

Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Магистерская программа «Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки»  
РПД Б1.О.03 «Методы исследования сложных теплоэнергетических систем»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора  
по учебно-методической работе  
филиала ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"  
в г. Смоленске

В.В. Рожков

«10» 02 2023 г.



## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Методы исследования сложных теплоэнергетических систем**

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): **13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

Магистерская программа: **«Энергообеспечение предприятий. Тепломассообменные процессы и установки»**

Уровень высшего образования: **магистратура**

Нормативный срок обучения: **2 года**

Форма обучения: **очная**

Год набора: **2023**

Смоленск

Направление подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Магистерская программа «Энергообеспечение предприятий. Теплообменные процессы и установки»  
РПД Б1.О.03 «Методы исследования сложных теплоэнергетических систем»



Программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки / специальности 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», утвержденного приказом Минобрнауки России от «28» февраля 2018 г. № 146

**Программу составил:**

подпись

ст.препод.

Киселева А.И.

ФИО

«16» января 2023 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «**Промышленная теплоэнергетика**»:  
«26» января 2023 г., протокол № 5

**Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»:**

подпись

В.А. Галковский

Ф.И.О.

«08» февраля 2023 г.

**Согласовано:**

**Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»:**

подпись

В.А. Галковский

Ф.И.О.

«08» февраля 2023 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе с ЛОВЗ и инвалидами**

подпись

зам. начальника УУ

Е.В. Зуева

ФИО

«08» февраля 2023 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель

Подготовить обучающихся к научно-исследовательской и проектной деятельности по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС и ВО, в части представленных ниже знаний, умений и навыков; сформировать у обучающихся базовые знания о современных методах исследования сложных теплоэнергетических систем.

### Задачи

Изучить понятийный аппарат дисциплины, основные теоретические положения и методы, привить навыки применения теоретических знаний для решения практических и проектных задач по выбору метода исследования сложных теплоэнергетических систем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Методы исследования сложных теплоэнергетических систем» относится к обязательной части программы.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые первой ступенью высшего образования (бакалавриат).

Знания, умения и навыки, полученные студентами в процессе изучения данной дисциплины, являются базовыми для подготовки к защите выпускной квалификационной работы.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
ОПК-1. Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки	ОПК-1.1 Формулирует цели и задачи исследования объектов теплоэнергетики и теплотехники	Знает: свойства и количественные показатели теплоэнергетических систем, обеспечивающие их эффективное функционирование. Умеет: применять теоретические знания для исследования сложных теплоэнергетических систем. Владеет: навыками использования современных методов расчета и основных положений технико-экономической оптимизации теплоэнергетических систем.
	ОПК-1.2 Выявляет приоритеты решения задач, выбирает критерии оценки объектов теплоэнергетики и теплотехники	Знает: основные положения нормативных документов, регламентирующих требования к энергетической эффективности и технико-экономическим показателям тепло-

		<p>энергетических систем.</p> <p>Умеет: применять современные методы расчета и оптимизации показателей эффективности и экономичности теплоэнергетических систем.</p> <p>Владеет: навыками применения методов и средств технической диагностики для анализа технического состояния как теплоэнергетического оборудования, так и теплоэнергетической системы в целом.</p>
--	--	---



