

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физико-технические проблемы атомной энергетики

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ И**  
**ТЕПЛОФИЗИКЕ**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Обязательная
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.О.05
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	1 семестр - 6;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	216 часов
<b>Лекции</b>	1 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	1 семестр - 48 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	1 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	1 семестр - 133,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Тестирование</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Воробьев Ю.Б.
	Идентификатор	R3b64f4bb-VorobyevYB-08cbf8ca

(подпись)


Ю.Б. Воробьев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мелихов О.И.
	Идентификатор	Re9797a97-MelikhovOI-83f385d8


(подпись)

О.И. Мелихов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Аникеев А.В.
	Идентификатор	R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65

(подпись)

А.В. Аникеев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Цель освоения дисциплины состоит в изучение современных компьютерных технологий используемых в ядерной энергетике (ЯЭ) и теплофизике

### Задачи дисциплины

- освоение современных направлений компьютерных технологий применительно к их использованию в задачах ЯЭ;
- приобретение навыков использования имеющихся компьютерных технологий для анализа безопасности АЭС;
- освоение существующих методов параллельных вычислений, алгоритмов выбора их оптимального использования, получение навыков их практического применения;
- приобретение навыков использования существующих компьютерных технологий для решения сложных, сильно нелинейных задач, задач по применению систем искусственного интеллекта для обработки информации в задачах научно-технического сопровождения АЭС.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-1 способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Способен к анализу комплексных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики	знать: - основные существующие подходы в области анализа безопасности АЭС.  уметь: - выбрать правильный метод анализа для типичных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики.
ОПК-1 способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Способен к составлению алгоритмов для решения конкретных задач в области ядерной энергетики и теплофизики	знать: - набор типичных задач с применением компьютерных технологий в области ядерной энергетики и теплофизики.  уметь: - в зависимости от типа решаемой задачи выбрать наиболее подходящий метод и составить алгоритм его применения в области анализа безопасности АЭС.
ОПК-2 способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub> Применяет математический аппарат для решения теплофизических задач атомной энергетики	знать: - основные математические подходы, используемые в современных расчетных методах анализа безопасности АЭС.  уметь: - использовать современные математические методы в задачах теплофизики и ядерной энергетики.
ОПК-2 способен применять современные методы исследования,	ИД-2 <sub>ОПК-2</sub> Применяет компьютерные технологии для решения	знать: - современные компьютерные технологии, используемые в расчетных

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
оценивать и представлять результаты выполненной работы	теплофизических задач ядерной энергетики	методах анализа безопасности АЭС.  уметь: - на основе применения компьютерных технологий в области безопасности АЭС правильно провести анализ аварийных ситуаций на АЭС.
ОПК-3 способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> Способен формулировать результаты научных исследований	знать: - современные компьютерные методы для научных исследований.
ОПК-3 способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ИД-2 <sub>ОПК-3</sub> Применяет компьютерные технологии для представления результатов научно-исследовательской деятельности	уметь: - на основе расчетного анализа теплофизических задач ядерной энергетики правильно применить компьютерные технологии для представления полученных результатов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физико-технические проблемы атомной энергетики (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать методы математического моделирования и программирования
- знать современные информационные технологии
- знать основы теплофизики, технической термодинамики и механики жидкости и газов
- знать современных информационных технологий, теплофизики, технической термодинамики, механики жидкости и газов, основы оборудования АЭС, основа нейтронной физики.
- знать основы нейтронной физики
- знать основное оборудование АЭС
- уметь использовать современные информационные технологии

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

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий	39	1	6	-	12	-	-	-	-	-	21	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.6-8, стр.14-18, стр.32-33 [2], стр. 3-5 [5], стр. 3-23</p>
1.1	Основные понятия использования компьютерных расчетных кодов для анализа безопасности АЭС	13		2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	
1.2	Основные положения анализа неопределенностей	13		2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	
1.3	Основные положения моделирования аварийных процессов на основе современных компьютерных кодов	13		2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	
2	Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5	80		12	-	24	-	-	-	-	-	44	-	
2.1	Основные особенности	13	2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Основные особенности компьютерного кода анализа</p>	

