

Раздел 9

ПРОСМОТР РЕЗУЛЬТАТОВ И ДРУГИХ ВВЕДЕННЫХ ДАННЫХ

Просмотр результатов расчетов краевой задачи, а также других введенных данных, обеспечивают постпроцессорные инструменты FEMAP.

9.1 Загрузка результатов расчетов краевой задачи

Есть два варианта появления результатов расчетов краевой задачи в FEMAP:

- результаты получены встроенным в FEMAP анализатором и содержатся в файлах проекта *.modfem (*.mod предыдущих версий FEMAP), *.op2, *.f06 и других (см. Раздел 1.4);
- импорт результатов, полученных с применением других программных продуктов.

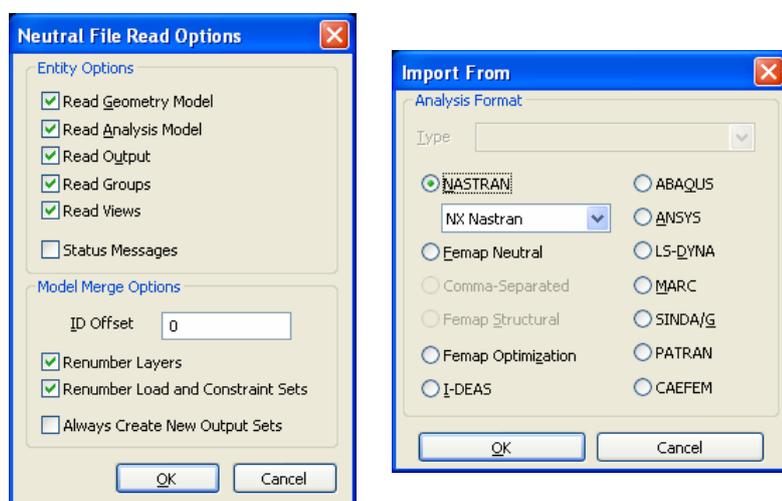
9.1.1 Импорт результатов расчетов краевой задачи другими программами

Первый вариант: командой **File→Open...** из файлов проектов, которые имеют формат *других* программ. В FEMAP 10.2 читаются форматы ABAQUS (*.inp) и ANSYS (*.ans), т.е. есть прямой интерфейс с этими программами, а также формат *.neu, который некоторые программы применяют как „родной”, и другие – как универсальный формат экспорта/импорта данных.

Другой вариант: с помощью команды **File→Import→FEMAP Neutral...** из файлов типа *.neu или *.fno. Нужно начать новый проект (**File→New**), потом указанной командой вызвать диалог поиска файла в файловой системе ПЭВМ.

При открытии файла формата *.neu появляется диалоговая панель (см. рис.9.1-а), на которой нужно указать, что импортировать: геометрию, конечно-элементную модель, результаты...

Внимание: если проводить *импортирование* в уже открытый *другой* проект (не начать новый проект командой **File→New**), то можно получить непредвиденные эффекты, если с помощью опции „ID Offset” (см. рис.9.1-а) задать недостаточный „сдвиг” для ID всех объектов, что будут введены (точек, линий, поверхностей, тел, узлов, элементов, материалов и др.). С целью избежать аналогичных проблем есть смысл применять еще такие опции: „Renumber Layers” (перенумеровать уровни), „Renumber Load and Constraint Sets” (перенумеровать наборы нагрузок и закреплений) и „Always Create New Output Set” (всегда создавать новый набор результатов).



а)

б)

Рис.9.1. Диалоговые панели: а) – опции „нейтральной модели”; б) – выбор программы

Еще один вариант: отдельный импорт КЭ модели и результатов. Сначала командой **File→Import→Analysis Model...** вызывается панель, изображенная на рис.9.1-б, указывается программа, которая создавала модель; после команды „OK” осуществляется поиск файла в файловой системе ПЭВМ. Потом командой **File→Import→Analysis Results...** вызывается фактически такая же диалоговая панель (см. рис.9.1-б), где выбирается название программы, которая проводила расчет; после команды „OK” осуществляется поиск файла результа-

тов (в частности, *.op2, *.f06 или *.xdb для Nastran, *.fil или *.fin для ABAQUS, *.rst или *.rth для ANSYS) в файловой системе ПЭВМ.

После импортирования набора результатов в *открытый* проект новый набор добавляется к существующим, поэтому его можно просмотреть таким же способом, что и другие. Об этом – в Разделе 9.3.

9.1.2 Загрузка результатов расчетов NX Nastran

В FEMAP для просмотра *информационных сообщений* программы NX Nastran нужно с помощью команды **File→Import→Analysis Results...** открыть файл с расширением имени **.f06**. Появляется панель с информацией о наличии сообщений (см. рис.9.2-а). Для их просмотра дается команда „**Show Details...**”.

Появляется панель (см. рис.9.2-б), верхняя часть которой содержит заголовки, а нижняя – короткое описание предостережения или сообщения, в частности о фатальных ошибках. Информацию о некоторых характерных сообщениях NX Nastran помещено в Приложении 11.

NX Nastran создает битовые файлы результатов расчетов с расширением имени **.op2** и **.xdb**. В FEMAP их необходимо импортировать с помощью команды **File→Import→Analysis Results...**, причем проект (файл *.modfem) должен быть „загружен” раньше.

Иногда возникает необходимость в удалении результатов расчетов из проекта. Это делается с помощью команды **Delete→Output**.

9.2 Комбинирование и редактирование результатов расчетов краевой задачи

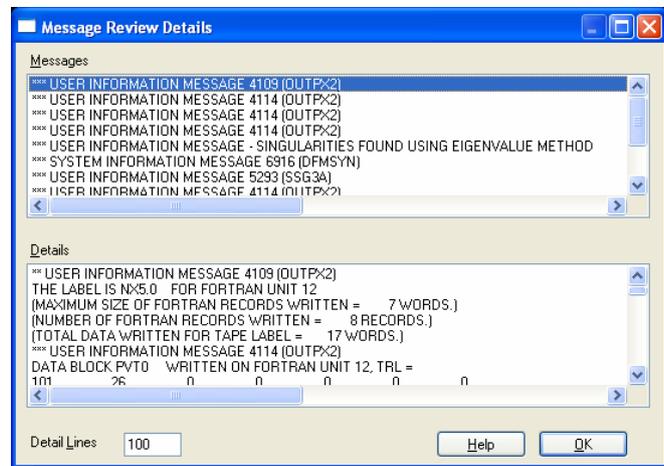
Результаты расчетов NX Nastran фактически являются таблицами со столбцами (векторами) значений в узлах (температура, перемещения вдоль оси X, ...) или конечных элементах (температура в одномерных КЭ, напряжения в характерных точках, ...). Названия основных векторов – результатов расчетов краевых задач – приведены в Приложении 12.

Иногда возникает необходимость в комбинировании, преобразовании, экстраполяции, даже в редактировании таблиц результатов. Для проведения этих действий в FEMAP есть группа команд (общую часть **Model→Output→** команды опускаем):

- **Create/Manage Set...** (установить): из списка (см. рис.9.3-а) выбирается (активируется) набор результатов или создается новый (пустой) набор для дальнейшего наполнения (задаются новый „ID” и „Title”, можно добавить заметки). При необходимости изменяется значение „Set Value”. Для дезактивации *всех* наборов дается команда „None Active”;
- **Vector...** (выбрать вектор): из активизированного списка выбирается категория вектора (см. рис.9.3-б), тип данных из этого вектора (в поле „Type”): значение или амплитудное значение (**0..Value or Magnitude**), фаза (**1..Phase**), действительная (**2..Real Component**) или мнимая (**3..Imaginary Component**) компонента (последние три – для колебаний); в списке векторов выбранной категории (нижняя часть панели) – собственно вектор;
- модификации данных в выбранном предыдущей командой векторе:
 - ♦ **Define...** (изменение значений в узлах или КЭ): на рабочем поле курсором „мыши” выбирается узел КЭС (или КЭ), в поле „Data Value” (см. рис.9.3-в) указывается но-



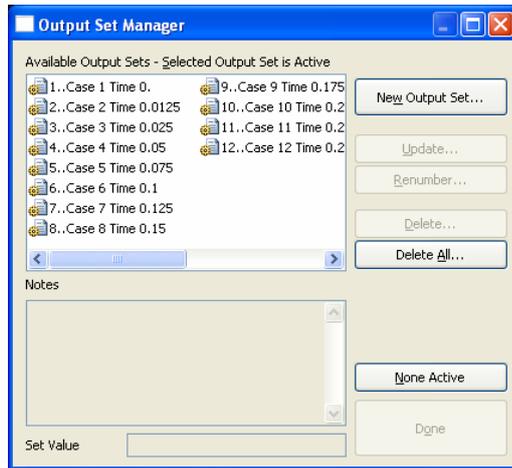
а)



