

**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: Цифровое проектирование объектов энергетики

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

|                                                                            |                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <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.02.01.02</b>                                            |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>                                   | <b>1 семестр - 4;</b>                                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>                                    | <b>144 часа</b>                                                 |
| <b>Лекции</b>                                                              | <b>1 семестр - 16 часов;</b>                                    |
| <b>Практические занятия</b>                                                | <b>1 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Лабораторные работы</b>                                                 | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>                                                        | <b>1 семестр - 2 часа;</b>                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>                                              | <b>1 семестр - 93,5 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><br>Тестирование<br>Контрольная работа<br>Творческая задача |                                                                 |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>                                           |                                                                 |
| <b>Экзамен</b>                                                             | <b>1 семестр - 0,5 часа;</b>                                    |

**Москва 2025**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

---

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец                                           | Сиденков Д.В.                 |
|  | Идентификатор                                      | R7ad01b54-SidenkovDV-41309924 |

Д.В. Сиденков

---

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

---

|  |                                                    |                             |
|--|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|  | Владелец                                           | Геллер Ю.А.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rd15fd2d3-GellerYA-54f8e43b |

Ю.А. Геллер

---

Заведующий выпускающей  
кафедрой

---

|  |                                                    |                                |
|--|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец                                           | Шацких Ю.В.                    |
|  | Идентификатор                                      | R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f |

Ю.В. Шацких

---

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ алгоритмизации и применения методов оптимизации для решения практических задач проектирования и управления теплотехническими системами теплоэнергетических объектов различного уровня сложности.

### Задачи дисциплины

- Изучение методов построения математических моделей различного уровня теплоэнергетических и теплотехнических систем;
- Освоение математических методов оптимизации для решения практических задач математического моделирования теплоэнергетического оборудования;
- Освоение особенностей программной реализации методов оптимизации при взаимодействии со специализированными пакетами программ;
- Приобретение умения выбирать наилучший вариант из возможных при разработке и эксплуатации теплотехнических систем различного уровня сложности (систем теплохолодоснабжения с теплонасосными установками, систем на основе «органического» цикла Ренкина).

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-4 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности | ИД-ЗПК-4 Проводит оптимизационные расчеты объектов профессиональной деятельности | <p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- способы постановки задач оптимизации в теплоэнергетике;</li><li>- схемы и потребители систем электро-тепло- хладоснабжения на основе органического цикла Ренкина и с теплонасосными установками;</li><li>- критерии эффективности циклов, процессов, аппаратов и установок.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- применять современные методы для решения задач оптимизации в теплоэнергетике;</li><li>- рассчитывать и анализировать показатели эффективности систем электро- тепло- холодоснабжения для заданных внешних условий, а также элементов этих систем;</li><li>- выбирать оборудование для систем теплохолодоснабжения с ТНУ;</li><li>- разрабатывать алгоритмы, выбирать методики и инструментарий для решения типовых задач оптимизации в теплоэнергетике.</li></ul> |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Цифровое проектирование объектов энергетики (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Дисциплина базируется на уровне бакалавриата
- уметь Дисциплина базируется на уровне бакалавриата

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.