	компьютерного кода RELAP5												безопасности АЭС на примере кода RELAP5" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях	
2.2	Моделирование нейтронной кинетики, тепловых структур и системы управления и защиты АЭС	13	2	-	4	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5"
2.3	Использование карт режимов потока в коде RELAP5	13	2	-	4	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
2.4	Основные замыкающие модели RELAP5	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	[1], стр.28-46
2.5	Модели специальных процессов в RELAP5	14	2	-	4	-	-	-	-	-	-	8	-	[2], стр. 6-33
2.6	Моделирование специализированного оборудования АЭС в RELAP5	13	2	-	4	-	-	-	-	-	-	7	-	[5], стр. 43-59, стр. 64-70, стр. 159-199
3	Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ	61	14	-	12	-	-	-	-	-	-	35	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ"
3.1	Основные особенности CFD кодов	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.2	Компьютерные технологии параллельных вычислений	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ"
3.3	Технология решения сложных задач НИР ЯЭ на основе алгоритмов поиска глобального оптимума	13	3	-	3	-	-	-	-	-	-	7	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
3.4	Использование нейронных сетей в задачах ЯЭ	12	3	-	2	-	-	-	-	-	-	7	-	[3], стр.7-47, стр. 49-90, стр. 92-168
3.5	Методы	10	2	-	1	-	-	-	-	-	-	7	-	[4], стр. 60-178, стр. 219-267
														[6], гл. 1-2

	динамического вероятностного анализа безопасности (ДВАБ) АЭС												
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>100</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>100</b>	<b>33.5</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий

1.1. Основные понятия использования компьютерных расчетных кодов для анализа безопасности АЭС

Введение. Современные интегральные коды анализа безопасности АЭС. Коды консервативной и наилучшей оценки, сравнение, достоинства и недостатки. Коды анализа проектных и запроектных аварий. Обзор основных существующих зарубежных и российских кодов (RELAP5, KOPCAP, MELCOR), CFD коды. Основные принципы, области применения. Понятия верификации и валидации кодов.

1.2. Основные положения анализа неопределенностей

Принципы анализов неопределенностей, чувствительности. Использование поверхности отклика, метода Монте-Карло, GRS. Методы анализа чувствительности, параметрические, непараметрические, индексы Соболя, метод Мориса.

1.3. Основные положения моделирования аварийных процессов на основе современных компьютерных кодов

Основные принципы составления нодализационной схемы АЭС, использование основных элементов: одиночный объем, одиночное соединение, труба, ветвление, использование таблиц для ввода теплофизических свойств, задание управляющих параметров для расчета переходных и аварийных процессов АЭС. Основные принципы анализа результата расчетов переходных и аварийных процессов на АЭС; принципы графического представления данных; использования утилиты XMGR5/ACGRACE/APTPLOT. Основные стадии аварии типа LOCA, тяжелой аварии.

#### 2. Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5

2.1. Основные особенности компьютерного кода RELAP5

Основные принципы использования кода RELAP5 для анализа динамики переходных и аварийных процессов на АЭС. Основные уравнения. Численная модель. Основные гидродинамические компоненты, моделируемые в RELAP5; примеры моделирования.

2.2. Моделирование нейтронной кинетики, тепловых структур и системы управления и защиты АЭС

Моделирование нейтронной кинетики реактора в RELAP5; основные уравнения. Понятие тепловых структур и их использование в RELAP5; основные уравнения. Модели контрольных переменных и логических переключателей; использование их для моделирования вспомогательных систем АЭС; логических элементов и связей между компонентами.

2.3. Использование карт режимов потока в коде RELAP5

Карты режимов гидродинамических потоков, используемые в RELAP5; особенности моделирования горизонтального и вертикального течения; особенности моделирования потоков в смесителе от САОЗ; особенности моделирования потоков в насосах.

2.4. Основные замыкающие модели RELAP5

Модели тепло-массообмена, межфазного трения, трения на стенке канала, используемые в RELAP5.



## 2.5. Модели специальных процессов в RELAP5

Обзор моделей специальных процессов, используемых в RELAP5. Моделирование критического истечения в RELAP5 на основе модели Ренсома и Генри-Фоска. Достоинства и недостатки. Моделирование эффекта CCFL. Моделирование двухфазного расслоения горизонтально разделенного потока в ветвлениях, термического расслоения жидкости, отслеживания уровня смеси, резкого изменения проходного сечения, эффекта water packing, процессов повторного смачивания, повреждения оболочки ТВЭЛов, паро-циркониевой реакция.

## 2.6. Моделирование специализированного оборудования АЭС в RELAP5

Моделирование насосов в RELAP5; принципы гомологичных кривых и их составление для однофазного и двухфазного режима смеси. Модели клапанов, сепаратора, турбины, гидроаккумулятора, смесителя CAOЗ и эжектора используемые в RELAP5.

# 3. Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ

## 3.1. Основные особенности CFD кодов

Основные уравнения. Уравнения RANS. Гипотеза Буссинеска. Модели  $k-\epsilon$ ,  $k-\omega$ , SST, Рейнольдсовых напряжений, LES, DES, построение расчетной сетки, численные схемы, многофазные течения, примеры моделирования.

