

Раздел 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

SPLMS.Fv10.2.0, а вернее – его часть FEMAP, имеет все инструменты, необходимые для подготовки к проведению полного цикла вычислений в другой его части – NX Nastran 7.1, а также для проведения операций импорта (или экспорта) как геометрических моделей, так и всего проекта в целом из других программ (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 вызванными мнемоническими меню (панелями электронных кнопок), а именно: „**Model**” (под меню, слева), „**View**” (под меню, по центру), „**Entity Display**” (под меню, справа), „**Post**” (вертикальная, справа сверху), „**Select**” (вертикальная, справа посередине), „**Panes**” (вертикальная, справа внизу). На рабочем поле модели расположено изображение результатов расчета на поверхности детали (по контуру – **Contour**) в виде изополос (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 (справа сверху) и приложенную нагрузку (силы). В окне еще изображены глобальные оси X, Y, Z и цветовая гамма с градациями выводимой величины.

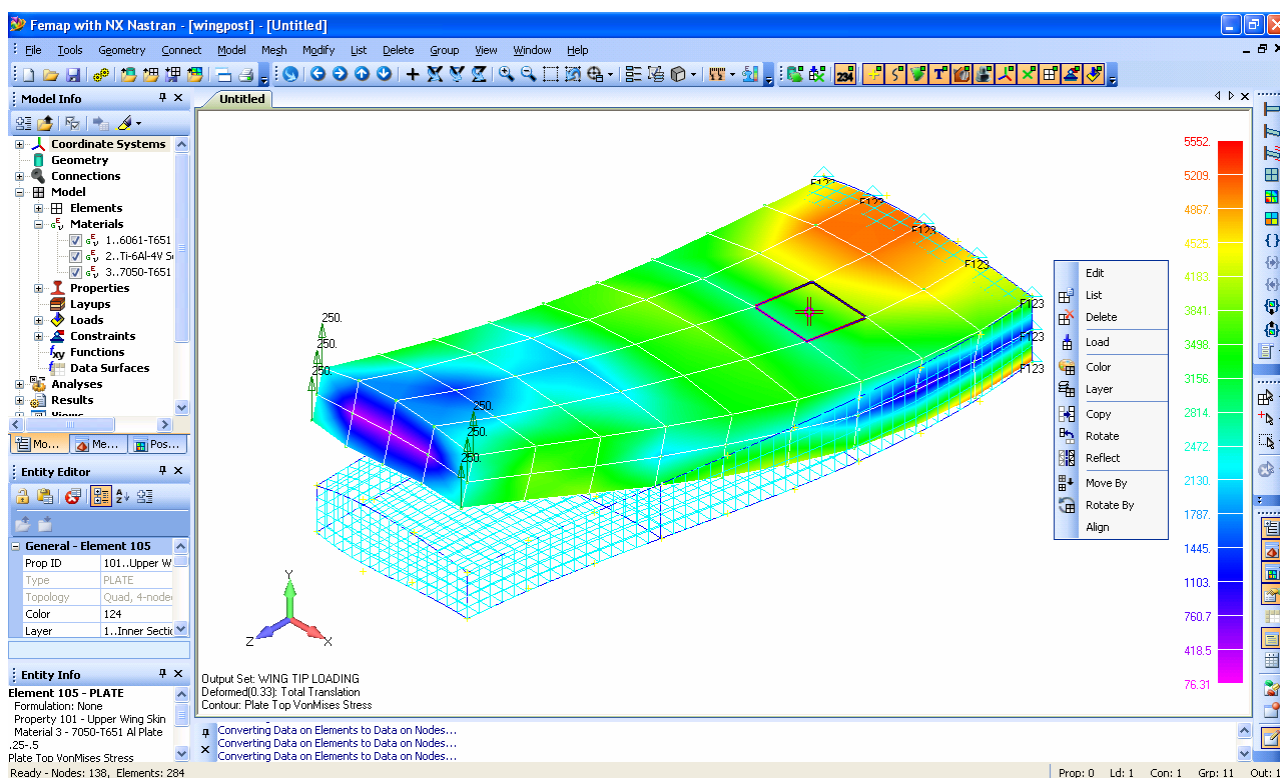


Рис.1.1. Графический интерфейс пользователя программы FEMAP 10.2.0

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 контуром).

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, запуск программы на выполнение расчетов, общая настройка интерфейса
Tools	Команды Undo и Redo ; управление параметрами рабочей плоскости, курсора, модели; вызов панелей; создание макросов (*.pro) и модификация меню; создание внутренних переменных; вызов менеджера слоев; контроль качества модели; определение характеристик геометрической модели (площади, моменты инерции, масса и др.), измерение расстояний и углов, поиск и объединение совпадающих примитивов и другие контрольные функции, подсчет сумм сил и моментов относительно указанной точки, другие инструменты
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	Вывод информации о разнообразных составляющих модели (листинги)
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

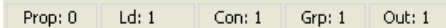
1.2 „Горячие” клавиши FEMAP

„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, полная 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**), наборов (таблиц) с результатами вычислений (**Out**).

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 выбрать необходимый инструмент. Для вызова мнемонических меню можно применять команду **Tools→Toolbars→**, или делать щелчок правой кнопкой „мыши” тогда, когда ее курсор указывает на свободное место где-нибудь правее от команд меню.

Удобно, чтобы мнемонические меню, применяющиеся чаще всего, всегда присутствовали в графическом интерфейсе. Привычный вариант – мнемонические меню, изображенные на рис.1.1. Сведения о них помещены в следующих таблицах.

Таблица 1.1. Краткая характеристика мнемонического меню „Model”

Вид кнопок	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” – прямое печатание этого изображения

Таблица 1.2. Краткая характеристика мнемонического меню „View”

Вид кнопок	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”)
	„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)
	„Mag Up” – увеличение, „Mag Down” – уменьшение масштаба изображения модели (простое нажатие – на 110%, с клавишей „Shift” – на 150%, с клавишей „Ctrl” – на 200%)
	„Zoom” – увеличенное изображение избранной прямоугольной области; „Prev Zoom” – возвращение к предыдущему масштабу изображения; „View and Rotation Center” – центрирование и вращение модели относительно указанной точки

	Вызов диалоговых панелей для: „ View Select ” – управления методом отображения модели и результатов; „ View Visibility ” – управления отображением объектов модели и меток, активизация групп, графических слоев и др.; „ Measure ” – множественных измерений расстояний; „ Model Data Contour ” – выбора данных модели, что будут отображаться на контуре
	„ View Style ” – вызов динамического меню для установления стиля изображения, отображение/скрытие рабочей плоскости, вызов диалоговой панели „ View Options ”

Таблица 1.3. Краткая характеристика мнемонического меню „Post”

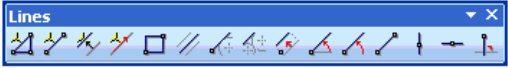
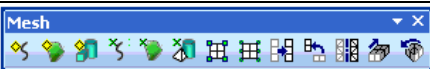
Вид кнопок	Назначение
	Показывать изображение модели в недеформированном („ Select an Undeformed View ”), деформированном („ Select a Deformed View ”) виде и с применением анимации („ Select an Animated View ”) соответственно
	Не показывать (первая кнопка „ Select a view with no Contours ”) и показывать цветом назначенную функцию (полученную после проведения анализа) или данных модели: 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, для „разрезки” модели и других назначений для вывода результатов расчетов
	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 ” (см. табл.1.2)
	„ Selector Mode ” – для назначения 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. табл.1.5).

Таблица 1.5. Краткая характеристика других мнемонических меню

	Ориентация модели для обзора
	Вывод текущих значений координат курсора
	Часть команд панели „ Visibility ”: назначение типов объектов модели, которые будут изображаться на экране монитора (см. предпоследнюю группу кнопок в 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 ограничений (закреплений)
	Команды для отображения/сокрытия информационно-навигационной панели „ Model Info ”, панелей создания сетки Meshing Toolbox , 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), TMG (Advanced Nonlinear Theory and Modeling Guide) и еще многих других (Custom Tools) 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.

FEMAP имеет информационно-навигационную панель „Model Info”, панель создания сетки „Meshing Toolbox”, 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, рассматривать текущее состояние и проводить редактирование 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), **Layups** (слоистость), **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).

