

УДК 624.01:004.9Femap with NX Nastran
ББК 38.5с515
Р93

Р93 Рычков С. П.
Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.:
ДМК Пресс, 2016. – 784 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-421-2

В книге детально рассмотрен интерфейс программы Femap, в том числе средства построения геометрической модели и автоматизированного создания конечно-элементных сеток. Большое внимание уделено описанию библиотеки конечных элементов, способам задания внешних воздействий и граничных условий. Эффективная работа с подобной программой требует, кроме знания интерфейса, также обширных знаний в предметной области, поэтому книга в той или иной мере затрагивает большое количество дисциплин, таких как теория метода конечных элементов; статика и динамика конструкций; теория упругости, сопротивление материалов; строительная механика; устойчивость упругих систем; оптимизация конструкций.

Издание предназначено для специалистов в области проектирования конструкций, которые хотели бы самостоятельно изучить пакет программ Femap with NX Nastran и применять его в своей профессиональной деятельности. Книга также будет полезна в качестве справочника студентам, аспирантам и преподавателям, а также всем пользователям, имеющим опыт работы с подобными пакетами.

УДК 624.01:004.9Femap with NX Nastran
ББК 38.5с515

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.

© Рычков С. П., 2012
ISBN 978-5-970620-421-2
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2016

Краткое содержание

Предисловие	19
Глава 1. Применение метода конечных элементов в расчете конструкций	26
Глава 2. Компоненты программ Femap/NX Nastran и их взаимодействие. Файлы	45
Глава 3. Интерфейс пользователя	54
Глава 4. Средства создания геометрической модели	155
Глава 5. Моделирование конструкций конечными элементами	203
Глава 6. Средства автоматизированного создания сеток конечных элементов	298
Глава 7. Моделирование соединений	338
Глава 8. Нагрузки и граничные условия	349
Глава 9. Управление отображением модели и результатов	403
Глава 10. Структура входного файла программы Nastran и параметры анализа	444
Глава 11. Задачи статики в линейной постановке	477

Глава 12. Нелинейный статический анализ конструкций	524
Глава 13. Решение контактных задач	547
Глава 14. Анализ устойчивости и несущей способности.....	564
Глава 15. Фрагментация модели	604
Глава 16. Динамический анализ конструкций	618
Глава 17. Нелинейный динамический анализ.....	683
Глава 18. Оптимизация конструкций	694
Глава 19. Анализ ошибок.....	732
Глава 20. Основы выполнения тепловых расчетов.....	749
Список литературы.....	766
Предметный указатель.....	768

Содержание

Предисловие	19
--------------------------	-----------

Глава 1

Применение метода конечных элементов в расчете конструкций	26
---	-----------

1.1. Краткие основы и алгоритмы метода конечных элементов	28
1.1.1. Основные соотношения для дискретных систем	33
1.1.2. Физические и нормальные координаты	34
1.1.3. Метод перемещений	35
1.1.4. Метод сил.....	35
1.1.5. Алгоритм решения статической задачи	36
1.2. Статический расчет конструкций.....	38

Глава 2

Компоненты программ Femap/NX Nastran и их взаимодействие. Файлы	45
--	-----------

2.1. Конфигурирование.....	48
2.1.1. Конфигурирование Windows	48
2.1.2. Конфигурирование Femap/NX Nastran	49
2.2. Файлы Femap и Nastran	51

Глава 3

Интерфейс пользователя	54
-------------------------------------	-----------

3.1. Окна.....	55
3.2. Доступ к командам	56
3.3. Объекты данных	57
3.4. Диалоговое окно выбора объектов – Entity Selection ...	58
3.4.1. Методы выбора объектов	60
3.4.2. Альтернативные методы быстрого выбора объектов.....	61
3.5. Графический выбор объектов.....	62
3.6. Определение координат точки и вектора	62