| №<br>п/п | Разделы/темы<br>дисциплины/формы<br>промежуточной<br>аттестации                                                           | Всего часов<br>на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                      |                                         | Содержание самостоятельной работы/<br>методические указания                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------|-----|----|--------------|---|-----|----|----|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                                                                                                           |                          |         | Контактная работа                                                    |     |    |              |   |     |    |    | СР                   |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|          |                                                                                                                           |                          |         | Лек                                                                  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в<br>семестре | Подготовка к<br>аттестации<br>/контроль |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| КПР      | ГК                                                                                                                        | ИККП                     | ТК      |                                                                      |     |    |              |   |     |    |    |                      |                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1        | 2                                                                                                                         | 3                        | 4       | 5                                                                    | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                   | 14                                      | 15                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1        | Методы<br>оптимизационных<br>расчетов в<br>теплоэнергетике                                                                | 108                      | 1       | 16                                                                   | -   | 32 | -            | - | -   | -  | -  | 60                   | -                                       | <b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [6, 7] с.152-164, с.80-92, [2] 20-40<br><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> КМ-4<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [6, 7] с.100-130, с. 60-65. Выполнение РЗ Задание №3 (КМ-4)<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> КМ-3<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [2] 36-40, [3] с.21-27. Выполнение РЗ Задание №2 (КМ-4)<br>Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений» (КМ-3)<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [2] с. 41-60. Выполнение РЗ Задание №1 (КМ-4)<br>Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ» (КМ-2)<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [1] с. 352-365, 369, 321-327, 332, 516-521, 535-537, 543, [2] 65-74, [3] 12-14, 52-70<br><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> КМ-2<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [2] с. 10-40<br><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> |
| 1.1      | Введение. Постановка<br>задач оптимизации в<br>теплоэнергетике                                                            | 4                        |         | 2                                                                    | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 2                    | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.2      | Системы электро-<br>тепло-хладо-<br>снабжения (СТХС).<br>Состав СТХС                                                      | 10                       |         | 2                                                                    | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                    | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.3      | Схемы и<br>термодинамические<br>циклы теплонасосной<br>установки (ТНУ)                                                    | 20                       |         | 2                                                                    | -   | 6  | -            | - | -   | -  | -  | 12                   | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.4      | Тепломассообмен в<br>испарителе /<br>конденсаторе ТНУ. ε–<br>NTU метод теплового<br>расчета<br>теплообменных<br>аппаратов | 20                       |         | 4                                                                    | -   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 8                    | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.5      | Схемы и<br>термодинамические<br>циклы<br>тригенерационной<br>установки с ТНУ                                              | 24                       |         | 2                                                                    | -   | 8  | -            | - | -   | -  | -  | 14                   | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 1.6      | Система                                                                                                                   | 18                       |         | 2                                                                    | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 12                   | -                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|     |                                                                                 |       |  |    |   |    |   |   |   |     |      |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|-------|--|----|---|----|---|---|---|-----|------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | коммуникаций СТХС.<br>Практические задачи<br>теплового расчета<br>трубопроводов |       |  |    |   |    |   |   |   |     |      |    | Терминологический тест: «Постановка задач<br>оптимизации» (КМ-1)<br><b><u>Самостоятельное изучение<br/>теоретического материала:</u></b> [4, 5, 8] с. 9-21<br><b><u>Изучение материалов литературных<br/>источников:</u></b><br>[1], с. 352-365, 369, 321-327, 332, 516-521,<br>535-537, 543<br>[2], с. 352-365, 369, 321-327, 332, 516-521,<br>535-537, 543<br>[3], с. 10-40, с. 41-60, с. 65-70<br>[4], 12-14, 52-70, 21-27<br>[5], с. 9-21<br>[6], с. 9-21<br>[7], 232-246<br>[8], с. 19-27<br>[9], 233-242, 274-315, 339-350, 364-406<br>[10], 1-70<br>[11], 1-65 |
| 1.7 | Технико-<br>экономическая<br>оптимизация<br>теплотехнических<br>установок       | 12    |  | 2  | - | 4  | - | - | - | -   | -    | 6  | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|     | Экзамен                                                                         | 36.0  |  | -  | - | -  | - | 2 | - | -   | 0.5  | -  | 33.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|     | Всего за семестр                                                                | 144.0 |  | 16 | - | 32 | - | 2 | - | -   | 0.5  | 60 | 33.5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|     | Итого за семестр                                                                | 144.0 |  | 16 | - | 32 | 2 | - | - | 0.5 | 93.5 |    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

**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. Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике

#### 1.1. Введение. Постановка задач оптимизации в теплоэнергетике

Понятие графа теплообменного устройства и тепловой схемы. Свойства теплотехнических графов. Построение целевой функции и выбор критериев эффективности. Одномерная оптимизация. Задачи условной/безусловной оптимизации. Численные методы решения задач одномерной оптимизации. Линейные/нелинейные системы. Методы многомерной оптимизации..

