


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 / Кадменский С. Г./  
30.06.2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.03.01 Кинетика ядерных реакторов**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

14.04.02 Ядерные физика и технологии

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника: магистр**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

к.ф.-м.н., доцент Вахтель Виктор Матвеевич, к.ф.-м.н. доцент Долгополов Михаил  
Анатольевич

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 24.06.2021  
РП продлена на 2022-2023 учебный год, НМС физического факультета от 14.06.2022,  
протокол №6.

Рабочая программа продлена научно-методическим советом физического факультета от  
25.05.2023, протокол №5.

**8. Учебный год: 2021/2022**

**Семестр(ы): 2**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

-ознакомление студентов с основными моделями ядра, используемыми при описании различных ядерно-физических процессов. Вместе с другими спецкурсами кафедры данный спецкурс преследует цель подготовки специалиста по ядерной физике, владеющего приемами и экспериментальной работы и методами теоретического анализа.

Задачи учебной дисциплины:

-научить студентов проводить теоретический анализ ядерно-физических явлений с помощью соответствующих моделей ядра и рассчитывать на их основе конкретные ядерные характеристики.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части цикла Б1.В.ДВ (Дисциплины по выбору).

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие излучения с веществом.	ПК-1.2	Составляет математические модели ядерно-физических процессов	Знать: физические основы и принципы управления реактором  Уметь: обосновывать выбор технических решений и конструкций ЯЭР при переходных режимах работы ЯЭР; рассчитывать переход активной зоны ЯЭУ на другой уровень мощности; оценивать обогащение топлива для реакции деления, анализировать  Владеть: навыками оценки основных характеристик ЯЭР при нестационарных процессах в ЯЭР
		ПК-1.3	Осуществляет теоретическое моделирование ядерно-физических систем и процессов.	
ПК-3	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях.	ПК-3.5	Знает физические основы и принципы управления реактором.	Знать: ознакомиться (при необходимости) с документацией выполняемой работы (в том числе с моделями идеального состояния процесса, при их наличии), узнать, были ли раньше какие-либо проблемы во время выполнения данного задания (по результатам предшествующих наблюдений, опыту эксплуатации, других источников). Уметь: определить критические шаги для данной работы, а так же те ожидания, которые намерены увидеть.  Владеть: навыками анализа как положительной практики, так и недостатков стационарных процедур, инструкций
		ПК-3.6	Обосновывает выбор технических решений и конструкций ЯЭР при переходных режимах работы ЯЭР.	
		ПК-3.7	Рассчитывает переход активной зоны ЯЭУ на другой уровень мощности; оценивает обогащение топлива для реакции деления, анализирует состояние размножающей системы и	

			проводит оценки основных характеристик ЯЭР при нестационарных процессах в ЯЭР.	
--	--	--	--	--

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 2/72.**

**Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		2 семестр	
Аудиторные занятия	36		
в том числе:	лекции	18	18
	практические	18	18
	лабораторные		
Самостоятельная работа	36	36	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации	Зачет с оценкой	Зачет с оценкой	
Итого:	72	72	

**13.1. Содержание дисциплины**

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Введение. Переходные процессы в ядерных реакторах	Особенности ядерных реакторов различных типов с точки зрения поведения их в динамических режимах. Основные динамические характеристики, определяющие состояние реактора. Способы регулирования реакторов различных типов. Баланс нейтронов в реакторе. Решение уравнения кинетики при скачкообразном возмущении без учета запаздывающих нейтронов. Период реактора. Зависимость периода от характеристик реактора. Запаздывающие нейтроны, их характеристики. Решение уравнения кинетики с учетом шести групп запаздывающих нейтронов. Вид решения с учетом одной группы запаздывающих нейтронов. Анализ влияния запаздывающих нейтронов на переходный процесс при положительном и отрицательном возмущениях. Особенности режимов остановки и разгона реакторов. Источники энерговыделения в реакторах после остановки.	-
1.2	Изменение реактивности в переходных режимах и аварийные процессы	Взаимосвязь физических и тепловых характеристик реакторов. Факторы, определяющие изменение реактивности в ядерных реакторах различных типов. Температурный, мощностной, паровой и другие эффекты реактивности. Анализ изменения составляющих эффективного коэффициента	-

