучения дисциплины «Физика ядерных реакторов» обучающиеся должны приобрести знания, умения и навыки, сформулированные в дескрипторах достижения профессиональных компетенций ПКС-5 и ПКС-6, с которыми они готовы выполнять конкретные действия, прописанные в индикаторах достижения тех же компетенций (таблица 2). Оценивание формируемых компетенций ПКС-5 и ПКС-6 в процессе текущего контроля знаний осуществляется по критериям и показателям, приведенным в таблице 7.



**Таблица 7 – Критерии, показатели и шкала оценивания формируемых компетенций в процессе текущего контроля знаний**

Коды		Виды и номера тем занятий	Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенций			
компетенций	индикаторов достижения компетенций			«Отлично»	«Хорошо»	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
ПКС-5 ПКС-6	ИПКС-5.1 ИПКС-5.2 ИПКС-6.1 ИПКС-6.2	Лекционные занятия	<u>Критерий 1</u> Полнота и убедительность ответа или доклада, в том числе и дополнений к ним	Студент полно, логично и без недочетов излагает в своем ответе на вопрос или докладе материал, абсолютно соответствующий темам по плану семинара	Студент излагает материал ответа на вопрос или доклада, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для отметки «5», но допускает 1–2 недочета в последовательности изложения	Студент излагает материал ответа на вопрос или доклада неполно и непоследовательно, допускает ряд недочетов в изложении и несоответствий темам по плану семинара	Студент беспорядочно и неуверенно излагает в своем ответе на вопрос или докладе материал или излагает материал, абсолютно не соответствующий темам по плану семинара, а также отказывается от выступления или доклада
			<u>Критерий 2</u> Степень понимания изученного материала	Студент обнаруживает глубокое понимание излагаемого материала, может обосновать свои суждения, применить знания, полученные из рекомендованных и самостоятельно выявленных источников	Студент обнаруживает правильное понимание излагаемого материала, может обосновать свои суждения, применить знания, полученные из рекомендованных и самостоятельно выявленных источников, но допускает 1–2 негрубые ошибки, которые сам же исправляет	Студент обнаруживает поверхностное понимание излагаемого материала, имеет примитивные знания, полученные из рекомендованных и самостоятельно выявленных источников, допускает ряд негрубых ошибок, которые сам не может исправить	Студент обнаруживает незнание большей части соответствующего материала ответа на вопрос или доклада по плану семинара, допускает грубые ошибки, которые являются серьезным препятствием к успешному овладению дескрипторами достижения компетенций ПКС-5 и ПКС-6

В соответствии с пунктом 4.11 Положения о текущем контроле успеваемости и проведении промежуточной аттестации обучающихся Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ ПВД 11.2/30-18) по итогам текущего контроля по дисциплине в семестре преподаватель решает вопрос о возможности прохождения студентом промежуточной аттестации по дисциплине. Обучающиеся, не выполнившие минимальные требования по рабочей программе дисциплины (РПД) и имеющие до 50% пропусков занятий, получают оценку «неудовлетворительно» («не зачтено») по данной дисциплине.

В соответствии с пунктом 5.9 Положения о текущем контроле успеваемости и проведении промежуточной аттестации обучающихся Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ ПВД 11.2/30-18) во время последней учебной недели проводится экзамен со студентами, отнесенными преподавателем к первой категории, т.е. выполнившими минимальные требования по РПД и имеющими менее 50% пропусков занятий (лекций и практических занятий). Студенты, отнесенные ко второй категории, т.е. не выполнившие минимальные требования по РПД и имеющие до 50% и более пропусков занятий (лекций и практических занятий), к экзамену не допускаются и получают академическую задолженность по данной дисциплине.

Для выполнения минимальных требований по изучению дисциплины обучающиеся должны иметь только положительные оценки по текущему контролю их знаний на всех занятиях, на которых они присутствовали и выступали с докладами или сообщениями и выполняли практические задания, включая обязательное присутствие на коллоквиуме.

В соответствии с пунктом 5.10 того же Положения – наиболее успешно обучающимся по дисциплине студентам преподаватель может поставить зачет без опроса (по итогам текущего контроля знаний).

Оценивание формируемых компетенций и по экзамену в целом осуществляется по шкале оценивания, представленной в таблице 8.