3.6.1. Диалоговое окно задания точки в пространстве – Locate Coordinate Definition	64
3.6.2. Диалоговое окно задания вектора – Vector Definition	66
3.7. Операции с файлами – меню File	68
3.7.1. Открытие файла модели	68
3.7.2. Сохранение файла модели	68
3.7.3. Импорт и экспорт файлов	68
3.7.4. Выполнение анализа и виды анализа в Femap	72
3.7.5. Использование примечаний и ссылок	72
3.7.6. Использование печати и копирования	75
3.7.7. Команды меню Messages	77
3.7.8. Перестройка файла модели	77
3.7.9. Предварительные назначения	77
3.8. Инструменты – меню Tools	79
3.8.1. Отмена и восстановление выполненных операций	79
3.8.2. Рабочая Плоскость – Workplane	80
3.8.3. Закрепляемые панели инструментов	82
3.8.4. Инструменты операций – Operational Tools	84
3.8.5. Инструменты объектов – Entity Tools	87
3.8.6. Инструменты измерений – Measuring Tools	91
3.8.7. Инструменты проверок – Checking Tools	93
3.9. Создание геометрических объектов – меню Geometry	100
3.10. Создание соединений – меню Connect	101
3.11. Создание объектов расчетной модели – меню Model	102
3.11.1. Создание систем координат	103
3.11.2. Создание функций	105
3.12. Модификация объектов модели – меню Modify	108
3.12.1. Операции с кривыми	109
3.12.2. Операции перемещения объектов	111

3.12.3. Редактирование параметров модели.....	116
3.12.4. Расширенные средства модификации объектов.....	118
3.13. Вывод информации – меню List	126
3.13.1. Вывод информации об объектах подменю Tools	126
3.13.2. Вывод информации о геометрических объектах	127
3.13.3. Вывод информации об объектах расчетной модели	129
3.13.4. Вывод результатов расчета	131
3.13.5. Вывод информации о группах и о модели	137
3.13.6. Назначение вывода	138
3.14. Удаление объектов модели – меню Delete	138
3.14.1. Удаление объектов меню Tools	139
3.14.2. Удаление геометрических объектов	139
3.14.3. Удаление объектов расчетной модели	139
3.14.4. Удаление результатов расчета	141
3.14.5. Удаление объектов из библиотек.....	142
3.13.6. Удаление групп и видов	142
3.15. Операции с группами объектов модели – меню Group	142
3.15.1. Создание и установка активной группы	142
3.15.2. Команды манипуляций группами.....	143
3.15.3. Команды добавления определенных объектов в группу	147
3.16. Управление отображением модели в графических окнах – меню View	149
3.16.1. Управление видами	150
3.16.2. Модификация видов	151
3.17. Управление отображением модели в графических окнах – меню Window	153
3.17.1. Команды управления окнами видов	153
3.17.2. Команды перерисовки окон видов	154
3.18. Доступ к справочной системе – меню Help	154

Глава 4

Средства создания геометрической модели ...	155
4.1. Создание точек	156
4.2. Создание кривых.....	156
4.2.1. Построение прямых линий	157
4.2.2. Построение дуг	159
4.2.3. Построение окружностей	160
4.2.4. Сплайны	162
4.2.5. Создание кривых из поверхностей	166
4.3. Типы поверхностей	167
4.4. Создание граничных поверхностей	168
4.4.1. Команды подменю Boundary Surface	168
4.5. Построение поверхностей	169
4.5.1. Диалоговое окно задания плоскости	169
4.5.2. Построение поверхностей по углам и кромкам	171
4.5.3. Образование поверхностей выталкиванием, вращением и вытягиванием по направляющей	172
4.5.4. Создание плоской, цилиндрической и сферической поверхностей.....	172
4.5.5. Смещение и преобразование поверхностей.....	174
4.6. Серединные поверхности	174
4.6.1. Создание и редактирование простых поверхностей.....	174
4.6.2. Автоматическое создание срединной поверхности	175
4.6.3. Полуавтоматическое создание срединной поверхности	176
4.7. Объемы и твердые тела.....	177
4.8. Твёрдотельное геометрическое моделирование	177
4.8.1. Активация твердого тела	178
4.8.2. Создание и редактирование твердых тел	178
4.8.3. Модификация твердых тел	182
4.8.4. Логические операции с твердыми телами	182

4.8.5. Операции разрезания и рассечения	184
4.8.6. Очистка твердых тел	187
4.9. Копирование геометрических объектов	188
4.9.1. Копирование смещением	188
4.9.2. Радиальное копирование	189
4.9.3. Копирование масштабированием	190
4.9.4. Копирование вращением	190
4.9.5. Копирование отражением	191
4.10. Геометрический интерфейс	191
4.10.1. Импорт геометрии	193
4.11. Приемы создания твердотельных геометрических моделей	196