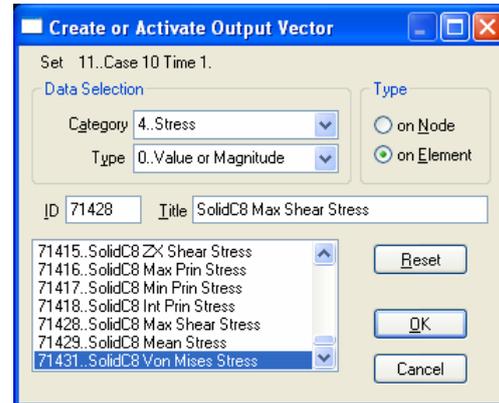
б)

Рис.9.2. Панели просмотра отчета о процессе решения краевой задачи

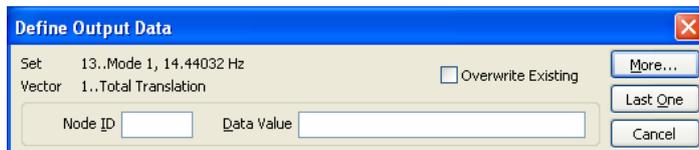
- вое значение. Для продолжения есть кнопка „**More...**”, для окончания – „**Last One**”.
- Предусмотрена опция „**Overwrite Existing**” (осуществить наложение записей);
- ♦ **Fill...** (вычисление значений в узлах или КЭ с помощью формульных вычислений): на рабочем поле курсором „мыши” выбираются необходимые узлы КЭС (или КЭ), в поле „**Equation**” (см. рис.9.3-г) задается формула вычисления величины в зависимости от номера узла или КЭ (**ID**), или постоянное значение. Например, выражение **XND(!i)** дает координату **X** узла; выражение **SQRT (SQR(VEC(1; 31; !i)) + SQR(VEC(2; 31; !i)) + SQR(VEC(3; 31; !i)))** – среднее квадратичные значения температуры узлов из трех наборов (см. Приложение 2);



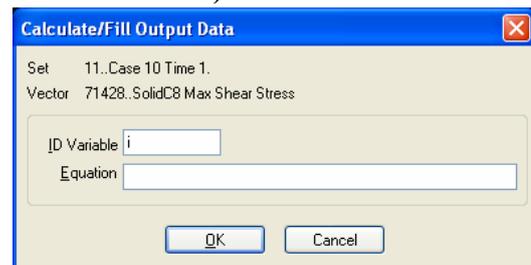
а)



б)



в)



г)

Рис.9.3. Диалоговые панели работы с результатами расчетов: а) – активации / деактивации набора; б) – выбор вектора; в) – изменение значений; г) – заполнение значений

- **Process...** – комплекс команд для манипуляций результатами. На диалоговой панели „**Process Output Data**” (см. рис.9.4-а) выбирается одна из вкладок операций: „**Copy**” (копирование), „**Merge**” (слияние), „**Linear Combination**” (линейное комбинирование), „**RSS Combination**” (Root Sum Square Combination – комбинирование среднеквадратичное значение), „**Envelope**” (выбор по условию), „**Error Estimate**” (оценка погрешности), „**Convert**” (конвертирование от узлового вывода к элементному выводу, и наоборот). Затем радиокнопками выбирается один из вариантов: „**Complete Output Set**” (окончательный набор вывода) или „**One or More Selected Output Vector**” (один или несколько выбранных векторов вывода). Последние две вкладки – только для последнего варианта. Общий для всех вкладок элемент – кнопка „**Select Output to Process**”, вызывающая панель выбора наборов результатов и векторов, изображенную на рис.9.4-б (первый вариант) или на рис.9.4-в (второй вариант). Множественный выбор на панели, изображенной на рис.9.4-б, осуществляется с помощью клавишей „**Ctrl**” или „**Shift**”. Кнопки „**Toggle Selected Sets**” и „**Toggle Selected Vectors**” делают пометки о выборе на подсвеченных именах наборов или векторов соответственно. Опции „**Include Components/Corner Results**” (включить компонентные/узловые результаты) и „**Select Similar Layer/Ply/Corner Vectors**” (выбрать подобные векторы слоя/сгиба/угла) позволяют включить в выбор все однотипные вектора или наборы (в двумерных КЭ). Для редактирования списка есть кнопки „**Delete**” (удаление выбранной строки) и „**Reset**” (полное очищение списка). Выбранные элементы будут добавлены к списку „**Operations That Will Be Processed**” диалоговой панели „**Process Output Data**” (см. рис.9.4-а). Для вывода резуль-

татов операций либо указывается имя набора, либо новый набор создается автоматически. Дополнительно:

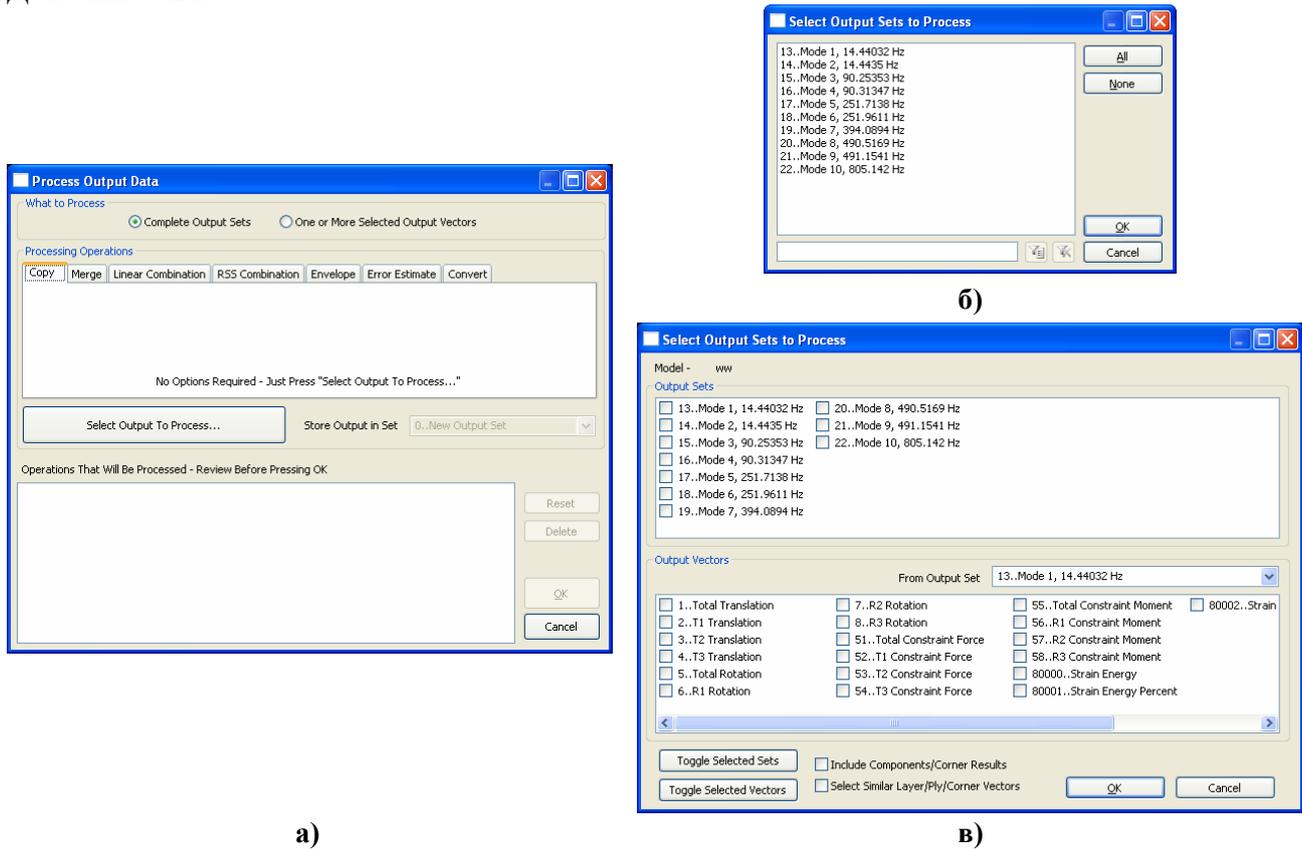
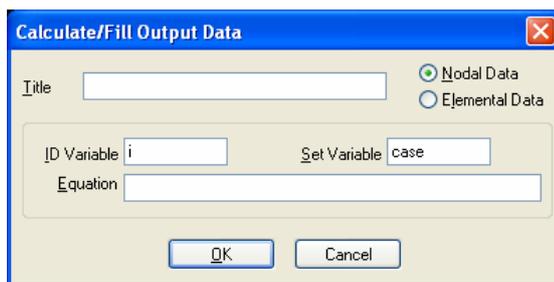


Рис.9.4. Диалоговые панели работы с результатами расчетов: а) – комбинированная; б) – заполнения вычислением; в) – преобразования векторов результатов к другой координатной системе