**Таблица 8 – Шкала оценивания формируемых компетенций в процессе промежуточной аттестации**

Компетенции	Уровень усвоения	Описание шкалы оценивания на экзамене
ПКС-5, ПКС-6	Достаточный	По критерию 1 и 2 с показателями не ниже «Удовлетворительно» в части, касающейся ответа на контрольный вопрос (табл. 2.1)
	Недостаточный	По критерию 1 и 2 с показателем «Неудовлетворительно» в части, касающейся ответа на контрольный на вопрос (табл. 2.1)
ПКС-5, ПКС-6 (итог по экзамену)	Достаточный	«Удовлетворительно», если обе компетенции усвоены на достаточном уровне
	Недостаточный	«Неудовлетворительно», если хотя бы одна компетенция усвоена на недостаточном уровне

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература, печатные и электронные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными и электронными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

**Таблица 9 – Список учебной литературы, печатных и электронных изданий**

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1.	Сухарев, Ю.П. Физика ядерных реакторов деления: учеб. пособие / Ю.П. Сухарев / под ред. С.М. Дмитриева; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2012. - 316 с.	36
2.	Власичев, Г.Н. Физика ядерных реакторов: учеб. пособие / Г.Н. Власичев; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. - Нижний Новгород, 2008. - 106 с.	86
3.	Владимиров, В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов / В.И. Владимиров. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 304 с.	3
4.	Гордеев, И.В. Ядерно-физические константы: справочник / И.В. Гордеев, Д.А. Кардашев, А.В. Малышев. – М.: Госатомиздат, 1963. – 507 с.	14
5.	Физический расчет ядерного реактора: метод. указания для курсовых работ. Ч. 1. Расчет коэффициента размножения в реакторе на тепловых нейтронах / НГТУ; сост.: Е.А. Шлокин. - Н.Новгород, 1991. - 22 с.	

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
6.	Физический расчет реактора: метод. указания по дисциплине “Физика ядерных реакторов” (курсовая работа). Ч. 1. Расчет коэффициента размножения в водо-водяном реакторе на тепловых нейтронах / НГТУ; сост.: Г.Б. Усынин, Е.А. Шлокин. - Н.Новгород, 2002. – 24 с.	
7.	Физический расчет ядерного реактора: метод. указания для курсовых работ по курсу “Физика ядерных реакторов”. Ч. II. Расчет отравления и выгорания в реакторе на тепловых нейтронах. Управление реактором / НГТУ; сост.: С.Г. Усынина. - Н.Новгород, 1995. - 28 с.	
8.	Сборник лабораторных работ по курсу «Физика ядерных реакторов» / НГТУ; сост.: Е.А. Шлокин. - Н.Новгород, 2006.	Электронное издание
2. Дополнительная литература		
9.	Глесстон, С. Основы теории ядерных реакторов: [пер. с англ.] / С. Глесстон, М. Эдлунд. – М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1954. – 458 с.	2
10.	Основы теории и метода расчета ядерных энергетических реакторов: учеб. пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.	29
11.	Климов, А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы: учеб. для вузов / А.Н. Климов. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.	6
12.	Стумбур, Э.А. Применение теории возмущений в физике ядерных реакторов / Э.А. Стумбур. – М.: Атомиздат, 1976. – 128 с.	2
13.	Марчук, Г.И. Методы расчета ядерных реакторов / Г.И. Марчук. – М.: Госатомиздат, 1961. – 668 с.	4
14.	Усынин, Г.Б. Типовые задачи: метод. указания по курсу “Физика ядерных реакторов” / НГТУ; сост.: Г.Б. Усынин, С.Г. Усынина, Н.П. Тарасова. - Н.Новгород, 2003. – 19 с.	5

## 6.2. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

В помощь участникам образовательного процесса (преподавателям и студентам) в НГТУ разработаны следующие учебно-методические документы:

1) Ивашкин Е.Г., Жукова Л.П. Организация аудиторной работы в образовательных организациях высшего образования: Учебное пособие / Е.Г. Ивашкин, Л.П. Жукова; НГТУ. – Нижний Новгород, 2014. – 80 с. (в рубрике «Методические материалы по обеспечению образовательного процесса НГТУ» на сайте учебно-методического управления);

