

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.06**

Математическое моделирование рабочих процессов в  
теплоэнергетических установках

Учебный план: \_\_\_\_\_ ФГОС3++zm130401.21-123\_23-13.plx

Кафедра: **21** Теплосиловых установок и тепловых двигателей

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

Профиль подготовки:  
(специализация) **Технология производства электрической и тепловой энергии**

Уровень образования: **магистратура**

Форма обучения: **заочная**

### План учебного процесса

| Семестр<br>(курс для ЗАО) |     | Контактная работа<br>обучающихся |                   | Сам.<br>работа | Контроль,<br>час. | Трудоё<br>мкость,<br>ЗЕТ | Форма<br>промежуточной<br>аттестации |
|---------------------------|-----|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                           |     | Лекции                           | Практ.<br>занятия |                |                   |                          |                                      |
| 1                         | УП  | 8                                | 6                 | 121            | 9                 | 4                        | Экзамен                              |
|                           | РПД | 8                                | 6                 | 121            | 9                 | 4                        |                                      |
| Итого                     | УП  | 8                                | 6                 | 121            | 9                 | 4                        |                                      |
|                           | РПД | 8                                | 6                 | 121            | 9                 | 4                        |                                      |

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 146

Составитель (и):

Доктор технических наук, профессор

Пеленко В.В.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой теплосиловых установок и  
тепловых двигателей

Злобин В.Г.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Злобин В.Г.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области теплоэнергетики и теплотехники, связанной с освоением методов математического моделирования показателей качества оборудования и систем теплоэнергетики при проектировании и эксплуатации, современными математическими алгоритмами расчета показателей качества систем теплоэнергетики, тенденциями развития методов математического моделирования.

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть мероприятия по обеспечению показателей надежности систем теплоэнергетики при эксплуатации.
- Усвоить основные направления разработки проектных решений по обеспечению надежности систем теплоэнергетики.
- Изучить математические алгоритмы и прикладное программное обеспечение для обеспечения, контроля и прогнозирования надежности систем теплоэнергетики при проектировании и эксплуатации.
- Привить способности к самостоятельному приобретению и использованию в практической деятельности новых знаний и умений.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Надежность систем производства электрической и тепловой энергии

Планирование экспериментальных исследований и статистическая обработка данных

Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения

Энергетическое обследование и паспортизация объектов энергетики

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| <b>ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Знать:</b> основные типы математических моделей элементов теплоэнергетических систем; основные принципы построения математических моделей элементов теплоэнергетических систем; методику проведения вычислительного эксперимента с моделями элементов теплоэнергетических систем на ЭВМ; методы исследования математических моделей элементов теплоэнергетических систем разных типов; основные прикладные программные средства для исследовательских работ. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Уметь:</b> обоснованно проводить формализацию исследуемых моделей элементов теплоэнергетических систем; применять, средства и языки моделирования для анализа моделей элементов теплоэнергетических систем; интерпретировать полученные результаты моделей элементов теплоэнергетических систем, сравнивая их со справочными техническими характеристиками. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Владеть:</b> методами планирования эксперимента, методами сбора, обработки и представления информации, моделирующими процедурами программно-методических комплексов. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Семестр<br>(курс для<br>ЗАО) | Контактная<br>работа |               | СР<br>(часы) | Инновац.<br>формы<br>занятий |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|---------------|--------------|------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                              | Лек.<br>(часы)       | Пр.<br>(часы) |              |                              |
| Раздел 1. Теория математического моделирования объектов и систем теплоэнергетики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1                            |                      |               |              |                              |
| Тема 1. Классификация, основные понятия математических моделей. Основные определения, классификация, требования к качеству математических моделей. Принципы и алгоритмы разработки математических моделей. Общая схема процесса математического моделирования. Законы сохранения, вариационные принципы. Методы аналогий, подобия, размерности. Линейные и нелинейные, однофакторные и многофакторные математические модели. Оценка математических моделей на адекватность.                                        |                              | 2                    | 1             | 25           |                              |
| Тема 2. Аналитические и алгоритмические математические модели. Основы теории аналитических моделей. Классификация, способы представления. Математические модели теплообменников. Математические модели парогенерирующих устройств. Использование алгоритмических структур при реализации математических моделей. Структурные схемы теплоэнергетических систем, тепловых электростанций, ТЭЦ, систем водоснабжения, газоснабжения. Имитационные модели технологических процессов тепловых энергетических установок. |                              | 2                    | 2             | 40           |                              |
| Раздел 2. Математическое моделирование и оптимизация объектов и систем теплоэнергетики.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                              |                      |               |              |                              |
| Тема 3. Методы математического моделирования при оценке качества и оптимизации систем теплоснабжения. Статистические математические модели. Критерии оптимизации систем теплоэнергоснабжения при математическом моделировании. Требования к динамическим математическим моделям и моделям систем, работающих на переменных режимах. Этапы математического моделирования.                                                                                                                                           |                              | 2                    | 1             | 25           |                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |      |   |       |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|---|-------|--|
| Тема 4. Применение методов математического моделирования для оценки и прогнозирования показателей качества объектов промышленной энергетики. Моделирование показателей качества объектов теплоэнергетики. Оценка энергетических, эксплуатационных и экономических показателей котельных. Оценка остаточного ресурса. Методы оценки остаточного ресурса систем теплоснабжения при моделировании. Аналитическое описание модели остаточного ресурса объекта с высоким уровнем износа. Оценка остаточного ресурса технических систем с помощью параметрических моделей изменения надёжности. |  | 2    | 2 | 31    |  |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  | 8    | 6 | 121   |  |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | 2,5  |   | 6,5   |  |
| <b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | 16,5 |   | 127,5 |  |

