

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электротехнологические установки и системы

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|---|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.08.06 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 7 семестр - 6; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 216 часов |
| Лекции | 7 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 7 семестр - 48 часа; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 7 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 7 семестр - 133,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Тестирование Программирование (код) | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 7 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

| | | |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Щербаков А.В. |
| | Идентификатор | Raf18b6c8-ShcherbakovAV-abf82f1 |

А.В. Щербаков


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Кулешов А.О. |
| | Идентификатор | Rc98b17a6-KuleshovAO-26442bbc |

А.О. Кулешов

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|---|--|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Цырук С.А. |
| | Идентификатор | Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f |

С.А. Цырук

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: состоит в изучении принципов построения математических моделей процессов сварки, плавки, пайки и наплавки с использованием численных методов решения задач тепломассообмена для выбора оптимальных технологических режимов

Задачи дисциплины

- освоение современных методов математического моделирования различных физических процессов, протекающих при сварке. освоение путей алгоритмизации математических моделей с использованием объектно-ориентированных сред программирования;
- приобретение навыков практического применения методов решения дифференциальных уравнении переноса вещества при сварке, плавке, пайке и наплавке;
- освоение структурированного подхода к использованию математических моделей в качестве инструмента для исследования различных физических процессов при сварке, плавке, пайке и наплавке;
- освоение методов анализа результатов вычислительных экспериментов.

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-6 Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности | ИД-5 _{ПК-6} Демонстрирует понимание основных принципов организации и проведения математического моделирования и экспериментальных исследований объектов профессиональной деятельности и использования результатов моделирования и экспериментальных исследований при проектировании | знать: - методы численной интерпретации граничных условий и источников теплоты для различных электротехнологий; - современные подходы к моделированию течения жидкой среды со свободной поверхностью при действии источников нагрева для решения различных задач электротехнологии; - концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования процессов переноса в жидких и газообразных средах при реализации электротехнологических процессов; - алгоритмы численного решения многомерных задач нестационарного теплообмена. уметь: - разрабатывать алгоритмы численного решения системы уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с использованием подхода Эйлера и метода контрольных объемов; - применять полученные знания для самостоятельной разработки и алгоритмизации комплексных моделей электротехнологических процессов. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электротехнологические установки и системы (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 6 зачетных единиц, 216 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии | 28 | 7 | 6 | - | 6 | - | - | - | - | - | 16 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> подготовка к контрольному мероприятию КМ-1 (Тест «Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии») <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 15-48 [3], 12-38 [4], 8-23</p> |
| 1.1 | Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии | 28 | | 6 | - | 6 | - | - | - | - | - | 16 | - | |
| 2 | Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на | 20 | | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | - | 8 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|---|----|---|---|---|---|---|----|---|---|
| | основе использования метода контрольных объемов | | | | | | | | | | | | Выполнение п.1 расчетного задания <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 2.1 | Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов | 20 | 4 | - | 8 | - | - | - | - | - | 8 | - | [3], 39-64 [4], 23-28 |
| 3 | Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах | 14 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 8 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к контрольному мероприятию КМ-3 (Тест «Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса») <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 3.1 | Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах | 14 | 2 | - | 4 | - | - | - | - | - | 8 | - | [1], 174-188 |
| 4 | Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах | 52 | 8 | - | 12 | - | - | - | - | - | 32 | - | <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.2 расчетного задания, подготовка к защите контрольного задания (КМ-5) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> |
| 4.1 | Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации | 52 | 8 | - | 12 | - | - | - | - | - | 32 | - | [3], 180-200 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|---|----|---|---|---|---|---|----|---|--|
| | свободной поверхности жидкости для моделирования процессов теплообмена в жидкостях и газах | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения теплопереноса в жидкостях и его алгоритмизация | 44 | 8 | - | 12 | - | - | - | - | - | 24 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> подготовка к контрольному мероприятию КМ-5 (Тест «Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии») <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [7], 155-170</p> |
| 5.1 | Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения теплопереноса в жидкостях и его алгоритмизация | 44 | 8 | - | 12 | - | - | - | - | - | 24 | - | |
| 6 | Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов | 22 | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> подготовка к контрольному мероприятию КМ-6 (Тест «методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование» (открытый тест - с вычислениями)) <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], 11-25 [6], 242-284</p> |
| 6.1 | Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели | 22 | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 12 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|-----|-------|--|
| | электротехнологическ их процессов | | | | | | | | | | | | |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 216.0 | 32 | - | 48 | - | 2 | - | - | 0.5 | 100 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 216.0 | 32 | - | 48 | | 2 | | - | 0.5 | | 133.5 | |