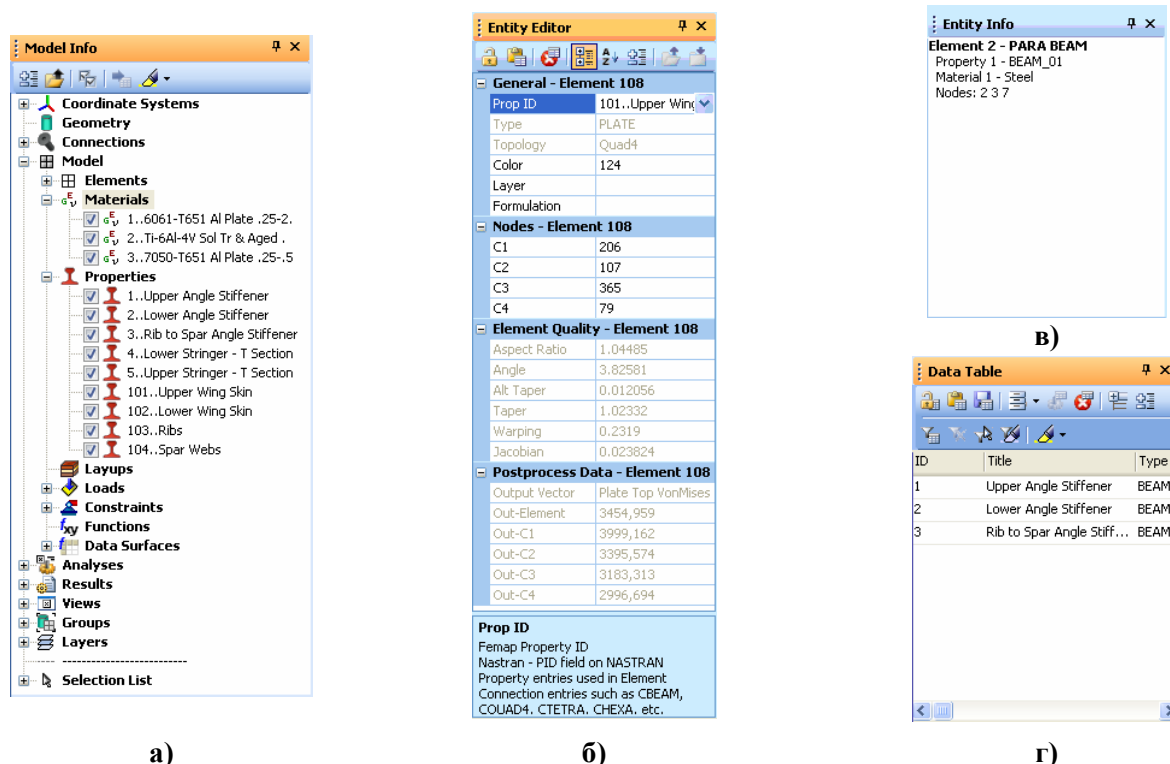


Рис.1.2. Панели FEMAP: а) – информационно-навигационная „Model Info”; б) – редактирования модели „Entity Editor”; в), г) – информационные „Entity Info” и „Data Table”

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: мнемонического 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, выбранных „мышью” после избрания типа объектов с помощью мнемонического меню „Select” (см. табл.1.4). Но на панели „Entity Info” появляются со-

общения об одном объекте, а на панели „Data Table” – обо всех последовательно выбранных. Панель „Data Table” (и другие) 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)
	„Reset All Visibility Options” – установить все опции видимости (на панели „Visibility”, см. рис.1.12-б)
	„Send to Data Table” – передать данные на (открытую) панель „Data Table”
	„Show When Selected” – показать объекты (на рабочем поле, другим цветом), что отображены (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” – блокировать / разблокировать данные
	„Copy to Clipboard” – копировать таблицу в буферную память
	„Save to a File” – сохранить таблицу в файл
	„Clear All” – удалить все данные
	„Categorized” – сортировать по категориям
	„Alphabetic” – сортировать в алфавитном порядке
	„Update Model” – обновить модель (становится активной после введения изменений). Внимание: 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

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).

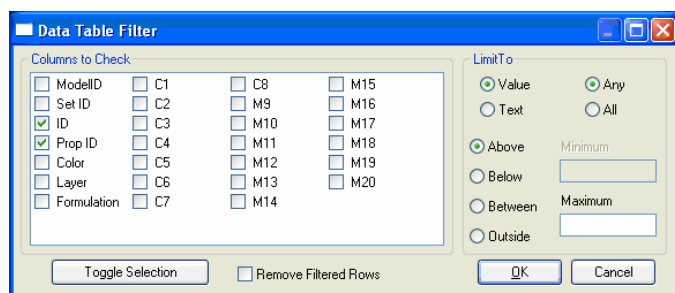


Рис.1.3. Диалоговая панель фильтра таблицы данных

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 „мышь”.

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

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

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

Вид	Назначение	Вид	Назначение
	Создание функции		Создание таблицы
	Создание материала		Создание координатной системы
	Создание „ Property ” для КЭ		Создание уровня (слоя)
	Создание слоев для КЭ типа „ Laminate ”		Выбор „твердых” тел из списка
	Создание точки		Отображение избранных объектов
	Поиск в файловой системе		Замер расстояний
	Создание контактного „ Property ”		

На многих панелях есть кнопка „**Pick** ^”, с помощью которой изменяется принцип избрания объектов. Есть множество вариантов, появляются новые. В частности, если после инициации кнопка „**Pick** ^” 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, соответствующих указанным критериям.

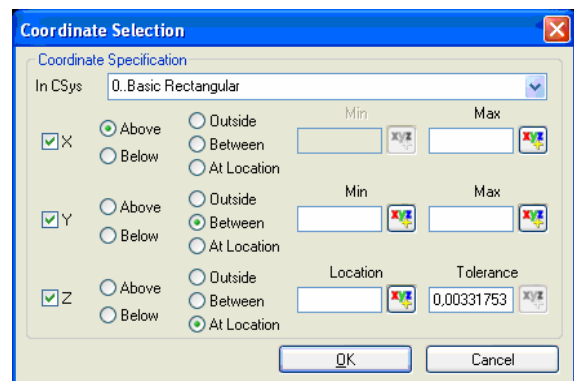


Рис.1.4. Панель избрания объектов по координатам

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

1.4 Файлы FEMAP и NX Nastran

В папке ...\\FEMAPv102\\Examples фирма-разработчик предоставляет пользователю примеры применения программы (в виде рабочих файлов проектов разных форматов); в папках ...\\FEMAPv102\\pdf, ...\\FEMAPv102\\TMG\\doc\\femap, ...\\FEMAPv102\\TMG\\doc\\femap\\tutorials – тексты описаний-инструкций в форматах .pdf и .html, а также соответствующие файлы модели в форматах .modfem, .neu, .x_t, .dxf, .igs и др.

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 ...\\FEMAPv102, ...\\FEMAPv102\\SAToolkit\\femap, ...\\FEMAPv102\\TMG\\femap\\bas, ...\\FEMAPv102\\TMG\\femap\\com, ...\\FEMAPv102\\TMG\\femap\\exe. При необходимости их расположение можно изменить (см. Раздел 1.5).

Каждый проект, рассматриваемый в FEMAP, сохраняется в одном файле (битового формата), расширение имени которого .modfem. (ранее было .mod). Можно создать (опера-

ция экспорта) другой файл проекта – с расширением имени **.neu** (FEMAP Neutral). Он текстовый, часто меньшего размера, нежели **.modfem**, 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** – 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 др. (подробнее см. Раздел 2.2).

В FEMAP есть процедура обслуживания файла проекта (с расширением имени **.modfem**). 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 **.modfem** (в нем удаляются все незанятые 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 выполнения команды появляется на информационной панели „**Messages**”.

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:

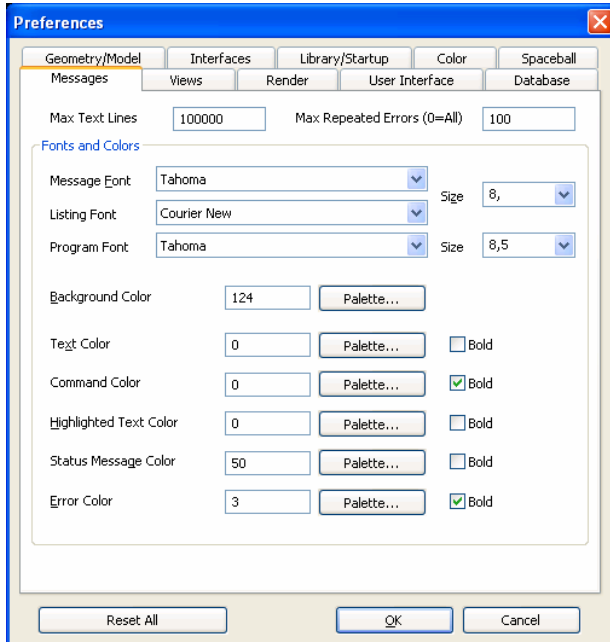
- **.dat** – данные о краевой задаче (текстовый формат, создается для передачи сформулированной краевой задачи в программу NX Nastran, а также вследствие операции экспорта краевой задачи для некоторых других программ);
- **.op2**, **.xdb** – результаты расчета краевой задачи программой NX Nastran: температуры,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

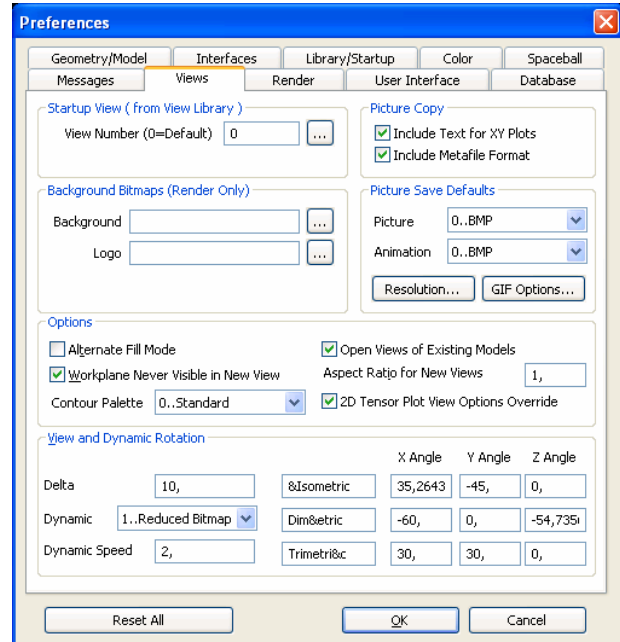
1.5 Настройка FEMAP

В FEMAP есть параметры, действующие 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 (предпочтения), проводятся через диалоговую панель „**Preferences**” (вызывается командой **File→Preferences...**), имеющую 10 панелей:

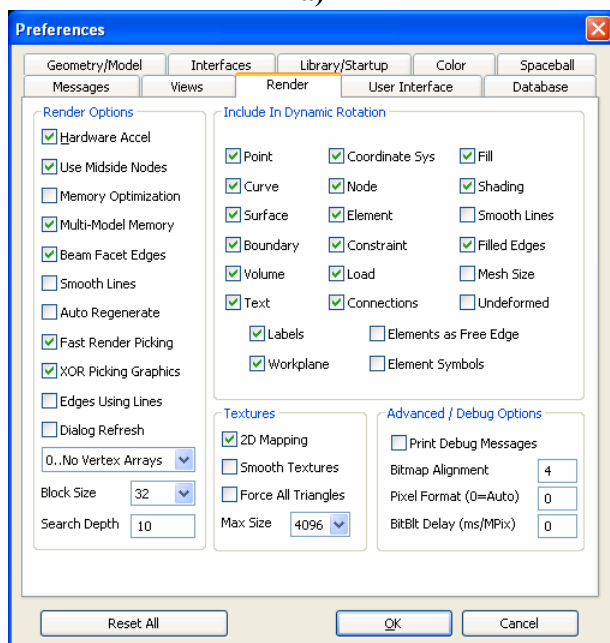
- „Messages” – оформление сообщений и списков (см. рис.1.5-а). В частности, параметр „Max Text Lines” указывает максимальное количество строк сообщений, выводимых на панели сообщений „Messages”, а „Max Repeated Errors (0=All)” – одинаковых ошибок;
- „Views” – установка некоторых параметров изображения модели, в частности, начальных значений углов для изометрии, диметрии и триметрии (см. рис.1.5-б); форматы сохранения рисунков и анимации (в том числе анимированные .bmp .gif, видео);



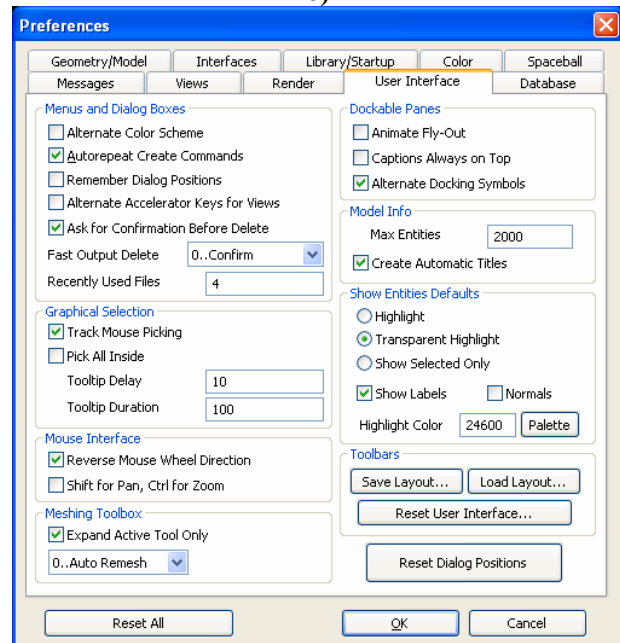
а)



б)



в)



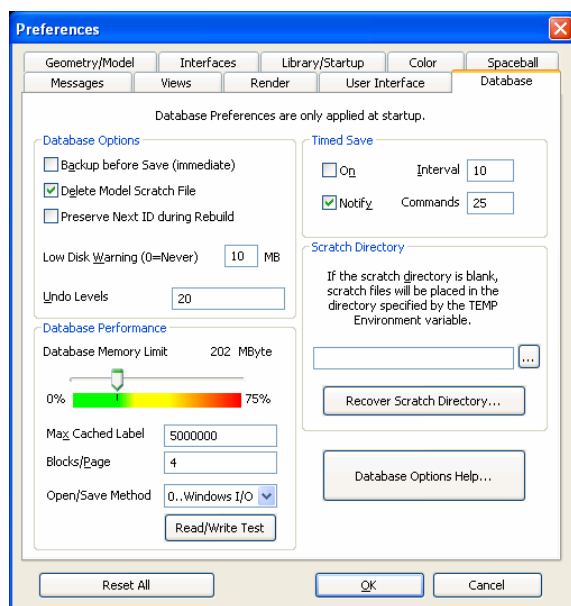
г)

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

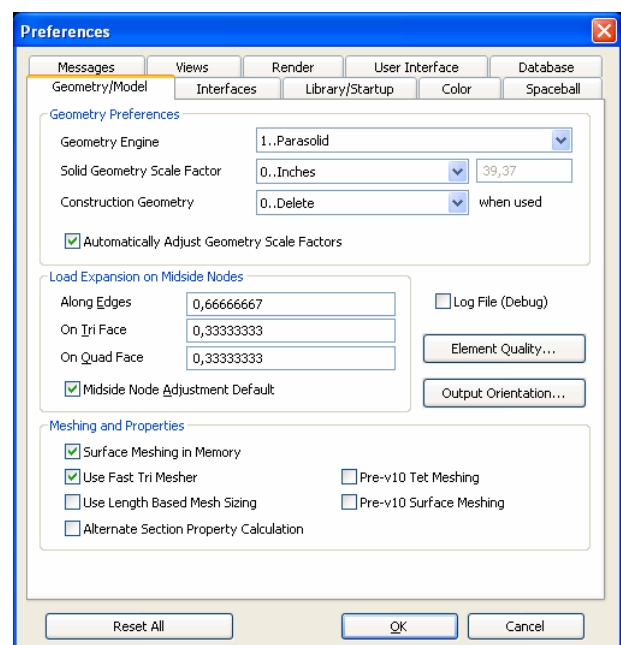
- „Render” – установка опций и назначение величин, настраивающих скоростной качественный графический режим изображения элементов моделей (см. рис.1.5-в). Опции: „Hardware Accel” – подключить аппаратное ускорение (если оно предусмотрено видеокартой ПЭВМ), „Memory Optimization” – оптимизировать память,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

ing Graphics” – режим выбора графики, „Dialog Refresh” – перерисовать изображение после динамического вращения, а также „Block Size” – размер блока, введены с целью оптимизации или улучшения работы в Windows Vista для некоторых типов видеокарт. Опция „Use Midside Nodes” (использовать промежуточные узлы конечно-элементной сетки) позволяет улучшить изображение геометрии объектов, но этот режим требует большие ресурсы от ПЭВМ. Опция „Multi-Model Memory” (выделять память для всех открытых „окон”) также 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, даже отменить все кнопкой „Reset All”;

- „User Interface” – оформление меню и панелей инструментов (см. рис.1.5-г). Появились опции „Fast Output Delete” (быстрое удаление результатов, с выбором вариантов), „Reverse Mouse Wheel Direction” (реверс направления масштабирования изображения колесиком мыши), „Expand Active Tool Only” (включать на панелях построение сеток только активные инструменты) и некоторые другие;



а)



б)

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 *.modfem (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). Параметр „Database Memory Limit” назначает размер оперативной памяти ПЭВМ, которая может быть выделена для кэ-

ширования файла проекта. Оптимальное значение параметров „**Blocks/Page**” (от 1 до 15) и „**Open/Save Method**” (метод открытия/записи), влияющих на быстродействие, подбираются для винчестера ПЭВМ индивидуально. Параметр „**Max Cached Label**” определяет максимально возможный номер (ID) любого объекта модели. В секции „**Timed Save**” указывается: проводить ли 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;

- „**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 – при преобразовании из миллиметров в метры). Опция „**Construction Geometry ... when used**” имеет три значения: **0.Delete** (удалить); **1.Move to NoPick Layer** (переместить в уровень **9999.Construction Layer**, не доступный для выбора), **2.Do Nothing** (оставить как есть). Под конструктивной геометрией понимают геометрические объекты, на основе которых операциями вращения, вытягивания и другими подобными строятся новые объекты следующего уровня: линии – при создании поверхностей, поверхности – при создании объемов. Установленная опция „**Surface Meshing in Memory**” указывает, что процесс создания конечных элементов (КЭ) на поверхности тела будет проводиться в оперативной памяти ПЭВМ, а опция „**Use Fast Tri Mesher**” – что для создания треугольных КЭ будет использоваться быстрый алгоритм. Опция „**Use Length Based Mesh Sizing**” предписывает использовать разметку пользователя при создании конечноэлементной сетки (по умолчанию – параметрическая, что не всегда оптимально), а опция „**Alternate Section Property Calculation**” – альтернативную для балочных элементов. Установленные опции „**Pre-v10 Tet Meshing**” и „**Pre-v10 Surface Meshing**” позволяют всегда по умолчанию использовать новые построители конечноэлементных сеток, появившиеся в FEMAPv10: трехмерных тетрагональных и двумерных.