2) Ермакова Т.И., Ивашкин Е.Г. Проведение занятий с применением интерактивных форм и методов обучения: Учебное пособие / Т.И. Ермакова, Е.Г. Ивашкин; НГТУ. – Нижний Новгород, 2013. – 158 с. (в рубрике «Методические материалы по обеспечению образовательного процесса НГТУ» на сайте учебно-методического управления);

3) Жукова Л.П. Методические рекомендации по организации аудиторной работы / Утверждены УМС НГТУ 22.04.2013. - Нижний Новгород, 2013. – 63 с. (в рубрике «Методические материалы по обеспечению образовательного процесса НГТУ» на странице «Учебно-методическое управление» сайта НГТУ);

4) Ермакова Т.И. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы студентов по дисциплине / Утверждены УМС НГТУ 22.04.2013. - Нижний Новгород, 2013. – 35 с. (в рубрике «Методические материалы по обеспечению образовательного процесса НГТУ» на странице «Учебно-методическое управление» сайта НГТУ).

Указанные материалы размещены в электронном виде на сайте учебно-методического управления в рубрике «Методические материалы по обеспечению образовательного процесса НГТУ».

## 7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина, относится к группе дисциплин, в рамках которых предполагается использование информационных технологий как вспомогательного инструмента для выполнения следующих задач:

- оформление результатов выполнения заданий на практических занятиях;
- демонстрация дидактических материалов с использованием мультимедийных технологий;
- использование электронной образовательной среды университета;

- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты.

### **7.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Сайт научно-технической библиотеки (НТБ):

- главная страница НТБ: <https://www.nntu.ru/structure/view/podrazdeleniya/nauchno-tehnicheskaya-biblioteka/resursy>;
- электронная библиотека НГТУ: <https://library.nntu.ru/megapro/web>;
- библиотека электронных учебников: <http://fdp.nntu.ru/книжная-полка/>.

На странице «Ресурсы» сайта НТБ по соответствующим вкладкам возможен доступ к необходимым ресурсам на следующих страницах:

- «Электронная библиотека» по вкладке «Электронный каталог НГТУ»;
- «Книжная полка» по вкладке «Библиотека электронных учебников»;
- «Электронно-библиотечная система «Лань» по вкладке «ЭБС «Лань»;
- «ЭБС «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА - Студенческая электронная библиотека» по вкладке «ЭБС «Консультант студента»;
- «ЮРАЙТ – образовательная платформа» по вкладке «ЭБС «Юрайт».

Кроме того, со страницы «Ресурсы» сайта НТБ возможен доступ к информационно-аналитическим платформам с информацией о ведущих международных научных публикациях Web of Science и Scopus, а также к реферативным журналам, выбранным из баз данных Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) и выписываемым НТБ.

С компьютеров специализированных аудиторий НТБ (ауд. 2201, 2210, 6162) возможен доступ к внешним ресурсам:

- профессиональным справочным системам «Кодекс», «Гарант», «КонсультантПлюс», «Техэксперт»;
- Федеральному информационному фонду стандартов ФГУП «Стандартинформ».

С компьютеров сети НГТУ возможен доступ к базам данных, журналам и коллекциям электронных книг таких зарубежных издательств, как:

- платформа НЭИКОН, включающая 10 издательств;
- Elsevier (журналы Freedom Collection);
- Springer Nature (журналы и коллекции электронных книг);
- Wiley (полнотекстовая коллекция журналов);
- Questel (база данных патентного поиска Orbit Intelligence Premium).

В свободном доступе находятся:

- научная электронная библиотека ELIBRARY.RU: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>;
- научная электронная библиотека «Кибер Ленинка»: <https://cyberleninka.ru/journal>;
- электронно-библиотечная система издательства «Наука»: <https://www.libnauka.ru/>
- информационная система доступа к каталогам библиотек сферы образования и науки ЭКБСОН: <http://www.vlibrary.ru/>.

### **7.2. Перечень программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется программное обеспечение, указанное в таблице 12 раздела 9 настоящей РПД.

### **8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ**

В таблице 12 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. Информация размещена в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации»: <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>.