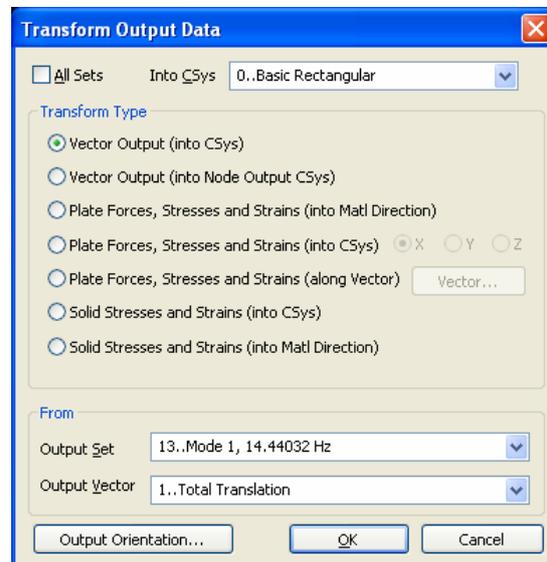
- ♦ для операции „Merge” (слияние) необходимо выбрать один из вариантов: „**Overwrite Existing Output**” или „**Do Not Overwrite Existing Output**” (перезаписывать или нет вектора в выводном наборе, причем во втором случае вектора будут пропущены при наличии в наборе аналогичного вектора);
- ♦ при комбинировании (линейном или RSS) есть три варианта: „**Combine All Selected Vectors**” (комбинировать все выбранные вектора), „**Combine All Vectors in Each Set**” (комбинировать все вектора в каждом наборе) „**Combine Each Vector in All Sets**” (комбинировать каждый вектор во всех наборах). Не все векторы могут комбинироваться (появится соответствующее сообщение);
- ♦ „**Scale Factor**” – общий для выбранного j -го набора или вектора коэффициент a_j для линейного комбинирования $\{V_{out}\} = \sum a_j \{V_j\}$ и вычисление среднеквадратичного значения $\{V_{out}\} = \sqrt{\sum a_j \{V_j\}^2}$ (RSS комбинирование). Сначала устанавливается значение коэффициента, затем с помощью кнопки „**Select Output to Process**” проводится выбор наборов и/или векторов;
- ♦ для варианта „**Envelope**” (огибающая) проводится один из выбранных типов отбора данных: по максимальному (**Max Value**), минимальному (**Min Value**) или максимальному абсолютному (**Max Abs Value**) значению. При включенной опции „**Store Set/Location Info**” будет создано дополнительное множество. Установленная опция „**Within Output Sets**” позволяет сохранить вектор-результат в главной части вывода, опция „**Across Output Sets**” – или в новом или в выбранном в поле „**Store Output in Set**” наборе;
- ♦ для варианта „**Error Estimate**” используется один из выбранных методов формирования вектора ошибки: „**Max Difference**” (максимальная разность), „**% Max Differ-**

ence” (процент от максимальной разности), „Normalized % Max Diff” (нормализованный процент от максимальной разности), „Difference from Average” (разность от среднего), „% Difference from Average” (процент разности от среднего) или „Normalized % Diff from Average” (нормализованный процент от разности от среднего). Формулы можно увидеть в разделе „FEMAP → Commands → 8. Post Processing → 8.5 Output Manipulation → 8.5.5 Model, Output, Process → 8.5.5.6 Generating Error Estimates for Output Data” из „Help”. Результаты помещаются в тот же набор;

- ♦ для варианта „Convert” при конвертировании значений от узлов до центра КЭ или наоборот используется один из выбранных способов вычисления: „Average Values” (усредненное) или „Maximum Values” (максимальное) значение;
- **Calculate...** (вычисление): сначала указывается **ID** нового набора, потом на диалоговой панели (см. рис.9.5-а) вводится название нового вектора (**Title**), тип данных (для узлов или для КЭ), вводится уравнение (см. объяснения к команде **Fill...**)... Параметрами уравнения является порядковый номер объекта (**ID** узла или КЭ), а также порядковый номер набора (в окне „Set Variable”), которые автоматически „пробегают” все значения. Узлы или КЭ выбираются стандартным образом после команды „OK”;



а)



б)

Рис.9.5. Диалоговые панели работы с результатами расчетов: а) – комбинированная; б) – заполнения вычислением; в) – преобразования векторов результатов к другой координатной системе

- **From Load...** (преобразование начальных и граничных условий в векторы результатов). Появляется диалоговая панель „Select Type of Load” (идентична панели „Load Options”, см. рис.4.4-а), выбирается необходимый тип ГУ (узловые, элементные или для жидкости);

- **Transform...** (преобразование векторов результатов к другой координатной системе): на диалоговой панели (см. рис.9.5-б) выбираются набор и вектор (внизу), в секции „Transform Type” – тип преобразований. Новые векторы данных создаются в своем наборе. Если установить опцию „All Sets”, то преобразования состоятся во всех имеющихся наборах. Если выбрано „Vector Output (into CSys)”, то еще необходимо указать новую координатную систему „Into CSys” (таким образом преобразуют трехмерные векторы, например, „Total Translation”. При этом появляются 12 новых компонент: 3 компоненты глобального вектора, каждая разложенная на 3 дополнительных компоненты, все в новой системе). Если выбрано „Plate Forces, Stresses and Strain (into Matl Direction)”, то преобразования проводятся только в двумерных КЭ для внутренних сил и моментов, напряжений или деформаций к направлению анизотропии свойств материалов (см. Раздел 3.2). Для задания другого направления есть команда „Modify→Update Elements→Material Angle...”. Если материал в КЭ – изо-

тропный, то в процессе преобразований появится диалоговая панель „**Transform ...**” (для КЭ **Tria3**, **Quad4**, **Tria6** или **Quad8**, как это изображено на рис.9.6-а), где необходимо указать начало координатной системы текущего вывода (**Current Output Orientation**): посреди первого ребра КЭ (**Element First Edge**), в центре КЭ (**Element Midside Locations**) или посреди диагонали КЭ (**Element Diagonal Bisector**). Есть еще такие варианты: „**Vector Output (into Node Output CSys)**”, „**Plate Forces, Stresses and Strains (into CSys)**”, „**Plate Forces, Stresses and Strains (along Vector)**”, „**Solid Stresses and Strains (into CSys)**”, „**Solid Stresses and Strains (into Matl Direction)**”, смысл которых ясен без дополнительных пояснений;

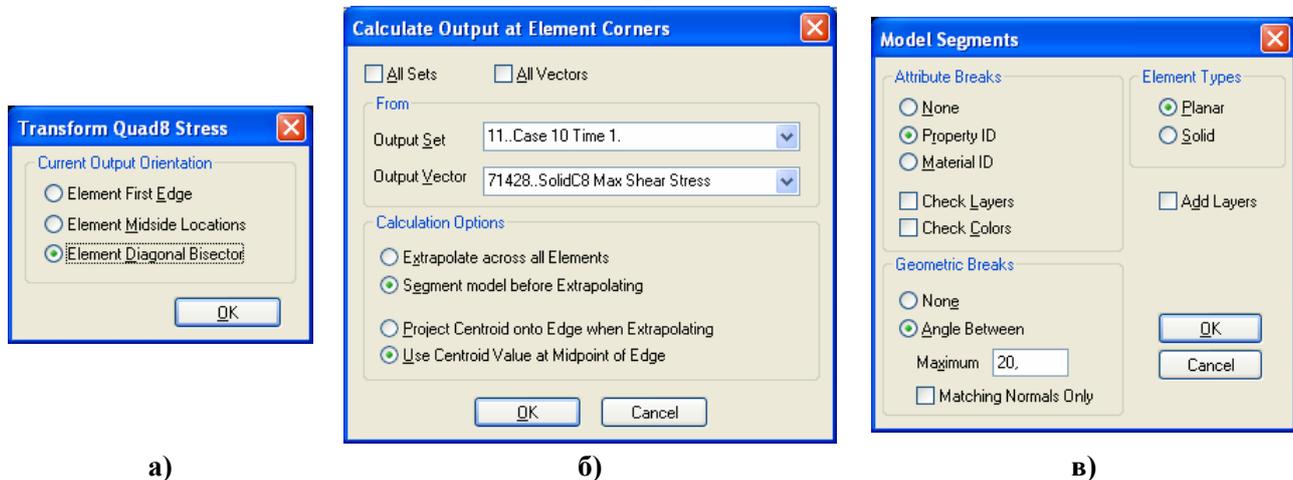


Рис.9.6. Диалоговые панели: а) – указания начала координатной системы текущего вывода; б) – экстраполяции результатов; в) – сегментации модели КЭ для экстраполяции результатов

- **Extrapolate...** (экстраполяция результатов из центров КЭ к их узлам). Эта операция нужна лишь иногда. Если установить опцию „**All Sets**” (см. рис.9.6-б), то преобразования состоятся во всех имеющихся наборах; если „**All Vectors**” – для всех векторов. Индивидуальный выбор проводится с помощью списков „**Output Set**” и „**Output Vector**”. Еще необходимо выбрать опции (**Calculation Options**): „**Extrapolate across all Elements**” (экстраполяция для всех КЭ) или „**Segment model before Extrapolating**” (выборочная экстраполяция; диалоговую панель „**Model Segments**”, что появится потом, (см. рис.9.6-в и рис.1.12-а) подробно описано в Разделе 1.7.2 для команды **Group**→**Operations**→**Generate**). Еще есть опции для установления метода экстраполяции: „**Project Centroid onto Edge when Extrapolating**” (проекционный) или „**Use Centroid Value at Midpoint of Edge**” (центроидальный, рекомендуется для неравномерной КЭС);

