

**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  
А.Е. Хробостов  
«15» 06 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.Б.35 «Физика ядерных реакторов»**  
**для подготовки специалистов**

Направление подготовки: 14.05.02 «Атомные станции: проектирование,  
(код и наименование

эксплуатация и инжиниринг»  
(направления подготовки)

Направленность: Проектирование и эксплуатация атомных станций  
(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)

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

Год начала подготовки: 2021

Выпускающая кафедра: АТС  
(аббревиатура кафедры)

Кафедра-разработчик: АТС  
(аббревиатура кафедры)

Объем дисциплины: 360/10  
(часов/з.е.)

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

Разработчик(и): Рязапов Р.Р.  
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание)

НИЖНИЙ НОВГОРОД, 2021 г.

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

\_\_\_\_\_ (подпись)

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», утвержденным приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 № 154 на основании учебного плана, принятого УМС НГТУ (протокол от «15» июня 2021 г. № 7).

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры «Атомные и тепловые станции» (протокол от «2» июня 2021 г. № 4)

Заведующий кафедрой «Атомные  
и тепловые станции», д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ С.М. Дмитриев  
(подпись)

Рабочая программа рекомендована советом ИЯЭиТФ к утверждению (протокол от «10» июня 2021 г. № 3)

Председатель УМС ИЯЭиТФ,  
директор ИЯЭиТФ, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ А.Е. Хробостов  
(подпись)

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ регистрационный №\_14.05.02-а-46

Представитель методического отдела УМУ

\_\_\_\_\_ (подпись)

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 .....	4
4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп во .....	7
5. Структура и содержание дисциплины .....	10
6. Текущий контроль успеваемости и аттестация по итогам освоения дисциплины.....	17
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины .....	25
8. Информационное обеспечение дисциплины.....	27
9. Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с овз .....	28
10. Материально-техническое обеспечение, необходимое для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	29
11. Методические рекомендации обучающимся по освоению дисциплины .....	30
12. Оценочные средства для контроля освоения дисциплины.....	32

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

**1.1. Целью освоения дисциплины является** формирование знаний в области нейтронно-физической теории критических ядерных реакторов и приобретение навыков расчета активных зон ядерных энергетических реакторов.

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

1) изучение основных вопросов физической теории ядерных реакторов (теория критических размеров, теория гетерогенного реактора, физика нестационарных процессов в ядерных реакторах);

2) изучение зависимостей нейтронно-физических характеристик ядерного реактора от параметров, определяющих состав, структуру и физическое состояние активной зоны;

3) подготовка к деятельности, связанной с нейтронно-физическими расчетами активных зон ядерных реакторов по известным методикам.

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

Учебная дисциплина «Физика ядерных реакторов» включена в перечень обязательных дисциплин базовой части и направлена на углубление уровня освоения компетенций ОПК-1, ПКС-7. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС ВО, ОП ВО и УП.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется данная дисциплина являются: «Математический анализ», «Обыкновенные дифференциальные уравнения», «Аналитическая геометрия. Линейная алгебра», «Теория функций комплексного переменного», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Физика», «Физика специальная (атомная)», «Математические методы моделирования физических процессов в НИР», «Ядерная физика», «Атомные электрические станции».

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.

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

В результате освоения дисциплины «Физика ядерных реакторов» у обучающегося частично формируются компетенции ОПК-1 с формулировкой «Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования» и ПКС-7 с формулировкой «Способен применять в профессиональной деятельности знания основ ядерной физики, термодинамики, электротехники, механики, гидравлики, материаловедения, водоподготовки и организации безопасного технологического процесса производства тепловой и электрической энергии на различных режимах эксплуатации АЭС, выполнять расчеты нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активной зоны и эксплуатационных параметров реакторной установки с использованием современных методик и пакетов прикладных компьютерных программ».

Полное формирование компетенций ОПК-1 и ПКС-7 осуществляется последовательно при изучении других дисциплин и в процессе практической подготовки (таблица 1).

**Таблица 1 - Формирование компетенций ОПК-1 и ПКС-7**

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.	9 сем.	А сем.
ОПК-1	Химия	●									
	Математический анализ	●	●								
	Обыкновенные дифференциальные уравнения		●								
	Аналитическая геометрия. Линейная алгебра	●									
	Теория функций комплексного переменного			●							
	Теория вероятностей и математическая статистика					●					
	Физика	●	●	●							
	Прикладная физика		●	●							
	Теоретическая механика		●	●							
	Механика жидкости и газа			●							
	Техническая термодинамика				●						
	Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии					●					
	Физика специальная (атомная)					●					
	Механика					●					
	Математические методы моделирования физических процессов в НИР					●	●				
	Электротехника и электроника					●	●				
	Тепломассообмен в энергетических установках					●	●				
	Ядерная физика						●				
	Материаловедение							●			
	Технология конструкционных материалов							●			
ПКС-7	Физика ядерных реакторов							●	●		
	Водоподготовка						●				
	Электрооборудование электростанций								●		
	Сварка							●		●	
	Ознакомительная практика				●						
	Научно-исследовательская работа	●							●	●	
	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы										●
	Механика жидкости и газа					●					
	Техническая термодинамика					●					

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.	9 сем.	А сем.	В сем.
	Атомные электрические станции					●	●					
	Ядерные энергетические реакторы							●	●			
	Надежность и долговечность элементов энергооборудования								●			
	Инновационные подходы в проектировании и конструировании реакторов АЭС									●		
	Инжиниринг в атомной энергетике									●		
	Принципы обеспечения безопасности АЭС									●		
	Режимы работы атомных и тепловых электрических станций										●	
	Защита от ионизирующего излучения								●			
	Организация радиационной безопасности на АЭС								●			
	Преддипломная практика											●
	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы											●

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП ВО

Компетенции ОПК-1 и ПКС-7 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	
		Текущего контроля	Промежуточной аттестации			
<b>ОПК-1</b> Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<b>ИОПК-1.1</b> Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	<b>Знать:</b> - типы ядерных реакторов и их физические особенности; - нейтронно-физические процессы, протекающие в активной зоне ядерного реактора.	<b>Уметь:</b> применять базовые знания естественнонаучных дисциплин при определении основных нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторов.	<b>Владеть:</b> навыками решения задач физики ядерных реакторов, а также навыками решения проблем нераспространения ядерного горючего при анализе топливных циклов реакторов различного типа.	Планы семинаров на практических занятиях 3, 8-15 с перечнями обсуждаемых вопросов и расчетные задания на практических занятиях 1, 2, 4-7 (оценка по критерию 1 и 2 из таблицы 6)	Перечень контрольных вопросов
	<b>ИОПК-1.2</b> Применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	<b>Знать:</b> - теоретические основы расчета основных нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторов; - основные соотношения для оценок нейтронно-физических характеристик элементарных ячеек активной зоны реактора, активной зоны голого реактора и реактора с	<b>Уметь:</b> определять взаимосвязь между конструкцией реактора и методами, используемыми для оценки нейтронно-физических характеристик активной зоны.	<b>Владеть:</b> терминологией, принятой в физике ядерных реакторов, проблематикой ядерных реакторов в объеме, необходимом для практического применения знаний при их разработке.		

