

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики



Титова Л. В.  
22.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.02.01 Кинетика ядерных реакторов**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника:** инженер – физик

**4. Форма обучения:** очная

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

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

д.ф.-м.н., доцент Любашевский Д.Е.

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №4 от 18.04.2024 г.

**8. Учебный год:** 2028/2029

**Семестр(ы):** 9

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

-освоение студентами знаний и получение навыков по расчету нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов, важных для управления ими.

*Задачи учебной дисциплины:*

-формирование системных знаний студентов в области нейтронной кинетики и динамики ядерных реакторов;

-привитие и закрепление базовых навыков решения типовых задач нейтронной кинетики и динамики ядерных реакторов;

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Кинетика ядерных реакторов относится к дисциплине (модуль) по выбору вариативной части блока Б1.

## 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-6	Способен анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты в стационарных и нестационарных режимах работы, обеспечивать оптимальные режимы работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС	ПК-6.3	Анализирует нейтронно-физические характеристики реактора в стационарных и нестационарных режимах его работы	Знать: - нейтронно-физические явления в активной зоне ядерного реактора; - основные явления кинетики и динамики ядерных реакторов; - уравнения кинетики и динамики ядерных реакторов; - основные особенности методов аналитического решения уравнений кинетики ядерных реакторов; - виды обратных связей в ядерном реакторе и физические основы их возникновения; -эффекты реактивности в и их описание;
				Уметь: - составлять нестационарное уравнение переноса нейтронов и объяснять смысл его слагаемых; - находить информацию о сечениях основных нейтронно-физических процессов в ядерных реакторах; - использовать формулу обратных часов для анализа работы активной зоны ядерного реактора; - составлять и анализировать уравнения кинетики для важнейших радионуклидов в активной зоне ядерного реактора; определять реактивность при различных режимах работы реактора;
ПК-11	Способен применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных	ПК-11.1	Знает основы эксплуатации современного оборудования и приборов АС при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Владеть: - основными методами нахождения решений уравнений кинетики для точечного реактора; - методами типовых расчетов коэффициента размножения нейтронов и реактивности реакторов на тепловых нейтронах; - методами оценки степени выгорания

установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках		реакторных установок и энергоблоков	ядерного топлива в активной зоне.
	ПК-11.4	Применяет методы расчета эксплуатационных параметров реакторной установки, эффектов и коэффициентов реактивности	
	ПК-11.5	Использует методики расчета нейтронно-физических характеристик активной зоны реакторной установки, выгорания ядерного топлива и потребности в ядерном топливе	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 6/216.**

**Форма промежуточной аттестации – экзамен.**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		9 семестра
Аудиторные занятия	84	84
в том числе:	лекции	34
	практические	34
	лабораторные	16
Самостоятельная работа	96	96
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)	Экзамен	36
Итого:	216	216

**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. Основные понятия кинетики активной зоны ядерного реактора.	Цели и задачи дисциплины. Реакции деления тяжелых ядер нейтронами. Среднее число нейтронов, выделяющееся в процессе деления. Энергетический спектр нейтронов — деления. Продукты — деления. Распределение энергии деления. Цепные реакции деления. Поколения нейтронов деления. Коэффициент размножения. Режимы реакций деления. Критические размер и масса. Реактивность. Радиационный захват нейтронов и другие конкурирующие процессы. Доля актов деления. Число вторичных нейтронов, приводящих к делению, отнесенное к одному акту	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>