Глава 5

Моделирование конструкций конечными

элементами	203
5.1. Выбор системы единиц измерения	205
5.2. Объекты конечного элемента	206
5.3. Узлы и степени свободы в узле	207
5.4. Библиотека конечных элементов	208
5.4.1. Одномерные элементы	208
5.4.2. Двумерные элементы	219
5.4.3. Объемные элементы	228
5.4.4. Другие элементы	231
5.5. Создание материалов	234
5.5.1. Изотропные материалы	236
5.5.2. Ортотропные материалы	238
5.5.3. Анизотропные материалы	240
5.5.4. Нелинейные материалы	240
5.6. Пакет слоев укладки Layer	247
5.7. Создание свойств элементов	249
5.7.1. Свойства элементов Rod, Tube и Curved Tube	251
5.7.2. Свойства элементов Beam, Bar и Curved Beam	253
5.7.3. Свойства элемента Spring/Damper	258

5.7.4. Свойства элемента DOF Spring	259
5.7.5. Свойства элемента GAP	260
5.7.6. Свойства элемента Shear Panel	260
5.7.7. Свойства элементов Plate, Bending Only, Membrane	261
5.7.8. Свойства элемента Laminate	262
5.7.9. Свойства элемента Axisymmetric	264
5.7.10. Свойства элемента Solid	264
5.7.11. Свойства элемента Mass	265
5.7.12. Свойства элемента Slide Line	266
5.7.13. Свойства элемента Weld/Fastener	266
5.8. Создание узлов и элементов по одному	266
5.8.1. Создание узлов	266
5.8.2. Создание элементов	268
5.8.3. Создание элемента GAP	273
5.8.4. Создание и применение Rigid-элементов	275
5.8.5. Создание элемента Slide Line	288
5.8.6. Создание элемента соединения Weld/Fastener	291

Глава 6

Средства автоматизированного создания

сеток конечных элементов	298
6.1. Создание сеток на геометрических объектах	299
6.1.1. Команды управления параметрами сетки	299
6.1.2. Команды разбиения геометрической модели	314
6.2. Создание сеток без использования геометрии	322
6.2.1. Построение сетки в области между узлами	322
6.2.2. Построение сетки по заданным группам узлов	323
6.2.3. Построение связей между узлами модели	324
6.2.4. Создание сетки в произвольной области	327
6.3. Модификация сеток	328

6.3.1. Редактирование сетки	328
6.3.2. Переразбиение сетки	329
6.3.3. Очистка сетки	330
6.3.4. Редактирование параметров сетки на импортированной геометрии	331
6.3.5. Создание окантовок и ребер жесткости	331
6.3.6. Сглаживание сетки	333
6.4. Копирование сеток	333
6.5. Создание сеток выдавливанием, вращением и вытягиванием	334
6.5.1. Создание сеток выдавливанием	334
6.5.2. Создание сеток вращением	337
6.5.3. Создание сеток вытягиванием	337

Глава 7

Моделирование соединений	338
7.1. Автоматический поиск и создание соединений	340
7.2. Создание соединений на основе поверхностей контакта	341
7.3. Свойства соединения	342
7.4. Задание контактных сегментов	342
7.4.1. Выбор объектов, определяющих сегмент	344
7.5. Создание соединения или контактной пары	344
7.6. Создание объема жидкости	345
7.7. Создание сегментов болта	347
7.8. Создание сегментов ротора	347

Глава 8

Нагрузки и граничные условия	349
8.1. Типы нагрузок	350
8.2. Создание и активация варианта нагрузок	353
8.3. Объемные нагрузки	354
8.4. Узловые нагрузки	356
8.5. Элементные нагрузки	359
8.5.1. Связь между узловыми и элементными нагрузками	360

