

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

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.04 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 2 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 2 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 2 семестр - 48 часа; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 2 семестр - 63,7 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Расчетно-графическая работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 2 семестр - 0,3 часа; |

Москва 2025

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: - 3-1. принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла. 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: - 3-2. принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем; - 3-3. принципы перераспределения тепловых потоков сложных систем теплообмена; - 3-4. принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций. уметь: - У-2. находить энергоэффективное системное решение на основе |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|--------------------------------|--|--|
| | | эвристического подхода; - У-3. давать оценку повышению энергетической эффективности за счет рекуперации тепла в холодильных машинах; - У-4. находить наиболее энергетически эффективные режимы работы газотурбинных установок и парогазовых установок. |

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><u>Подготовка расчетных заданий:</u> 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><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [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 | |
| Знать: | | | | | | |
| 3-1. принципы работы холодильных установок и возможные способы рекуперации тепла | ИД-2ПК-3 | + | | | | Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №1 |
| 3-4. принципы работы газотурбинных установок, парогазовых установок и их модификаций | 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 |
| 3-2. принципы математического моделирования промышленных теплоэнергетических систем | ИД-1РПК-1 | | + | | | Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №2 |
| Уметь: | | | | | | |
| У-1. формулировать критерий и постановку задачу оптимизации и анализировать результаты | ИД-2ПК-3 | + | | | | Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №1 |
| У-4. находить наиболее энергетически эффективные режимы работы газотурбинных установок и парогазовых установок | ИД-1РПК-1 | | | | + | Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №4 |
| У-3. давать оценку повышению энергетической эффективности за счет рекуперации тепла в холодильных машинах | ИД-1РПК-1 | | | + | | Расчетно-графическая работа/Индивидуальное задание №3 |
| У-2. находить энергоэффективное системное решение на основе эвристического подхода | 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
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-303, Лекционная аудитория | 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 |