

УДК 624.012.03:681.3.06

ББК 38.2-5-05

П27

А

Перельмутер, Анатолий Викторович.

П27 Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. — Эл. изд. — 1 файл pdf : 597 с. — Москва : ДМК Пресс, 2023. — (Проектирование). — Систем. требования: Adobe Reader XI либо Adobe Digital Editions 4.5 ; экран 10". — Текст : электронный.

ISBN 978-5-89818-457-5

Книга посвящена анализу методов, используемых при создании современных программных систем для статического и динамического расчета несущих строительных конструкций, а также приемов использования этих систем. Наличие (а иногда и отсутствие) руководств, входящих в систему программной документации, чаще всего дает возможность «использовать» программную систему как черный ящик и в лучшем случае позволяет научиться нажимать необходимые кнопки, чтобы вызвать к жизни ту или иную функцию программы. Вместе с тем опыт показывает, что любое руководство к самой совершенной программе бессмысленно, если пользователь не понимает основ тех методов, которые эти программы реализуют.

Особое внимание в книге уделяется роли выбора расчетной модели, ее обоснованности, а также внутренней и внешней согласованности с решаемой задачей. Приводятся многочисленные практические рекомендации, указываются типичные и нетипичные проблемы и ошибки, описываются различного рода ловушки, подстерегающие инженера-расчетчика. Многие поучительные примеры связаны с практическим опытом авторов, как инженеров-проектировщиков. По сравнению с предыдущими изданиями материал расширен и дополнен.

Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников, как пользователей программной продукции, так и разработчиков программных средств. Она может быть использована студентами, аспирантами и преподавателями дисциплин прочностного курса (строительная механика, теория упругости) или курса САПР.

УДК 624.012.03:681.3.06

ББК 38.2-5-05

Электронное издание на основе печатного издания: Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. — Москва : ДМК Пресс, 2009. — 596 с. — (Проектирование). — ISBN 5-94074-352-8. — Текст : непосредственный.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации.

ISBN 978-5-89818-457-5

© Перельмутер А. В., Сливкер В. И.

© SCAD Soft

© Оформление ДМК Пресс

А

Краткое содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	12
Глава 1 ОБЪЕКТЫ РАСЧЕТА И ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ	20
Глава 2 ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ	36
Глава 3 ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ	94
Глава 4 КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫЕ МОДЕЛИ	166
Глава 5 ОШИБКИ И ЛОВУШКИ	204
Глава 6 АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ	279
Глава 7 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ПАРАМЕТРОВ	302
Глава 8 АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ ЗАДАЧ	338
Глава 9 ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ И СМЕЖНЫЕ ВОПРОСЫ	426

Глава 10	
ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ	482
Глава 11	
НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ	544
Глава 12	
ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ	568
ЛИТЕРАТУРА	576
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ	593

Содержание

Предисловие	12
Предисловие к третьему изданию	12
Из предисловия ко второму изданию	13
Из предисловия к первому изданию	15
Глава 1. Объекты расчета и проблема моделирования	20
1.1. Многомерность и многофункциональность	22
1.2. Факторы, учитываемые при построении расчетной модели	23
1.3. Неопределенность в системе знаний об объекте	27
1.4. Эксперимент и практический опыт	28
1.5. Общие проблемы моделирования	31
1.6. Мажорантные и минорантные модели	33
1.7. Апостериорный анализ расчетной схемы	35
Глава 2. Построение расчетной схемы	36
2.1. Определяющие параметры и число степеней свободы	39
2.2. Модель нагружения – составная часть расчетной схемы	43
2.3. Контроль расчетной схемы и средства ее описания	46
2.4. Параметризация расчетной модели	56
2.5. Некоторые приемы	63
2.6. Моносвязи и полисвязи в расчетной схеме	71
2.7. Абсолютно жесткие тела как типы конечных элементов	76
2.7.1. Одномерные абсолютно жесткие тела	76
2.7.2. Двумерные абсолютно жесткие тела	77
2.7.3. Трехмерные абсолютно жесткие тела	78
2.7.4. Примеры использования абсолютно жестких тел	81
2.8. О нелинейных расчетах	82
2.9. Одновременное использование нескольких схем	85

