Серия «Проектирование»

Шимкович Д. Г.

Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов

ДМК Пресс
издательство
Москва, 2008

ББК 32.973-018.2я73
Ш61

Шимкович Д. Г.
Ш61 Femap & Nastran. Инженерный анализ методом конечных элементов – М.: ДМК Пресс, 2008. – 704 с., ил. (Серия «Проектирование»).

ISBN 978-5-94074-461-0

В книге рассматривается расчет конструкций в среде широко известного пакета моделирования и конечно-элементного анализа Femap & Nastran (MSC.visualNastran), предназначенного для работы в среде Windows.

Для данного программного продукта характерен широкий спектр возможностей, ориентированных на создание полноценной конечно-элементной модели и выполнения самых разнообразных видов расчетов: линейного и нелинейного прочностного анализа, исследования на устойчивость, расчета собственных форм и частот колебаний, осуществления динамического, частотного и теплового анализа конструкции, оптимизации ее параметров.

В книге на многочисленных примерах последовательно рассматриваются все этапы построения расчетных моделей конструкций: разработка геометрии, создание конечно-элементной сетки, формирование нагрузок и граничных условий, выполнение различных видов расчетов, начиная от самых первых шагов до использования расширенных средств моделирования, свойств материалов и конечных элементов, обмена данными с широко известными САПР-программами: AutoCAD, SolidWorks, SolidEdge, Pro Engineer и др.

Основной круг примеров дан из практики проектирования машин и оборудования грузоподъемного типа.

Книга ориентирована на инженеров и конструкторов-расчетчиков, а также на студентов и аспирантов технических вузов, использующих методы компьютерного моделирования и анализа конструкций.

ББК 32.973-018.2я73

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-94074-461-0

© Шимкович Д. Г.
© ДМК Пресс, 2008

Содержание

Предисловие ко второму изданию 14

Из предисловия к первому изданию 15

Часть 1
Основы работы в MSC.visualNastran for Windows 19

Глава 1
Состав и конфигурирование программы 21

1.1. Системные требования 22
1.2. Описание структуры пакета MSC.vN4W 23
1.3. Конфигурирование 25
1.3.1. Конфигурирование Windows 25
1.3.2. Конфигурирование MSC.vN4W 26
1.4. Типы файлов в MSC.vN4W 28
1.4.1. Файлы, создаваемые при работе в среде моделирования 29
1.4.2. Файлы, создаваемые в процессе конечно-элементного расчета 29

Глава 2
Среда моделирования 31

2.1. Интерфейс пользователя 32
2.2. Обзор команд меню 35
2.2.1. File 35
2.2.2. Tools 38
2.2.3. Geometry 42
2.2.4. Model 42
2.2.5. Mesh 43
2.2.6. Modify 44

2.2.7. List ... 44
2.2.8. Delete ... 45
2.2.9. Group ... 45
2.2.10. View ... 45
2.2.11. Help ... 46

Глава 3
Основы геометрического моделирования ... 49

3.1. Этапы подготовки расчетной модели ... 48
3.2. Создание точек ... 48
3.2.1. Создание точек заданием их координат ... 49
3.2.2. Создание точек с помощью мыши. Запись макроса выбора шага ... 50
3.3. Построение прямых линий ... 52
3.3.1. Способы построения прямых линий ... 52
3.3.2. Отображение идентификаторов геометрических объектов ... 53
3.4. Построение дуг и окружностей ... 54
3.4.1. Команды построения дуг и окружностей ... 54
3.4.2. Построение окружности по ее центру и радиусу ... 55
3.5. Использование сплайнов ... 55
3.5.1. Понятие о сплайне ... 56
3.5.2. Способы построения сплайнов ... 56
3.6. Создание поверхностей ... 58
3.6.1. Виды поверхностей ... 58
3.6.2. Создание поверхностей по углам и кромкам ... 58
3.6.3. Образование поверхности выдавливанием или вращением контура ... 59
3.6.4. Динамическое ориентирование модели ... 60
3.6.5. Вытягивание поверхности по направляющей линии ... 61
3.6.6. Образование плоскости, поверхностей цилиндра и сферы ... 62
3.6.7. Смещение поверхности ... 62
3.6.8. Граничные поверхности ... 62

