

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Эффективные теплоэнергетические системы предприятий и ЖКХ

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ**  
**ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

<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.04</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 48 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 63,7 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>	
<b>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	<b>2 семестр - 0,3 часа;</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курзанов С.Ю.
	Идентификатор	R76dcd884-KurzanovSY-80905103

С.Ю. Курзанов


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

Ю.В.  
Яворовский

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

Ю.В.  
Яворовский

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в изучении способов моделирования теплоэнергетических и технологических процессов с использованием современного программного обеспечения, выработка навыков самостоятельно формулировать задачи расчета и оптимизации систем и процессов промышленной теплоэнергетики (ПТ), а также умения применять численные методы для решения поставленных задач

### Задачи дисциплины

- самостоятельного формулирования задачи расчета и оптимизации систем и процессов промышленной теплоэнергетики (ПТ);
- применения численных методов для решения поставленных задач с целью повышения энергетической эффективности установок ПТ;
- мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности объектов ПТ с учетом технологических, экологических и экономических факторов;
- анализировать существующие системы и их элементы, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;
- получения информации о новых направлениях в совершенствовании данных систем в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки систем и их элементов, как отечественных, так и зарубежных;
- работы в различных вычислительных средах, позволяющих моделировать теплоэнергетические процессы и системы;
- анализировать, сопоставлять результаты моделирования, производить поиск оптимизационного решения с помощью методов оптимизации.

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-3 Способен участвовать в эксплуатации теплоэнергетических систем предприятий и ЖКХ	ИД-2ПК-3 Способен проводить энергетические обследования теплоэнергетических систем предприятий и ЖКХ	знать: - 3-2. принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем.  уметь: - У-1. формулировать критерий и постановку задачу оптимизации и анализировать результаты.
РПК-1 Способен применять информационные технологии для проведения исследований в профессиональной деятельности	ИД-1РПК-1 Демонстрирует знание информационных технологий, используемых в профессиональной деятельности	знать: - 3-4. принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций; - 3-3. принципы перераспределения тепловых потоков сложных систем теплообмена; - 3-1. принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла.  уметь: - У-4. находить наиболее энергетически эффективные режимы работы

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		газотурбинных установок и парогазовых установок; - У-3. давать оценку повышению энергетической эффективности за счет рекуперации тепла в холодильных машинах; - У-2. находить энергоэффективное системное решение на основе эвристического подхода.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Эффективные теплоэнергетические системы предприятий и ЖКХ (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Раздел 1. Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»	31.5	2	8	-	12	-	-	-	-	-	11.5	-	<p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения задачи по разделу "Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. Провести расчеты по варианту задания и сделать выводы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 3-38 [4], стр. 3-7</p>	
1.1	Т-1. Анализ производств металлургического комбината. Постановка задачи оптимизации с учетом различных технологий и критериев оптимизации	31.5		8	-	12	-	-	-	-	-	-	11.5		-
2	Раздел 2. Математическая модель приводной газотурбинной установки	31.5		8	-	12	-	-	-	-	-	-	11.5		-
2.1	Т-2. Рассмотрение системы приводной ГТУ. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых	31.5	8	-	12	-	-	-	-	-	-	11.5	-		



	энергии в рамках исследуемой системы												
	Зачет с оценкой	18.0	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	144.0	32	-	48	-	-	-	-	0.3	46.0	17.7	
	Итого за семестр	144.0	32	-	48	-	-	-	-	0.3	63.7		

**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. Раздел 1. Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»

1.1. Т-1. Анализ производств металлургического комбината. Постановка задачи оптимизации с учетом различных технологий и критериев оптимизации

С-1. Структура и возможности программно-информационной системы «Оптимет». Математическая модель всех производств и технологий металлургического комбината от прихода сырья до реализации продукции. Определение потребления топливно-энергетических ресурсов, расчет себестоимости по всем цехам; расчет балансов (материального, энергетического) производств и оптимизация по различным критериям.

#### 2. Раздел 2. Математическая модель приводной газотурбинной установки

2.1. Т-2. Рассмотрение системы приводной ГТУ. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых параметров

С-2. Представление математической модели приводной газотурбинной установки, на основе графического программирования. Получение режимных характеристик при изменении различных параметров. Проведение оптимизационных расчетов с целью нахождения наиболее экономичного режима работы. Поиск решений методом последовательного приближения и проведение итерационных расчетов. Представление результатов в графическом и табличном виде. Представление различных видов системных и схемных решений: многоступенчатые компрессора и газовые турбины, использование котлов утилизаторов; системные решения на основе парогазовых установок; замкнутых циклов; различных видов рекуперации и аккумулирования тепловой энергии.

#### 3. Раздел 3. Математическая модель перераспределения тепла греющих и нагреваемых тепловых потоков сложной системы теплообмена

3.1. Т-3. Дискретная оптимизация. Сложная система теплообмена. Эвристический подход

С-3. Представление задачи дискретной оптимизации (Пинч-анализ) с методикой выбора наилучших схемных решений, которые не возможно представить в виде одной математической модели. Для выбора наилучшего решения производится сравнение значений целевых функций математических моделей с целью минимизации тепловой энергии подводимой из вне для нагрева энергоносителей; минимизации тепловой энергии отводимой для охлаждения потоков энергоносителей; минимизации потери энергии при транспортировке.

