

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВВЕДЕНИЕ В МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	4
1.1. Обозначения матриц и матричных операций	4
1.2. Понятие о методе конечных элементов	5
2. РАСЧЁТ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МКЭ	7
2.1. Закон Гука для внешних сил	7
2.2. Основные положения расчёта	9
2.2.1. Основная идея расчёта	9
2.2.2. Матрица жесткости плоского стержневого элемента	11
2.2.3. Матрица жесткости произвольно ориентированного элемента	12
2.2.4. Матрица индексов	15
2.2.5. Матрица жесткости стержневой системы	17
2.2.6. Формирование вектора сил системы	18
2.2.7. Учет граничных условий	20
2.2.8. Решение основного уравнения МКЭ	22
2.2.9. Дополнительные расчёты	22
2.2.10. Функции формы	24
2.2.11. Порядок расчета стержневой системы матричным методом	26
3. ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ	27
3.1. Потенциальная энергия упругой деформации	28
3.2. Уравнение движения системы с n степенями свободы	29
3.3. Определение матрицы масс $[M]$ и матрицы демпфирования $[H]$	30
3.4. Определение собственных частот системы с n степенями свободы	34
3.5. Вынужденные колебания системы с n степенями свободы	36
3.6. Устойчивость стержневых систем	38
4. МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ПЛОСКИХ И ОБЪЁМНЫХ ТЕЛ	41
4.1. Тензоры и векторы напряжений и деформаций	41
4.2. Целевая функция для плоских и объёмных тел	44
5. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ	47
5.1. Теория деформаций	48
5.1.1. Геометрические уравнения Коши	49
5.1.2. Тензор деформаций	50
5.1.3. Уравнения неразрывности	51
5.2. Теория напряжений	52
5.2.1. Равновесие элементарного тетраэдра. Тензор напряжений	52
5.2.2. Дифференциальные уравнения равновесия Навье	54
5.2.3. Матричный дифференциальный оператор	56
5.2.4. Главные напряжения и главные деформации	59
5.3. Связь между напряжениями и деформациями	62
5.4. Виды напряженного состояния	66
5.5. Уравнения теории упругости для частных случаев нагружения	69
5.5.1. Плоское напряженное состояние	69
5.5.2. Плоское деформированное состояние	70
5.5.3. Осесимметричное нагружение	70

6. МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РАСЧЁТА ПЛОСКИХ И ОБЪЁМНЫХ ТЕЛ.....	71
6.1. Формирование матрицы жесткости элемента.....	71
6.2. Требования к функциям формы.....	72
6.3. Определение функций формы треугольного элемента.....	74
6.4. Матрица жесткости треугольного элемента.....	76
6.5. Порядок решения плоской задачи теории упругости методом конечных элементов.....	78
6.6. Использование сложных конечных элементов.....	80
6.6.1. Виды элементов.....	80
6.6.2. Функции формы сложных элементов.....	81
6.6.3. Естественная система координат.....	81
6.6.4. Расчет коэффициентов жесткости.....	83
6.6.5. Использование четырехугольного квадратичного элемента.....	84
6.6.7. Сравнение линейной и квадратичной функций формы.....	87
7. ОБЩИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ МКЭ НА ПРИМЕРЕ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА.....	89
7.1. Кручение стержня произвольного поперечного сечения.....	90
7.2. Общий подход к решению задач методом конечных элементов.....	91
7.3. Решение уравнения Пуассона методом конечных элементов.....	93
8. УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА.....	97
8.1. Основные законы теории пластичности.....	98
8.1.1. Законы упругого изменения объема и формы тела.....	98
8.1.2. Законы теории пластичности.....	100
8.2. Условие пластичности.....	105
8.3. Физические уравнения теории пластичности.....	106
8.4. Решение упругопластической задачи МКЭ.....	107
9. РАСЧЁТ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	113
9.1. Кривые ползучести.....	114
9.2. Характеристики ползучести.....	118
9.3. Расчёт на ползучесть методом конечных элементов.....	119
10. РАСЧЁТЫ В ANSYS.....	120
10.1. Структура ANSYS и последовательность расчета.....	120
10.2. Примеры.....	121
Библиографический список.....	134

Макаров Евгений Георгиевич

Метод конечных элементов в прочностных расчетах

Редактор *Г.В. Никитина*

Корректор *Л.А. Петрова*

Компьютерная верстка *С.В. Кашуба*

Подписано в печать 14.08.2017. Формат 60x84/16. Бумага документная.

Печать трафаретная. Усл. печ. 8 л. Тираж 100 экз. Заказ № 122.

Балтийский государственный технический университет

Типография БГТУ

190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1