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		отражателем.			Текущего контроля	Промежуточной аттестации
<b>ПКС-7</b> Способен применять в профессиональной деятельности знания основ ядерной физики, термодинамики, электротехники, механики, гидравлики, материаловедения, водоподготовки и организации безопасного технологического процесса производства тепловой и электрической энергии на различных режимах эксплуатации АЭС, выполнять расчёты нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активной зоны и эксплуатационных параметров реакторной установки с использованием современных методик и пакетов прикладных компьютерных программ	<b>ИПКС-7.1</b> В профессиональной деятельности применяет знания основ ядерной физики, термодинамики, электротехники, механики, гидравлики, материаловедения, водоподготовки и организации безопасного технологического процесса производства тепловой и электрической энергии на различных режимах эксплуатации АЭС	<b>Знать:</b> - механизмы взаимодействия нейтронов с ядрами материала активной зоны, замедления и диффузии нейтронов в активной зоне реактора; - временные процессы выгорания горючего, отравления реактора, иметь представление об обратных связях в активной зоне и регулировании реактивности в реакторе; - различные методы расчета активной зоны реактора, топливные циклы и нейтронно-физические особенности энергетических реакторов различного типа.	<b>Уметь:</b> - определять длину замедления нейтронов в графите; - измерять длину диффузии нейтронов в графите по методу Боте; - оценивать влияния блочности системы на резонансное поглощение; - определять пространственное распределение медленных и тепловых нейтронов в воде, оценивать сечения поглощения тепловых нейтронов водородом;	<b>Владеть:</b> навыками решения задач по определению: сечений в резонансной области энергий; параметров замедления нейтронов; критических параметров однородных реакторов в том числе с отражателем; составляющих коэффициента размножения в гетерогенном реакторе; эффектов в реакторе; величины стационарного и нестационарного отравления; запаса реактивности и кампании реактора.	Планы семинаров на практических занятиях 3, 8-15 с перечнем обсуждаемых вопросов и расчетные задания на практических занятиях 1, 2, 4-7 (оценка по критерию 1 и 2 из таблицы 6)	
	<b>ИПКС-7.2</b> Выполняет расчёты нейтронно-физических и теплогидравлических характеристик активной зоны и эксплуатационных параметров реакторной установки с использованием современных методик и пакетов прикладных компьютерных программ	<b>Знать:</b> основы работы с компьютерной техникой для проведения нейтронно-физического расчета активной зоны (в гомогенном и гетерогенном приближении).	<b>Уметь:</b> применять пакеты компьютерных программ для оптимизации и автоматизации проведения расчетов ядерного реактора.	<b>Владеть:</b> навыками использования современных пакетов прикладных компьютерных программ, применительно к расчетам активной зоны ядерного реактора.		Выполнение курсовой работы; Перечень контрольных вопросов

Освоение дисциплины причастно к ТФ В/02.7 «Руководство инженерно-физическими сопровождением эксплуатации активной зоны реакторной установки» (ПС 24.028 «Специалист ядерно-физической лаборатории в области атомной энергетики») и к ТФ С/01.7 «Обеспечение безопасной и

экономичной эксплуатации реакторной установки или оборудования и технологических систем блока атомной электростанции» (ПС 24.088 «Специалист (инженер) по эксплуатации и руководству эксплуатацией блока (блоков) атомной станции»), впоследствии у студента формируется способность решать следующие профессиональные задачи:

- участие в проектировании основного оборудования АС и других ЯЭУ с учетом экологических требований и требований безопасной работы;
- выполнение теплогидравлических, нейтронно-физических и прочностных расчетов узлов и элементов проектируемого оборудования с использованием современных средств.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц (з.е.) или 360 академических часов, в том числе контактная работа обучающихся с преподавателем - 163 часа, самостоятельная работа обучающихся - 161 час, контроль - 36 часов (таблица 3).

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

Вид учебной работы	Трудоемкость, ч		
	Всего	7 семестр	8 семестр
Формат изучения дисциплины	с использованием элементов электронного обучения		
Общая трудоемкость	360	216	144
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>163</b>	<b>91</b>	<b>72</b>
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	153	85	68
Занятия лекционного типа (Л)	68	34	34
Практические занятия (ПЗ)	51	17	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	34	-
1.2. Внеаудиторная работа, в том числе:	10	6	4
Консультации по дисциплине	4	2	2
Курсовая работа (КР) (консультация, защита)	4	2	2
Промежуточная аттестация	2	2	-
<b>2. Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>	<b>197</b>	<b>125</b>	<b>72</b>
Проработка источников информации (повторение пройденного материала, изучение и конспектирование рекомендованной литературы)	69	47	22
Подготовка к практическим занятиям	48	24	24
Курсовая работа (КР)	36	18	18
Подготовка к зачету	8	-	8
Подготовка к экзамену (контроль)	36	36	--

## 5.2. 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**

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									
<i>7 семестр</i>														
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2  ПКС-7 ИПКС-7.1	Тема №1. Введение. Основные определения	2	-	-	-	2	п. 1 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №2. Обзор сечений взаимодействия нейтронов с ядрами среды	4	-	-	0,5	3	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №1. Расчет сечений в резонансной области энергий	-	-	2	-	2	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Тема №3. Процесс деления и его параметры	2	-	-	-	3	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №4. Цепная реакция деления	2	-	-	0,5	3	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция						
	Практическое занятие №2. Определение коэффициентов в формуле 4-х сомножителей	-	-	2	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Тема №5. Замедление нейтронов	4	-	-	0,5	4	п. 3 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Лабораторная работа №1. Определение длины замедления нейтронов в графите	-	4	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа						
	Практическое занятие №3. Процесс замедления нейтронов	-	-	1	-	2	п. 3 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				

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												
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине	Самостоятельная работа студентов								
	Тема №6. Диффузия нейтронов	6	-		1	4	п. 3 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Лабораторная работа №2. Измерение длины диффузии тепловых нейтронов в графите по методу Боте	-	5	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Практическое занятие №4. Уравнение диффузии в среде без деления для различной геометрии	-	-	2	-	2	п. 3 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Лабораторная работа №3. Определение длины экстраполяции на плоской границе вода-вакуум	-	5	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Лабораторная работа №4. Определение альбедо тепловых нейтронов от парафина	-	5	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Лабораторная работа №5. Изучение пространственного распределения медленных и тепловых нейтронов в воде, оценка сечения поглощения тепловых нейтронов водородом	-	5	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Тема №7. Теория критических размеров	4	-	-	1	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №5. Определение критических параметров однородных реакторов в том числе с отражателем	-	-	3	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Тема №8. Гетерогенные реакторы. Теория решетки	2	-	-	0,5	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				

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												
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине	Самостоятельная работа студентов								
	Лабораторная работа №6. Изучение влияния блочности системы на резонансное поглощение	-	5	-	-	2	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Практическое занятие №6. Определение составляющих коэффициента размножения в гетерогенном реакторе. Оценка эффективных резонансных интегралов	-	-	2	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Лабораторная работа №7. Резонансный интеграл поглощения	-	5	-	-	3	Методические указания по лабораторной работе	Лабораторная работа	-	-				
	Тема №9. Температурные эффекты в реакторе	2	-	-	0,5	2	п. 1, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №7. Определение температурных эффектов в реакторе	-	-	2	-	2	п. 1, 4 табл. 8 РПД	Работа в малых группах	-	-				
	Тема №10. Изменение изотопного состава реактора во времени. Временные процессы в реакторе	2	-	-	0,5	2	п. 2, 3 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №8. Процессы стационарного и нестационарного отравления реактора	-	-	1	-	1	п. 2, 3 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Тема №11. Управление реактором	2	-	-	0,5	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №9. Регулирующие стержни и выгорающие поглотители	-	-	1	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				