#### 1.2. Системы электро- тепло-холодо-снабжения (СТХС). Состав СТХС

Тенденции развития, перспективы применения. Применение пароконденсационных ТНУ в схемах ТЭЦ, КЭС и в автономных СТХС для обеспечения холодильной и отопительной нагрузки, и нагрузки горячего водоснабжения (ГВС). Оборудование комбинированной СТХС с теплонасосным отоплением и ГВС. Иерархическая структура СТХС как теплоэнергетического объекта, критерии эффективности каждого уровня структуры. Методика построения характеристики сложного теплотехнического объекта..

#### 1.3. Схемы и термодинамические циклы теплонасосной установки (ТНУ)

Схема простой ТНУ и ее элементы (компрессор, испаритель, конденсатор, дросселирующее устройство). Рабочие вещества ТНУ. Экологические критерии выбора рабочих веществ. Термодинамические циклы простой ТНУ, с регенерацией теплоты и с переохлаждением. Расчет теплофизических параметров в характерных точках цикла. Энергетическая эффективность. Холодильный коэффициент и коэффициент преобразования теплоты. Оценка степени внутренней и внешней обратимости цикла ТНУ для различных рабочих веществ. Определяющие критерии. Эксергетический КПД. Постановка задачи проектного расчета ТНУ как задачи оптимизации..

#### 1.4. Тепломассообмен в испарителе / конденсаторе ТНУ. $\epsilon$ -NTU метод теплового расчета теплообменных аппаратов

Интенсивность процессов. Факторы, лимитирующие теплопередачу в испарителе/конденсаторе. Интенсификация процесса теплопередачи в испарителе ТНУ с помощью оребрения. Коэффициент эффективности оребренной поверхности. Постановка задачи двухпараметрической технико-экономической оптимизации теплообменника ТНУ. Оптимизируемые параметры, целевая функция. Применение методов многомерной оптимизации (симплекс-метод, метод градиента, метод Ньютона-Рафсона) для решения линейных/нелинейных систем. Алгоритмы и блок-схемы. Применение методов оптимизации для построения аппроксимаций наборов данных, представленных в табличной форме. Выбор оборудования ТНУ. Постановка задачи поверочного расчета ТНУ. Оценка технико-экономической эффективности ТНУ с помощью укрупненных показателей. Техничко-экономическая оптимизация СТХС как задача многопараметрической оптимизации с ограничениями в виде равенств и неравенств. Алгоритм и блок-схема..

#### 1.5. Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ

Расчет теплофизических параметров в характерных точках термодинамического цикла тригенерационной установки. Особенности применения различных рабочих веществ в прямом и обратном термодинамическом цикле. Определяющие критерии, целевая функция. Эксергетический КПД установки. Оценка максимальной теплопроизводительности теплообменных аппаратов в схемах ТЭС и ТНУ. Применение  $\epsilon$  – NTU метода для расчета и оптимизации теплообменных аппаратов с помощью «генетического» алгоритма. Постановка

задачи проектного расчета схемы тригенерационной установки как задачи многокритериальной оптимизации..

#### 1.6. Система коммуникаций СТХС. Практические задачи теплового расчета трубопроводов

Трубопроводный транспорт тепло-хладоносителей. Надземные и подземные коммуникации. Тепловой и гидравлический расчет трубопроводов. Математическая модель для расчета температурных режимов надземных и подземных трубопроводов. Формулы Шухова и Форхгеймера. Оценка погрешности приближенных формул. Сопоставление с численным решением двумерной задачи стационарной теплопроводности в системе трубопровод-грунт-атмосфера с помощью пакета ANSYS. Системы обогрева трубопроводов. Постановка и решение задачи компенсации теплопотерь трубопровода. Оценка времени безопасной остановки перекачки транспортируемого вещества. Расчет тепловой мощности необходимой для разогрева транспортируемого продукта до заданной температуры. Определение минимальной длины участка обогрева. Постановка задач оптимизации применительно к расчету температурных режимов трубопроводов. Выбор целевой функции и критериев эффективности. Безусловная и условная оптимизация. Применение методов одномерной оптимизации (бисекции, золотого сечения, Ньютона ...) для решения линейных/нелинейных уравнений. Алгоритмы и блок-схемы решения практических задач теплового расчета трубопроводов..

