Басов К. А.

ANSYS
Справочник пользователя

ДМК Пресс
издательство
Москва, 2005

УДК 004.4
ББК 32.973.26-018.2
Б27

Басов К. А.
Б27 ANSYS: справочник пользователя . – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с., ил.

ISBN 5-94074-108-8

В книге рассматривается применение комплекса метода конечных элементов (МКЭ) ANSYS. В книгу входят общее описание комплекса, сведения о графическом интерфейсе пользователя, типах применяемых конечных элементов, методах создания геометрической модели и сетки конечных элементов, а также примеры использования комплекса.

Описание материала соответствует версии комплекса ANSYS 9.0.

3D-модель тяжелого танка Т-35 выполнена К. А. Басовым.

УДК 004.4
ББК 32.973.26-018.2

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 5-94074-108-8

© Басов К. А., 2005
© Оформление ДМК Пресс, 2005

Содержание

Введение 11

Глава1
Основные сведения о комплексе ANSYS 15

1.1. Среда комплекса ANSYS 16
1.1.1. Организация комплекса 16
1.1.2. Модули комплекса 16
1.1.3. База данных комплекса 18
1.1.4. Сохранение базы данных 18
1.1.5. Восстановление содержимого базы данных 18
1.1.6. Очистка базы данных 19
1.1.7. Связь пользователя с комплексом 19
1.1.8. Аббревиатуры, или сокращения 21
1.1.9. Файлы макросов команд 22
1.2. Использование графического интерфейса пользователя (ANSYS GUI) 23
1.3. Графическое указание объектов 32
1.4. Использование протокола команд комплекса 35
1.5. Работа с файлами 36
1.6. Анимация 39

Глава 2
Описание конечных элементов комплекса ANSYS 43

2.1. Общие свойства элементов 44
2.1.1. Исходные данные элементов 44
2.1.2. Результаты расчета 46
2.1.2.1. Узловые результаты 47
2.1.2.2. Элементные результаты 47
2.1.2.3. Нагрузки, приложенные к поверхности 48
2.1.2.4. Результаты, вычисленные в центре тяжести 48
2.1.2.5. Результаты, вычисленные на поверхностях 49
2.1.2.6. Результаты, вычисленные в точках интегрирования 49
2.1.2.7. Элементные узловые результаты 49

2.1.2.8. Элементные узловые нагрузки 50
2.1.2.9. Нелинейные результаты 50
2.1.2.10. Результаты расчетов плоских осесимметричных моделей ... 50
2.2. Системы координат 51
2.2.1. Системы координат элементов 51
2.2.2. Элементы, использующие узловую систему координат 52
2.3. Свойства материалов 53
2.3.1. Линейные свойства материалов 52
2.3.2. Нелинейные свойства материалов 54
2.4. Узловые и элементные нагрузки 54
2.5. Элементы в форме треугольников, призм и тетраэдров 56
2.6. Элементы оболочек 58
2.7. Осесимметричные элементы 59
2.8. Осесимметричные элементы с неосесимметричными нагрузками 60
2.9. Геометрические нелинейности 61
2.10. Библиотека элементов 62
2.10.1. LINK1 – двумерный (2D) стержень (элемент фермы) 63
2.10.2. PLANE2 – двухмерный (2D) треугольный элемент объемного НДС с шестью узлами 65
2.10.3. BEAM3 – двухмерная упругая балка 68
2.10.4. BEAM4 – трехмерная упругая балка 71
2.10.5. COMBIN7 – элемент цилиндрического шарнира 76
2.10.6. LINK8 – трехмерный (3D) стержень (элемент фермы) 80
2.10.7. LINK10 – стержневой элемент, воспринимающий только растяжение или сжатие 82
2.10.8. LINK11 – линейный силовой привод 85
2.10.9. CONTAC12 – двухмерный контактный элемент типа точка с точкой 86
2.10.10. COMBIN14 – пружинный амортизатор (упругий демпфер) 91
2.10.11. PIPE16 – упругая прямая труба 93
2.10.12. PIPE17 – упругий тройник 98
2.10.13. PIPE18 – упругая искривленная труба (колено) 102
2.10.14. PIPE20 – прямая пластическая труба 105
2.10.15. MASS21 – сосредоточенная масса МДТТ 108
2.10.16. BEAM23 – двухмерная балка с возможностью пластического поведения 110
2.10.17. BEAM24 – трехмерная тонкостенная балка 113
2.10.18. PLANE25 – осесимметричный гармонический элемент МДТТ с четырьмя узлами 117