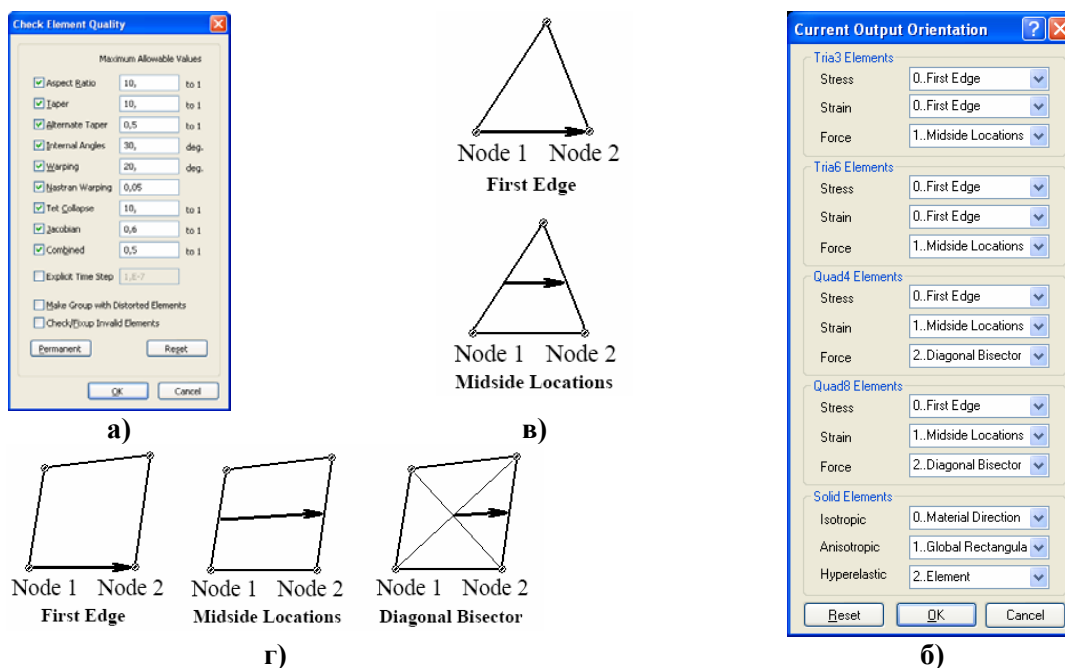
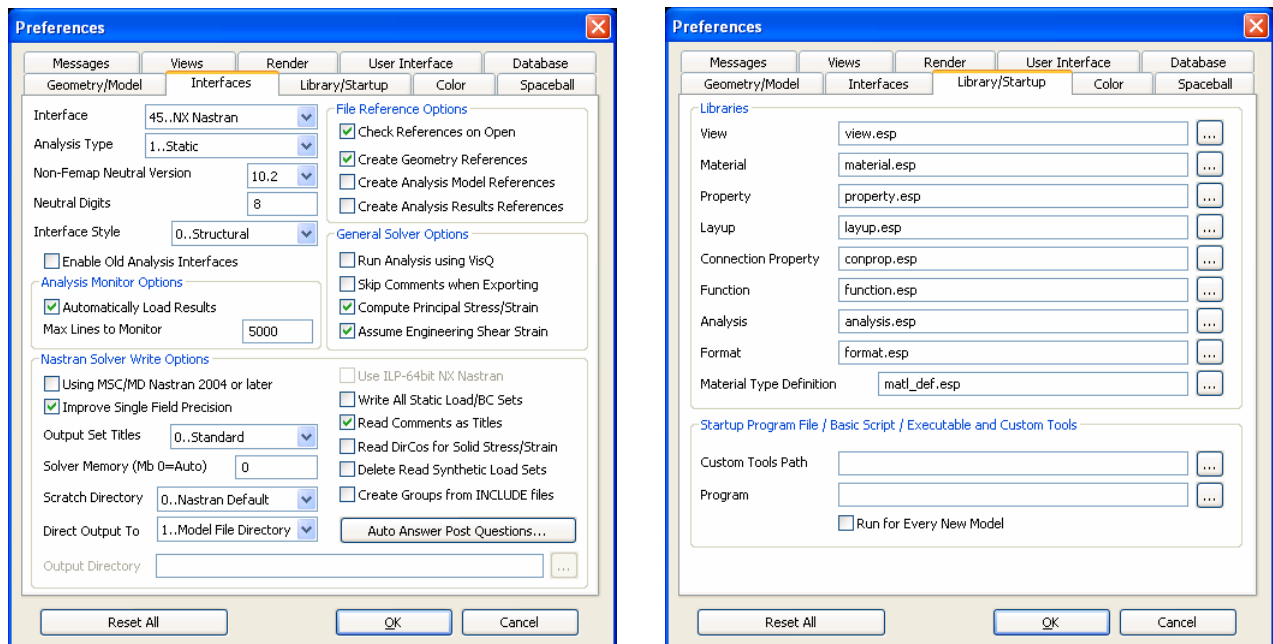


Рис.1.7. Диалоговые панели настраивания: а) – параметров проверки качества конечноэлементной сетки; б) ... г) – ориентации результатов решения краевой задачи

Кнопка „**Element Quality...**” вызывает диалоговую панель „**Element Quality Preferences**” (см. рис.1.7-а) для назначения „по умолчанию” параметров проверки качества конечноэлементной сетки (см. Раздел 3.6.4). Кнопка „**Output Orientation...**” вызывает диалоговую панель „**Current Output Orientation**” (см. рис.1.7-б) для назначения ориентации результатов решения краевой задачи (напряжений, деформаций, сил) по отношению к геометрии конечных элементов и главных осей анизотропии (см. конец Раздела 4.2.10). Пояснения к обозначениям направлений показаны на рис.1.7-в, г;

- „**Interfaces**” – изменение некоторых назначений в диалогах, которые действуют „по умолчанию” (см. рис.1.8-а): „**Interface**” – программа-анализатор, что 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-



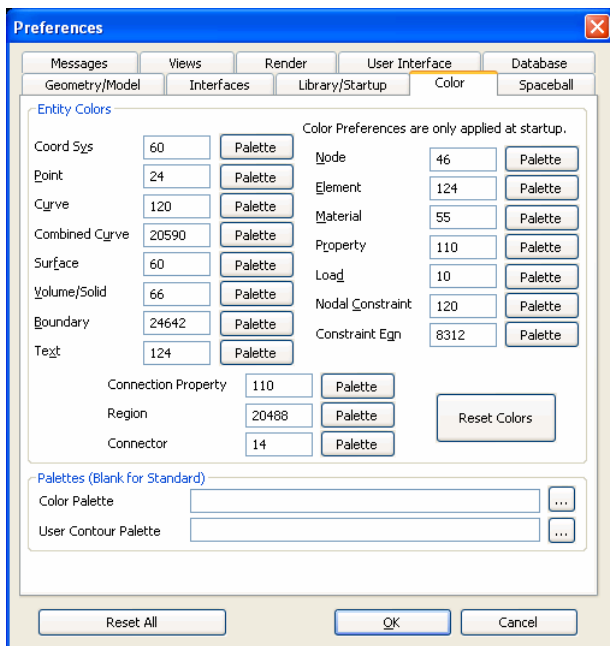
а)

б)

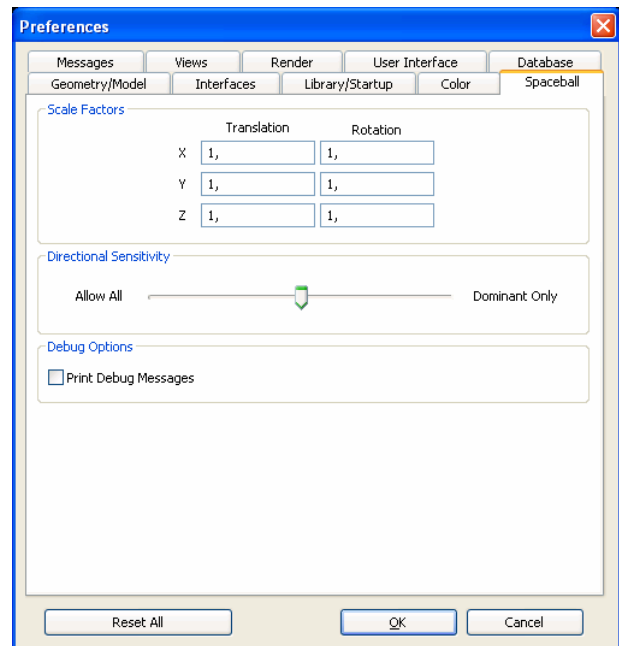
Рис.1.8. Диалоговые панели настраивания: а) – интерфейса; б) – путей к библиотечным файлам и программам с параметрами запуска

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 Write Options**” (опции для структурного анализатора Nastran): „**Using MSC/MD Nastran 2004 or later**” – использовать MSC/MD Nastran 2004 или более поздние версии; „**Improve Single Field Precision**” – использовать (в файле для передачи в Nastran) сокращенную запись вещественных чисел: например, вместо 4.86111E-4 запишется 4.86111-4; „**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; „**Scratch Directory**” – положение папки для временных файлов; „**Direct Output To**” – направления 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); „**Use ILP-64bit NX Nastran**” – использовать 64-битную версию NX Nastran (в 64-битной операционной системе это позволит использовать

гораздо большую память); „**Write All Static Load/BC Sets**” – записывать нагрузки (в файл для передачи в Nastran) как в предыдущих версиях – для статического анализа; „**Read Comments as Titles**” – читать комментарии как заголовки; „**Read DirCos for Solid Stress/Strain**” – читать направляющие косинусы для напряжений и деформаций трехмерного КЭ; „**Delete Read Synthetic Load Set**” – удалять излишние наборы нагрузок после создания комбинированного набора нагрузок; „**Create Groups from INCLUDE files**” – автоматически создавать группы, основанные на операторе включения (INCLUDE) во входных файлах Nastran; кнопка „**Auto Answer Post Questions...**” вызывает дополнительную панель для настройки чтения дополнительных результатов анализа. 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 в FEMAP результатов расчетов); „**Assume Engineering Shear Strain**” – вычислять деформацию сдвига по инженерной модели;



а)



б)

Рис.1.9. 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.1.8-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 and Custom Tools**”, 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 можно избрать/изменить папку, в которой находятся файлы с программами для разнообразных инструментов FEMAP (**Custom Tools Path**).

