

# СОДЕРЖАНИЕ

## ПРЕДИСЛОВИЯ IX

Предисловие к четвертому изданию .....	X
Предисловие к третьему изданию .....	XII
Предисловие ко второму изданию .....	XV
Предисловие к первому изданию .....	XIX

## 1. ОБЪЕКТЫ РАСЧЕТА И ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ 1

1.1. Многомерность и многофункциональность .....	1
1.2. Основные факторы, учитываемые при построении расчетной модели .....	3
1.3. Неопределенность в системе знаний об объекте .....	7
1.4. Эксперимент и практический опыт .....	9
1.5. Общие проблемы моделирования .....	13
1.6. Мажорантные и минорантные модели .....	16
1.7. Апостериорный анализ расчетной схемы .....	18

## 2. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ 21

2.1. Определяющие параметры и число степеней свободы	22
2.2. Модель нагружения – составная часть расчетной схемы .	27
2.3. Контроль расчетной схемы и средства ее описания .....	31
2.4. Параметризация расчетной модели .....	44
2.5. Некоторые приемы .....	52
2.6. Моносвязи и полисвязи в расчетной схеме .....	62
2.7. Абсолютно жесткие тела как типы конечных элементов...	67
2.7.1. Одномерные абсолютно жесткие тела .....	68
2.7.2. Двумерные абсолютно жесткие тела .....	69
2.7.3. Трехмерные абсолютно жесткие тела.....	70
2.7.4. Примеры использования абсолютно жестких тел .....	73
2.8. О нелинейных расчетах .....	75
2.9. Одновременное использование нескольких схем .....	78
2.10. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных	85

---

<b>3. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ</b>	<b>89</b>
3.1. Разрешающие уравнения .....	89
3.1.1. Метод перемещений .....	92
3.1.2. Метод сил .....	96
3.1.3. Дуализм метода перемещений и метода сил. Проекторы .....	99
3.2. Статико-кинематический анализ .....	104
3.2.1. Замечание о дислокациях .....	109
3.3. Снова о полисвязях. Вариационная формулировка .....	111
3.4. Нуль элементы .....	121
3.5. Геометрическая нелинейность. Устойчивость .....	128
3.5.1. Четыре этажа геометрически нелинейных постановок задач .....	129
3.5.2. Геометрическая нелинейность для стержней ферменного типа .....	131
3.5.3. Геометрически нелинейные уравнения в вариациях.	138
3.6. Конструктивная нелинейность – системы с односторонними связями .....	142
3.7. Вантовые элементы в расчетной модели .....	150
3.7.1. Координатные оси и интегральные параметры нагружения вант .....	154
3.7.2. Задание преднапряжения .....	156
3.7.3. О линеаризованных моделях вантовых конструкций .	158
3.7.4. Линеаризация вантовых элементов расчетной схемы.	160
3.7.5. Линеаризация сжато-изогнутых элементов расчетной схемы .....	165
3.8. Расчет на динамическую нагрузку .....	167
3.9. Континуальные системы в конечноэлементном описании.	173
3.9.1. Замечание о терминологии .....	175
3.9.2. замечание о способах изображения расчетных схем	176
<b>4. КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ</b>	<b>177</b>
4.1. Замечания о дискретизации задачи .....	177
4.2. Основные понятия метода конечных элементов.....	178
4.3. Моделирование стержневых систем .....	184
4.4. Моделирование конечноэлементной сеткой .....	193
4.5. О практической сходимости .....	196
4.6. Проверка сходимости для некоторых моделей .....	199
4.7. Экстраполяция Ричардсона .....	202

4.8. Обход особых точек .....	207
4.9. Генерация конечноэлементной сетки .....	212
4.10. О применении гибридных конечных элементов .....	212

## **5. ОШИБКИ И ЛОВУШКИ 223**

5.1. Фрагментация .....	223
5.2. Построение непрерывных полей напряжений в МКЭ .....	233
5.3. Ошибки и ловушки при стыковке элементов различной размерности .....	244
5.3.1. Стержни + плиты .....	245
5.3.2. Стержни + пластины .....	253
5.3.3. Стержни + объемные элементы .....	268
5.3.4. Плиты + пластины (сопряжение оболочечных элементов) ..	268
5.3.5. Использование специальных методов стыковки элементов ..	275
5.4. Об одном парадоксе при сочетании стержней Бернулли и стержней Тимшенко в одной модели .....	277
5.5. Аппроксимация геометрической формы и закреплений ..	287
5.6. Погрешности вычислений и как с ними бороться .....	291
5.6.1. Замечания о применении суперэлементов .....	305
5.6.2. Замечания о тестировании программного комплекса	307
5.7. Шаговая процедура .....	309

## **6 АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ 317**

6.1. Проблема анализа .....	317
6.2. Какие результаты расчета нужны .....	318
6.3. Общая апробация .....	326
6.4. Характерное перемещение .....	332
6.5. Вычисление энергии деформации .....	336
6.6. Последующая обработка результатов .....	338

## **7 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ПАРАМЕТРОВ 341**

7.1. Основные источники неопределенности .....	341
7.2. Методы расчета чувствительности .....	351
7.3. Чувствительность собственных колебаний .....	355
7.4. Оценка дополнительных усилий при изменении	