#### 4. Раздел 4. Математическая модель абсорбционной холодильной установки

4.1. Т-4. Рассмотрение системы Абсорбционной бромисто-литиевой холодильной установки. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых параметров. Рассмотрение возможных вариантов регенерации тепловой энергии в рамках исследуемой системы

С-4. Представление математической модели абсорбционной бромисто-литиевой установки, на основе графического программирования. Получение режимных характеристик при изменении различных параметров. Проведение оптимизационных расчетов с целью нахождения наиболее экономичного режима работы. Поиск решений методом последовательного приближения и проведение итерационных расчетов. Представление результатов в графическом и табличном виде. Представление различных видов системных и схемных решений: машины с двойным конденсатором; машины с двойным абсорбером.



### **3.3. Темы практических занятий**

1. Математическая модель АБХМ;
2. Оптимизация системы сложного теплообмена. Пинч анализ;
3. Математическая модель приводной газотурбинной установки;
4. Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината в программно- информационной системе «Оптимет».

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

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

1. Обсуждение материалов по разделам "Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»"
2. Обсуждение материалов по разделам "Математическая модель приводной газотурбинной установки"
3. Обсуждение материалов по разделам "Математическая модель перераспределения тепла греющих и нагреваемых тепловых потоков сложной системы теплообмена"
4. Обсуждение материалов по разделам "Математическая модель абсорбционной холодильной установки"

### **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>						
3-2. принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем	ИД-2ПК-3	+				Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №1
3-1. принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла	ИД-1РПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №4
3-3. принципы перераспределения тепловых потоков сложных систем теплообмена	ИД-1РПК-1			+		Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №3
3-4. принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций	ИД-1РПК-1		+			Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №2
<b>Уметь:</b>						
У-1. формулировать критерий и постановку задачу оптимизации и анализировать результаты	ИД-2ПК-3	+				Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №1
У-2. находить энергоэффективное системное решение на основе эвристического подхода	ИД-1РПК-1			+		Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №3
У-3. давать оценку повышению энергетической эффективности за счет рекуперации тепла в холодильных машинах	ИД-1РПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №4
У-4. находить наиболее энергетически эффективные режимы работы газотурбинных установок и парогазовых установок	ИД-1РПК-1		+			Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №2

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

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

**2 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Индивидуальное задание №1 (Расчетно-графическая работа)
2. Индивидуальное задание №2 (Расчетно-графическая работа)
3. Индивидуальное задание №3 (Расчетно-графическая работа)
4. Индивидуальное задание №4 (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Зачет с оценкой (Семестр №2)*

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Султангузин, И. А. Математическое моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических систем : учебное пособие по курсу "Алгоритмизация, моделирование и оптимизация теплоэнергетических систем промышленных предприятий" по направлению "Теплоэнергетика" / И. А. Султангузин, Ю. В. Яворовский, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 92 с. - ISBN 978-5-383-00295-7 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=782>;
2. Султангузин, И. А. Научно-технические основы моделирования и оптимизации энерготехнологической системы металлургического комбината: 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика : автореферат диссертации доктора технических наук / И. А. Султангузин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – 2005 . – 40 с.;
3. Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики : учебное пособие по курсам "Прикладные программные средства в теплоэнергетике", "Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических систем", "Численные методы моделирования" и др. по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. В. Федюхин, И. А. Султангузин, С. Ю. Курзанов, и др., Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 88 с. - ISBN 978-5-7046-1704-4 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=8176>;
4. А. Г. Семенов, И. А. Печерских- "Математическое и компьютерное моделирование", Издательство: "Кемеровский государственный университет", Кемерово, 2019 - (237 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=574121>;
5. Соколов, Е. Я. Эффективность и устойчивость работы абсорбционных холодильных установок в системах теплофикации : Диссертация доктора технических наук / Е. Я. Соколов, Всесоюз. теплотехн. науч.-исслед. ин-т им. Ф.Э. Дзержинского, Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – 1941 . – 158 с..

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

## 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. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	З-207, Компьютерный класс каф. "ПТС"	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	З-207, Компьютерный класс каф. "ПТС"	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	З-207, Компьютерный класс каф. "ПТС"	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-204, Кабинет сотрудников каф. "ПТС"	стеллаж, стол преподавателя, стол для оргтехники, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютер персональный, принтер, холодильник
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-206, Кабинет сотрудников каф. "ПТС"	стул, шкаф для документов, стол письменный, кондиционер, дипломные и курсовые работы студентов

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Математическое моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических систем

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

КМ-1 Индивидуальное задание №1 (Расчетно-графическая работа)

КМ-2 Индивидуальное задание №2 (Расчетно-графическая работа)

КМ-3 Индивидуальное задание №3 (Расчетно-графическая работа)

КМ-4 Индивидуальное задание №4 (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	3	7	11	13
1	Раздел 1. Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»					
1.1	Т-1. Анализ производств металлургического комбината. Постановка задачи оптимизации с учетом различных технологий и критериев оптимизации		+			
2	Раздел 2. Математическая модель приводной газотурбинной установки					
2.1	Т-2. Рассмотрение системы приводной ГТУ. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых параметров			+		
3	Раздел 3. Математическая модель перераспределения тепла греющих и нагреваемых тепловых потоков сложной системы теплообмена					
3.1	Т-3. Дискретная оптимизация. Сложная система теплообмена. Эвристический подход				+	
4	Раздел 4. Математическая модель абсорбционной холодильной установки					
4.1	Т-4. Рассмотрение системы Абсорбционной бромистолитиевой холодильной установки. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых параметров. Рассмотрение возможных вариантов регенерации тепловой энергии в рамках исследуемой системы					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25