

**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**  
**ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ АЭС**


<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.09.02.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 3;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>108 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 57,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> Домашнее задание Контрольная работа Перекрестный опрос	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Казаров Г.И.
	Идентификатор	Rae44725d-KazarovGI-b3814b8d

(подпись)


Г.И. Казаров

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	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:** Изучение способов разработки универсальных математических моделей тепловых схем паротурбинных установок (ПТУ) АЭС и освоение работы с одной из таких моделей (с программой СХЕМА) для проведения расчетных исследований.

### Задачи дисциплины

- Изучение подходов (в том числе системного подхода) к моделированию структуры тепловой схемы ПТУ, преимуществ и недостатков созданных на их основе компьютерных программ..

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
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические и технологические процессы, используемые в атомной энергетике	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Владеет навыками исследования и проектирования технологической схемы АЭС применительно как к основному технологическому процессу, так и к вспомогательным технологическим системам	знать: - основные подходы к разработке математических моделей тепловых схем ПТУ.  уметь: - готовить исходные данные для расчета вариантов исследуемой тепловой схемы.
ПК-2 Способен проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования тепло-гидравлических и нейтронно-физических процессов в энергетическом оборудовании	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Владеет навыками постановки и решения задач исследования и проектирования технологических (тепловых) схем	знать: - особенности задачи оптимизации АЭС.  уметь: - сопоставлять результаты расчета вариантов и принимать решение (делать выводы) о предпочтительности одного или нескольких из рассчитанных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

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

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать назначение и основные характеристики технологических установок АЭС  
- уметь составлять уравнения материальных и энергетических (тепловых) балансов применительно к элементам оборудования тепловых схем

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 3 зачетных единицы, 108 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	Тепловые схемы и системный подход к их исследованию	18	3	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Тепловые схемы и системный подход к их исследованию"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Тепловые схемы и системный подход к их исследованию"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 15-17, 32 [3], гл. 3</p>	
1.1	Тепловые схемы и системный подход к их исследованию	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-		
2	Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-		
2.1	Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-		<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с.49 [2], п. 15.5</p>
3	Математическое моделирование	18		8	-	4	-	-	-	-	-	6	-		

	тепловых схем на основе групп элементов оборудования												"Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 61-63
3.1	Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования	18	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
4	Задача оптимизации АЭС	18	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Задача оптимизации АЭС" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Задача оптимизации АЭС" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], с. 85 [2], п. 3.2
4.1	Задача оптимизации АЭС	18	8	-	4	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	24	33.5	
	Итого за семестр	108.0	32	-	16		2		-	0.5		57.5	

**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. Тепловые схемы и системный подход к их исследованию

#### 1.1. Тепловые схемы и системный подход к их исследованию

Задача исследования технологической схемы АЭС. Функциональные свойства АЭС. Определение и состав тепловой схемы. Тепловые схемы принципиальные и полные. Виды и цели расчетов тепловых схем. Исследование АЭС на основе системного подхода. Иерархия задач исследования АЭС. Математические модели тепловых схем: определение и классификация. Принципы разработки на основе системного подхода и состав математических моделей тепловых схем. Математическая модель с фиксированной структурой тепловой схемы. Линейная математическая модель. Процедура теории графов для решения уравнений нелинейной математической модели..

### 2. Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования

#### 2.1. Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования

Способы моделирования тепловых схем на основе математических моделей элементов технологического оборудования. Примеры математических моделей элементов оборудования. Описание связей тепловой схемы в универсальной математической модели: с использованием указателей. Таблицы с задаваемыми логическими и физическими параметрами. Представление тепловой схемы в виде информационно-насыщенного графа. Способы описания связей вершин графа. Способы задания информационно-насыщенного графа тепловой схемы. Формирование массивов данных, необходимых для расчета тепловой схемы. Реализация математической модели на ЭВМ. Обеспечение удобства пользователей при подготовке исходных данных..

### 3. Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования

#### 3.1. Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования

Математическая модель тепловой схемы ПТУ на основе групп элементов технологического оборудования. Обоснование подхода, его преимущества. Обобщенные уравнения теплового баланса для различных систем паротурбинной установки: системы регенеративного подогрева питательной воды, теплофикационной установки, системы промежуточных сепарации и перегрева пара турбины. Матрицы, задающие структуру групп элементов оборудования. Обобщенное уравнение системы регенерации в матричной форме. Алгоритмы расчета и принципы построения универсальной программы расчета тепловых схем "СХЕМА"..