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												
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине	Самостоятельная работа студентов								
	Тема №12. Баланс реактивности и общая схема расчета кампании реактора	2	-	-	0,5	3	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №10. Запас реактивности и кампания реактора	-	-	1	-	1	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Курсовая работа (КР)	-	-	-	2	18	Методические указания по курсовой работе	Консультация	-	-				
	Подготовка к экзамену	-	-	-	-	36								
ИТОГО за 7 семестр:		34	34	17	6	125								
<i>8 семестр</i>														
ОПК-1 ИОПК-1.1 ИОПК-1.2  ПКС-7 ИПКС-7.1 ИПКС-7.2	Тема №13. Кинетическое уравнение баланса нейтронов	2	-	-	0,25	2	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №14. Функция ценности нейтронов, кинетическое уравнение ценности	2	-	-	0,25	2	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №15. Метод сферических гармоник. Р <sub>1</sub> - и диффузионное приближение кинетического уравнения	2	-	-	-	2	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №16. Sn - метод решения кинетического уравнения	2	-	-	0,25	2	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №17. Метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности	2	-	-	0,25	4	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				

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												
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине	Самостоятельная работа студентов								
	Практическое занятие №11. Алгоритмы и программы расчета длины свободного пробега нейтрона методом Монте-Карло	-	-	6	-	2	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Тема №18. Методы решения энергетической задачи	4	-	-	0,25	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №12. Спектр нейтронов, ценность и коэффициент размножения в многогрупповом энергетическом приближении	-	-	6	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Тема №19. Методы решения пространственных задач	4	-	-	0,25	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №13. Распределение нейтронов и коэффициент размножения в плоском реакторе	-	-	6	-	2	п. 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Тема №20. Теория возмущений	4	-	-	0,25	4	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №14. Эффективность органов СУЗ по теории возмущений	-	-	6	-	2	п. 3, 4 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Тема №21. Общие принципы проведения расчетов реакторов	2	-	-	0,25	2	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №22. Нейтронно-физические особенности энергетических реакторов	4	-	-	0,25	4	п. 4 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №23. Особенности топливных циклов энергетических реакторов	2	-	-	0,25	2	п. 2, 3 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				

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												
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Консультации по дисциплине	Самостоятельная работа студентов								
	Практическое занятие №15. Оценка риска распространения для реакторов различного типа			4		2	п. 2, 3 табл. 8 РПД							
	Тема №24. Ядерный топливный цикл и трансмутация	2	-	-	0,25	2	п. 2, 3 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Тема №25. Решение проблемы нераспространения ядерного горючего при анализе топливных циклов реакторов различного типа	2	-	-	0,25	4	п. 2 табл. 8 РПД	Лекция	-	-				
	Практическое занятие №16. Риски распространения для реакторов различного типа	-	-	6	-	2	п. 2 табл. 8 РПД	Семинар	-	-				
	Курсовая работа (КР)	-	-	-	1	18	Методические указания по курсовой работе	Консультация	-	-				
	Подготовка к зачету					8	Повторение пройденного материала							
ИТОГО за 8 семестр:		34	-	34	4	72								
ИТОГО:		68	34	51	10	197								

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

### 6.1. 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	
2	1	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Расчет сечений в резонансной области энергий»:</u></p> <p><u>Задание 1</u> Сравнить значения сечений, вычисленных при корпускулярном представлении нейтрона <math>\sigma = \pi R^2</math> (<math>R = 1,5 \cdot 10^{-13} \text{ A}^{1/3} \text{ см}</math>) и волновом представлении нейтрона <math>\sigma = \pi \lambda^2</math> (<math>\lambda = 0,45 \cdot 10^{-9} \sqrt{E}</math>, <math>E</math> [эВ]). Для каких значений массовых чисел <math>A</math> и каких энергий они близки?</p> <p><u>Задание 2</u> Определить величину резонансного сечения радиационного захвата U-238 для первого уровня <math>Er = 6,8</math> эВ в его максимуме при средней энергии нейтронов 100 эВ, используя формулу Брейта-Вигнера (<math>G_{\text{п}}=0,57 \cdot 10^{-3}</math> эВ, <math>G_{\gamma}=25 \cdot 10^{-3}</math> эВ, статистический множитель для U-238 равен 1).</p> <p><u>Задание 3</u> Сечение нуклида пропорционально <math>1/V</math>. Распределение нейтронов по энергии соответствует спектру Ферми. Найти среднее сечение нуклида в интервале энергий <math>E_1=25</math> эВ, <math>E_2=9</math> эВ.</p> <p><u>Задание 4</u> Найти среднее сечение поглощения U-235 в непоглощающей среде с температурой замедлителя 500 К если сечение поглощения при температуре 20 °C равно 650 барн.</p> <p><u>Задание 5</u> Найти среднее сечение поглощения U-235 в среде с поглощением с температурой замедлителя 500 К если сечение поглощения при температуре 20 °C равно 650 барн. Макроскопическое сечение поглощения среды составляет <math>0,01 \text{ см}^{-1}</math>, замедляющая способность <math>0,06 \text{ см}^{-1}</math>.</p>
4	2	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Определение коэффициентов в формуле 4-х замедлителей»:</u></p> <p><u>Задание 1</u> Определить <math>K_{\infty}</math> в 5% растворе <math>\text{UCl}_3</math> (уран-235) в легкой воде. Влиянием хлора пренебречь. <math>\gamma=5</math> г/см<sup>3</sup>. (<math>\sigma_{\text{U-235}}=680</math> барн, <math>\sigma_{\text{H}}=0,332</math> барна, <math>\sigma_{\text{O}}=20 \cdot 10^{-5}</math> барн)</p> <p><u>Задание 2</u> Найти коэффициент размножения нейтронов в реакторе, если в первом поколении родилось <math>10^{10}</math>, а в 4-м поколении <math>3,38 \cdot 10^{10}</math> нейтронов.</p> <p><u>Задание 3</u> Найти изменение нейтронной мощности в тепловом реакторе с сечением поглощения <math>0,01 \text{ см}^{-1}</math> за 10 с, если коэффициент размножения составляет 1,005. Оценить вклад запаздывающих нейтронов, приняв их время жизни равным 0,1 с.</p>
5	3	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Процесс замедления нейтронов»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Упругое рассеяние.</li> <li>2. Свойства замедлителей.</li> <li>3. Спектр замедляющихся нейтронов.</li> </ol>
6	4	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Уравнение диффузии в среде без деления для различной геометрии»:</u></p> <p><u>Задание 1</u> На плоскую грань большого графитового блока падают <math>I_0</math> нейтронов (на <math>1 \text{ см}^2</math> за 1 секунду). Считая, что блок занимает все полупространство <math>x \geq 0</math>, а нейтроны падают со стороны <math>x &lt; 0</math>, вычислить нейтронный поток в блоке. Какая доля нейтронов отражается? Принять сечение поглощения в графите 0,004 барн, а сечение рассеяния 4,7 барн, плотность графита 1,7 г/см<sup>3</sup>.</p> <p><u>Задание 2</u> Изотропный точечный источник тепловых нейтронов расположен в центре однородной сферы радиусом <math>R</math> с сечением рассеяния <math>\Sigma_s</math> и сечением поглощения <math>\Sigma_a</math>. Сфера находится в вакууме. Какое число нейтронов покидает сферу при: 1) <math>\Sigma_a \neq 0</math>; 2) <math>\Sigma_a = 0</math>? Принять мощность источника равной 1.</p> <p><u>Задание 3</u></p>