- **Convert Complex...** (создание комплексов из амплитудных и фазовых значений, имеющих в указанных наборах данных и векторах, а также проведение обратного преобразования (см. рис.9.7-а)). Это бывает необходимо при анализе результатов динамических задач;

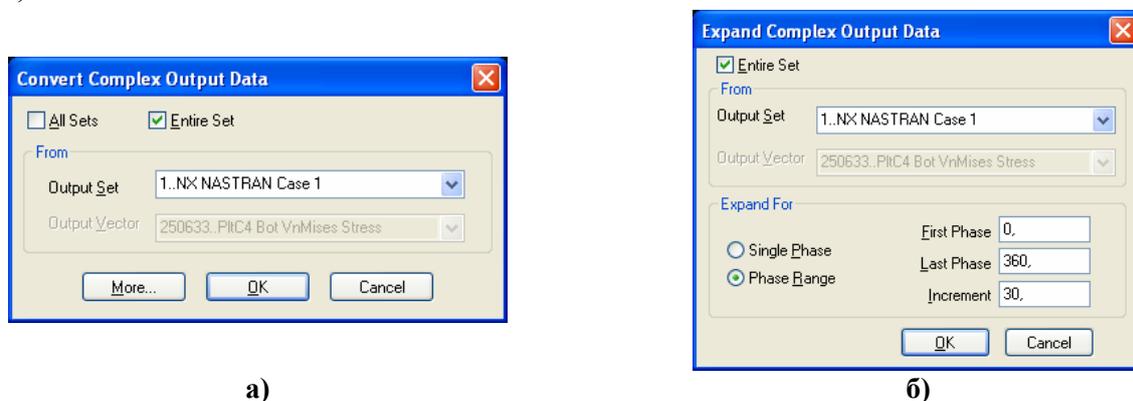
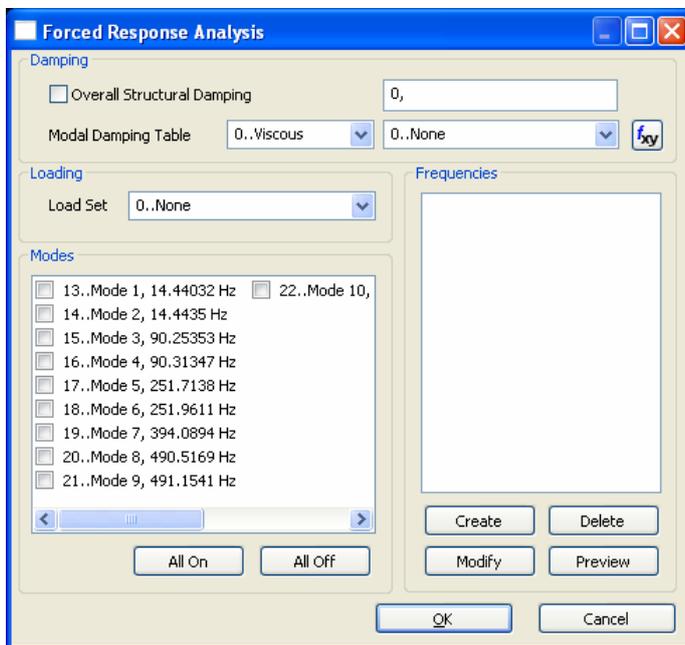


Рис.9.7. Диалоговые панели создания комплексов: а) – обычных; б) – расширенных

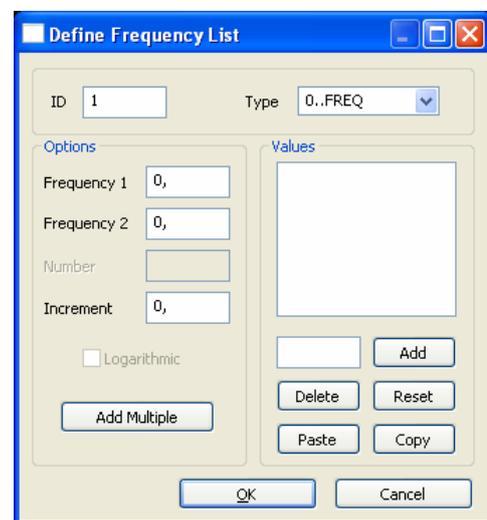
- **Expand Complex...** (создание нового комплексного набора данных в указанных фазовых интервалах). Основой являются указанные наборы данных и векторы. Если на диало-

говой панели (см. рис.9.7-б) выбрать „**Single Phase**” (одна фаза), будет создан набор для указанного значения „**First Phase**” (начальная фаза). Для случая „**Phase Range**” (диапазон фаз) еще необходимо указать „**Last Phase**” (последняя фаза) и „**Increment**” (фазовый шаг). **Внимание:** для значения, которое указано в поле „**Last Phase**”, новые данные не создаются;

- **Forced Response...** (создание нового набора, используя результаты модального анализа), см. рис.9.8-а. В секции „**Damping**” (демпфирование) значение в поле „**Overall Structural Damping**” является дополнительным, а основное устанавливается как „**0..Viscous**” (вязкое) или „**1.Structural**” (структурное демпфирование) в списке „**Modal Damping Table**” через подключаемую функцию типа „**6.Structural Damp vs. Freq**”, „**7.Critical Damp vs. Freq**” или „**8.Q Damping vs. Freq**”. Эти функции из семейства „**Modal Damping Table**” должны охватывать весь интересующий частотный диапазон. В секции „**Loading**” из списка выбирается набор с нагрузками. В секции „**Modes**” (моды, режимы) из списка имеющихся частотных решений выбирается не менее одного набора (для ускорения действий есть кнопки „**All On**” и „**All Off**”). Для создания, просмотра и редактирования списка частот секции „**Frequencies**” есть кнопки „**Create**” (создать), „**Preview**” (просмотреть), „**Modify**” (модифицировать), „**Delete**” (удалить). Сначала с помощью кнопки „**Create**” вызывается диалоговая па-



а)



б)

Рис.9.8. Диалоговые панели создания нового набора, используя результаты модального анализа: а) – общая; б) – создания списка частот

нель „**Define Frequency List**” (см. рис.9.8-б). Можно вводить отдельные значения в поле „**Value**” (под полями) и давать команду „**Add**”. Еще есть 6 вариантов пополнения списка, выбираемых из диалога „**Type**” и заканчивающихся командой „**Add Multiple**” или „**OK**”. В варианте „**0..FREQ**” в полях „**Frequency 1**”, „**Frequency 2**” и „**Increment**” задаются значения частот: начальной, конечной и шаг приращения (например, от 20 до 100 с шагом 20). В варианте „**1..FREQ**” в полях „**Frequency 1**”, „**Increment**” и „**Number**” задаются значения начальной частоты, шаг приращения и количество шагов. В варианте „**2..FREQ**” в полях „**Frequency 1**”, „**Frequency 2**” и „**Number**” задаются значения начальной и конечной частот, а также количество *логарифмических* шагов (интервалов) внутри диапазона. В варианте „**3..FREQ**” в полях „**Frequency 1**”, „**Frequency 2**”, „**Number**” и „**Cluster**” задаются значения начальной и конечной частот, а также количество шагов внутри диапазона и кластеров у краев частотного диапазона. Кроме того, можно использовать логарифмическую (включить опцию „**Logarithmic**”) или линейную интерполяцию. В варианте „**4..FREQ**” в полях „**Frequency 1**”, „**Frequency 2**”, „**Number**” и „**Spread %**” задаются значения начальной и конечной

частот, а также количество равномерных разделенных частот внутри диапазона и процент распространения частот (+/-), выбранных ранее в списке „**Modes**” на диалоговой панели, изображенной на рис.9.8-а. В варианте „**5..FREQ**” в полях „**Frequency 1**” и „**Frequency 2**” задаются значения начальной и конечной частот. Кроме того, в активном поле под полем „**Value**” необходимо указать процент распространения частот (выбранных ранее в списке „**Modes**” на диалоговой панели, изображенной на рис.9.8-а) в виде трех чисел, например, 0.9, 1.0, 1.06 (10% до и 6% после).

