

Раздел 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

UGS.F93, а вернее – его часть FEMAP, имеет все инструменты, необходимые для подготовки к проведению полного цикла вычислений в другой его части – NX Nastran, а также для проведения операций импорта (или экспорта) как геометрических моделей, так и всего проекта в целом из других (или в другие) программы аналогичного назначения (ABAQUS, ALGOR, ANSYS, CAEFEM, GENESIS, LS-DYNA3D, MARC, PATRAN, COSMOS, ...).

На рис.1.1. показан *графический интерфейс пользователя* FEMAP с некоторыми выделенными мнемоническими меню (панелями электронных кнопок), а именно: „**Model**” (под меню, слева), „**View**” (под меню, по центру), „**Entity Display**” (под меню, справа), „**Custom Tools**” (под меню, еще правее), „**Post**” (вертикальная, справа вверху), „**Select**” (вертикальная, справа посередине), „**Panes**” (вертикальная, справа внизу). На рабочем поле модели расположено изображение результатов расчета на поверхности детали (по контуру – **Contour**) в виде изополюс (название величины указано в левом нижнем углу окна с изображением, здесь это **Plate Top vonMises Stress** – эквивалентные напряжения по гипотезе энергии формоизменения (Мизеса) на верхней и нижней сторонах КЭ типа **Plate**). Тело показано в сдеформированном состоянии (с преувеличением для наглядности). Кроме результатов, на поверхности показано конечно-элементную сетку, закрепления в узлах (слева вверху) и приложенную нагрузку (силы). В окне еще изображены глобальные оси X, Y, Z и цветная гамма с градациями выводимой величины.

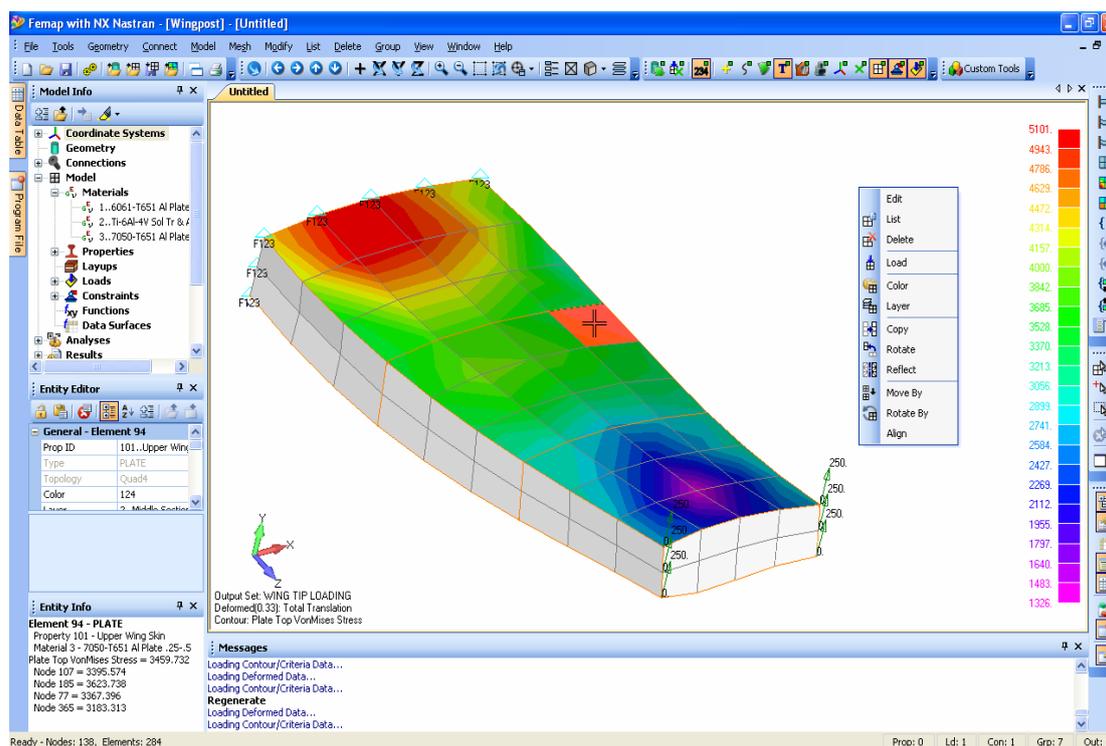


Рис.1.1. Графический интерфейс пользователя программы FEMAP 9.3

Слева от рабочей плоскости изображены информационные панели „**Model Info**”, „**Entity Editor**” и „**Entity Info**”; на последней выведены сведения об избранном с помощью „мыши” конечном элементе (на него указывает перекрестье „мыши”, он выделен другим цветом).

Все инструменты FEMAP могут быть активизированы через главное меню программы, панель быстрого доступа, переключатели, „горячие” и функциональные клавиши, применением мнемонических меню (панелей электронных кнопок).

Активизация **панели быстрого доступа** проводится щелчком правой кнопкой „мышь” где-нибудь на рабочем поле. Наполнение этой панели зависит от действий, которые проводятся. Обычно в это меню помещены (см. рис.1.1, правее от изображения тела) вызовы некоторых диалогов для настраивания рабочей плоскости, вида курсора (**Snap to ...**), изображения на рабочем поле и т.п.

1.1. Меню FEMAP

Главное меню (см. рис.1.1, вверху) имеет такие группы команд и инструментов:

Название	Назначение
File	Загрузка, сохранение, экспорт, импорт, печатание моделей, запуск программы на выполнение расчетов, запуск макросов (*.prg) и посторонних программ, общая настройка интерфейса
Tools	Команды Undo и Redo ; управление параметрами рабочей плоскости, курсора, модели; контроль качества модели, измерение расстояний и углов, поиск и объединение совпадающих примитивов, и другие контрольные функции
Geometry	Построение геометрической модели
Connect	Задание условий контактирования тел, входящих в модель
Model	Построение краевой задачи (модели): введение функций, характеристик материалов, начальных условий и граничных условий (ГУ); управление формированием результатов расчета для их дальнейшей обработки
Mesh	Формирование условий, проведение автоматической и полуавтоматической генерации конечно-элементной модели (КЭМ)
Modify	Редактирование существующей геометрической модели или КЭМ
List	Получение информации о разнообразных данных проекта (в виде списка)
Delete	Удаление различных составляющих модели
Group	Формирование различных групп для сложных моделей, работа с ними
View	Управление просмотром результатов расчетов и функций и т.п.
Window	Настраивание графических окон
Help	Получение справочной информации от фирмы-разработчика программы

1.2. „Горячие” клавиши FEMAP

„Горячих” клавиш очень много (можно самостоятельно назначать новые, см. Раздел 1.5). Полный список можно получить из меню **Help**. Некоторые из тех, что применяются чаще всего, помещены в следующую таблицу:

Клавиши	Назначение
F1, Ctrl+H	Вызов диалога „ Help ” (Помощь)
F2, Ctrl+W	Вызов диалога „ Workplane Management ” изменения рабочей плоскости
F3	Вызов диалога печатания
F4	Команда „ Save... ” сохранения проекта в файле
F5, Ctrl+S	Вызов диалога „ View Select ” (настраивание просмотра результатов расчетов и функций)
F6	Вызов диалога „ View Option ” (настраивание изображений)
F7	Вызов диалога „ View Zoom ” (изменение масштаба изображения)
F8	Вызов диалога „ View Rotate ” (повороты изображения)
Ctrl+D, Ctrl+G	Обновление (регенерация) изображения рабочего поля
Ctrl+Z, Ctrl+Shift+Z	Команды „ Undo ” (отказ от последнего действия) и „ Redo ” (отказ от последней команды „ Undo ”)
Ctrl+A	(Autoscale) – скачкообразное перемещение изображения в центр рабочего поля с изменением масштаба изображения к стандартному
Ctrl+C	Копирование изображения активного окна в буферную память

1.3. Переключатели, мнемонические меню, панели и кнопки FEMAP

Переключатели расположены в правой части панели состояния (горизонтальная полоса внизу, см. рис.1.1). Они вызывают динамические меню, служащие для активации некоторых объектов: свойств КЭ (**Prop**), наборов нагрузок (**Ld**), кинематических граничных условий (**Con**), групп (**Grp**), таблиц для вывода результатов вычислений (**Out**):

Prop: 0 Ld: 106 Con: 1 Grp: 1 Out: 1

Мнемонические меню (панели электронных кнопок) могут вызываться, „прятаться” и перемещаться в любое место графического интерфейса. Они ускоряют поиск и вызов инструментов, к которым есть доступ из главного меню, имеют некоторые дополнительные инструменты. Графическое изображение на кнопках помогает безошибочно избрать необходимый инструмент. Для вызова мнемонических меню можно применять команду **Tools→Toolbars→**, или щелчком правой кнопкой „мыши” тогда, когда ее курсор указывает на свободное место где-нибудь правее от команд меню.

Есть смысл, чтобы чаще всего применяющиеся мнемонические меню всегда присутствовали в графическом интерфейсе. Сразу после инсталляции программы активны мнемонические меню, изображенные на рис.1.1. Сведения о них помещены в следующих таблицах.

Таблица 1.1. Краткая характеристика мнемонического меню „Model”

Вид кнопки	Назначение
	„New” – создание нового рабочего окна (для новой модели); „Open” – открытие файла с моделью; „Save” – сохранение модели в файле
	„Analyze Model” – запуск процесса решения краевой задачи с помощью NX Nastran или другой назначенной программы
	„Import Geometry” – импорт геометрии; „Import Model”, „Export Model” – импорт, экспорт модели; „Import Results” – импорт результатов
	„Copy Picture” – копирование изображения активного графического окна в буфер обмена информацией (clipboard); „Print” – печатание этого изображения

Таблица 1.2. Краткая характеристика мнемонического меню „View”

Вид кнопки	Назначение
	„Dyn Rotate” – динамическое перемещение, масштабирование или поворот модели
	„Pan left” – перемещение модели влево, „Pan right” – вправо, „Pan up” – вверх, „Pan down” – вниз (перемещение на 10% – простое нажатие, на 25% – с нажатой клавишей „Shift”, на 50% – с клавишей „Ctrl”, на 100% – с клавишей „Alt”)
	„Rotation Direction” – переключение направлений вращения модели; „Rotate X”, „Rotate Y”, „Rotate Z” – вращение вокруг осей X/Y/Z соответственно (простое нажатие – вращение относительно осей X, Y, Z; с клавишей „Shift” – относительно осей экрана, с клавишей „Ctrl” – поворот на 90° относительно осей X, Y, Z; с клавишей „Alt” – поворот на 90° относительно осей экрана)
	„Mag Up” – увеличение, „Mag Down” – уменьшение масштаба изображения модели (простое нажатие – на 110%, с клавишей „Shift” – на 150%, с клавишей „Ctrl” – на 200%, с клавишей „Alt” – автоматическое масштабирование)
	„Zoom” – увеличение изображения избранной прямоугольной области; „Prev Zoom” – возвращение к предыдущему масштабу изображения; „View and Rotation Center” – центрирование и вращение модели относительно указанной точки

	Вызов диалоговых панелей: „ View Select ” – для выбора типа рисунка, управление методом отображения модели и данными для обработки результатов; „ View Quick Options ” – для управления отображением объектов модели и меток; „ Layer Management ” – для активизация графических уровней для последующего отображения
	„ View Style ” – вызов динамического меню для установления стиля изображения, отображение/убирание рабочей плоскости, вызов диалоговой панели „ View Options ”

Таблица 1.3. Краткая характеристика мнемонического меню „Post”

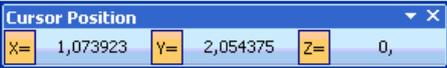
Вид кнопок	Назначение
	Показывать изображение модели в недеформированном („ Select an Undeformed View ”), сдеформированном („ Select an Deformed View ”) виде и с применением анимации („ Select an Animated View ”) соответственно
	Не показывать (первая кнопка „ Select a view with no Contours ”) и показывать цветом назначенную функцию (полученную после проведения анализа): вторая кнопка „ Select a Contour View ” – на контуре, третья кнопка „ Select a Criteria View ” – средние для конечного элемента значения
	„ Post Data ” – вызов диалоговой панели „ Select PostProcessing Data ” для избрания функции, которая будет показываться цветом, а также другой функции, на основе которой будет проводиться анимация
	Переход на другой набор результатов расчетов: следующий („ Switch Post Data to Next Output Set ”) или предыдущий („ Switch Post Data to Previous Output Set ”) соответственно
	Переход на другую функцию из набора результатов расчетов: следующую („ Switch Contour to Next Output Vector ”) или предыдущую („ Switch Contour to Previous Output Vector ”) соответственно
	„ Post Option ” – изменение некоторых параметров изображения (для вызова дополнительного мнемонического меню необходимо инициировать правую часть пиктограммы, т.е.  . Будет рассмотрено в Разделе 8.3.2)

Таблица 1.4. Краткая характеристика мнемонического меню „Select ”

Вид кнопок	Назначение
	Назначение типа объектов (точки, линии, поверхности, объемы, конечные элементы и их узлы, материалы и т.п.), сведения о которых (избранных на рабочем поле) будут помещаться на информационной панели „ Entity Info ”. Внимание: после такого назначения динамические изменения изображения модели (вращение, изменение масштаба, перемещение) возможны только после вызова панели „ Dynamic Display ” кнопкой „ Dyn Rotate ” (див табл. 1.2)
	„ Selector Mode ” – для активации других способов выбора объектов модели
	„ Selector Actions ” – для назначения действий, которые будут реализованы при избрании объектов модели
	„ Selector Clear ” – для очищения списка активных объектов модели, избранных с помощью инструментов мнемонического меню „ Select ”
	„ Snap Mode ” – выбор метода фиксации местоположения графического курсора: „ Screen ” – фиксация исключена; „ Grid ” – фиксация по ближайшей точке рабочей плоскости; „ Point ” – по ближайшей геометрической точке; „ Node ” – по ближайшему узлу конечно-элементной модели

Есть значительное количество других мнемонических меню (см. таблицу 1.5).