2.10. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных	91
--	----

Глава 3. Основные соотношения

для дискретных систем	94
3.1. Разрешающие уравнения	96
3.1.1. Метод перемещений	98
3.1.2. Метод сил	102
3.1.3. Дуализм метода перемещений и метода сил. Проекторы	104
3.2. Статико-кинематический анализ	108
3.2.1. Замечание о дислокациях	112
3.3. Снова о полисвязях. Вариационная формулировка	113
3.4. Нуль-элементы	122
3.5. Геометрическая нелинейность. Устойчивость	128
3.5.1. Четыре этажа геометрически нелинейных постановок задач	128
3.5.2. Геометрическая нелинейность для стержней ферменного типа	130
3.5.3. Геометрически нелинейные уравнения в вариациях	135
3.6. Конструктивная нелинейность – системы с односторонними связями	139
3.7. Вантовые элементы в расчетной модели	145
3.7.1. Координатные оси	148
3.7.2. Задание преднапряжения	150
3.7.3. О линеаризованных моделях вантовых конструкций	151
3.7.4. Линеаризация вантовых элементов расчетной схемы	153
3.7.5. Линеаризация сжато-изогнутых элементов расчетной схемы	157
3.8. Расчет на динамическую нагрузку	159
3.9. Континуальные системы в конечноэлементном описании	163
3.9.1. Замечание о терминологии	165
3.9.2. Замечание о способах изображения расчетных схем	165

Глава 4. Конечноэлементные модели

4.1. Замечания о дискретизации задачи	168
---	-----

4.2. Основные понятия метода конечных элементов	168
4.3. Моделирование стержневых систем	174
4.4. Моделирование конечноэлементной сеткой	181
4.5. О практической сходимости	183
4.6. Проверка сходимости для некоторых моделей	185
4.7. Экстраполяция Ричардсона	188
4.8. Обход особых точек	191
4.9. Генерация конечно элементной сетки	196
4.10. О применении гибридных конечных элементов	199

Глава 5. Ошибки и ловушки 204

5.1. Фрагментация	206
5.2. Построение непрерывных полей напряжений в МКЭ	214
5.3. Ошибки и ловушки при стыковке элементов различной размерности	223
5.3.1. Стержни + плиты	224
5.3.2. Стержни + пластины	231
5.3.3. Стержни + объемные элементы	242
5.3.4. Плиты + пластины (сопряжение оболочечных элементов)	243
5.4. Об одном парадоксе при сочетании стержней Бернулли и стержней Тимошенко в расчетной схеме	248
5.5. Аппроксимация геометрической формы и закреплений	256
5.6. Погрешности вычислений и как с ними бороться	259
5.6.1. Замечания о применении суперэлементов	271
5.6.2. Замечания о тестировании программного комплекса ...	273
5.7. Шаговая процедура	275

Глава 6. Анализ и интерпретация результатов 280

6.1. Проблема анализа	282
6.2. Какие результаты расчета нужны	283
6.3. Общая апробация	290
6.4. Характерное перемещение	295
6.5. Вычисление энергии деформации	298
6.6. Последующая обработка результатов	300

Глава 7. Неопределенность

параметров	302
7.1. Основные источники неопределенности	304
7.2. Методы расчета чувствительности	312
7.3. Чувствительность собственных колебаний	316
7.4. Оценка дополнительных усилий при изменении жесткостей	321
7.5. Теоретические оценки для случая неопределенных жесткостей	323
7.6. Использование методов планирования экспериментов	326
7.7. Предельное равновесие при неопределенном нагружении	336

