Содержание

Введение 6

Глава 1. Основные возможности комплекса МКЭ ANSYS 7

Глава 2. Файлы комплекса МКЭ ANSYS 11

Глава 3. Библиотека конечных элементов 15

3.1. Элемент сосредоточенной массы 17
3.2. Стержневые элементы 17
3.3. Балочные элементы 18
3.4. Двухмерные элементы плоского деформированного, плоского напряженного и осесимметричного состояния 21
3.5. Объемные элементы 22
3.6. Элементы оболочек 23
3.7. Элементы трубопроводов 25
3.8. Контактные элементы 26

Глава 4. Графический интерфейс пользователя 29

Глава 5. Препроцессор. Указание типов элементов, геометрических характеристик, поперечных сечений элементов и свойств материала 39

Глава 6. Препроцессор. Создание геометрической модели снизу вверх 49

6.1. Создание точек 50
6.2. Создание линий 53
6.3. Создание поверхностей 57
6.4. Создание объемов 58

Глава 7. Препроцессор. Создание геометрической модели сверху вниз 61
7.1. Создание поверхностей 62
7.2. Создание объемов 68

Глава 8. Препроцессор. Создание геометрической модели. Копирование, масштабирование и иные операции создания геометрических объектов 77
8.1. Операции вытягивания и вращения объектов 78
8.2. Операции масштабирования объектов 82
8.3. Операции вычисления характеристик геометрических объектов 84
8.4. Операции переноса геометрических объектов 85
8.5. Операции копирования объектов 87
8.6. Операции зеркального отражения объектов 88
8.7. Операции проверки геометрических объектов 90
8.8. Операции удаления геометрических объектов 91

Глава 9. Препроцессор. Создание геометрической модели. Логические (Булевы) операции 93
9.1. Операции построения пересечения объектов 94
9.2. Операции объединения объектов 95
9.3. Операции вычитания объектов 95
9.4. Операции разделения объектов 97
9.5. Операции создания общих границ у смежных объектов 100
9.6. Операции создания объектов, имеющих общие границы, на основе частично перекрывавшихся объектов 100

Глава 10. Препроцессор. Импорт геометрических моделей 103
10.1. Импорт геометрических моделей в формате IGES и их дальнейшее использование 105

10.2. Импорт геометрических моделей в форматах ACIS и Parasolid 110

Глава 11. Препроцессор. Создание сетки конечных элементов 113

Глава 12. Препроцессор. Приложение нагрузок 129

12.1. Операции приложения, изменения и удаления нагрузок 131
12.1.1. Операции приложения нагрузок 135
12.1.2. Операции удаления нагрузок 144
12.1.3. Операции изменения нагрузок 147
12.2. Операции указания опций шага нагрузки 148

Глава 13. Использование активного набора 149

Глава 14. Системы координат и рабочая плоскость 159

Глава 15. Препроцессор. Дополнительные возможности 171

Глава 16. Модуль проведения вычислений 183

Глава 17. Общий постпроцессор POST1 203

Глава 18. Общий постпроцессор POST1. Дополнительные возможности 215

Глава 19. Постпроцессор обработки данных по времени POST26 231

Глава 20. Операции настройки изображения 235

Заключение 245

Библиография 246

Введение

Сложившаяся к настоящему времени практика обучения использования комплекса ANSYS для расчета задач механики деформируемого твердого тела (МДТТ) включает в себя следующие формы обучения:

- самостоятельное освоение комплекса;
- изучение комплекса при помощи специально приглашенного квалифицированного инструктора;
- изучение комплекса в виде учебного курса, читаемого студентам различных специальностей в ходе учебного процесса на различных кафедрах высших учебных заведений;
- изучение комплекса в учебных центрах, созданных при различных кафедрах высших учебных заведений;
- изучение комплекса в авторизованном учебном центре компании – дистрибьютора комплекса ANSYS.

Последняя форма обучения предполагает использование специальных учебных материалов, созданных компанией-разработчиком комплекса ANSYS, переведенных на русский язык опытными преподавателями.