2.10.19. MATRIX27 – матрица жесткости, демпфирования или масс ... 121
2.10.20. SHELL28 – сдвиговая (закручиваемая) панель 123
2.10.21. COMBIN37 – контрольный элемент 125
2.10.22. COMBIN39 – нелинейный упругий элемент 129
2.10.23. COMBIN40 – комбинированный элемент 133
2.10.24. SHELL41 – мембрана 136
2.10.25. PLANE42 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС 140
2.10.26. SHELL43 – оболочка со свойствами пластичности с четырьмя узлами 143
2.10.27. BEAM44 – трехмерная скошенная несимметричная балка ... 146
2.10.28. SOLID45 – объемный (3D) элемент задач МДТТ 154
2.10.29. SOLID46 – трехмерный (3D) многослойный объемный элемент задач МДТТ с восемью узлами 158
2.10.30. MATRIX50 – суперэлемент (или подконструкция) 164
2.10.31. SHELL51 – осесимметричная оболочка 166
2.10.32. CONTAC52 – трехмерный контактный элемент типа точка с точкой 169
2.10.33. BEAM54 – двухмерная скошенная несимметричная балка ... 174
2.10.34. HYPER56 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС со смешанной u–P формулировкой с четырьмя узлами 178
2.10.35. HYPER58 – трехмерный (3D) элемент объемного НДС со смешанной u–P формулировкой с восемью узлами 181
2.10.36. PIPE59 – погруженная в воду труба или кабель 183
2.10.37. PIPE60 – изогнутая пластическая труба (колено) 191
2.10.38. SHELL61 – осесимметричная оболочка с возможностью приложения неосесимметричных нагрузок 194
2.10.39. SHELL63 – упругая оболочка 198
2.10.40. SOLID64 – трехмерный (3D) анизотропный элемент задач МДТТ 203
2.10.41. SOLID65 – трехмерный (3D) объемный элемент железобетона 205
2.10.42. HYPER74 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС со смешанной u–P формулировкой с четырьмя узлами 210
2.10.43. PLANE82 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС 212
2.10.44. PLANE83 – осесимметричный гармонический элемент МДТТ с четырьмя узлами 215
2.10.45. HYPER84 – двухмерный (2D) гиперупругий элемент объемного НДС 219
2.10.46. HYPER86 – двухмерный (2D) гиперупругий элемент объемного НДС 222
2.10.47. VISCO88 – двухмерный (2D) вязкоупругий элемент объемного НДС с восемью узлами 225
2.10.48. VISCO89 – трехмерный (3D) вязкоупругий элемент с двадцатью узлами 227
2.10.49. SHELL91 – нелинейная многослойная оболочка 229

2.10.50. SOLID92 – элемент объемных (3D) задач МДТТ с десятью узлами (тетраэдр) 234
2.10.51. SHELL93 – оболочка с восемью узлами 237
2.10.52. SOLID95 – объемный (3D) элемент задач МДТТ с двадцатью узлами 240
2.10.53. SHELL99 – линейная многослойная оболочка 244
2.10.54. VISCO106 – двухмерный (2D) вязкоупругий элемент объемного НДС с четырьмя узлами 252
2.10.55. VISCO107 – трехмерный (3D) вязкоупругий элемент объемного НДС с восемью узлами 254
2.10.56. VISCO108 – двухмерный (2D) вязкоупругий элемент объемного НДС с восемью узлами 256
2.10.57. SHELL143 – оболочка с четырьмя узлами, имеющая возможности учета пластического деформирования с малыми деформациями 258
2.10.58. PLANE145 – двухмерный четырехугольный p-элемент задач МДТТ 263
2.10.59. PLANE146 – двухмерный треугольный p-элемент задач МДТТ 265
2.10.60. SOLID147 – трехмерный p-элемент – гексаэдр задач МДТТ 266
2.10.61. SOLID148 – трехмерный четырехгранный (тетраэдр) p-элемент задач МДТТ 268
2.10.62. SHELL150 – p-элемент изгибной оболочки задач МДТТ с восемью узлами 270
2.10.63. SURF153 – двухмерный (2D) элемент поверхностных эффектов МДТТ 272
2.10.64. SURF154 – трехмерный (3D) элемент поверхностных эффектов МДТТ 275
2.10.65. HYPER158 – трехмерный (3D) элемент (тетраэдр) объемного НДС со смешанной u–P формулировкой с десятью узлами 279
2.10.66. TARGE169 – двухмерный ответный элемент 281
2.10.67. TARGE170 – трехмерный ответный элемент 285
2.10.68. CONTA171 – двухмерный контактный элемент типа поверхность с поверхностью с двумя узлами 291
2.10.69. CONTA172 – двухмерный контактный элемент типа поверхность с поверхностью с тремя узлами 297
2.10.70. CONTA173 – трехмерный контактный элемент типа поверхность с поверхностью с четырьмя узлами 303
2.10.71. CONTA174 – трехмерный контактный элемент типа поверхность с поверхностью с восемью узлами 309
2.10.72. CONTA175 – двухмерный или трехмерный (2D/3D) контактный элемент типа узел с поверхностью 315
2.10.73. CONTA178 – трехмерный контактный элемент типа узел с узлом 321
2.10.74. Конечный элемент предварительно нагруженного соединения PRETS179 331