Номер темы		Перечни контрольных вопросов и заданий
цикла	практических занятий	
		<p>Изотропный точечный источник тепловых нейтронов расположен на радиусе <math>r_0</math> однородной сферы радиусом <math>R</math> с сечением рассеяния <math>\Sigma_s</math> и сечением поглощения <math>\Sigma_a</math>. Найти распределение нейтронов по радиусу сферы. Принять мощность источника равной 1.</p> <p><u>Задание 4</u></p> <p>Найти средний поток нейтронов в активной зоне реактора с объемом <math>10 \text{ м}^3</math> тепловой мощностью <math>100 \text{ МВт}</math>. Среднее сечение деления в активной зоне составляет <math>0,001 \text{ см}^{-1}</math>.</p>
7	5	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Определение критических параметров однородных реакторов в том числе с отражателем»:</u></p> <p><u>Задание 1</u></p> <p>Определить критический размер реактора в виде куба, содержащего среду с <math>K_\infty=1,3</math>. Эффективная добавка отражателя <math>\delta=5\text{см}</math>. Площадь миграции <math>M^2=100\text{см}^2</math>.</p> <p><u>Задание 2</u></p> <p>Определить максимальный коэффициент неравномерности распределения плотности нейтронного потока в параллелепипеде со сторонами <math>a, b, c</math>? В кубе со стороной <math>a</math>?</p> <p><u>Задание 3</u></p> <p>Раствор соли урана в воде имеет <math>K_\infty=1,4</math>. Залитый в бак, имеющий форму куба со стороной 40 см, он образует критическую систему. Как изменится коэффициент размножения, если этот раствор перелить в цилиндрический бак диаметром 40 см с той же высотой. Эффективная добавка отражателя 8 см.</p> <p><u>Задание 4</u></p> <p>В бак с водой помещен источник нейтронов. Детектор, размещенный за баком, показывает 10 имп/с. После размещения в баке 20 урановых стержней он стал показывать 100 имп/с, а после загрузки еще 5 стержней его показание – 150 имп/с. Какое количество стержней составляет критическую массу?</p> <p><u>Задание 5</u></p> <p>Уран-графитовая призма имеет вид длинного цилиндра радиусом 10 см. Поток нейтронов спадает по длинной стороне призмы по экспоненте, уменьшаясь в <math>e</math> раз на 15 см. Можно ли из такой уран-графитовой смеси сделать критический реактор?</p> <p><u>Задание 6</u></p> <p>Призма из смеси урана и графита имеет форму правильного цилиндра с радиусом 20 см и высотой 250 см. На его торце помещен источник нейтронов. Распределение плотности потока вдоль оси <math>z</math> аппроксимируется функцией <math>\Phi=\Phi_0 e^{-\lambda z}</math>, <math>20 \leq z &lt; 250</math> см. Определить условия, при которых призма будет критической. Определить ее минимальный критический объем. Рассмотреть случаи, когда <math>\lambda=0,2 \text{ см}^{-1}</math>, <math>\lambda=0,1 \text{ см}^{-1}</math> и <math>\lambda=0,05 \text{ см}^{-1}</math>.</p> <p><u>Задание 7</u></p> <p>Найти минимальное отношение ядерных концентраций <math>\rho_{\text{U-235}} / \rho_c</math> для обеспечения критичности в бесконечно большой уран-графитовой системе при температуре <math>20^\circ\text{C}</math>. (Значения вероятности избежать резонансного захвата и коэффициент размножения на быстрых нейтронах принять равными 1).</p> <p><u>Задание 8</u></p> <p>Пусть требуется построить однородный на основе смеси U-235 и Be сферический реактор без отражателя радиусом 50 см. Какое отношение количеств U-235 и Be нужно взять, чтобы реактор стал критическим. (Значения вероятности избежать резонансного захвата и коэффициент размножения на быстрых нейтронах принять равными 1). Принять <math>L^2_{\text{Be}} = 560 \text{ см}^2</math>, <math>\tau_{\text{Be}} = 98 \text{ см}^2</math>.</p> <p><u>Задание 9</u></p> <p>Найти соотношение толщины активной зоны и отражателя в критическом плоском реакторе с активной зоной, имеющей материальный параметр <math>10^{-4} \text{ см}^{-2}</math>.</p> <p>Отражатель графитовый, характеризуется коэффициентом диффузии, равным 0,83 см, и сечением поглощения <math>0,00033 \text{ см}^{-1}</math>. Коэффициент диффузии в активной зоне 1 см.</p>
8	6	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Определение составляющих коэффициента размножения в гетерогенном реакторе. Оценка эффективных резонансных интегралов»:</u></p> <p><u>Задание 1</u></p> <p>Оценить вероятность избежать резонансного поглощения в гомогенной уран-графитовой смеси. Обогащение по U-235 10%. Плотность урана в смеси <math>0,24 \text{ г/см}^3</math>, плотность графита <math>1,6 \text{ г/см}^3</math>. Сечение рассеяния графита 4,7 барна. Сечение потенциального рассеяния U-238 принять равным 8,7 барна. Использовать формулу для гомогенного резонансного интеграла <math>I_{\text{рез}} = 3,8\sigma_p^{0,42} \cdot \xi_{\text{графита}} = 0,158</math></p> <p><u>Задание 2</u></p> <p>Твэлы из металлического урана с обогащением 10% по U-235 диаметром 6 мм расположены в</p>