Обучение в авторизованном учебном центре компании-дистрибьютора также гарантирует получение специального сертификата установленного образца.

На основе своего педагогического опыта автор данной книги может утверждать, что при обучении применению комплекса ANSYS инструктор (преподаватель кафедры) основное внимание обращает на освоение группой слушателей (или студентов) принципов использования комплекса, понимание правильной последовательности действий и созданию адекватных расчетных моделей (сеток конечных элементов). В то же время замечено, что достаточно часто лица, изучающие применение комплекса, неправильно используют имеющиеся средства Графического интерфейса пользователя или недостаточно ориентируются в нем.

Поэтому данная книга адресована прежде всего лицам, изучающим комплекс под руководством инструктора (преподавателя).

Книга написана на основе опыта преподавания на кафедре одного из московских технических университетов и с учетом опыта, накопленного учебным центром компании ЕМТ.

Книга может использоваться в качестве одного из учебных пособий, используемых при чтении учебного курса.

Автор выражает благодарность своим коллегам Г. В. Мельниковой, Б. С. Блиннику, В. В. Голованову, В. К. Куевде, Ю. А. Ножницкому и Б. Ф. Шорру, за помощь при создании данной книги.

Автор выражает благодарность Генеральному директору компании ЕМТ В. Д. Локтеву и менеджеру В. С. Савушкину за предоставленную возможность использования свежей лицензионной версии комплекса ANSYS.

Автор также выражает благодарность д.т.н., профессору А. Н. Петухову и д.т.н., профессору В. Г. Попову за предоставленную возможность проведения учебного курса в том виде, в котором он был задуман автором.

Глава 1

Основные возможности комплекса МКЭ ANSYS

Комплекс МКЭ ANSYS предназначен для расчета задач механики деформируемого твердого тела (МДТТ), температурных задач, задач механики жидкости и газа, а также расчета электромагнитных полей. Кроме того, комплекс обладает возможностью расчета связанных задач, в которых результаты расчета для одной среды (например, поля температур) могут быть использованы в качестве исходных нагрузок для расчета других сред (например, для вычисления распределения напряжений в нагретой детали).

Применительно к механике деформируемого твердого тела (МДТТ) комплекс ANSYS позволяет решать следующие задачи:

- линейные и нелинейные статические задачи (нелинейности могут быть геометрические и физические);
- задачи расчета собственных форм и частот колебаний;
- задачи расчета вынужденных колебаний;
- задачи определения собственных форм потери устойчивости;
- задачи исследования динамических переходных процессов (в том числе ударного взаимодействия);
- спектральные задачи.

Кроме того, комплекс ANSYS позволяет проводить оптимизацию конструкций, допускает применение суперэлементов (подконструкций), и имеет целый ряд дополнительных возможностей. К таким возможностям относятся следующие:

- уточненный расчет НДС в локальных зонах;
- построение адаптивных сеток;
- расчет циклически симметричных конструкций;
- расчет задач механики разрушения;
- определение характеристик выносливости;
- применение p-элементов.

Для выполнения различных этапов создания сетки конечных элементов и проведения расчетов комплекс разделен на ряд модулей. Модули имеют свои названия и выполняют следующие функции:

- препроцессор PREP7 – предназначен для создания геометрической и расчетной моделей и приложения нагрузок;
- модуль проведения вычислений SOLUTION – предназначен для указания опций расчета и проведения вычислений;
- постпроцессор POST1 – предназначен для просмотра результатов для определенного шага нагрузки на полной модели;
- постпроцессор POST26 – предназначен для просмотра результатов в определенном узле и (или) элементе для полной последовательности шагов нагрузки;
- модуль импорта геометрической информации AUX15 – предназначен для импорта файлов, содержащих геометрическую информацию, созданных иными комплексами (например, средствами CAD).

Помимо перечисленных, имеются и иные модули, имеющие свое назначение.