## 3.2. Компьютерные технологии параллельных вычислений

Особенности использования параллельных вычислений для ускорения расчетов в области научно технических расчетов АЭС; анализ типовых областей использования в научных расчетах ядерной техники. Принципы реализации параллельных вычислений. Существующие технологии параллельных вычислений: PVM, MPI, CUDA. Анализ их основных характеристик, отличий и областей использования. Три концепции реализации параллельных расчетов: SIMD, SDMI, MIMD. Практические шаги осуществления параллельных вычислений. Особенности и основные характеристики суперкомпьютеров. Возможность осуществления научно-технических расчетов на суперкомпьютерах в России. Организация параллельных вычислений на основе распределенного кластера. Принципы и технические варианты организации кластера на основе компьютеров различного типа, требуемое оборудование. Модель использования PVM, MPI. Гетерогенность сети для вычисления, типы гетерогенности. Основные задачи, принципы и контроль PVM, MPI, цикл их функционирования. Основные элементы PVM, MPI, расчетная модель. Языки программирования для использования с PVM, MPI и связь с Fortran/C/C++. Шаги по установке PVM, MPI, основные команды. Основная последовательность действий при использовании PVM, MPI с программной точки зрения. Старт PVM, MPI программ. Концепция master-slave. Древообразная структура расчетов.

## 3.3. Технология решения сложных задач НИР ЯЭ на основе алгоритмов поиска глобального оптимума

Обзор современных компьютерных технологий для решения сложных научных задач ЯЭ: генетические алгоритмы (ГА), Simulated annealing (SA), экстремальная оптимизация (ЭО). Примеры областей и задач использования. Причины возникновения ГА, история его развития и основные используемые в ГА биологические принципы. Базисные принципы применения ГА для оптимизации технических систем; его основные элементы и операторы; Простой ГА; основные достоинства ГА и недостатки. Положения теории «схемата»; теорема схемата – ее значение для функционирования ГА. Основные условия использования ГА для оптимизации сложных технических систем; возможные методы кодирования информации и методы селекции. Возможные методы селекции в ГА и их достоинства и недостатки; другие

используемы параметры; их типичные значения и их вариация в зависимости от типа задачи; Рассмотрение типичных задач НИР ЯЭ для использования ГА. Экстремальная Оптимизация – основные принципы, сравнение с ГА. Рассмотрение EO-т алгоритма на основе спиновых стекол; достоинства и недостатки EO-т. Обобщенная EO-т; анализ достоинств и недостатков. История возникновения SA. Алгоритм Метрополиса. Формализованный SA. Основные параметры SA и принципы их варьирования. Обзор проблем НИР ЯЭ для использования экстремальной оптимизации и SA.

#### 3.4. Использование нейронных сетей в задачах ЯЭ

Основные принципы нейронных сетей. Модели нейронов. Графическое представление нейронных сетей. Существующие архитектуры нейронных сетей. Процессы обучения нейронных сетей. Обзор существующих типов нейронных сетей, особенности их использования для решения задач НИР. Основные принципы реализации нейронных сетей на основе многослойного персептрона. Методы кластеризации, примеры использования в задачах ЯЭ. Методы глубинного обучения, особенности, перспективы развития и использования в индустрии. Примеры задач ЯЭ для эффективного использования нейронных сетей..

#### 3.5. Методы динамического вероятностного анализа безопасности (ДВАБ) АЭС

Мотивация ДВАБ, классификация методов их обзор. Метод поиска наилучших сценариев аварий на основе применения генетического алгоритма ГА-ДВАБ, примеры использования для анализа аварий типа LOCA, тяжелых аварий, пожаров на АЭС.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Основные понятия использования компьютерных расчетных кодов для анализа безопасности АЭС;
2. Основные положения анализа неопределенностей;
3. Основные положения моделирования аварийных процессов на основе современных компьютерных кодов;
4. Основные особенности компьютерного кода RELAP5;
5. Использование карт режимов потока в коде RELAP5;
6. Основные замыкающие модели RELAP5;
7. Модели специальных процессов в RELAP5;
8. Моделирование специализированного оборудования АЭС в RELAP5;
9. Моделирование нейтронной кинетики, тепловых структур и системы управления и защиты АЭС;
10. Компьютерные технологии параллельных вычислений;
11. Организация параллельных вычислений на основе PVM, MPI;
12. Технология решения сложных задач НИР ЯЭ на основе генетического алгоритма;
13. Технология решения сложных задач НИР ЯЭ на основе экстремальной оптимизации и алгоритма имитации отжига (simulated annealing);
14. Использование нейронных сетей в задачах ЯЭ;
15. Использование современных компьютерных технологий для вероятностных оценок в анализе безопасности АЭС.