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. Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии

1.1. Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии

Цели и задачи математического моделирования. Классификация моделей. Материальное, идеальное, знаковое, математическое моделирование. Классификация математических моделей. Аналитические, цифровые, регрессионные и смешанные модели. Адекватность и верификация моделей. Классификация дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка, применяемых при моделировании физических процессов. Понятие теплопроводности. Закон Фурье. Теплоемкость тела. Уравнение теплопроводности. Уравнение теплопроводности. Начальные и краевые условия. Численные методы решения уравнения теплопроводности. Метод конечных разностей. Аппроксимация производных первого и второго порядков по методу конечных разностей. Одномерное уравнение теплопроводности в конечно-разностной форме при использовании явной и неявной разностных схем. Суть метода прогонки для решения одномерного уравнения теплопроводности. Аппроксимация граничных условий при использовании метода прогонки. Метод контрольных объемов. Решение двумерных тепловых задач с использованием явной разностной схемы (метод Эйлера). Локально-одномерные методы для решения многомерных задач с использованием неявной разностной схемы: метод переменных направлений и метод мелких шагов..

2. Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов

2.1. Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов. Граничные условия первого (условие Дирихле), второго (условие Неймана), и третьего рода (условие Ньютона, условие Робена). Особенности задания граничных условий при использовании явных схем (метод половинного контрольного объема) и неявных схем. Способы задания источников теплоты в виде граничного условия и в виде объемного источника. Условие Стефана и способы решения задачи Стефана..

3. Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах

3.1. Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах

Сравнение подходов Эйлера и Лагранжа к описанию процессов переноса в жидких и газообразных средах. Уравнения Навье-Стокса. Формулировка уравнений при использовании подхода Эйлера. Материальная производная. Конвективные члены. Формулировка уравнений при использовании подхода Лагранжа..

4. Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах

4.1. Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах

Проекционные формы уравнений Навье-Стокса при использовании подхода Эйлера. Метод «предиктор-корректор» (алгоритм SIMPLE) для численного решения уравнения движения вязкой несжимаемой жидкости. Суть алгоритма, вывод уравнения Пуассона для расчета поля давления, удовлетворяющего условию непрерывности. Конечно-разностная аппроксимация уравнений Навье-Стокса при использовании подхода Эйлера. Необходимость применения шахматной сетки. Методы моделирования движения свободной поверхности: метод маркеров в ячейках (Marked and cell, MAC) и объема жидкости (Volume of fluid, VOF). Особенности представления свободной поверхности при необходимости пространственной дискретизации среды. Методы вычисления кривизны поверхности. Расчет сил поверхностного натяжения. Сведение поверхностных сил к объемным. Переход к системе «функция тока-завихренность» при решении двумерных задач конвективного теплообмена в слабосжимаемой среде..

5. Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация

5.1. Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация

Методы крупных дискретных частиц. Задача о твердых сферах. Понятие потенциала взаимодействия. Введение в молекулярную динамику. Потенциал Леннарда-Джонса. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Объединение Эйлера и Лагранжева подхода. Подход Лагранжа: SPH-методы для изучения тепломассопереноса. Методы крупных частиц. Сравнение метода дискретных частиц и метода сглаженных частиц. Концепция метода гидродинамики сглаженных частиц. Формулировка уравнений Навье-Стокса при использовании концепции SPH. Перспективы метода..

6. Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов

6.1. Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов

Введение в стохастические методы. Метод Монте-Карло и случайное блуждание. Приложения метода для решения задач переноса и численного интегрирования. Гибридизация подходов Эйлера и Лагранжа. Эффект Марангони и другие нелинейные явления тепломассопереноса. Проблема изучения процессов с различными пространственными и временными масштабами..