Комплекс ANSYS позволяет создавать непосредственно сетку конечных элементов (то есть узлы и элементы), а также геометрическую модель, на основе которой далее создается сетка конечных элементов.

Геометрическая модель или ранее созданная сетка также могут импортироваться в среду комплекса ANSYS из внешних файлов.

В связи с развитием и широким распространением средств CAD импорт ранее созданных файлов представляется наиболее удобным вариантом создания расчетных моделей, который может применяться в инженерной практике.

Общепринятая последовательность расчета конструкции в среде комплекса МКЭ ANSYS сводится к следующим шагам:

- Импорт или создание геометрической модели;
- Выбор применяемых типов конечных элементов, указание данных материалов, размеров и формы поперечных сечений, а также геометрических характеристик (толщины и прочих характерных размеров оболочек и иных элементов);
- Создание сетки конечных элементов;
- Приложение нагрузок (в комплексе ANSYS нагрузки могут прикладываться и к объектам геометрической модели, и к объектам расчетной модели);
- Указание опций проведения расчета и вывода расчетных данных;
- Проведение собственно расчета;
- Ознакомление с результатами.

В последующих главах приведено описание наиболее часто применяемых файлов, конечных элементов и средств Графического интерфейса пользователя комплекса ANSYS, используемых при расчете на прочность машиностроительных конструкций.

Глава 2

Файлы комплекса МКЭ ANSYS

Любой программный комплекс при работе создает временные и постоянные файлы. Разумеется, такие файлы создаются и комплексом ANSYS.

Временные файлы отличаются от постоянных тем, что при нормальном выходе из комплекса временные файлы удаляются автоматически. При аварийном выходе из комплекса временные файлы сохраняются, и некоторые из них следует удалять самому пользователю. К таким файлам относится, например, блокирующий файл *.lock, не позволяющий вызывать в одной и той же рабочей директории два задания с одним и тем же именем.

В состав постоянных файлов, создаваемых и применяемых при работе комплекса ANSYS, входят следующие (см. табл. 2.1):

Таблица 2.1. Постоянные файлы комплекса ANSYS

Расширение	Тип файла	Описание
DB	Двоичный	Файл базы данных
DBB	Двоичный	Резервный файл базы данных
ELEM	Текстовый	Файл данных элементов (создается для записи информации об элементах, непосредственно в расчете не используется)
EMAT	Двоичный	Матрицы элементов
ERR	Текстовый	Файл сообщений о предупреждениях и ошибках
ESAV	Двоичный	Данные элементов, применяемые при выполнении нелинейных расчетов
FULL	Двоичный	Глобальные матрицы жесткости и масс
IGES	Текстовый	Файл с данными геометрической модели
LOG	Текстовый	Файл протокола
MP	Текстовый	Файл с данными материалов (непосредственно в расчете не используется)
NODE	Текстовый	Файл с координатами узлов (создается для записи информации об узлах, непосредственно в расчете не используется)
OUT	Текстовый	Выходной текстовый файл комплекса ANSYS
RST	Двоичный	Файл результатов расчета задач МДТТ
SNN	Текстовый	Файл шага нагрузок, применяется при последовательном приложении к модели нескольких, различающихся между собой, наборов нагрузок
TRI	Двоичный	Матрица жесткости, приведенная к треугольному виду

В таблице 2.1 перечислены наиболее часто используемые файлы. Полный список файлов можно найти в официальной документации.

Название файла (Jobname), как правило, является общим для всех временных и постоянных файлов и указывается при вызове сеанса работы с комплексом ANSYS в специальной панели Launcher.

Файл базы данных (*.DB) содержит всю информацию о геометрической и расчетной моделях, нагрузки, и иные данные. В общем случае, в него можно записать и результаты расчета, но в этом случае размер файла может оказаться весьма значительным.

Резервный файл базы данных (*.DBB) является предыдущей сохраненной версией файла базы данных.

Файл *.OUT, содержащий значения перемещений, реакций и прочих расчетных объектов, в общем случае, дублирует файл результатов RST, но, благодаря своему текстовому формату, может использоваться для выполнения дополнительных операций.