#### 1.7. Техничко-экономическая оптимизация теплотехнических установок

Критерии эффективности. Построение целевой функции с помощью метода удельных приведенных затрат. Классификация удельных приведенных затрат по техническим, режимным и экономическим признакам. Техничко-экономическая оптимизация многоцелевых теплотехнических установок. Применение эксергетического метода анализа для определения интегрального критерия эффективности и оптимального значения целевой функции, построенной с помощью метода удельных приведенных затрат. Применение современной вычислительной техники для решения задач энергетической и технико-экономической оптимизации. Алгоритмы, блок-схемы и базы данных, структура вычислительной программы..

### 3.3. Темы практических занятий

1. 11. Анализ энергетической эффективности при применении различных рабочих веществ в различных контурах тригенерационной установки. Граф тепловой схемы. Выбор целевых функций;
2. 2. Выбор оборудования компрессорной системы. Построение характеристик оборудования с помощью аппроксимаций наборов данных;
3. 16. Техничко-экономический анализ системы теплохолодоснабжения (СТХС) с ТНУ;
4. 15. Техничко-экономический анализ тригенерационной системы с ТНУ;
5. 13. Метод неопределенных множителей Лагранжа для решения задач условной минимизации;
6. 9. Применение «генетического» алгоритма для оптимизации теплообменных аппаратов;
7. 10. Расчет термодинамических параметров в характерных точках цикла тригенерационной установки с ТНУ;
8. 8. Применение  $\epsilon - NTU$  метода для теплового расчета теплообменных аппаратов;
9. 6. Применение методов одномерной и многомерной оптимизации (метод градиента, бисекции, золотого сечения, симплекс метод);
10. 5. Построение характеристик основных элементов теплонасосной установки;
11. 4. Теплогидравлический расчет теплообменного аппарата как задача простой



- оптимизации, построение целевой функции;
12. 14. Расчет тепловых потерь подземного трубопровода с помощью программы «ANSYS» (2 часа);
13. 3. Проектный и поверочный расчет теплонасосной установки;
14. 1. Расчет термодинамических параметров в характерных точках цикла теплонасосной установки (ТНУ). Анализ энергетической и эксергетической эффективности ТНУ с различными рабочими веществами;
15. 7. Оценка максимальной теплопроизводительности теплообменных аппаратов в схемах ТЭС и ТНУ;
16. 12. Инженерная методика расчета температурного режима трубопровода. Применение методов оптимизации в технико-экономических расчетах трубопроводов.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий

### **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<br>(в соответствии с разделом 1)                                                                     | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | Оценочное средство (тип и наименование)                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                        |                  | 1                                                 |                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Знать:</b>                                                                                                                                          |                  |                                                   |                                                                                                                                                                                                                   |
| критерии эффективности циклов, процессов, аппаратов и установок                                                                                        | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Контрольная работа/Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ»                                                                                                                                      |
| схемы и потребители систем электро-тепло-хладоснабжения на основе органического цикла Ренкина и с теплонасосными установками                           | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Контрольная работа/Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений»<br><br>Творческая задача/Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ» |
| способы постановки задач оптимизации в теплоэнергетике                                                                                                 | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Тестирование/Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации»                                                                                                                                               |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                                                          |                  |                                                   |                                                                                                                                                                                                                   |
| разрабатывать алгоритмы, выбирать методики и инструментарий для решения типовых задач оптимизации в теплоэнергетике                                    | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Контрольная работа/Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений»                                                                                                                 |
| выбирать оборудование для систем теплохладоснабжения с ТНУ                                                                                             | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Контрольная работа/Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ»                                                                                                                                      |
| рассчитывать и анализировать показатели эффективности систем электро- тепло-хладоснабжения для заданных внешних условий, а также элементов этих систем | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Творческая задача/Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ»                                                                                                          |
| применять современные методы для решения задач оптимизации в теплоэнергетике                                                                           | ИД-3ПК-4         | +                                                 | Тестирование/Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации»                                                                                                                                               |

#### **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: Компьютерное задание

1. Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений» (Контрольная работа)
2. Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ» (Контрольная работа)
3. Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ» (Творческая задача)

