

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА

В.П. Пересыпкин

**«Интерфейс и конечные элементы системы  
MSC.Nastran for Windows»**

Учебное пособие

Для дисциплин: «Применение ЭВМ в задачах механики»,  
«Информационные технологии в механике»

Рецензенты: зам.нач.отдела ЦСКБ Широков В.А.

доц.,к.т.н. Петровичев М.А.

2002

# Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1 КОМАНДЫ ГЛАВНОГО МЕНЮ</b>	<b>5</b>
1.1 РАЗДЕЛ FILE (РАБОТА С ФАЙЛАМИ)	6
1.2 РАЗДЕЛ TOOLS (ИНСТРУМЕНТАРИЙ)	8
1.3 РАЗДЕЛ GEOMETRY (ГЕОМЕТРИЯ)	10
1.4 РАЗДЕЛ MODEL (МОДЕЛЬ)	17
1.5 РАЗДЕЛ MESH (ГЕНЕРАЦИЯ)	20
1.6 РАЗДЕЛ MODIFY (МОДИФИКАЦИЯ)	23
1.7 РАЗДЕЛ LIST (СПИСОК)	29
1.8 РАЗДЕЛ DELETE (УДАЛЕНИЕ)	31
1.9 РАЗДЕЛ GROUP (ГРУППИРОВАНИЕ)	33
1.10 РАЗДЕЛ VIEW (ВИД)	39
1.11 РАЗДЕЛ HELP (СПРАВКА)	41
<b>2 КОМАНДЫ НЕДОСТУПНЫЕ ИЗ МЕНЮ</b>	<b>42</b>
<b>3 КОМАНДЫ МНЕМОНИЧЕСКОГО МЕНЮ</b>	<b>42</b>
<b>4 КОМАНДЫ МЕНЮ БЫСТРОГО ДОСТУПА</b>	<b>44</b>
<b>5 БИБЛИОТЕКА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ MSC/NASTRAN FOR WINDOWS</b>	<b>45</b>
5.1 ОДНОМЕРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	45
Элемент трубы типа TUBE	46
Криволинейный элемент трубы типа CURVED TUBE	46
Балочный элемент типа BAR	47
Балочный элемент типа BEAM	48
Элемент криволинейной балки типа CURVED BEAM	49
Упругий элемент типа SPRING	50
Упругий элемент типа DOF SPRING	51
Контактный элемент типа GAP	51
Графический элемент типа PLOT ONLY	52
Контактный элемент типа SLIDE LINE	52
5.2 ПЛОСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ	52
Элемент SHEAR PANEL (сдвиговая панель)	54
Мембранный элемент типа MEMBRANE	54
Изгибный элемент типа BENDING	54
Универсальный оболочечный элемент типа PLATE	55
Слоистый элемент типа LAMINATE	55
Плоскодеформируемый элемент типа PLANE STRAIN	56
5.3 ОБЪЕМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	57
Осесимметричный элемент	57
Объемный элемент типа SOLID	58
5.4 ДРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ	60
Элемент типа MASS	60
Элемент типа MASS MATRIX	60
Жесткий элемент типа RIGID	60
Элемент типа STIFFNESS MATRIX	61

Данное пособие - справочник предназначено для студентов, изучающих дисциплины «Применение ЭВМ в задачах механики» и «Информационные технологии в механике».

В пособии на русском языке приведены команды и комментарии к ним главного меню программной конечно-элементной системы MSC.NASTRAN, с помощью которых осуществляется допуск пользователя в среду моделирования и расчетов конструкций.

Предполагается, что студенты знакомы с интерфейсными элементами и приемами работы в операционных системах Windows 95 и Windows NT

## **ВВЕДЕНИЕ**

Основным инструментом современных компьютерных технологий проектирования конструкций являются программные системы конечно-элементного анализа.

Наиболее распространенным программным продуктом в мировой аэро-космической отрасли является конечно-элементная система MSC.NASTRAN.

MSC.NASTRAN (Nasa STRuctural ANalysis) – анализ конструкций национального комитета США по аэронавтике и космическим исследованиям - разрабатывается компанией MacNeal-Schwendler Software – MCS Corporation с 1965 года.

MSC.NASTRAN предоставляет многочисленные возможности для разработки адекватных моделей разнообразных конструкций. Обеспечивает выполнение необходимых для принятия обоснованных проектных решений расчетов: линейного и нелинейного прочностного анализа, исследований на устойчивость, динамического частотного температурного анализа. Есть мощные средства оптимизации конструкций.

Освоение этого высокоинтеллектуального продукта в России сдерживается практическим отсутствием справочников, инструкций по работе с системой на русском языке, в терминах, принятых в России.

Данное пособие содержит обзор основных команд меню MSC.NASTRAN for Windows, краткое описание их назначения, состав библиотеки конечных элементов, методические материалы по конечно-элементному моделированию различных конструкций и их анализу.

## 1 Команды главного меню

Обзор команд главного меню оформлен в виде таблицы.

Заголовок таблицы (одновременно глава пособия) содержит название команд главного меню: **File, Tools, Geometry, Model, Mesh, Modify, List, Delete, Group, View, Help.**

В первом столбце таблицы расположены команды выпадающего меню.

Во втором столбце расположены команды подменю. Значок >> означает, что команда имеет подменю. Многоточие после названия команд означает, что в результате исполнения соответствующей команды на экране появится диалоговое окно.

Третий столбец содержит краткое изложение функций команды.

## 1.1 Раздел File (работа с файлами)

Загрузка, сохранение, экспорт, импорт и печать моделей, запись и выполнение программ.

<b>New</b>		Создание новой модели и работа с ней.
<b>Open...</b>		Загрузка существующей модели и работа с ней.
<b>Save</b>		Сохранение текущей модели.
<b>Save As...</b>		Сохранение текущей модели под новым именем.
<b>Timed Save...</b>		Автоматическое сохранение модели через заданные промежутки времени.
<b>Import</b>	>>	Импорт данных из других CAD-программ.
	<b>Geometry...</b>	Импорт геометрической модели.
	<b>Analysis Model...</b>	Импорт конечно-элементной модели.
	<b>Analysis Results...</b>	Импорт результатов конечно-элементного расчета.
	<b>FEMAP Neutral...</b>	Импорт данных в формате FEMAP Neutral.
<b>Export</b>	>>	Экспорт данных в другие CAD-программы.
	<b>Geometry...</b>	Экспорт геометрической модели.
	<b>Analysis Model...</b>	Экспорт конечно-элементной модели.
	<b>FEMAP Neutral...</b>	Экспорт данных в формате FEMAP Neutral.
<b>Analyze...</b>		Выполнение анализа текущей модели.
<b>Page Setup...</b>		Оформление страницы для вывода рисунков.
<b>Print...</b>		Вывод на принтер или графопостроитель.
<b>Printer Setup...</b>		Выбор принтера и его настройка.
<b>Picture</b>	>>	Копирование или сохранение рисунков.
	<b>Cop<u>y</u></b>	Копирование активного окна в ячейку обмена информацией (clipboard).
	<b>S<u>a</u>ve</b>	Запись активного окна в графический файл.
	<b>Save Desktop</b>	Запись всего экрана в графический файл.
	<b>Replay</b>	Отображение на экране графического файла.
<b>Messages</b>	»	Копирование или сохранение выбранных сообщений.

	<b>Copy</b>	Копирование сообщений в ячейку обмена информацией (clipboard).
	<b>Save</b>	Запись сообщений в файл.
<b>Program</b>	>>	Работа с программами.
	<b>Run...</b>	Запуск файла с программой.
	<b>Record...</b>	Включение записи программы (действий пользователя) в файл.
	<b>Edit script</b>	Редактирование и создание файла с использованием MSC/N4W BASIC Script Editor.
	<b>Run script</b>	Запуск BASIC Script файла.
<b>Rebuild...</b>		Перестройка базы данных для минимизации ее размеров и исключения ошибок.
<b>Preferences...</b>		Настройка интерфейса и параметров MSC/N4W.
<b>Exit</b>		Возврат в среду Windows.

## 1.2 Раздел Tools (инструментарий)

Управление параметрами рабочей плоскости, курсора, модели;  
команды **UNDO** и **REDO**

<b>Undo</b>		Отмена последней выполненной команды.
<b>Redo</b>		Отмена последней команды Undo.
<b>Workplane</b>		Определение места и ориентации двумерной рабочей плоскости.
<b>Advanced Geometry</b>		Расширение возможностей геометрического моделирования средствами Parasolid и ACIS.
<b>Cursor Position</b>		Включение/выключение окна с указанием текущих координат графического курсора.
<b>Toolbox</b>		Включение/выключение графической панели, дублирующей главное меню.
<b>Parameters</b>		Изменение значений, принимающихся по умолчанию для идентификаторов, приращений, цвета и т.д.
<b>Convent Units</b>		Преобразование единиц измерения.
<b>Variables</b>		Определение уравнений и переменных.
<b>Layers</b>		Определение и редактирование слоев.
<b>Text</b>		Список текстов.
<b>Distance</b>		Измерение расстояния между двумя указанными позициями.
<b>Angles</b>		Измерение угла между тремя позициями.
<b>Mass Properties</b>	>>	Расчет массы, центров тяжести и инерции.
	<b>Measure Curves</b>	Определение длины указанной кривой.
	<b>Surface Area</b>	Определение площадей выбранных поверхностей.
	<b>Solid Properties</b>	Определение объема, центра тяжести, моментов инерции, площади поверхности выбранного тела.
	<b>Mesh Properties</b>	Определение масс, центра тяжести и инерции выбранных элементов.
<b>Section Properties</b>	>>	Вычисление характеристик сечений.
	<b>Surface Properties</b>	Характеристики сечения, определяемого поверхностью.
	<b>Mesh Properties</b>	Характеристики сечения, определяемого

<b>Check</b>	>>	набором элементов, лежащих на поверхности. Проверка объектов на совпадение, объединение совпадающих объектов.
<b>Coincident Points...</b>		Поиск совпадающих точек, объединение точек.
<b>Coincident Curves...</b>		Поиск совпадающих кривых, объединение совпадающих кривых.
<b>Coincident Nodes...</b>		Поиск совпадающих узлов, объединение совпадающих узлов.
<b>Planar...</b>		Поиск узлов, совпадающих с плоскостью, перемещение узлов в плоскость.
<b>Coincident Elem...</b>		Поиск совпадающих элементов, объединение совпадающих элементов.
<b>Distortion...</b>		Контроль формы элементов.
<b>Normals...</b>		Визуализация нормалей для плоских элементов.
<b>Constraints...</b>		Проверка закреплений модели.
<b>Coincident Loads...</b>		Проверка совпадающих нагрузок.
<b>Sum Forces...</b>		Вычисление равнодействующих нагрузок.

### 1.3 Раздел Geometry (геометрия)

Построение геометрической модели.

<b>Point</b>		Формирование точки.
<b>Cuve-Line</b>	>>	Формирование линии.
<b>Project Points</b>		Прямая линия в рабочей плоскости между проекциями двух точек на эту плоскость.
<b>Horizontal</b>		Прямая линия вдоль оси X рабочей плоскости.
<b>Vertical</b>		Прямая линия вдоль оси Y рабочей плоскости.
<b>Perpendicular</b>		Прямая линия в рабочей плоскости, перпендикулярная к указанной кривой.
<b>Parallel</b>		Прямая линия в рабочей плоскости, параллельная указанной прямой.
<b>Midline</b>		Прямая линия в рабочей плоскости, равноудаленная от двух указанных линий.
<b>At Angle</b>		Прямая линия под заданным углом к оси X рабочей плоскости.
<b>Angle, to Curve</b>		Прямая линия в рабочей плоскости под заданным углом к выбранной кривой.
<b>Point and Tangent</b>		Прямая линия в рабочей плоскости, касательная к кривой и проходящая через заданную точку.
<b>Tangent</b>		Прямая линия в рабочей плоскости, касательная к двум заданным кривым.
<b>Rectangle...</b>		Построение на рабочей плоскости четырех отрезков прямых, образующих прямоугольник.
<b>Continuous</b>		Построение незамкнутых и замкнутых ломаных кривых на основе отрезков прямых линий.
<b>Points</b>		Прямая линия между двумя существующими точками.
<b>Coordinates</b>		Формирование прямой линии с указанием координат ее краев.
<b>Offset</b>		Прямая линия, смещенная в направлении заданного вектора на указанное расстояние от выбранной прямой линии.
<b>Vectored</b>		Прямая линия вдоль заданного вектора.