Глава 4
Основы расчета конструкций в MSC.vN4W ... 65

4.1. Основы метода конечных элементов ... 66
4.1.1. Исходные положения ... 66
4.1.2. Уравнения равновесия ... 67

4.1.3. Матрица жесткости ... 69
4.1.4. Основные задачи и уравнения расчета конструкций ... 69
4.1.5. Пример использования метода конечных элементов ... 71
4.2. Статический расчет пластины ... 74
4.2.1. Создание геометрии ... 75
4.2.2. Задание материала ... 77
4.2.3. Выбор типа и параметров конечных элементов ... 78
4.2.4. Разбиение на конечные элементы ... 80
4.2.5. Задание граничных условий ... 81
4.2.6. Задание нагрузок ... 82
4.2.7. Расчет модели ... 84
4.2.8. Просмотр и форматирование результатов расчета ... 86
4.2.9. Модифицирование модели ... 91
4.3. Устойчивость пластины ... 92
4.3.1. Создание геометрии ... 93
4.3.2. Задание нагрузки ... 95
4.3.3. Расчет ... 96
4.3.4. Анализ результатов ... 97
4.4. Статический расчет балки ... 100
4.4.1. Создание геометрии ... 100
4.4.2. Характеристики материала ... 100
4.4.3. Выбор типа и параметров конечных элементов ... 101
4.4.4. Разбиение на конечные элементы ... 104
4.4.5. Задание граничных условий ... 105
4.4.6. Задание нагрузок ... 106
4.4.7. Расчет ... 107
4.4.8. Отображение результатов ... 107
4.5. Собственные частоты и формы колебаний ... 109
4.5.1. Разработка модели ... 109
4.5.2. Расчет ... 110
4.5.3. Отображение результатов расчета ... 111
4.6. Использование Мастера построения модели ... 113
4.6.1. Подготовка к работе Мастера ... 114
4.6.2. Основные шаги ... 114
4.6.3. Загрузка геометрии ... 115
4.6.4. Создание условий закрепления ... 116
4.6.5. Приложение нагрузок ... 117
4.6.6. Расчет модели и визуализация результатов ... 118
4.6.7. Средства модификации модели ... 120

Часть 2
Средства моделирования и анализа 121

Глава 1
Расширенные средства геометрического моделирования 123

1.1. Принципы и способы создания трехмерных моделей 124
1.1.1. Взаимосвязь геометрической и конечно-элементной моделей 124
1.1.2. Структура пространственных геометрических моделей 125
1.2. Создание объемов 125
1.2.1. Создание объемов по угловым точкам и поверхностям 125
1.2.2. Образование объемов выдавливанием и вращением 127
1.2.3. Цилиндрические и сферические объемы 128
1.3. Создание и редактирование твердых тел 129
1.3.1. Геометрическое ядро твердотельного моделирования 129
1.3.2. Активизация твердых тел 131
1.3.3. Способы создания твердых тел 131
1.3.4. Образование твердых тел выдавливанием и вращением 131
1.3.5. Твердотельные примитивы 134
1.3.6. Сшивка и расшивка твердых тел 135
1.3.7. Команды модифицирования твердых тел 135
1.3.8. Логические операции над телами 136
1.3.9. Команды рассечения твердых тел 138
1.3.10. «Очистка» тел 140
1.4. Кривые на поверхностях 141
1.4.1. Линия пересечения тел 141
1.4.2. Проецирование кривых на поверхности 142
1.4.3. Параметрические кривые на поверхностях 142
1.4.4. Линия пересечения тела плоскостью 142
1.5. Системы координат. Управление рабочей плоскостью 143
1.5.1. Системы координат 143
1.5.2. Управление рабочей плоскостью 144
1.6. Пример расчета корпуса механизма поворота манипулятора 145
1.6.1. Создание геометрии 146
1.6.2. Разбиение на конечные элементы 152
1.6.3. Задание граничных условий 155
1.6.4. Задание нагрузок 155
1.6.5. Расчет модели и отображение результатов 157