Таблица 1.5. Краткая характеристика других мнемонических меню

	Ориентация модели для обзора
	Вывод текущих значений координат курсора
	Часть команд панели „ View Quick Options ”: назначение типов объектов модели, которые будут изображаться на экране монитора (также см. предпоследнюю строку табл. 1.2)
	Форматирование текста
	Команды для создания твердотельной модели
	Команды для создания поверхностей
	Команды для создания прямых линий
	Команды для создания окружностей и их частей (дуг)
	Команды для создания сплайновых линий
	Команды для создания линий на поверхностях
	Команды для редактирования линий
	Команды для создания сетки конечных элементов
	Команды для задания нагрузок
	Команды для задания закреплений
	Команды для отображения/скрытия информационно-навигационной панели „ Model Info ”, панелей редактирования модели „ Entity Editor ” и „ Data Surface Editor ”, информационных панелей „ Entity Info ”, „ Messages ” и „ Data Table ” и т.п.
	Команды для вызова инструментов SA Toolkit (Structural Analysis Toolkit for Nastran) и TMG (Advanced Nonlinear Theory and Modeling Guide) соответственно

Пояснительный текст о назначении электронных кнопок (да и других объектов) выводится, как это принято в Windows, на полосе состояния, в ее левой части.

Подробнее команды мнемонических меню будут рассматриваться по мере необходимости.

ФЕМАР имеет информационно-навигационную панель „**Model Info**”, панели редактирования модели „**Entity Editor**” и „**Data Surface Editor**”, информационные панели „**Entity**

Info”, „Messages” и „Data Table”, панели программирования „API Programming” и „Program File”.

Информационно-навигационная панель „Model Info” (см. рис.1.2-а) позволяет проводить навигацию и рассматривать текущее состояние каждой из модели, разрабатываемой в FEMAP.

Включает такие объекты, как: **Coordinate Systems** (системы координат); **Geometry** (геометрия); **Connections** (соединение) с градацией на **Properties** (свойства), **Regions** (регионы) и **Connections** (соединения); **Model** (модель) с градацией на **Materials** (материалы), **Properties** (свойства), **Loads** (нагрузки), **Constraints** (ограничения), **Functions** (функции) и **Data Surfaces** (данные поверхности); **Analyses** (анализ); **Results** (результаты); **Views** (изображения); **Groups** (группы); **Layers** (уровни).

Если навести курсор „мыши” на любой объект информационно-навигационной панели „Model Info” и щелкнуть правой кнопкой „мыши”, появится динамическая диалоговая панель, набор команд которой соответствует объекту. Эти панели целесообразно рассматривать в других Разделах, при необходимости.

На информационной панели „Messages” появляются все сообщения FEMAP, в частности отчеты о результатах выполнения команд. Обычно эту панель располагают ниже рабочего поля. Она не имеет электронных кнопок, т.е. не выполняет никаких команд. Для ее полной очистки удобно дважды инициировать кнопку „Messages” на панели „Panels” (см. табл. 1.5).

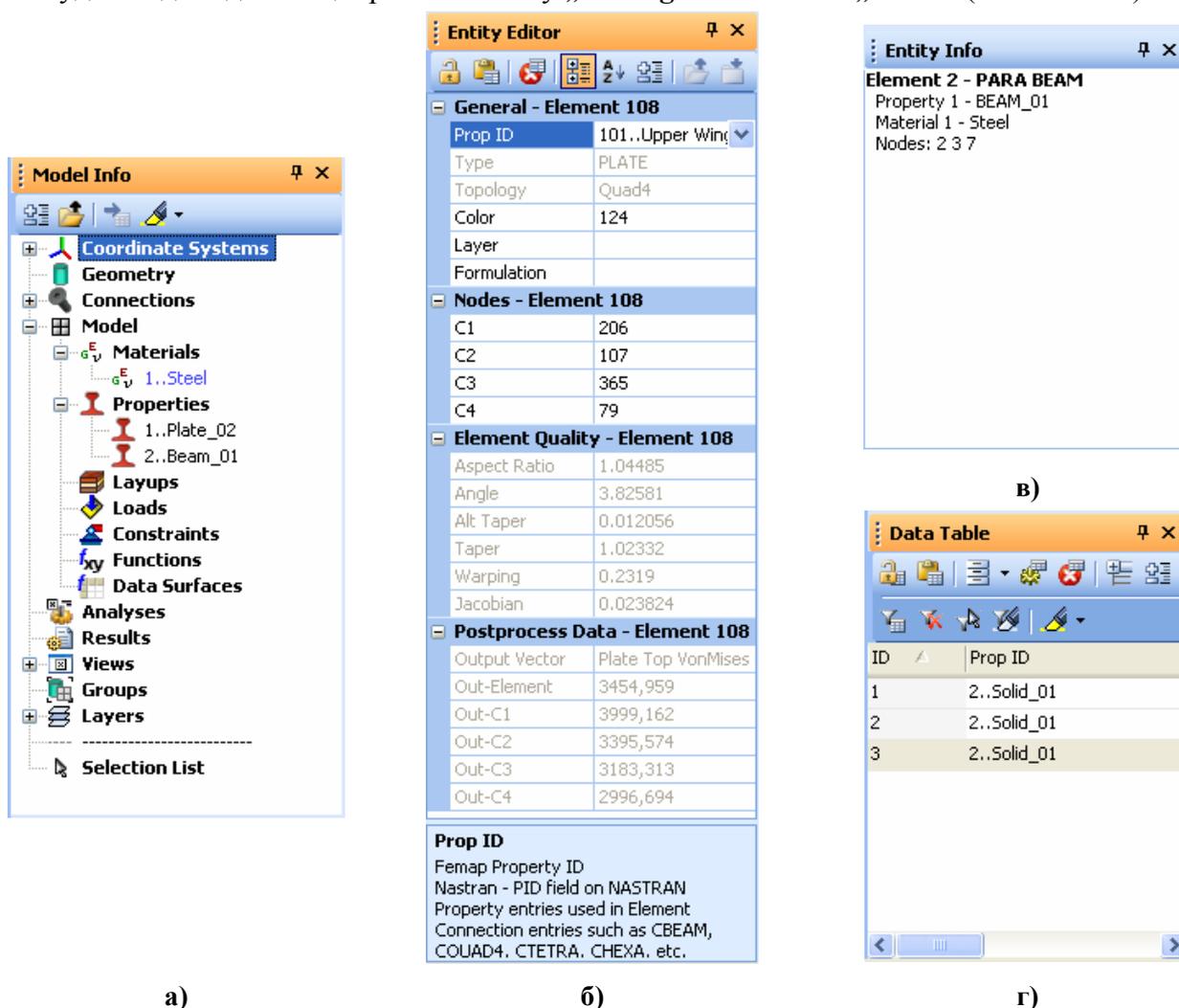


Рис.1.2. Панели FEMAP: а) – информационно-навигационная „Model Info”; б) – редактирования модели „Entity Editor”; в), г) – информационные „Entity Info” и „Data Table”

Еще одна панель – „Entity Editor” (редактор объектов, см. рис.1.2-б). Избрание объектов для панели „Entity Editor” может проводиться на ней, а также с применением: мнемониче-

ского меню „Select” (см. табл. 1.4), панелей „Model Info” и „Data Table”. На панели „Entity Editor” можно редактировать значения некоторых атрибутов объекта, а именно тех, при избрании которых появляются кнопки списка избрания или вызова диалоговых панелей.

На информационные панели „Entity Info” (см. рис.1.2-в) и „Data Table” (см. рис.1.2-г) выводятся сообщения об объектах, избранных „мышью” после избрания типа объектов с помощью мнемонического меню „Select” (см. таблицу 1.4). Но на панели „Entity Info” появляются сообщения об одном объекте, а на панели „Data Table” – обо всех последовательно избранных. Панель „Entity Info” имеет несколько электронных кнопок. Объяснения к ним помещены в таблице 1.6.

Таблица 1.6. Краткая характеристика электронных кнопок панелей „Model Info”, „Entity Editor”, „Entity Info” и „Data Table”

	„Collapse/Expand” – свернуть / развернуть („дерево” модели)
	„Reload from Model” – вернуть предыдущие значения для (избранной) модели (в случае введения неверных данных)
	„Send to Data Table” – передать данные на панель „Data Table”
	„Show When Selected” – показать объекты (на рабочем поле, другим цветом), что отобраны (имеет варианты изображения: „Off” (отключено), „Highlight” (освещение), „Transparent Highlight” (прозрачное освещение), „Show Selected Only” (показывать только избранный объект); а также переключатели „Show Label” (показывать метки), „Show Normals” (показывать нормали) и команду Highlight Color... → для изменения цвета освещения)
	„Lock/Unlock” – блокирование / разблокирование данных
	„Copy to Clipboard” – копирование таблицы в буферную память
	„Clear All” – удалить все данные
	„Categorized” – сортировать по категориям
	„Alphabetic” – сортировать в алфавитном порядке
	„Update Model” – обновить модель (становится активной после введения изменений). Если не дать эту команду, все сделанные изменения будут проигнорированы после перехода к другому объекту
	„Show/Hide Columns” – показывать / не показывать в таблице колонки данных (выбор названий колонок в появляющемся списке)
	„Add Output Columns” – прибавить колонки по исходным данным
	„Show/Hide Group Header” – показывать / не показывать заголовки групп
	„Filter Rows” – вызвать фильтр строк (см. рис.1.3)
	„Clear Filter” – удалить все назначения в фильтре
	„Update Selection to Visible Rows” – обновить данные в видимых строках
	„Show Visible Rows” – показывать видимые строки

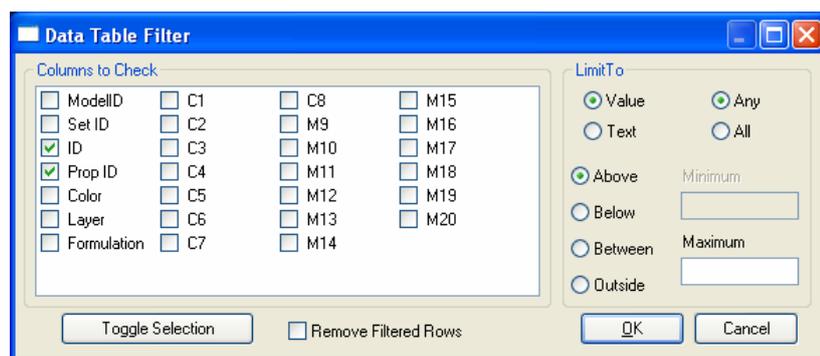


Рис.1.3. Диалоговая панель фильтра таблицы данных

На панели „Data Table Filter” (см. рис.1.3) выбираются те атрибуты объекта, которые будут показываться в таблице „Data Table”. После их избрания есть смысл инициировать кнопку „Toggle Selection”, чтобы согласовать список выбранных атрибутов. В секции „Limit To” (лимиты) радиокнопками „Value” (числовое значение) или „Text” (текст)

выбирается тип объекта, а „Any” (любой из избранного типа) и „All” (все) – которые рассматривать; для типа „Value” радиокнопками „Above” (выше), „Below” (ниже), „Between” (между) и „Outside” (извне) выбираются необходимые признаки, а в полях „Minimum” и „Maximum” устанавливаются лимитированные значения; для типа „Text” появляется поле „Contains” (содержание). Есть опция „Remove Filtered Rows” (удалить фильтрованные строки).

Заголовки колонок таблицы „Data Table” еще содержат указатели направления сортировки: вверх или вниз. Для изменения направления достаточно сделать на заголовке щелчок левой кнопкой „мыши”.

Двойной щелчок левой кнопкой „мыши” на названии панелей переводят их последовательно во „встроенное” или „отделенное” состояние.

На панелях FEMAP 9.3 появились кнопки „забывчивого” пользователя (см. табл. 1.7), которые вызывают диалоги для создания, выбора, поиска или отображение объектов, без которых дальнейшая работа на панелях невозможна.

