

Д. В. Тимошенко
Г. В. Куповых

1544731

Математическое моделирование в механике сплошных сред

учебное пособие



Листок срока возврата книг

**КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ**
указанного здесь срока

1344731

ТТН

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

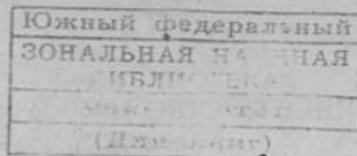
Д. В. ТИМОШЕНКО
Г. В. КУПОВЫХ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕХАНИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД

Учебное пособие



Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2023



УДК 811.11(075.8)+517/519(075.8)

ББК 81.2

Т737

15214731

*Печатается по решению кафедры высшей математики
Института компьютерных технологий и информационной безопасности
Южного федерального университета
(протокол № 9 от 31 мая 2022 г.)*

Рецензенты:

Заместитель директора института математики и физики
Кабардино-Балкарского государственного университета
имени Х. М. Бербекова, доцент кафедры алгебры и дифференциальных
уравнений, кандидат физико-математических наук *Л. В. Канукова*

Доцент кафедры высшей математики Института компьютерных
технологий и информационной безопасности Южного федерального
университета, кандидат физико-математических наук, доцент *А. Г. Клово*

Тимошенко, Д. В.

Т737 Математическое моделирование в механике сплошных сред : учебное пособие / Д. В. Тимошенко, Г. В. Куповых ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 206 с.

ISBN 978-5-9275-4594-0

Пособие посвящено изложению основ моделирования задач динамики сплошных сред и конструкций методами конечно-элементного анализа. Материалы данного пособия соответствуют продвинутому уровню и рассчитаны на студентов и магистрантов, уже имеющих некоторый опыт решения задач динамики в MSC/NASTRAN.

УДК 811.11(075.8)+517/519(075.8)

ББК 81.2

ISBN 978-5-9275-4594-0

- © Южный федеральный университет, 2023
- © Тимошенко Д. В., Куповых Г. В.
- © Оформление. Макет. Издательство Южного федерального университета, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ	9
2. СИСТЕМА ЕДИНИЦ	20
3. ДЕМПФИРОВАНИЕ	21
3.1. Общие замечания	21
3.2. Вязкое демпфирование	22
3.3. Структурное (конструкционное) демпфирование	23
3.4. Взаимосвязь вязкого и структурного демпфирования	23
3.5. Определение демпфирования в MSC/NASTRAN	24
3.6. Единицы измерения величин демпфирования	25
4. МАТРИЦА МАСС В MSC/NASTRAN	26
5. ПРЯМОЙ МАТРИЧНЫЙ ВВОД	33
6. АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ И ФОРМ КОЛЕБАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ	44
6.1. Общие замечания	44
6.2. Основные мотивы вычисления собственных частот	44
6.3. К вопросу о методах вычисления собственных значений	45
6.4. Вывод дополнительной расчетной информации	47
6.4.1. Эффективная модальная масса. Эффективный модаль- ный вес	47
6.4.2. Энергия деформации элементов как инструмент диа- гностики	51
6.4.3. Оценка возможности некоторого набора собственных форм структуры представляет статическое решение	52
6.4.4. Добавление собственных форм к существующему SOL-103 решению	61
7. TRANSIENT RESPONSE-АНАЛИЗ	64
7.1. Direct Transient Response-анализ (SOL 109)	64
7.1.1. Общие положения	64

7.1.2. Демпфирование в прямом <i>Transient Response</i> -анализе	66
7.2. Modal <i>Transient Response</i> -анализ (SOL 112)	67
7.2.1. Общие положения	67
7.2.2. Демпфирование в модальном <i>Transient Response</i> -анализе	70
7.2.3. Получение динамических данных в модальном <i>Transient Response</i> -анализе	71
7.2.4. <i>Mode Truncation</i>	72
7.3. Динамическое возбуждение структуры	73
7.4. Шаг интегрирования по времени	75
7.5. Начальные условия	76
7.5.1. Начальные условия в модальном <i>Transient Response</i> -анализе	78
7.6. Использование рестартов в <i>Transient Response</i> -анализе	82
7.6.1. Рестарты в стандартных динамических решениях	82
7.6.2. Рестарт с выбранного временного шага в <i>Transient Response</i> -анализе	85
8. FREQUENCY RESPONSE-АНАЛИЗ	98
8.1. Прямой (Direct) Frequency Response-анализ	99
8.1.1. Общие положения	99
8.1.2. Демпфирование в прямом (Direct) Frequency Response-анализе	99
8.2. Модальный (Modal) Frequency Response-анализ	100
8.2.1. Общие положения	100
8.2.2. Демпфирование в модальном Frequency Response-анализе	101
8.2.3. <i>Mode Truncation</i> в модальном Frequency Response-анализе	102
8.2.4. Получение динамических данных (<i>Dynamic Data Recovery</i>) в модальном Frequency Response-анализе	102
8.3. Определение частотно-зависимого возбуждения структуры	103
8.4. Определение возбуждающих частот	104
8.4.1. Команда <i>FREQ3</i>	105
8.4.2. Команда <i>FREQ4</i>	107
8.4.3. Команда <i>FREQ5</i>	109
8.4.4. Некоторые возможности использования <i>FREQi</i> -команд	109
8.5. Некоторые соображения по выполнению Frequency Response-анализа	114

9. ОБЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	116
9.1. Использование Residual Vectors (остаточных или разностных векторов) для повышения аккуратности модального решения	116
9.1.1. Общие положения	116
9.1.2. Основная идея	116
9.1.3. Пользовательский интерфейс	117
9.1.4. Ограничения метода	118
9.1.5. Численный пример	119
9.2. Mode Acceleration Method (метод модальных ускорений)	119
9.3. Удаление “ненужных” форм	126
9.3.1. Общие замечания	126
9.3.2. Определение доминантных форм в динамических решениях	127
9.3.3. Процедуры удаления “ненужных” собственных форм	129
9.4. Статическая преднагруженность (Static Pre-loads) в динамических решениях	130
9.4.1. Static Pre-loads в анализе собственных частот и форм	131
9.4.2. Static Pre-loads в Transient Response-анализе	133
9.4.3. Static Pre-loads в Frequency Response-анализе	140
10. НЕЛИНЕЙНЫЙ ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	141
10.1. Пользовательский интерфейс. Обзор	141
10.2. Case Control	142
10.3. Нелинейные функции нагрузок (NOLINi). Передаточные (transfer) функции	143
10.4. Начальные условия. Учет преднагруженности системы	153
10.5. Итерационный процесс	155
10.6. Автоматическое регулирование временного шага	157
10.7. Контроль неявного процесса интегрирования: запись TSTEPNL	160
10.8. Вывод диагностической информации о процессе по итерациям	164
10.9. Рестарты в нелинейном Transient Response-анализе	165
11. ОПЦИЯ INERTIA RELIEF	176
11.1. Общие замечания	176
11.2. Основные идеи метода Inertia Relief	178
11.3. Рекомендации по выбору SUPORT-степеней свободы	179

11.4. Корректность решения, получаемого с использованием Inertia Relief	180
11.5. Активизация Inertia Relief средствами MSC/PATRAN	182
11.6. К вопросу о возможности использования аппарата Inertia Relief совместно с динамическими решениями	183
12. ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ЛОКАЛЬНЫХ ЗОН КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MSC/PATRAN FEM FIELDS-ОПЦИИ ...	197
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	205