- „**Colors**” – установление цвета для элементов геометрической и физической модели краевой задачи (см. рис.1.9-а). Кнопки „**Palette**” вызывают панель настраивания цветной па-

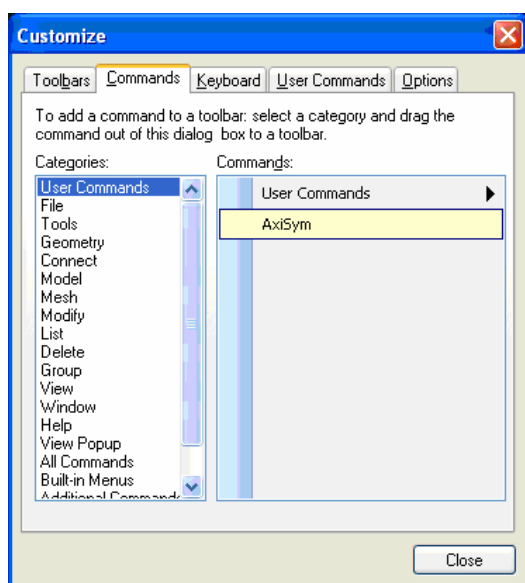
литры. В секции „**Palettes (Blank for Standard)**” есть диалоги для подключения файлов с цветовыми и контурными палитрами;

- „**Spaceball**” – настройка динамического вращения (см. рис.1.9-б). Если инициировать опцию „**Print Debug Messages**”, то при наличии проблем в панели „**Messages**” появятся соответствующие сообщения.

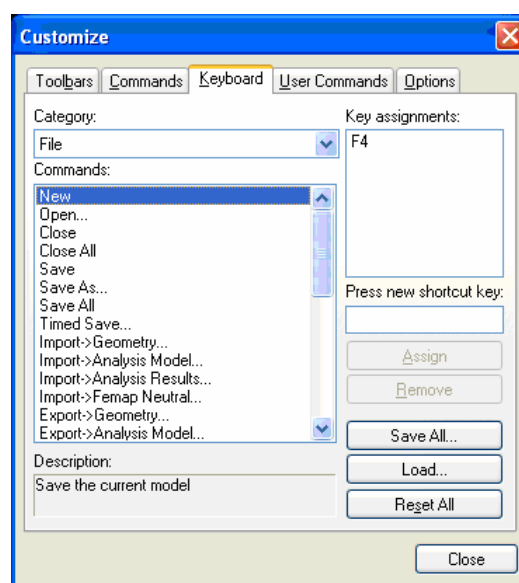
Если изменения проведены неудачно, можно возвратиться к исходным значениям – есть кнопка „**Reset All**”.

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

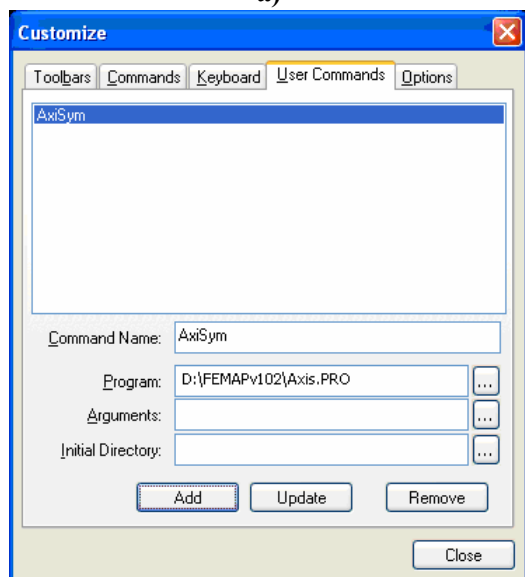
- „**Toolbars**” – вызов/отмена мнемонических меню (панелей электронных кнопок);
- „**Commands**” – добавление/исключение команд меню (путем „перетаскивания” с помощью „мыши”) – см. рис.1.10-а;



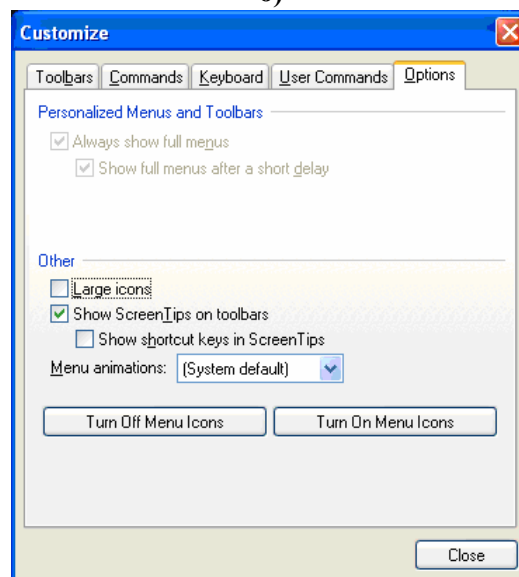
а)



б)



в)



г)

Рис.1.10. 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.1.10-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.1.10-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.1.10-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 появившейся панели „**Customize Icon Menu**” (меню налаживания иконок) выбрать 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.1.11) с почти стандартным набором инструментов. Есть и другие команды, позволяющие очищать, удалять, копировать, изменять название кнопок и т.п.

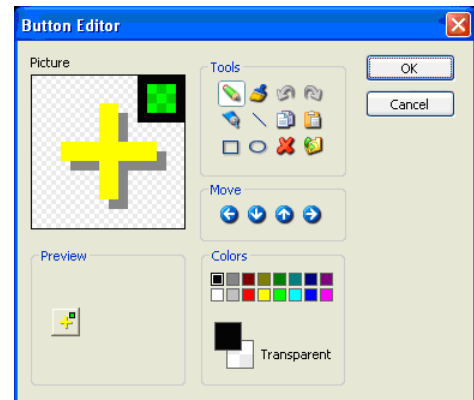


Рис.1.11. Редактор изображения кнопок

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.1.12-а.

Для внесения изменений в изображение объектов модели нужно в секции „**Category**” выбрать 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 „**Options**” приведено в Приложении 1. Если нужно убрать из рабочего поля все изображения какого-то объекта, нужно снять опцию „**Draw Entity**” (отобразить объект).

Как будет выглядеть изображение после изменений, можно увидеть, не выходя из диалога (кнопка „**Apply**”). Например, после избрания в списке „**Options**” 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 9.3.

Для быстрых групповых изменений (отображать / не отображать) можно командой **View→Visibility...** (кнопкой **„View Visibility...”**  или комбинацией клавиш **„Ctrl+Q”**) вызвать диалоговую панель **„Visibility”** (см. рис.1.12-б), на которой – выбрать необходимую закладку, инициировать или дезактивировать необходимую опцию.

Примечание 1.2. Панель **„Visibility”** появилась в версии FEMAP 10.1. Кнопка **„View Visibility...”** заменила две кнопки: **„Quick Options...”** и **„Layer...”**, а панель **„Visibility”** – панели **„View Quick Options”** и **„Layer Management”**. Кроме того, на панель **„Visibility”** выведено управление отображением других составляющих модели (см. рис.1.12-б).

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**).