		захвата нейтрона. Взаимодействие нейтронов с веществом активной зоны. Сечения взаимодействия. Зависимость дифференциального сечения деления тяжелых ядер с нейтронами от их энергии. Анизотропия испускания нейтронов. Потери кинетической энергии нейтронами в замедлителе. Моделирование поведения дифференциальных сечений в зависимости от энергий и направлений движения нейтронов, рассеянных или образовавшихся в среде. Быстрые, промежуточные и медленные реакции деления. Формула четырех сомножителей для медленных реакций деления. Общие условия управления цепной реакцией деления.	
1.2	Модель точечного реактора	Элементарное уравнение кинетики нейтронов в реакторе: «холодный реактор» на мгновенных нейтронах с однородной активной зоной. Мгновенные нейтроны деления. Среднее время жизни мгновенных нейтронов в быстрых и медленных реакциях деления. Среднее эффективное время жизни нейтронов. Период реактора. Время удвоения. Запаздывающие нейтроны. Ядра-предшественники. Группы запаздывающих нейтронов. Коэффициент ценности запаздывающих нейтронов. Среднее по группам время жизни запаздывающих нейтронов. Система уравнений кинетики для однородной активной зоны «холодного реактора» с учетом запаздывающих нейтронов, сведенных в одну группу. Стационарный режим. Нестационарный режим. Факторы, позволяющие управлять цепной реакцией деления. Единицы измерения реактивности: доллар, цент. Учет различий между группами запаздывающих нейтронов. Уравнение Нордхейма (формула «обратных часов»). Стационарный режим. Установившийся период реактора. Переходные периоды реактора. Кинетика подкритического реактора. Подкритический коэффициент размножения (умножение), подкритичность.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
1.3	Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности	Температурные обратные связи в реакторе. Ядерный, плотностной и объемный температурные коэффициенты реактивности. Мощностной коэффициент реактивности. Доплеровский коэффициент реактивности. Другие коэффициенты реактивности для различных типов реакторов. Запас реактивности и его составляющие. Гомогенное и негомогенное размещение поглотителей. Методы компенсации реактивности. Ступенчатый скачок реактивности. Переходный процесс при мгновенной надкритичности. Отрицательный скачок реактивности. Изменение реактивности по линейному закону — приближенные решения. Вывод реактора на критический режим. Адиабатическая модель реактора.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
1.4	Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени	Выгорание ядерного топлива. Дифференциальное уравнение выгорания для точечного реактора. Приближение малого выгорания. Глубина выгорания. Степень выгорания и ее связь с глубиной выгорания. Приближение большого выгорания. Воспроизводство вторичного ядерного топлива. Уран-плутониевый цикл. Равновесная концентрация изотопов плутония. Коэффициент	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>

		воспроизводства ядерного топлива. Шлакование реактора. Классификация шлаков по группам.	
1.5	Уравнение переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора	Составление уравнения переноса нейтронов в ядерном реакторе для мгновенных нейтронов. Интегральная форма уравнения переноса. Общие свойства решений нестационарного уравнения переноса для мгновенных нейтронов (спектр оператора переноса, условие критичности, эффективный коэффициент размножения). Граничные условия. Стационарный случай. Понятие о скейлинге поля нейтронов. Общая характеристика методов решений уравнения переноса. Однотрупповое приближение. Однотрупповые методы. Рх-приближение и эм-приближение. Вариационные методы. Метод Монте-Карло.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
1.6	Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора.	Составление уравнений переноса нейтронов в ядерном реакторе с учетом запаздывающих нейтронов. Сопряженное уравнение переноса нейтронов. Сопряженная функция. Функция ценности нейтронов. Вывод уравнений для модели точечной активной зоны из уравнений переноса с учетом запаздывающих нейтронов. Эффективные коэффициенты размножения и доля запаздывающих нейтронов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
1.7	Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении	Диффузионное приближение в уравнении переноса нейтронов в активной зоне. Случай мгновенных нейтронов. Учет запаздывающих нейтронов. Стационарный случай. Уравнение Пайерлса. Соотношения взаимности. Длина диффузии. Длина релаксации. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник. Вероятность избежать столкновения. Метод хорд. Замедление нейтронов. Уравнение переноса в возрастном приближении.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
1.8	Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора	Теория поглощающего стержня. Эффективный радиус и форма поглощающих стержней. Интерференция поглощающих стержней. Борное регулирование. Трансмутация радиоактивных отходов. Физика неустранимых отрицательных свойств ядерной технологии производства электрической и тепловой энергии.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Модель точечного реактора	Система уравнений кинетики для гомогенной активной зоны «холодного реактора» с учетом запаздывающих нейтронов.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
2.2	Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности	Переходные процессы в реакторе при возмущении по реактивности с учетом температурных обратных связей. Переходный процесс при мгновенной надкритичности. Поведение холодного точечного реактора при отрицательном скачке реактивности. Связь мощности реактора с его установившимся периодом при отрицательной реактивности. Изменение реактивности по линейному закону. Приближенные решения.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
2.3	Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени	Приближение малого выгорания. Глубина выгорания. Степень выгорания и ее связь с глубиной выгорания. Приближение большого выгорания. Отравление ксеноном. «Йодная яма». Отравление ксеноном при частичном снижении мощности. Отравление ксеноном при повышении мощности. Ксеноновые колебания.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
2.4	Уравнение переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его	Бесконечная однородная размножающая среда с равномерно распределенным плоским источником. Решение односкоростного уравнения	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>

	решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора	переноса методом разделения переменных. Бесконечная однородная размножающая среда с равномерно распределенным плоским источником. Решение односкоростного уравнения переноса с помощью преобразования Фурье. Континуум сингулярных решений.	
2.5	Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении	Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник. Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении для критической пластины. Односкоростное одномерное уравнение переноса в диффузионном приближении. Учет анизотропного рассеяния. Метод сферических гармоник.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
2.6	Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора	Теория поглощающего стержня. Эффективный радиус и форма поглощающих стержней. Интерференция поглощающих стержней. Борное регулирование.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
<b>3. Лабораторные занятия</b>			
3.1	Уравнение переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора	Лабораторная работа №1. Подготовка исходных данных для проведения расчетов	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
3.2	Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора.	Лабораторная работа №2. Выполнение расчетов переходных процессов на мгновенных и запаздывающих нейтронах в критическом реакторе	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
3.3	Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении	Лабораторная работа №3. Выполнение расчетов переходных процессов в подкритическом реакторе с внешним источником нейтронов	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>
3.4	Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора	Лабораторная работа №4. Анализ полученных результатов	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=29301</a>

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Введение. Основные понятия кинетики активной зоны ядерного реактора.	4	4		12	20
2.	Модель точечного реактора	4	4		12	20
3.	Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности	4	4		12	20
4.	Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени	4	4		12	20
5.	Уравнение переноса для мгновенных нейтронов и	4	4	4	12	24

	общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора					
6.	Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора.	6	6	4	12	26
7.	Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении	4	4	4	12	24
8.	Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора	4	4	4	12	24
	Контроль:					36
	Итого:	34	34	16	96	216

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

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь продемонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: 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.

#### 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Окунев В.С. Основы прикладной ядерной физики и введение в теорию ядерных реакторов. – М: Изд-во МГТЦУ им. Н.Э. Баумана, 2015.-464 с.
2.	Белл Д., Глессстон С. Теория ядерных реакторов. -- М., Атомиздат, 1974. – 494 с.
3.	Казанский Ю.А. Кинетика ядерных реакторов. - Обнинск: ИАТЭ, 2003.96 с.
4.	Копосов Е.Б. Кинетика ядерных реакторов. – М.:МГТУ им Н.Э. Баумана, 2005. -68 с.
5.	Широков С.В. Физика ядерных реакторов. – Минск: Изд. «Высшая школа», 2011. -349 с.
6.	Кипин Дж. Физические основы кинетики ядерных реакторов: пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1965.- 428 с.
7.	Бартоломей Г.Г. и др. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. М. Энергоатомиздат, 1989.- 512 с
8.	Ильченко А.Г. Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах: Учебное пособие. – Иваново.: Иван. гос. энерг. ун-т. 200 – 116 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
9.	Вейнберг А., Вигнер Е. Физическая теория ядерных реакторов.-М.: Изд-во Иностран. Лит. 1961.— 725 С.
10.	Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы. -М.:Энергоатомиздат, 1985.
11.	Галанин А.Д. Введение в теорию ядерных реакторов на тепловых нейтронах. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 536 с.
12.	Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Экспериментальная физика реакторов. М., Энергоатомиздат, 1994.
13.	Фейнберг С.М., Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. Т. 1. Элементарная теория реакторов. - М.: Атомиздат, 1978. — 400 с.
14.	Шихов С.Б., Троянский В.Б. Теория ядерных реакторов. Т. 2. Газокинетическая теория.. - М.: Энергоатомиздат, 1983. — 368 с.

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

№ п/п	Ресурс
15.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ.
16.	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ
17.	<a href="https://e.lanbook.com">https://e.lanbook.com</a> – ЭБС «Лань»
18.	<a href="https://www.studentlibrary.ru">https://www.studentlibrary.ru</a> – ЭБС «Консультант студента»
19.	<a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a> – Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
20.	<a href="https://rucont.ru">https://rucont.ru</a> - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	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
2.	Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. — М.: Энергоиздат, 4-е изд. перераб. и доп.— М.: Энергоиздат, 1986. — 304 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:

- 1 активные и интерактивные формы проведения занятий;
- 2 компьютерные технологии при проведении занятий;
- 3 презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- 4 специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- 5 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 метода.