**Содержание дисциплины:**

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	<p>Лекционные занятия 9 шт. по 2 часа:</p> <p>1.1. Лекция 1. Общая характеристика энергетической системы региона и задачи управления ее развитием.</p> <p>1.2. Лекция 2. Методы оптимизации мощности энергетического источника. Критерии оценки эффективности энергетической системы.</p> <p>1.3. Лекция 3. Современные методы технико-экономических обоснований и расчетов экономической эффективности.</p> <p>1.4. Лекция 4. Общая характеристика применяемого энергоэффективного и природоохранного оборудования и технологий в энергетической системе.</p> <p>1.5. Лекция 5. Системный подход при обосновании варианта развития энергоснабжающей системы региона.</p> <p>1.6. Лекция 6. Факторы учета неоднозначных признаков энергетической системы.</p> <p>1.7. Лекция 7. Критерии оценки эффективности и выбора варианта развития энергоснабжающей системы региона.</p> <p>1.8. Лекция 8. Особенности структуры и типа экономико-математической модели энергоснабжающей модели региона.</p> <p>1.9. Лекция 9. Энергетические характеристики оборудования.</p>
2	<p>Практические занятия 8 шт. по 2 часа:</p> <p>2.1. Определение эквивалентной длины СТЭР при сравнении вариантов энергообеспечения потребителей от различных энергетических источников.</p> <p>2.2. Определение эксергии изолированной системы.</p> <p>2.3. Тепловой расчёт энергохимико-технологической системы. Тепловой расчёт циклонной печи.</p> <p>2.4. Расчёт энтальпий продуктов сгорания и построение диаграммы Н-Т.</p> <p>2.5. Составление теплового баланса циклонной печи и определение её термического КПД. Расчёт топочного устройства циклонной печи.</p> <p>2.6. Тепловой расчёт котла-утилизатора.</p> <p>2.7. Составление эксергетических балансов циклонной печи и котла-утилизатора и определение их эксергетических КПД.</p> <p>2.8. Построение диаграмма теплового и эксергетического баланса энергохимико-технологической системы.</p>
3	<p>Самостоятельная работа студентов - 101 часов:</p> <p>3.1. Методы теплового и эксергетического балансов теплоэнергетической системы.</p> <p>3.2. Прямой метод статической оптимизации.</p> <p>3.3. Метод направленного поиска.</p> <p>3.4. Метод множителей Лагранжа.</p> <p>3.5. Метод случайного поиска.</p> <p>3.6. Методы поиска экстремума с учётом ограничений.</p>

**Текущий контроль:** опрос на лекциях и практических занятиях.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Таблица - Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной занятости по дисциплине

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1	Лекции	Интерактивная лекция (лекция-визуализация). Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине.
2	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений. Технология обучения в сотрудничестве (командная, групповая работа). Проектная технология.
3	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине).
4	Контроль	Технология устного опроса.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ – ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

К промежуточной аттестации студентов по дисциплине могут привлекаться представители работодателей, преподаватели последующих дисциплин, заведующие кафедрами.

Оценка качества освоения дисциплины включает как текущий контроль успеваемости, так и промежуточную аттестацию.

Форма текущего контроля по настоящей дисциплине – опрос на лекциях и практических занятиях.

Для проведения опросов по материалам лекций используется следующий примерный перечень вопросов:

- 1) Аналитические методы выбора оптимальных схем и параметров энергоснабжающих систем.
- 2) Методы дискретной оптимизации энергоснабжающей системы.
- 3) Существующий уровень проектирования систем теплоснабжения и условия его повышения.
- 4) Проблема измерений затрат и результатов в современной теории решений.
- 5) Характерные формы отличия вариантов решений и сравнение их эффективности.
- 6) Показатели и нормативы общей экономической эффективности капитальных вложений.
- 7) Учет фактора времени в технико-экономических расчетах.
- 8) Многокритериальный анализ технических решений в теплоэнергетике.
- 9) Описание объекта оптимизации и операционного подхода при применении метода многоцелевой оптимизации.

- 10) Оценка точности и учет неопределенности в задачах технико-экономических обоснований.
  - 11) Экономико-географические факторы
  - 12) Производственно-технологические факторы.
  - 13) Социально-экономические факторы.
  - 14) Экологические факторы.
  - 15) Основные факторы формирования базовых характеристик.
  - 16) Критерий минимума затрат.
  - 17) Удельная себестоимость выработки тепловой энергии.
  - 18) Срок окупаемости и интегральный эффект.
  - 19) Капитальные вложения в развитие энергоснабжающей системы и ежегодные эксплуатационные издержки.
  - 20) Надежность теплоснабжения.
  - 21) Классификация экономико-математической модели энергоснабжающей системы региона.
  - 22) Формулировка задачи развития энергоснабжающей системы региона в детерминированной постановке.
  - 23) Алгоритм оптимизации проектных решений выбора варианта энергоснабжающей системы региона.
  - 24) Описание объекта исследования.  
Примерный перечень вопросов к зачёту:
    1. Развитие теплоэнергетических систем.
    2. Критерии оценки эффективности энергетической системы.
    3. Описание математической модели энергоснабжающей системы региона.
    4. Энергетические характеристики основного энергогенерирующего оборудования.
    5. Понятие СТЭР.
    6. Определение эквивалентной длины.
    7. Уравнение состояния при отказе от централизованного теплоснабжения.
    8. Уравнение состояния при отказе от централизованного электроснабжения.
    9. Уравнение состояния при полном отказе от централизованного энергообеспечения.
    10. Математические модели потерь тепловой и электрической энергий.
    11. Методы исследования сложных теплоэнергетических систем.
    12. Основные этапы оценки степени термодинамического совершенства теплоэнергетических систем.
    13. Метод тепловых балансов.
    14. Метод эксергетического анализа.
    15. Эксергия системы. Свойства энергии и эксергии.
    16. Выбор критерия сравнения оптимального варианта энергообеспечения.
    17. Постановка задачи по оптимизации коэффициента теплофикации. График Россандера.
    18. Постановка задачи по оптимизации коэффициента теплофикации. Общие подходы.
    19. Постановка задачи по выбору оптимального варианта системы теплоснабжения.
    20. Основные положения методики технико-экономических расчётов оптимального варианта энергоснабжения некоторого региона.
    21. Определение и математическое выражение для среднетермодинамической температуры теплового потока.
    22. Построение эксергетических диаграмм. Методические основы.
    23. Прямой метод статической оптимизации.
    24. Метод множителей Лагранжа.
    25. Метод направленного поиска (градиентный метод).