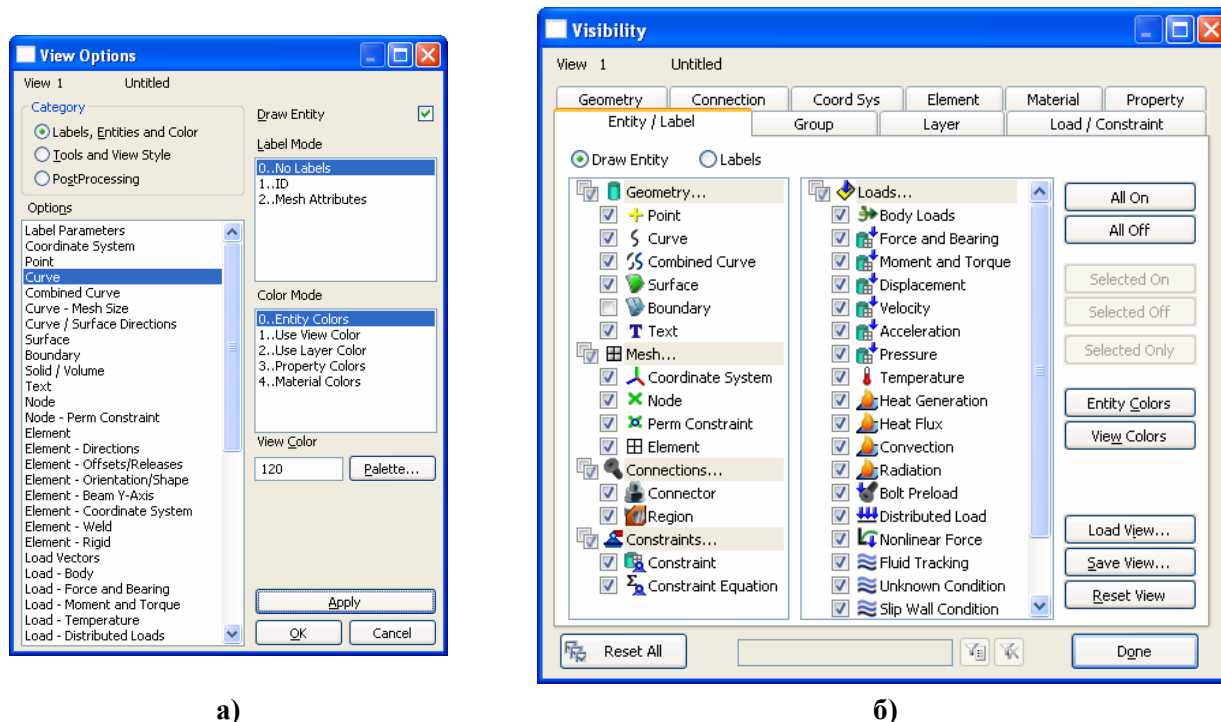


Рис.1.12. Диалоговые панели: а) – настраивания вида объектов View Option;
б) – отображения объектов Visibility

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

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.1.13-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.1.13-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”** пере-

менная появится в списке введенных переменных (см. рис.1.13-в), будет доступной в дальнейшем в соответствующих диалоговых полях.

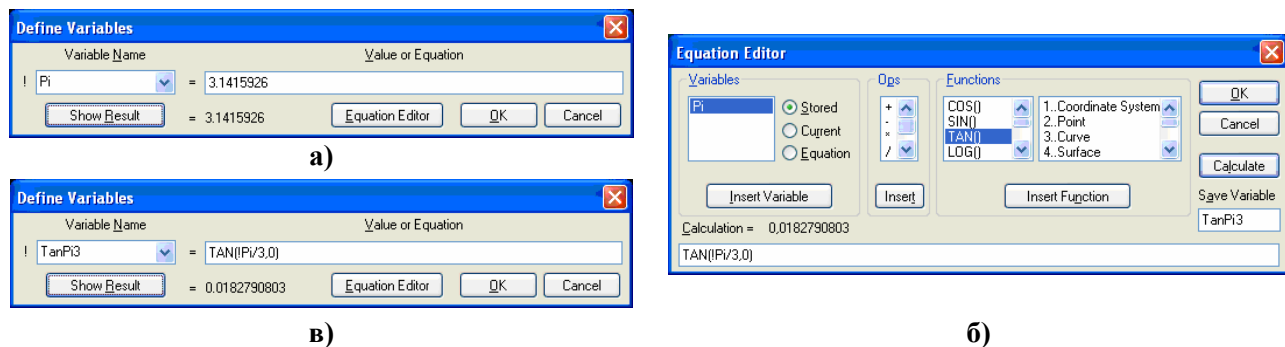


Рис.1.13. Диалоговые панели создания постоянных или переменных

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 уяснить: можно ли заменить желательный вариант на другой, какая будет погрешность от такой замены;
- NX Nastran имеет ограниченный каталог конечных элементов (КЭ). Все типы 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 ожидаемой концентрации напряжений и в окрестности приложения граничных условий сетку КЭ нужно сгущать, в других – разрезать;
- поскольку метод конечных элементов (МКЭ) позволяет почти точно описать геометрию тела с помощью КЭ, то можно сохранить все геометрические подробности. Но для приближенного расчета некоторые несущественные подробности можно и опустить, особенно те, что не являются концентраторами напряжений (не вызывают возникновения значительных локальных напряжений), или не являются критичными, учитывая прочность или жесткость (их опускание или упрощенное моделирование не приведет к значительному перераспределению деформаций и напряжений в теле или в представляющей интерес его части);
- 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 в модели. 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 „отсеченную” часть граничными условиями симметрии: для задачи, связан-

ной с деформациями, запретить степени свободы узлов конечно-элементной сетки (что будут расположены на плоскости отсечения) в направлении, перпендикулярном к этой плоскости. Таких плоскостей может быть несколько. В задаче теплопроводности граничные условия симметрии – отсутствие каких-либо граничных условий на поверхностях отсечения.

- если задача характеризуется полной циклической симметрией (когда циклически повторяются как геометрия, так и условия нагружения), то можно моделировать лишь характерную часть конструкции (вырезать поверхностями), причем нужно создавать такую КЭС, чтобы узлы на подобных поверхностях отсечения расположились строго 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 необходимо 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 линии или площади нагрузки;

- в зависимости от модели материала: линейно-упругий или упруго-пластический, изотропный или неизотропный (и прочие) требуются разные термофизические (задачи теплопроводности) и термомеханические (задачи о напряженно-деформированном состоянии) 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, чье изображение на экране мешают друг другу.

Для работы с уровнями удобно использовать электронную кнопку  на панели инструментов, что под главным меню (или команду **View→Visibility...**). Появляется диалоговая панель „**Visibility**”, на которой необходимо открыть вкладку „**Layer**” (см. рис.1.14-а).

Для создания *нового* уровня кнопкой  вызывается диалоговая панель „**Create Layer**” (см. рис.1.14-б). Другой вариант – командой **Tools→Layers...** вызывается диалоговая панель „**Layer Manager**” (см. рис.1.14-в), инициируется кнопка „**New Layer...**”. На панели „**Create Layer**” 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 присутствует уровень **9999..Construction Layer**, служащий для сохранения объектов, создаваемых программой автоматически как основа для объектов высшего уровня (точки – для линий, линии – для поверхностей, поверхно-

сти – для объемов). Именно этот уровень автоматически помещается в список „NoPick Layer” (не отображаемый уровень, см. рис.1.14-а).

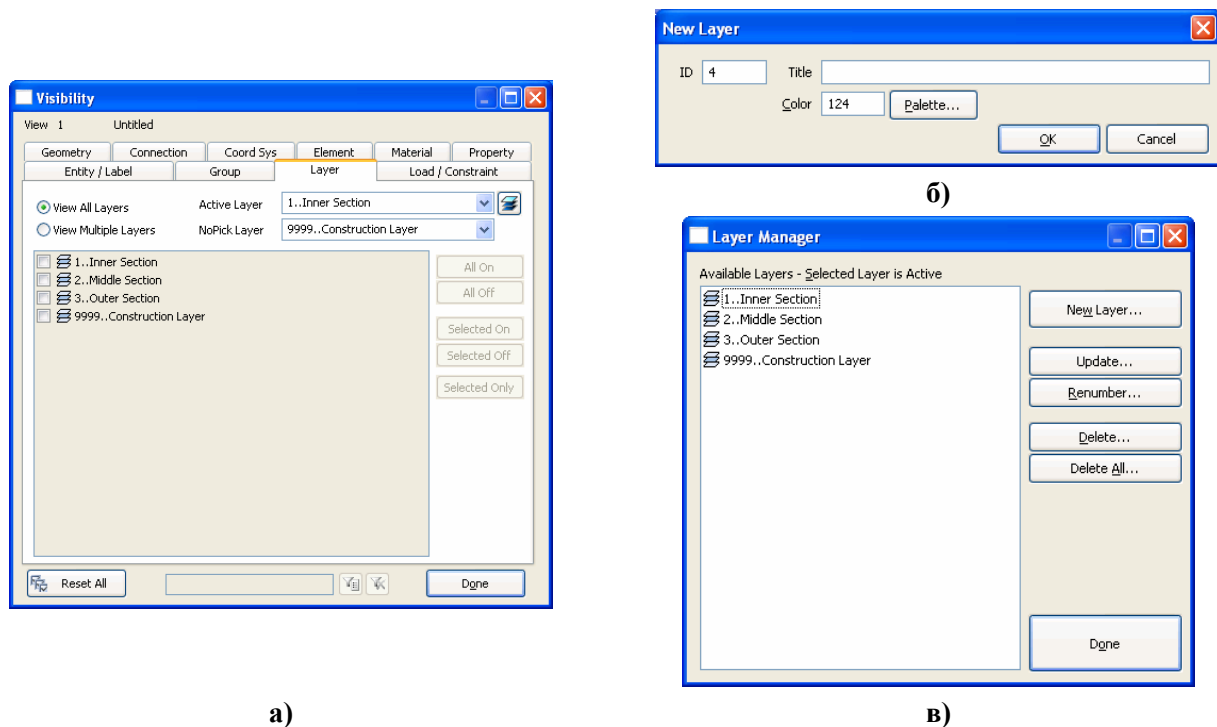


Рис.1.14. Диалоговые панели работы с уровнями: а) – установления активного уровня и рассматриваемых уровней; б) – создания нового уровня; в) – менеджер уровней

На диалоговой панели „Visibility” (см. рис.1.14-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.1.14-а): или всех уровней (радиокнопка „View All Layers”) или некоторых (радиокнопка „View Multiple Layers”, потом в списке нужно активизировать уровни для отображения).