1.7. Использование срединной поверхности ... 165
1.7.1. Команды формирования срединной поверхности ... 165
1.7.2. Создание и редактирование простых поверхностей ... 165
1.7.3. Автоматическое создание срединной поверхности ... 167
1.7.4. Формирование сложных поверхностей ... 168
1.7.5. Задание атрибутов сетки на срединной поверхности ... 170
1.7.6. Пример использования срединной поверхности ... 170
1.8. Редактирование геометрии ... 178
1.8.1. Команды копирования ... 178
1.8.2. Команды модифицирования ... 180
1.8.3. Команды удаления ... 190
1.9. Контроль геометрии ... 190
1.9.1. Выделение совпадающих точек ... 190
1.9.2. Методика работы с совпадающими точками ... 191
1.9.3. Создание и просмотр групп совпадающих точек ... 192
1.9.4. Контроль других объектов ... 194
1.10. Слои и группы ... 194
1.10.1. Сравнительная характеристика слоев и групп ... 195
1.10.2. Команды создания и использования слоев ... 195
1.10.3. Команды создания и использования групп ... 197
1.11. Импорт и экспорт геометрии ... 203
1.11.1. Форматы графических файлов ... 204
1.11.2. Импорт геометрии ... 204
1.11.3. Экспорт геометрии ... 211

Глава 2
Конечно-элементное представление моделей ... 213

2.1. Задание функциональных зависимостей ... 214
2.2. Материалы ... 217
2.2.1. Изотропные материалы ... 218
2.2.2. Ортотропные материалы ... 219
2.2.3. Анизотропные материалы ... 221
2.2.4. Высокоэластичные материалы ... 221
2.2.5. Функциональные зависимости для материалов ... 222
2.3. Узлы и конечные элементы ... 225
2.3.1. Узлы и системы координат ... 226
2.3.2. Линейные (одномерные) элементы ... 228
2.3.2. Плоские (двумерные) элементы ... 236

2.3.3. Пространственные (объемные) элементы 241
2.3.4. Другие элементы 245
2.4. Основные способы разбиения модели на конечные элементы 255
2.4.1. Ручное формирование конечных элементов 256
2.4.2. Создание постоянных связей 258
2.4.3. Автоматизированное создание конечно-элементной сетки 258
2.5. Построение конечно-элементной сетки на основе геометрической модели 259
2.5.1. Основные команды задания параметров сетки 259
2.5.2. Интерактивное формирование параметров сетки 263
2.5.3. Дополнительные средства задания параметров сетки 264
2.5.4. Задание атрибутов конечных элементов 267
2.5.5. Улучшение параметров сетки на поверхности 268
2.5.6. Исключение подобластей 269
2.5.7. Выбор геометрических объектов для разбиения 270
2.6. Построение конечно-элементной сетки без геометрической модели 275
2.6.1. Построение сетки между заданными точками 276
2.6.2. Построение сетки между группами узлов 278
2.6.3. Создание связей между узлами 279
2.6.4. Создание сетки в переходных областях 282
2.7. Редактирование и переразбиение конечно-элементной модели 283
2.7.1. Редактирование сетки 283
2.7.2. Измельчение, обновление и укрупнение сетки 284
2.7.3. Создание и очистка сетки 286
2.7.4. Формирование сетки в STL-моделях 288
2.7.5. Образование ребер жесткости 289
2.7.6. Сглаживание сетки 289
2.8. Команды копирования и модифицирования сетки 289
2.8.1. Копирование сетки 290
2.8.2. Создание сетки выдавливанием, вращением и вытяжкой 290
2.8.3. Перенумерация объектов конечно-элементной модели 293
2.8.4. Присоединение узлов и элементов к геометрии 295
2.8.5. Команды обновления параметров элементов 295
2.9. Средства контроля конечно-элементного разбиения 296
2.9.1. Объединение совпадающих узлов 296
2.9.2. Проверка расположения узлов в заданной плоскости 296

