

УДК 621.373 (075.8)
ББК 31.241 я 73
К 26

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор СПбГПУ *Н.В. Коровкин*
Кандидат физико.-математических наук, профессор ПЭИПК *Ю.А. Анохин*

Карпова И.М. **Компьютерные технологии в науке и производстве. Расчет физических полей в электроэнергетике** : учеб. пособие / И. М. Карпова, В. В. Титков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 212 с.

Содержит теоретический материал, необходимый для постановки задач расчета физических полей высоковольтных электротехнических и электрофизических установок и объектов методом конечных элементов. Рассмотрены многочисленные примеры задач с решениями.

Предназначено для студентов вузов, обучающихся по магистерской программе «Техника и физика высоких напряжений» направления подготовки магистров «Техническая физика». Может быть также использовано при обучении (в системах повышения квалификации, в учреждениях дополнительного профессионального образования и пр.).

Работа выполнена в рамках реализации программы развития национального исследовательского университета «Модернизация и развитие политехнического университета как университета нового типа, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и надотраслевые технологии мирового уровня с целью повышения конкурентоспособности национальной экономики».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

ISBN 978-5-7422-3026-7

© Карпова И.М., Титков В.В., 2010
© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. Уравнения с частными производными и методы их решения.....	7
2. Физические поля высоковольтных электроустановок.....	14
2.1. Электромагнитные поля и процессы.....	14
2.1.1. Постановка задач электростатики для анализа высоковольтных конструкций.....	14
2.1.2. Электрические поля постоянных токов в элементах высоковольтной электротехники.....	25
2.1.3. Электромагнитные поля переменных токов в устройствах высоковольтной электротехники.....	37
2.1.4. Магнитные поля электрофизических установок.....	45
2.1.5. Импульсные электромагнитные процессы в проводниках.....	51
2.2. Тепловые поля и процессы в высоковольтных электротехнических устройствах.....	60
2.2.1. Стационарные тепловые поля.....	60
2.2.2. Нестационарные тепловые процессы.....	68
2.3. Механические напряжения в элементах высоковольтной электротехники.....	74
2.3.1. Задачи анализа напряженного состояния изоляционных конструкций.....	74
2.3.2. Температурные напряжения, комбинированные температурные и механические нагрузки.....	90
3. Основы метода конечных элементов.....	94
3.1. Сущность метода конечных элементов.....	94
3.2. Дискретное представление функций с помощью конечных элементов.....	96
3.2.1. Общая классификация элементов.....	96
3.2.2. Одномерный линейный элемент.....	97
3.2.3. Двумерный линейный элемент.....	100
3.2.4. Трехмерный симплекс-элемент.....	104
3.2.5. Линейный четырехугольный элемент. Введение естественной системы координат.....	106
3.2.6. Элементы более сложной структуры.....	110
3.2.7. Эрмитовы элементы.....	114
3.3. Формулировки задач математической физики с использованием конечных элементов.....	116
3.3.1. Вариационный подход к реализации метода конечных элементов.....	116
3.3.2. Проекционная формулировка метода конечных элементов.....	127

3.4. Особенности численной реализации метода конечных элементов.....	130
3.4.1. Прямые методы решения.....	130
3.4.2. Итерационные методы решения.....	132
4. Современное программное обеспечение метода конечных элементов.....	135
4.1. Особенности программных средств конечно-элементного анализа.....	135
4.2. Основные элементы конечно-элементного программного комплекса.....	137
4.3. Численное решение системы уравнений для конечных элементов.....	148
4.4. Постпроцессорная обработка результатов решения.....	150
4.5. Вычисление интегральных характеристик поля.....	155
4.6. Мультифизические конечно-элементные модели.....	159
5. Задания для практических исследований.....	173
5.1. Расчет сопротивлений заземлителей.....	173
5.2. Расчет параметров сверхпроводящего токопровода.....	182
5.3. Высокочастотное электромагнитное поле однопроводной воздушной линии.....	185
5.4. Исследование стационарного теплового режима трехфазного кабеля.....	190
5.5. Исследование многовиткового соленоида.....	193
5.6. Получение сильного импульсного магнитного поля в одновитковом соленоиде.....	196
Библиографический список.....	209
Приложение. Физические характеристики материалов, применяемых в электроэнергетическом и электрофизическом оборудовании.....	210