**Таблица 11 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ**

№ п/п	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1.	ЭБС «Консультант студента»	Озвучка книг и увеличение шрифта
2.	ЭБС «Лань»	Специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3.	ЭБС «Юрайт»	Версия для слабовидящих

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебный процесс по данной дисциплине обеспечен современным аудиторным и лабораторным фондом. В процессе проведения аудиторных и самостоятельных занятий преподаватели и студенты имеют возможность доступа к информационно-коммуникационной сети «Интернет», как на территории НГТУ, так и вне ее.

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине «Физика ядерных реакторов» могут быть использованы материально-техническая база и программное обеспечение, представленные в таблице 12.

**Таблица 12 - Оснащенность аудиторий и помещений для самостоятельной работы студентов по дисциплине**

№ п/п	Номера и наименования аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1.	5115, 5201, 5209, 5210, 5220, 5225, 5232, 5236 Учебные аудитории для проведения лекций, семинаров, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор, экран)	-
2.	5214 Информационно-образовательный центр для проведения практических занятий, коллоквиума и самостоятельной работы	ПЭВМ – 14 шт. (процессор Inter® Core™ 2 CPU 6320 @ 1.86 GHz 1.87 GHz, ОЗУ 2 ГБ) с доступом к сети «Интернет» и ЭБС НГТУ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ОС Windows 7 Профессиональная Service Pack 1, Microsoft 2009, подписка MSDN AA Developer Original Membership, ID: 700493608, бессрочная.</li> <li>• Microsoft Visual Studio 2010, подписка MSDN AA Developer Original Membership, ID: 700493608, бессрочная.</li> <li>• OpenOffice.org 2.3.0 Professional, Sun Microsystems Inc. 2000-2007, свободное ПО.</li> <li>• Adobe Acrobat Reader DC, версия 2015.010.20060, <a href="https://get.adobe.com/reader">https://get.adobe.com/reader</a>, бесплатное ПО.</li> <li>• Google Chrome, версия 49.0.2623.87, бесплатное ПО.</li> <li>• T-FLEX Parametric CAD учебная версия, бесплатное ПО.</li> <li>• MATLAB, версия R2008a, бесплатное ПО.</li> </ul>

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии**

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа может быть аудиторной, внеаудиторной, а также проводиться в электронной информационно-образовательной среде университета (далее - ЭИОС). В случае проведения части контактной работы по дисциплине в ЭИОС (в соответствии с расписанием учебных занятий), трудоемкость контактной работы в ЭИОС эквивалентна аудиторной работе.

Основными элементами структуры аудиторной работы по дисциплине являются:

- виды аудиторной работы;
- формы аудиторной работы, включающие формы ее выполнения, формы представления ее результатов и формы контроля уровня освоения компетенций ПКС-5 и ПКС-6.

Основными видами аудиторной работы студентов по данной дисциплине являются:

- работа на лекциях;
- выполнение практических заданий;
- лабораторные работы.

Формами выполнения видов аудиторной работы являются:

- лекции;
- практические занятия (лабораторные работы, работа в малых группах);
- консультации.

Результаты аудиторной работы представляются в следующих основных формах:

- конспекты;
- рабочие материалы;
- доклады на семинарах, тезисы выступлений.

Уровень развития компетенций ПКС-5 и ПКС-6 в результате выполнения определенных видов работы оценивается:

- на контрольном опросе по пройденному материалу (знать);
- по результатам выполнения заданий на практических занятиях и коллоквиуме (уметь, владеть);
- при защите лабораторных работ и полученных результатах (знать, уметь).

Функциональные свойства форм аудиторной работы определены свойствами применяемых технологий, обеспечивающих изучение и освоение объема содержания дисциплины, отнесенного к определенной форме.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих образовательных технологий:

- на лекционных занятиях - проблемные лекции;
- на лабораторных работах – эксперименты, диалоги;
- на практических занятиях – работа в малых группах, коллоквиумы.

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлен зачет по промежуточной аттестации в соответствии с разделом 5.2 настоящей РПД.

### **10.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям, лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

В ходе лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала.

### **10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах**

Подготовку к каждой лабораторной работе студент должен начать с ознакомления с планом занятия, который отражает содержание предложенной темы. Каждая выполненная работа с оформленным отчетом подлежит защите у преподавателя.

При оценивании лабораторных работ учитывается следующее:

- качество выполнения экспериментально-практической части работы и степень соответствия результатов работы заданным требованиям;
- качество оформления отчета по работе;
- качество устных ответов на контрольные вопросы при защите работы.