Таблица 1.7. Кнопки „забывчивого” пользователя на диалоговых панелях FEMAP

Вид	Объяснение	Вид	Объяснение
	Создание функции		Создание контактного Property
	Создание материала		Создание таблицы
	Создание Property для будущих КЭ		Создание координатной системы
	Создание слоев для КЭ типа Laminate		Создание уровня
	Создание точки		Выбор „твердых” тел из списка
	Поиск в файловой системе		Отображение избранных объектов

На многих панелях есть кнопка „Pick ^”, с помощью которой изменяется принцип избрания объектов. В частности, если после ее инициации избрать вариант „Coordinate”, то появится панель „Coordinate Selection”, изображенная на рис.1.4.

На ней из списка „In CSys” выбирается координатная система, иницируются опции „X”, „Y” и/или „Z” (те, что есть в избранной системе), назначается принцип избрания: „Above” (больше), „Below” (меньше), „Outside” (извне), „Between” (между) или „At Location” (в месте), задаются значения „Min”, „Max”, „Location” (положение) и/или „Tolerance” (точность при поиске). После команды „OK” на диалоговой панели, из которой вызвалась описанная панель „Coordinate Selection”, будет сформирован список объектов, отвечающих указанным критериям.

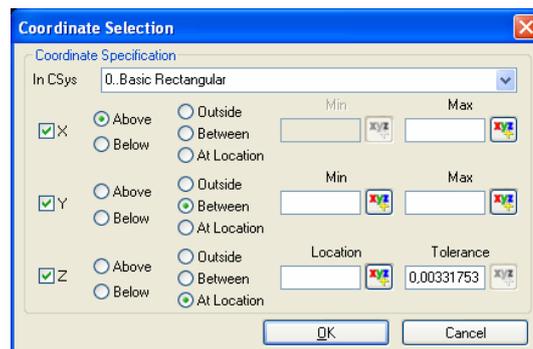


Рис.1.4. Панель избрания объектов по координатам

1.4. Файлы FEMAP и NX Nastran

В папке ...Femap93\Examples фирма-разработчик предоставляет пользователю примеры применения программы (в виде рабочих файлов проектов разных форматов); в папках ...Femap93\ pdf, ...Femap93\TMG\doc\femap, ...Femap93\TMG\doc\femap\tutorials – тексты описаний-инструкций в форматах .pdf и .html, а также соответствующие файлы модели в формате .mod.

FEMAP использует несколько файлов-библиотек (с расширением имени .esp) для сохранения данных о материалах, функциях, свойствах конечных элементов и т.д. Они расположены в папках ...Femap93, ...Femap93\SAToolkit\femap, ...Femap93\TMG\femap\bas, ...Femap93\TMG\femap\com, ...Femap93\TMG\femap\exe. При необходимости их расположение можно изменить (см. Раздел 1.5).

Каждый проект, который рассматривается в FEMAP, сохраняется в одном файле (битового формата), расширение имени которого .mod. Можно создать (операция экспорта) дру-

гой файл проекта – с расширением имени **.neu** (FEMAP Neutral). Он текстовый, часто меньший в размере, нежели **.mod**, поэтому рекомендуется для продолжительной сохранности проектов, а также применяется при переносе проектов в другие программы.

FEMAP может создавать еще такие типы файлов:

- **.pro**, **.prg** – программные файлы – макросы (отформатированная запись или нет);
- **.bas** или **.bax** – сценарии, создаваемые языком сценариев FEMAP BASIC.

Геометрическую часть проектов можно передавать в другие программы (экспорт) или получать от них (импорт). Для этого могут применяться несколько форматов: файлы с расширением имени **.sat**, **.x_t**, **.igs**, **.stp**, **.stl**, **.dfx** и прочие (подробнее см. Раздел 2.2).

В FEMAP есть процедура обслуживания файла для сохранения проекта (с расширением имени **.mod**). Ее рекомендуют применять:

- после импорта модели из другой программы (см. Раздел 2.1) для проверки ее целостности;
- сразу после удаления некоторых объектов модели с целью их восстановления, если это почему-то невозможно сделать командой отката „**Undo**” (или комбинацией клавиш „**Ctrl**+”**Z**”); или после краха системы или программы. Дело в том, что при удалении объектов на самом деле удаляется не вся информация об объекте, а лишь ссылка на него. Пространство с информацией об удаленном объекте может быть использовано для сохранности других данных лишь со временем, поэтому гарантий восстановления удаленного объекта нет, но существует вероятность этого;
- для уменьшения размера файла сохранения модели **.mod** (в нем удаляются все незакрытые и высвобожденные при удалении объектов места).

Для этого дается команда **File→Rebuild...**, появляется диалоговая панель с вопросом „**OK to Fully Rebuild and Compact Database? Choosing No will just verify that all entities reference other existing entities**” (ОК, чтобы целиком восстановить и уплотнить базу данных? Выбор **No** только проверит, что все ссылки на другие объекты существуют) и кнопками „**Yes**”, „**No**”, „**Cancel**”. Отчет о результатах появляется в окне сообщений.

Внимание: после уменьшения размера файла (уплотнения) восстановление удаленных объектов командой „**Undo**” становится невозможным.

При проведении вычислений NX Nastran создает информационные файлы в рабочей папке, а также временные файлы в рабочей папке и в папке **...Temp** операционной системы. Это файлы с расширениями имен:

- **.dat**, **.nas** – данные о краевой задаче (текстовый формат, создается для передачи сформулированной краевой задачи в программу NX Nastran, а также вследствие операции экспорта краевой задачи для некоторых других программ);
- **.op2**, **.xdb** – результаты расчета краевой задачи программой NX Nastran: температуры, перемещения, напряжения, ... (битовые);
- **.f04** – информация об условиях выполнения расчетов (текстовый);
- **.f06** – сообщения о предупреждениях, ошибках, ... (текстовый);
- **.master**, **.dball** – файлы рестарта;
- **.log**, **.scr**, **.tmp**, **.plt**, **.pch**, ... – другие вспомогательные файлы.

При каждом запуске процесса расчета создаются новые версии вспомогательных файлов. Поэтому их время от времени необходимо пересматривать и удалять ненужные, особенно **.master**, **.dball**.

Примечание 1.1. Любую последнюю команду можно быстро вызвать таким образом: правая кнопка „мыши”, в динамическом меню избрать „**Previous Command...**” (предыдущая команда).

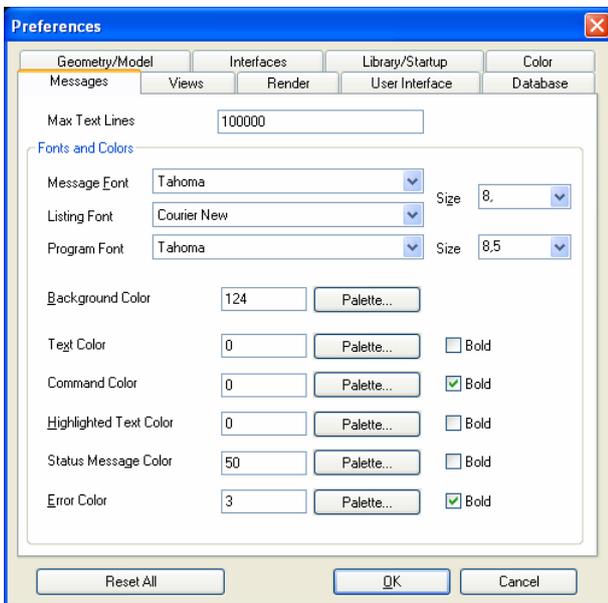
1.5. Настройка FEMAP

В FEMAP есть параметры, которые действуют для всей модели. Их можно устанавливать (изменять) когда угодно: в начале или в процессе создания проекта. Есть смысл делать это в начале, потом изменять при необходимости. Настройки, действующие на всю модель,

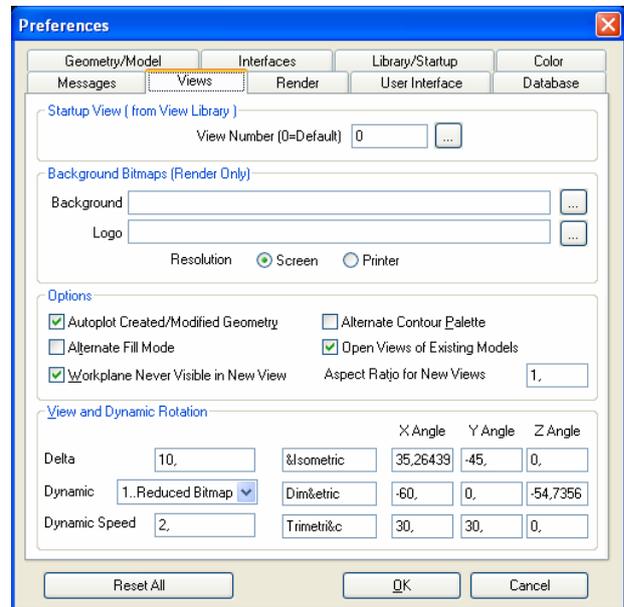
проводятся через диалоговую панель „Preferences” (вызывается командой **File**→**Preferences...**), имеющую 9 панелей:

- „Messages” – оформление сообщений и списков. Параметр „Max Text Lines” (см. рис.1.5-а) указывает максимальное количество строк сообщений, которые можно увидеть на панели „Messages” (сообщений), поскольку не всегда количество строк, установленное по умолчанию, достаточно;

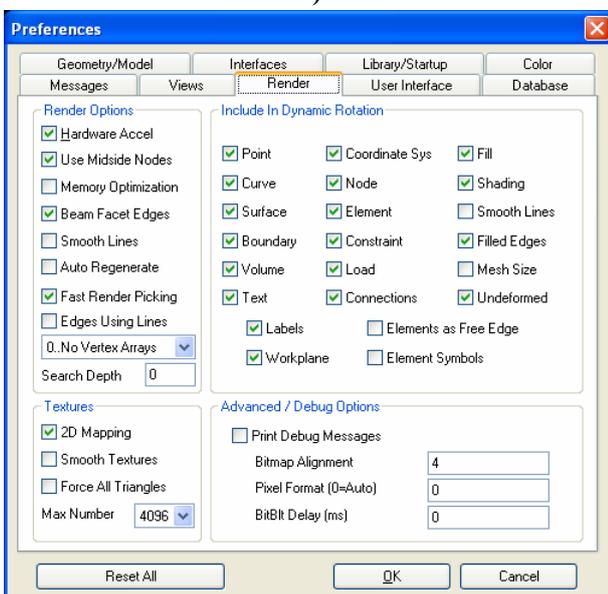
- „Views” – установка некоторых параметров изображения модели, в частности, начальных значений углов для изометрии, диметрии и триметрии (см. рис.1.5-б);



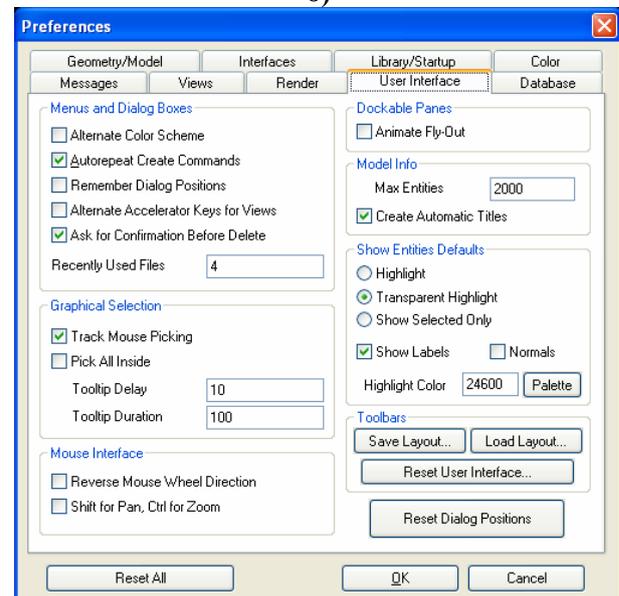
а)



б)



в)



г)

Рис.1.5. Диалоговые панели настраивания: а) – оформления сообщений; б) – установления некоторых параметров изображения модели; в) – настраивания графического оформления элементов; г) – оформления меню и панелей инструментов

- „Render” – установка опций и назначение величин, которые настраивают скоростной качественный графический режим изображения элементов моделей (см. рис.1.5-в). Опции: „**Hardware Accel**” – подключить аппаратное ускорение (если оно предусмотрено видеокартой ПЭВМ), „**Memory Optimization**” – оптимизировать память, „**Beam Facet Edges**” – изменить вид сечения балочного КЭ, „**Smooth Lines**” – сглаживать линии, „**Auto Regenerate**” – автоматически регенерировать изображение (после любого изменения). Опция „**Use Midside**