жесткостей .....	361
7.5. Теоретические оценки для случая неопределенных жесткостей .....	366
7.6. Использование методов планирования экспериментов ....	370
7.7. Предельное равновесие при неопределенном нагружении..	382
<b>8 АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ЗАДАЧ</b>	<b>385</b>
8.1. Шарнирно стержневые системы .....	386
8.2. Монтаж .....	389
8.2.1 Генетическая нелинейность .....	396
8.3. Преднапряжение .....	407
8.4. Конструкции с гидравлическими домкратами .....	411
8.4.1. Жидкостный конечный элемент .....	417
8.5. Модель «здание – основание».....	418
8.5.1. Учет распределительных способностей грунта .....	418
8.5.2. Модель основания с двумя коэффициентами постели .....	421
8.5.3. Упругие характеристики основания .....	428
8.6. О назначении характеристик двухпараметрового упругого основания .....	431
8.6.1. Модель основания "ССС" .....	436
8.7. Анализ модели «здание – основание» .....	445
8.7.1. Итерационный расчет .....	445
8.7.2. Расчетная модель фундаментной плиты .....	448
8.7.3. Об использовании конечноэлементной модели основания .....	451
8.8. Бистержневая модель тонкостенного стержня открытого профиля .....	455
8.8.1. Построение бистержневой модели .....	456
8.8.2. Бистержневая модель тонкостенного стержня, усиленного поперечными планками .....	463
8.8.3. Усиление тонкостенного стержня поперечной диафрагмой .....	471
8.8.4. Математическая трактовка бистержневой модели и ее дискретной схемы .....	472
8.9. Расчетные сочетания нагрузок .....	475
<b>9. ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ И СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ</b>	<b>487</b>
9.1. Проверка устойчивости равновесия .....	487

9.2. Классическая задача устойчивости равновесия .....	494
9.3. Свободные длины сжатых стержней .....	500
9.4. Анализ роли отдельных подсистем.....	508
9.5. О влиянии дополнительных связей на устойчивость системы .....	518
9.5.1. Об одной ошибке загадочного характера в программных продуктах при расчете механических систем на устойчивость .....	519
9.6. Об одном парадоксе в задаче на устойчивость стержня ...	536
9.7. Учет несовершенств реальной конструкции .....	543
9.8. Замечание по учету $P$ - $\Delta$ эффектов.....	549

## **10. ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ 551**

10.1. Расчетные модели в задачах динамики .....	551
10.1.1. Динамические степени свободы .....	559
10.1.2. Динамическая конденсация – процедура Гайяна... ..	561
10.2. Интегрирование уравнений движения .....	565
10.3. Вынужденные колебания при гармоническом воздействии	570
10.3.1. Модель Гордеевой.....	580
10.4. Декремент колебаний .....	584
10.4.1. Конечные элементы из упругого материала .....	588
10.4.2. Элемент сухого трения .....	589
10.4.3. Элемент вязкого трения .....	589
10.4.4. Элемент нелинейно-вязкого трения .....	590
10.4.5. Демпфирование излучением .....	591
10.5. Три резонансные кривые .....	593
10.6. Расчет сооружений на сейсмические воздействия .....	596
10.6.1. Спектральный метод расчета .....	597
10.6.2. Специальные проблемы спектральной методики ..	605
10.6.3. Акселерограммы. Интегрирование уравнений движения .....	610
10.7. Действие импульсных и ударных нагрузок. ....	617
10.8. Колебания под воздействием пульсаций ветрового потока	621
10.8.1. Моделирование ветрового воздействия .....	621
10.8.2. Динамическое действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки .....	623
10.8.3. Представление пульсационной составляющей ветровой нагрузки .....	625
10.8.4. Спектр пульсаций скорости ветра .....	628
10.8.5. Динамическая составляющая расчетного фактора	628
10.8.6. Проблемы численной реализации .....	630

<b>11. НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ</b>	<b>633</b>
11.1. Дублирование расчетов как мера защиты от ошибок .....	633
11.1.1. Что такое независимо разработанные программные комплексы .....	634
11.1.2. Использование разных расчетных схем .....	635
11.1.3. Как проводится сопоставительный анализ .....	637
11.1.4. О возможном нормировании правил определения НДС .....	638
11.2. Расчет на прогрессирующее обрушение .....	640
11.2.1. Прогрессирующее обрушение как научно техническая проблема .....	640
11.2.2. Исходные события .....	643
11.2.3. О динамических эффектах .....	644
11.2.4. Оценка поведения элементов .....	645
11.3. Схемная характеристика живучести .....	647
11.4. О расчетном сопровождении строительного процесса ....	654
<b>12. ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ</b>	<b>659</b>
12.1. Наши рекомендации потенциальным пользователям .....	659
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	<b>669</b>
А Жордановы исключения и их роль в строительной механике .....	669
А.1 Общее описание .....	670
А.2 Жордановы исключения с матрицей жесткости системы .....	673
А.3 Матрица жесткости конечного элемента при нежестком присоединении элемента к узлам .....	677
А.4 Двойное жорданово исключение .....	682
<b>ЛИТЕРАТУРА</b>	<b>685</b>
<b>ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	<b>703</b>
<b>ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	<b>707</b>