

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-технологическая академия

**Ю. В. КЛУННИКОВА
С. П. МАЛЮКОВ
М. В. АНИКЕЕВ**

**МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2019

УДК 621.382 (075.8)

ББК 32.85я73

K142

Печатается по решению кафедры конструирования электронных средств Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета (протокол № 8 от 27 марта 2019 г.)

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент кафедры нанотехнологий и микросистемной техники ИНЭП ЮФУ *А. М. Светличный*
 доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики Таганрогского института имени А. П. Чехова (филиал) «Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)»
Я. Е. Ромм

Клунникова, Ю. В.

K142 Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем : учебное пособие / Ю. В. Клунникова, С. П. Малюков, М. В. Аникеев ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2019. – 85 с.

ISBN 978-5-9275-3277-3

В учебном пособии излагаются основы метода конечных элементов, являющегося одним из эффективных методов численного решения инженерных задач при моделировании устройств и систем в объеме, предусмотренном стандартом для подготовки магистров по направлению 11.03.04 «Конструирование и технология электронных средств». Пособие рекомендовано для студентов, обучающихся по данному направлению, а также для специалистов в области конструирования электронных средств.

УДК 621.382 (075.8)

ББК 32.85я73

ISBN 978-5-9275-3277-3

© Южный федеральный университет, 2019
 © Клунникова Ю. В., Малюков С. П., Аникеев М. В., 2019
 © Оформление. Макет. Издательство Южного федерального университета, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ	6
1.1. Методы математического моделирования	6
1.2. Пространственная задача теории упругости	14
2. МЕТОД КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА	17
2.1. Описание свойств конечного элемента	17
2.2. Система уравнений метода конечных элементов для конструкций	18
2.3. Линейный тетраэдральный элемент	20
2.4. Особенности применения метода конечных элементов	23
3. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ КОНСТРУКЦИЙ	26
3.1. Построение расчетной сетки с применением GMSH для решения задач методом конечных элементов	30
3.2. Использование алгоритмического языка Python для программной реализации метода конечных элементов	33
3.3. Основные сведения о синтаксисе языка Python	36
3.4. Базовый математический пакет Numpy алгоритмического языка Python	41
3.5. Рекомендации по реализации метода конечных элементов на алгоритмическом языке Python	47
4. ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ САПФИРА	65
5. УРАВНЕНИЯ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА	71
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	77
ПРИЛОЖЕНИЕ	82