### **10.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения семинаров и практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические (семинарские) занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков составления докладов и сообщений, обсуждения вопросов по учебному материалу дисциплины;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

### **10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

## **11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Оценочные средства и регламенты текущего и итогового контроля освоения дисциплины приведены в разделе 5 настоящей РПД.

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯЭиТФ  
\_\_\_\_\_ М.А. Легчанов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

Б1.В.ОД.7 «Физика ядерных реакторов»

(индекс по учебному плану, наименование)

для подготовки бакалавров

Направление подготовки: 14.03.02 "Ядерная физика и технологии"  
(код и наименование направления подготовки)

Направленность: "Ядерные реакторы и энергетические установки"  
(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)

Форма обучения: очная  
(очная, очно-заочная, заочная)

Год начала подготовки: 2023

Курс: 4

Семестр: 7, 8

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

- 1) в рабочую программу изменения не вносятся. Программа актуализирована для 2023 года начала подготовки;
- 2)

Разработчик РПД д.т.н., доцент, профессор кафедры  
«Ядерные реакторы и энергетические установки», \_\_\_\_\_ Г. Н. Власичев  
(подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г., протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой  
«Ядерные реакторы и энергетические установки» \_\_\_\_\_ В.В. Андреев  
(подпись)

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедры  
«Ядерные реакторы и энергетические установки» \_\_\_\_\_ В.В. Андреев  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Методический отдел УМУ

\_\_\_\_\_ (подпись) \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.



## РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины «Физика ядерных реакторов», реализуемую по основной образовательной программе высшего образования «Ядерные реакторы и энергетические установки» по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» (квалификация выпускника «бакалавр»), разработанную кафедрой «Ядерные реакторы и энергетические установки» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева»

Учебная дисциплина «Физика ядерных реакторов» представляет собой курс, в ходе изучения которого у студентов формируются профессиональные компетенции ПКС-5 и ПКС-6 прописанные в учебном плане по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии». При этом указаны требования к знаниям, умениям и навыкам, полученным в ходе изучения дисциплины, по каждой из формируемых компетенций.

Цели освоения дисциплины, соотносятся с общими целями ОП ВО по направлению подготовки 14.03.02 «Ядерная физика и технологии». В рабочей программе дано описание логической и содержательно-методической взаимосвязи с другими частями ОП ВО (дисциплинами и практиками), представлены междисциплинарные связи с другими теоретическими и практико-ориентированными дисциплинами ОП ВО, к которым относятся «Радиационная безопасность», «Кинетика ядерных реакторов», «Принципиальные схемы судовых ядерных энергетических установок», «Экономика ядерной энергетики», «Основы проектирования защиты ядерных энергетических установок», «Инженерные расчеты и проектирование ядерных энергетических установок» и др.

В процессе изучения учебной дисциплины «Физика ядерных реакторов» студенты продолжают осваивать указанные профессиональные компетенции, формирование которых начинается на проектной, а завершается на преддипломной практике.

Тематический план изучения дисциплины «Физика ядерных реакторов», образовательные технологии, оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины, перечень основной и дополнительной литературы, программного обеспечения и Интернет-ресурсы, а также материально-техническое обеспечение способствуют планомерному и качественному освоению всех указанных в плане дидактических единиц. К достоинствам рабочей программы можно отнести то, что в план дисциплины включены темы, раскрывающие сущность актуальных на сегодняшний день проблем атомного машиностроения. Рецензируемая рабочая программа дисциплины «Физика ядерных реакторов» представлена на официальном сайте вуза, отвечает нормативным требованиям федерального и локального уровня и полностью соответствует компетентностно-квалификационной характеристике выпускника указанной ОП ВО.

Наибольшую значимость для студентов придаст привлечение к преподаванию данной учебной дисциплины представителей АО «ОКБМ Африкантов», являющимся крупным научно-производственным центром атомного машиностроения, располагающим многопрофильным конструкторским коллективом, собственной исследовательской, экспериментальной и производственной базой.

Рецензент, Головкин В.Ф., д.т.н., профессор кафедры

---

(подпись)

« 31 » \_\_\_\_\_ мая 2023 г.