После полного заполнения диалоговой панели, изображенной на рис.9.8-а, дается команда „**OK**” и появляется диалоговая панель, изображенная на рис.9.9. На ней в 6-ти секциях задается формата вывода. В секции „**Save Results As**” выбирается тип вывода для каждой частоты в решении: „**Output Vectors**” (наборы с векторами) или „**Functions**” (функции, например, частотная характеристика). В секции „**Compute Results For**” нужно выбрать „**Model**” (для всей модели) или „**Group**” (для узлов ранее созданной группы). В секции „**Complex Data Type**” (комплексный тип данных) можно выбрать „**Real and Imaginary**” (действительная и мнимая части) или „**Magnitude and Phase**” (амплитуда и фаза), причем фазы можно формировать в разных диапазонах („**Phase 0 to 360**” или „**Phase -180 to 180**”). В секции „**Modal Contributions**” (модальные контрибуции) можно установить опции „**vs. Mode at a Frequency**” (отображать модальные контрибуции всех выбранных мод для каждой частоты решения. Будут созданы по две функции для каждой частоты решения, по одной для каждой амплитуды и фазы или действительной и мнимой компоненты) и/или „**vs. Frequency for a Mode**” (отображать модальные контрибуции каждой частоты решения через все выбранные моды. Будут созданы по две функции для каждой моды, по одной для каждой амплитуды и фазы или действительной и мнимой компоненты). В секциях „**Nodal**” (в узлах) и „**Elemental**” (в элементах) выбирается „**Group**” (ранее созданная группа) или в поле „**ID**” указывается номер узла или конечного элемента. Для узлов можно выводить „**Displacement**” (перемещение), „**Velocity**” (скорость), „**Acceleration**” (ускорение), „**Applied Load**” (приложенная нагрузка), „**Constraint Force**” (сила в ограничении) и/или „**Equation Force**” (сила в связи, заданной уравнением). Для элементов можно выводить „**Stress**” (напряжения), „**Strain**” (деформации) и/или „**Force**” (силы).

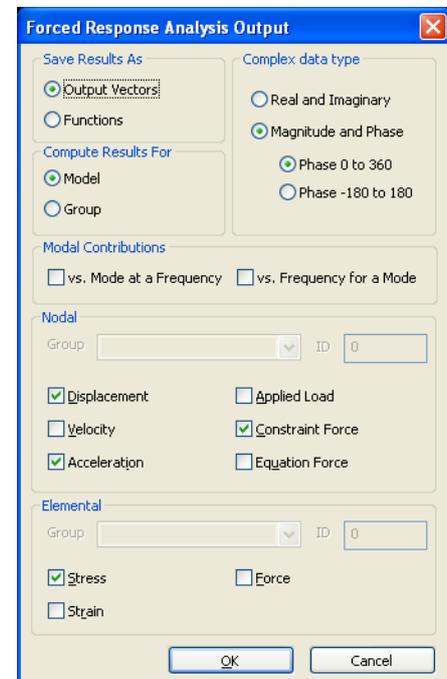


Рис.9.9. Диалоговая панель вывода для режима „**Forced Response**”

9.3 Управление изображениями на рабочем поле FEMAP

9.3.1 Команды меню „**Window**” и „**View**”

Для управления изображением окон FEMAP есть такие команды меню „**Window**”:

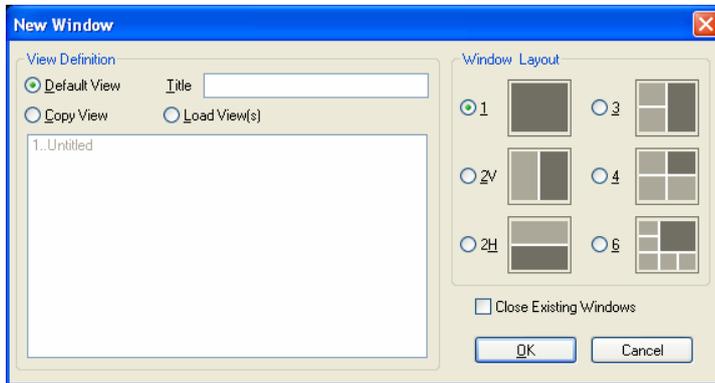
- **New Window...** – создание новых (от 1 до 6), копирование или загрузка прежде созданных окон изображений (см. табл. 9.1 и рис.9.10-а). Есть опция „**Close Existing Windows**” – закрыть все существующие окна;
- **Close** – закрытие активного окна;
- **Tile Horizontal, Tile Vertical, Cascade** – изображение всех открытых окон таким образом, чтобы не было закрытых частей (**Tile**) или каскадом (**Cascade**);
- **Toggle Tabs** – переключатель: изображать *вкладки* для окон изображений, или нет;
- **Toggle Title Bars** – переключатель: показывать названия окон изображений, или нет;
- **Redraw** (или „горячие клавиши” **F12, Ctrl+D**) – обновление окон изображений на рабочем поле, без обновления внутренних массивов графической информации;

• **Regenerate** („Ctrl+G” или „Ctrl+F12” – регенерация активного окна; „Ctrl+Shift+G” – регенерация всех окон). При регенерации все массивы графической информация создаются снова, поэтому эту команду рекомендуют при наличии проблем с изображением;

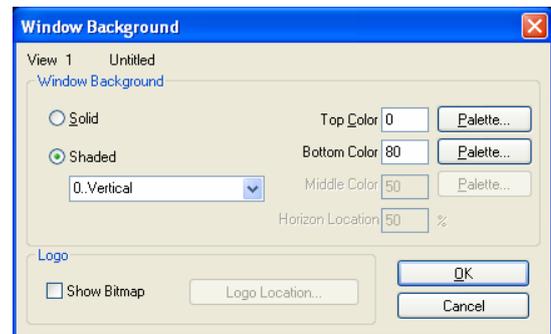
• **Show Entities...** – показывать некоторые свойства выбранных объектов. На появившейся диалоговой панели „Entity Show” (см. рис.9.10-б) в секции „Entity Type” выбирается тип объекта, в секции „Style” указываются опции, формирующие стиль изображения: „Erase Background First” (сначала сотрите фон), „Transparent Highlight” (прозрачное изображение), „Label with ID” (номера объектов), „Show Normals” (показать нормали), „Entity Color” (цвет объекта), „Show Color” (показать цвет), „Palette...” (палитра).

Таблица 9.1. Ориентация изображений в зависимости от количества окон

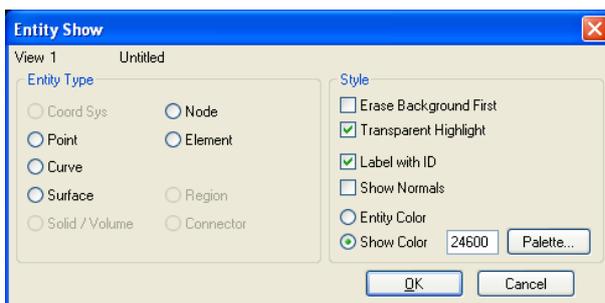
| Количество окон | Ориентация | Количество окон | Ориентация |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------|---|
| 1 | Default (XY или копирование) | 4 | XZ, XY, YZ, default (XY или копирование) |
| 2V, 2H | XY, default (XY или копирование) | 6 | Изометрия (-23, 34, 0 градусов), XZ, XY, YZ, изометрия (60, 0, 60 градусов), default (XY или копирование) |
| 3 | XZ, XY, default (XY или копирование) | | |



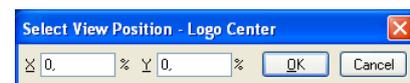
а)



в)



б)



г)

Рис.9.10. Диалоговые панели:

а) – создания новых окон; б) – показа некоторых свойств выбранных элементов модели; в) – заполнения рабочего поля; г) – позиционирование изображения

Кроме того, с помощью меню „Window”, можно перейти к другому (открытому ранее) проекту.

Для управления изображением разнообразных объектов на рабочем поле FEMAP есть следующие команды меню „View”:

• **Create/Manage...** – создание нового или активация существующего окна с изображением модели;

• **All Views** („Alt+F7). Это не команда, а опция. Когда она активна (при нескольких открытых окнах), изменения изображений происходят не только в активном окне, а во всех других открытых окнах одного проекта;

- **Background...** – заполнение рабочего поля (см. рис.9.10-в): типа фона (**Solid** – твердый, **Shaded** – заштрихованный), причем в последнем случае нужно из списка выбрать, каким способом заполнять рабочее поле двумя цветами, которые выбираются в полях „**Top Color**” (верхний цвет) и „**Bottom Color**” (цвет основы). Есть такие варианты: „**0..Vertical**” – изменяться вниз; „**1..Horizontal**” – горизонтально направо; „**2..Diagonal Up**” – по диагонали вверх; „**3..Diagonal Down**” – по диагонали вниз; „**4..Square Spot**” – квадратом от центра; „**5..Circular Spot**” – окружностью от центра; „**6..Horizon**” – с горизонтом (становятся активными еще два поля: „**Middle Color**” (средний цвет) и „**Horizon Location**” (положение горизонта)); „**7..Bitmap**” – не масштабируемое изображение из файла типа *.bmp, который указывается в поле „**Logo**” вкладки „**Views**” диалоговой панели „**Preferences**”, вызываемой командой „**File→Preferences...**”; „**8...Stretched Bitmap**” – масштабируемое изображение из файла типа *.bmp. В последнем случае, если изображение меньше размера рабочего поля, его можно позиционировать с помощью опции „**Show Bitmap**” и кнопки „**Logo Location...**”, которая вызывает панель „**Select View Position – Logo Center**” (см. рис.9.10-г), где указывается положение центра изображения (в процентах);

- **Visibility...** (или клавиши „**Ctrl+Q**”) – отображения (отображать / не отображать), для быстрых групповых изменений (см. Раздел 1.5, рис.1.12-б; Раздел 1.7.1, рис.1.14-а);

- **Select...** (или клавиша „**F5**”) – выбор табличных данных (функций, результатов расчетов) для их дальнейшего изображения (см. Раздел 9.4);

- **Options...** (или клавиша „**F6**”) – изменение параметров изображения для отдельных элементов модели. Некоторые сведения об этих инструментах приведены в Разделе 1.5 и на рис.1.12-а, а дополнительные к ним – в следующем Разделе 9.3.2;

- **Advanced Post...** – группа команд для просмотра результатов расчетов в конечно-элементной модели (см. Раздел 9.4);

- **Rotate, Aling By, Magnify..., Zoom..., Pan...** – см. Раздел 2.2.1;

- **Autoscale...** (автоматическое изменение масштаба изображения к стандартному). Есть такие варианты: „**All**” (**Shift+F7**), „**Regenerate All**” (**Shift+Ctrl+A**) и „**Visible**” (**Ctrl+A**). Сопровождается скачкообразным перемещением изображения в центр рабочего поля;

- **UnZoom** – возвращение к предыдущему масштабу изображения;

- **Center...** (есть электронная кнопка ) – помещение точки с указанными координатами, а также одновременно центра вращения для модели в центр рабочей плоскости. Изображение модели получит соответствующий сдвиг. Если рассматривается график, то значение (0%, 0%) соответствует левому верхнему углу, а (100%, 100%) – правому нижнему.