Файлы *.NODE, *.ELEM и *.MP обеспечивают возможность передачи координат узлов, элементов и свойств материалов в другие комплексы.

Файл протокола (*.LOG) содержит последовательность записей обо всех вызывавшихся в ходе сеанса работы с комплексом ANSYS командах. При необходимости, данный текстовый файл может быть изменен и использован в качестве командного файла для создания и проведения расчета новой модели.

Помимо файла протокола в базе данных комплекса имеется свой протокол, который также может быть сохранен в текстовом виде и в дальнейшем использован для проведения расчетов.

Глава 3

Библиотека конечных элементов

3.1. Элемент сосредоточенной массы 17
3.2. Стержневые элементы 17
3.3. Балочные элементы 18
3.4. Двухмерные элементы плоского деформированного, плоского напряженного и осесимметричного состояния 21
3.5. Объемные элементы 22
3.6. Элементы оболочек 23
3.7. Элементы трубопроводов 25
3.8. Контактные элементы 26

Библиотека конечных элементов комплекса МКЭ ANSYS содержит свыше 170 типов конечных элементов, из которых 94 могут применяться при расчете задач МДТТ (и еще 9 входят в состав модуля LS–DYNA).

В состав совокупности элементов, применяемых при расчете задач МДТТ (механики деформируемого твердого тела), входят следующие группы элементов:

- сосредоточенная масса MASS21;
- стержень двухмерных (2D) задач LINK1;
- стержни трехмерных (3D) задач LINK8, LINK10, LINK11, LINK180;
- балки двухмерных (2D) задач BEAM3, BEAM23, BEAM54;
- балки трехмерных (3D) задач BEAM4, BEAM24, BEAM44, BEAM188, BEAM189;
- двухмерные (2D) элементы, поддерживающие плоское напряженное, плоское деформированное и осесимметричное состояние PLANE2, PLANE25, PLANE42, PLANE82, PLANE83, PLANE145, PLANE146, PLANE182, PLANE183;
- трехмерные (3D) объемные элементы SOLID45, SOLID64, SOLID65, SOLID92, SOLID95, SOLID147, SOLID148, SOLID185, SOLID186, SOLID187;
- двухмерные (2D) оболочки SHELL51, SHELL61, SHELL208, SHELL209;
- трехмерные (3D) оболочки SHELL28, SHELL41, SHELL43, SHELL63, SHELL93, SHELL143, SHELL150, SHELL181;
- трехмерная (3D) оболочка с узлами, расположенными на внешних ее поверхностях (то есть имеющая форму объемного элемента) SOLSH190;
- элементы трубопроводов PIPE16, PIPE17, PIPE18, PIPE20, PIPE59, PIPE60;
- элементы газовых уплотнений, двухмерные (2D) и трехмерные (3D), INTER192, INTER193, INTER194, INTER195;
- элемент многоточечных связей (шарнир, ползун и т.д.) MPC184;
- многослойные элементы (применяемые для расчета композитных конструкций) SOLID46, SHELL91, SHELL99, SOLID191;
- элементы расчета задач гиперупругости HYPER56, HYPER58, HYPER74, HYPER84, HYPER86, HYPER158;
- элементы расчета задач вязкоупругости VISCO88, VISCO89, VISCO106, VISCO107, VISCO108;
- контактные элементы CONTAC12, CONTAC52, TARGE169, TARGE170, CONTA171, CONTA172, CONTA173, CONTA174, CONTA175, CONTA178;
- комбинированные элементы (шарниры, упругие демпферы, предварительно нагруженные соединения и пр.) COMBIN7, COMBIN14, COMBIN37, COMBIN39, COMBIN40, PRETS179;
- элемент с матрицей жесткости, непосредственно указываемой пользователем, MATRIX27;
- суперэлемент (подконструкция) MATRIX50;
- элементы поверхностных эффектов SURF153, SURF154;

- элемент следящей нагрузки FOLLW201;
- вспомогательный элемент, не имеющий жесткости, MESH200.