Удаление уровней проводится на панели „Layer Manager” (см. рис.1.14-в) или с помощью панели „Entity Selection – Select Layer(s) to Delete”, что вызывается командой **Delete→Tools→Layers....** В первом случае нужно выбрать уровень, нажать кнопку „Delete...” и подтвердить удаление. Во втором случае нужно вписать соответствующий уровню „ID”, нажать на кнопку „More” (ID добавляется в список), нажать „OK” и подтвердить удаление. **Внимание:** объекты, что были „приписаны” к удаленному уровню, **не удаляются**. Эти объекты можно увидеть, лишь выбрав для отображения все уровни („View All Layers”). Их необходимо выбрать и передать в существующий уровень или удалить, если они уже не нужны.

Для *передачи* объектов другому уровню командой **Modify→Layer→Point...** (или другие объекты) вызывается диалоговая панель „Entity Selection – Select Point(s) to Modify Layer” (вместо **Point(s)** – соответствующая типу объектов), на экране выбираются необходимые объекты. После команды „OK” на появившейся диалоговой панели „Select Layer” указывается уровень, в который избранные объекты передаются (при необходимости из панели „Select Layer” с помощью кнопки можно создать новый уровень).

1.7.2 Группы

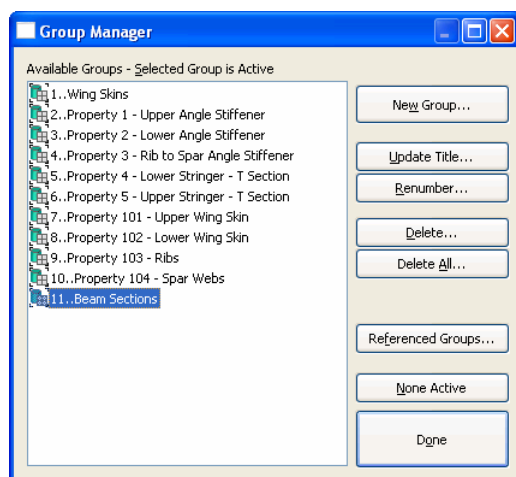
Группы – другой вариант отделения объектов, группированием. Но в отличие от уровней объекты могут одновременно входить в несколько групп, и на экране одновременно можно увидеть объекты или всех групп (групп нет или проведена дезактивация групп), или только одной группы. Как и уровни, избранная и активная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

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

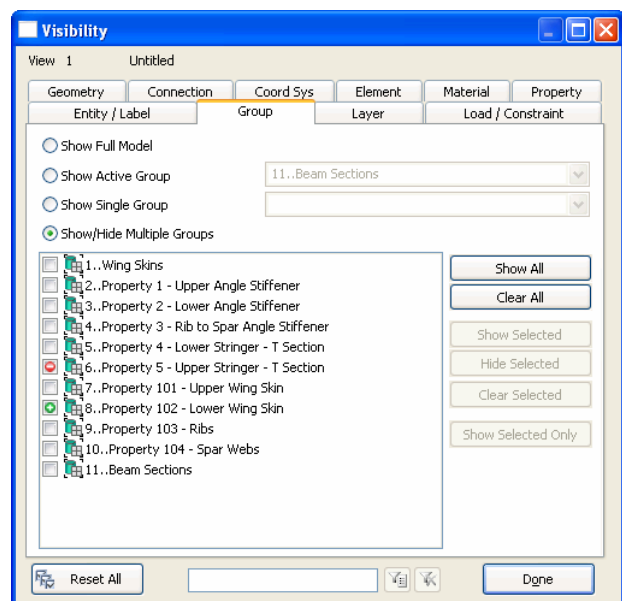
Командой **Group→Create/Manage...** вызывается диалоговая панель (см. рис.1.15-а) для манипуляций с группами, в частности, для *создания* группы (вводятся новые номер „ID” и название „Title”), или *активации* группы (выбирается существующая группа), или удаления группы, причем *объекты из проекта не удаляются*. Кнопкой „None Active” на этой панели проводится *дезактивация* группы. Удаление группы можно также проводить с помощью команды **Delete→Group...** (указать ID группы).

Для отображения объектов группы дается команда **View→Visibility...** (или клавишами „Ctrl+Q”, или кнопкой ). Появляется диалоговая панель „Visibility”, на ней выбирается вкладка „Group” (см. рис.1.15-б). Далее с помощью радиокнопок „Show Full Model”, „Show Active Group”, „Show Single Group” или „Show/Hide Multiple Groups”, а также элементов списков и активными кнопками инициируется нужный вариант. В рабочем окне будут показаны только объекты выбранной группы или групп, а в левом верхнем углу – соответствующий номер или номера через запятую (начинается с буквы G, например, G: 2,5,9).

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



а)



б)

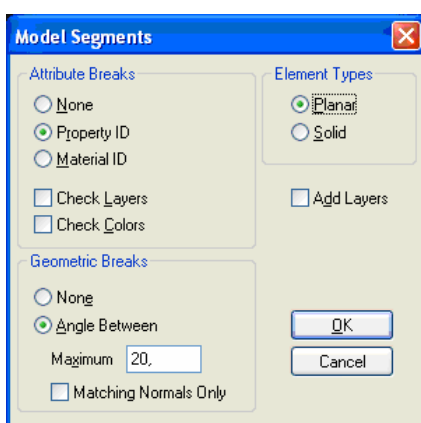
Рис.1.15. Диалоговые панели: а) – управления группами; б) – отображения групп

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

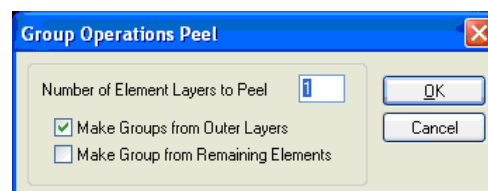
- „Evaluate...”: обновить данные об объектах выбранных групп после удалений и изменений правил (выполнять перед добавлением новых объектов): выбрать группы (группу) из списка, дать команду „OK”;

- „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;

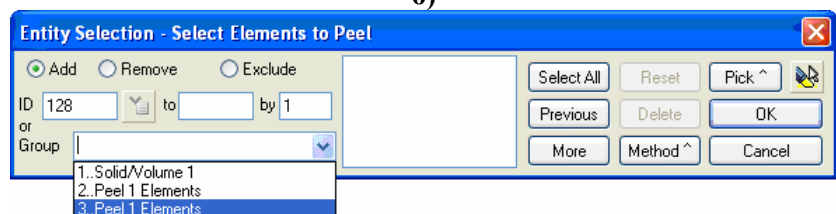
- „**Evaluate Always...**” (опция): режим автоматического обновления данных в выбранных группах. Значительно замедляет работу программы, не дает возможности выбирать объекты графическим способом;
- „**Renumber Rules...**”: перенумеровать объекты выбранных групп после изменения их содержимого (рекомендуют указать „**Yes**”, поскольку, судя по информации в „**Help**”, указание „**No**” может привести к потере объектов в группе при добавлении новых);
- „**Copy...**”: создать копию активной группы (с новыми „**ID**” и „**Title**”). Есть опция „**Condense New Group**” (сжать новую группу);
- „**Condense...**” (сжать данные выбранных групп): правило выбора объектов будет преобразовано к „**ID**” объектов;
- „**Reset Rules...**”: удалить все объекты в выбранных группах и все правила их занесения (очистить группы);
- „**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 Group(s) to Add Related Entities**”, на которой выбираются группы из списка с помощью клавиш клавиатуры „**Ctrl**” или „**Shift**”, а также кнопки „**All**”. Объекты из избранных групп связываются;
- „**Generate...**”: автоматически генерировать группы из конечных элементов (двумерных или трехмерных) разных свойств. Выбираются КЭ, появляется диалоговая панель (см. рис.1.16-а), где в трех секциях устанавливаются признаки сортировки:



а)



б)



в)

Рис.1.16. 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 нормальями 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 активизировать опцию „**Add Layers**”, создадутся уровни с отделенными типами КЭ;

- „**Generate Solids...**”: генерировать группу из избранных „твердых” тел; „**Generate Property...**”, „**Generate Material...**” и „**Generate ElemType...**”: генерировать группы КЭ с избранными свойствами, материалами и типами КЭ соответственно;

- „**Generate With Output...**”: генерировать группы с результатами расчетов. В секции „**Output Set**” (см. рис.1.17) 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 радиокнопок: „**Above**” (выше), „**Below**” (ниже), „**Between**” (между), „**Outside**” (извне), при необходимости – ввести значение „**Minimum**” и/или „**Maximum**”. В секции „**Entity Selection**” (выбор объекта) указать „**Nodal**” (узловые) 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 задействованных в других суперэлементах узлов, которые удовлетворяют требованиям узлов суперэлемента;

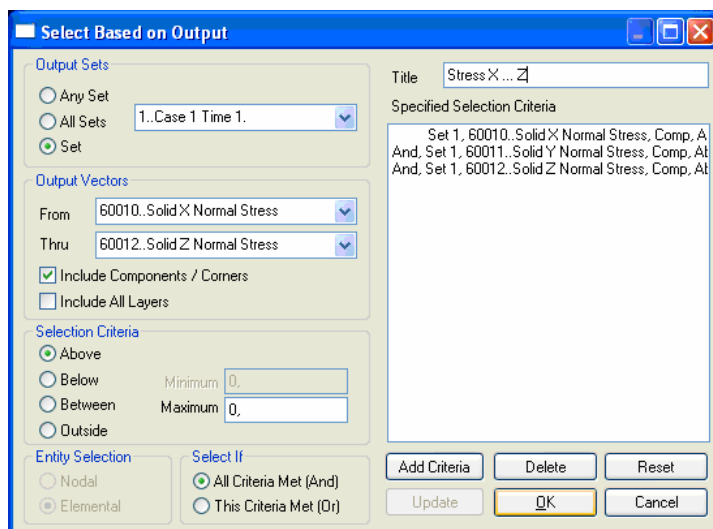


Рис.1.17. Диалоговая панель генерирования групп результатов расчетов

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 задействованных 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 уровням, избранным 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 (или вновь созданный с помощью кнопки ) уровней;