3.3. Темы практических занятий

1. Конечно-разностная аппроксимация уравнений Навье-Стокса при использовании подхода Эйлера. Необходимость применения шахматной сетки (2 часа).;
2. Метод гидродинамики сглаженных частиц. Построение алгоритма и необходимость параллельных вычислений (4 часа).;
3. Метод гидродинамики сглаженных частиц. Основы метода (2 часа).;
4. Методы крупных частиц в электротехнологии. Заряженные частицы в электрическом поле (4 часа).;
5. Методы крупных частиц в электротехнологии. Молекулярная динамика (2 часа).;
6. Методы моделирования свободной поверхности жидкости – MAC и VOF (4 часа).;
7. Разработка программы, реализующей алгоритм SIMPLE (4 часа).;
8. Методы решения многомерных задач теплопроводности: метод Эйлера, метод

- переменных направлений, метод дробных шагов (4 часа).;
9. Эллиптические, параболические и гиперболические дифференциальные уравнения в физике (2 часа).;
10. Моделирование источников нагрева (2 часа).;
11. Методы задания граничных условий при использовании явной и неявной разностных схем. Методы решения задачи Стефана (2 часа).;
12. Основы метода конечных разностей и метода контрольных объемов (2 часа).;
13. Алгоритмизация метода Монте-Карло на примере задачи прохождения электронов через различные среды (4 часа).;
14. Численное вычисление интегралов (2 часа).;
15. Уравнения Навье-Стокса. Подход Лагранжа (2 часа).;
16. Deskриптивные, нормативные и оптимизационные модели в электротехнологии (2 часа).;
17. Уравнения Навье-Стокса. Подход Эйлера. Конвективная производная. (2 часа).;
18. Алгоритм SIMPLE C. Патанкара и его применение в современных вычислительных пакетах. Суть алгоритма, вывод уравнения Пуассона для расчета поля давления, удовлетворяющего условию непрерывности (2 часа)..

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|--|------------------|---|---|---|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Знать: | | | | | | | | |
| алгоритмы численного решения многомерных задач нестационарного теплообмена | ИД-5ПК-6 | + | | | | | | Тестирование/Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии |
| концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования процессов переноса в жидких и газообразных средах при реализации электротехнологических процессов | ИД-5ПК-6 | | | + | | | | Тестирование/Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса |
| современные подходы к моделированию течения жидкой среды со свободной поверхностью при действии источников нагрева для решения различных задач электротехнологии | ИД-5ПК-6 | | | | | + | | Тестирование/Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии» |
| методы численной интерпретации граничных условий и источников теплоты для различных электротехнологий | ИД-5ПК-6 | | + | | | | | Тестирование/Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса |
| Уметь: | | | | | | | | |
| применять полученные знания для самостоятельной разработки и алгоритмизации комплексных моделей электротехнологических процессов | ИД-5ПК-6 | | | | | | + | Тестирование/методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями) |
| разрабатывать алгоритмы численного решения системы уравнений Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости с использованием подхода Эйлера и метода контрольных объемов | ИД-5ПК-6 | | | | + | | | Программирование (код)/Разработка программы для моделирования процесса теплопереноса |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Разработка программы для моделирования процесса тепломассопереноса (Программирование (код))

Форма реализации: Письменная работа

1. Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса (Тестирование)
2. Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии» (Тестирование)
3. методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями) (Тестирование)
4. Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса (Тестирование)
5. Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

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 7 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Патанкар, С. В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 312 с. - ISBN 5-7046-0898-1 .;
2. Цирельман Н. М.- "Теория и прикладные задачи тепломассопереноса", (2-е изд., испр.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2019 - (504 с.)
<https://e.lanbook.com/book/119624>;
3. Зализняк, В. Е. Основы вычислительной физики: Ч.1. Введение в конечно-разностные методы / В. Е. Зализняк, Красноярский гос. ун-т . – М. : Ин-т компьют. исслед., 2004 . – 252 с. + CD-ROM . - ISBN 5-939723-26-8 .;
4. Тепловые процессы обработки материалов концентрированными потоками энергии : учебное пособие по курсу "Теоретические основы сварки плавлением" по направлениям подготовки бакалавров 13.03.03 "Энергетическое машиностроение" и 15.03.01 "Машиностроение" / Р. В. Родякина, А. В. Щербаков, Д. А. Гапонова, М. А. Каримбеков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2019 . – 136 с. - ISBN 978-5-7046-2198-0 .
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10976>;

