

**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: Теплотехника и малая распределенная энергетика**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|  |                                                    |                               |
|--|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | 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                                           | Шацких Ю.В.                    |
|  | Идентификатор                                      | R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f |

Ю.В.  
Шацких

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

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен к проведению расчетно-теоретических исследований теплогидравлических процессов объектах профессиональной деятельности

ИД-3 Проводит оптимизационные расчеты объектов профессиональной деятельности

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

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)

## БРС 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.**

| Раздел дисциплины                                 | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|
|                                                   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|                                                   | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |
| Методы оптимизационных расчетов в теплоэнергетике |                                 |      |      |      |      |

|                                                                                                                     |    |    |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
| Введение. Постановка задач оптимизации в теплоэнергетике                                                            | +  |    |    |    |
| Системы электро- тепло-холодо-снабжения (СТХС). Состав СТХС                                                         |    | +  |    |    |
| Схемы и термодинамические циклы теплонасосной установки (ТНУ)                                                       |    | +  |    |    |
| Тепломассообмен в испарителе / конденсаторе ТНУ. $\varepsilon$ -NTU метод теплового расчета теплообменных аппаратов |    |    | +  |    |
| Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ                                                    |    |    | +  | +  |
| Система коммуникаций СТХС. Практические задачи теплового расчета трубопроводов                                      | +  |    |    |    |
| Технико-экономическая оптимизация теплотехнических установок                                                        |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                                                                                             | 10 | 30 | 30 | 30 |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                        | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1               | ИД-3ПК-1 Проводит оптимизационные расчеты объектов профессиональной деятельности | <p>Знать:</p> <p>критерии эффективности циклов, процессов, аппаратов и установок схемы и потребителей систем электро-тепло-хладоснабжения на основе органического цикла Ренкина и с теплонасосными установками</p> <p>способы постановки задач оптимизации в теплоэнергетике</p> <p>Уметь:</p> <p>разрабатывать алгоритмы, выбирать методики и инструментарий для решения типовых задач оптимизации в теплоэнергетике</p> <p>выбирать оборудование для систем теплохолодоснабжения с ТНУ</p> | <p>КМ-1 Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации» (Тестирование)</p> <p>КМ-2 Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ» (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений» (Контрольная работа)</p> <p>КМ-4 Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ» (Творческая задача)</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>             рассчитывать и<br/>             анализировать показатели<br/>             эффективности систем<br/>             электро- тепло-<br/>             холодоснабжения для<br/>             заданных внешних<br/>             условий, а также<br/>             элементов этих систем<br/>             применять современные<br/>             методы для решения задач<br/>             оптимизации в<br/>             теплоэнергетике           </p> |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Терминологический тест: «Постановка задач оптимизации»**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Ответы письменно на вопросы теста.

#### **Краткое содержание задания:**

- 1 Основные источники низкопотенциальной теплоты
- 2 Возможно ли использование ТНУ для одновременной выработки теплоты и холода
- 3 Рабочие вещества ТНУ
- 4 ТНУ - это .... (закончите фразу)
- 5 Цель применения ТНУ
- 6 Как рассчитать коэффициент преобразования ТНУ
- 7 Как рассчитать холодильный коэффициент ТНУ
- 8 Зачем нужен конденсатор
- 9 Зачем нужен испаритель
- 10 Зачем нужен компрессор в ТНУ

#### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                   | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: способы постановки задач оптимизации в теплоэнергетике                       | 1.1 Основные источники низкопотенциальной теплоты<br>2 Возможно ли использование ТНУ для одновременной выработки теплоты и холода<br>3 Рабочие вещества ТНУ<br>4 Цель применения ТНУ |
| Уметь: применять современные методы для решения задач оптимизации в теплоэнергетике | 1.1 Как рассчитать коэффициент преобразования ТНУ<br>2 Как рассчитать холодильный коэффициент ТНУ                                                                                    |

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

## **КМ-2. Контрольная работа: «Схемы и термодинамические циклы ТНУ»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение на компьютере двух (или трех) задач по изучаемой теме.