<b>Circle Arc</b>	>>	Формирование дуги.
	<b>Center-Start-End</b>	Дуга кривой в рабочей плоскости, определяемая центром, а также начальной и конечной точками.
	<b>Radius-Start-End</b>	Дуга кривой в рабочей плоскости, определяемая начальной и конечной точками и радиусом.
	<b>Angle-Start-End</b>	Дуга кривой в рабочей плоскости, определяемая углом, а также начальной и конечной точками.
	<b>Angje-Center-Start</b>	Дуга кривой в рабочей плоскости, определяемая центром, углом и начальной точкой.
	<b>Chord-Center-Start</b>	Дуга кривой в рабочей плоскости, определяемая центром, начальной точкой и длиной хорды.
	<b>Points</b>	Дуга кривой, определяемая тремя точками.
	<b>Center and Points</b>	Дуга кривой, определяемая центром и двумя конечными точками.
	<b>Start-End-Direction</b>	Дуга кривой, определяемая двумя конечными точками и начальным касательным вектором.
<b>Curve – circle</b>	>>	Формирование окружности.
	<b>Radius</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая центром и точкой на окружности.
	<b>Diameter</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая двумя точками по краям диаметра.
	<b>Center</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая центром и заданным радиусом.
	<b>Two Points</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая двумя точками и радиусом.
	<b>Point-Tangent</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая центром и являющаяся касательной к указанной кривой.
	<b>Tangent to Curves</b>	Окружность в рабочей плоскости, определяемая радиусом и являющаяся касательной к двум указанным кривым.
	<b>Concentric</b>	Окружность в рабочей плоскости, концентрическая относительно другой

		окружности или дуги.
	<b>Point to Arc</b>	Окружность, определяемая тремя точками.
	<b>Center and Points</b>	Окружность, определяемая центром и двумя точками.
<b>Curve -Spline</b>	>>	Формирование сплайна.
	<b>Project Control Points</b>	Сплайн в рабочей плоскости, определяемый управляющими точками (control points).
	<b>Project Points</b>	Сплайн в рабочей плоскости, проходящий через заданные точки.
	<b>Ellipse</b>	Формирование эллипса на основе сплайна.
	<b>Parabola</b>	Формирование параболы.
	<b>Hyperbola</b>	Формирование гиперболы.
	<b>Control Points</b>	Пространственный сплайн, определяемый управляющими точками (control points).
	<b>Points</b>	Пространственный сплайн, определяемый точками, через которые он проходит (thru points).
	<b>Eguation</b>	Сплайн, определяемый коэффициентами параметрического уравнения.
	<b>Tangents</b>	Сплайн, определяемый конечными точками и касательными векторами к ним.
	<b>Blend</b>	Сплайн, формирующий плавный переход между двумя указанными кривыми.
	<b>Midspline</b>	Сплайн, равноотстоящий от двух заданных кривых.
	<b>Offset</b>	Сплайн, эквидистантный другому сплайну.
	<b>Multiple Curves</b>	Непрерывный сплайн вместо цепочки отдельных кривых.
<b>Curves from Surfaces</b>	>>	Кривая на поверхности.
	<b>Update Surfaces</b>	Переключатель.
	<b>Intersect...</b>	Линия пересечения двух поверхностей.
	<b>Project...</b>	Проектирование кривой на поверхность SOLID.
	<b>Project Along Vector...</b>	Проектирование кривой на поверхность SOLID вдоль заданного вектора.
	<b>Parametric Curve...</b>	Линия на поверхности по заданному параметру.
	<b>Slice...</b>	Кривая, образованная плоским сечением поверхности SOLID.
<b>Sketch...</b>		Автоматическое создание граничной

		поверхности.
<b>Boundary Surface...</b>		Ручное создание граничной поверхности.
<b>Surface</b>	>>	Формирование поверхности.
	<b>Edge Curves</b>	Поверхность, определяемая тремя или четырьмя ограничивающими ее кривыми.
	<b>Aligned Curves</b>	Поверхность, определяемая четырьмя кривыми, установленными в одном и том же параметрическом направлении.
	<b>Sector</b>	Плоская поверхность вращения, определяемая дугой или окружностью.
	<b>Ruled</b>	Поверхность, определяемая двумя ограничивающими кривыми (остальные две ограничивающие кривые формируются автоматически на основе линейной интерполяции).
	<b>Extrude</b>	Поверхность, определяемая движением ("выдавливанием") одной или нескольких кривых в направлении заданного вектора.
	<b>Revolve</b>	Поверхность, определяемая вращением одной или нескольких кривых вокруг заданного вектора.
	<b>Sweep</b>	Поверхность, определяемая движением одной или нескольких кривых вдоль заданного пути, который также может быть представлен одной или несколькими кривыми.
	<b>Plane</b>	Плоская прямоугольная поверхность.
	<b>Cylinder</b>	Цилиндрическая или коническая поверхность (полная или сектор).
	<b>Sphere</b>	Сферическая поверхность (полная или сектор).
	<b>Offset...</b>	Создание новой поверхности, смещенной относительно существующей.
<b>Midsurface</b>	>>	Организация поверхностей из SOLID - геометрии.
	<b>Single in Solid...</b>	Создание поверхности между двумя поверхностями SOLID.
	<b>Single...</b>	Создание поверхности между двумя поверхностями.
	<b>Trim to Solid...</b>	Обрезка поверхности по пересечению с SOLID.
	<b>Trim with Curve...</b>	Обрезка поверхности по кривой.

	<b><u>A</u>utomatic...</b>	Автоматическое создание пересечения и зачистка поверхности в одном шаге.
	<b><u>G</u>enerate...</b>	Автоматическое создание всех возможных средних поверхностей между выбранными поверхностями.
	<b><u>I</u>ntersect</b>	Автоматическое пересечение/расчленение всех заданных поверхностей.
	<b><u>C</u>leanup</b>	Контроль несвязанных поверхностей.
	<b>Assign <u>M</u>esh Attributes...</b>	Назначение толщины срединной поверхности по толщине образовавшего ее SOLID.
<b>Volume</b>	>>	Формирование объемного тела.
	<b><u>C</u>orner</b>	Объемное тело, определяемое координатами углов.
	<b><u>S</u>urfaces</b>	Объемное тело, определяемое ограничивающими поверхностями.
	<b><u>B</u>etween</b>	Объемное тело между двумя поверхностями.
	<b><u>E</u>xtrude</b>	Объемное тело, определяемое движением ("выдавливанием") одной или нескольких поверхностей в направлении заданного вектора.
	<b><u>R</u>evolve</b>	Объемное тело, определяемое вращением одной или нескольких поверхностей вокруг заданного вектора.
	<b><u>C</u>ylinder</b>	Цилиндрическое или коническое объемные тела (полное или сектор).
	<b><u>S</u>phere</b>	Сферическое объемное тело (полное или сектор).
<b>Solid</b>	>>	Построение SOLID -модели.
	<b><u>A</u>ctivate</b>	Активация SOLID для работы с ним.
	<b><u>A</u>dd/<u>R</u>emove <u>M</u>aterial</b>	Установка режимов следующих разделов меню.
	<b><u>E</u>xtrude...</b>	Образование нового SOLID выдавливанием границы или поверхности по направлению вектора.
	<b><u>R</u>evolve...</b>	Образование нового SOLID выдавливанием границы или поверхности вращением вокруг оси.
	<b><u>P</u>rimitives...</b>	Образование или модификация SOLID посредством примитивов.
	<b><u>S</u>titch...</b>	«Сшивание» SOLID из нескольких поверхностей.
	<b><u>E</u>xplode...</b>	Создание независимых поверхностей из SOLID.
	<b><u>F</u>illet...</b>	Скругление ребер SOLID.
	<b><u>C</u>hamber...</b>	Образование фасок по ребрам SOLID.
	<b><u>S</u>hell...</b>	«Выдалбливание» SOLID до превращения его в оболочку заданной толщины.

	<b><u>A</u>dd...</b>	Новый SOLID как объединение нескольких пересекающихся SOLID (сложение).
	<b><u>R</u>emove...</b>	Модификация SOLID вычитанием из него другого SOLID.
	<b><u>C</u>ommon...</b>	Новый SOLID как результат пересечения заданных SOLID.
	<b><u>E</u>mbed...</b>	Из «базового» и «внедряемого» SOLID создаются два новых: 1 - пересечение исходных, 2 - остаток базового.
	<b><u>S</u>lice...</b>	Рассечение SOLID плоскостью на два отдельных.
	<b>Slice Match...</b>	Соединение двух SOLID с совпадающей гранью.
	<b>Slice Along Face...</b>	Как в предыдущем пункте, но вместо грани задается поверхность одного из SOLID.
	<b><u>E</u>mber <u>F</u>ace...</b>	Образование нового SOLID вдавливанием грани существующего SOLID внутрь его самого.
	<b><u>C</u>leanup...</b>	«Очистка» SOLID.
<b>Copy</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Дублирование геометрии со смещением в направлении заданного вектора.
	<b><u>P</u>oint</b>	Копирование точек.
	<b><u>C</u>urve</b>	Копирование кривых и принадлежащих им точек.
	<b><u>S</u>urface</b>	Копирование поверхностей и принадлежащих им геометрических примитивов (кривые, точки).
	<b><u>V</u>olume</b>	Копирование объемов и принадлежащих им геометрических примитивов (поверхности, кривые, точки).
	<b><u>S</u>olid</b>	Копирование SOLID и принадлежащих им геометрических примитивов (поверхности, кривые, точки).
<b>Radial Copy</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Дублирование геометрии со смещением в заданном радиальном направлении.
	<b><u>P</u>oint</b>	Дублирование точек.
	<b><u>C</u>urve</b>	Дублирование кривых и принадлежащих им точек.
	<b><u>S</u>urface</b>	Дублирование поверхностей и принадлежащих им геометрических примитивов (кривые, точки).
	<b><u>V</u>olume</b>	Дублирование объемов и принадлежащих им геометрических примитивов (поверхности, кривые, точки).
<b>Scale</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Дублирование геометрии с масштабированием относительно начала координат.
	<b><u>P</u>oint</b>	Масштабирование точек.
	<b><u>C</u>urve</b>	Масштабирование кривых.

	<b>Surface</b>	Масштабирование поверхностей.
	<b>Volume</b>	Масштабирование объемных тел.
	<b>Solid</b>	Масштабирование SOLID.
<b>Rotate</b>	>>	Дублирование геометрии поворотом вокруг заданного вектора.
	<b>Point</b>	Поворот точек.
	<b>Curve</b>	Поворот кривых.
	<b>Surface</b>	Поворот поверхностей.
	<b>Volume</b>	Поворот объемных тел.
	<b>Solid</b>	Поворот SOLID.
<b>Reflect</b>	>>	Дублирование геометрии посредством отражения относительно заданной плоскости.
	<b>Point</b>	Отражение точек.
	<b>Curve</b>	Отражение кривых.
	<b>Surface</b>	Отражение поверхностей.
	<b>Volume</b>	Отражение объемных тел.
	<b>Solid</b>	Отражение SOLID.

## 1.4 Раздел Model (Модель)

Формирование свойств конечно-элементной модели, назначение свойств материалов и конечных элементов, нагрузок и закреплений, выбор локальных систем координат.

<b>Coord Sys...</b>		Выбор или создание системы координат.
<b><u>N</u>ode...</b>		Задание узлов.
<b><u>E</u>lement...</b>		Задание элементов.
<b><u>M</u>aterial...</b>		Создание материалов.
<b><u>P</u>roperty...</b>		Задание свойств элементов.
<b><u>L</u>oad</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Задание нагрузок конечно-элементной модели.
	<b>Set...</b>	Создание или активизация варианта нагрузок, изменение его заголовка.
	<b>Body...</b>	Гравитационное, центробежное и общее температурное нагружения, принимаемые по умолчанию.
	<b>Nodal...</b>	Узловые силы, перемещения, ускорения и температуры.
	<b>Nodal on Face...</b>	Узловые нагрузки для узлов, лежащих на выбранных гранях выбранных элементов.
	<b><u>E</u>lemental...</b>	Давление и температуры на элементах.
	<b><u>N</u>onlinear Force...</b>	Задание нелинейных нагрузок для Nonlinear и Nonlinear Transient Analyzes.
	<b><u>O</u>n Point...</b>	Нагрузки, приложенные к точке.
	<b><u>O</u>n Curve...</b>	Нагрузки, приложенные к кривой.
	<b><u>O</u>n Surface...</b>	Нагрузки, приложенные к поверхности.
	<b><u>E</u>xpand...</b>	Визуализация узловых и элементных нагрузок, изначально приложенных к геометрическим объектам.
	<b><u>N</u>onlinear Analysis...</b>	Задание информации для нелинейного расчета.
	<b><u>D</u>ynamic Analysis...</b>	Задание информации для динамического расчета.
	<b><u>H</u>eat Transfer...</b>	Задание информации для теплового расчета.
	<b><u>C</u>opy...</b>	Копирование активного варианта нагружения.
	<b><u>C</u>ombine...</b>	Комбинирование нескольких вариантов нагружения.
	<b><u>F</u>rom <u>O</u>utput...</b>	Преобразование результатов предыдущего