Ниже кратко описаны отдельные типы конечных элементов комплекса ANSYS.

3.1. Элемент сосредоточенной массы

Конечный элемент сосредоточенной массы MASS21 имеет 1 узел. Этот элемент имеет 6 степеней свободы: перемещения в направлении осей X, Y и Z узловой системы координат и повороты вокруг этих осей. При помощи признака KEYOPT(3) ненужные степени свободы можно удалить.

Для элемента можно указывать массу и момент инерции. При использовании особой опции для элемента можно указывать объем, но, в этом случае, для элемента требуется указывать еще и плотность материала.

Элемент может использоваться в задачах с большими перемещениями. Элемент поддерживает операции рождения и смерти.

При визуализации на экране элемент отображается особыми символами – прямоугольником при изображении элементов с учетом их геометрических характеристик и поперечным сечением или звездочкой при изображении элементов без учета геометрических характеристик.

Вид элемента в первом варианте отображения показан на рис. 3.1.

При создании расчетной модели (сетки конечных элементов) на основе ранее созданной геометрической модели данные элементы создаются в точках (объектах типа keypoint).

3.2. Стержневые элементы

Как указывалось выше, для двухмерных (2D) и трехмерных (3D) задач применяются отдельные типы конечных элементов стержней.

В обоих случаях элементы стержней воспринимают только растяжение-сжатие, и не воспринимают кручение и изгиб. Элементы имеют 2 узла и по 2 (в двухмерных (2D) задачах) или по 3 (в трехмерных (3D) задачах) степени свободы – перемещения в направлении осей X, Y и Z узловой системы координат.

Как правило, для каждого элемента стержня указываются площадь поперечного сечения и начальная деформация (последнее не является обязательным). Основными применяемыми типами стержней являются LINK1, LINK8 и LINK180. Для последнего элемента дополнительно можно указывать добавочную массу (но не указывается начальная деформация).

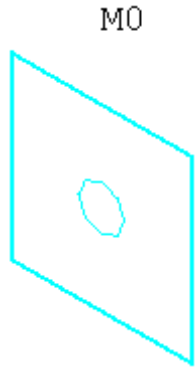

Рис. 3.1. *Изображение элемента MASS21 на экране*

Элемент LINK10 может воспринимать (в зависимости от указанных для него опций) только растяжение

или только сжатие, то есть может использоваться для расчета тросов, вант и растяжек, или отдельных видов пружин.

Элемент LINK11 применяется для моделирования гидроцилиндров.

Для элементов LINK1, LINK8, LINK10 и LINK180 обязательно следует указывать модуль Юнга, а также коэффициент температурного расширения, плотность и коэффициент демпфирования (при необходимости).

При визуализации на экране элемент отображается параллелепипедом при изображении элементов с учетом их геометрических характеристик и поперечного сечения или линией при изображении элементов без учета геометрических характеристик. Поперечное сечение этого параллелепипеда зависит от значения площади сечения.

Вид элемента в первом варианте отображения показан на рис. 3.2.

