

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛИПЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

П.И. Золотухин, И.М. Володин, Е.П. Карпайтис, А.И. Володин

**ПРИКЛАДНЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Учебное пособие

Утверждаю к печати

Проректор по учебной работе

Объем 7,9 п. л.

Ю.П. Качановский

Тираж 250 экз.

«_____» _____ 2013 г.

Липецк
Липецкий государственный технический университет
2013

УДК 621.7:519.6(07)

П 759

Рецензенты: кафедра «Системы пластического деформирования» ФГБОУ ВПО МГТУ «Станкин»; А.С. Калитвин проректор по научной работе ФГБОУ ВПО ЛГПУ, д-р физ.-мат. наук, проф.

П 759 Прикладные численные методы в заготовительном машиностроительном производстве: учеб. пособие / П.И. Золотухин, И.М. Володин, Е.П. Карпайтис, А.И. Володин - Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. - 127 с.

ISBN 978-5-88247-536-8

В работе приведены основные сведения о численных методах решения математических задач, встречающихся при анализе процессов обработки металлов давлением (ОМД) в заготовительном машиностроительном производстве. Приведены программы на языке VBA, в которых численные методы применены для решения ряда прикладных задач ОМД.

Пособие предназначено для студентов вузов при изучении дисциплин: «Численные методы в технике», «Моделирование технологических процессов», «Основы технологии машиностроения», «Моделирование процессов ОМД».

Табл. 11. Ил. 42. Библиогр.: 20 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета ЛГТУ

ISBN 978-5-88247-536-8

© ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», 2012

© П.И. Золотухин, И.М. Володин,
Е.П. Карпайтис, А.И. Володин, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ ОМД И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ	8
1.1. Основные уравнения теории ОМД	8
1.2. Этапы решения задачи на компьютере	10
1.3. Численные методы	11
2. НЕЛИНЕЙНЫЕ УРАВНЕНИЯ	13
2.1. Уравнения с одним неизвестным	13
2.1.1. Вводные замечания	13
2.1.2. Метод половинного деления	14
2.1.3. Блок-схема метода половинного деления и числовой пример	15
2.1.4. Метод хорд	17
2.1.5. Метод простой итерации	19
2.2. Системы уравнений	21
2.2.1. Метод простой итерации	21
2.2.2. Метод Ньютона	24
2.2.3. Блок-схема метода Ньютона и пример для системы двух уравнений	26
2.3. Анализ напряженного состояния металла в точке деформируемого тела.....	29
2.3.1. Главные напряжения и направляющие косинусы для главных осей тензора напряжений	29
2.3.2. Программа численного расчета главных напряжений и направляющих косинусов.....	32
3. СИСТЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	39
3.1. Основные понятия.....	39
3.2. Метод Гаусса.....	41
3.3. Пример использования метода Гаусса.....	43
3.4. Метод Зейделя.....	44

3.5. Пример решения системы линейных уравнений методом Зейделя	46
4. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ	49
4.1. Постановка задачи	49
4.2. Линейная интерполяция	51
4.3. Квадратичная интерполяция	53
4.4. Примеры линейной и квадратичной интерполяции	54
4.5. Интерполяционный многочлен Лагранжа	55
4.6. Расчет пружинения валков с использованием интерполяции	57
4.6.1. Пружинение валков ковочных вальцов	57
4.6.2. Программа расчета пружинения валков с использованием интерполяции	60
5. ПОДБОР ЭМПИРИЧЕСКИХ ФОРМУЛ	64
5.1. Постановка задачи	64
5.2. Виды эмпирических формул	66
5.3. Метод наименьших квадратов	68
5.4. Пример использования метода наименьших квадратов	70
5.7. Программа расчета коэффициентов эмпирических формул, аппроксимирующих данные по пружинению валков	74
6. ЧИСЛЕННОЕ ИНТЕГРИРОВАНИЕ	80
6.1. Вводные замечания	80
6.2. Методы прямоугольников и трапеций	82
6.3. Пример использования методов прямоугольников и трапеций	84
6.4. Обеспечение необходимой точности при численном интегрировании ...	86
6.5. Применение численных методов для вычисления кратных интегралов	88
6.6. Пример вычисления двойного интеграла методом ячеек	90
6.7. Пример вычисления двойного интеграла методом последовательного вычисления определенных интегралов	91

6.8. Расчет силы и работы деформации энергетическим методом при осадке кольца в контейнере.....	92
6.8.1. Методика расчета.....	92
6.8.2. Программа анализа осадки кольца в контейнере.....	97
6.9. Анализ осадки параллелепипеда на плоских бойках с использованием принципа минимума полной мощности.....	101
6.9.1. Методика и алгоритм расчета.....	101
6.9.2. Программа анализа осадки параллелепипеда	105
7. ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ.....	110
7.1. Основные понятия.....	110
7.2. Решение задачи Коши методом Эйлера.....	112
7.3. Метод Рунге-Кутты. Пример решения дифференциального уравнения.....	115
7.4. Расчет контактных напряжений с использованием теории течения тонкого слоя по жестким поверхностям.....	118
7.4.1. Методика расчета.....	118
7.4.2. Программа расчета контактных напряжений	122
Библиографический список	125

```

Next i
'Применение метода Sort объекта Range для сортировки данных по
'убыванию(присвоения индексов главным напряжениям s1, s2, s3
Range("J4:J6").Sort key1:=Range("J4"), order1:=xlDescending
'Вызов процедуры TRI_UR_NUTON для решения системы трех нелинейных
'уравнений(корни уравнений - направляющие косинусы трех главных площадок)
For i = 1 To 3
    sg(i) = Cells(i + 3, 10)
    sxg = sxx - sg(i)
    syg = syy - sg(i)
    TRI_UR_NUTON sxg, syg, eps2, kol_it(i)|
    Cells(9, 5 + i) = nx_n
    Cells(10, 5 + i) = ny_n
    Cells(11, 5 + i) = nz_n
    Cells(13, 5 + i) = kol_it(i)
Next i
End Sub

Function FUN(x As Double) As Double
'Процедура-функция, формирующая кубическое уравнение
FUN = x ^ 3 - I1 * x ^ 2 + I2 * x - I3
End Function

Sub METHOD_HORD(a As Double, b As Double, x As Double, _
    eps As Double, kol_it As Integer)
'Процедура метода хорд для вычисления корня нелинейного уравнения
Dim f_a As Double, f_b As Double, f_x As Double
kol_it = 0
Metka:
f_a = FUN(a)
f_b = FUN(b)
x = a - (b - a) * f_a / (f_b - f_a)
f_x = FUN(x)
    If Abs(f_x) > eps Then
        If f_b * f_a > 0 Then
            a = x
        Else
            b = x
        End If
        kol_it = kol_it + 1
        GoTo Metka
    End If
End Sub

Sub TRI_UR_NUTON(sxg As Double, syg As Double, eps2 As Double, _
    kol_it As Integer)
'Решение методом Ньютона системы трех нелинейных уравнений:
'sxg*nx + txy*ny + txx*nz = 0
'txy*nx + syg*ny + tyz*nz = 0
'nx^2 + ny^2 + nz^2-1 = 0
'nx, ny, nz- неизвестные; eps2- точность;
'kol_it_max- макс. число итераций
Dim nx As Double, ny As Double, nz As Double
Dim J As Double
Dim vs1 As Double, vs2 As Double, vs3 As Double, vs4 As Double
Dim Dy As Double, Dz As Double, Del_x As Double, Del_y As Double, _

```

Рис. 2.10 (продолжение). Код программы для расчета главных напряжений и направляющих косинусов