		расчета в нагрузки.
	<b>From Freebody...</b>	Добавление в модель нагрузок в виде реакций, действующих в закреплениях объекта расчета.
<b>Constraint ...</b>	>>	Закрепление конечно-элементной модели (граничные условия).
	<b>Set...</b>	Создание или активизация варианта закрепления, изменение его заголовка.
	<b>Nodal</b>	Ограничение степеней свободы в узлах.
	<b>Nodal on Face...</b>	Узловые закрепления для узлов, лежащих на выбранных гранях выбранных элементов.
	<b>Equation...</b>	Описание граничных условий с помощью уравнения.
	<b>On Point...</b>	Закрепления в точке.
	<b>On Curve...</b>	Закрепления по кривой.
	<b>On Surface...</b>	Закрепления поверхности.
	<b>Expand...</b>	Визуализация узловых закреплений, изначально приложенных к геометрическим объектам.
	<b>Copy...</b>	Копирование активного варианта закрепления.
	<b>Combine...</b>	Комбинирование нескольких вариантов закреплений.
<b>Contact</b>	>>	Для систем: ABAQUS, LS-DYNA3D и MARC. Не поддерживается MSC/N4W v4.0.
	<b>Segment/Surface...</b>	Не поддерживается MSC/N4W v4.0.
	<b>Contact Property...</b>	Не поддерживается MSC/N4W v4.0.
	<b>Contact Pair...</b>	Не поддерживается MSC/N4W v4.0.
<b>Optimization...</b>		Задачи оптимизации.
<b>Function...</b>		Задание временных и температурных зависимостей.
<b>Output</b>	>>	Формирование наборов выходных данных (результатов расчета) и работа с ними.
	<b>Set...</b>	Создание, активизация или изменение заголовка варианта результатов расчета.
	<b>Vector...</b>	Создание, активизация или изменение заголовка вектора, входящего в состав варианта результатов расчета.
	<b>Define...</b>	Определение величины выходных данных в активном векторе для отдельных узлов или элементов.
	<b>Fill...</b>	Определение выходных данных в активном

- векторе на основе уравнения (возможен групповой выбор узлов или элементов).
- Conyert...** Преобразование результатов расчета в узлах модели в результаты расчета в элементах и наоборот.
- Copy...** Копирование результатов расчета.
- Linear...** Определение нового варианта результатов расчета в виде линейной комбинации других результатов.
- Calculate...** Определение нового варианта результатов расчета на основе уравнения.
- Envelope...** Построение огибающей результатов расчета из нескольких случаев нагружения.
- Error Estimate...** Оценка погрешности в результатах расчета.
- From Load...** Преобразование нагрузок в выходные данные для дальнейшей обработки их с помощью постпроцессора.
- Transform...** Перевод результатов расчета из глобальной системы координат в любые другие существующие системы.
- Extrapolate...** Линейная экстраполяция результатов, полученных в центрах тяжести оболочечных и объемных элементов, для угловых узлов этих элементов.
- Convert Complex...** Преобразование амплитудно-фазовых пар значений в комплексные числа и обратно при расчете частотного отклика.
- Expand Complex** Преобразование результатов, получаемых в виде амплитудно-частотных пар, в реальные данные для расчетов частотного отклика.

## 1.5 Раздел Mesh (генерация)

Формирование конечно-элементной сетки

<b>Mesh Control</b>	>>	Управление генерацией сеток.
<b>Default Size...</b>		Установка размеров элементов по умолчанию.
<b>Size At Point...</b>		Задание размеров элементов вдоль кривой, для которой указанная точка является конечной точкой.
<b>Size Along Curve...</b>		Задание размеров элементов вдоль кривой.
<b>Size On Surface...</b>		Задание размеров элементов вдоль всех кривых, ассоциированных с поверхностью.
<b>Size On Solid...</b>		Задание размеров элементов вдоль всех поверхностей, ассоциированных с SOLID.
<b>Interactive...</b>		Модификация размеров элементов вдоль кривых в интерактивном режиме.
<b>Custom Size Along Curve...</b>		Задание размеров элементов вдоль кривой по желанию пользователя.
<b>Mapped Divisions on Surface...</b>		Задание размеров элементов на трех- или четырех сторонних поверхностях.
<b>Mesh Points on Surface...</b>		Задание точек, в которых при генерации сетки на поверхности нужно поставить узлы.
<b>Attributes at Point...</b>		Задание атрибутов (свойств) «точечных» элементов для одной или нескольких точек.
<b>Attributes Along Curve...</b>		Задание атрибутов (свойств) «одномерных» элементов для одной или нескольких кривых.
<b>Attributes on Surface...</b>		Задание атрибутов (свойств) «двумерных» элементов для одной или нескольких поверхностей.
<b>Attributes on Volume...</b>		Задание атрибутов (свойств) «трехмерных» элементов для одного или нескольких объемов.
<b>Attributes on Solid...</b>		Задание атрибутов (свойств) «трехмерных» элементов для одного или нескольких объемов SOLID.
<b>Approach on Surface...</b>		Задание типа сеток на поверхности вместо типов по умолчанию.
<b>Feature Suppression...</b>		«Подавление деталей». Позволяет при генерации сетки игнорировать

		слишком мелкие геометрические объекты.
<b><u>G</u>eometry</b>	>>	Генерация сеток на геометрических объектах.
	<b><u>P</u>oint...</b>	Генерация узлов или элементов с узлами в выбранных точках геометрической модели.
	<b><u>C</u>urve...</b>	Генерация узлов и одномерных элементов на кривых.
	<b><u>S</u>urface...</b>	Генерация узлов и двумерных элементов на поверхностях.
	<b><u>H</u>exMesh Solid...</b>	Генерация шестигранных элементов на SOLID.
	<b><u>V</u>olume...</b>	Генерация узлов и трехмерных элементов на поверхностях.
	<b><u>S</u>olids...</b>	Генерация четырехгранных элементов на SOLID.
	<b><u>S</u>olids from <u>S</u>urfaces...</b>	Генерация четырехгранных элементов на замкнутом объеме, ограниченном поверхностями.
	<b><u>S</u>olids from <u>E</u>lements...</b>	Генерация объемных элементов на замкнутом объеме, ограниченном поверхностными элементами.
<b><u>B</u>etween...</b>		Генерация сетки узлов и элементов на поверхности или объеме, заданном угловыми точками.
<b><u>R</u>egion...</b>		Генерация сетки узлов и элементов на линейчатой области между двумя рядами узлов.
<b><u>C</u>onnection</b>	>>	Автоматическое объединение двух множеств узлов либо уравнениями связи, либо жесткими или линейными элементами.
	<b><u>C</u>losest <u>L</u>ink...</b>	Автоматическое объединение ближайших узлов двух множеств.
	<b><u>M</u>ultiple...</b>	Попарное объединение узлов двух множеств.
	<b><u>U</u>nzip...</b>	Разъединение сетки с автоматическим одновременным созданием связей между разъединенными частями сетки.
	<b><u>C</u>oincident <u>L</u>ink...</b>	Создание связей между совпадающими узлами.
<b><u>T</u>ransition</b>		Генерация сетки узлов и элементов на многоугольной области, заданной угловыми точками.
<b>...</b>		
<b><u>R</u>emesh</b>	>>	Модификация сетки.
	<b><u>R</u>efine...</b>	Измельчение сетки.
	<b><u>U</u>ppdate...</b>	Обновление сетки.
	<b><u>U</u>nrefine...</b>	Укрупнение сетки.
	<b><u>C</u>leanup <u>S</u>livers...</b>	Улучшение сетки удалением слишком мелких

		элементов.
<b>Edge Removal...</b>		Удаление элементов с короткими гранями (ребрами).
<b>Build Remeshing Regions...</b>		Эти команды предназначены для
<b>Edit Remeshing Regions...</b>		создания конечно-элементных сеток,
<b>Mesh Remeshing Regions...</b>		удовлетворяющих требованиям, на моделях, импортированных из STL - файлов.
<b>Edge members...</b>		Создание ребер жесткости на свободных краях элементов: балочных, двумерных и оболочечных, трехмерных.
<b>Smooth...</b>		Сглаживание сетки.
<b>Copy</b>	>>	Копирование объектов модели.
	<b>Node...</b>	Копирование узлов с заданным смещением.
	<b>Element...</b>	Копирование элементов с заданным смещением.
<b>Radial Copy</b>	>>	Копирование объектов модели с радиальным смещением.
	<b>Node...</b>	Копирование узлов с радиальным смещением.
	<b>Element...</b>	Копирование элементов с радиальным смещением.
<b>Scale</b>	>>	Копирование объектов модели с масштабированием.
	<b>Node...</b>	Копирование узлов модели с масштабированием.
	<b>Element...</b>	Копирование элементов с масштабированием.
<b>Rotate</b>	>>	Копирование объектов модели с поворотом.
	<b>Node...</b>	Копирование узлов с поворотом.
	<b>Element...</b>	Копирование элементов с поворотом.
<b>Reflect</b>	>>	Копирование объектов модели отражением.
	<b>Node...</b>	Копирование узлов отражением.
	<b>Element...</b>	Копирование элементов отражением.
<b>Extrude</b>	>>	Выдавливание элементов из элементов, меньшей на единицу размерности, вдоль выбранного направления.
	<b>Curve...</b>	Выдавливание двумерных элементов из одномерных элементов, расположенных на кривой.
	<b>Element...</b>	Выдавливание двумерных или трехмерных элементов из набора одномерных или двумерных элементов.
<b>Revolve</b>	>>	Выдавливание элементов из элементов, меньшей на единицу размерности, вращением.
	<b>Curve...</b>	Выдавливание вращением двумерных элементов из одномерных элементов, расположенных на кривой.
	<b>Element...</b>	Выдавливание двумерных или трехмерных элементов из набора одномерных или двумерных элементов вращением.

## 1.6 Раздел *Modify* (модификация)

Модификация (редактирование) существующей геометрической и конечно-элементной модели.

<b><u>T</u>rim...</b>		Удаление частей кривых с использованием отсекающих кривых (подгонка выступающей кривой до точки пересечения с указанной кривой).
	<b>Extend...</b>	Продление одной или более кривых до указанного места.
	<b>Break</b>	Разбиение кривых на две части в указанном месте.
	<b>Join</b>	Продление кривых до точки их пересечения.
	<b>Fillet</b>	Соединение кривых дугой окружности (округление).
	<b>Chamfer</b>	Построение фасок.
<b>Project</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Проецирование геометрических точек и узлов конечно-элементной сетки на кривую или поверхность.
	<b>Point onto Curve</b>	Проецирование с перемещением точек на указанную кривую.
	<b>Node onto Curve</b>	Проецирование с перемещением узлов на указанную кривую.
	<b>Point onto Surface</b>	Проецирование с перемещением точек на указанную поверхность.
	<b>Node onto Surface</b>	Проецирование с перемещением узлов на указанную поверхность.
<b>Move To</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Перемещение части модели в указанную позицию.
	<b><u>P</u>oint...</b>	Перемещение точек в указанное место.
	<b>Coord Sys</b>	Перемещение систем координат в указанное место.
	<b>Node</b>	Перемещение узлов в указанное место.
<b>Move By</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Перемещение части модели вдоль заданного вектора.
	<b>Point</b>	Перемещение точек вдоль заданного вектора.
	<b>Curve</b>	Перемещение кривых вдоль заданного вектора.
	<b>Surface</b>	Перемещение поверхностей вдоль заданного вектора.
	<b>Volume</b>	Перемещение объемных тел вдоль заданного вектора.
	<b>Solid</b>	Перемещение SOLID вдоль заданного вектора.

	<b>Coord Sys</b>	Перемещение систем координат вдоль заданного вектора.
	<b>Node</b>	Перемещение узлов вдоль заданного вектора.
	<b>Element</b>	Перемещение элементов вдоль заданного вектора.
<b>Rotate To</b>	>>	Поворот части модели между двумя указанными позициями.
	<b>Point</b>	Поворот точек между указанными позициями.
	<b>Curve</b>	Поворот кривых между указанными позициями.
	<b>Surface</b>	Поворот поверхностей между указанными позициями.
	<b>Volume</b>	Поворот объемных тел между указанными позициями.
	<b>Solid...</b>	Поворот SOLID между указанными позициями.
	<b>Coord Sys</b>	Поворот систем координат между указанными позициями.
	<b>Node</b>	Поворот узлов между указанными позициями.
	<b>Element</b>	Поворот элементов между указанными позициями.
<b>Rotate By</b>	>>	Поворот части модели на заданный угол.
	<b>Point</b>	Поворот точек на заданный угол.
	<b>Curve</b>	Поворот кривых на заданный угол.
	<b>Surface</b>	Поворот поверхностей на заданный угол.
	<b>Volume</b>	Поворот объемных тел на заданный угол.
	<b>Solid</b>	Поворот SOLID на заданный угол.
	<b>Coord Sys</b>	Поворот систем координат на заданный угол.
	<b>Node</b>	Поворот узлов на заданный угол.
	<b>Element</b>	Поворот элементов на заданный угол.
<b>Align</b>	>>	Альтернативный метод перемещения и/или поворота части модели путем совмещения одного заданного вектора с другим (с помощью этой команды можно выполнить поворот и перемещение за одну операцию).
	<b>Point...</b>	Перемещение и/или поворот точек.
	<b>Curve...</b>	Перемещение и/или поворот кривых.
	<b>Surface...</b>	Перемещение и/или поворот поверхностей.
	<b>Volume...</b>	Перемещение и/или поворот объемных тел.
	<b>Solid...</b>	Перемещение и/или поворот SOLID.
	<b>Coord Sys...</b>	Перемещение и/или поворот систем координат.
	<b>Node...</b>	Перемещение и/или поворот узлов.
	<b>Element...</b>	Перемещение и/или поворот элементов.
<b>Scale</b>	>>	Масштабирование части модели.
	<b>Point...</b>	Масштабирование точек.