Номер темы		Перечни контрольных вопросов и заданий	
цикла	практических занятий		
		<p>графите с шагом треугольной решетки 50 мм. Высота активной зоны 2 м. Оценить вероятность избежать резонансного поглощения в такой гетерогенной решетке. Плотность графита 1,7 г/см<sup>3</sup>. Плотность металлического урана 18,7 г/см<sup>3</sup>. Сечение рассеяния графита 4,7 барна. Использовать формулу резонансного интеграла для блока урана</p> $I_{рез} = 4,15 + 26,6 \sqrt{\frac{S_{\text{блока}}}{M}} \cdot \xi_{\text{графита}} = 0,158$ <p><u>Задание 3</u></p> <p>Тзвэлы из металлического урана с обогащением 10% по U-235 диаметром 6 мм расположены в графите с шагом треугольной решетки 50 мм. Оценить вероятность избежать резонансного поглощения в такой гетерогенной решетке. Плотность графита 1,7 г/см<sup>3</sup>. Плотность металлического урана 18,7 г/см<sup>3</sup>. Сечение рассеяния графита 4,7 барна. Использовать теорему эквивалентности и формулу для гомогенного резонансного интеграла <math>I_{рез} = 3,8\sigma_p^{0,42} \cdot \xi_{\text{графита}} = 0,158</math>. Сравнить решение с решением предыдущих задач.</p>	
9	7	<p><u>Задачи для решения при работе в малых группах по теме «Определение температурных эффектов в реакторе»:</u></p> <p><u>Задание 1</u></p> <p>Какой температурный коэффициент реактивности предпочтительнее иметь в реакторе <math>\alpha_{t,1} = +10^{-4} 1/\text{°C}</math>; <math>\alpha_{t,2} = -10^{-4} 1/\text{°C}</math>? Почему?</p> <p><u>Задание 2</u></p> <p>Сравнить энергозапас двух реакторов с отрицательным температурным коэффициентом реактивности, работающими при различных средних температурах (<math>T_1 = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}</math>, <math>T_2 = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}</math>). (Температурный коэффициент положить равным <math>-10^{-4} 1/\text{град.}</math>)</p> <p><u>Задание 3</u></p> <p>Два реактора имеют одну и ту же среднюю температуру <math>400 \text{ }^{\circ}\text{C}</math>. Температурный коэффициент реактивности в первом реакторе равен <math>-10^{-4} 1/\text{град.}</math>, во втором реакторе равен <math>-2 \cdot 10^{-4} 1/\text{град.}</math> В каком реакторе энергозапас выше?</p>	
10	8	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Процессы стационарного и нестационарного отравления реактора»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выгорание топлива.</li> <li>2. Отравление <math>Xe^{135}</math>.</li> <li>3. Нестационарное отравление <math>Xe</math>.</li> <li>4. Неустойчивость, связанная с <math>Xe</math>-вым эффектом.</li> <li>5. Отравление самарием (<math>Sm</math>).</li> <li>6. Зашлаковывание реактора.</li> </ol>	
11	9	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Регулирующие стержни и выгорающие поглотители»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Центральный стержень, полностью погруженный в реактор.</li> <li>2. Эффективность центрального стержня в двухгрупповом приближении.</li> <li>3. Полностью погруженный стержень, расположенный в активной зоне произвольно.</li> <li>4. Эффективность решетки стержней.</li> <li>5. Использование выгорающих поглотителей.</li> </ol>	
12	10	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Запас реактивности и кампания реактора»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Балансные соотношения для реактивности.</li> <li>2. Аппроксимационная методика расчета кампании.</li> </ol>	
17	11	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Алгоритмы и программы расчета длины свободного пробега нейтрона методом Монте-Карло»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные принципы метода и его использования для задач расчета реактора.</li> <li>2. Численное решение задачи методом Монте-Карло. <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Получение необходимых случайных величин.</li> <li>2.2 Построение траекторий отдельных нейтронов.</li> <li>2.3 Алгоритм с использованием «веса» нейтронов.</li> </ol> </li> </ol>	
18	12	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Спектр нейтронов, ценность и коэффициент размножения в многогрупповом энергетическом приближении»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Диффузионно-возрастное приближение.</li> <li>2. Метод групп для решения энергетической задачи.</li> <li>3. Простейшие методы получения многогрупповых сечений. Системы ядерно-физических констант.</li> <li>4. Многогрупповое уравнение баланса нейтронов в Р1 и диффузионном приближениях.</li> </ol>	

Номер темы		Перечни контрольных вопросов и заданий
цикла	практических занятий	
19	13	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Распределение нейтронов и коэффициент размножения в плоском реакторе»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Решение многогрупповых уравнений диффузии для потока и ценности нейтронов в «голом» реакторе.</li> <li>2. Численные методы решения многогрупповых уравнений диффузии.</li> <li>3. Методы решения пространственной задачи для 2-х мерных и 3-х мерных областей.</li> </ol>
20	14	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Эффективность органов СУЗ по теории возмущений»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формула теории возмущений для расчета изменения реактивности в общем виде.</li> <li>2. Формула теории возмущения в многогрупповом диффузационном приближении.</li> <li>3. Эффективность стержня в центре реактора по теории возмущений.</li> </ol>
25	15	<p><u>Вопросы для обсуждения на семинаре по теме «Риски распространения для реакторов различного типа»:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Современные методологии анализа характеристик нераспространения и сопротивляемости распространению.</li> <li>2. Общие рекомендации МАГАТЭ.</li> <li>3. Рекомендации МАГАТЭ к установкам обогащения, изготовления свежего топлива, переработки и хранения ядерного топлива.</li> <li>4. Основные базовые принципы методологии оценок нераспространения ИНПРО.</li> <li>5. Сравнение реакторных технологий по сопротивляемости распространению.</li> </ol>

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится путем контрольного опроса по следующему перечню вопросов:

Экзамен (7 семестр):

1. Определения плотности потока нейтронов, плотности тока нейтронов, вычисление ядерных концентраций.
2. Определение сечений взаимодействия нейтронов с ядрами среды. Зависимость сечения деления урана-235, плутония-239 и урана-238 от энергии нейтронов.
3. Энергия связи нуклона в ядре, определение энергии реакции по дефекту масс.
4. Условие резонанса, эффект Доплера.
5. Закон радиоактивного распада.
6. Реакция деления, необходимые условия, баланс энергии при делении.
7. Чем определяются остаточные энерговыделения в реакторе, их оценка?
8. Понятие эффективного коэффициента размножения, формула 4-х сомножителей, физический смысл сомножителей. Вероятность избежать утечки в процессе замедления и диффузии.
9. Запаздывающие нейтроны и их роль в нейтронном балансе.
10. Замедление нейтронов, закон рассеяния, понятие летаргии, плотность замедления и ее физический смысл. Спектр замедляющихся нейтронов.
11. Диффузия нейтронов. Закон Фика.
12. Решения уравнения диффузии для замедляющих сред с различными источниками.
13. Первая основная теорема теории реакторов, материальный и геометрический параметры, геометрические параметры для куба, сферы, цилиндра.
14. Решения уравнения диффузии для голого реактора в различной геометрии.
15. Коэффициенты неравномерности распределения потока в кубе, цилиндре, сфере.
16. Понятие длины экстраполяции. Альбедо отражателя.
17. Добавка отражателя, влияние отражателя на коэффициент размножения и энергораспределение в реакторе.
18. За счет каких реакций изменяется изотопный состав в реакторе?
19. Как изменяются концентрации U-235, U-238 с выгоранием?
20. Изменение энерговыделения и потока нейтронов при выгорании на постоянной мощности.
21. Что такое стационарное отравление Xe-135, определение и оценка?
22. Чем обусловлено нестационарное отравление Xe-135?

23. Резонансный интеграл и вероятность избежать резонансного захвата, формулы для вычисления гомогенного резонансного интеграла, соотношение эквивалентности.

24. Влияние гетерогенного расположения блоков горючего на коэффициенты в формуле 4-х сомножителей.

25. Эффективность поглощающих стержней. От чего зависит эффективность стержня в центре реактора?

26. Как меняется эффективность в зависимости от места установки стержня в реакторе?

27. Выгорающие поглотители, на чем основан принцип их использования.

28. Понятие реактивности, температурные коэффициенты реактивности, зависимость коэффициентов в формуле 4-х сомножителей от температуры.

29. Запас реактивности и его составляющие.

30. Поведение потока нейтронов в подкритическом и критическом реакторе с внешним источником нейтронов.

Зачет (8 семестр):

1. Баланс нейтронов в реакторе и кинетическое уравнение, физический смысл его членов.

2. Задача о критическом реакторе.

3. Понятие ценности нейтронов.

4. Функция ценности.

5. Простейшие формы кинетического уравнения.

6. Метод сферических гармоник.

7.  $P_1$  и диффузионное приближение кинетического уравнения.

8.  $S_n$  метод решения кинетического уравнения (основные принципы).

9. Метод Монте-Карло для решения задач переноса нейтронов и критичности.

10. Диффузионно-возрастное приближение решения энергетической задачи.

11. Метод групп для решения энергетической задачи.

12. Выражения для потока и ценности в многогрупповом приближении.

13. Выражение для коэффициента размножения в двухгрупповом энергетическом приближении.

14. Простейшие методы получения многогрупповых сечений. Системы ядерно-физических констант.