8.6. Нелинейные силы.....	362
8.7. Геометрические нагрузки	363
8.7.1. Нагрузки в точке	364
8.7.2. Нагрузки на кривой.....	364
8.7.3. Нагрузки на поверхности.....	366
8.7.4. Приведение геометрических нагрузок к узловым и элементным нагрузкам	367
8.8. Задание параметров нелинейного и динамического нагружения	367
8.8.1. Параметры нелинейного нагружения.....	368
8.8.2. Параметры динамического нагружения.....	372
8.9. Манипулирование нагрузками	381
8.9.1. Создание нового варианта копированием.....	381
8.9.2. Создание комбинаций нагрузок.....	381
8.9.3. Создание нагрузок из выходных данных	382
8.9.4. Преобразование нагрузок со свободного тела в нагрузки варианта нагружения	384
8.10. Граничные условия	385
8.10.1. Создание и активация варианта граничных условий.....	385
8.10.2. Узловые закрепления	385
8.10.3. Использование симметрии модели	387
8.10.4. Закрепления на геометрии	389
8.10.5. Приведение закреплений на геометрии к узловым закреплениям.....	391
8.10.6. Манипулирование закреплениями.....	391
8.10.7. Уравнения связи	391
8.10.8. Жесткие элементы на основе уравнений связи	392
8.10.9. Алгоритм наложения связей на перемещения узлов.....	393
8.10.10. Постоянные закрепления.....	395
8.11. Редактор данных на поверхностях – Data Surface Editor	395

Глава 9

Управление отображением модели

и результатов	403
9.1. Команда выбора вида	404
9.1.1. Отображение модели и выбор данных для отображения модели	405
9.1.2. Отображение результатов на модели	406
9.1.3. Отображение нагрузок на свободное тело	411
9.1.4. Вывод графиков результатов расчета и функциональных зависимостей модели	412
9.2. Команда задания опций изображения	415
9.3. Команда назначения видимости объектов.....	421
9.4. Структура выходных наборов данных	422
9.5. Манипулирование результатами	428
9.5.1. Создание и активация наборов и векторов результатов	428
9.5.2. Создание выходных данных и заполнение векторов результатов.....	430
8.5.3. Манипулирование данными векторов результатов	432
9.5.4. Обработка комплексных векторов	440

Глава 10

Структура входного файла программы

Nastran и параметры анализа	444
10.1. Структура входного файла программы Nastran.....	445
10.1.1. Секция управления выполнением задания	445
10.1.2. Секция управления расчетными случаями.....	446
10.1.3. Секция основных исходных данных.....	446
10.1.4. Параметры управления последовательностью решения	448
10.1.5. Запись символов, целых и вещественных чисел	449

10.1.6. Узлы	450
10.1.7. Системы координат	450
10.1.8. Элементы в NX Nastran	451
10.1.9. Задание свойств материалов	455
10.1.10. Статические нагрузки	456
10.1.11. Закрепления перемещений в отдельных узлах	457
10.1.12. Связь перемещений нескольких узлов	457
10.1.13. Параметры нелинейного расчета – карта NLPARM	457
10.2. Группы степеней свободы	459
10.2.1. Описание групп степеней свободы	459
10.2.2. Группы степеней свободы при динамической редукции	462
10.3. Подготовка параметров анализа – создание варианта анализа	463
10.3.1. Структура варианта анализа	465
10.3.2. Опции разделов варианта анализа	468
10.3.3. Параметры нелинейного анализа – подраздел Nonlinear Options	470
10.3.4. Параметры модального анализа – подраздел Modal/Buckling	472
10.3.5. Параметры динамического анализа – подраздел Dynamics	474

Глава 11

Задачи статики в линейной

постановке	477
11.1. Расчет пластины с отверстием	478
11.2. Анализ прямоугольного кессона	485
11.2.1. Создание расчетной модели кессона и решение статической задачи	486
11.2.2. Анализ результатов расчета прямоугольного кессона	492

11.3. Проблемы сочетания элементов Beam и Membrane	495
11.4. Моделирование конструкций из композиционных материалов	498
11.4.1. Двухосное растяжение пластины	498
11.4.2. Моделирование трехслойных оболочек – конструкций с заполнителем	503
11.4.3. Анализ цилиндрической оболочки из композита	506
11.5. Анализ распределения усилий в заклепочном шве	516
11.6. Расчет незакрепленных конструкций	518
11.6.1. Рекомендации по выбору кинематических степеней свободы	522
11.6.2. Корректность решения	522

Глава 12

Нелинейный статический анализ

конструкций	524
12.1. Решение задачи запрессовки цилиндра	525
12.1.1. Особенности моделирования	527
12.1.2. Анализ результатов	533
12.1.3. Моделирование контакта с помощью аппарата Connect	535
12.2. Анализ остаточных деформаций рессоры	536