	<b>Curve...</b>	Масштабирование кривых.
	<b>Surface...</b>	Масштабирование поверхностей.
	<b>Volume...</b>	Масштабирование объемных тел.
	<b>Solid...</b>	Масштабирование SOLID.
	<b>Node...</b>	Масштабирование узлов.
	<b>Element...</b>	Масштабирование элементов.
<b>Edit</b>	>>	Редактирование составляющих конечно-элементной модели.
	<b>Coord Sys...</b>	Переопределение систем координат.
	<b>Point...</b>	Переопределение точек.
	<b>Text...</b>	Переопределение текста.
	<b>Boundary...</b>	Переопределение границ для генерации сеток.
	<b>Node...</b>	Переопределение узлов сетки.
	<b>Element...</b>	Переопределение элементов.
	<b>Material...</b>	Переопределение материалов.
	<b>Property...</b>	Переопределение свойств элементов.
	<b>Load...</b>	Переопределение нагрузок.
	<b>Constraint...</b>	Переопределение закреплений.
	<b>Function...</b>	Переопределение функций.
<b>Color</b>	>>	Изменение цвета составляющих конечно-элементной модели.
	<b>Coord Sys...</b>	Изменение цветов системы координат.
	<b>Point...</b>	Изменение цветов точек.
	<b>Curve...</b>	Изменение цветов кривых.
	<b>Surface...</b>	Изменение цветов поверхностей.
	<b>Volume...</b>	Изменение цветов объемных тел.
	<b>Text...</b>	Изменение цветов текста.
	<b>Boundary...</b>	Изменение цветов границ для генерации сетки.
	<b>Node...</b>	Изменение цветов узлов сетки.
	<b>Element...</b>	Изменение цветов материалов.
	<b>Material...</b>	Изменение цветов свойств элементов.
	<b>Property...</b>	Изменение цветов элементов.
	<b>Load...</b>	Изменение цветов нагрузок.
	<b>Constraint...</b>	Изменение цветов закреплений.
<b>Layer</b>	>>	Установка соответствия между составляющими модели и различными слоями графического отображения.
	<b>Point...</b>	Установка принадлежности точек различным слоям.
	<b>Curve...</b>	Установка принадлежности кривых различным слоям.
	<b>Surface...</b>	Установка принадлежности поверхностей

		различным слоям.
	<b><u>V</u>olume...</b>	Установка принадлежности объемных тел различным слоям.
	<b><u>S</u>olid...</b>	Установка принадлежности SOLID различным слоям.
	<b><u>C</u>oord <u>S</u>ys...</b>	Установка принадлежности систем координат различным слоям.
	<b><u>N</u>ode...</b>	Установка принадлежности узлов сетки различным слоям.
	<b><u>E</u>lement...</b>	Установка принадлежности элементов различным слоям.
	<b><u>M</u>aterial...</b>	Установка принадлежности материалов различным слоям.
	<b><u>P</u>roperty...</b>	Установка принадлежности свойств различным слоям.
	<b><u>L</u>oad...</b>	Установка принадлежности нагрузок различным слоям.
	<b><u>C</u>onstraint...</b>	Установка принадлежности закреплений различным слоям.
	<b><u>C</u>ontact <u>S</u>egment/<u>S</u>urface...</b>	Установка принадлежности контактных сегментов или поверхностей различным слоям.
	<b><u>T</u>ext...</b>	Установка принадлежности текстов различным слоям.
<b><u>R</u>enum<u>b</u>er</b>	>>	Перенумерация модели.
	<b><u>C</u>oord <u>S</u>ys...</b>	Перенумерация систем координат.
	<b><u>N</u>ode...</b>	Перенумерация узлов.
	<b><u>E</u>lement...</b>	Перенумерация элементов.
	<b><u>M</u>aterial...</b>	Перенумерация материалов.
	<b><u>P</u>roperty...</b>	Перенумерация свойств элементов.
	<b><u>L</u>oad <u>S</u>et...</b>	Перенумерация случаев нагружения.
	<b><u>C</u>onstraint <u>S</u>et...</b>	Перенумерация закреплений.
	<b><u>G</u>roup...</b>	Перенумерация групп.
<b><u>A</u>ssociativity</b>	>>	Присоединение/отсоединение узлов и элементов к/от геометрических объектов.
	<b><u>N</u>ode...</b>	Присоединение/отсоединение узлов к/от геометрических объектов.
	<b><u>E</u>lement...</b>	Присоединение/отсоединение элементов к/от геометрических объектов.
<b><u>U</u>ppdate <u>E</u>lements</b>	>>	Другие способы модификации элементов.
	<b><u>T</u>ype...</b>	Изменение типа конечных элементов.
	<b><u>F</u>ormulation...</b>	Изменение описания конечных элементов.
	<b><u>P</u>roperty <u>I</u>D...</b>	Выбор новых свойств списка элементов (без

	смены их типа).
<b><u>M</u>aterial ID...</b>	Выбор нового материала для списка свойств.
<b><u>M</u>aterial <u>A</u>ngle...</b>	Изменение угла ориентации сечений для указанного списка элементов.
<b><u>O</u>rientation...</b>	Изменение ориентации сечений для указанного списка балочных элементов (Bar, Beam, Curved Beam).
<b><u>O</u>ffsets...</b>	Управление величиной сдвига узлов от нейтральной оси для указанного списка балочных элементов.
<b><u>R</u>eleases...</b>	Управление степенями свободы в узлах для указанного списка балочных элементов.
<b><u>R</u>everse...</b>	Смена направления нормали или переориентация первого ребра для указанных элементов.
<b><u>O</u>rder...</b>	Изменение порядка функций формы.
<b><u>M</u>idside Nodes...</b>	Изменение места расположения срединных узлов параболических элементов.
<b><u>S</u>plit Quads...</b>	Разбиение четырехугольных элементов на треугольные элементы.
<b><u>A</u>adjust Plate...</b>	Согласование толщины и смещения плоских элементов.
<b><u>U</u>date Other</b>	>> Другие способы модификации.
<b><u>P</u>oint Definition CSys...</b>	Выбор новой системы координат для указанного списка точек.
<b><u>B</u>spline Order...</b>	Модификация порядка сплайновой кривой.
<b><u>B</u>spline <u>K</u>nots...</b>	Добавление новых точек, по которым строится сплайн.
<b><u>R</u>everse Curve...</b>	Изменить направление кривой.
<b><u>B</u>oundary on Surface...</b>	Отобразить Boundary Surface на поверхность.
<b><u>S</u>urface Divisions ...</b>	Изменение густоты сетки, отображаемой на поверхности, при отображении поверхности на экране.
<b><u>C</u>Sys Definition CSys...</b>	Замена типа системы координат для указанного списка существующих систем координат с сохранением их расположения.
<b><u>N</u>ode Definition CSys...</b>	Выбор новой системы координат для указанного списка узлов сетки.
<b><u>O</u>utput CSys...</b>	Выбор новой системы координат вывода результатов для указанного списка узлов сетки.

- Perm Constraint...** Изменение перманентных закреплений для указанного списка узлов. Перманентные закрепления задаются в операторе задания узлов и являются атрибутом соответствующего узла, а не Constraint Set. Наличие перманентных закреплений свидетельствует о том, что данный узел обладает не всеми степенями свободы изначально.
- Load Phase...** Изменение фазовых углов для нагрузок.
- Scale Load...** Изменение величины нагрузки для указанного списка узлов или элементов.
- Load Function ID...** Изменение номера функции, на которую ссылаются нагрузки.

## 1.7 Раздел LIST (список)

Вывод информации о данных и результатах.

<b><u>T</u>ools</b>	>>	Инструментарий.
	<b><u>V</u>ariable</b>	Список переменных.
	<b><u>L</u>ayers</b>	Список графических слоев.
	<b><u>T</u>ext...</b>	Список текстов.
<b><u>G</u>eometry</b>	>>	Геометрия.
	<b><u>P</u>oint...</b>	Список геометрических точек.
	<b><u>C</u>urve...</b>	Список кривых.
	<b><u>S</u>urface...</b>	Список поверхностей.
	<b><u>V</u>olume...</b>	Список объемных тел.
	<b><u>S</u>olid...</b>	Список SOLID.
	<b><u>M</u>odel</b>	>>
<b><u>C</u>oord Sys...</b>		Список систем координат.
<b><u>N</u>ode...</b>		Список узлов сетки.
<b><u>E</u>lement...</b>		Список элементов.
<b><u>M</u>aterial...</b>		Список материалов.
<b><u>P</u>roperty...</b>		Список свойств элементов.
<b><u>L</u>oad...</b>		Список нагрузок.
<b><u>C</u>onstraint...</b>		Список закреплений.
<b><u>C</u>ontact Segment/Surface...</b>		Список контактных сегментов и поверхностей.
<b><u>F</u>unction...</b>		Список функций.
<b><u>O</u>utput</b>	>>	Распечатка имеющихся результатов расчета.
	<b><u>Q</u>uery...</b>	Интерактивный просмотр результатов расчета в указанных узлах или элементах.
	<b><u>C</u>ompare...</b>	Сравнение результатов расчета для выбранного множества векторов.
	<b><u>U</u>nformatted...</b>	Упрощенная распечатка указанных результатов расчета в одну или три колонки.
	<b><u>S</u>tandard...</b>	Распечатка указанных результатов расчета в стандартном формате.
	<b><u>U</u>se <u>F</u>ormat...</b>	Распечатка указанных результатов расчета в формате, заданном пользователем.
	<b><u>F</u>orce Balance...</b>	Распечатка всех сил, действующих на узел.
<b><u>X</u>Y_Plot...</b>	Вывод значений узловых данных, отображенных на графике, для построения этого графика средствами других программных систем.	

	<b>Format...</b>	Список заданных пользователем форматов для вывода результатов расчета.
<b>Group...</b>	>>	Распечатка информации об указанных группах.
<b>View...</b>	>>	Распечатка информации об указанных видах.
<b>Model Info</b>	>>	Распечатка обобщенной информации о текущей геометрической и конечно-элементной модели.
<b>Destination...</b>	>>	Управление выводом распечаток (по умолчанию все распечатки выводятся на экран в окно сообщений).

## 1.8 Раздел Delete (удаление)

Удаление различных составляющих геометрической или конечно-элементной модели.

<b><u>A</u>ll</b>		Удаление всех объектов.
<b><u>T</u>ools</b>	>>	Удаление инструментальных объектов.
	<b><u>V</u>ariable...</b>	Удаление переменных.
	<b><u>L</u>ayers...</b>	Удаление графических слоев.
	<b><u>T</u>ext...</b>	Удаление текстов.
<b><u>G</u>eometry</b>	>>	Удаление геометрических объектов.
	<b><u>A</u>ll...</b>	Удаление всех геометрических объектов.
	<b><u>P</u>oint...</b>	Удаление геометрических точек.
	<b><u>C</u>urve...</b>	Удаление кривых.
	<b><u>S</u>urface...</b>	Удаление поверхностей.
	<b><u>V</u>olume...</b>	Удаление объемных тел.
	<b><u>S</u>olid...</b>	Удаление SOLID.
<b><u>M</u>odel</b>	>>	Удаление объектов конечно-элементной модели.
	<b><u>A</u>ll...</b>	Удаление всех объектов конечно-элементной модели.
	<b><u>C</u>oord <u>S</u>ys</b>	Удаление систем координат.
	<b><u>N</u>ode...</b>	Удаление узлов сетки.
	<b><u>E</u>lement...</b>	Удаление элементов.
	<b><u>M</u>aterial...</b>	Удаление свойств материалов.
	<b><u>P</u>roperty...</b>	Удаление свойств элементов.
	<b><u>L</u>oad – <u>S</u>et...</b>	Удаление вариантов нагружения.
	<b><u>L</u>oad - <u>B</u>ody</b>	Удаление объемных нагрузок.
	<b><u>L</u>oad <u>I</u>ndividual...</b>	Удаление нагрузки из текущего Load Set в выбранных узлах
	<b><u>C</u>onstraint - <u>S</u>et</b>	Удаление вариантов закреплений.
	<b><u>C</u>onstraint <u>I</u>ndividual...</b>	Удаление закреплений из текущего Constraint - Set в выбранных узлах.
	<b><u>C</u>ontact <u>S</u>egment/<u>S</u>urface...</b>	Удаление контактных сегментов или поверхностей.
	<b><u>F</u>unction...</b>	Удаление функций из соответствующей библиотеки.
<b><u>O</u>utput</b>	>>	Удаление результатов расчета.
	<b><u>S</u>et...</b>	Удаление варианта расчета со всеми входящими в него результатами (векторами).
	<b><u>V</u>ector...</b>	Удаление активного вектора из активного

		варианта расчета.
	<b><u>E</u>ntry...</b>	Удаление части активного вектора результатов расчета.
	<b><u>F</u>ormat...</b>	Удаление форматов, организованных пользователем для вывода результатов расчета.
<b><u>L</u>ibrary</b>	>>	Удаление данных, содержащихся в библиотеках.
	<b><u>M</u>aterial...</b>	Удаление материала из библиотеки материалов.
	<b><u>P</u>roperty...</b>	Удаление свойств элементов из библиотеки свойств.
	<b><u>F</u>unction...</b>	Удаление функций из соответствующей библиотеки.
	<b><u>V</u>iew...</b>	Удаление видов из соответствующей библиотеки.
	<b><u>F</u>ormat...</b>	Удаление форматов из соответствующей библиотеки.
<b><u>G</u>roup...</b>		Удаление групп.
<b><u>V</u>iew...</b>		Удаление видов.