Nodes” (использовать промежуточные узлы конечно-элементной сетки) позволяет еще улучшить изображение геометрии объектов, но и этот режим требует большие ресурсы от ПЭВМ. Опция „**Vertex Arrays**” (аппаратная обработка массивов вершин, может не поддерживаться видеокартой), имеет три значения: „**No**”, „**Partial**” (частичная) и „**Full**” (полная обработка). Опции секций „**Include in Dynamic Rotation**” (включить в динамическое вращение) и „**Advanced/Debug Options**” (вывод в файлы информации о проблемах с видеоадаптером или дисплеем) не нуждаются в особых объяснениях; хотя значения в полях „**Bitmap Alignment**” и „**Pixel Format**” – стандартные, их можно изменять лишь по указанию программы. Опции секций „**Textures**” позволяют использовать двумерную текстуру вместо одномерной (**2D Mapping**) или сглаживать одномерные (**Smooth Textures**), все четырехугольные грани изображать с помощью треугольных (**Force All Triangles**), выбирать максимальный размер текстуры (**Max Number**). **Внимание:** при возникновении проблем с качеством изображения нужно установить или отменить соответствующую опцию;

- „**User Interface**” – оформление меню и панелей инструментов (см. рис.1.5-г);

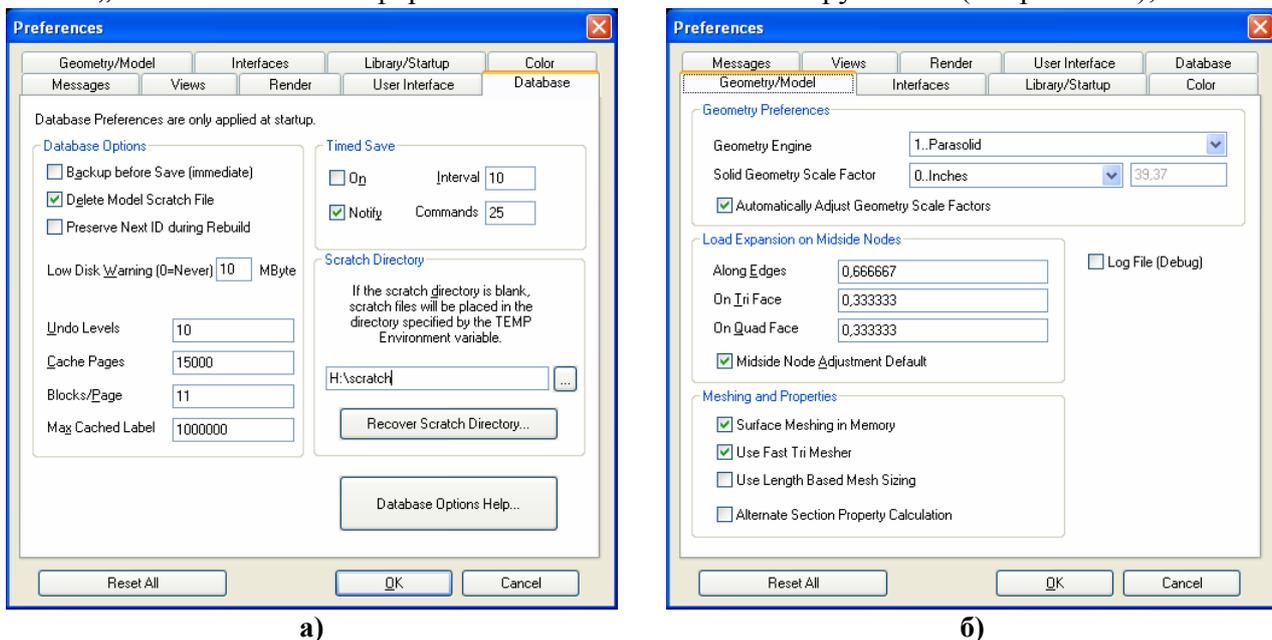


Рис.1.6. Диалоговые панели настраивания: а) – базы данных и параметров запуска; б) – параметров геометрического ядра и импорта геометрии

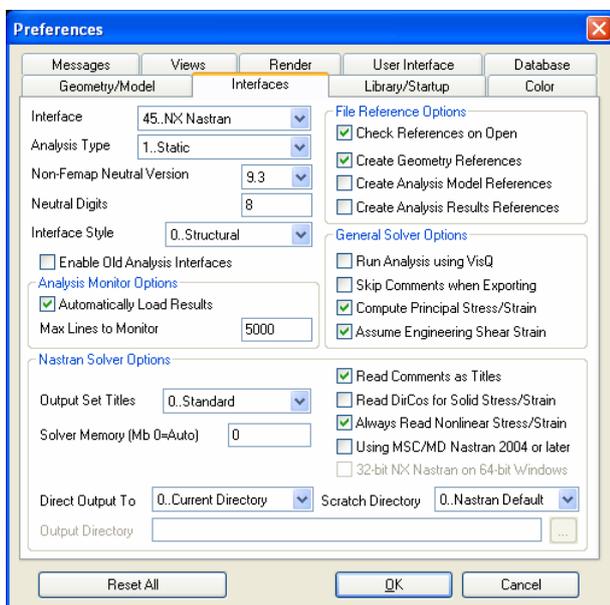
- „**Database**” – настраивание взаимодействия FEMAP с файлом данных проекта *.mod (см. рис.1.6-а). Опция „**Backup before Save (immediate)**” указывает на создание резервной копий файла данных проекта. Опция „**Delete Model Scratch File**” указывает на то, что временная копия файла данных проекта будет удаляться при завершении работы программы. Использование этих опций увеличивает надежность в работе с проектом. Параметр „**Low Disk Warning**” указывает, при каких размерах свободной памяти на магнитном носителе программа начнет выдавать предостережение. Параметр „**Undo Levels**” указывает на максимально возможное количество шагов назад (до 90). Параметры „**Cache Pages**” и „**Blocks/Page**” назначают размер оперативной памяти ПЭВМ, которая может быть выделенной для кэширования файла проекта (нужно значение 4 Кбт (в FEMAP 9.3 это размер одного блока памяти) умножить на значение этих двух параметров), причем этот размер рекомендуют устанавливать не больше, чем тот, что свободен при работе операционной системы (запустить „Диспетчер задач”, считать данные из поля „Физическая память”), а также соответственно рекомендациям таблицы 1.8. Параметр „**Max Cached Label**” определяет максимально возможный номер (ID) любого объекта модели. В секции „**Timed Save**” указывается, или проводить автоматически сохранение модели в файле (**Notify**), или сообщать об этом (**On**), с каким интервалом это делать (**Interval**, мин.) или после выполнения скольких команд (**Commands**). В секции „**Scratch Directory**” можно указать (изменить) пути к временным файлам проекта;

Таблица 1.8. Рекомендации относительно установления размеров Cache pages и Blocks/Page

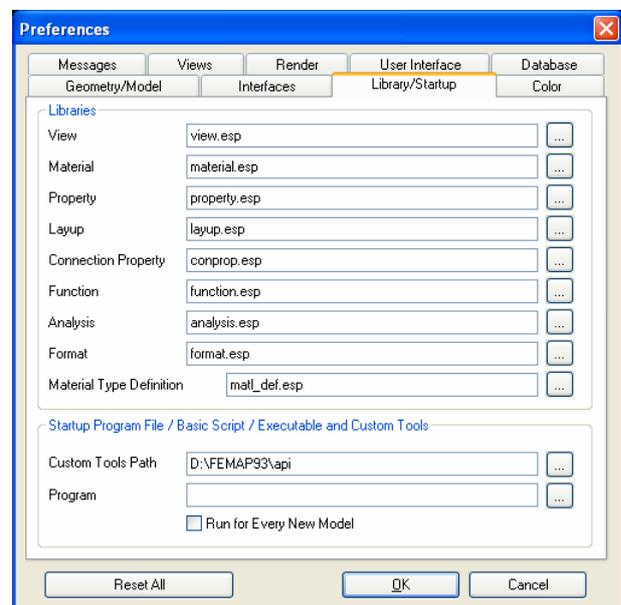
RAM, Mb	Cache pages	Blocks/Page
64	6000	1
128	8000	2
256	12000	3
512	15000	5
1024	15000	11

- „Geometry/Model” – установка параметров геометрического ядра и импорта геометрии (см. рис.1.6-б). В окне „Geometry Engine” можно изменить тип ядра построения геометрии (**0.Standard** или **1.Parasolid**). Параметр „Solid Geometry Scale Factor” – коэффициент перерасчета размеров при импортировании геометрии, когда изменяется метрическая система. Значение 39.37 – при переходе от миллиметров к дюймам и наоборот. „Родная” для FEMAP система – английская (дюймы). Поэтому при импортировании „своей” геометрии изменений (при значении 39.37) не происходит. При импортировании геометрии из программ, где система – миллиметры, для сохранности метрической системы коэффициент должен быть равным 1000, или ему кратным (например, 1.0 при преобразовании из миллиметров в метры). Установленная опция „Surface Meshing in Memory” указывает, что процесс создания конечных элементов (КЭ) на поверхности тела будет проводиться в операционной памяти ПЭВМ, а опция „Use Fast Tri Mesher” – что для создания треугольных КЭ будет использоваться быстрый алгоритм;

- „Interfaces” – изменение некоторых назначений в диалогах, которые действуют „по умолчанию” (см. рис.1.7-а): „Interface” – программа-анализатор, которая будет применяться; „Analysis Type” – тип краевой задачи; „Non-FEMAP Neutral Version” – установление версии файла типа „FEMAP Neutral” (с расширением имени .neu) для экспорта модели в программы CAEFEM, CDA/Spring, CFDesign, SINDA/G или другие; „Neutral Digits” – количество значащих цифр в действительных числах (в файле *.neu); „Interface Style” – соответ-



а)

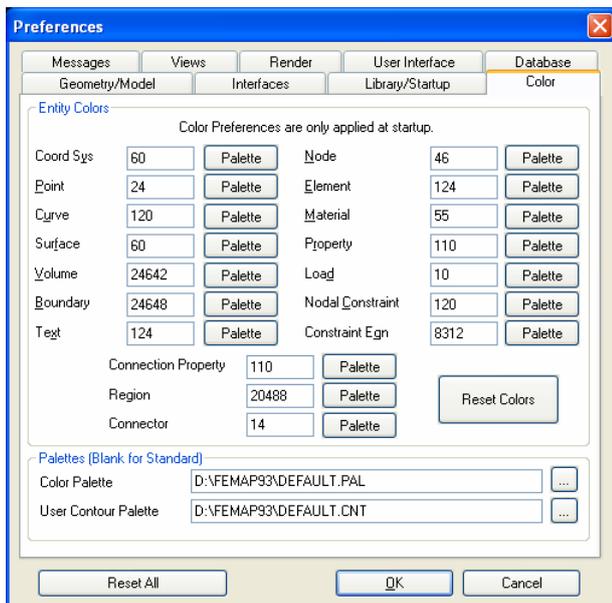


б)

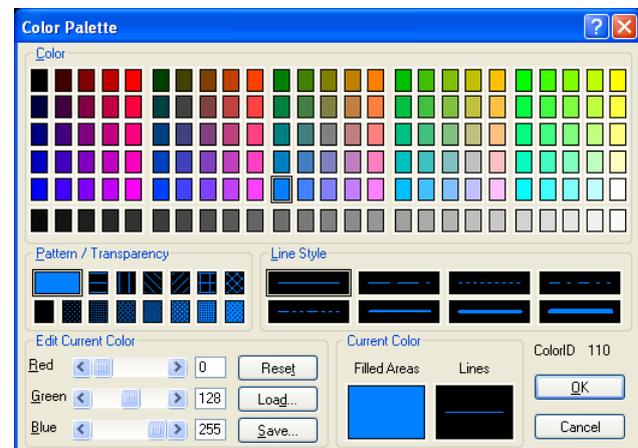
Рис.1.7. Диалоговые панели настраивания: а) – интерфейса; б) – путей к библиотечным файлам и программам с параметрами запуска

вие интерфейса FEMAP (команд меню, диалогов) типу краевой задачи: „**0..Structural**” – полный интерфейс, „**1..Thermal**” или „**2..Advanced Thermal**” – только для задач теплопроводности (последнее – для создания модели для программы SINDA/G); „Enable Old Analysis Interface” – включить старый интерфейс запуска процесса анализа. Опции секции „Analysis Monitor Options”: „Automatically Load Results” – автоматически читать результаты расчета