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:

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина

Специализированная мебель, ноутбук, проектор

Microsoft Windows 7, Windows 10



**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.	Введение. Основные понятия кинетики активной зоны ядерного реактора.	ПК-6 ПК-11	ПК-6.3 ПК-11.1 ПК-11.2 ПК-11.4 ПК-11.5	Устный опрос, практические задания, собеседование по вопросам к экзамену
2.	Модель точечного реактора			
3.	Обратные связи в реакторе. Эффекты реактивности			
4.	Изменение элементного состава активной зоны ядерного реактора во времени			
5.	Уравнение переноса для мгновенных нейтронов и общие свойства его решений применительно к кинетике активной зоны ядерного реактора			
6.	Уравнение переноса с учетом запаздывающих нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Предельный переход к модели точечного реактора.			
7.	Уравнение переноса нейтронов в активной зоне ядерного реактора в диффузионном приближении			
8.	Некоторые задачи кинетики активной зоны ядерного реактора			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Перечень вопросов к экзамену Пункт 20.2

**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:

### Перечень вопросов к устному опросу:

1. Какое соотношение между количеством нейтронов и количеством эмиттеров запаздывающих нейтронов в реакторе (критическом, подкритическом, надкритическом)?
2. Что произойдет с критическим реактором, если в него мгновенно ввести реактивность  $\rho > \beta_{эфф}$ ?
3. Как будет себя вести критический реактор, если в него ввести источник нейтронов?
4. Объяснить, почему возникли бы сложности при управлении реактором при  $\beta_{эфф} = 0$ .
5. Провести качественный вывод уравнений кинетики.
6. Какое необходимо сделать допущение, чтобы из уравнения переноса нейтронов и сопряженного уравнения получить уравнения кинетики?
7. Каким образом удастся ввести в уравнения переноса нейтронов  $k_{эфф}$  или реактивность?
8. Получить квазистационарное асимптотическое уравнение.
9. Преобразуйте дифференциальную форму уравнения кинетики в приближении мгновенного скачка в интегральную.
10. Дайте качественное объяснение возникновению ксеноновых колебаний
11. Перечислите основные физические процессы, возникающие при росте температуры, которые оказывают влияние на реактивность
12. В каком случае (и почему) доплеровская составляющая температурного коэффициента реактивности будет больше: а) реактор представляет собой гетерогенную структуру (топливо расположено в виде блоков внутри замедлителя); б) реактор представляет собой гомогенную смесь топлива и замедлителя
13. По каким причинам создается запас реактивности в энергетическом реакторе и каковы способы его компенсации?
14. Каковы запасы реактивности в начале кампании для реакторов типа ВВЭР, РБМК и БН?
15. Дайте определение коэффициентам реактивности и перечислите основные коэффициенты реактивности для энергетических реакторов различных типов, указав их значения.
16. Опишите, какими способами измеряют температурный и мощностной коэффициенты реактивности.
17. По каким причинам температурный коэффициент реактивности для ВВЭР существенно зависит от концентрации борной кислоты в теплоносителе?
18. Почему паровой коэффициент реактивности РБМК по мере выгорания топлива увеличивается и почему при увеличении обогащения топлива этот коэффициент реактивности уменьшается?
19. Отрицательность мощностного коэффициента следует считать необходимым, достаточным, или необходимым и достаточным условием устойчивости реактора?
20. Преимущества и недостатки линеаризованных уравнений динамики. Что такое передаточная функция? В каких случаях переходный процесс, рассчитанный по передаточной функции, полностью совпадает с переходным процессом, рассчитанным по исходным дифференциальным уравнениям?
21. При каких условиях можно моделировать поведение реактора во времени, используя только обратную связь реактивности по мощности реактора?

### Критерии оценивания устного опроса:

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного и нормативного материала, умеющий свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной кафедрой.

Оценка «хорошо» выставляется студентам, обнаружившим полное знание учебного материала, успешно выполняющим предусмотренные в программе задания, усвоившим основную литературу, рекомендованную кафедрой.

На «удовлетворительно» оцениваются ответы студентов, показавших знание основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и в предстоящей работе по профессии, справляющихся с выполнением заданий, предусмотренных программой. Как правило оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе, не носящие принципиального характера, когда установлено, что студент обладает необходимыми

знаниями для последующего устранения указанных погрешностей под руководством преподавателя.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студентам, обнаружившим пробелы в знаниях основного учебного материала, допускающим принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Такой оценки заслуживают ответы студентов, носящие несистематизированный, отрывочный, поверхностный характер, когда студент не понимает существа излагаемых им вопросов, что свидетельствует о том, что студент не может дальше продолжать обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине

#### **Перечень практических заданий:**

1. Оцените, насколько отличается переводной коэффициент между единицами измерения глубины выгорания топлива МВт·сут/кг и % т.я. при работе реактора только на  $^{233}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ .
2. Оцените темп потери реактивности за счет накопления осколков деления в предположении, что среднее микроскопическое сечение осколка деления составляет 0,5 барн и не зависит от глубины выгорания.
3. При каких плотностях потока нейтронов необходимо принимать во внимание выгорание ядер йода в формуле (2.24). Принять, что сечение поглощения тепловых нейтронов ядрами  $^{135}\text{I}$  равно 20 барн.
4. Сколько потребуется времени после сброса мощности реактора до нуля, чтобы в реакторе осталось менее 1% ядер  $^{135}\text{Xe}$ ?
5. При каких условиях, и до какого значения при выводе реактора на мощность реактивность, обусловленная наличием ядер  $^{149}\text{Sm}$ , будет возрастать со временем?
6. Как будет изменяться реактивность реактора, обусловленная ядрами  $^{135}\text{Xe}$ , проработавшего длительное время на постоянном уровне мощности, если произошло снижение (увеличение) мощности вдвое?
7. Сферу из металлического плутония с размерами такими, что  $k_{\text{эфф}}$  при бесконечном водяном отражателе равно 0,995, опускают в воду океана. На какой глубине эта сфера окажется критической, если  $k^{\infty} = 2,7$  и если изменение плотности воды не влияет на эффективный коэффициент размножения?

## **20.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### **Перечень вопросов к экзамену:**

1. Основные допущения теории переходных процессов.
2. Вывод элементарного кинетического уравнения.
3. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их характеристики.
4. Среднее время жизни поколения нейтронов в тепловом реакторе.
5. Период реактора, период удвоения мощности и их взаимосвязь.
6. Система дифференциальных уравнений кинетики реактора с учётом шести групп запаздывающих нейтронов.
7. Переходные процессы при сообщении реактору отрицательной реактивности.
8. Переходные процессы при сообщении реактору положительных реактивностей.
9. Единицы реактивности.
10. Особенности переходных процессов при сообщении реактору малых и больших реактивностей.
11. Управление реактором на малых уровнях мощности.
12. Автоматическая стабилизация мощности реактора
13. Источники нейтронов в подкритическом реакторе.
14. Устанавливаемая в подкритическом реакторе плотность нейтронов.
15. Переходные процессы при изменениях степени подкритичности реактора. Время практического установления подкритической плотности нейтронов.
16. Процедура ступенчатого пуска и ядерная безопасность реактора.
17. Понятие общего и оперативного запаса реактивности.
18. Дифференциальное уравнение выгорания урана-235.

19. Энерговыработка реактора.
20. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива.
21. Основные характеристики выгорания.
22. Характеристики наиболее распространённых выгорающих поглотителей.
23. Факторы, определяющие скорость выгорания ВП.
24. Характер изменения реактивности при разных способах размещения ВП.
25. Кривая энерговыработки активной зоны реактора
26. Особенности процесса и количественные меры отравления реактора ксеноном.
27. Схема образования и убыли  $^{135}\text{Xe}$  и дифференциальные уравнения отравления реактора ксеноном.
28. Стационарное отравление реактора ксеноном. Время его наступления.
29. Зависимость стационарного отравления ксеноном от мощности реактора.
30. Переотравление после останова реактора («йодная яма»)
31. Переотравления реактора ксеноном после изменения уровня мощности.
32. Расчёт изменений потерь реактивности за счёт переотравлений реактора.
33. Схема образования-убыли  $^{149}\text{Sm}$  и дифференциальные уравнения отравления реактора самарием.
34. Потери реактивности при стационарном отравлении реактора самарием.
35. Закономерность роста потерь реактивности от отравления самарием до выхода реактора на стационарный уровень отравления.
36. Нестационарное переотравление реактора самарием после останова («прометиевый провал»).
37. Переотравление самарием после пуска длительно стоявшего реактора.
38. Нестационарное переотравление реактора самарием после перевода реактора на более высокий или более низкий уровень мощности
39. Сущность борного регулирования.
40. Характер изменения концентрации борной кислоты в 1 контуре при водообмене.
41. Эффективность борной кислоты.
42. Факторы, определяющие величину дифференциальной эффективности борной кислоты
43. Пуск реактора. Диапазоны мощности при пуске. МКУМ.
44. Физический пуск реактора. Определяемые параметры.
45. Энергетический пуск реактора. Определяемые параметры.

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

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным	Удовлетворительно

в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

## Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
ядерной физики  
\_\_\_\_\_ Титова Л. В.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.В.ДВ.02.01 Кинетика ядерных реакторов

Вид контроля: Экзамен.

### Контрольно-измерительный материал №1

1. Потери запаса реактивности с выгоранием топлива.
2. Пуск реактора. Диапазоны мощности при пуске. МКУМ.
3. Оцените, насколько отличается переводной коэффициент между единицами измерения глубины выгорания топлива МВт·сут/кг и % т.я. при работе реактора только на  $^{233}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$ .

Преподаватель \_\_\_\_\_ . \_\_\_\_\_  
подпись расшифровка подписи