## 1.9 Раздел Group (группирование)

Формирование различных групп из составляющих модели и работа с ними.

<b>Set</b>	>>	Создание или активизация группы, изменение названия группы.
<b>Operations</b>	>>	Операции с активной группой, формирование новых групп.
<b>Evaluate...</b>		Определение всех примитивов в активной группе с учетом заданных правил и ограничений.
<b>Evaluate Always...</b>		Если данная опция включена, то активная группа будет автоматически переопределяться всякий раз при ссылке на эту группу.
<b>Automatic Add...</b>		Автоматическое добавление вновь создаваемых примитивов в указанные группы.
<b>Renumber...</b>		Перенумерация групп.
<b>Copy...</b>		Копирование активной группы.
<b>Condense...</b>		Копирование активной группы с использованием правил, основанных только на идентификационных номерах (ID) примитивов.
<b>And...</b>		Создание новой группы путем пересечения двух существующих групп.
<b>Or...</b>		Создание новой группы путем объединения двух существующих групп.
<b>Exclusive Or...</b>		Создание новой группы из примитивов, не входящих одновременно в две указанные группы (объединение минус пересечение).
<b>Not...</b>		Создание новой группы, которая включает в себя все примитивы, не входящие в состав активной группы.
<b>Generate...</b>		Автоматическое создание новых групп путем сегментирования модели по заданным признакам.
<b>Generate Property...</b>		Создание групп, содержащих конечные элементы с различными свойствами.

	<b>Generate Material...</b>	Создание групп, содержащих конечные элементы из различных материалов.
	<b>Generate Elem Type...</b>	Создание групп, содержащих конечные элементы различных типов.
	<b>Peel...</b>	Автоматическое создание новых групп путем формирования их из слоев объемных элементов.
	<b>Select Model...</b>	Автоматическое создание группы, включающей в себя всю модель.
	<b>Reset Rules...</b>	Удаление всех правил формирования из активной группы.
<b>Clipping</b>	>>	Определение и редактирование ограничивающих плоскостей и координат.
	<b>Coordinate...</b>	Задание ограничений в указанной системе координат.
	<b>Screen...</b>	Задание ограничивающих плоскостей, ориентированных по нормали к экрану.
	<b>Plane...</b>	Задание произвольной ограничивающей плоскости.
	<b>Volume...</b>	Задание шестигранного ограничивающего объема.
	<b>Reset Clip...</b>	Удаление ограничивающих плоскостей из активной группы.
<b>Layers</b>		Определение графических слоев, из которых можно выбирать примитивы при формировании группы.
<b>Text</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу текстов.
	<b>ID...</b>	Выбор текстов по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор текстов по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор текстов по слою.
<b>Point</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу геометрических точек.
	<b>ID...</b>	Выбор точек по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор точек по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор точек по слою.
	<b>Property...</b>	Выбор точек по свойствам.
	<b>Defininition</b>	Выбор точек по идентификатору системы координат, относительно которой они заданы.
	<b>Csys...</b>	
	<b>on Curve</b>	Выбор точек по идентификатору кривой, которой они принадлежат.
<b>Curve</b>	>>	Определение правил для отбора в активную

		группу кривых.
	<b>ID...</b>	Выбор кривых по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор кривых по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор кривых по слою.
	<b>Property...</b>	Выбор кривых по свойствам.
	<b>Using Point...</b>	Выбор кривых по идентификатору, принадлежащих кривым точкам.
	<b>on Surface...</b>	Выбор кривых по идентификатору поверхности, которой они принадлежат.
	<b>on Solid...</b>	Выбор кривых по идентификатору SOLID, которому они принадлежат.
<b>Surface</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу поверхностей.
	<b>ID...</b>	Выбор поверхностей по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор поверхностей по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор поверхностей по слою.
	<b>Property...</b>	Выбор поверхностей по свойствам.
	<b>Using Curve...</b>	Выбор поверхностей по идентификаторам принадлежащих им кривых.
	<b>on Volume...</b>	Выбор поверхностей по идентификаторам объемных тел, которым они принадлежат.
	<b>on Solid...</b>	Выбор поверхностей по идентификаторам SOLID, которым они принадлежат.
<b>Volume</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу объемных тел.
	<b>ID...</b>	Выбор объемных тел по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор объемных тел по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор объемных тел по слою.
	<b>Property...</b>	Выбор объемных тел по свойствам.
	<b>using Surface...</b>	Выбор объемных тел по идентификаторам принадлежащих им поверхностей.
<b>Solid</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу SOLID.
	<b>ID...</b>	Выбор SOLID по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор SOLID по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор SOLID по слою.
	<b>Property...</b>	Выбор SOLID по свойствам.
	<b>Using Curve...</b>	Выбор SOLID по идентификаторам принадлежащих им кривых.
	<b>Using Surface...</b>	Выбор SOLID по идентификаторам принадлежащих им поверхностей.
<b>Coord Sys</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу систем координат.

	<b>ID...</b>	Выбор систем координат по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор систем координат по цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор систем координат по слою.
	<b>Definition CSys...</b>	Выбор систем координат по идентификатору системы координат, относительно которой они были заданы.
<b>Node</b>	<b>Type...</b>	Выбор систем координат по их типу.
	<b>&gt;&gt;</b>	Определение правил для отбора в активную группу узлов конечно-элементной сетки.
	<b>ID...</b>	Выбор узлов по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор узлов по их цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор узлов по их слою.
	<b>Definition CSys...</b>	Выбор узлов по системе координат, в которой они были заданы.
	<b>Output CSys</b>	Выбор узлов по системе координат для вывода результатов.
	<b>on Element...</b>	Выбор узлов по идентификаторам элементов, с которыми они связаны.
	<b>on Point...</b>	Выбор узлов по идентификаторам точек, с которыми они связаны.
	<b>on Curve...</b>	Выбор узлов по идентификаторам кривых, с которыми они связаны.
	<b>on Surface...</b>	Выбор узлов по идентификаторам поверхностей, с которыми они связаны.
	<b>in Solid/Volume</b>	Выбор узлов по идентификаторам объемных тел и SOLID, с которыми они связаны.
<b>Element</b>	<b>&gt;&gt;</b>	Определение правил для отбора в активную группу элементов.
	<b>ID...</b>	Выбор элементов по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор элементов по их цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор элементов по их слою.
	<b>Material...</b>	Выбор элементов по свойствам материалов.
	<b>Property...</b>	Выбор элементов по их свойствам.
	<b>Type...</b>	Выбор элементов по их типу.
	<b>Using Node...</b>	Выбор элементов по идентификаторам узлов, с которыми они связаны.
	<b>on Point...</b>	Выбор элементов по идентификаторам точек, с которыми они связаны.
	<b>on Curve...</b>	Выбор элементов по идентификаторам кривых, с которыми они связаны.
	<b>on Surface...</b>	Выбор элементов по идентификаторам поверхностей, с которыми они связаны.
	<b>in Solid/Volume</b>	Выбор элементов по идентификаторам

		объемных тел и SOLID, с которыми они связаны.
<b>Material</b>	>>	Определение правил для отбора в активную группу свойств материалов.
	<b>ID...</b>	Выбор материалов по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор материалов по их цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор материалов по их слою.
	<b>on Property...</b>	Выбор материалов по идентификаторам свойств элементов.
	<b>on Element...</b>	Выбор материалов по идентификаторам элементов.
	<b>Type...</b>	Выбор материалов по их типу.
<b>Property</b>	>>	Определение правил для выбора в активную группу свойств элементов.
	<b>ID...</b>	Выбор свойств по их идентификатору.
	<b>Color...</b>	Выбор свойств по их цвету.
	<b>Layer...</b>	Выбор свойств по их слою.
	<b>on Element...</b>	Выбор свойств по идентификаторам элементов.
	<b>Material...</b>	Выбор свойств по идентификаторам материалов.
	<b>Type...</b>	Выбор свойств по их типу.
<b>Load</b>	>>	Определение правил для выбора в активную группу нагрузок.
	<b>Nodal</b>	Выбор нагрузок по номерам узлов, в которых они приложены.
	<b>Elemental...</b>	Выбор нагрузок по номерам элементов, в которых они приложены.
	<b>Point...</b>	Выбор нагрузок по номерам точек, в которых они приложены.
	<b>Curve...</b>	Выбор нагрузок по номерам кривых, к которым они приложены.
	<b>Surface...</b>	Выбор нагрузок по номерам поверхностей, к которым они приложены.
<b>Constraint</b>	>>	Определение правил для выбора в активную группу закреплений.
	<b>Nodal</b>	Выбор закреплений по номерам узлов, в которых они приложены.
	<b>Equation...</b>	Выбор закреплений по уравнениям.
	<b>Point...</b>	Выбор закреплений по точкам.
	<b>Curve...</b>	Выбор закреплений по кривым.
	<b>Surface...</b>	Выбор закреплений по поверхностям.
<b>Contact</b>	>>	Определение правил для выбора в активную группу контактов.

<b>ID...</b>	Выбор контактов по их идентификатору.
<b>Color...</b>	Выбор контактов по их цвету.
<b>Layer...</b>	Выбор контактов по их слою.

## 1.10 Раздел View (вид)

Управление отображениями модели и настройка графических окон.

<b>Red<u>u</u>rw</b>	Перерисовка модели.
<b>Re<u>g</u>enerate</b>	Регенерация изображения.
<b>Sh<u>o</u>w...</b>	Выделение указанных примитивов.
<b>All <u>V</u>iews...</b>	Если эта опция включена, то все выполняемые операции с изображением распространяются на все виды.
<b>Act<u>i</u>vate...</b>	Управление отображением на экране существующих графических окон (видов).
<b><u>N</u>ew...</b>	Создание новых графических окон (видов).
<b>T<u>i</u>le</b>	Автоматическое расположение видов на экране таким образом, чтобы они не перекрывали друг друга.
<b>C<u>a</u>scade</b>	Автоматическое расположение видов на экране таким образом, чтобы каждый последующий вид перекрывал предыдущий.
<b><u>W</u>indow... .</b>	Изменение заголовков, рамок и цветового фона графических окон.
<b>L<u>a</u>yers...</b>	Управление графическими слоями и выбор их для отображения на экране.
<b><u>S</u>elect...</b>	Выбор типа рисунка, управление методом отображения модели и данными для обработки результатов.
<b><u>O</u>ptions</b>	Управление параметрами вида.
<b>Adv<u>a</u>nced Post &gt;&gt;</b>	Дополнительные опции (возможности).
<b><u>A</u>nimation...</b>	Управление скоростью и формой активной анимации.
<b>D<u>y</u>namic <u>C</u>utting Plane...</b>	Динамическая секущая плоскость. Используется при выводе напряжений в сечении тела. Доступна только в режиме тонирования (Render)
<b>D<u>y</u>namic <u>I</u>soSurface...</b>	Динамическая изопараметрическая поверхность. Используется для выделения областей с заданным интервалом напряжений.
<b><u>R</u>otate...</b>	Поворот изображения модели относительно ее осей или осей экрана, выбор стандартной

<b><u>A</u>lign <u>B</u>y</b>	>>	ориентации. Дополнительные возможности для ориентации и центрирования вида.
<b><u>C</u>oord <u>S</u>ys...</b>		Вид по направлению оси Z (плоскость XY параллельна экрану).
<b><u>A</u>long <u>V</u>ector...</b>		Вид по направлению указанного вектора. Workplane. Вид по нормали к рабочей плоскости.
<b><u>W</u>orkplane <u>D</u>ynamic...</b>		Образование или выбор рабочей плоскости. Динамический сдвиг, масштабирование и поворот изображения.
<b><u>A</u>utoscale</b>		Автоматическое масштабирование изображения модели таким образом, чтобы она целиком помещалась в графическом окне.
<b><u>M</u>agnify <u>Z</u>oom</b>		Увеличение и центрирование изображения в соответствии с заданной прямоугольной площадкой.
<b><u>U</u>nZoom...</b>		Возврат к предыдущему масштабу изображения.
<b><u>C</u>enter...</b>		Центрирование изображения относительно указанной позиции.
<b><u>P</u>an...</b>		Сдвиг изображения в плоскости графического окна.