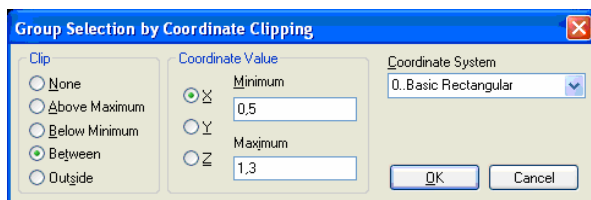
- „**Peel...**”: предоставляет возможность просмотреть глубинные трехмерные КЭ после снятия верхних слоев КЭ. Выбираются КЭ, появляется диалоговая панель „**Group Operations Peel**” (см. рис.1.16-б). На ней указывается количество слоев КЭ, что будет сниматься (**Numbers of Element Layers to Peel**) и опции для создания групп: всех избранных КЭ (... **Outer ...**) и тех, что остались (... **Remaining ...**). При снятии следующего слоя КЭ нужно из-

брать из списка „**Group**” последнюю группу (см. рис.1.16-в). Избрание группы для отображения описано в начале этого Раздела.

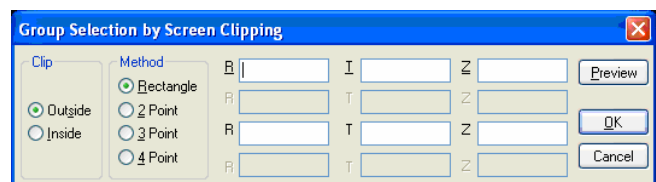
- „**Select Model...**”, „**Select Mesh...**” и „**Select Region...**”: добавить в активную группу *все* объекты модели, сетки конечных элементов или контактного региона по правилу: от 1-го до 99999999-го.

Несколько команд **Group→Clipping...** позволяют устанавливать правила *отказа* введению *новых* объектов в *активную* группу (вырезка объектов). На диалоговых панелях (см. рис.1.18) выбирается один из вариантов правил:

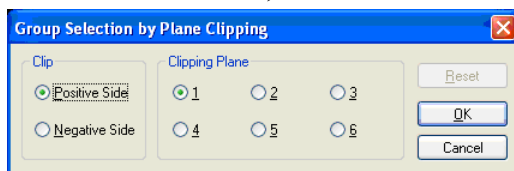
- „**Coordinate...**” (по координатам): „**None**” (нет ограничений), „**Above Maximum**” (выше), „**Below Minimum**” (ниже), „**Between**” (между), „**Outside**” (за пределами) указанных значений координаты (**X**, **Y** или **Z**) избранной координатной системы (см. рис.1.18-а);
- „**Screen...**” („экраном”, 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.1.18-б). Выбирается один из вариантов: за пределами (**Outside**) или внутри (**Inside**) „экрана”;
- „**Plane...**” (плоскостями см. рис.1.18-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;



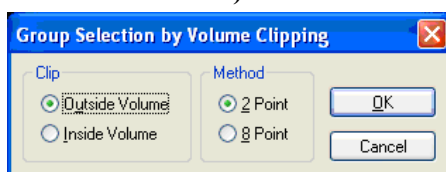
а)



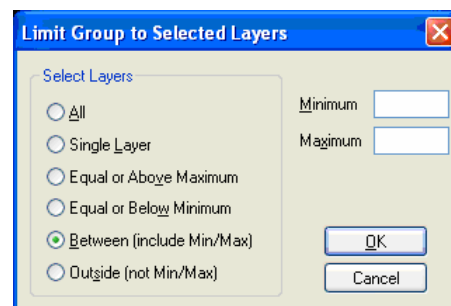
б)



в)



г)



д)

Рис.1.18. Диалоговые панели установления правил вырезки: а) – координатами; б) – „экраном”; в) – плоскостями; г) – объемом; д) – уровнями

- „**Volume...**” (объемом). Выбирается вариант введения объема: двумя точками (точки задают диагональ параллелепипеда) или 8 угловых точек (см. рис.1.18-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.1.18-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.1.19).

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

Когда назначается функция на свойства материалов или нагрузку, значение функции **Y** используется, 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 (протекающих во времени: нестационарная теплопроводность, ползучесть и т.п.) следует назначать тип функции „**1..vs.Time**”. В версии FEMAP 10.2 появилось 11 новых функций, с номерами 19 ... 33.

Внутреннее представление всех функций – табличное. Но вводиться функция может точками (**Single Value**), кусочно-линейным образом с шагом „**DeltaX**” (**Linear Ramp**), с помощью уравнения (**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 сде-

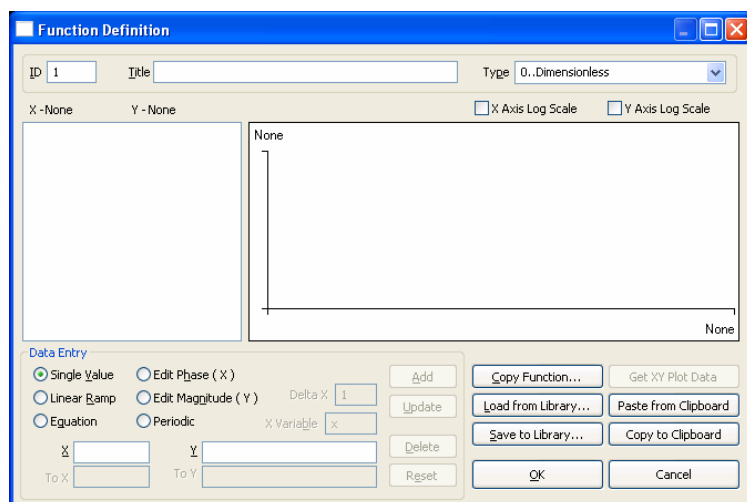


Рис.1.19. Диалоговая панель введения функций

лать периодической (**Periodic**): указать диапазон (**X**, **To X**) и шаг (**Inc X**) копирования и количество копий (**Copies**).

Опции „**X Axis Log Scale**” и „**Y Axis Log Scale**” позволяют перевести функцию к логарифмическим координатам.

Таблица 1.8. 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
19..vs. Temp (TABLEM1 Linear, Linear)	температура	значение
20..vs. Temp (TABLEM1 Log, Linear)	температура	значение
21..vs. Temp (TABLEM1 Linear, Log)	температура	значение
22..vs. Temp (TABLEM1 Log, Log)	температура	значение
23..vs. Mode	номер (собственной частоты)	значение
24..Displacement vs. Freq	частота	значение
25..Rotation vs. Freq	частота	значение
26..Velocity vs. Freq	частота	значение
27..Angular Vel vs. Freq	частота	значение
28..Acceleration vs. Freq	частота	значение
29..Angular Acc vs. Freq	частота	значение
30..Force vs. Freq	частота	значение
31..Moment vs. Freq	частота	значение
32..Stress vs. Freq	частота	значение
33..Strain vs. Freq	частота	значение

Примечание 1.3. Функции 19...22 используются для типа задачи типа SOL 601. Функции 23...33 используются как функции вывода, созданные в диалоге, вызванном командой **Model→Output→Forced Response** (см. Раздел 9).

Электронные клавиши диалоговой панели „**Function Definition**” такие: „**Add**” (добавить в таблицу введенные в поля значения функции), „**Update**” (изменить значения выбранной строки таблицы), „**Delete**” (удалить выделенную строку значений), „**Reset**” (удалить все значения), „**Copy Function...**” (копировать значения из существующей функции, на которую будет указано), „**Load from Library...**” (загрузить существующую функцию), „**Save to Library ...**” (сохранить функцию в базе данных, т.е. в файле функций **function.esp**), „**Get XY Plot Data**” (получить таблицу, построенную в инструменте XY Plot Data), „**Paste from Clipboard**” (получить значения из буферной памяти, например, от табличного редактора **MS Excel**), „**Copy to Clipboard**” (поместить в буферную память).

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 ранее через функцию. Например, **!w=sin(!x)** и потом **!y=2*@w**.

Команда „**OK**” позволяет начать введение новой функции.

Примечание 1.4. 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 „XY Functions...” иницируется панель „Select Multiple Functions for View”, на которой нужно в списках „Curve 1 ... Curve 9” секции „Functions” выбрать нужные функции 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  и ).

Если нужно, оформление графика функции можно немного изменить. Нужно командой **View→Options...** (или клавишей „F6”) вызвать диалоговую панель „View Options” (см. рис.1.12-а), на ней в секции „Category” избрать радиокнопку „PostProcessing”, в окне „Options” – опцию „XY Axes Style”, в окне „Plot Type” – тип координатной сетки (обычная, полулогарифмическая или логарифмическая), в окнах „Axel color” (цвет осей), „X Tics” и „Y Tics” (количество нумерованных линий вдоль осей X и Y) 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 часто повторяющейся цепи команд (действий). 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.

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