### **Краткое содержание задания:**

Рассчитать тепловую эффективность теплонасосной установки на заданном РВ для схем:

1 Базовый цикл

2 Цикл с регенерацией

### **Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                      | Вопросы/задания для проверки               |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Знать: критерии эффективности циклов, процессов, аппаратов и установок | 1.Что такое коэффициент преобразования ТНУ |
| Уметь: выбирать оборудование для систем теплоснабжения с ТНУ           | 1.Как рассчитать работу компрессора ТНУ    |

### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

## **КМ-3. Контрольная работа: «Методы безусловной оптимизации и при наличии ограничений»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение на компьютере двух (или трех) задач по изучаемой теме.

**Краткое содержание задания:**

- 1 Используя методы бисекции и золотого сечения определить плотность теплового потока в испарителе
- 2 Используя метод Лагранжа минимизировать тепловые потери объекта в форме параллелепипеда
- 3 Методом градиента решить задачу простой оптимизации на примере конденсатора

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                             | Вопросы/задания для проверки                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Знать: схемы и потребители систем электро-теплоснабжения на основе органического цикла Ренкина и с теплонасосными установками | 1.1 Идея метода золотого сечения                                           |
| Уметь: разрабатывать алгоритмы, выбирать методики и инструментарий для решения типовых задач оптимизации в теплоэнергетике    | 1.1 Структура целевой функции в задаче простой оптимизации с конденсатором |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-4. Расчетное задание : «Схемы и термодинамические циклы тригенерационной установки с ТНУ»**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Творческая задача

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач оптимизации при разработке цикла и схемы ТНУ с помощью компьютерных программ по вариантам, проверка правильности, опрос.

**Краткое содержание задания:**

**Задание**

Предполагается применение парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ) в СТХС для обеспечения нагрузок охлаждения и отопления жилого дома (схема 6, модуль С). Низкопотенциальным источником теплоты в зимнем режиме служит теплоноситель, поступающий из бойлера энергетической части тригенерационной установки (схема 6, модуль В).

**Задание.** Используя исходные данные для проектирования ТНУ (модуль С) (табл.1), выбрать расчетный режим работы установки в летнем и зимнем периоде. Для расчетного режима работы и заданного рабочего вещества ТНУ выбрать компрессорную систему, определить термодинамические параметры в характерных точках теоретического и действительного цикла для базового цикла и схемы ТНУ (с регенерацией). Построить цикл в  $t-s$  и  $\log(p)-h$  диаграммах. Рассчитать холодильный коэффициент, коэффициент преобразования и эксергетический КПД установки. Для выбранного компрессора (аналога компрессора) получить зависимость холодопроизводительности ( $Q_0$ ), теплопроизводительности ( $Q_k$ ), электрической мощности ( $N_{\text{э}}$ ) от температуры кипения ( $t_0$ ) и температуры конденсации ( $t_k$ ). Построить внешнюю характеристику испарителя  $Q_0(t_0, t_{s2})$  / конденсатора  $Q_k(t_k, t_{w1})$  и совмещенную характеристику испарителя / конденсатора и компрессорной системы. Определить максимально возможную теплопроизводительность испарителя / конденсатора. Рассчитать изменение эксергетического КПД установки в течение года.  $G_s = 100$  кг/с, теплоноситель вода, избыточное давление - 3 бар, минимальный температурный напор в конденсаторе 3 градуса.

**Указание:** Для расчета термодинамических параметров в характерных точках цикла использовать RefUtils (REFPROP). Для выбора компрессора использовать программу Bitzer. Расчеты проводить в интегрированной среде MathCad. Температуру окружающей среды при расчете эксергетических температурных функций принимать по нормам для проектирования систем отопления (регион М). При определении оптимальных значений скорости теплоносителя и диаметра трубок в испарителе / конденсаторе использовать метод градиента или деформируемого многогранника. При определении внешних характеристик испарителя / конденсатора использовать метод бисекции или золотого сечения.