## **1.11 Раздел Help (справка)**

Получение справочной информации.

<b><u>I</u>ndex</b>	Отображение списка основных разделов справочной информации.
<b><u>S</u>earch</b>	Поисковая система нужной информации.
<b><u>K</u>eyboard</b>	Перечень "горячих" клавиш, дублирующих отдельные команды меню.
<b><u>M</u>ouse</b>	Справочная информация по работе с "мышью".
<b><u>A</u>nalysis</b>	Справочная информация по вопросам конечно-элементного анализа.
<b><u>U</u>sing the Help</b>	Правила пользования справочной информацией.
<b><u>A</u>bout</b>	Основные сведения о фирмах – разработчиках, лицензировании программы и авторизованных (доступных) для расчета модулях.

## 2 Команды недоступные из меню

Перечисленные ниже команды можно выполнить только с помощью нажатия соответствующих комбинаций клавиш.

**Ctrl+F10** - отображение предыдущего меню.

**Alt+F10** - отображение предыдущей команды.

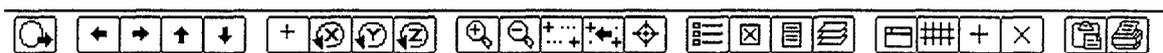
**Ctrl+Q** или **Shift+F6** - вызов меню быстрого управления отображением примитивов и меток (View Quick Options).

**Ctrl+F6** - перемещение верхнего графического окна в самый низ "стопки" окон.

**Ctrl+Shift+F6** - перемещение нижнего графического окна из "стопки" окон наверх.

## 3 Команды мнемонического меню

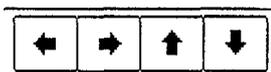
Наиболее часто употребляемые команды системы сдублированы в строке мнемонического меню в виде кнопок с соответствующими изображениями. Мнемоническое меню выглядит следующим образом:



Назначение кнопок мнемонического меню:



Динамический сдвиг, масштабирование и поворот изображения.



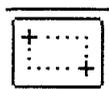
Сдвиг изображения влево/вправо/вверх/вниз (10% - простое нажатие, 25% - с нажатой клавишей Shift, 50% - с нажатой клавишей Ctrl, 100% - с нажатой клавишей Alt).



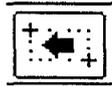
$\pm$  - переключение направлений вращения изображения; вращение вокруг осей X/Y/Z соответственно (простое нажатие - вращение относительно осей модели, с клавишей Shift - относительно осей экрана, с клавишей Ctrl - поворот на 90° относительно осей модели, с клавишей Alt - поворот на 90° относительно осей экрана).



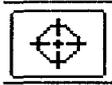
Увеличение/уменьшение масштаба изображения (простое нажатие - 110%, с клавишей Shift - 150%, с клавишей Ctrl - 200%, с клавишей Alt - автомасштабирование).



Увеличение выбранной прямоугольной области.



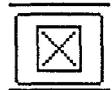
Возврат к предыдущему масштабу изображения.



Центрирование изображения относительно указанного места.



Выбор типа рисунка, управление методом отображения модели и данными для обработки результатов (команда View Select).



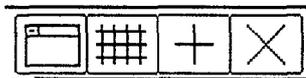
Вызов меню быстрого управления отображением примитивов и меток (View Quick Options).



Активизация меню быстрого доступа (Quick Menu).



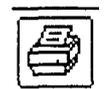
Активизация графических слоев для отображения.



Выбор метода фиксации места расположения графического курсора: фиксация выключена/фиксация по ближайшей точке рабочей плоскости/по ближайшей геометрической точке/по ближайшему узлу сетки.



Копирование изображения в ячейку обмена информацией (clipboard).



Печать.

## 4 Команды меню быстрого доступа

Меню быстрого доступа можно вызвать в любой момент либо по нажатию соответствующей кнопки мнемонического меню, либо нажатием правой кнопки "мыши".

---

<b>Cancel</b>	Отмена текущего диалогового меню или команды.
<b>Snap To</b>	Управление методом фиксации расположения графического курсора, а также управление параметрами рабочей плоскости.
<b>Screen</b>	Фиксация по ближайшей точке экрана (фиксация выключена).
<b>Grid</b>	Фиксация по ближайшей точке рабочей плоскости.
<b>Point</b>	Фиксация по ближайшей геометрической точке.
<b>Mode</b>	Фиксация по ближайшему узлу сетки.
<b>Select »</b>	Ограничения на выбор координат.
<b>All</b>	Выбирать все (X, Y и Z) координаты.
<b>X</b>	Выбирать только координату X.
<b>Y</b>	Выбирать только координату Y.
<b>Z</b>	Выбирать только координату Z.
<b>XY</b>	Выбирать только координаты X и Y.
<b>YZ</b>	Выбирать только координаты Y и Z.
<b>ZX</b>	Выбирать только координаты Z и X.
<b>Workplane</b>	Размещение и ориентация в пространстве рабочей плоскости.
<b>Equations</b>	Ввод уравнения.
<b>Position</b>	Включение/выключение окна с указанием текущих координат графического курсора.
<b>Model Data</b>	Выбор нагрузок, ограничений и групп для отображения в активном окне.
<b>Post Data</b>	Выбор результатов расчета для обработки и отображения в активном окне.
<b>XY Data</b>	Выбор результатов расчета для рисования графиков в активном окне.

---

## 5 Библиотека конечных элементов системы MSC/NASTRAN for Windows

В настоящей главе даны краткие сведения о библиотеке конечных элементов системы *MSC/NASTRAN for Windows*. Представлены краткая характеристика каждого из элементов, возможные способы их нагружения, свойства, присущие этим элементам, а также области их применения.

### 5.1 Одномерные элементы

Одномерными элементами называются элементы, связывающие между собой два узла конечно-элементной сетки. Различные типы таких элементов используются для моделирования соответствующих им типов конструкций.

#### Стержневой элемент типа ROD

##### Краткая характеристика

Одноосный элемент, работающий только на растяжение, сжатие и кручение. Не работает на изгиб, сдвиг не учитывается.

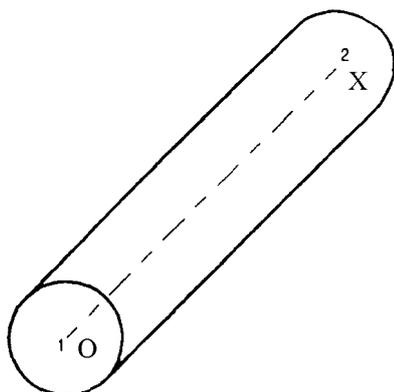


Рисунок 5.1. Конечный элемент типа **ROD**.

##### Применение

Обычно используется для расчета элементов ферм и рам, не подверженных изгибу.

##### Форма

Линия, соединяющая два узла, (рисунок 5.1.).

##### Система координат элемента

Ось OX элемента направлена из первого узла ко второму.

##### Свойства

Площадь поперечного сечения, полярный момент инерции, коэффициент для расчета напряжений от кручения, неконструкционная масса на единицу длины.

## **Элемент трубы типа TUBE**

### Краткая характеристика

Элементы трубы являются разновидностью стержневых элементов с поперечным сечением в виде трубы. Это также одноосный элемент, работающий только на растяжение, сжатие и кручение (рисунок 5.2).

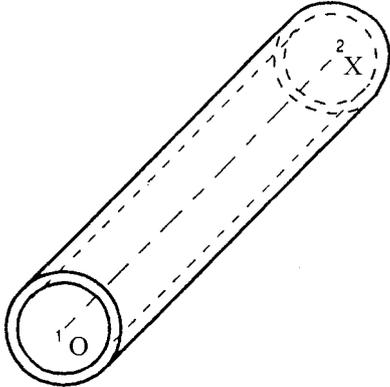


Рисунок 5.2. Конечный элемент типа TUBE.

### Применение

Часто используется для моделирования конструкций, состоящих из труб. Также используется в большинстве приемлемых способов описания свойств стержневых элементов, имеющих трубчатое сечение.

### Форма

Линия, соединяющая два узла, рисунок 5.2.

### Система координат

Ось OX элемента направлена из первого узла ко второму.

### Свойства.

Внутренний диаметр, наружный диаметр, неконструкционная масса на единицу длины.

## **Криволинейный элемент трубы типа CURVED TUBE**

### Краткая характеристика

Другой тип элемента трубы. Этот элемент криволинейный. Нейтральная ось представляет собой дугу (а не линию), соединяющую узлы. Вместо этого элемента можно пользоваться множеством прямолинейных элементов трубы, размещая их по дуге, описывающей нейтральную линию.

### Применение

Моделирование изогнутых частей и колен трубчатых конструкций.

### Форма

Дуга, соединяющая два узла, рисунок 5.4.

### Система координат

Совпадает с системой координат балочных и криволинейных балочных элементов типа BEAM/CURVED, BEAM. Элемент искривлен в

плоскости  $XU$  элемента, а вектор радиуса направлен к третьей точке, другими словами - в направлении вектора ориентации (см. рисунок 5.4).

#### Свойства

Внешний диаметр, внутренний диаметр, неконструкционная масса на единицу длины.

#### Примечания

В отличие от балочных элементов типа BEAM не имеет возможностей сдвига нейтральной оси от узлов, задания точек на сечении для расчета напряжений, а также управления степенями свободы для моделирования шарнирных соединений.

### **Балочный элемент типа BAR**

#### Краткая характеристика

Одноосный элемент, работающий на растяжение, сжатие, кручение и изгиб. Вместо этого элемента часто используется обобщенный балочный элемент типа BEAM. Рисунок 5.3 иллюстрирует свойства элементов обоих этих типов.

#### Применение

Используется при моделировании большинства балочных и рамных конструкций.

#### Форма

Линия, соединяющая два узла. Для размещения в пространстве оси  $U$  элемента задается дополнительный третий узел.

#### Система координат

Ось  $X$  элемента направлена из первого узла ко второму. Ось  $U$  располагается перпендикулярно оси  $X$  и лежит в плоскости, определяемой первым, вторым и дополнительным третьим узлом (или вектором ориентации). Ось  $Z$  определяется как векторное произведение осей  $X$  и  $U$  элемента.

#### Свойства

Площадь, моменты инерции поперечного сечения ( $I$ ,  $I_2$ ,  $I_{12}$ ), полярный момент инерции, факторы сдвига в соответствующих плоскостях, неконструкционная масса на единицу длины, точки на поперечном сечении для расчета напряжений. Все свойства считаются постоянными для всего элемента.

#### Примечания

Более подробное описание понятий управления степенями свободы для моделирования шарниров, сдвига нейтральной оси и задания точек на сечении для расчета напряжений дано ниже.

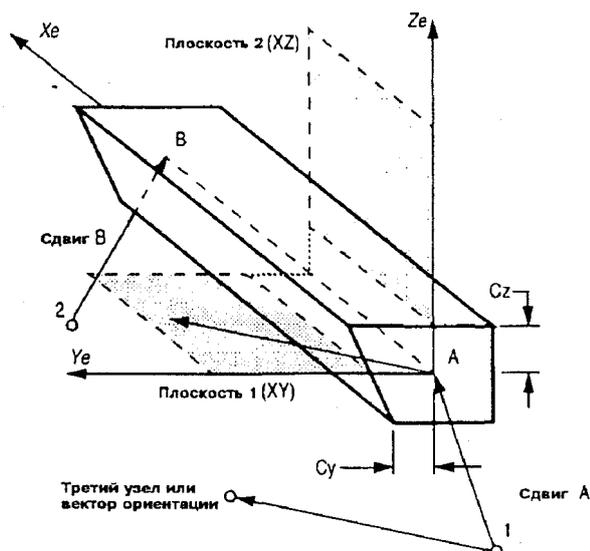


Рисунок 5.3. Конечный элемент типа BAR и BEAM.

### **Балочный элемент типа BEAM**

#### Краткая характеристика

Одноосный элемент, работающий на растяжение, сжатие, кручение и изгиб. Этот элемент может иметь переменное сечение, то есть для каждого конца элемента можно задавать различные свойства.

#### Применение

Используется для моделирования рамных/балочных конструкций.

#### Форма

Линия, соединяющая два узла. Для размещения в пространстве оси  $Y$  элемента задается дополнительный третий узел.