при применении „**Analysis Monitor**”; „**Max Lines to Monitor**” – максимальное количество строк сообщения. Опции секции „**Nastran Solver Options**” (опции структурного анализатора Nastran): „**Output Set Titles**” – вводить заголовки наборов результатов (из файла **.op2**); „**Solver Memory (Mb 0=Auto)**” – фиксированный или автоматически рассчитанный размер памяти для проведения анализа, в Мбт; „**Direct Output To**” – направление для вывода результатов (**0..Current Directory** – текущая папка, **1..Model File Directory** – папка с моделью, **2..Specified Directory** – предназначенная папка: становится активным поле „**Output Directory**” и кнопка для назначения папки); „**Read Comments as Titles**” – читать комментарии как заголовки; „**Read DirCos for Solid Stress/Strain**” – читать направляющие косинусы для напряжений и деформаций трехмерного КЭ; „**Always Read Nonlinear Stress/Strain**” – всегда читать нелинейные напряжения/деформации; „**Using MSC/MD Nastran 2004 or later**” – использовать MSC/MD Nastran 2004 или более поздние версии; „**Scratch Directory**” – папка для временных файлов с вариантами: **0..Nastran Default**, **1..Femap Scratch**, **2..Output Directory**; „**32-bit NX Nastran on 64-bit Windows**” – использовать 32-битную версию NX Nastran в 64-битной версии Windows. Опции секции „**File Reference Options**” (опции ссылки на файлы): „**Check References of Open**” – проверять ссылки при открытии; „**Create Geometry References**” – создавать ссылки для геометрии; „**Create Analysis Model References**” – создавать ссылки для модели; „**Create Analysis Result References**” – создавать ссылки для результатов анализа. Опции секции „**General Solver Options**”: „**Run Analysis using Vis**” – использовать менеджер визуальной очереди (**Vis** – от **Visual Queue Manager for FEMAP**); „**Skip Comments when Exporting**” – пропустить комментарии при экспортировании модели; „**Compute Principal Stress/Strain**” – вычислять главные и средние напряжения, интенсивность напряжений (Мизес), максимальный сдвиг и т.п. (при введении результатов расчетов); „**Assume Engineering Shear Strain**” – вычислять деформацию сдвига по инженерной модели;



а)



б)

Рис.1.8. Диалоговые панели настраивания:

а) – цвета для элементов геометрической и физической модели; б) – цветной палитры

• „**Library/Startup**”. Опции секции „**Libraries**” – пути к библиотечным файлам (с расширением имени **.esp**, см. рис.1.7-б и Раздел 1.4). Можно изменить их расположение в этом диалоге, но этого не достаточно: FEMAP сам не может создать такой файл на новом месте. Поэтому нужно его туда переписать или создать новый (сначала пустой) с помощью другой программы. FEMAP будет в начале работы автоматически запускать для выполнения файл, указанный в секции „**Startup Program File / Basic Script / Executable**”, причем опцией „**Run for Every New Model**” можно указать, что это нужно делать для каждой новой модели (таким образом можно выполнять некоторую подготовительную работу). В той же секции мож-

но избрать/изменить папку, в которой находятся файлы с программами для разнообразных инструментов FEMAP (**Custom Tools Path**).

- „Colors” – установка цвета для элементов геометрической и физической модели краевой задачи (см. рис.1.8-а). Кнопки „Palette” вызывают панель настраивания цветной палитры (см. рис.1.8-б).

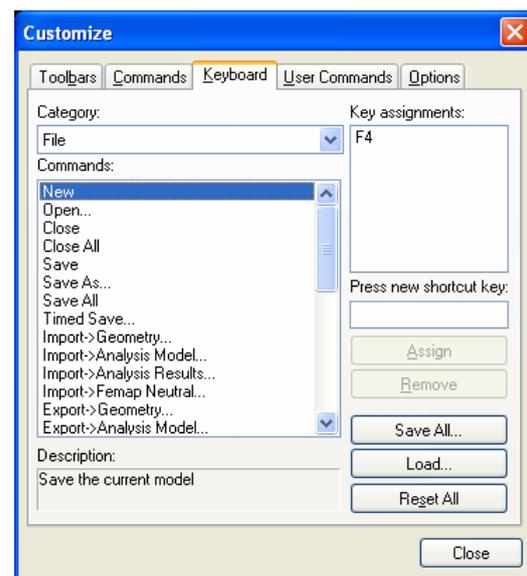
Если изменения проведены неудачно, можно возвратиться к исходным значениям – есть кнопка „Reset All”.

Командой **Tools→Toolbars→Customize** вызывается диалоговая панель „Customize”, на которой есть пять вкладок:

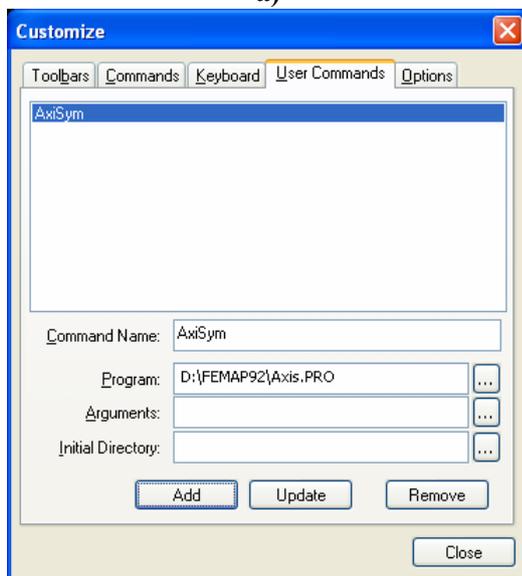
- „Toolbars” – вызов/отмена мнемонических меню (панелей электронных кнопок);
- „Commands” – добавление/исключение команд меню (путем „перетаскивания” с помощью „мыши”) – см. рис.1.9-а;



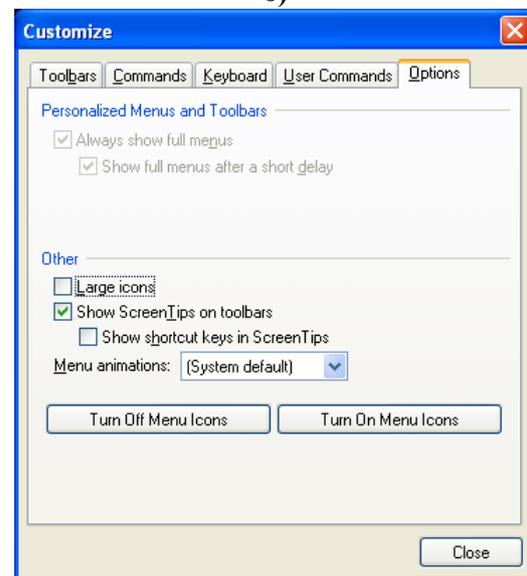
а)



б)



в)



г)

Рис.1.9. Диалоговые панели: а) – назначения „горячих клавиш”; б) – создания меню пользователя; в) – команд пользователя; г) – дополнительных опций настраивания мнемонических панелей

- „Keyboard” – назначение „горячих клавиш”: нужно в окнах „Category” и „Command” выбрать команду, установить курсор „мыши” в окне „Press new shortcut Key”, нажать одну клавишу или их комбинацию, дать команду „Assign” – новая комбинация появится в поле „Key as-

signments” (см. рис.1.9-б). Кнопками „**Remove**” или „**Reset All**” можно избавиться от одного или всех неудачных назначений. Кнопками „**Load...**” или „**Save All...**” соответственно можно загрузить назначения из файла *.key или сохранить все назначения в таком же файле;

- „**User Commands**” – создание команды пользователя. В поле „**Command Name**” назначается название команды; в поле „**Program**” с помощью кнопки находится в файловой системе необходимый файл (в частности, это может быть файл запуска программы NX Nastran, или макроса). Кнопки „**Add**”, „**Update**”, „**Remove**” служат соответственно для добавления, редактирования или удаления команды. После добавления имя команды появляется в поле вкладыша. На рис.1.9-в показано, в качестве примера, создание команды **AxiSym** на основе созданного прежде макроса (см. Раздел 1.8.3);

- „**Options**” – дополнительное налаживание мнемонических панелей (см. рис.1.9-г). Опции „**Always show full menus**” и „**Show full menus after a short delay**” в этой версии FEMAP еще не задействованы. Опция „**Large icons**” увеличивает размер иконок. Есть опции „**Show Screen Tips on toolbars**” (показывать экраны подсказки на панелях инструментов) и „**Show shortcut keys in Screen Tips**” (показывать горячие клавиши на экранах подсказки). Есть несколько вариантов „**Menu animations**” (анимации меню): „**System default**” (системная), „**Random**” (случайная), „**Unfold**” (разверткой), „**Slide**” (слайдом), „**Fade**” (исчезающая) и „**None**” (нет). Кнопками „**Turn Off Menu Icons**” и „**Turn On Menu Icons**” можно отключить/включить мнемонические изображения напротив команд меню.

Когда вызвана диалоговая панель „**Customize**”, появляется возможность для редактирования изображений электронных кнопок. Для этого достаточно щелкнуть правой кнопкой мыши на кнопке и на панели „**Customize Icon Menu**” (меню налаживания иконок), что появится, избрать одну из опций или команд. Изображение кнопок можно дополнять текстом (опция „**Image and Text**”), заменять на текст (опция „**Text Only**”), снова возвратиться до одного изображения (опция „**Default Style**”). Если дать команду „**Edit Button Image...**”, то появится редактор кнопок „**Button Editor**” (см. рис.1.10) с почти стандартным набором инструментов. Есть и другие команды, позволяющие очищать, удалять, копировать, изменять название кнопок и т.п.

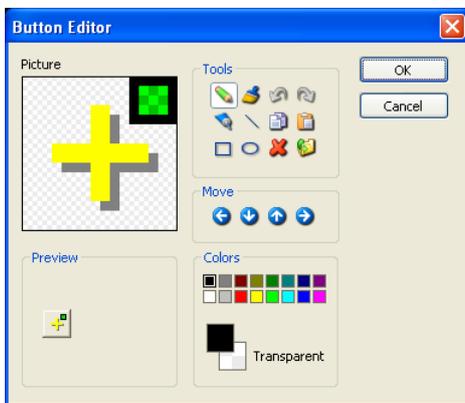


Рис.1.10. Редактор изображения кнопок

Настройки запоминаются в файле с расширением имени **.esp**.

Настройки, действующие на отдельные элементы модели, проводятся через диалоговую панель „**View Options**” (вызывается командой **View→Options...**, или клавишей „**F6**”) – см. рис.1.11-а.

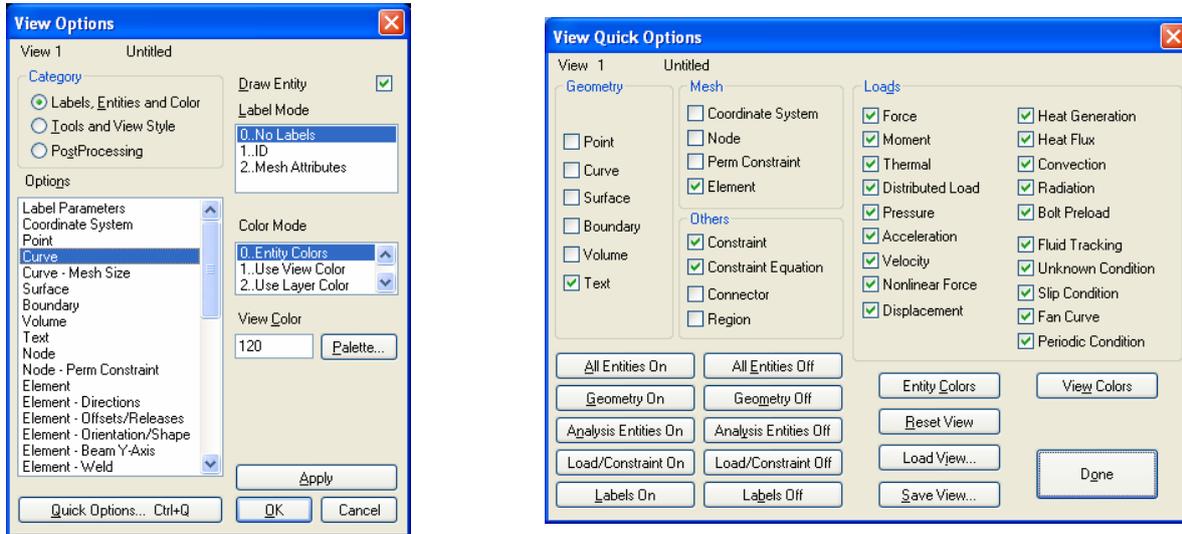
Для внесения изменений в изображение объектов модели нужно в секции „**Category**” избрать вариант „**Labels, Entities and Color**” (обозначения, объекты, цвет), „**Tools and View Style**” (инструменты и стиль изображения) или „**PostProcessing**” (результаты расчетов), потом в списке „**Options**” – необходимый объект, а в списках, что появятся правее (имеют изменяющиеся названия), – какую характеристику объекта отображать

дополнительно (верхний список), какой стиль и цвет назначать изображению объекта. Полный перечень объектов списка „**Option**” приведено в Приложении 1.

Если нужно убрать из рабочего поля все изображения какого-то объекта, нужно снять опцию „**Draw Entity**” (отобразить объект). Для быстрых групповых изменений (отображать / не отображать) можно кнопкой „**Quick Options...**” вызвать диалоговую панель „**View Quick Options**” (см. рис.1.11-б).

Как будет выглядеть изображение после изменений, можно увидеть, не выходя из диалога (кнопка „**Apply**”). Например, после избрания в списке „**Option**” для объектов „**Curve**” (кривые) и установления в списке „**Label Mode**” значения „**1.ID**” возле каждой из кривых на рабочем поле будет изображен ее номер. Еще пример: для отображения ориентации и формы

линейных КЭ на панели „View Options” нужно в категории „Labels, Entity and Color” для параметра „Element – Orientation/Shape” (ориентация и форма КЭ) включить опцию „Show Orientation” (показать ориентацию), а в списке „Element Shape” (форма КЭ) – вариант „1..Show Fiber Thickness” (показать толщину). Более подробная информация – в Разделе 8.3.