### 4. Задача оптимизации АЭС

#### 4.1. Задача оптимизации АЭС

Задача оптимизации АЭС. Исходная информация, ее вероятностный характер. Оптимизируемые параметры. Полная и локальные задачи. Временной аспект задачи оптимизации; основные этапы ее решения в соответствии с системным подходом. Иерархия математических моделей для полной задачи оптимизации АЭЯ. Критерии оптимальности: приведенные годовые и интегральные затраты; функция приведения. Разность приведенных затрат как критерий оптимальности локальной задачи. Современные подходы к оптимизации в условиях неопределенности исходной информации. Возможности многокритериальной оптимизация..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Основные правила работы с компьютерной программой СХЕМА; демонстрационное решение модельной задачи. Бланк результатов расчета.;
2. Бланк исходной информации и правила его заполнения. Подготовка исходных данных для базового варианта расчетного исследования (без расчета расширения пара в турбине).;
3. Способы определения значений внутренних относительных кпд цилиндров турбины. Расчет  $h$ ,  $s$ -диаграммы процесса расширения пара в турбине; влияние значений внутренних относительных кпд цилиндров на результаты расчета.;
4. Задание структуры системы регенерации ПТУ, Задание структуры теплофикационной установки и промежуточных сепарации и перегрева пара. Проведение расчета для ПТУ с промперегревом пара турбины в паропроизводительной установке.;
5. Задание исходных данных для насосов, установленных в тепловой схеме ПТУ и проведение расчетов с разными вариантами их установки.;
6. Расчет базового варианта расчетного исследования с помощью программы СХЕМА и анализ полученных результатов.;
7. Проведение вариантных расчетов; изменения в бланке исходной информации в соответствии с рассчитываемыми вариантами.;
8. Обработка результатов вариантных расчетов, их анализ, расчет дополнительных вариантов..

### 3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

### 3.5 Консультации

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

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Тепловые схемы и системный подход к их исследованию"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Задача оптимизации АЭС"

### 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	4	
<b>Знать:</b>						
основные подходы к разработке математических моделей тепловых схем ПТУ	ИД-1ПК-1		+	+		Контрольная работа/Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования.
особенности задачи оптимизации АЭС	ИД-1ПК-2				+	Перекрестный опрос/Тепловые схемы (ТС), виды и цели расчета, задачи оптимизации ТС. Математические модели ТС.
<b>Уметь:</b>						
готовить исходные данные для расчета вариантов исследуемой тепловой схемы	ИД-1ПК-1	+				Домашнее задание/Расчет тепловых схем по программе СХЕМА с измененным набором управляемых параметро
сопоставлять результаты расчета вариантов и принимать решение (делать выводы) о предпочтительности одного или нескольких из рассчитанных	ИД-1ПК-2				+	Домашнее задание/Расчет тепловых схем с использованием программы СХЕМА.



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

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

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования. (Контрольная работа)
2. Расчет тепловых схем по программе СХЕМА с измененным набором управляемых параметров (Домашнее задание)
3. Расчет тепловых схем с использованием программы СХЕМА. (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Тепловые схемы (ТС), виды и цели расчета, задачи оптимизации ТС. Математические модели ТС. (Перекрестный опрос)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. Зорин, В. М. Исследование и математическое моделирование АЭС на основе системного подхода : Учебное пособие по курсам "Атомные электростанции" и "Расчеты тепловых схем АЭС" по направлению "Техническая физика" (553100), по специальности "Атомные электростанции и установки"(1010) / В. М. Зорин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 88 с. - ISBN 5-7046-0755-1 .;
2. Зорин, В. М. Атомные электростанции. Основной технологический процесс : учебное пособие для вузов по специальности "Атомные электрические станции и установки" направления "Техническая физика" / В. М. Зорин . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 304 с. - ISBN 978-5-383-00322-0 .;
3. Тевлин С.А.- "Атомные электрические станции с реакторами ВВЭР-1000", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014134.html>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

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

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-321, Учебная аудитория	стеллаж, стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-319, Учебная аудитория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-319, 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-319, 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

### Исследования тепловых схем АЭС

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Расчет тепловых схем по программе СХЕМА с измененным набором управляемых параметро (Домашнее задание)
- КМ-2 Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования. (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет тепловых схем с использованием программы СХЕМА. (Домашнее задание)
- КМ-4 Тепловые схемы (ТС), виды и цели расчета, задачи оптимизации ТС. Математические модели ТС. (Перекрестный опрос)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Тепловые схемы и системный подход к их исследованию					
1.1	Тепловые схемы и системный подход к их исследованию		+			
2	Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования					
2.1	Математическое моделирование тепловых схем на основе элементов оборудования			+		
3	Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования					
3.1	Математическое моделирование тепловых схем на основе групп элементов оборудования			+		
4	Задача оптимизации АЭС					
4.1	Задача оптимизации АЭС				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25