### 3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)			Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	
<b>Знать:</b>					
основные существующие подходы в области анализа безопасности АЭС	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>	+			Тестирование/Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов Тестирование/Основные подходы в области анализа безопасности АЭС
набор типичных задач с применением компьютерных технологий в области ядерной энергетики и теплофизики	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub>	+			Тестирование/Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов Тестирование/Основные подходы в области анализа безопасности АЭС Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Основные особенности Relap5
основные математические подходы, используемые в современных расчетных методах анализа безопасности АЭС	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>		+	+	Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Карты режимов потока в Relap5, теплообмен, межфазное трение и трение на стенке Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Моделирование специального оборудования, специальных процессов в Relap5. Элементы CFD кодов

					Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Основные особенности Relap5
современные компьютерные технологии, используемые в расчетных методах анализа безопасности АЭС	ИД-2 <sub>ОПК-2</sub>	+	+	+	Тестирование/Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов Тестирование/Основные подходы в области анализа безопасности АЭС Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Карты режимов потока в Relap5, теплообмен, межфазное трение и трение на стенке Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Моделирование специального оборудования, специальных процессов в Relap5. Элементы CFD кодов Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Основные особенности Relap5
современные компьютерные методы для научных исследований	ИД-1 <sub>ОПК-3</sub>			+	Тестирование/Методы параллельных вычислений. Применение алгоритмов поиска глобального оптимума в НИР ЯЭ Тестирование/Основы использования нейронных сетей в НИР ЯЭ
<b>Уметь:</b>					
выбрать правильный метод анализа для типичных проблем в области ядерной энергетики и теплофизики	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub>	+	+		Тестирование/Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов

					Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Анализ аварий на РУ ВВЭР-440/В213
в зависимости от типа решаемой задачи выбрать наиболее подходящий метод и составить алгоритм его применения в области анализа безопасности АЭС	ИД-2 <sub>ОПК-1</sub>	+	+	+	Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Анализ аварий на РУ ВВЭР-440/В213
использовать современные математические методы в задачах теплофизики и ядерной энергетики	ИД-1 <sub>ОПК-2</sub>		+		Тестирование/Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов Тестирование/Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Анализ аварий на РУ ВВЭР-440/В213
на основе применения компьютерных технологий в области безопасности АЭС правильно провести анализ аварийных ситуаций на АЭС	ИД-2 <sub>ОПК-2</sub>			+	Тестирование/Методы анализа сложных аварийных ситуаций на АЭС с применением ДВАБ
на основе расчетного анализа теплофизических задач ядерной энергетики правильно применить компьютерные технологии для представления полученных результатов	ИД-2 <sub>ОПК-3</sub>			+	Тестирование/Методы анализа сложных аварийных ситуаций на АЭС с применением ДВАБ

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **1 семестр**

Форма реализации: Устная форма

1. Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности (Тестирование)
2. Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов (Тестирование)
3. Методы анализа сложных аварийных ситуаций на АЭС с применением ДВАБ (Тестирование)
4. Методы параллельных вычислений. Применение алгоритмов поиска глобального оптимума в НИР ЯЭ (Тестирование)
5. Основные подходы в области анализа безопасности АЭС (Тестирование)
6. Основы использования нейронных сетей в НИР ЯЭ (Тестирование)
7. Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Анализ аварий на РУ ВВЭР-440/В213 (Тестирование)
8. Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Карты режимов потока в Relap5, теплообмен, межфазное трение и трение на стенке (Тестирование)
9. Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Моделирование специального оборудования, специальных процессов в Relap5. Элементы CFD кодов (Тестирование)
10. Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Основные особенности Relap5 (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

#### Экзамен (Семестр №1)

В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Воробьев, Ю. Б. Выполнение расчетного анализа безопасности АЭС с помощью системного теплогидравлического кода улучшенной оценки. Лабораторный практикум : учебное пособие по курсу "Интегрированные прикладные системы" по направлению "Техническая физика" / Ю. Б. Воробьев, Ю. В. Парфенов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 48 с. - ISBN 978-5-383-00391-6 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1436;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=1436)