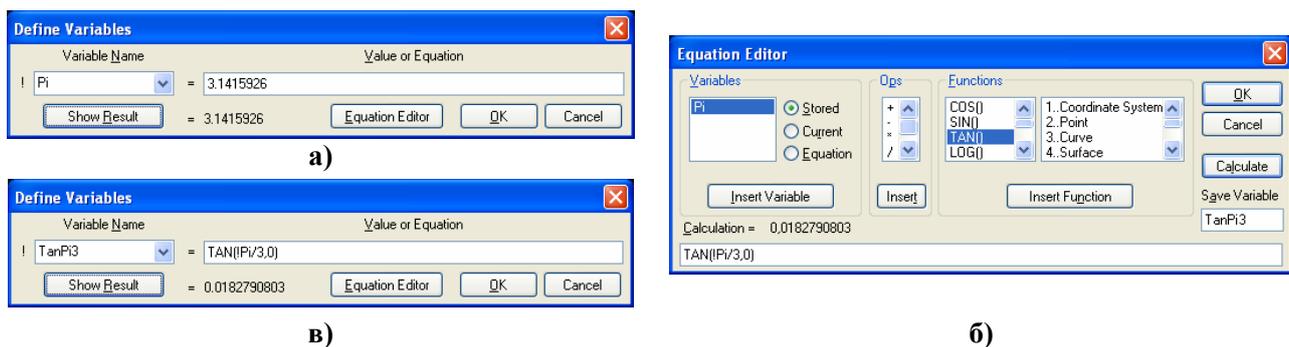
а)

б)

Рис.1.11. Диалоговые панели настраивания вида объектов:
а) – View Option; б) – View Quick Option

Командой **Tools**→**Parameters...** вызывается диалоговая панель „Model Parameters”, с помощью которой можно изменить основные параметры *текущей* модели: цвет изображения объектов, следующий ID объектов, шаг приращения ID объектов, названия активных наборов нагрузок (**Load Set**), закреплений (**Constraint Set**) и вывода результатов (**Output Set**); активных координатной системы (**CoordSys**), уровня (**Layer**), группы (**Group**), материала (**Material**), „свойства” (**Property**), формат вывода результатов (**Output Format**) и установленную величину допуска на проведение операций слияния (**Merge Tolerance**).

Внимание: если величина допуска (**Merge Tolerance**) – больше или меньше, чем нужны объектам, что принимают участие в операции, то ее результат будет неподвижным. Иначе говоря: если результат преобразований – неудовлетворительный, то нужно уменьшить или увеличить значение параметра „Merge Tolerance”.



в)

б)

Рис.1.12. Диалоговые панели создания постоянных или переменных

Иногда в текущем проекте необходимо много раз применять некоторые константы или переменные, которые рассчитываются с помощью формул. Их можно создать один раз, потом использовать. Командой **Tools**→**Variables...** вызывается диалоговая панель „Define Variables” (см. рис.1.12-а). На ней с клавиатуры вводятся имя (только из букв, первые 5 знаков должны быть оригинальными) и значение или формула. Результат просматривается с помощью кнопки „Show Result”. Действия нужно закончить командой „OK”. Кнопкой „Equation Editor” вызывается одноименная панель (см. рис.1.12-б), где формулу можно ввести с помощью диалогов в секциях „Variables”, „Opt” и „Function” и кнопок „Insert ...”.

Имя будущей переменной нужно ввести в поле „**Save Variable**”. После команды „**OK**” переменная появится в списке введенных переменных (см. рис.1.12-в), будет доступной в дальнейшем в соответствующих диалоговых полях.

1.6. О создании расчетной модели

Начало нового проекта (модели тела и краевой задачи) осуществляется командой **File**→**New**. Появляется рабочее поле с изображением глобальных осей.

Как это было указано во Вступлении, начальным этапом проведения вычисления элемента конструкций является анализ геометрии тела, условий его нагружения, свойств материала, из которого тело сделано, создание расчетной модели.

Расчетная модель – это некоторое *приближение* к реальному телу из реального материала с реальными условиями эксплуатации. Она позволяет провести численный расчет тела. Т.е. это тоже геометрия, материал, начальные и граничные условия, но приспособленные к расчетам.

Основные рекомендаций относительно создания расчетной модели:

- NX Nastran имеет ограниченный набор типов краевых задач, которые может решать (см. Введение). Если необходимого варианта нет, нужно решить: можно ли заменить желательный вариант на другой, какая будет погрешность от такой замены;

- NX Nastran имеет ограниченный каталог конечных элементов (КЭ). Все КЭ имеют свои свойства. Поэтому еще до начала процесса создания конечно-элементной сетки (КЭС) нужно ознакомиться с каталогом КЭ (см. Приложение 3), выбрать КЭ, удовлетворяющие условиям задачи. Нужно также решить, сколько их иметь в разных частях тела. В местах концентрации напряжений и в окрестности приложения граничных условий сетку КЭ нужно сгущать, в других – разрежать;

- поскольку метод конечных элементов (МКЭ) позволяет почти точно описать геометрию тела с помощью КЭ, то можно сохранить все геометрические детали. Но для приближенного расчета некоторые несущественные детали можно и опустить, особенно те, что не являются концентраторами напряжений (не вызывают возникновения значительных локальных напряжений), или не являются критическими, учитывая прочность или жесткость (их опускание или упрощенное моделирование не приведет к значительному перераспределению деформаций и напряжений в теле или той его части, что представляет интерес);

- трехмерными КЭ можно описывать любое тело, но это может потребовать неоправданные затраты памяти ПЭВМ и времени. Поэтому всегда нужно искать возможность относительно „снижения” размерности тела и/или его частей. Например, если тело имеет стержневые и тонкостенные части, то их желательно моделировать одномерными (стержневыми) или двумерными (пластинчатыми) КЭ соответственно. Если тело имеет геометрическую ось симметрии и все условия нагружения тоже симметричны относительно этой оси, то задача осесимметрична и ее желательно рассчитывать с применением осесимметричных КЭ;

- если тело имеет геометрическую плоскость симметрии и все условия нагружения тоже симметричны относительно этой плоскости, то симметричную часть нужно „отбросить”, заменив „удаленную” часть граничными условиями симметрии: запретить степени свободы узлов конечно-элементной сетки (что будут расположены на этой плоскости) в направлении, перпендикулярном к этой плоскости. Таких плоскостей может быть несколько: 1, 2 или 3.

- если задача характеризуется полной циклической симметрией (когда циклически повторяются как геометрия, так и условия нагружения), то необходимо моделировать лишь характерную часть конструкции (вырезать поверхностями), создавать такую КЭС, чтобы узлы на этих поверхностях расположились одинаково, потом для соответствующих узлов КЭС на этих поверхностях вводить связи (чтобы они имели одинаковые решения);

- сосредоточенные силы в МКЭ можно прикладывать только в узлах конечно-элементной сетки (КЭС). Поэтому при построении КЭС в этом месте нужно предусмотреть

наличие такого узла. Но нужно помнить, что в реальности сосредоточенных сил не бывает, что приложенная в узле сосредоточенная сила вызовет значительную местную концентрацию напряжений. Поэтому желательно избегать приложений сосредоточенных сил, заменять их на распределенные на некоторой площади нагрузки;

- в зависимости от модели материала: линейно-упругий или упруго-пластический, изотопный или неизотропный (и прочие) требуются разные термофизические (задачи теплопроводности) и термомеханические характеристики материалов, из которых „сделан” КЭ. Их нужно иметь.

Итак, процесс создания расчетной модели – не простой, даже творческий.

От него зависит многое, в частности: соответствие модели реальной ситуации, точность и время проведения расчетов. Чтобы создать модель правильно, а также оценить результаты расчетов, необходимо иметь профессиональные знания из таких дисциплин, как сопротивление материалов, теория упругости, теория пластичности и ползучести, строительная механика, теория колебаний, численные методы и т.п.

1.7. Уровни и группы

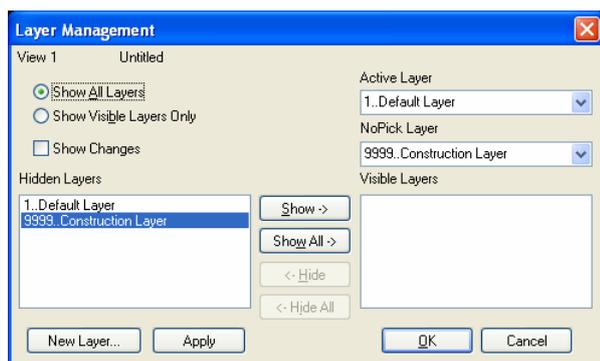
Уровни и группы – вспомогательные инструменты FEMAP. Распределенные в разных уровнях и собранные в разных группах объекты модели легче просматривать, редактировать, обрабатывать и т.п.

1.7.1. Уровни

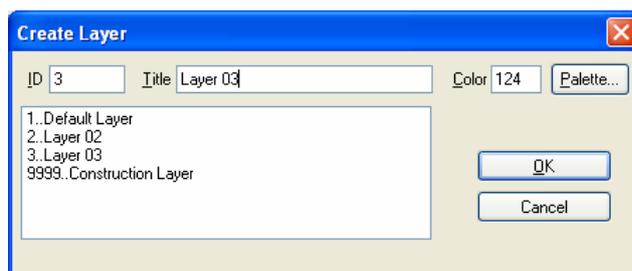
Для удобства работы с моделью отдельные ее части можно создавать в отдельных уровнях (**Layers**), как это обычно делается в других CAD-программах. Уровни (слои) целесообразно применять:

- при импортировании в модель дополнительных объектов из файлов;
- когда модель сложная, имеет неизменные объекты и такие, в которых возможны изменения;
- когда модель имеет объекты, изображение которых на экране мешают друг другу.

Для работы с уровнями удобно использовать электронную кнопку  на панели инструментов, что под главным меню (или команду **View→Layers...**). Появляется диалоговая панель „Layer Management” (см. рис.1.13-а).



а)



б)

Рис.1.13. Диалоговые панели работы с уровнями: а) – установка активного уровня и уровней, что рассматриваются; б) – создания нового уровня

Для создания *нового* уровня кнопкой „New Layer...” (другой вариант – командой **Tools→Layers...**) вызывается диалоговая панель „Create Layer” (см. рис.1.13-б). На ней необходимо назначить отсутствующие в списке новые „ID” и „Title”; с помощью кнопки „Palette” (или редактированием цифрового значения) можно назначить основной цвет уровня (потом в секции „Color Mode” диалоговой панели „View Option” его можно избрать параметром „2..Use Layer Color”). Всегда присутствуют уровни **1..Default Layer** и **9999..Construction Layer**. Последний служит для сохранения объектов, что создаются программой автоматически как основа для объектов высшего уровня (точки – для линий, линии

– для поверхностей, поверхности – для объемов). Именно этот уровень помещается в список „**NoPick Layer**” (не отображаемый уровень).

На диалоговой панели „**Layer Management**” (см. рис.1.13-а) один из уровней устанавливается *активным* (в списке „**Active Layer**”). Именно в него с этого момента будут вводиться новые объекты. Но на экране отображаются объекты не активного уровня, а тех уровней, что избраны на диалоговой панели (см. рис.1.13-а): или всех уровней (радиокнопка „**Show All Layers**”) или некоторых (радиокнопка „**Show Visible Layers Only**”, потом из списка „**Hidden Layers**” (скрытые уровни) необходимо перекинуть нужные уровни в список „**Visible Layers**” (отображаемые уровни)). Опция „**Show Changes**” и кнопка „**Apply**” позволяют увидеть изменения, не выходя из диалога.

Удаление уровней проводится в диалоге „**Entity Selection – Select Layer(s) to Delete**”, что вызывается командой **Delete→Tools→Layers...** Нужно вписать соответствующий уровень „**ID**”, нажать на кнопку „**More**” (**ID** добавляется в список), нажать „**OK**” и подтвердить удаление. **Внимание:** объекты, что были „приписаны” к удаленному уровню, **не удаляются**. Их необходимо выбрать и передать в существующий уровень или удалить, если они уже не нужны. Эти объекты можно увидеть, лишь выбрав для отображения все уровни („**Show All Layers**”).

Для *передачи* объектов другому уровню командой **Modify→Layer→Point...** (или другие объекты) вызывается диалоговая панель „**Entity Selection – Select Point(s) to Modify Layer**” (соответствующая типу объектов), на экране выбираются необходимые объекты и после команды „**OK**” на появившейся диалоговой панели „**Select Layer**” указывается уровень, в который избранные объекты передаются.

1.7.2. Группы

Группы – другой вариант отделения объектов, группированием. Но в отличие от уровней объекты могут одновременно входить в несколько групп, и на экране одновременно можно увидеть объекты или *всех* групп (групп нет или проведена дезактивация групп), или только *одной* группы. Как и уровни, избранная и активная группа – разные вещи: на экране отображаются объекты *избранной* группы, новые объекты вносятся в *активную* группу.