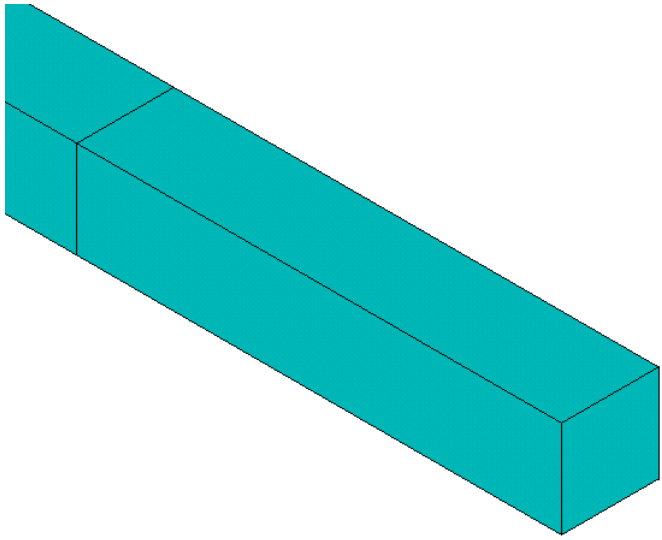

Рис. 3.2. *Изображение элемента LINK180 на экране*

Элементы LINK1, LINK8 и LINK180 могут использоваться в расчете задач пластичности, ползучести, задач с большими перемещениями, а также поддерживают операции рождения и смерти.

При создании расчетной модели на основе ранее созданной геометрической модели стержневые элементы создаются на основе линий (объектов типа line).

3.3. Балочные элементы

Балки являются элементами с одной осью, поддерживающими свойства растяжения-сжатия, изгиба и кручения. Две балки (BEAM188 и BEAM189) поддерживают стесненное кручение. Балки имеют два (BEAM3, BEAM23, BEAM54), три

(BEAM4, BEAM24, BEAM44, BEAM188) или четыре (BEAM189) узла. Для балок, применяемых для расчета трехмерных (3D) задач один из узлов является ориентационным и предназначен для указания направления системы координат элемента.

Практически все балочные элементы (BEAM3, BEAM23, BEAM54, BEAM4, BEAM24, BEAM44 и BEAM188) имеют по 2 узла на оси. Элемент BEAM189 имеет три узла на оси и может использоваться для расчета балок с искривленной осью.

При расчете трехмерных (3D) задач балочные элементы могут применяться для моделирования естественно закрученных балок.

Балочные элементы BEAM3, BEAM4, BEAM23, BEAM24, BEAM44 и BEAM54 построены на основе технической теории балок (балка Бернулли-Эйлера). Балочные элементы BEAM188 и BEAM189 являются балками Тимошенко.

В каждом узле балки имеют от трех до 7 степеней свободы:

- перемещения UX, UY и ROTZ (то есть 2 осевых перемещения и поворот) в двухмерных (2D) задачах для элементов BEAM3, BEAM23, BEAM54;
- перемещения UX, UY, UZ, ROTX, ROTY и ROTZ (3 осевых перемещения и 3 поворота) в трехмерных (3D) задачах для элементов BEAM4, BEAM24, BEAM44;
- перемещения UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ и WARP (последнее – перемещение стесненного кручения) для элементов BEAM188 и BEAM189.

Для различных типов балочных элементов процедуры указания свойств поперечного сечения существенно различаются. Для части балок размеры и форма поперечного сечения указываются через геометрические характеристики, которые включают в себя высоту и ширину, площадь поперечного сечения и различные моменты инерции. Эти значения следует определять отдельно путем дополнительных вычислений или по справочникам. В то же время для части элементов размеры и форма поперечного сечения (BEAM44, BEAM188, BEAM189) указываются посредством упрощенной процедуры использования поперечных сечений, в состав которых входят формы наиболее распространенных сортаментов проката. Пользователю остается только подставить при помощи специальных диалоговых панелей нужные ему размеры. Вычисление всех остальных данных проводится автоматически.

Элемент BEAM3 является балкой произвольного поперечного сечения.

Элемент BEAM4 является балкой произвольного поперечного сечения.

Элемент BEAM23 может иметь поперечное сечение прямоугольное, цилиндрическое, полое цилиндрическое и произвольного вида. Данный элемент имеет возможность учета пластического поведения материала.

Элемент BEAM24 является тонкостенной балкой, для которой допускается поперечное сечение открытого профиля или замкнутого односвязного профиля. При указании геометрических свойств поперечного сечения элемента это поперечное сечение делится на отдельные сегменты, для каждого из которых указываются точки начала и конца и толщина сегмента. Данный элемент имеет возможность учета пластического поведения материала.

Элемент BEAM44 является скошенной балкой, то есть допускает указание различных свойств поперечного сечения в каждом узле.