#### Система координат

Ось  $X$  элемента направлена из первого узла ко второму. Ось  $Y$  располагается перпендикулярно оси  $X$  и лежит в плоскости, определяемой первым, вторым и дополнительным третьим узлом (или вектором ориентации). Ось  $Z$  определяется как векторное произведение осей  $X$  и  $Y$  элемента.

#### Свойства

Площадь поперечного сечения, моменты инерции ( $I_1, I_2, I_{12}$ ), полярный момент инерции, факторы сдвига в соответствующих плоскостях, неконструкционная масса на единицу длины, точки на поперечном сечении для расчета напряжений. Если элемент имеет переменное сечение, то можно задать разные свойства для каждого из его концов.

#### Примечания

В элементах типа BEAM и BAR можно управлять степенями свободы в узлах элемента, например для моделирования различного типа шарнирных соединений. Достигается это путем освобождения соответствующих степеней свободы с помощью команды MODIFY UPDATE RELEASES. Так, например, освобождение степени свободы 4

(поворот вокруг оси X элемента) в каком-либо узле приведет к тому, что момент кручения не будет передаваться через этот узел.

Векторы сдвига (задаются с помощью команды MODIFY UPDATE OFFSETS) смещают нейтральную ось от узлов в указанном направлении на заданное расстояние. Если смещение не задано (по умолчанию), то нейтральная ось располагается непосредственно между узлами. Сдвиг нейтральной оси не влияет на ориентацию элемента в пространстве, поскольку она определяется относительно узлов конечно-элементной модели.

Точки на сечении для расчета напряжений задаются по усмотрению пользователя в плоскости YZ системы координат элемента.

Задание моментов инерции для элементов типа BEAM и BAR иногда может приводить к ошибке. Дело в том, что в MSC/NASTRAN момент инерции I<sub>1</sub> является моментом инерции относительно оси Z элемента. Это момент инерции в плоскости 1 (см. рисунок 5.3). Соответственно I<sub>2</sub> - это момент инерции в плоскости 2 относительно оси Y элемента.

### **Элемент криволинейной балки типа CURVED BEAM**

#### Краткая характеристика

Разновидность элемента типа BEAM (рисунок 5.4). Этот элемент криволинейный. Нейтральная ось представляет собой дугу (а не линию), соединяющую узлы. Вместо этого элемента можно пользоваться множеством прямолинейных элементов типа BEAM, размещая их по дуге, описывающей нейтральную линию.

#### Применение

Моделирование изгибов и колен трубопроводов, а также других криволинейных элементов балочных систем.

#### Форма

Дуга, соединяющая два узла.

#### Система координат

Аналогична системе координат элемента типа BEAM. Элемент искривлен в плоскости XY элемента, а вектор радиуса направлен к третьей точке, другими словами - в направлении вектора ориентации.

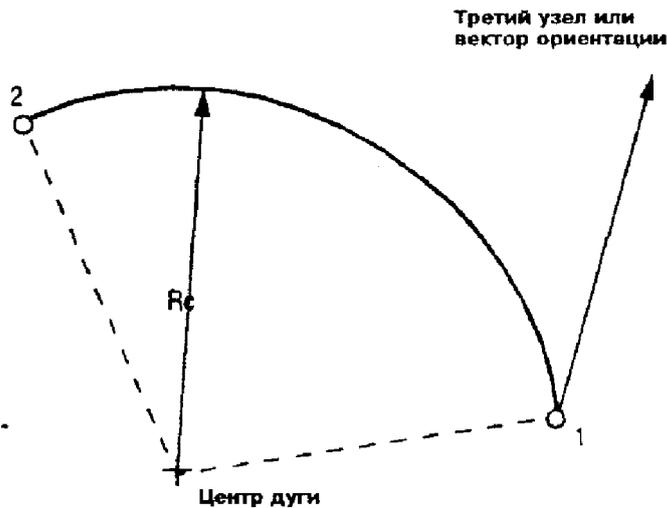


Рисунок 5.4. Конечный элемент криволинейной балки.

#### Свойства

Радиус изгиба, площадь поперечного сечения, моменты инерции ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{12}$ ), полярный момент инерции, факторы сдвига в соответствующих плоскостях, неконструкционная масса на единицу длины, точки на поперечном сечении для расчета напряжений.

#### Примечания

Правила задания сдвигов нейтральной оси и точек на сечении для расчета напряжений идентичны правилам для элемента типа BEAM. Обратите внимание, что управление степенями свободы в узлах (RELEASES) недоступно для этого типа элемента.

### **Упругий элемент типа SPRING**

#### Краткая характеристика

Элемент, сочетающий в себе упругий (пружина) и демпфирующий элементы. Может работать на растяжение (сжатие) и кручение. Для других случаев предусмотрен альтернативный вариант этого элемента, который описан ниже.

#### Применение

Используется для моделирования элементов конструкции, которые работают или только на растяжение (сжатие), или только на кручение.

#### Форма

Линия, соединяющая два узла.

#### Система координат

Ось X элемента направлена из первого узла ко второму.

#### Свойства

Жесткость, коэффициент демпфирования.

## **Упругий элемент типа DOF SPRING**

### Краткая характеристика

Элемент, сочетающий в себе упругий (пружина) и демпфирующий элементы. Этот элемент соединяет любую, выбранную (из шести), степень свободы в первом узле с любой степенью свободы во втором узле.

### Применение

Используется для соединения двух степеней свободы с заданной жесткостью. В зависимости от соединяемых степеней свободы и расположения узлов в пространстве с помощью такого элемента можно моделировать как части конструкции, работающие только на растяжение-сжатие, так и более сложные ее компоненты.

### Форма

Соединяет два узла. В MSC/NASTRAN for Windows изображается в виде линии, но на самом деле является более сложным элементом и находится в зависимости от соединяемых степеней свободы.

### Система координат

Определяется узловыми степенями свободы.

### Свойства

Степень свободы (для каждого из узлов), жесткость, коэффициент демпфирования.

## **Контактный элемент типа GAP**

### Краткая характеристика

Элемент для нелинейного анализа (большие перемещения), который может иметь различные жесткости для моделирования работы на растяжение, сжатие и сдвиг.

### Применение

Используется в контактных задачах для моделирования зазоров (сближение контактирующих поверхностей) и мест, где зазоры могут появиться (расхождение контактирующих поверхностей). Кроме того, в определенных пределах может моделировать скольжение контактирующих поверхностей относительно друг друга (более подробную информацию об этом элементе можно найти в полной документации по системе MSC/NASTRAN).

### Форма

Линия, соединяющая два узла.

### Система координат

Ось X элемента направлена из первого узла ко второму. Ось Y располагается перпендикулярно оси X и лежит в плоскости, определяемой первым, вторым и дополнительным третьим узлом (или вектором ориентации). Ось Z определяется как векторное произведение осей X и Y элемента.

### Свойства

Величина начального зазора, жесткость на сжатие, жесткость на растяжение, поперечная жесткость при закрытом зазоре, коэффициенты трения по осям Y и Z, предварительная нагрузка.

### **Графический элемент типа PLOT ONLY**

#### Краткая характеристика

Этот элемент не предназначен для моделирования элементов конструкции. Он не обладает жесткостью и массой. Применяется только в графических целях.

#### Применение

Используется для графического представления частей конструкции, которые не будут подвергаться анализу, но могут помочь в визуализации модели.

#### Форма

Линия, соединяющая два узла.

#### Система координат

Отсутствует.

#### Свойства

Не имеет.

### **Контактный элемент типа SLIDE LINE**

#### Краткая характеристика

Контактный элемент, позволяющий задавать в качестве исходных данных параметры трения и жесткости между поверхностями в зоне контакта. Для определения контактирующих поверхностей с помощью элементов этого типа задаются наборы главных (master) и зависимых (slave) узлов.

#### Применение

Моделирование взаимодействия между контактирующими (со скольжением) поверхностями двух деформируемых тел.

#### Форма

Изображается в виде линии между главными и зависимыми узлами.

#### Система координат

Отсутствует. Все связано с системой координат узлов.

#### Свойства

Ширина контактирующих поверхностей, масштабный множитель жесткости, жесткость контакта без скольжения и статический коэффициент трения.

## **5.2 Плоские элементы**

Плоские элементы используются для моделирования мембран, оболочечных конструкций и пластин. Все они сходны по принципам построения и порядку нумерации узлов в элементе. Простейшими типами таких элементов являются треугольный элемент с тремя узлами и

четырёхугольный элемент с четырьмя узлами. Кроме того, имеются более сложные шестиузловые "параболические" треугольники и восьмиузловые "параболические" четырёхугольники (рисунок 5.5).

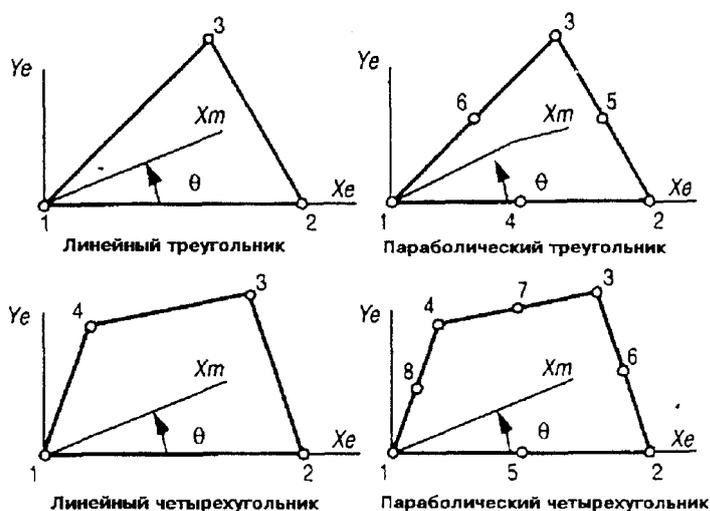


Рисунок 5.5. Плоские конечные элементы

Обычно распределенная нагрузка для плоских элементов прикладываются к грани 1 (она обозначена символом  $F_1$  на рисунке 5.6). В этом случае положительное направление давления совпадает с направлением нормали к элементу, которая определяется по правилу правой руки. И наоборот, если давление приложено к грани 2, то положительное его направление противоположно направлению нормали. Таким образом, положительное давление на грань 1 эквивалентно отрицательному давлению на грань 2.



Рисунок 5.6. Плоские конечные элементы. Нумерация

При моделировании конструкций с помощью плоских элементов рекомендуется стремиться к тому, чтобы их форма приближалась к равносторонним треугольникам или четырехугольникам. В этом случае полученные результаты будут наиболее точными.

## **Элемент SHEAR PANEL (сдвиговая панель)**

### Краткая характеристика

Плоский элемент, который воспринимает только сдвиговые усилия - тангенциальные силы, приложенные к граням элемента. Этот элемент может воспринимать также и нормальные силы, для учета которых используются коэффициенты эффективности.

### Применение

Используется для моделирования конструкций, содержащих очень тонкие упругие листы, которые обычно подкрепляются дополнительными жесткостями.

### Форма

Четырехузловой четырехугольник.

### Система координат

Система координат элемента показана на рисунке 5.5.

### Свойства

Толщина, неконструкционная масса на единицу площади, коэффициенты эффективности.

## **Мембранный элемент типа MEMBRANE**

### Краткая характеристика

Плоский элемент, который воспринимает нагрузки, действующие в плоскости элемента.

### Применение

Используется для моделирования очень тонких упругих листов.

### Форма

Плоский трехузловой или шестиузловой треугольник, четырехузловой или восьмиузловой четырехугольник.

### Система координат

Система координат элемента показана на рисунке 5.5. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала  $X_m$ .

### Свойства

Толщина, неконструкционная масса на единицу площади.

## **Изгибный элемент типа BENDING**

### Краткая характеристика

Плоский элемент, воспринимающий только изгибающие нагрузки.

### Применение

Используется для моделирования пластин, работающих только на изгиб.

### Форма

Плоский трехузловой или шестиузловой треугольник, четырехузловой или восьмиузловой четырехугольник.

### Система координат

Система координат элемента показана на рисунке 5.5. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала  $X_m$ .

### Свойства

Толщина, неконструкционная масса на единицу площади, параметр изгибной жесткости, расстояние от нейтральной линии до верхнего и нижнего волокон при расчете напряжений.

## **Универсальный оболочечный элемент типа PLATE**

### Краткая характеристика

Комбинированный плоский оболочечный элемент. Этот элемент может воспринимать мембранную, сдвиговую и изгибную нагрузки.

### Применение

Любые конструкции, состоящие из тонких пластин или оболочек.

### Форма

Плоский трехузловой или шестиузловой треугольник, четырехузловой или восьмиузловой четырехугольник.

### Система координат

Система координат элемента показана на рисунке 5.5. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации материала  $X_m$ .

### Свойства

Толщина (как средняя по элементу, так и различная в каждом узле), неконструкционная масса на единицу площади, параметр изгибной жесткости, отношение толщины поперечного сдвига к толщине мембраны, изгибные, сдвиговые и мембранные свойства материала (в большинстве случаев одинаковы), расстояние от нейтральной линии до верхнего и нижнего волокон при расчете напряжений.