15. Многогрупповое уравнение баланса нейтронов в  $P_1$  и диффузионном приближениях.

16. Решение многогрупповых уравнений диффузии для потока и ценности нейтронов в «голом» реакторе.

17. Численные методы решения многогрупповых уравнений диффузии.

18. Методы решения пространственной задачи для 2-х мерных и 3-х мерных областей.

19. Понятие топливного цикла реактора. Открытый и замкнутый топливные циклы.

Воспроизводство топлива.

20. Основные нейтронно-физические особенности реакторов с водой под давлением типа ВВЭР.

21. Основные нейтронно-физические особенности канальных водяных реакторов типа РБМК.

22. Основные нейтронно-физические особенности тяжеловодных канальных реакторов.

23. Основные нейтронно-физические особенности газоохлаждаемых реакторов.

24. Основные нейтронно-физические особенности реакторов на быстрых нейтронах.

25. Понятие топливного цикла. Типы топливных циклов. Открытый и замкнутый топливный цикл.

26. Воспроизводство ядерного горючего в реакторах. Определение коэффициента воспроизводства. Возможность расширенного воспроизводства при  $K_B > 1$ .

27. Изотопный состав в энергетических реакторах.

28. Ядерный топливный цикл и трансмутация.

29. Основные характеристики топливного цикла реактора, определяющие риск распространения.

**Примерное задание для курсовой работы**

**7 семestr.**

**Задание:** Произвести нейтронно-физический расчет активной зоны (в гомогенном и гетерогенном приближении).

Заданные параметры расчетной схемы:

$W = 5500$  МВт – тепловая мощность реактора

$q = 5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}}$  – средняя линейная мощность твэлов

$z = 3\%$  - обогащение топлива (содержание U-235)

$d_{\text{твэ}} = 6$  мм – наружный диаметр твэла

$T = 250$  мм – шаг расположения каналов в активной зоне

$D = 60$  мм – наружный диаметр тепловыделяющего канала

$n_{\text{твэ}} = 19$  – число твэлов в канале

$\delta_{\text{к}} = 2$  мм – толщина стенки канала

$\delta_{\text{твэ}} = 0.5$  мм – толщина оболочки твэла

$\gamma_{UO_2} = 10 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  – плотность топлива

Чехол канала и оболочки твэлов выполнены из циркония.

Рассчитывается холодный, разотравленный, незашлакованный реактор.

$T_{\text{ср}} = 293$  К

## 8 семестр

**Задание:** Произвести нейтронно-физический расчет активной зоны (в гомогенном и гетерогенном приближении) 69-ти групповым методом с использованием ПО WIMS. Сравнить полученные результаты с результатами, полученными в ходе выполнения курсовой работы в 7 семестре.

Заданные параметры расчетной схемы:

$W = 5500$  МВт – тепловая мощность реактора

$q = 5 \frac{\text{кВт}}{\text{м}}$  – средняя линейная мощность твэлов

$z = 3\%$  - обогащение топлива (содержание U-235)

$d_{\text{твэ}} = 6$  мм – наружный диаметр твэла

$T = 250$  мм – шаг расположения каналов в активной зоне

$D = 60$  мм – наружный диаметр тепловыделяющего канала

$n_{\text{твэ}} = 19$  – число твэлов в канале

$\delta_{\text{к}} = 2$  мм – толщина стенки канала

$\delta_{\text{твэ}} = 0.5$  мм – толщина оболочки твэла

$\gamma_{UO_2} = 10 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  – плотность топлива

Чехол канала и оболочки твэлов выполнены из циркония.

Рассчитывается холодный, разотравленный, незашлакованный реактор.

$T_{\text{ср}} = 293$  К

## 6.2. 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»:

1. Положение о фонде оценочных средств для установления уровня сформированности компетенций обучающихся и выпускников на соответствие требованиям ФГОС ВО от 25 декабря 2014 года (СМК-ПВД-7.5-11.4-12-14).

2. 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 компетенций ОПК-1 и ПКС-7 и с которыми они готовы выполнять конкретные действия, прописанные в индикаторах достижения тех же компетенций (таблица 2). Оценивание

формируемых компетенций ОПК-1 и ПКС-7 в процессе текущего контроля знаний осуществляется по критериям и показателям, приведенным в таблице 6.

**Таблица 6 – 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»
ОПК-1	ИОПК-1.1 ИОПК-1.2	Практические занятия	<u>Критерий 1</u> Знание и применение изученного теоретического материала	Уверенно владеет теоретическим материалом; умеет свободно пользоваться справочной литературой; способен применять методы математического анализа и моделирования профессиональной деятельности и сделать выводы	Хорошо владеет теоретическим материалом по дисциплине, но в отдельных разделах допускает неточности; умеет пользоваться справочной литературой; способен применять методы математического анализа и моделирования профессиональной деятельности, но затрудняется сделать выводы	Поверхностно владеет теоретическим материалом по дисциплине; не способен уверенно пользоваться справочной литературой; не в полном объеме способен применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности, допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя	Не владеет теоретическим материалом по дисциплине; не умеет пользоваться справочной литературой; не способен применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности, не умеет делать обобщения, выводы, что препятствует усвоению последующего материала
ПКС-7	ИПКС-7.1 ИПКС-7.2		<u>Критерий 2</u> Степень готовности к проведению инженерных расчетов	Задание выполнено без ошибок	Задание выполнено, методика его выполнения выдержаны, но допущены незначительные ошибки в расчетах	Задание выполнено, методика его выполнения в целом выдержаны, но допущены значительные ошибки в расчетах	Задание не выполнено, методика его выполнения ошибочна

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» 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) 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» 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.

Оценивание формируемых компетенций по курсовой работе, зачету и экзамену осуществляется по шкале оценивания, представленной в таблице 7.