Элемент BEAM54 является скошенной балкой, то есть допускает указание различных свойств поперечного сечения в каждом узле.

Элементы BEAM188 и BEAM189 могут применяться в задачах, учитывающих пластичность, ползучесть, вязкоупругость и вязкопластичность, а также при наличии больших деформаций и больших перемещений.

При визуализации на экране без учета геометрических характеристик или поперечных сечений балочные элементы отображаются в виде линий. При учете геометрических характеристик (и отсутствии поперечных сечений) балочные элементы отображаются в виде габаритных параллелепипедов. При наличии поперечного сечения балочные элементы отображаются достаточно реалистично (см. рис. 3.3).

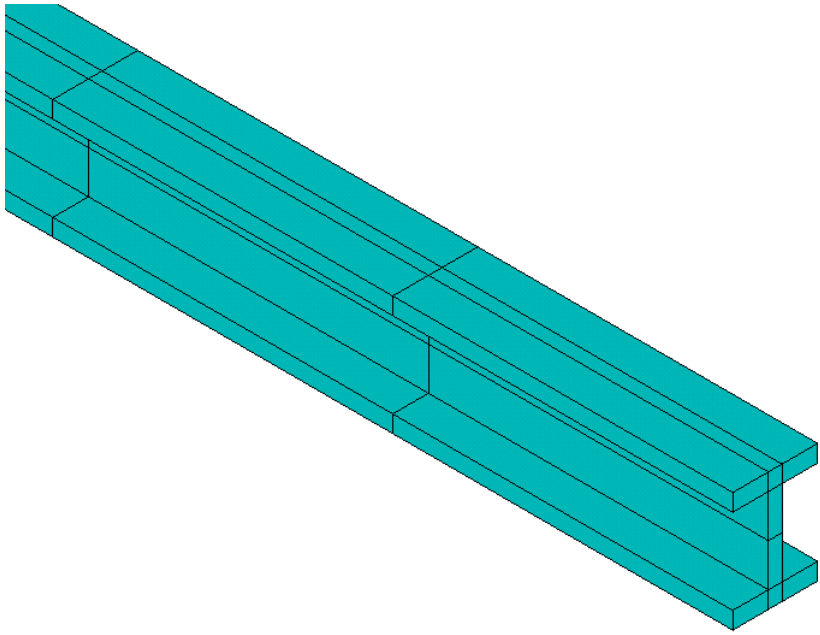

Рис. 3.3. *Изображение элемента BEAM188 на экране*

Для балочных элементов обязательно следует указывать модуль Юнга, а также коэффициент температурного расширения, плотность и коэффициент демпфирования (при необходимости). В ряде случаев следует указывать коэффициент Пуассона.

При создании расчетной модели на основе ранее созданной геометрической модели стержневые элементы создаются на основе линий (объектов типа line).

3.4. Двухмерные элементы плоского деформированного, плоского напряженного и осесимметричного состояния

К двухмерным (2D) элементам, поддерживающим плоское напряженное, плоское деформированное и осесимметричное состояния, относятся элементы PLANE2, PLANE25, PLANE42, PLANE82, PLANE83, PLANE145, PLANE146, PLANE182, PLANE183.

Данные элементы могут иметь треугольную или четырехугольную форму, и являться элементами I или II порядков (то есть иметь линейную или квадратичную аппроксимацию поля перемещений).

Элементы создаются в плоскости XY глобальной декартовой системы координат. Элементы применяются для двухмерного (2D) моделирования объемных (3D) тел.

В большинстве случаев, в каждом узле элементов имеется по 2 степени свободы – перемещения UX и UY в направлении осей узловой системы координат.

В состав данных элементов включаются также гармонические элементы (то есть элементы, применяемые для расчета осесимметричных моделей при наличии неосесимметричных нагрузок), к которым относятся элементы PLANE25 и PLANE83. Гармонические элементы имеют по 3 степени свободы в узле – перемещения UX, UY и UZ в направлении осей узловой системы координат.