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

###### 5.1.1 Показатели оценивания

| Код компетенции | Показатели оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Наименование оценочного средства                                          |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-2           | 1. Показывает знание способов получения количественных характеристик показателей качества объектов теплоэнергетики с помощью математических моделей.<br>2. Грамотно использует методы математического моделирования систем и объектов теплоснабжения для оценки показателей качества.<br>3. Демонстрирует навыки математического моделирования с использованием программного обеспечения при проектировании и прогнозировании показателей качества объектов и систем теплоснабжения. | 1. Вопросы устного собеседования.<br>2. Практико-ориентированные задания. |

###### 5.1.2 Система и критерии оценивания

| Шкала оценивания | Критерии оценивания сформированности компетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | Устное собеседование                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Письменная работа                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 5 (отлично)      | Обучающийся показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; усвоил основную и знаком с дополнительной рекомендованной литературой; может объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для последующей профессиональной деятельности; проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала. | Обучающийся демонстрирует правильное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Умеет применять математический аппарат для реализации плана решения задачи и, если это необходимо. Получил правильный ответ и может его интерпретировать. |
| 4 (хорошо)       | Обучающийся показывает достаточный                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Обучающийся демонстрирует достаточное                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в программе задания; усвоил основную литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий дисциплины при дополнительных вопросах преподавателя. Допускает не существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, устраняет их без помощи преподавателя.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи Получил правильный ответ и может его интерпретировать.                                                                                                                                                                                     |
| 3 (удовлетворительно)      | Обучающийся показывает знания основного учебного материала в минимальном объеме, необходимом для дальнейшей учебы; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, допуская при этом большое количество не принципиальных ошибок; знаком с основной литературой, рекомендованной программой. Допускает существенные погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Обучающийся вникает в смысл условия задачи, понимает план ее решения, однако, не может в полной мере с помощью математического аппарата реализовать ее решение. Знает размерности физических величин, может сделать рисунок или схему, поясняющую решение задачи. | Обучающийся демонстрирует достаточное понимание условия задачи, владение навыками его анализа, выбора нужных законов и формул для ее решения. Допускает незначительные погрешности при применении математического аппарата для реализации плана решения задачи Получил правильный ответ, но испытывает затруднения с его интерпретацией.                                                                                                                            |
| 2<br>(неудовлетворительно) | Обучающийся не имеет достаточного уровня знания основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с содержанием рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. Как правило, оценка "не удовлетворительно" ставится обучающимся, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.                                                                             | Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубые нарушения правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопросы по письменной работе без помощи преподавателя. Обучающийся не может проанализировать условие задачи, наметить план ее решения, выбрать физические законы и плохо ориентируется в физических величинах, не владеет математическим аппаратом. |

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

| № п/п  | Формулировки вопросов                                              |
|--------|--------------------------------------------------------------------|
| Курс 1 |                                                                    |
| 1      | Математическое моделирование энергетических показателей котельной. |
| 2      | Математическое моделирование экономических показателей котельной.  |