9.3.2 Диалоговая панель „**View Options**”

Диалоговая панель „**View Options**” (см. рис.1.12-а и рис.9.11) вызывается командой **View→Options...**, а также клавишей „**F6**” или командой „**More Options...**” на мнемоническом меню (см. рис.9.12), которое вызывается кнопкой „**Post Option**” мнемонического меню „**Post**” (см. табл.1.3).

Она имеет три секции.

В секции „**Category**” выбирается нужный вариант: „**Labels, Entities and Color**” (обозначения, объекты и цвета), „**Tools and View Style**” (инструменты и стиль изображения) или „**PostProcessing**” (результаты расчета). Потом в списке „**Option**” указывается необходимый объект. В правой части панели появляются дополнительные списки и поля для назначения параметров изображения объекта. Название и содержание этих списков и полей соответствуют выбранному объекту. Обширный перечень вариантов приведен в Приложении 1.

Как будет выглядеть изображение после изменений, можно увидеть, не выходя из диалога (кнопка „**Apply**”). Кнопка „**Cancel**” отменяет все новые назначения.

Кстати, если вместо „**Continuous**” выбрать „**Level Colors**” (см. рис.9.11-а), то функция на поверхности тела будет изображать не цветом, что плавно изменяется, а изополосами.

В двух ситуациях на диалоговой панели „View Options” появляются кнопки „Contour Options...” и „Set Levels...” (см. рис.9.11-а и рис.9.11-б соответственно).

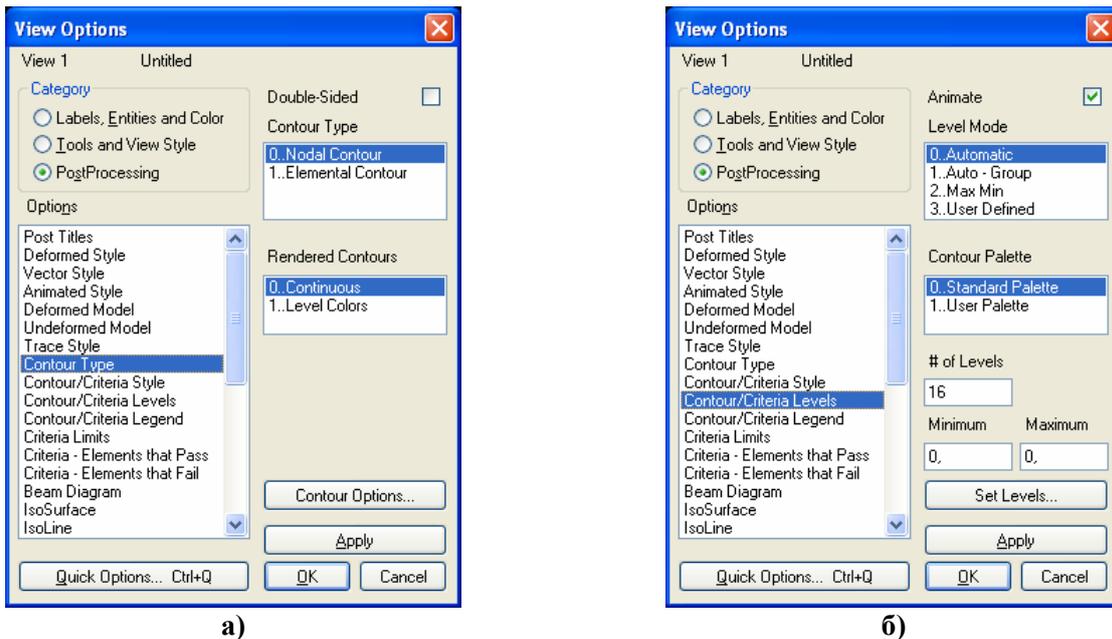


Рис.9.11. Диалоговая панель View Option настраивания изображения объектов

Кнопка „Contour Options...” вызывает панель „Select Contour Options” (рис.9.13-а).

Примечание 9.1. В NX Nastran система алгебраических уравнений, порождаемая МКЭ, решается относительно узловых значений температуры (задача о ТС) или перемещений (задача о НДС), потом на их основе рассчитываются для каждого из КЭ отдельно другие величины (производные от основных: тепловой поток, деформации, напряжения, ...) или в точках численного интегрирования, или в геометрических центрах КЭ, или в узлах КЭ (это зависит от типа КЭ). Поскольку графика OpenGL строит изображение лишь на данных в *узлах*, то все величины, что нужно отобразить на контуре тела, нужно иметь в *узлах* КЭС. Итак, если величина была рассчитана не в узлах КЭС, то ее необходимо привести к ним.

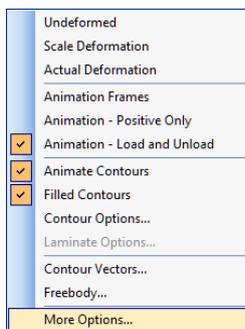


Рис.9.12. Мнемоническое меню управления изображением

В NX Nastran реализовано два варианта приведения величин к узлам. В первом сначала величины приводят к узлам (вариант „Nodal”), во втором – к центру (вариант „Elemental”) каждого КЭ. Потом последовательно рассматриваются все узлы КЭС тела и, если некоторый узел КЭС входит в $N > 1$ КЭ, то из N значений величины, рассчитанных в этих N КЭ (узловых или „центровых”), вычисляется единое („эквивалентное”) значение величины для данного узла как объекта КЭС тела. Есть несколько вариантов вычисления единого значения. Для выбора всех этих вариантов и создана рассматриваемая диалоговая панель „Select Contour Options”.

В секции „Contour Group” (группа контуров) выбирается (если она есть) ранее созданная группа: или активная, или из списка групп.

В секции „Type Contour” (тип контура) выбирается вариант „Match Output” (как определено для вывода), „Nodal” или „Elemental”. Секция „Data Conversion” имеет три варианта вычисления „эквивалентного” узлового значения: „Average” (среднее арифметическое), „Max Value” (максимальное) и „Min Value” (минимальное) из N значений. Активная опция „Use Corner Data” указывает, что будут использоваться первичные данные только из *угловых* узлов КЭ. В секции „Rendered Contours” можно выбрать или вариант „Continuous” (беспрерывный цвет. Он имеет недостатки: во-первых, невозможно будет проявить имеющиеся (возможно, ошибочные) разрывы в КЭС или естественные разрывы напряжений на

стыках разных материалов; во-вторых, для двумерных КЭ усреднение нескольких данных (в первую очередь – напряжений) по толщине, которое при этом состоится, не является верным вариантом) или „**Level Colors**” (цвет изополос).