Кроме того, элементы PLANE145 и PLANE146 являются p-элементами, и имеют расширенные возможности аппроксимации поля перемещений и напряжений, благодаря чему могут применяться для получения достаточно точных решений на относительно грубых сетках.

Несмотря на различие форм элементов, они имеют множество общих черт. В частности, подавляющее число таких элементов (PLANE2, PLANE42, PLANE82, PLANE145, PLANE146, PLANE182, PLANE183), в зависимости от признаков KEYOPT, могут применяться для расчета задач с плоским деформированным состоянием, с плоским напряженным состоянием, с плоским напряженным состоянием с указанием толщины, а также осесимметричных.

Как правило, данные элементы (за исключением PLANE25, PLANE83, PLANE145 и PLANE146) могут применяться в задачах, учитывающих пластичность, ползучесть, а также при наличии больших деформаций и больших перемещений.

Указание геометрических характеристик для данных элементов не требуется, за исключением применения опции расчета задач плоского напряженного состояния с указанием толщины, когда эта толщина необходима.

При визуализации элементов на экране использование геометрических характеристик не требуется. Вид сетки, построенной из элементов PLANE82, показан на рис. 3.4.

Элементы могут использовать анизотропные материалы. Для элементов обязательно следует указывать модуль Юнга и коэффициент Пуассона, а также ко-

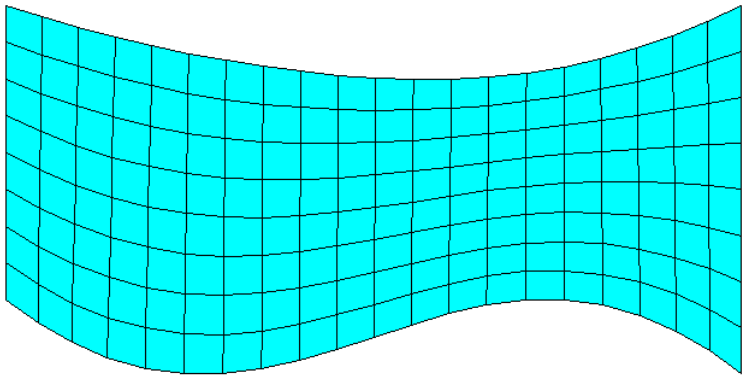

Рис. 3.4. *Вид сетки, построенной из элементов PLANE82*

эффициент температурного расширения, плотность и коэффициент демпфирования (при необходимости).

При создании расчетной модели на основе ранее созданной геометрической модели элементы описываемых типов создаются на основе поверхностей (объектов типа area).

3.5. Объемные элементы

Объемные элементы (SOLID45, SOLID64, SOLID65, SOLID92, SOLID95, SOLID147, SOLID148, SOLID185, SOLID186, SOLID187) предназначены для расчета объемных тел произвольной формы, к которым прикладываются произвольно ориентированные в пространстве нагрузки.

Элементы могут иметь форму гексаэдра или тетраэдра. В особых случаях элементы – гексаэдры могут также иметь форму трехгранной призмы или пирамиды с четырехугольным основанием. Элементы могут иметь линейную или квадратичную аппроксимацию поля перемещений.

Элементы имеют по 3 степени свободы в каждом узле – перемещения в направлении осей X, Y и Z узловой системы координат.

Большинство элементов не требуют обязательного указания геометрических характеристик, хотя таковые и могут использоваться в ряде случаев. Исключением является элемент SOLID65 (элемент железобетонных конструкций), для которого требуется указание номера материала, объема и ориентации арматуры.

Элементы SOLID147 и SOLID148 являются p-элементами.

При создании нерегулярной сетки на основе геометрических моделей сложной формы предпочтительнее использовать элементы-тетраэдры, а не элементы-гексаэдры.

В большинстве случаев, объемные элементы обладают свойствами учета пластичности, ползучести и больших перемещений, а в ряде случаев, и больших деформаций.

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине «Электронный универс»
(e-Univers.ru)