**Таблица 7 – Шкала оценивания формируемых компетенций в процессе промежуточной аттестации**

Компетенции	Уровень усвоения	Описание шкалы оценивания на зачете
Экзамен ОПК-1 ПКС-7	Высокий уровень «5» (отлично)	В соответствии с критериями «Отлично» таблицы 6.
	Средний уровень «4» (хорошо)	В соответствии с критериями «Хорошо» таблицы 6.
	Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	В соответствии с критериями «Удовлетворительно» таблицы 6.
	Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	В соответствии с критериями «Неудовлетворительно» таблицы 6.
Зачёт ОПК-1 ПКС-7	Удовлетворительно	В соответствии с критериями «Удовлетворительно» таблицы 6.
	Неудовлетворительно	В соответствии с критериями «Неудовлетворительно» таблицы 6.
Курсовая работа 7 семестр ПКС-7 (ИПКС-7.1)	Высокий уровень «5» (отлично)	Работа выполнена абсолютно верно, методика ее выполнения полностью выдержанна.
	Средний уровень «4» (хорошо)	Работа выполнена с небольшим количеством недочётов, методика ее выполнения выдержанна, но допущены незначительные ошибки в расчетах.
	Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	Работа выполнена с большим количеством недочётов или с одним существенным недочётом, методика ее выполнения в целом выдержанна, но допущены значительные ошибки в расчетах.
	Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	Работа выполнена полностью не верно, методика ее выполнения ошибочна.
Курсовая работа 8 семестр ПКС-7 (ИПКС-7.2)	Высокий уровень «5» (отлично)	Работа выполнена абсолютно верно, методика ее выполнения полностью выдержанна.
	Средний уровень «4» (хорошо)	Работа выполнена с небольшим количеством недочётов, методика ее выполнения выдержанна, но допущены незначительные ошибки в расчетах.
	Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	Работа выполнена с большим количеством недочётов или с одним существенным недочётом, методика ее выполнения в целом выдержанна, но допущены значительные ошибки в расчетах.
	Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	Работа выполнена полностью не верно, методика ее выполнения ошибочна.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 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 8 – 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.	Л.С. Стерман, Тепловые и атомные электрические станции. - М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 464 с.	8
2.	М.А. Скачек, Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007 – 448 с.	6
3.	Г.Н. Власичев, Физика ядерных реакторов. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2008. – 104 с.	89
4.	Ю.П. Сухарев, Физика ядерных реакторов деления. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2012. – 323 с.	
2. Дополнительная литература		
5.	С.М. Дмитриев и др. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах. Учебник. – М.: Машиностроение, 2013. – 415 с.	90
6.	А.Я. Крамеров, Я.В. Шевелёв. Инженерные расчеты ядерных реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 736 с.	4
7.	Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский, Р.С. Демешев и др. Ядерные энергетические установки. Учебное пособие для вузов; под общ. редакцией Н.А. Доллежаля. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 629 с.	31
8.	Г.Б. Усынин, Е.В. Кусмарцев. Реакторы на быстрых нейтронах. Учебное пособие для вузов; под ред. Ф.М. Митенкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.	80
9.	И.Я. Емельянов, В.И. Михан, В.И. Солонин. Конструирование ядерных реакторов. Учебное пособие для вузов; под общ. редакцией Н.А. Доллежаля. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.	21

## 7.2. Справочно-библиографическая и научная литература

**Таблица 9 – Список справочно-библиографической и научной литературы**

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц), наименование периодического издания, сайт издания или издательства, страница информационного сайта	Количество экземпляров в библиотеке или периодичность выпусков
1. Справочно-библиографическая литература		
1.	П.Л. Кириллов и др. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике в 3-х томах. Т. 1; под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: ИздАт, 2010. – 776 с.	12
2.	П.Л. Кириллов и др. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике в 3-х томах. Т. 2; под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: ИздАт, 2013. – 688 с.	17
3.	П.Л. Кириллов и др. Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике в 3-х томах. Т. 3; под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: ИздАт, 2014. – 688 с.	28
4.	В.П. Бобков, А.И. Блохин, В.Н. Румянцев, В.А. Соловьев, В.П. Тарасиков. Справочник по свойствам материалов для перспективных реакторных технологий. Том 3. Свойства поглотителей нейтронов. Книга 1. Поглощающие материалы на основе бора и его соединений; под общ. ред. В.М. Поплавского. – М.: ИздАТ, 2013. – 632 с.	9
5.	Паспорт программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части): <a href="https://www.rosatom.ru/upload/iblock/5e1/5e130b6e7fb0fb51f400defad83aca.pdf">https://www.rosatom.ru/upload/iblock/5e1/5e130b6e7fb0fb51f400defad83aca.pdf</a> на сайте <a href="http://www.rosatom.ru">www.rosatom.ru</a>	Электронное издание
6.	«AtomInfo.Ru»: независимый информационно-аналитический сайт <a href="http://AtomInfo.Ru">AtomInfo.Ru</a> (свидетельство о регистрации СМИ Эл № ФС77-30792, выдано Федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия 26 декабря 2007 года)	Электронное периодическое издание
2. Научная литература		
7.	«Атомная энергия». Научно-технический журнал. – М.: НКО «Редакция журнала «Атомная энергия» (Scopus, Web of Science, перечни ВАК и РИНЦ): <a href="http://j-atomicenergy.ru">j-atomicenergy.ru</a>	1 раз в месяц
8.	«Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез». Научно-технический журнал. – М.: НИЦ «Курчатовский институт» (Scopus, Web of Science, перечни ВАК и РИНЦ): <a href="http://vant.iterru.ru/vant.html">http://vant.iterru.ru/vant.html</a>	4 раза в год

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц), наименование периодического издания, сайт издания или издательства, страница информационного сайта	Количество экземпляров в библиотеке или периодичность выпусков
9.	«Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов». Научно-технический журнал. – М.: НИЦ «Курчатовский институт» (Scopus, Web of Science, Science Citation Index, INIS Atomindex, перечни ВАК и РИНЦ): <a href="http://nrcki.ru/catalog/index.shtml?g_show=37331">http://nrcki.ru/catalog/index.shtml?g_show=37331</a>	5 раз в год
10.	«Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика». Научно-технический журнал. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ (Ulrich's Periodical Directory, перечни ВАК и РИНЦ): <a href="https://nuclear-power-engineering.ru">https://nuclear-power-engineering.ru</a>	4 раза в год
11.	Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: Т. 2 /под ред. акад. РАН А. А. Саркисова. — М.: Академ-Принт, 2015. — 387 с.: ил. — ISBN 978-5-906324-04-7 (в пер.)	Электронное издание

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

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

1) Е.Г. Ивашкин, 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».

## 8. 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.

### 8.1. 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/>.

## 8.2. Перечень программного обеспечения

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется программное обеспечение, указанное в таблице 11 раздела 10 настоящей РПД.

## 9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 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/accen/>.

**Таблица 10 - 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

## 10. 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 таблице 11.

**Таблица 11 - 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.	<u>5115, 5201, 5209, 5210, 5220, 5225, 5232, 5236</u> Учебные аудитории для проведения лекций, семинаров, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор, экран)	-
2.	<u>5213</u> Центр расчетных исследований и вычислительного моделирования гидродинамических и теплофизических процессов для самостоятельной работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Компактный суперкомпьютер Cray CX1 с оперативной памятью 384 Гб и производительностью <math>10^{12}</math> операций в секунду.</li> <li>• 3D-принтер DESIGNERPRO250</li> </ul>	ОС Windows Server 2008, ANSYS 14.0 Academic Research 5 tasks, HPC – 84 tasks, license customer #602402, академическая лицензия, бессрочная.
3.	<u>Бокс</u> Лаборатория «Реакторная гидродинамика» для самостоятельной работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Научно - исследовательский аэродинамический комплекс ФТ-50.</li> <li>• Ресиверная емкость.</li> <li>• Инвертор.</li> <li>• Газоанализатор.</li> <li>• Газовый расходомер.</li> <li>• Набор пневтометрических зондов.</li> <li>• КИП.</li> <li>• ПЭВМ IntelCore (TM) 2 Duo E7400.</li> <li>• Многофункциональные экспериментальные стенды ФТ-4, ФТ-5, ФТ-10 с ТЖМТ.</li> <li>• Экспериментальный стенд ФТ-40 по исследованию смешения потоков жидкостей в элементах ЯЭУ.</li> </ul>	<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>• LabVIEW 7.1, National Instruments, S/N G12X21084, корпоративная университетская лицензия, 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> </ul>
4.	<u>5214</u> Информационно образовательный центр для проведения практических занятий, коллоквиума и самостоятельной работы	ПЭВМ – 14 шт. (процессор Intel® 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</li> </ul>

№ 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
			<p>2015.010.20060,  <a href="https://get.adobe.com/reader">https://get.adobe.com/reader</a>,          бесплатное ПО.</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. 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 ОПК-1 и ПКС-7.

Основными видами аудиторной работы студентов по данной дисциплине являются:

– работа на лекциях;

– выполнение практических заданий;

– работа на семинарах и коллоквиуме.