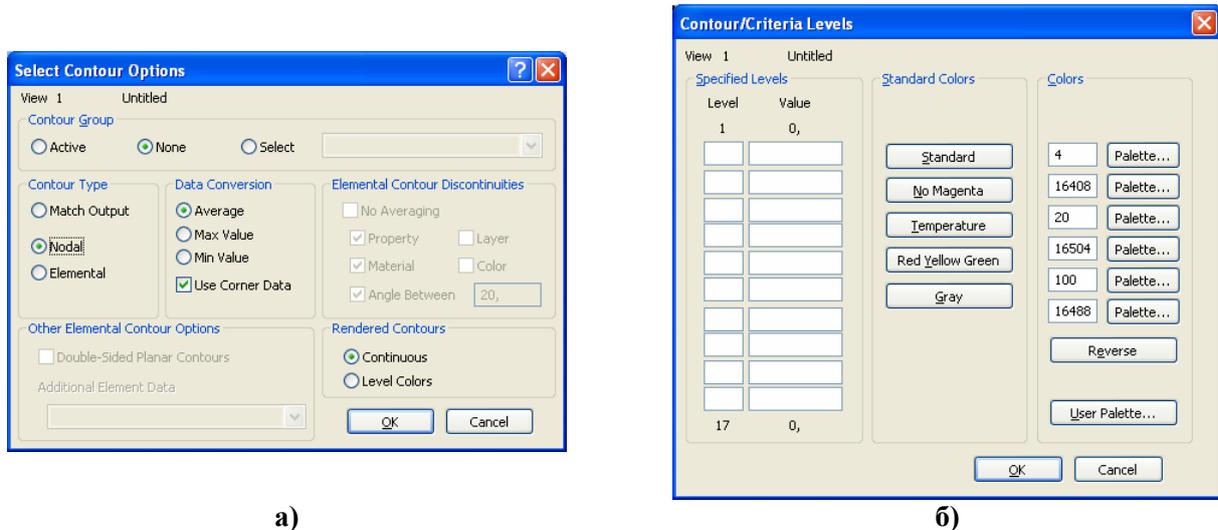


Рис.9.13. Диалоговые панели для назначения: а) – типа контура и варианта преобразований данных; б) – базовых и дополнительных цветов изополос

Для вариантов „**Match Output**” и „**Elemental**” активны еще две секции. В секции „**Elemental Contour Discontinuities**” можно опцией „**No Averaging**” отменить все усреднения или другими опциями указать выборочные принципы отбора: согласно „**Property**”, „**Material**”, „**Layer**”, „**Color**” (когда их несколько), „**Angle Between**” (угол расхождения ориентации КЭ, в пределах ... градусов). Это имеет смысл при разрывах изображаемой величины, например, когда стыкуются пластины разной толщины. В секции „**Other Elemental Contour Options**” опция „**Double-Sided Planar Contours**” указывает, что нужно одновременно изобразить два контура (только для двумерных КЭ: сверху и снизу пластины). В окне „**Additional Element Data**” можно выбрать вектор результатов, который дополнительно будет отображаться (обычно это актуально, когда стыкуются поверхностями двумерный и трехмерный КЭ).

Примечание 9.2. Значительная разница между минимальным (максимальным) и средним значением в узле указывает на значительную погрешность расчетов, особенно там, где нет резких изменений геометрии тела или локально приложенных нагрузок. В таких случаях нужно изменять КЭС (уменьшать размеры КЭ).

Кнопка „**Set Levels...**” (см. рис.9.11-б) вызывает панель „**Contour /Criteria Levels**” (см. рис.9.13-б). В секции „**Colors**” назначается шесть базовых цветов. Кнопка „**Standard**” устанавливает их „по умолчанию” (от красного до фиолетового), кнопки „**No Magenta**” (от красного до темно-синего, без пурпурного), „**Temperature**” (от белого до темно-синего), „**Red Yellow Green**” (от красного до зеленого, через желтый), „**Gray**” (серый, от светлого к темному, для печати на *монохромном* принтере) – альтернативные палитры. Кнопка „**Reverse**” изменяет порядок цветов на обратный. Если в поле „**# of Levels**” (см. позицию 76 таблицы П1.1. Приложения 1) количество изолиний больше или меньше шести, то FEMAP проводит интерполяцию цвета между изополосами. В секции „**Specified Levels**” можно указать еще до 10 дополнительных *промежуточных* уровней (крайние значения „**Level**” – указаны) и значений, которым они будут соответствовать (сверху вниз – уменьшать; противоречивые (в частности, и относительно указанным на панели „**View Options**” значением „**Minimum**” и „**Maximum**”) значения (**Value**) будут игнорироваться). С помощью кнопки „**User Palette**” можно настроить или считать (**Load**) из файла с расширением имени *.cnt* новую (другую) палитру. Чтобы ее применить, нужно выбрать для „**Contour/Criteria Levels**” (см. рис.9.11-б) значение „**User Palette**”.

Командой **List→View...** можно вывести все текущие назначения панели „**View Options**” в окно „**Messages**”.

9.4 Просмотр функций и результатов расчетов краевой задачи

В FEMAP все данные помещены в таблицы (наборы, **Set**), каждый столбец которой носит название вектора.

Результаты расчетов краевой задачи в FEMAP можно отобразить в виде графиков функций, изоповерхностей в объеме конечно-элементной модели тела или на его поверхности, а также в виде эпюр вдоль одномерной конечно-элементной сетки. Почти все действия для этого осуществляются с помощью диалоговой панели „**View Select**” (см. рис.9.14), которая вызывается командой **View**→**Select...** (или клавишей „**F5**”, или кнопкой ). На ней есть 4 секции.

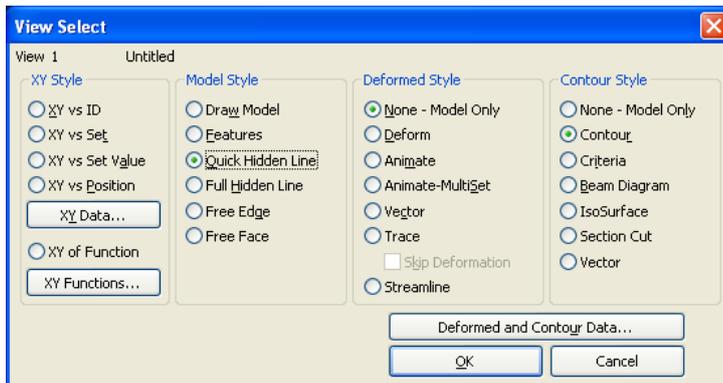


Рис.9.14. Диалоговая панель „**View Select**”

- „**XY vs Set Value**” – подобно „**XY vs Set**”, только не от номера набора, а от параметра „**X**” набора (когда он предусмотрен), например, изменение температуры узла во времени (тогда параметр „**X**” – температура);
- „**XY vs. Position**” – изменения в зависимости от положения всех узлов (или КЭ) в направлении указанной оси (**X**, **Y** или **Z**) для вектора в *одном* наборе результатов;
- „**XY of Function**” – график функций: созданных пользователем или результатов расчетов, представленных в виде функций.

После выбора одного из вариантов (кроме последнего) кнопкой „**XY Data...**” вызывается диалоговая панель „**Select XY Curve Data**” (см. рис.9.15-а). На ней выбирается категория и тип данных, может устанавливаться опция „**Data at Corners**” (данные в углах). В списках „**Output Set**” и „**Output Vector**” выбираются необходимые набор и вектор результатов. Для вариантов „**XY vs Set**” и „**XY vs Set Value**” активны поля „**Node**” или „**Element**” (указывается номер узла или КЭ) и „**From**”, „**To**” (указывается (*единый* для всех кривых) диапазон *номеров наборов*, если используются не все наборы). Можно создать до 9 кривых (отобразятся на одном графике разными цветами). **Внимание:** для справки на панели появляются возможные значения „**ID**”, а также максимальные и минимальные значения величины (**Value**), указанной в списке „**Output Vector**”, *лишь в том наборе*, который выбран в списке „**Output Set**”.

Для варианта „**XY vs. Position**” в секции „**Position**” необходимо указать направление и координатную систему. Для вариантов „**XY vs ID**” и „**XY vs Position**” в секции „**Group**” в качестве ограничения можно выбрать группу объектов (активную или из списка).

Некоторые результаты расчетов в FEMAP представляются как функции, которые можно просмотреть с помощью варианта „**XY of Function**”. Тогда кнопкой „**XY Functions...**” (см. рис.9.14) нужно вызвать диалоговую панель „**Select Multiple Functions for View**” (см. рис.9.15-б), где в секции „**Functions**” нужно в списках „**Curve 1 ... Curve 9**” секции „**Functions**” выбрать нужные функции. Аналогично (см. Раздел 1.8.2) проводится просмотр графиков функций, созданных с помощью команды **Model**→**Function...**

Внимание: для масштабирования графиков удобно пользоваться кнопками панели „**View Magnify**” (вызывается командой **View**→**Magnify...** или горячими клавишами „**Ctrl+M**”): „**Fill View**” – 100% заполнение поля графика; „**Down 10%**” или „**Up 10%**” –

Секция „**XY Style**” (координатный стиль) имеет такие варианты создания графиков:

- „**XY vs ID**” – как функции „**ID**” („**Node ID**” или „**Element ID**”, в зависимости от величины, которая просматривается) для вектора вывода из *одного* набора результатов;
- „**XY vs Set**” – для указанного вектора и одного „**ID**” как функции от номера набора (в *нескольких* наборах результатов, например, изменение температуры узла в наборах);

уменьшение или увеличение сразу на 10%. Последние действия можно также выполнять электронными кнопками . Кнопка  (**Zoom**) может послужить для „вырезания” части графика.