Глава 13

Решение контактных задач 547 |

13.1. Решение задачи контакта трубы и втулки	548
13.1.1. Моделирование контакта элементами Slide Line	549
13.1.2. Анализ результатов по элементу Slide Line ..	556
13.1.3. Моделирование контакта средствами Connect	557
13.2. Анализ контакта в отверстии элементами GAP	561

Глава 14

Анализ устойчивости и несущей способности ... 564

- 14.1. Линейный анализ устойчивости..... 565
- 14.2. Расчет потери устойчивости цилиндрической
оболочки 572
 - 14.2.1. Создание расчетной модели и анализ
устойчивости по Эйлеру 573
 - 14.2.2. Анализ результатов расчета потери
устойчивости 575
- 14.3. Потеря устойчивости конструкций, работающих
на растяжение 578
- 14.4. Деформационный анализ устойчивости 581
- 14.5. Устойчивость цилиндрической оболочки 582
- 14.6. Анализ несущей способности стрингерной
панели 585
- 14.7. Анализ систем с прощелкиванием 590
 - 14.7.1. Анализ закритического поведения
пологой оболочки 592
- 14.8. Выполнение рестартов..... 596
 - 14.8.1. Использование рестартов в нелинейных
расчетах 598
 - 14.8.2. Анализ закритического поведения
конструкций с использованием рестарта 601

Глава 15

Фрагментация модели 604

- 15.1. Получение граничных условий для фрагмента
из анализа полной модели 608
- 15.2. Решение статических задач с использованием
подконструкций 614

Глава 16

Динамический анализ конструкций 618

- 16.1. Уравнения движения 619
 - 16.1.1. Система с одной степенью свободы 620
 - 16.1.2. Система со многими степенями свободы
и проблема собственных значений 626

16.2. Анализ собственных форм и частот	632
16.2.1. Вычисление собственных форм и частот квадратной пластины	633
16.2.2. Собственные формы и частоты преднапряженных конструкций.....	635
16.3. Анализ переходных процессов	637
16.3.1. Метод разложения по собственным формам	640
16.3.2. Метод прямого интегрирования	642
16.4. Частотный анализ отклика	645
16.4.1. Колебания консольной балки.....	645
16.4.2. Колебания идеализированного прямого крыла	650
16.5. Спектральный анализ.....	655
16.5.1. Генерация спектра отклика	659
16.5.2. Приложение спектра отклика.....	665
16.5.3. Анализ сейсмических воздействий	669
16.6. Применение подконструкций в задачах динамики. Прямой матричный ввод	674
16.6.1. Метод Релея–Ритца.....	675
16.6.2. Редукция по Гайану – метод статической конденсации	675
16.6.3. Покомпонентный синтез форм	677
16.6.4. Применение прямого матричного ввода	678

Глава 17

Нелинейный динамический анализ	683
17.1. Моделирование копровых испытаний рессорного шасси	684

Глава 18

Оптимизация конструкций	694
18.1. Общая формулировка проблемы оптимизации	696
18.2. Обзор оптимизационной модели.....	703
18.3. Создание оптимизационной модели в программе Femap	704
18.4. Оптимизация трехстержневой фермы	708

18.5. Проектирование оптимальной окантовки оконного выреза	711
18.6. Оптимизация стыка цилиндрической и сферической поверхностей оболочки	723

Глава 19

Анализ ошибок.....	732
19.1. Плохая обусловленность и вырожденность матрицы жесткости	733
19.2. Выявление механизмов и вырожденных степеней свободы в модели	738
19.3. Применение нелинейного вида анализа для получения более устойчивого результата	740
19.4. Диагностика ошибок в NX Nastran.....	742

Глава 20

Основы выполнения тепловых расчетов.....	749
20.1. Анализ прочности учетом температур	750
20.2. Модель для теплового расчета	751
20.2.1. Конечные элементы	752
20.2.2. Материалы	753
20.2.3. Нагрузки и граничные условия.....	753
20.2.4. Начальные условия	754
20.3. Пример выполнения теплового расчета	755
20.3.1. Стационарный тепловой расчет.....	755
20.3.2. Нестационарный тепловой расчет	757
20.4. Анализ прочности при действии тепловых нагрузок	760
20.4.1. Тепловой расчет оболочки	761
20.4.2. Статический расчет оболочки при температурном нагружении	764

Список литературы.....	766
-------------------------------	------------

Предметный указатель.....	768
----------------------------------	------------