

**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**  
**ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.05
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 5;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	180 часов
<b>Лекции</b>	2 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 48 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 97,5 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>Расчетно-графическая работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

С.Ю. Курзанов

(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	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

(подпись)

Ю.В.

Яворовский

(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	Яворовский Ю.В.
	Идентификатор	R7e35b260-YavorovskyYV-dabb149

(подпись)

Ю.В.

Яворовский

(расшифровка подписи)

## 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: - принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем; - принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций; - принципы перераспределения тепловых потоков сложных систем теплообмена; - принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла.

## 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 среднего общего образования.

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 5 зачетных единиц, 180 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	Моделирование и оптимизация производств металлургического комбината «Оптимет»	36	2	8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	<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	Анализ производств металлургического комбината. Постановка задачи оптимизации с учетом различных технологий и критериев оптимизации	36		8	-	12	-	-	-	-	-	16	-		
2	Математическая модель приводной газотурбинной установки	36		8	-	12	-	-	-	-	-	16	-		<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания необходимо выполнить графическое построение системы приводной газотурбинной установки, представить данную систему в виде графа. На основе графа создать систему балансовых уравнений. Определить количество оптимизируемых параметров. Задание выполняется индивидуально по вариантам</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 10-20 [3], стр. 33-48 [4], стр. 3-7</p>
2.1	Рассмотрение системы приводной ГТУ. Составление графической схемы и балансовых уравнений. Определение числа оптимизируемых параметров	36		8	-	12	-	-	-	-	-	16	-		

3	Математическая модель перераспределения тепла греющих и нагреваемых тепловых потоков сложной системы теплообмена	36	8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания необходимо разработать сложную систему теплообмена на основе эвристического подхода, представить данную систему в виде графа. Рассчитать параметры эффективности полученной системы. Задание выполняется индивидуально по вариантам</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[4], стр. 3-7</p>
3.1	Дискретная оптимизация. Сложная система теплообмена. Эвристический подход	36	8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	
4	Математическая модель абсорбционной холодильной установки	36	8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	
4.1	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	36	8	-	12	-	-	-	-	-	16	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>33.5</b>	

	Итого за семестр	180.0		32	-	48	2	-	0.5	97.5	
--	------------------	-------	--	----	---	----	---	---	-----	------	--

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

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

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. Математическая модель приводной газотурбинной установки

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

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

3.1. Дискретная оптимизация. Сложная система теплообмена. Эвристический подход

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. Математическая модель абсорбционной холодильной установки

4.1. 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

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

### **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>						
принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла	ИД-2пк-3				+	Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №4
принципы перераспределения тепловых потоков сложных систем теплообмена	ИД-2пк-3			+		Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №3
принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций	ИД-2пк-3		+			Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №2
принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем	ИД-2пк-3	+				Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №1

#### **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**

Экзамен (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/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=782](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8176](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=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. Майнд Видеоконференции.

## 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	3-207, 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	3-207, Компьютерный класс каф. "ПТС"	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	3-207, Компьютерный класс каф. "ПТС"	стеллаж для хранения книг, стул, шкаф, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный
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	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 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 – Экзамен.**

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