Почти все действия с группами проводятся через команды меню „**Group**”.

Командой **Group→Set...** вызывается диалоговая панель для *создания* группы (вводятся новые номер „**ID**” и название „**Title**”) или *активации* группы (выбирается существующая группа). Кнопкой „**Reset**” на этой панели проводится *дезактивация* группы. Удаление группы – командой **Delete→Group...** (указать **ID**), причем *объекты из проекта не удаляются*.

Избрание группы для отображения: командой **View→Select...** (или клавишей „**F5**”, или кнопкой ) вызывается диалоговая панель „**View Select**”, на ней выбирается радиокнопка „**Draw Model**” и кнопкой „**Model Data**” инициируется панель „**Select Model Data for View**” (другой вариант: правая кнопка „мыши”, команда **Model Data...**), на которой нужно выбрать вариант „**Active**” (отображать активную группу) или в списке „**Select**” секции „**Group**” выбрать нужную группу и дать команду „**OK**”. В рабочем окне будут показаны только объекты выбранной группы, а в левом верхнем углу – номер группы (начинается с буквы **G**, например, **G2**).

Работа с активной группой в *неавтоматическом* режиме проводится с помощью соответствующих объектов команд меню „**Group**”: „**Text...**” (текст), „**Point...**” (точки), „**Curve...**” (линии), „**Surface...**” (поверхности), „**Volume...**” (объемы), „**Solid...**” („твердые” тела), „**CoordSys...**” (координатные системы), „**Node...**” (узлы), „**Element...**” (элементы), „**Property...**” (свойства), „**Load...**” (нагрузки), „**Constraint...**” (закрепления), „**Connection Property...**”, „**Connection Region...**” или „**Connector...**” (контактные условия) и т.п. При этом необходимо выбрать метод избрания объекта: „**ID...**” (номер), „**Color...**” (цвет), „**Layer...**” (уровень), „**Property...**” (свойство), „**Surface...**” (поверхность) и прочие. Появится соответствующая методу стандартная диалоговая панель выбора объектов. Для добавления избранных объектов в активную группу необходимо выбрать радиокнопку „**Add**”, для исключения из группы – „**Exclude**”, для перемещения в другую группу – „**Remove**”.

Для *автоматических* действий с элементами групп есть такие команды и опции (общую часть команды, а именно **Group**→**Operations**→, опускаем):

- „**Evaluate...**”: обновить данные об объектах группы после удалений и изменений правил (выполнять перед добавлением новых объектов);
- „**Evaluate Always...**” (опция): режим автоматического обновления данных в группе. Значительно замедляет работу программы, не дает возможности выбирать объекты графическим способом;
- „**Automatic Add...**” (опция): добавление новых объектов автоматически в активную (**Active**) или указанную (**Select**) или никакую (**None**) группу. После включения этого режима давать команду **Evaluate...**или устанавливать опцию „**Evaluate Always...**” не нужно;
- „**Renumber...**”: перенумеровать объекты группы после изменения ее содержимого (указать „**Yes**”, поскольку, судя по информации в „**Help**”, указание „**No**” может привести к потере объектов при добавлении новых);
- „**Copy...**”: создать копию активной группы (с новыми „**ID**” и „**Title**”). Есть опция „**Evaluate**” (обновить), однако, судя по информации в „**Help**”, обновления проводится всегда;
- „**Condense...**” (сжать): также создается новая группа, но правило выбора объектов будет преобразовано к „**ID**” объектов;
- „**Booleans...**” (логические). Появляется панель „**Group Booleans**” для создания новой группы (для нее предлагается „**ID**” и ввести „**Title**”; иначе будет создано название с названием команды и номерами групп, которые использовались, например „**Add 1,3,5**”), в которую будут включены объекты из нескольких избранных групп (из списка, с помощью клавиш „**Ctrl**” или „**Shift**”) по назначенному логическому правилу: „**Add / Combine**” (прибавлять / комбинировать), „**Subtract**” (вычитать; „основную” группу нужно выбрать в окне „**Subtract From**”), „**In All**” (из объектов, которые одновременно есть во всех избранных группах), „**Only in One**” (из объектов, встречающихся только в одной группе, т.е. только из уникальных объектов), „**Not in Any**” (из объектов не избранных групп, но без объектов, что есть в избранных группах), „**Not In All**” (не включать общие для избранных групп объекты; нужно выбирать не менее трех групп, иначе результат будет совпадать с вариантом „**Only in One**”);
- „**Add Related Entities...**” (добавить связанные объекты). Появляется панель „**Select Groups for Add Related Entities**”, на которой выбираются группы из списка с помощью клавиш „**Ctrl**” или „**Shift**”. Объекты из избранных групп связываются;
- „**Generate...**”: автоматически генерировать группы из конечных элементов (двумерных или трехмерных) разных свойств. Выбираются КЭ, появляется диалоговая панель (см. рис.1.14-а), где в трех секциях устанавливаются признаки сортировки:

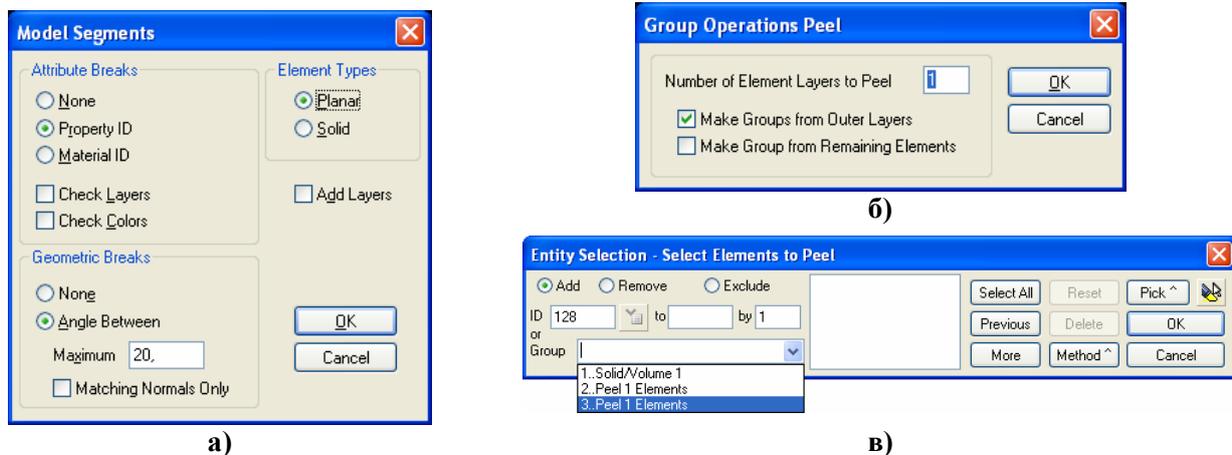


Рис.1.14. Диалоговые панели: а) – автоматического генерирования группы из КЭ; б), в) – снятия верхних слоев трехмерных КЭ

- ♦ в секции „**Attribute Breaks**” (по атрибутам): „**None**” (игнорировать), „**Property ID**” (по номеру свойства) или „**Material ID**” (по номеру материала). Дополнительные условия: „**Check Layers**” и „**Check Colors**” (по уровню и цвету);

- ♦ в секции „**Geometric Breaks**” (по геометрическим параметрам, только для двумерных КЭ): „**None**” (игнорировать), „**Angle Between**” (по углу между двумя нормалью к поверхностям КЭ: если угол – меньше, чем значение в поле „**Maximum**”, то нормали считаются параллельными). Применение опции „**Matching Normals Only**” (вычислять только нормали) может ускорить генерацию в сложных моделях;
- ♦ „**Element Types**” (по типам КЭ): „**Planar**” (двумерные) или „**Solid**” (трехмерные). Если установить опцию „**Add Layers**”, создадутся уровни с отделенными типами КЭ;
- „**Generate Property...**”, „**Generate Material...**” и „**Generate ElemType...**”: генерировать группы КЭ с избранными свойствами, материалами и типами КЭ соответственно; „**Generate Solids...**”: генерировать группу из избранных „твердых” тел;

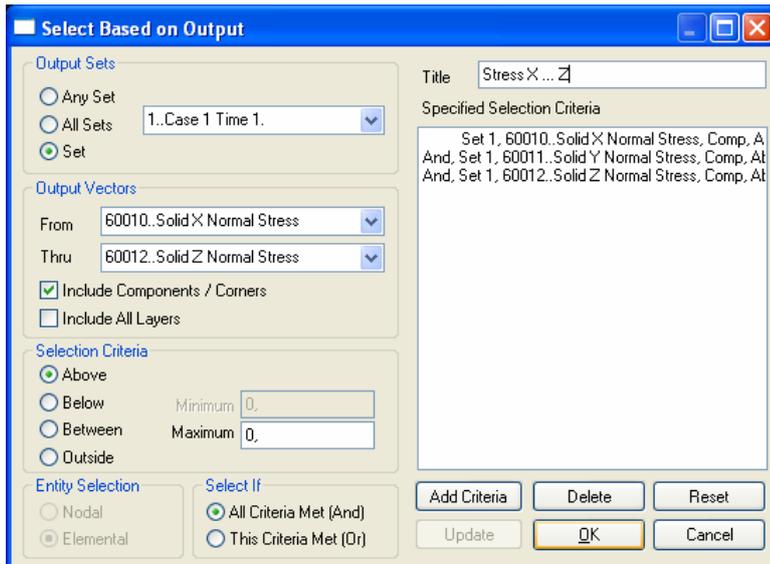


Рис.1.15. Диалоговая панель генерирования групп результатов расчетов

кнопки: „**Above**” (выше), „**Below**” (ниже), „**Between**” (между), „**Outside**” (извне), при необходимости – ввести значение „**Minimum**” и/или „**Maximum**”. В секции „**Entity Selection**” (выбор объекта) указать „**Nodal**” (узлу) или „**Elemental**” (элементные) значения. В секции „**Select If**” (избрать, если) установить или „**All Criteria Met (And)**” (все критерии, которые встретились (И)) или „**This Criteria Met (Or)**” (эти критерии, что встретились (Или)). Кнопками „**Add Criteria**”, „**Delete**”, „**Update**” и „**Reset**” создается и редактируется список в поле „**Specified Selection Criteria**”. Для окончания есть команда „**OK**”;

- „**Generate Superelements...**” (генерировать суперэлементы): появится панель „**Fe-map with NX Nastran**” с вопросом „**OK to Make Groups of all Superelements including Residual ?**” (Сделать группу из всех суперэлементов включительно с последним?). Если дать команду „**No**”, то появится панель „**Superelement ID (0=Residual)**”, на которой в поле „**SE ID**” нужно указать номер будущего суперэлемента. Создается суперэлемент из всех не действовавших в других суперэлементах узлов, которые удовлетворяют требованиям узлов суперэлемента;

- „**Generate Entities on Layer...**” (генерировать объекты из уровня): создается группа, в которую входят все объекты, которые принадлежат к уровню, избранному из появившегося списка. Еще потребуется ответить на вопрос „**OK to Select Only Entities Currently on Layers (NO=Update when Layers change)?**”, т.е. если „**OK**”, то в дальнейшем содержание группы не будет обновляться;

- „**Move to Layer ...**”: перемещать избранные группы в один из существующих уровней;

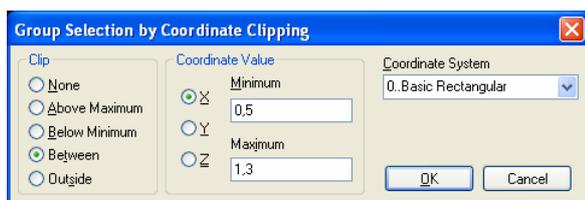
- „**Peel...**”: предоставляет возможность просмотреть глубинные трехмерные КЭ после снятия верхних слоев КЭ. Выбираются КЭ, появляется диалоговая панель „**Group Opera-**

- „**Generate With Output...**”: генерировать группы с результатами расчетов. В секции „**Output Set**” (см. рис.1.15) нужно указать, какие наборы результатов будут задействованы: „**Any Set**” (любой), „**All Sets**” (все), „**Set**” (избрать со списка конкретный набор). В секции „**Output Vector**” указывается диапазон функций: „**From**” (от), „**Thru**” (через). При необходимости инициируются опции „**Include Components / Corners**” (включать компоненты / узлы) и/или „**Include All Layers**” (включать все уровни). В секции „**Selection Criteria**” (критерии выбора) – выбрать одну из радио-

tions Peel” (см. рис.1.14-б). На ней указывается количество слоев КЭ, что будет сниматься (**Numbers of Element Layers to Peel**) и опции для создания групп: всех избранных КЭ (... **Outer ...**) и тех, что остались (... **Remaining ...**). При снятии следующего слоя КЭ нужно избрать из списка „**Group**” последнюю группу (см. рис.1.14-в). Избрание группы для отображения описано в начале этого Раздела.