Формами выполнения видов аудиторной работы являются:

– лекции;

– практические занятия (семинары, коллоквиум, работа в малых группах);

– консультации.

Результаты аудиторной работы представляются в следующих основных формах:

– конспекты;

– рабочие материалы;

– доклады на семинарах, тезисы выступлений.

Уровень развития компетенций ОПК-1 и ПКС-7 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 обсуждении докладов и выступлений на семинарах (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 семинарских занятиях - семинары – диалоги;

- на практических занятиях – работа в малых группах, коллоквиумы.

По итогам текущей успеваемости студенту может быть выставлена оценка за экзамен, зачет и курсовую работу по промежуточной аттестации в соответствии с разделом 5.2 настоящей РПД.

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

Лекция, как форма выполнения аудиторной работы, призвана донести до обучающихся знания теоретического материала дисциплины. Лекции обеспечивают, прежде всего, формирование компонента «знать» компетенций ОПК-1 и ПКС-7. Структура содержания лекций предусматривает введение, основную часть и заключение. Во введении раскрывается роль, значимость, состояние развития дисциплины для отрасли науки, техники, технологий. В заключении освещаются с достаточной полнотой основные направления развития содержания дисциплины. Объемы теоретического материала, изучаемого на лекциях еженедельно, обеспечивают выполнение запланированных форм аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов. Проблемная лекция определяется постановкой вопросов или задач, моделирующих проблемную, «напряженную» ситуацию, разрешение которой происходит непосредственно («на глазах») в ходе изложения темы на основе вовлечения студентов в диалогические формы коммуникации, активизирующие познавательную деятельность.

Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к семинарам, практическим занятиям, коллоквиуму 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.

## **11.3. Методические указания по освоению дисциплины на занятиях семинарского типа**

Практические (семинарские) занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала и как форма групповых практических занятий применяются для коллективной проработки (изучения) тем, усвоение которых определяет качество профессиональной подготовки, и при этом являются наиболее трудными для индивидуального понимания и усвоения. Семинар включает:

- краткое вступительное слово преподавателя (2–3 минуты), в котором определяются целенаправленность всего занятия, его актуальность, узловые проблемы, связь с предшествующей темой, целевая установка;
- обсуждение вопросов семинара, в том числе: выступления по основному вопросу; вопросы к выступающему; анализ теоретических и методических достоинств и недостатков выступления, дополнения и замечания по нему; заключительное слово основного выступающего в связи с замечаниями и дополнениями со стороны студентов;
- заключительное слово преподавателя (подведение итогов, краткая оценка уровня обсуждения вопросов в целом, сильные и слабые стороны выступлений).

Успех семинара зависит от качества подготовки к нему как со стороны преподавателя, так и со стороны студентов. Основным методическим документом при подготовке студентов к данному семинару является его план, разработанный преподавателем.

## **11.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях при работе в малых группах**

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в форме работы в малых группах. Они формируют, прежде всего, компоненты «уметь» и «владеть» компетенций ОПК-1 и ПКС-7 и ориентированы на решение типовых (базовых) задач, содержащих типовые механизмы, процедуры применения изучаемых методов, методик, подходов, алгоритмов, моделей и пр. Работа в малых группах — это совместная работа студентов в группах из 2–4 человек над определенным заданием, при выполнении которого они самостоятельно или с помощью преподавателя устанавливают нормы общения и взаимодействия, выбирают направление своей работы и средства для ее достижения. Члены группы сами устанавливают регламент общения, самостоятельно направляют свою деятельность, отдавая предпочтение наиболее компетентному и организованному лидеру представить результаты работы группы преподавателю. Основное назначение групповой работы — решение сложных проблем, требующих совместных усилий.

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

Самостоятельная работа студентов обеспечивает их подготовку 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 7 настоящей РПД.

В процессе самостоятельной работы студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы, указанных в таблице 11. В этих аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к ЭИОС и ЭБС, где в электронном виде располагаются необходимые учебные и учебно-методические материалы.

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

Оценочные средства и регламенты текущего и итогового контроля освоения дисциплины приведены в разделе 6 настоящей РПД.

**РЕЦЕНЗИЯ**  
**на рабочую программу дисциплины «Физика ядерных реакторов»**  
**ОП ВО по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и**  
**инжиниринг», направленность «Проектирование и эксплуатация атомных станций»**  
**(квалификация выпускника – специалист)**

Владимиром Ивановичем Мельниковым, профессором кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д.т.н. (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Физика ядерных реакторов» ОП ВО по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», направленность «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (квалификация выпускника - специалист), разработанной в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», на кафедре «Атомные и тепловые станции» (разработчик – старший преподаватель Рязапов Р.Р.).

Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

Программа соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к перечню обязательных дисциплин базовой части учебного цикла – Б1.

Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

В соответствии с Программой за дисциплиной «Физика ядерных реакторов» закреплено две компетенции. Дисциплина и представленная Программа способны реализовать её в объявленных требованиях.

Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

Общая трудоёмкость дисциплины «Физика ядерных реакторов» составляет 10 зачётных единицы (360 часов). Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Физика ядерных реакторов» взаимосвязана с другими дисциплинами ОП ВО и Учебного плана по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемых при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

Программа дисциплины «Физика ядерных реакторов» не предполагает занятий в интерактивной форме.

Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (устный опрос в форме обсуждения отдельных вопросов, работа над домашним заданием при выполнении курсовой работы и аудиторных заданиях), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена, зачета и защиты КР, что соответствует статусу дисциплины, как дисциплины базовой части учебного цикла – Б1 ФГОС ВО направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Нормы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 4 источника (базовый учебник), дополнительной литературой – 5 наименований, справочно-библиографической литературой – 11 источников со ссылкой на электронные ресурсы, Интернет-ресурсы – 3 источника и соответствует требованиям ФГОС ВО направления 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Физика ядерных реакторов» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Физика ядерных реакторов».

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Физика ядерных реакторов» ОП ВО по направлению 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», направленность «Проектирование и эксплуатация атомных станций» (квалификация выпускника – специалист), разработанной старшим преподавателем Рязаповым Р.Р., соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики и рынка труда. Реализация данной дисциплины позволит успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент:

В.И. Мельников, профессор кафедры «Ядерные реакторы и энергетические установки» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д.т.н.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

«\_\_\_\_\_» 2021 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЯЭиТФ

«\_\_\_» 20\_\_\_ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**

**Б1.Б.35 «Физика ядерных реакторов»**  
(индекс по учебному плану, наименование)

для подготовки специалистов

Направление подготовки: 14.05.02 «Атомные станции: проектирование,  
(код и наименование)

эксплуатация и инжиниринг»  
(направления подготовки)

Направленность: Проектирование и эксплуатация атомных станций  
(наименование профиля, программы магистратуры, специализации)

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

Год начала подготовки: 2021

Курс: 4

Семестр: 7, 8

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

- 1) в рабочую программу изменения не вносятся.
- 2)

Разработчик РПД, старший преподаватель кафедры  
«Атомные и тепловые станции»

Р.Р. Рязапов  
(подпись)

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

Заведующий кафедрой «Атомные  
и тепловые станции» С.М. Дмитриев  
(подпись)

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой  
«Атомные и тепловые станции»

С.М. Дмитриев  
(подпись)

«\_\_\_» 20\_\_\_ г.

Методический отдел УМУ

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

«\_\_\_» 20\_\_\_ г.