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                            | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: схемы и потребители систем электро-тепло-хладоснабжения на основе органического цикла Ренкина и с теплонасосными установками                          | 1.1 Алгоритм метода бисекции<br>2 Самый простой метод оптимизации<br>3 Критерий оптимальности                                                                                              |
| Уметь: рассчитывать и анализировать показатели эффективности систем электро-тепло-хладоснабжения для заданных внешних условий, а также элементов этих систем | 1.1 Расчет параметров в характерных точках цикла с помощью программного средства<br>2 Расчет плотности теплового потока в испарителе/конденсаторе<br>3 Расчет мощности привода компрессора |

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется  
если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется  
если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Принципиальные схемы преобразования теплоты в теплонасосных установках. Основные технико-экономические показатели.
2. Симплекс метод.
3. Задача

Система теплохолодоснабжения с ТНУ и центральным компрессором имеет расчетную теплопроизводительность  $Q_k = 60$  кВт, при температуре конденсации рабочего тела – фреона R134a  $t_k = 60$  °С. Отношение давлений на нагнетании и на всасе поршневого компрессора  $p = P_k/P_0 = 5$ .

Определить, с какой температурой пар после испарителя будет поступать на всас компрессора, если паропровод имеет длину 40 м и изготовлен из латунных трубок  $d_2 \times d = 50 \times 4$ , трубы покрыты тепловой изоляцией  $\text{лиз} = 0,05$ , толщиной  $d_{\text{из}} = 30$  мм и проложены на открытом воздухе, при этом коэффициент теплоотдачи  $\alpha_v = 20$  Вт/(м<sup>2</sup> К) и  $t_{\text{в}} = 30$  °С. Гидравлическое сопротивление паропровода – мало.

### Процедура проведения

Очно по билетам устно

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-ЗПК-1 Проводит оптимизационные расчеты объектов профессиональной деятельности

### Вопросы, задания

- 1.1. Термодинамические циклы энергоустановки, работающей по «органическому» циклу Ренкина (ОЦР). Принципиальная схема и Т-s диаграмма процессов преобразования теплоты и ее применение для определения эффективности цикла. Тепловой анализ эффективности цикла ОЦР.
2. Метод градиента.
3. Для ОЦР, использующей в качестве рабочего тела хладагент R134a определить термодинамические параметры в характерных точках теоретического и действительного цикла. Построить цикл в t-s диаграмме. Рассчитать термический КПД цикла.
4. Принципиальные схемы преобразования теплоты в теплонасос-ных установках. Основные технико-экономические показатели. Надземные трубопроводы тепло- и хладоснабжения. Инженерная методика расчета температурного режима теплоизолированного трубопровода. Формула Шухова.
5. Метод бисекции.
6. Оценить, как изменяются тепловые и гидравлические потери надземного трубопровода сетевой воды при изменении температуры сетевой воды от 70 °С до 150 °С и сохранении неизменными расхода и давления сетевой воды и атмосферных условий.
7. Методика оценки максимальной теплопроизводительности теплообменных аппаратов теплонасосной установки без фазового перехода. Тепловой анализ эффективности цикла ТНУ

8. Метод золотого сечения
9. Математическая модель конденсатора теплонасосной установки. Внешние характеристики конденсатора.
10.  $\varepsilon$ -NTU метод расчета рекуперативных теплообменных аппаратов. Расчет эффективности ( $\varepsilon$ ) для прямоточного теплообменного аппарата (вывод).  $\varepsilon$ -NTU диаграмма, предельные случаи.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

- 1.1 Основные источники низкопотенциальной теплоты
- 2 Возможно ли использование ТНУ для одновременной выработки теплоты и холода
- 3 Рабочие вещества ТНУ
- 4 ТНУ - это .... (закончите фразу)
- 5 Цель применения ТНУ
- 6 Как рассчитать коэффициент преобразования ТНУ
- 7 Как рассчитать холодильный коэффициент ТНУ
- 8 Зачем нужен конденсатор
- 9 Зачем нужен испаритель
- 10 Зачем нужен компрессор в ТНУ

Ответы:

из лекционного материала и из литературных источников

Верный ответ: из лекционного материала

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

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