Форма реализации: Письменная работа

1. Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

###### Экзамен (Семестр №1)

Экзамен. Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих

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. Григорьев Б.А. , Цветков Ф.Ф. - "Тепломассообмен", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72294](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72294);
2. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – М. : Издательский дом МЭИ, 2011. – 562 с. – ISBN 978-5-383-00563-7.  
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=4233>;
3. Теплотехнические основы теплонасосных систем : учебное пособие по курсу "Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике" для студентов, обучающихся по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергетическое машиностроение", "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. А. Сухих, Д. В. Сиденков, В. И. Величко, В. Ю. Демьяненко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 72 с. – Авторы указаны на обороте тит. л. – ISBN 978-5-7046-2446-2.  
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=11570>;
4. Сухих, А. А. Экспериментальное и расчетное исследование теплотехнических характеристик теплонасосной установки на CO<sub>2</sub> : учебное пособие по курсу "Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике" по направлениям "Теплоэнергетика и теплотехника", "Энергетическое машиностроение", "Ядерная энергетика и теплофизика" / А.

- А. Сухих, Д. В. Сиденков, Н. В. Егорова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 72 с. – ISBN 978-5-7046-2445-5.  
<http://elibrary.mpei.ru/elibrary/view.php?id=11542>;
5. Амосов, А. А. Вычислительные методы : учебное пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинский, Н. В. Копченкова. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 672 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1623-3.;
6. Хофер, Э. Численные методы оптимизации : пер. с нем. / Э. Хофер, Р. Лундерштедт. – М. : Машиностроение, 1981. – 192 с.;
7. Тепловые электрические станции : учебник для вузов по специальности "Тепловые электрические станции" направления "Теплоэнергетика" / В. Д. Буров, [и др.] ; ред. В. М. Лавыгин, А. С. Седлов, С. В. Цанев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 466 с. – ISBN 978-5-903072-86-6.;
8. Теплоэнергетика и теплотехника: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент : справочник / А. А. Александров, и др. ; Ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с. – (Теплоэнергетика и теплотехника ; Кн.2). – ISBN 5-7046-0512-5.;
9. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1. : пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.;
10. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : Справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. – М. : Изд-во МЭИ, 1999. – 168 с. – ISBN 5-7046-0397-1 : 60.00.;
11. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017. – 226 с. – ISBN 978-5-383-01073-0..

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

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

## **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 журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
4. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibrary.mpei.ru/login.php>
8. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
9. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
10. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
11. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
12. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
13. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>  
 15. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>  
 16. 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 | В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс | рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный                                                                                                                                                            |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс | рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный                                                                                                                                                            |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | В-209/14, Учебно-исследовательская лаборатория «Теплонасосные системы»; Учебно-демонстрационный пункт теплоснабжения; Компьютерный класс | рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, инвентарь специализированный                                                                                                                                                            |
| 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-209/7, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"                                                                                                  | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер                                                                          |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря                | В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"                                                                            | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации» (Тестирование)  
 КМ-2 Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ» (Контрольная работа)  
 КМ-3 Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений» (Контрольная работа)  
 КМ-4 Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ» (Творческая задача)

#### 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             | Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике                                                                   |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Введение. Постановка задач оптимизации в теплоэнергетике                                                            |            | +    |      |      |      |
| 1.2           | Системы электро- тепло-холо-снабжения (СТХС). Состав СТХС                                                           |            |      | +    |      |      |
| 1.3           | Схемы и термодинамические циклы теплонасосной установки (ТНУ)                                                       |            |      | +    |      |      |
| 1.4           | Тепломассообмен в испарителе / конденсаторе ТНУ. $\varepsilon$ -NTU метод теплового расчета теплообменных аппаратов |            |      |      | +    |      |
| 1.5           | Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ                                                    |            |      |      | +    | +    |
| 1.6           | Система коммуникаций СТХС. Практические задачи теплового расчета трубопроводов                                      |            | +    |      |      |      |
| 1.7           | Технико-экономическая оптимизация теплотехнических установок                                                        |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |                                                                                                                     |            | 10   | 30   | 30   | 30   |