|    |                                                                                                                                                                      |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | Математическое моделирование эксплуатационных показателей котельной.                                                                                                 |
| 4  | Цели и назначение математического моделирования в теплоэнергетике.                                                                                                   |
| 5  | Классификация математических моделей. Основные определения.                                                                                                          |
| 6  | Требования к математическим моделям.                                                                                                                                 |
| 7  | Однофакторные и многофакторные математические модели. Проверка математических моделей на адекватность.                                                               |
| 8  | Методы оценки показателей безотказности энергетических объектов с помощью математических моделей.                                                                    |
| 9  | Математическое моделирование теплоэнергетических систем с помощью структурных схем.                                                                                  |
| 10 | Статические и динамические математические модели. Критерии оптимизации математических моделей.                                                                       |
| 11 | Этапы математического моделирования объектов энергетики.                                                                                                             |
| 12 | Математическое моделирование теплоэнергетических систем с помощью марковских систем.                                                                                 |
| 13 | Математическое моделирование теплоэнергетических систем с помощью структурных схем. Структурная схема сложных теплоэнергетических систем с горячим резервированием.  |
| 14 | Математическое моделирование теплоэнергетических систем с помощью структурных схем. Структурная схема сложных теплоэнергетических систем с холодным резервированием. |
| 15 | Основные особенности моделирования объектов и систем теплоэнергетики при проектировании.                                                                             |
| 16 | Математические модели технического обслуживания объектов энергетики.                                                                                                 |
| 17 | Моделирование показателей качества объектов теплоэнергетики с помощью уравнений Колмогорова.                                                                         |
| 18 | Математическое моделирование потребного количества ЗИП для обеспечения эффективного функционирования объектов энергетики.                                            |
| 19 | Математическое моделирование для оценки надежности сложных технических систем.                                                                                       |
| 20 | Марковские процессы.                                                                                                                                                 |

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено.

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Задача 1.

Найти закон распределения скорости по сечению круглой цилиндрической трубы радиусом  $R$  при равномерном движении несжимаемой жидкой среды в ламинарном режиме. Провести конкретные расчеты при градиенте давления  $\text{grad } P = 1600 \text{ Па/м}$  и коэффициенте динамической вязкости жидкой среды  $\eta = 25 \text{ мПа}\cdot\text{с}$

Задача 2.

Периодическая сила  $F = F_0 \sin \omega t$  начинает действовать в момент времени  $t=0$  на материальный точечный объект, подчиняющийся упругой связи с трением, находившийся в момент  $t=0$  в покое. Определить закон движения объекта. Исследовать случай резонанса и выяснить поведение тела, если коэффициент трения стремится к нулю. Вызовет ли увеличение трения также и увеличение рассеиваемой энергии?

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная ☐ + Письменная ☐ + Компьютерное тестирование ☐ Иная ☐

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

В течение семестра выполняются контрольные работы;  
Возможность пользоваться калькулятором;  
Время на подготовку ответа по билету 45 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

| Автор                                    | Заглавие | Издательство | Год издания | Ссылка |
|------------------------------------------|----------|--------------|-------------|--------|
| <b>6.1.1 Основная учебная литература</b> |          |              |             |        |

|                                                  |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                        |      |                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Авдюнин, Е. Г.                                   | Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических установок                                                                       | Москва, Вологда: Инфра-Инженерия                                                                                                                       | 2019 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/86602.html">http://www.iprbookshop.ru/86602.html</a>                           |
| <b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>   |                                                                                                                                              |                                                                                                                                                        |      |                                                                                                                   |
| В.М. Пестриков                                   | Математическое моделирование теплотехнических задач в программируемых средах [Текст]: учебное пособие                                        | М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП                                                                                                | 2009 | <a href="http://www.nizrp.narod.ru/matmod.htm">http://www.nizrp.narod.ru/matmod.htm</a>                           |
| Кудинов, И. В., Стефанюк, Е. В.                  | Теоретические основы теплотехники. Часть II. Математическое моделирование процессов теплопроводности в многослойных ограждающих конструкциях | Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ                                                                       | 2013 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/22627.html">http://www.iprbookshop.ru/22627.html</a>                           |
| Ляшков, В. И.                                    | Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики                                                                          | Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ                                                                                    | 2012 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/64111.html">http://www.iprbookshop.ru/64111.html</a>                           |
| Аверченков, В. И., Федоров, В. П., Хейфец, М. Л. | Основы математического моделирования технических систем                                                                                      | Брянск: Брянский государственный технический университет                                                                                               | 2012 | <a href="http://www.iprbookshop.ru/7003.html">http://www.iprbookshop.ru/7003.html</a>                             |
| В. В. Пеленко, В. В. Нечитайлов                  | Математическое моделирование рабочих процессов в теплоэнергетических установках: практикум                                                   | М-во науки и высшего образования РФ, С-Петерб. гос. ун-т пром. технологий и дизайна, Высш. шк. технологии и энергетики.-Санкт-Петербург: ВШТЭ СПбГУПТД | 2022 | <a href="http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1655333394.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/tsuitd/1655333394.pdf</a> |

## 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
2. Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>
3. База данных большой технической библиотеки "Сайт теплотехника" [Электронный ресурс].

URL:<http://teplokot.ru/>

## 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

PTC Mathcad 15

## 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

|                      |                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Аудитория            | Оснащение                                                     |
| Лекционная аудитория | Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска |
| Учебная аудитория    | Специализированная мебель, доска                              |