26. Метод случайного поиска.
27. Методы поиска экстремума с учётом ограничений.
28. Структура многоуровневой системы.
29. Иерархия целей и принятия решений.
30. Общая характеристика применяемого в энергоснабжающих системах эффективного и природоохранного оборудования и технологий.
31. Системный подход при обосновании варианта энергообеспечения энергетической системы.
32. Экономико-географические факторы учета неоднозначных признаков энергоснабжающих систем.
33. Производственно-технологические факторы учета неоднозначных признаков энергоснабжающих систем.
34. Социально-экономические факторы учета неоднозначных признаков энергоснабжающих систем.
35. Экологические факторы учета неоднозначных признаков энергоснабжающих систем.
36. Основные факторы формирования базовых характеристик.
37. Критерий минимума затрат для оценки эффективности и выбора варианта энергообеспечения.
38. Удельная себестоимость выработки тепловой энергии для оценки эффективности и выбора варианта энергообеспечения.
39. Срок окупаемости и интегральный эффект варианта энергообеспечения.
40. Капитальные вложения в развитие энергоснабжающей системы и ежегодные эксплуатационные издержки.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено» (далее - пятибалльная система).

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине – зачет с оценкой в 1-м семестре.

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «эталонный».

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившего практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившего другие практические задания из того же раздела дисциплины. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – «пороговый».
«неудовлетворительно»/ не зачтено	Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившего практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование

Лекционные занятия:

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбук); переносным (стационарным) проектором.

Практические занятия:

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в ЭИОС филиала.

### **Программное обеспечение**

Комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства.

## **8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

### **для слепых и слабовидящих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

### **для глухих и слабослышащих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

### **для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература.**

1. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. – Москва: Новости теплоснабжения, 2008. – 448 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=56217> (дата обращения: 07.04.2021). – ISBN 978-5-94296-015-1. – Текст: электронный.

### **Дополнительная литература.**

1. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. / Соколов Е. Я. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. - ISBN 978-5-383-01166-9. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011669.html> (дата обращения: 01.04.2021). - Режим доступа: по подписке.

2. Корнейчев А.И. Расчет коэффициента теплофикации с помощью ЭВМ: учеб. пособие для вузов / А. И. Корнейчев; под ред. П. Р. Шимченко; МЭИ.— М.: МЭИ, 1980.— 71 с.

3. Рогова Н.Д. Экономика энергетики: учебник для вузов / Н.Д. Рогова, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др.; под ред. Н. Д. Рогова. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. - 320 с. - ISBN 978-5-383-00324-4. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383003244.html> (дата обращения: 07.04.2021). - Режим доступа: по подписке.

4. Экономика энергетики: учебно-практическое пособие / сост. Т.Н. Рогова; Ульяновский государственный технический университет, Институт дистанционного и дополнительного образования. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ), 2015. – 77 с.: ил., табл. схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363222> (дата обращения: 07.04.2021). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9795-1371-3. – Текст: электронный.

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Но- мер изме- мене- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	изме- нен- ных	заме- нен- ных	но- вых	анну- лиро- ванн- ых					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10