2.10.75. LINK180 – трехмерный (3D) стержень (элемент фермы) 333
2.10.76. SHELL181 – многослойная оболочка с конечными деформациями 335
2.10.77. PLANE182 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС с четырьмя узлами 343
2.10.78. PLANE183 – двухмерный (2D) элемент объемного НДС с восемью узлами 348
2.10.79. MPC184 – элемент многоточечных связей: жесткая связь, жесткая балка, ползун, сферический шарнир, цилиндрический шарнир, шарнир Гука 351
2.10.80. SOLID185 – трехмерный (3D) элемент объемного НДС с восемью узлами 364
2.10.81. SOLID186 – трехмерный (3D) элемент объемного НДС с двадцатью узлами 368
2.10.82. SOLID187 – трехмерный (3D) элемент объемного НДС с десятью узлами в форме тетраэдра 371
2.10.83. BEAM188 – трехмерный линейный балочный элемент с конечными деформациями 374
2.10.84. BEAM189 – трехмерный линейный балочный элемент с конечными деформациями 383
2.10.85. SOLSH190 – трехмерный (3D) элемент объемной оболочки 388
2.10.86. SOLID191 – трехмерный (3D) многослойный объемный элемент задач МДТТ с двадцатью узлами 392
2.10.87. INTER192 – двухмерный (2D) элемент взаимодействия (уплотнения) с четырьмя узлами 397
2.10.88. INTER193 – двухмерный (2D) элемент взаимодействия (уплотнения) с шестью узлами 398
2.10.89. INTER194 – трехмерный (3D) элемент взаимодействия (уплотнения) с шестнадцатью узлами 400
2.10.90. INTER195 – трехмерный (3D) элемент взаимодействия (уплотнения) с восемью узлами 402
2.10.91. MESH200 – элемент грани в сетке 403
2.10.92. FOLLW201 – элемент следящей нагрузки 406
2.10.93. SHELL208 – осесимметричная оболочка с конечными деформациями, имеющая два узла 408
2.10.94. SHELL209 – осесимметричная оболочка с конечными деформациями, имеющая три узла 412