		<p>размножения и величины утечки нейтронов из реактора при изменении температуры. Динамика реакторов с учетом температурных и других эффектов реактивности. Изменение реактивности в реакторах различных типов в аварийных условиях. Неконтролируемый разгон реактора. Потеря теплоносителя первого контура. Останов главных циркуляционных насосов или газодувок реактора. Анализ причин и последствий аварий различных типов. Взаимосвязь физических и тепловых характеристик реакторов. Факторы, определяющие изменение реактивности в ядерных реакторах различных типов. Температурный, мощностной, паровой и другие эффекты реактивности. Анализ изменения составляющих эффективного коэффициента размножения и величины утечки нейтронов из реактора при изменении температуры. Динамика реакторов с учетом температурных и других эффектов реактивности. Изменение реактивности в реакторах различных типов в аварийных условиях. Неконтролируемый разгон реактора. Потеря теплоносителя первого контура. Останов главных циркуляционных насосов или газодувок реактора. Анализ причин и последствий аварий различных типов.</p>	
1.3	Изменение изотопного состава активной зоны реактора.	<p>Ядерные превращения в топливе при использовании уранового и ториевого реакторов циклов. Выгорание ядерного топлива, накопление продуктов деления и образование новых делящихся материалов. Система уравнений, описывающая изменение изотопного состава топлива. Коэффициент воспроизводства. Расширенное воспроизводство. Особенности процесса воспроизводства в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах. Шлакование и отравление реактора. Основные уравнения. Приближенная оценка накопления шлаков. Отравление реактора ксеноном. Особенности отравления в динамических режимах. Иодная яма. Связь отравления с реактивностью. Ксеноновая неустойчивость. Отравление самарием. Особенности процесса. Равновесное отравление и отравление в переходных процессах. Глубина выгорания топлива. Масштаб глубины выгорания в реальных реакторах. Кампания топлива. Кампания реактора.</p>	-
1.4	Моделирование нестационарных процессов	<p>Принцип построения динамических моделей. Требования к математическому описанию процессов. Возможности современных ЭВМ. Основные задачи динамики реактора. Модели отдельных процессов. Использование современных программ для расчета нестационарных процессов в ядерных реакторах.</p>	-
1.5	Расчет органов СУЗ ядерных реакторов	<p>Подвижные поглощающие стержни. Функции стержней СУЗ. Расчет в одно- и двухгрупповом приближении эффективности полностью погруженного вдоль оси реактора стержня. Интерференция стержней, эффективность стержня в зависимости от глубины погружения. Эффективность решетки регуляторов. Подход к расчету нейтронной ловушки. Борное регулирование, преимущества и недостатки. Расчет борного регулирования. Оценка эффективности регулирования отражателем.</p>	-

		Выгорающие поглотители. Гомогенное размещение выгорающего поглотителя. Расчет выгорающего поглотителя при гетерогенном его размещении.	
1.6	Регулирование ядерных установок. Заключение	Управление реактором в режиме пуска. Физический пуск. Контроль параметров при пуске реактора. Регулярное включение реактора. Измерение реактивности, мощности, периода реактора. Регулирование реактора в диапазоне рабочих нагрузок. Основные программы регулирования реакторных установок. Программа с постоянной средней температурой первого контура. Программа с постоянным давлением во втором контуре. Компромиссные программы. Программы регулирования с измерением расхода теплоносителя. Саморегулирование ядерных реакторов.	-

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	
1	Введение. Переходные процессы в ядерных реакторах	3	3		6		12
2	Изменение реактивности в переходных режимах и аварийные процессы	3	3		6		12
3	Изменение изотопного состава активной зоны реактора.	3	3		6		12
4	Моделирование нестационарных процессов.	3	3		6		12
5	Расчет органов СУЗ ядерных реакторов.	3	3		6		12
6	Регулирование ядерных установок. Заключение	3	3		6		12
	Итого:	18	18		36		72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Использовать учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д. Лабораторные занятия проводятся с использованием компьютерных систем моделирования. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Бартоломей Г.Г. и др. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических

	реакторов. М. Энергоатомиздат, 1989, 511 с.
2	Дементьев, Б.А. Конспект лекций по курсу "Конструкции и тепловой расчет ядерных реакторов" / Б.А. Дементьев ; Моск. энергетич. ин-т; Ред. Г.Г. Бартоломей .— М. : МЭИ, 1975 .— 142 с

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Климов, Аполлон Николаевич. Ядерная физика и ядерные реакторы : Учебник для студ. инж.-физ. спец. вузов / А. Н. Климов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985 .— 350 с.
6	Крамеров А.Я., Шевелев Я.В, Инженерные расчеты ядерных реакторов. - 2-ое изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 736с.
7	Технические и профессиональные справочники, обеспечивающие практическую деятельность по дисциплине.
8	Бартоломей Г.Г. и др. Основны теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. М. Энергоатомиздат, 1989, 511 с.
9	Дементьев, Б.А. Конспект лекций по курсу "Конструкции и тепловой расчет ядерных реакторов" / Б.А. Дементьев ; Моск. энергетич. ин-т; Ред. Г.Г. Бартоломей .— М. : МЭИ, 1975 .— 142 с
10	Климов, Аполлон Николаевич. Ядерная физика и ядерные реакторы : Учебник для студ. инж.-физ. спец. вузов / А. Н. Климов .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1985 .— 350 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> —ЗНБ ВГУ
2.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - [www.lib.vsu.ru](http://www.lib.vsu.ru) - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 337</p>	<p>Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a>) Lazarus IDE (<a href="http://www.lazarus-ide.org/index.php?page=licenses">http://www.lazarus-ide.org/index.php?page=licenses</a>) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses/">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses/</a>)</p>
<p>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 31</p>	<p>Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a>) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses/">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses/</a>)</p>
<p>Аудитория для самостоятельной работы. г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 507П</p>	<p>Специализированная мебель, компьютеры Pentium-II, III (10 шт.), объединенные в локальную сеть с возможностью подключения к сети «Интернет».</p>