2.9.3. Совпадающие элементы 297
2.9.4. Контроль параметров элементов 297

Глава 3
Нагрузки и граничные условия 301

3.1. Типы нагрузок 302
3.1.1. По природе воздействия 302
3.1.2. По способу приложения к объектам модели 302
3.2. Объемные нагрузки 303
3.2.1. Задание объемных нагрузок 303
3.2.2. Особенности формирования объемных нагрузок 304
3.3. Узловые и элементные нагрузки 305
3.3.1. Узловые нагрузки 305
3.3.2. Элементные нагрузки 308
3.3.3. Нелинейные нагрузки 309
3.4. Нагрузки, прикладываемые к геометрическим объектам 312
3.4.1. Разложение геометрических нагрузок на узловые 312
3.4.2. Нагрузки в точке 313
3.4.3. Нагрузки на линии 313
3.4.4. Нагрузки на поверхности 317
3.5. Манипулирование нагрузками 318
3.5.1. Создание нового набора нагрузок копированием 318
3.5.2. Комбинации нагрузок 318
3.5.3. Создание нагрузок из выходных данных 320
3.5.4. Создание нагрузок из реакций связей 320
3.5.5. Масштабирование нагрузок 320
3.6. Граничные условия (связи) 321
3.6.1. Узловые связи 321
3.6.2. Использование свойств симметрии модели 323
3.6.3. Уравнения связей 325
3.6.4. Граничные условия на геометрических объектах 326
3.6.5. Расширенные типы граничных условий на геометрических объектах 327
3.6.6. Модифицирование условий закрепления 332
3.6.7. Контроль условий закрепления 333

Глава 4
Способы и параметры расчета моделей 335

4.1. Способы расчета модели в MSC.vN4W 336
4.2. Расчет в пункте меню File ⇒ Analysis 336
4.2.1. Общая характеристика параметров расчета 336
4.2.2. Параметры секций File Management Section и Executive Control ... 337
4.2.3. Параметры секции Case Control 341
4.2.4. Пример расчета многовариантного нагружения 346
4.2.5. Параметры секции Bulk Data 357
4.2.6. Пример входного файла 376
4.2.7. Основные параметры при модальном анализе 376
4.3. Расчет в пункте меню Model ⇒ Analysis 384
4.3.1. Менеджер наборов параметров расчета 384
4.3.2. Создание набора параметров расчета 386
4.3.3. Пример формирования параметров многовариантного нагружения 393
4.4. Методика расчета в пункте меню File ⇒ Export ⇒ Analysis Model 395

Глава 5
Преобразования и вывод результатов 399

5.1. Преобразования выходных данных 400
5.1.1. Активизация, создание наборов и векторов выходных данных 400
5.1.2. Задание значений векторов 405
5.1.3. Выполнение операций над выходными данными 405
5.1.4. Одновременное создание однотипных векторов 422
5.1.5. Векторы приложенных нагрузок 422
5.1.6. Представление результатов в новой системе координат 423
5.1.7. Экстраполяция 428
5.1.8. Преобразование комплексных векторов 431
5.1.9. Разложение комплексных векторов 437
5.2. Получение числовых значений результатов 439
5.2.1. Выбор адресата информации 440
5.2.2. Запрос 441
5.2.3. Сравнение векторов 442
5.2.4. Неформатированная таблица данных 443