

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 ANSYS 9.0.

Книга предназначена для инженеров-конструкторов и инженеров-исследователей, занимающихся проектированием и расчетом машиностроительных конструкций, а также для студентов технических специальностей вузов.

3D-модель тяжелого танка Т-35, размещенная на обложке книги, выполнена автором.

Internet-магазин
www.abook.ru

Книга-почтой*
Россия, 123242,
Москва, а/я 20
e-mail: post@abook.ru
* Подробнее см. в конце книги

Оптовая продажа:
Альянс-книга
тел./факс: (095) 258-9195
e-mail: abook@abook.ru

ISBN 5-94074-108-8



9 785940 741084

ДМК
ИЗДАТЕЛЬСТВО

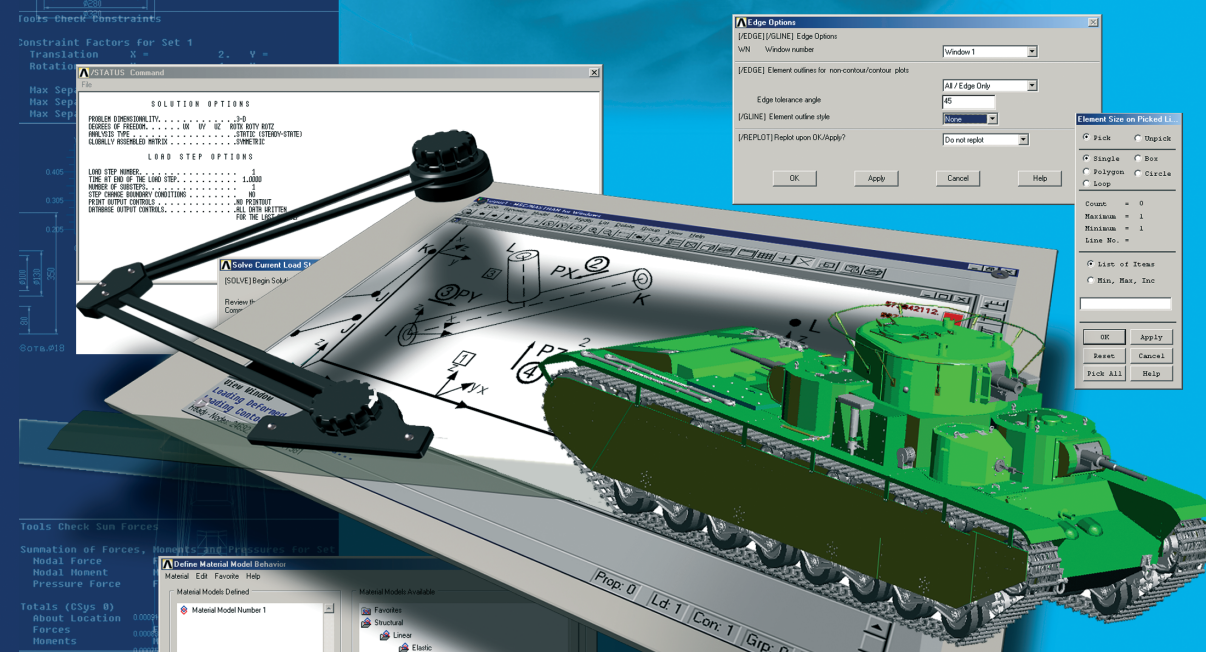
Басов К. А.
ANSYS
Справочник пользователя

ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Басов К. А.

ANSYS

Справочник пользователя



ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И
ПРОЧНОСТИ ОБЪЕКТОВ

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
РАБОТЫ КОНСТРУКЦИИ

МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ И СЕТКИ КОНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ

Для Windows 2000/XP

ДМК
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Басов К. А.

ANSYS

Справочник пользователя



Москва

УДК 004.4
ББК 32.973.26-018.2
 Б27

Басов К. А.

Б27 ANSYS: справочник пользователя . – М.: ДМК Пресс. – 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.
 © Оформление ДМК Пресс

Содержание

Введение	11
-----------------------	-----------

Глава 1

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

4 ANSYS. Справочник пользователя

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 (колесо)	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 (колесо)	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 р-элемент задач МДТТ	263
2.10.59. PLANE146 – двухмерный треугольный р-элемент задач МДТТ	265
2.10.60. SOLID147 – трехмерный р-элемент – гексаэдр задач МДТТ	266
2.10.61. SOLID148 – трехмерный четырехгранный (тетраэдр) р-элемент задач МДТТ	268
2.10.62. SHELL150 – р-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

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