Глава 3
Создание геометрических и расчетных моделей 417

3.1. Обзор методов создания моделей 418
3.2. Постановка задачи 419

3.3. Системы координат 421
3.4. Создание геометрических моделей 426
3.4.1. Создание геометрической модели снизу вверх 427
3.4.1.1. Точки 427
3.4.1.2. Линии 431
3.4.1.3. Поверхности 434
3.4.1.4. Объемы 436
3.4.2. Создание геометрической модели сверху вниз, или примитивы 438
3.4.3. Формирование модели при помощи булевых операций 441
3.4.4. Перенос и копирование объектов геометрической модели 446
3.4.5. Масштабирование объектов геометрической модели 448
3.4.6. Вычисление массы и инерционных характеристик 449
3.5. Импорт геометрических моделей, созданных средствами CAD 450
3.5.1. Требования к программному обеспечению 450
3.5.2. Импорт файлов Parasolid 451
3.5.2.1. Размеры модели в формате Parasolid 452
3.5.2.2. Импорт сборок 452
3.5.2.3. Импорт файлов Parasolid при помощи меню комплекса ANSYS 452
3.5.2.4. Импорт файлов Parasolid при помощи команды ~PARAIN 454
3.5.3. Импорт файла SAT 455
3.5.3.1. Импорт файла SAT при помощи меню комплекса ANSYS 456
3.5.3.2. Импорт файла SAT при помощи команды ~SATIN 457
3.6. Импорт геометрических моделей посредством файлов стандарта IGES 458
3.7. Создание сети конечных элементов на основе геометрической модели 467
3.7.1. Порядок создания сетки КЭ на основе геометрической модели 467
3.7.2. Указание атрибутов элементов 468
3.8. Прямая генерация узлов и элементов 476
3.9. Объединение и архивирование моделей 481

Глава 4
Приложение нагрузок, проведение вычислений и операции с результатами 484

4.1. Основные сведения 486
4.1.1. Выполнение типовых расчетов в среде комплекса ANSYS 486

4.1.2. Интерфейс с моделью материала 492
4.1.3. Запись и редактирование данных материала 494
4.1.4. Использование файлов библиотек материалов 495
4.1.5. Создание геометрии модели 496
4.1.6. Приложение нагрузок и получение расчета 496
4.1.6.1. Указание типа расчета и опций расчета 496
4.1.6.2. Приложение нагрузок 497
4.1.6.3. Указание опций шага нагрузки 498
4.1.6.4. Вызов расчета 498
4.1.7. Просмотр результатов 499
4.2. Приложение нагрузок 499
4.2.1. Шаги нагрузки, промежуточные шаги и итерации решения 500
4.2.2. Сущность времени при приложении нагрузок 501
4.2.3. Приложение нагрузок 502
4.2.4. Указание опций шага нагрузки 510
4.3. Проведение расчета 515
4.3.1. Использование диалоговой панели Solution Controls (контроль решения) 519
4.3.2. Вызов вычислений 521
4.4. Обзор постпроцессоров 523
4.5. Общий, или основной, постпроцессор (POST1) 524
4.5.1. Просмотр результатов в модуле POST1 526
4.6. Постпроцессор просмотра результатов по времени (POST26) 530
4.6.1. Средства просмотра переменных, использующих историю нагружения 531
4.6.2. Вызов постпроцессора просмотра результатов по времени ... 533
4.6.3. Создание переменных 533
4.6.4. Обработка переменных для проведения расчета данных 534
4.6.5. Просмотр переменных 535

Глава 5
Расчет задач МДТТ 536

5.1. Обзор методов расчета задач механики деформируемого твердого тела (МДТТ, НДС) 538
5.2. Расчет статических задач МДТТ 539
5.3. Расчет форм и частот собственных колебаний 542
5.3.1. Расчет собственных колебаний для модели, не имеющей начальных напряжений 542
5.3.2. Расчет собственных колебаний для модели с начальными напряжениями 550

5.4. Расчет вынужденных колебаний 550
5.5. Расчет задач устойчивости 556
5.6. Расчет нелинейных задач МДТТ 561
5.6.1. Пластичность 565
5.6.2. Гиперупругость 567
5.6.3. Ползучесть 569
5.6.4. Сплавы с памятью формы 570
5.6.5. Вязкопластичность 570
5.6.6. Вязкоупругость 571
5.6.7. Выполнение нелинейного статического расчета 571
5.6.7.1. Создание модели 571
5.6.7.2. Назначение опций контроля решения 572
5.6.8. Использование нелинейных (изменяющих состояние) элементов 572
5.7. Контактные задачи 573
5.8. Расчет статического напряженно-деформированного состояния при помощи p-элементов 585
5.9. Расчет балочных конструкций 591

Глава 6
Примеры использования комплекса ANSYS 594

6.1. Создание модели балки 596
6.2. Изгиб консольной балки 611
6.3. Расчет форм и частот собственных колебаний консольной балки 619
6.4. Расчет вынужденных колебаний консольной балки 624
6.5. Расчет устойчивости продольно сжатой консольной балки 627

Заключение 634

Библиография 638