5. Гантмахер В. Ф.- "Электроны в неупорядоченных средах", (3-е изд., испр. и доп.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2013 - (288 с.)
<https://e.lanbook.com/book/91178>;
6. Г. Г. Гладуш, И. Ю. Смуров- "Физические основы лазерной обработки материалов", Издательство: "Физматлит", Москва, 2017 - (592 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485254>;
7. Д. В. Бисикало, А. Г. Жилкин, А. А. Боярчук- "Газодинамика тесных двойных звезд", Издательство: "Физматлит", Москва, 2013 - (632 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457644>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Visual Studio;
6. Dev-C++.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -
http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ -
<https://rosmintrud.ru/opendata>
9. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. База открытых данных Министерства экономического развития РФ -
<http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" -
<https://www.polpred.com>
13. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru>;
<http://docs.cntd.ru/>
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>
17. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
18. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки -
<https://obrnadzor>
19. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|--|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | А-213, Учебная аудитория каф. "ЭППЭ" | кресло рабочее, стол преподавателя, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, доска меловая, экран, доска маркерная, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | А-206, Учебная аудитория каф. "ЭППЭ" | кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный проектор, экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | А-213, Учебная аудитория каф. "ЭППЭ" | кресло рабочее, стол преподавателя, стул, шкаф для документов, стол письменный, вешалка для одежды, доска меловая, экран, доска маркерная, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой | стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный |
| Помещения для консультирования | А-209, Аудитория каф. "ЭППЭ" | стол учебный, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, вешалка для одежды, доска меловая, компьютер персональный |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | А-217, Кабинет сотрудников каф. "ЭППЭ" | кресло рабочее, стеллаж, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование электротехнологических процессов

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Уравнение теплопроводности и его применение в электротехнологии (Тестирование)
- КМ-2 Граничные условия и источники теплоты. Алгоритмизация многомерных задач теплопереноса (Тестирование)
- КМ-3 Подходы Эйлера и Лагранжа для моделирования явлений переноса (Тестирование)
- КМ-4 Разработка программы для моделирования процесса тепломассопереноса (Программирование (код))
- КМ-5 Метод гидродинамики сглаженных частиц в электротехнологии» (Тестирование)
- КМ-6 методы Монте-Карло в электротехнологии и численное интегрирование». Гибридные модели (открытый тест - с вычислениями) (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 6 | 8 | 12 | 14 | 16 |
| 1 | Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии | | | | | | | |
| 1.1 | Цели и задачи математического моделирования. Численное решение нестационарного уравнения теплопроводности для моделирования процессов теплопереноса в электротехнологии | | + | | | | | |
| 2 | Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов | | | | | | | |
| 2.1 | Численная интерпретация граничных условий и источников теплоты. Алгоритмизация задач теплопереноса на основе использования метода контрольных объемов | | | + | | | | |
| 3 | Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------|---|----|----|----|----|----|----|
| 3.1 | Концепции Эйлера и Лагранжа для моделирования тепломассообмена в жидких и газообразных средах | | | + | | | |
| 4 | Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах | | | | | | |
| 4.1 | Подход Эйлера: алгоритм SIMPLE и методы аппроксимации свободной поверхности жидкости для моделирования процессов тепломассообмена в жидкостях и газах | | | | + | | |
| 5 | Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация | | | | | | |
| 5.1 | Методы крупных частиц в электротехнологии. Метод гидродинамики сглаженных частиц для изучения тепломассопереноса в жидкостях и его алгоритмизация | | | | | + | |
| 6 | Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов | | | | | | |
| 6.1 | Методы Монте-Карло. Моделирование случайных процессов и численное интегрирование. Комплексные модели электротехнологических процессов | | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | 10 | 10 | 10 | 50 | 10 | 10 |