2. Байбаков, В. Д. Коды для расчета ядерных реакторов : Учебное пособие по специальности "Атомные электростанции и установки" / В. Д. Байбаков, Ю. Б. Воробьев, В. Д. Кузнецов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 163 с. - ISBN 5-7046-0939-2 .;
3. Аверкин, А. Н. Искусственные нейронные сети и генетические алгоритмы : учебное пособие по курсу "Нетрадиционные модели вычислений" по направлению "Информатика и вычислительная техника" / А. Н. Аверкин, Е. В. Деньщикова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2014 . – 68 с. - ISBN 978-5-7046-1547-7 .;
4. Воеводин, В. В. Параллельные вычисления : Учебное пособие для вузов по направлению 510200 - Прикладная математика и информатика / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин . – СПб. : БХВ-Петербург, 2004 . – 608 с. - ISBN 5-941571-60-7 .;
5. Кузнецов, Ю. Н. Теплообмен в проблеме безопасности ядерных реакторов / Ю. Н. Кузнецов . – М. : Энергоатомиздат, 1989 . – 296 с. - ISBN 5-283-03743-6 .;
6. А. В. Зорин, М. А. Федоткин- "Методы Монте-Карло для параллельных вычислений", Издательство: "Московский Государственный Университет", Москва, 2013 - (193 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=595708>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. GNU Compiler Collection.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
8. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
9. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
10. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
11. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-320, Учебная аудитория	стол, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-303, Учебная лаборатория динамических процессов АЭС	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, указка лазерная, доска маркерная,



		компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-305, Учебная аудитория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Т-305, Учебная аудитория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-317, Помещение учебно-вспомогательного персонала	стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике

(название дисциплины)

#### 1 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные подходы в области анализа безопасности АЭС (Тестирование)
- КМ-2 Использование расчетных кодов в анализе АЭС, анализ неопределенностей и чувствительности (Тестирование)
- КМ-3 Методы анализ неопределенностей и чувствительности, анализ аварий на АЭС, умение работать с нодализационными схемами расчетных кодов (Тестирование)
- КМ-4 Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Основные особенности Relap5 (Тестирование)
- КМ-5 Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Карты режимов потока в Relap5, теплообмен, межфазное трение и трение на стенке (Тестирование)
- КМ-6 Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Анализ аварий на РУ ВВЭР-440/B213 (Тестирование)
- КМ-7 Элементы системных расчетных кодов на примере Relap5. Моделирование специального оборудования, специальных процессов в Relap5. Элементы CFD кодов (Тестирование)
- КМ-8 Методы параллельных вычислений. Применение алгоритмов поиска глобального оптимуму в НИР ЯЭ (Тестирование)
- КМ-9 Основы использования нейронных сетей в НИР ЯЭ (Тестирование)
- КМ-10 Методы анализа сложных аварийных ситуаций на АЭС с применением ДВАБ (Тестирование)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс с КМ:	КМ -1	КМ -2	КМ -3	КМ -4	КМ -5	КМ -6	КМ -7	КМ -8	КМ -9	КМ -10
		Неделя КМ:	2	3	4	6	8	10	12	13	14	15
1	Основы анализа безопасности АЭС с использованием компьютерных технологий											
1.1	Основные понятия использования компьютерных расчетных кодов для анализа безопасности АЭС		+	+	+	+	+	+	+			
1.2	Основные положения анализа неопределенностей		+	+	+	+	+	+	+			
1.3	Основные положения моделирования		+	+	+	+	+	+	+			

	аварийных процессов на основе современных компьютерных кодов										
2	Основные особенности компьютерного кода анализа безопасности АЭС на примере кода RELAP5										
2.1	Основные особенности компьютерного кода RELAP5	+	+	+	+	+	+	+			
2.2	Моделирование нейтронной кинетики, тепловых структур и системы управления и защиты АЭС	+	+	+	+	+	+	+			
2.3	Использование карт режимов потока в коде RELAP5	+	+	+	+	+	+	+			
2.4	Основные замыкающие модели RELAP5	+	+	+	+	+	+	+			
2.5	Модели специальных процессов в RELAP5	+	+	+	+	+	+	+			
2.6	Моделирование специализированного оборудования АЭС в RELAP5	+	+	+	+	+	+	+			
3	Компьютерные технологии для решения сложных задач НИР ЯЭ										
3.1	Основные особенности CFD кодов	+	+	+	+	+	+	+			+
3.2	Компьютерные технологии параллельных вычислений			+			+		+	+	+
3.3	Технология решения сложных задач НИР ЯЭ на основе алгоритмов поиска глобального			+			+		+	+	+

	оптимума										
3.4	Использование нейронных сетей в задачах ЯЭ			+			+		+	+	+
3.5	Методы динамического вероятностного анализа безопасности (ДВАБ) АЭС			+			+		+	+	+
Вес КМ, %:		6	7	7	8	9	20	10	6	7	20