### Примечания

В случае переменной толщины оболочки в каждом узле элемента можно задавать различную толщину оболочки. Но можно использовать и более простой вариант - вводить усредненную толщину элемента.

## **Слоистый элемент типа LAMINATE**

### Краткая характеристика

Подобен элементу типа PLATE, за исключением того, что этот элемент состоит из одного или нескольких слоев (рисунок 5.7). Каждый из слоев (layers) может иметь свои свойства материала. *MSC/NASTRAN for Windows* допускает использование элементов, включающих в себя до 45 слоев.

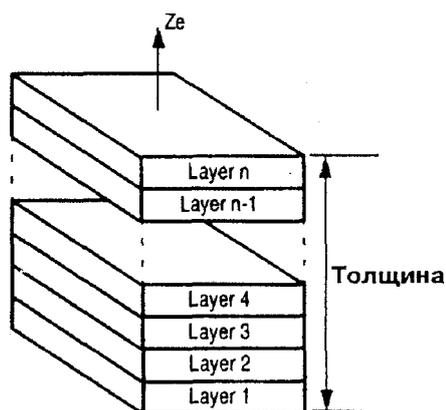


Рисунок 5.7. Конечный элемент типа LAMINATE.

#### Применение

Обычно используется для моделирования многослойных композитных оболочек.

#### Форма

Плоский трехузловой или шестиузловой треугольник, четырехузловой или восьмиузловой четырехугольник.

#### Система координат

Система координат элемента аналогична элементам типа PLATE. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации свойств материала  $X_m$ . Кроме того, оси ориентации свойств материала для каждого из слоев могут быть повернуты в плоскости XY элемента на разные углы.

#### Свойства

Для каждого слоя задаются: материал, угол ориентации свойств материала и толщина слоя. Помимо этого вводятся: расстояние от нейтральной плоскости до нижней поверхности, неконструкционная масса на единицу площади, допустимый сдвиг между слоями и используемая теория разрушения.

### **Плоскодеформируемый элемент типа PLANE STRAIN**

#### Краткая характеристика

Это двухосный плоский элемент. С его помощью формируются двумерные модели конструкций, которые работают одинаково в каждом своем поперечном сечении (условие плоских деформаций), и, таким образом, пространственная задача сводится к плоской.

#### Применение

Моделирование толстостенных объемных тел с постоянным поперечным сечением.

#### Форма

Элемент изображается на экране в виде плоскости, но на самом деле описывает поперечное сечение объемного тела. Использование

треугольников при разбиении сечения эквивалентно использованию объемных элементов типа пятигранной призмы. Четырехугольные плоские элементы соответствуют объемным элементам типа шестигранной призмы. При разбиении плоских сечений можно использовать трехузловые или шестиузловые треугольники, а также четырехузловые или восьмиузловые четырехугольники.

#### Система координат

Система координат элемента аналогична элементам типа PLATE. Установка нужного направления свойств материала осуществляется путем поворота оси ориентации свойств материала  $X_m$ .

#### Свойства

Толщина, расстояние от нейтральной линии до верхнего и нижнего волокон (обычно не используется), неконструкционная масса на единицу площади.

### **5.3 Объемные элементы**

Все элементы этого типа используются при формировании трехмерных моделей объемных конструкций. Все элементы этого типа обеспечивают получение очень подробных и точных результатов расчета, но, в свою очередь, требуют больших затрат времени и усилий при моделировании и анализе модели.

#### **Осесимметричный элемент**

##### Краткая характеристика

Осесимметричный элемент представляет собой двумерный элемент для моделирования сечений объемных осесимметричных тел вращения.

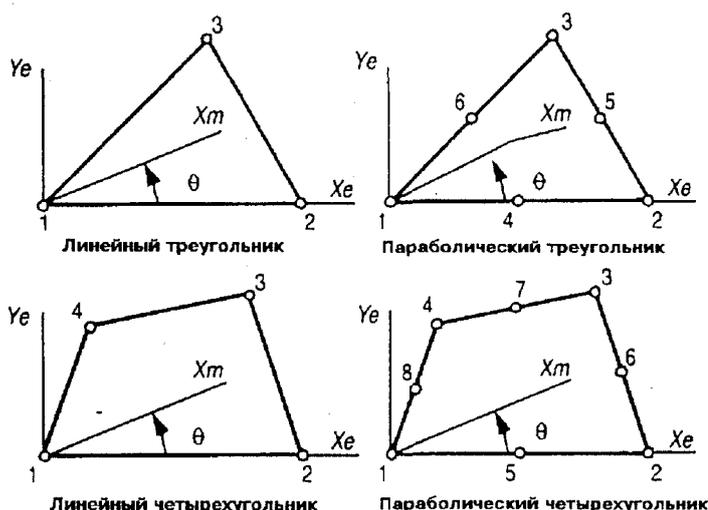


Рисунок 5.8. Осесимметричный конечный элемент

Осесимметричные элементы могут быть сгенерированы в плоскостях  $XU$  или  $XZ$  базовой системы координат, поскольку в препроцессоре предусмотрена возможность автоматического приведения модели в

нужную для правильного решения плоскость (в *MSC/NASTRANfor Windows* это плоскость XZ).

#### Примечание

В процессоре системы для решения осесимметричных задач используются только параболические треугольные элементы с узлами на серединах сторон, но пользователь может применять при генерации сетки и любые другие, приведенные выше элементы, поскольку препроцессор перед выполнением анализа автоматически преобразовывает их в элементы нужного типа.

#### Применение

Моделирование осесимметричных объемных тел с осесимметричными закреплениями и нагрузками.

#### Форма

Элементы изображаются в виде плоскости (рисунок 5.8), но на самом деле представляют собой осесимметричные кольца. Используются трех - или шестиузловые треугольники, четырех - или восьмиузловые четырехугольники.

#### Система координат

Для задания ориентации свойств материала используется угол поворота оси  $X_m$ . Обратите внимание на различие в отсчете углов для осесимметричных и оболочечных элементов. В случае осесимметричной задачи углы отсчитываются относительно глобальной (базовой) системы координат, а не от первой грани элемента, как в случае оболочечных элементов.

#### Свойства

Отсутствуют.

### **Объемный элемент типа SOLID**

#### Краткая характеристика

Трехмерный объемный элемент.

#### Применение

Моделирование любых трехмерных конструкций.

#### Форма

Четырехузловой тетраэдр, шестиузловая пятигранная призма, восьмиузловой гексаэдр, десятиузловой тетраэдр, пятнадцатиузловой пятигранная призма и двадцатиузловой гексаэдр, (рисунок 5.9, 5.10).

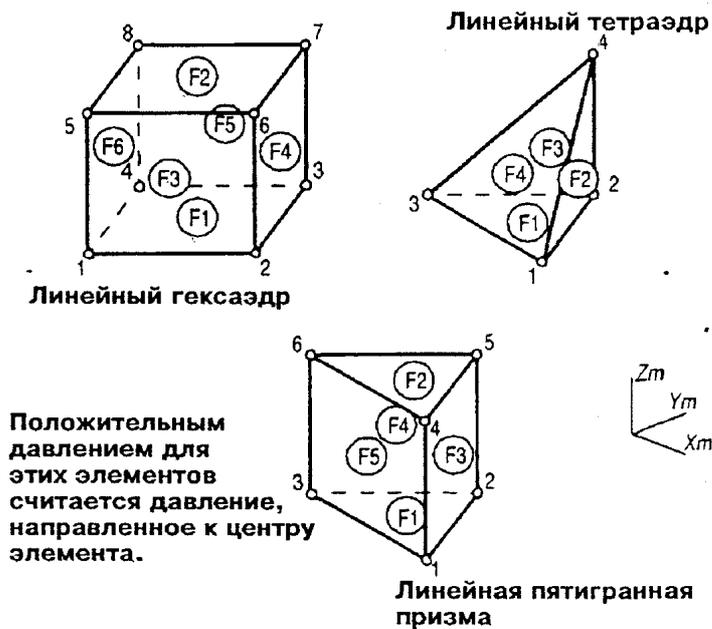


Рисунок 5.9. Конечный элемент типа SOLID первого порядка.

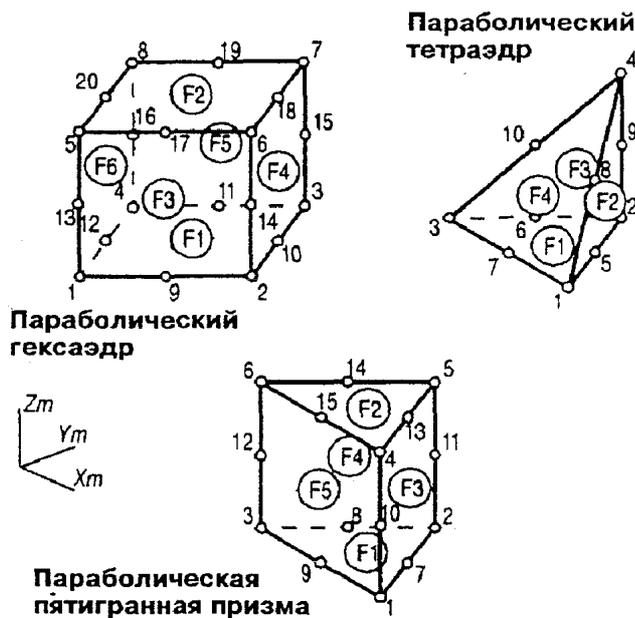


Рисунок 10. Конечный элемент типа SOLID второго порядка.

Система координат

Может быть привязана к каким-либо узлам или приводиться в соответствие с глобальной (базовой) системой координат.

Свойства

Оси ориентации свойств материала, порядок интегрирования.

Примечание

Для задания нагрузки в виде давления необходимо указывать номер грани элемента. На рисунках 5.9, 5.10 показана нумерация граней для всех разновидностей элементов типа SOLID. Номера граней обозначены

символами от F1 до F6, обведенными окружностями. Положительное давление всегда считается направленным к центру элемента.

#### **5.4 Другие элементы**

Эта категория элементов позволяет задавать сосредоточенные массы, жесткие связи и жесткости в общем виде (матрицы жесткости).

##### **Элемент типа MASS**

###### Краткая характеристика

Обобщенный трехмерный массовый и/или инерционный элемент, который размещается в узле конечно-элементной сетки. Центр масс может быть сдвинут относительно узла. Более общей формой этого элемента является элемент типа MASS MATRIX (матрица масс).

###### Применение

Используется для моделирования частей конструкций, обладающих массой, но не имеющих жесткости.

###### Форма

Точка, соединенная с одним из узлов сетки.

###### Система координат

Согласуется с указанной системой координат.

###### Свойства

Масса, моменты инерции ( $I_{xx}$ ,  $I_{yy}$ ,  $I_{zz}$ ,  $I_{xy}$ ,  $I_{yz}$ ,  $I_{zx}$ ), сдвиг центра масс относительно узла.

##### **Элемент типа MASS MATRIX**

###### Краткая характеристика

Обобщенный трехмерный массовый и/или инерционный элемент. Массовые и инерционные свойства записываются в виде матрицы масс размером 6х6. В большинстве случаев проще использовать элемент типа MASS.

###### Применение

Используется для моделирования частей конструкций, обладающих массой, но не имеющих жесткости.

###### Форма

Точка, соединенная с одним из узлов сетки.

###### Система координат

Согласуется с указанной системой координат.

###### Свойства

Верхняя треугольная часть матрицы масс размерностью 6х6.

##### **Жесткий элемент типа RIGID**

###### Краткая характеристика

Элемент представляет собой жесткую связь между выбранным главным узлом и одним или несколькими другими узлами.

*MSC/NASTRANfor Windows* допускает использование не более 12 дополнительных узлов в одном элементе.

#### Применение

Моделирование связей, которые являются очень жесткими по сравнению с остальными элементами конструкции. Используется также для соединения между собой элементов, имеющих различное количество степеней свободы в узле.

#### Форма

Один главный узел, соединенный с дополнительными узлами (от 1 до 12).

#### Система координат

Система координат отсутствует. Работа элемента связана с заданными узловыми степенями свободы.

#### Свойства

Отсутствуют.

### **Элемент типа STIFFNESS MATRIX**

#### Краткая характеристика

Обобщенный жесткостной элемент. Элемент этого типа задается в виде матрицы жесткости размерностью  $6 \times 6$ , которая может быть симметрично приложена (расширена до размера  $12 \times 12$ ) к двум узлам сетки.

#### Применение

Моделирование связей необходимой жесткости между двумя узлами в случае, если эти связи не могут быть адекватно смоделированы с помощью элементов других типов.

#### Форма

Изображается линией. На самом деле конкретной формы не имеет.

#### Система координат

Зависит от числа степеней свободы в узле.

#### Свойства

Верхняя треугольная часть матрицы жесткости размерностью  $6 \times 6$ .