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-6	ПК-1	ПК-1.2 ПК-1.3	Контрольные работы, собеседование
2.	Темы 1-6	ПК-3	ПК-3.5 ПК-3.6 ПК-3.7	Контрольные работы, собеседование
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

### 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

#### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Контрольные работы, собеседование

#### Примеры тематики контрольных работ.

1. Поведение реакторов при положительном и отрицательном скачке реактивности.
2. Стационарное шлакование и стационарное отравление. Изменение реактивности в переходных режимах с учетом отравления ксеноном.

#### Тематика собеседований.

1. Аварийное расхолаживание. Повторная критичность.
2. Взаимосвязь и взаимовлияние работы второго контура АЭС на процессы в первом контуре, включая реакторную установку.
3. Проблемы перегрузки ядерного топлива. Использование топлива с СВП

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области кинетики ядерных реакторов	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано взаимовлияние различных факторов, определяющих состояние активной зоны на кинетику реактора, или содержатся отдельные пробелы в определении физических причин, определяющих кинетику реактора.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания факторов, влияющих на кинетику реактора, или имеет не полное представление о соотношении различных эффектов реактивности.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в оценке эффектов реактивности.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

### 20.2.1. Перечень вопросов к зачету с оценкой:

1. Каковы особенности поведения ядерных реакторов различных типов в динамических режимах?
2. Перечислите основные динамические характеристики, определяющие состояние реактора.
3. Период реактора. Зависимость периода от характеристик реактора.



4. Уравнение кинетики и его решение с учетом шести групп запаздывающих нейтронов.
5. Влияние запаздывающих нейтронов на переходные процессы при ненулевых значениях реактивности.
6. Особенности режимов остановки и разгона реакторов.
7. Взаимосвязь физических и тепловых характеристик реакторов.
8. Температурный, мощностной, паровой и другие эффекты, влияющие на реактивность.
9. Динамика реакторов с учетом температурного и других эффектов реактивности.
10. Изменение реактивности в реакторах различных типов в аварийных условиях.
11. Неконтролируемый разгон реактора.
12. Потеря теплоносителя первого контура.
13. Останов главных циркуляционных насосов или газодувок реактора.
14. Анализ причин и последствий аварий различных типов.
15. Ядерные превращения в топливе при использовании уран-плутониевого и торий-уранового циклов.
16. Процесс воспроизводства в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах. Его Особенности.
17. Шлакование и отравление реактора. Основные уравнения.
18. Отравление реактора ксеноном. Особенности отравления в динамических режимах.
19. Связь отравления с реактивностью. Ксеноновая неустойчивость.
20. Равновесное отравление и отравление в переходных процессах.
21. Масштаб глубины выгорания в реальных реакторах.
22. Кампания топлива. Кампания реактора.
23. Принцип построения динамических моделей.
24. Использование современных программ для расчета нестационарных процессов в ядерных реакторах.
25. Подвижные поглощающие стержни. Функции стержней СУЗ.
26. Интерференция стержней, эффективность стержня в зависимости от глубины погружения.
27. Борное регулирование, преимущества и недостатки. Расчет борного регулирования.
28. Оценка эффективности регулирования отражателем.
29. Выгорающие поглотители. Гомогенное размещение выгорающего поглотителя.
30. Управление реактором в режиме пуска. Физический пуск.

31. Контроль параметров при пуске реактора.
32. Измерение реактивности, мощности, периода реактора.
33. Регулирование реактора в диапазоне рабочих нагрузок.
34. Саморегулирование ядерных реакторов.
35. Аварии, связанные с потерей теплоносителя
36. Анализ причин аварии на ЧАЭС

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области кинетики ядерных реакторов	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано взаимовлияние различных факторов, определяющих состояние активной зоны на кинетику реактора, или содержатся отдельные пробелы в определении физических причин, определяющих кинетику реактора.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания факторов, влияющих на кинетику реактора, или имеет не полное представление о соотношении различных эффектов реактивности.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в оценке эффектов реактивности.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.