Глава 8. Анализ некоторых

классов задач	338
8.1. Шарнирно-стержневые системы	340
8.2. Монтаж	343
8.2.1. Генетическая нелинейность	349
8.3. Преднапряжение	357
8.4. Конструкции с гидравлическими домкратами	361
8.4.1. Жидкостный конечный элемент	366
8.5. Модель «здание – основание»	367
8.5.1. Учет распределительной способности грунта	367
8.5.2. Модель основания с двумя коэффициентами постели	369
8.5.3. Упругие характеристики основания	375
8.6. О назначении характеристик двухпараметрового упругого основания	378
8.6.1. Модель основания «ССС»	382
8.7. Модель «здание – основание»	390
8.7.1. Итерационный расчет	390
8.7.2. Расчетная модель фундаментной плиты	391
8.7.3. Об использовании конечноэлементной модели основания	395
8.8. Бистержневая модель тонкостенного стержня открытого профиля	398

8.8.1. Построение бистержневой модели	400
8.8.2. Бистержневая модель тонкостенного стержня, усиленного поперечными планками	407
8.8.3. Усиление тонкостенного стержня поперечной диафрагмой	413
8.8.4. Математическая трактовка бистержневой модели и ее дискретной схемы	413
8.9. Расчетные сочетания нагрузок	416

Глава 9. Задачи устойчивости

и смежные вопросы	426
9.1. Проверка устойчивости равновесия	428
9.2. Классическая задача устойчивости равновесия	434
9.3. Свободные длины сжатых стержней	439
9.4. Анализ роли отдельных подсистем	446
9.5. О влиянии дополнительных связей на устойчивость системы	454
9.5.1. Об одной ошибке загадочного характера в программных продуктах при расчете механических систем на устойчивость	456
9.6. Об одном парадоксе в задаче об устойчивости стержня	470
9.7. Учет несовершенств реальной конструкции	477
9.8. Замечания по учету P-D эффектов	482

Глава 10. Задачи динамики

10.1. Расчетные модели в задачах динамики	484
10.1.1. Динамические степени свободы	490
10.1.2. Динамическая конденсация – процедура Гайяна	491
10.2. Интегрирование уравнений движения	495
10.3. Вынужденные колебания при гармоническом воздействии	499
10.3.1. Модель Гордеевой	507
10.4. Декремент колебаний	510
10.4.1. Конечные элементы из упругого материала	513
10.4.2. Элемент сухого трения	514
10.4.3 Элемент вязкого трения	514

10.4.4 Элемент нелинейно-вязкого трения	515
10.4.5 Демпфирование излучением	515
10.5. Три резонансные кривые	517
10.6. Расчет сооружений на сейсмические воздействия	520
10.6.1. Спектры землетрясений	520
10.6.2. Сейсмическая реакция	521
10.6.3. Расчет по акселерограммам	528
10.6.4. Поэтажные спектры отклика	529
10.7. Действие импульсных и ударных нагрузок	531
10.8. Колебания под воздействием пульсаций ветрового потока	535
10.8.1. Моделирование ветрового воздействия	535
10.8.2. Динамическое действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки	536
10.8.3. Представление пульсационной составляющей ветровой нагрузки	538
10.8.4. Спектр пульсаций скорости ветра	540
10.8.5. Динамическая составляющая расчетного фактора	540
10.8.6. Проблемы численной реализации	541

Глава 11. Некоторые специальные проблемы

11.1. Дублирование расчетов как мера защиты от ошибок	546
11.1.1. Что такое «независимо разработанные» программные комплексы	546
11.1.2. Использование разных расчетных схем	547
11.1.3. Как проводится сопоставительный анализ	549
11.1.4. О возможном нормировании правил определения НДС	549
11.2. Расчет на прогрессирующее разрушение	551
11.2.1. Прогессирующее разрушение, как научно-техническая проблема	551
11.2.2. Исходные события	553
11.2.3. О динамических эффектах	555

11.2.4. Оценка поведения элементов	557
11.3. Схемная характеристика живучести	559
11.4. О расчетном сопровождении строительного процесса	564
Глава 12. Вместо заключения	568
Литература	576
Алфавитный указатель	593