- „**Select Model...**”, „**Select Mesh...**” и „**Select Region...**”: добавить в активную группу все объекты модели, сетки конечных элементов или контактного региона по правилу: от 1-го до 99999999-го;

- „**Reset Rules...**”: удалить все объекты активной группы и все правила их занесения (очистить группу).



а)



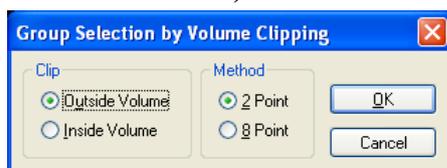
б)



в)



д)



г)

Рис.1.16. Диалоговые панели установления правил вырезки: а) – координатами; б) – „экраном”; в) – плоскостями; г) – объемом; д) – уровнями

Несколько команд **Group**→**Clipping...** позволяют устанавливать правила *отказа* введению *новых* объектов в *активную* группу (вырезка объектов). На диалоговых панелях (см. рис.1.16) выбирается один из вариантов правил:

- „**Coordinate...**” (по координатам): „**None**” (нет ограничений), „**Above Maximum**” (выше), „**Below Minimum**” (ниже), „**Between**” (между), „**Outside**” (за пределами) указанных значений координаты (**X**, **Y** или **Z**) избранной координатной системы (см. рис.1.16-а);

- „**Screen...**” („экраном”, т.е. замкнутой областью). „Экран” задается прямоугольником (**Rectangle**), прямой линией (**2 Point**), треугольником (**3 Point**) или четырехугольником (**4 Point**) с помощью угловых точек (см. рис.1.16-б). Выбирается один из вариантов: за пределами (**Outside**) или внутри (**Inside**) „экрана”;

- „**Plane...**” (плоскостями см. рис.1.16-в). Выбирается номер (один из шести) плоскости, указывается направление вырезания: положительное или отрицательное (относительно нормали к плоскости). После команды „**OK**” указывается плоскость одним из стандартных методов;

- „**Volume...**” (объемом). Выбирается вариант введения объема: двумя точками (точки задают диагональ параллелепипеда) или 8 угловых точек (см. рис.1.16-г). Также указывается направление вырезания: за пределами (**Outside**) или внутри (**Inside**) объема;

- „**Reset Clip...**”: отменить правила вырезания для активной группы. Для каждого варианта правил можно сделать выбор: отменять или нет.

Еще одна команда: **Group**→**Layers...** вызывает диалоговую панель для ограничений номеров уровней для объектов активной группы (см. рис.1.16-д): все (**All**); один указанный

уровень (**Single Layer**); со значениями, большими или равными (**Equal or Above Maximum**), меньшими или равными (**Equal or Below Minimum**) указанному в активном поле „**Maximum**” или „**Minimum**” соответственно; между (**Between (include Min/Max)**), т.е. включительно с предельными); за пределами интервала (**Outside (not Min/Max)**).

Еще раз напомним, что уровни и группы применяются исключительно для облегчения работы с разнообразными объектами модели. Когда модель – сложная, то таких объектов – много или очень много, поэтому применение уровней и групп становится просто необходимостью.

1.8. Функции и макросы

1.8.1. Создание функций

Функции желательно создаваться заранее, поскольку можно сослаться лишь на функцию, существующую в модели. Командой **Model**→**Function...** вызывается диалоговая панель „**Function Definition**” (см. рис.1.17).

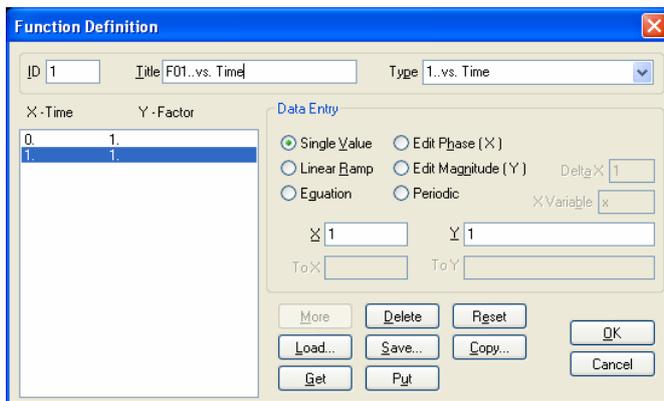


Рис.1.17. Диалоговая панель введения функций

Обязательно нужно избрать тип функции (**Type**, см. таблицу 1.8), указать имя функции (**Title**), при необходимости установить другой „**ID**” функции.

Когда назначается функция на свойства материалов или нагрузку, значение функции **Y** используются, чтобы умножить *постоянные* значения, определенные теми объектами.

Внимание: если тип функции выбран неверно, задача не будет решена. Например, для свойств материалов нужно выбирать тип функции

„**2..vs.Temperature**” (**vs.** – от чего функция зависит, здесь от температуры). Для эволюционных процессов (что протекают во времени: нестационарная теплопроводность, ползучесть и т.п.) следует назначать тип функции „**1..vs.Time**”.

Таблица 1.9. Функции FEMAP

Название функции	Тип аргумента X	Тип функции Y
0..Dimensionless (безразмерная)	нет	нет
1..vs. Time	время	значение (любой тип)
2..vs. Temperature	температура	значение
3..vs. Frequency	частота	значение
4..vs. Stress	напряжение	деформация или значение
5..Function vs. Temp	температура	ID функции
6.. Structural Damp vs. Freq	частота	эквивалентная вязкость демпфирования
7..Critical Damp vs. Freq	частота	критическое демпфирование
8..Q Damping vs. Freq	частота	коэффициент усиления
9..vs. Strain Rate	скорость деформирования	значение
10..Function IDs vs. Strain Rate	скорость деформирования	ID функции
11..vs. Curve Length	длина кривой	значение
12..vs. Curve Param	параметрическая координата	значение
13..Stress vs. Strain	деформация	напряжение
14..Stress vs. Plastic Strain	пластическая деформация	напряжение
15..Function vs. Value	значение	ID функции
16..Function vs. Critical Damp	ID функции	критическое демпфирование
17..vs. Angle of Incidence	Да/Нет (принадлежность углу)	угол
18..vs. Direction of Incidence	Да/Нет (принадлежность направлению)	направление

Внутреннее представление всех функций – табличное. Но вводиться функция может точками (**Single Value**), кусочно-линейным образом с шагом „**DeltaX**” (**Linear Ramp**), с помощью уравнение (**Equation**). В последнем случае можно применять и элементарные функции FEMAP (см. Приложение 2). Введенные значения функции автоматически сортируются соответственно росту аргумента.

Введенные значения можно модифицировать в режимах „**Edit Phase (X)**” – значение аргумента **X**, и „**Edit Magnitude (Y)**” – значение функции **Y**: в полях „**X**” и „**To X**” указываются начальное и конечное значения **X**, потом указываются значения „**Scale**” – множителя, или/и „**Add**” – слагаемого. Введенную функцию можно сделать периодической (**Periodic**): указать диапазон (**X, To X**) и шаг (**Inc X**) копирования и количество копий (**Copies**).

Электронные клавиши диалоговой панели „**Function Definition**” такие: „**More**” (продолжение, т.е. ввести следующие значения функции), „**Delete**” (удалить выделенную строку значений), „**Reset**” (удалить все значения), „**Load...**” (загрузить существующую функцию), „**Save...**” (сохранить функцию в базе данных, т.е. в файле функций **function.esp**), „**Copy...**” (копировать значения из существующей функции, на которую будет указано), „**Get**” (получить значения из буферной памяти, например, от табличного редактора **MS Excel**), „**Put**” (поместить в буферную память).

Когда функция полностью сформирована, можно ее сохранить (**Save...**). Команда „**OK**” позволяет начать введение новой функции.

В режиме введения функции с помощью уравнений (режим „**Equation**”) можно самостоятельно назначать названия аргументов функции, т.е. применять не только **x**, а и, например, **t**. **Внимание**: переменной должен предшествовать знак **!** или **@**. Последний вариант – когда задействована переменная, описанная раньше через функцию. Например, **!w=sin(!x)** и потом **!y=2*@w**.

Примечание 1.2. Если при решении задачи текущее значение аргумента **X** функции выйдет за границы, предусмотренные в применяемой функции, то **NX Nastran** будет использовать соответствующее крайнее значение функции **Y**.

1.8.2. Просмотр графиков функций

В FEMAP есть инструменты просмотра функций, введенных или полученных в результате решения краевой задачи.

Командой **View→Select...** (или клавишей „**F5**”, или кнопкой ) вызывается диалоговая панель „**View Select**”, на ней выбирается радиокнопка „**XY of Function**” и кнопкой „**Model Data**” инициируется панель „**Select Model Data for View**”, на которой нужно в диалоговом окне „**Select**” секции „**Function**” выбрать нужную функцию (с помощью кнопки **Multiple...** – несколько функций) и дважды дать команду „**OK**”. Будет создано новое окно с изображением выбранной функции, которую можно, как и геометрическое изображение, масштабировать или перемещать (роликом „мыши”, кнопками ). Для быстрого доступа к диалогу выбора другой функции можно применять такой вариант: правая кнопка „мыши”, команда **Model Data...**

Если нужно, оформление графику функции можно изменить. Нужно командой **View→Options...** (или клавишей „**F6**”) вызвать диалоговую панель „**View Options**” (см. рис.1.11-а), на ней в секции „**Category**” избрать радиокнопку „**PostProcessing**”, в окне „**Options**” – опцию „**XY Axes Style**”, в окне „**Plot Type**” – тип координатной сетки (обычная, полулוגарифмическая или логарифмическая), в окнах „**Axel color**” (цвет осей), „**X Tics**” (количество нумерованных линий вдоль оси **X**) и „**Y Tics**” указать нужные значения. Просмотреть результат можно не выходя из диалога: нажать кнопку „**Apply**”.

Чтобы быстро возвратиться к отображению модели тела, достаточно нажать электронную кнопку „**View Style**”  и выбрать нужный стиль изображения.

1.8.3. Создание макросов

Макрос – последовательность команд, что записана в файле и может выполняться автоматически после инициации.

Макросы есть смысл создавать для цепи команд (действий), что часто повторяются. Создание макроса очень простое, содержит 3 этапа:

- дается команда **Tools→Programming→Program File**. Появляется панель программирования „**Program File**”. После инициации кнопки  FEMAP готов к созданию макроса;
- выполняются все нужные команды, что войдут в макрос. **Внимание:** для команд нужно использовать клавиши клавиатуры и/или команды *меню*, а не их дублиеры в виде кнопок инструментов. Последовательность действий сохраняется на панели программирования в виде соответствующего кода, который можно редактировать с помощью клавиатуры;
- дается команда окончания создания макроса: снова иницируется кнопка .
- дается команда для сохранения макроса. Появляется стандартная диалоговая панель записи файла (с расширением имени **.pro**). Нужно найти ему место в файловой системе и ввести имя файла.

Созданный макрос есть смысл вызывать командой. Для этого нужно создать соответствующую команду на вкладке „**User Commands**” диалоговой панели „**Customize**” (см. Раздел 1.5 и рис.1.9-в), потом из вкладки „**Commands**” (см. рис.1.9-а) перетянуть ее в меню FEMAP.

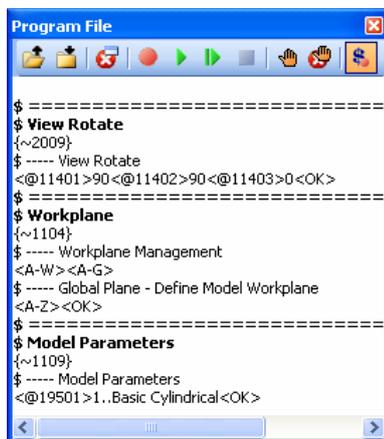


Рис.1.18. Панель программирования с примером текста макроса

Например, в начале процесса создания осесимметричной модели необходимо развернуть глобальные оси так, чтобы ось **Z** была горизонтальной, а ось **X** – вертикальной, а потом – рабочую плоскость расположить в плоскости **XZ**, для чего – повернуть ее вокруг оси **X** на 90 градусов. Обычно это требует много команд „мышью” и время для их выполнения, а макрос, вызов которого помещен в „**Users Menu**”, – лишь одну команду „мышью”, причем макрос никогда не ошибается. Второй этап создания макроса будет содержать такие действия: дать команду **View→Rotate→Model...** (или нажать клавишу „**F8**”); на диалоговой панели „**View Rotate**” внести с помощью клавиатуры значения **X=90, Y=90, Z=0**; дать команду „**OK**”. Потом дать команду **Tools→WorkPlane...** (или нажать клавишу „**F2**”), установить опцию „**Draw Workplane**”, инициировать кнопку „**Global Plane...**”, выбрать вариант „**ZX Plane**” и дать команду „**OK**”. Потом дать команду **Tools→Parameters...**,

выбрать для опции „**Coord Sys**” значение **1..Basic Cylindrical** (чтобы во всех диалогах, где в этом есть потребность, автоматически выбиралась цилиндрическая система координат). На рис.1.18 изображена панель программирования „**Program File**” с текстом этого макроса.

На панели программирования макроса „**Program File**” есть кнопка  для запуска макроса в работу с целью проверки.