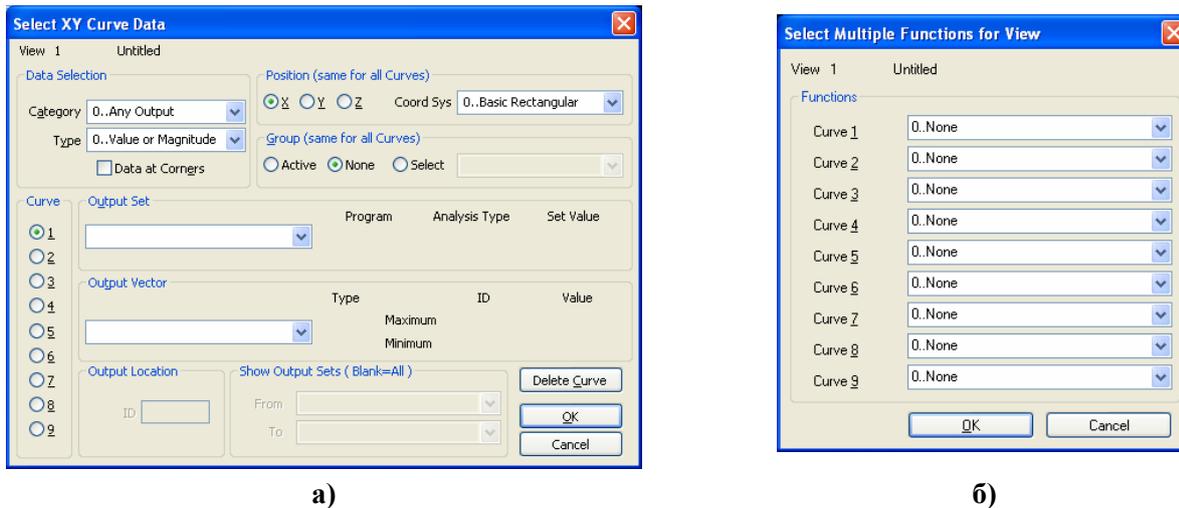


Рис.9.15. Диалоговые панели настраивания просмотра результатов расчетов в виде графиков

Все другие варианты относятся к настройке изображения результатов непосредственно на модели.

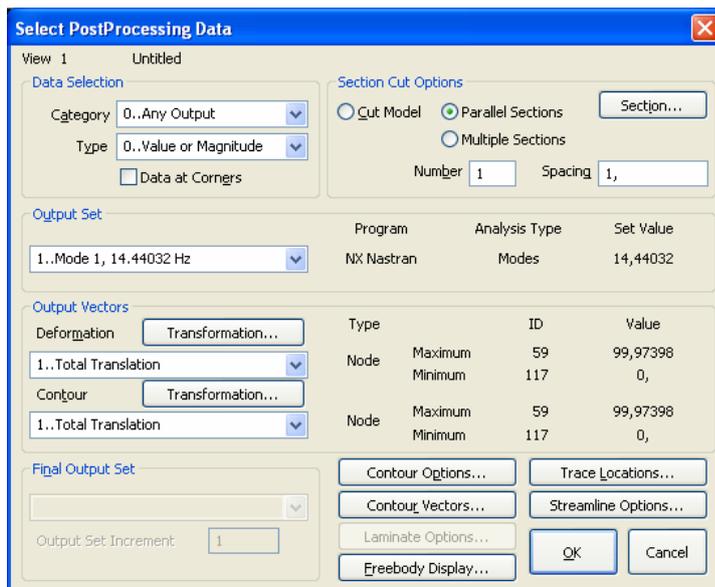
В секции „**Model Style**” (см. рис.9.14) выбирается стиль изображения: „**Draw Model**” (геометрическая модель – проволочная); „**Features**” (учет назначений графического режима Windows); „**Quick Hidden Line**” (быстрый (не точный) алгоритм удаления невидимых линий); „**Full Hidden Line**” (полное удаление невидимых линий); „**Free Edge**” (свободные грани); „**Free Face**” (свободные лицевые поверхности). Последние два режима применяют для проверки качества модели, поскольку свободные грани и лицевые поверхности часто указывают на локальные разрывы модели. Указанные стили изображения и те, что устанавливаются с помощью кнопки , в совокупности обеспечивают практически все варианты, которые могут потребоваться для работы с объектами модели.

В секции „**Deformed Style**” (см. рис.9.14) выбирается стиль отображения деформаций тела: „**None – Model Only**” (без деформаций); „**Deform**” (с деформациями, степень утрирования устанавливается на диалоговой панели „**View Options**”, см. Раздел 9.3.2 и п.68 табл.П1.1 Приложения 1); „**Animate**” (анимация с деформациями); „**Animate Multi-Set**” (анимация на основе нескольких последовательных наборов); „**Vector**” (без деформаций, но с векторами направления деформирования); „**Trace**” (подобно „**Animate Multi-Set**”, но без отображения соединенных линий); „**Streamline**” (направление потока через КЭ типа **Solid**). Для отображения скалярных величин для трех стилей активна опция „**Skip Deformations**”.

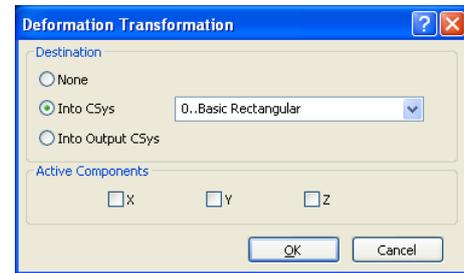
В секции „**Contour Style**” (см. рис.9.14) выбирается стиль отображения результатов расчетов в виде цветных изополос, изоповерхностей и эюр: „**None – Model Only**” (не отображать); „**Contour**” (аппроксимированное изображение на контуре, т.е. на поверхностях КЭ, которые являются внешними для тела); „**Criteria**” (как „**Contour**”, но не аппроксимированное, а усредненное для КЭ); „**Beam Diagram**” (эюры или подобные им диаграммы); „**IsoSurface**” (внутренние изоповерхности в *трехмерных* КЭ моделях; „**Section Cut**” (отсечение плоскостями частей тела); „**Vector**” (векторы из центров КЭ).

Внимание: во-первых, изображение может несколько измениться при выборе других вариантов секции „**Model Style**”; во-вторых, количество изополос (цветов) устанавливается на диалоговой панели „**View Options**” в категории „**PostProcessing**” для „**Contour/Criteria Levels**” в поле „**# of Levels**”. По умолчанию это количество равно 16. Можно его увеличить, например, до 32, но значительно его увеличивать нет смысла.

Когда назначены режимы „**Deformed Style**” и „**Contour Style**”, нужно кнопкой „**Deformed and Contour Data...**” (см. рис.9.14) вызвать диалоговую панель „**Select PostProcessing Data**” (см. рис.9.16-а).



а)



б)

Рис.9.16. Диалоговые панели: а) – назначения наборов и векторов результатов расчетов для отображения в виде цветных изополос, изоповерхностей и эпюр; б) – переназначения координатной системы анимации на экране монитора

Еще эту панель можно вызвать кнопкой  (**Post Data**) из панели команд, комбинацией „Shift+F5” или командой „Post Data...” на динамической панели, вызываемой правой кнопкой „мыши” (тогда применяются те назначения на диалоговой панели „View Select”, что были сделаны при последнем ее вызове). Левая ее часть напоминает диалоговую панель „Select XY Curve Data” (см. рис.9.15-а). В окне „Output Set” выбирается набор результатов; в окне „Deformation” – вектор результатов, на основе которого будет создаваться стиль отображения деформаций тела „Deformed Style” (т.е. проводится анимация); в окне „Contour” – тот, на основе которого будет создаваться стиль отображения „Contour Style” (т.е. тот, что будет отображаться цветом на поверхности тела). Если в секции „Deformed Style” было выбрано „Animate Multi-Set” или „Trace”, то будут активными окна „Final Output Set” (последний набор из диапазона наборов) и „Output Set Increment” (шаг по номерам наборов). Кнопка „Transformation...” правее от надписи „Deformation” вызывает диалоговую панель (см. рис.9.16-б), позволяющую (кроме вариантов „Beam Diagram” и „Contour Vector”) изменить направление или координатную систему *анимации* (только на экране монитора). Если выбрано „Into Output CSys”, то анимация будет проводиться только в отмеченных ниже направлениях (X, Y или Z, см. рис. 9.16-б). После выхода из диалога, кнопка „Transformation...” несколько изменит название: на „Transformation...(On)”, указывая тем самым на сделанные назначения. Кнопка „Transformation...” правее от надписи „Contour” вызывает диалоговую панель (см. рис.9.17-а), позволяющую изменить направление или координатную систему *узловых* результатов: векторов перемещений, сил реакции, деформаций в трехмерных КЭ и т.п. (только на экране монитора). В частности, опция „Into Node Output CSys” в секции „Nodal Vector Output” означает вывод в той координатной системе, что ранее была назначена для узла. Опция „Into Matl Direction” в секциях „Plate Forces, Stresses and Strains” и „Solid Stresses and Strains” означает вывод в ранее назначенном (с помощью кнопки „Element Material Orientation”, см. Раздел 3.2, или с помощью команды модификации **Update Elements→Material Angle**) направлении свойств анизотропии материала в двумерных и трехмерных КЭ соответственно. Опция „Into CSys” в секциях „Plate Forces, Stresses and Strains” позволяет выровнять направление X вывода с указанным направлением X, Y или Z (см. рис. 9.17-а). Кнопка „Output Orientation...” вызывает диалоговую панель „Current Output Orientation” (см. рис.9.17-б), на которой можно дополнительно указать направления ориентации вывода (на экран монитора) для указанных типов КЭ, выбирая возможные значения из соответствующих списков.

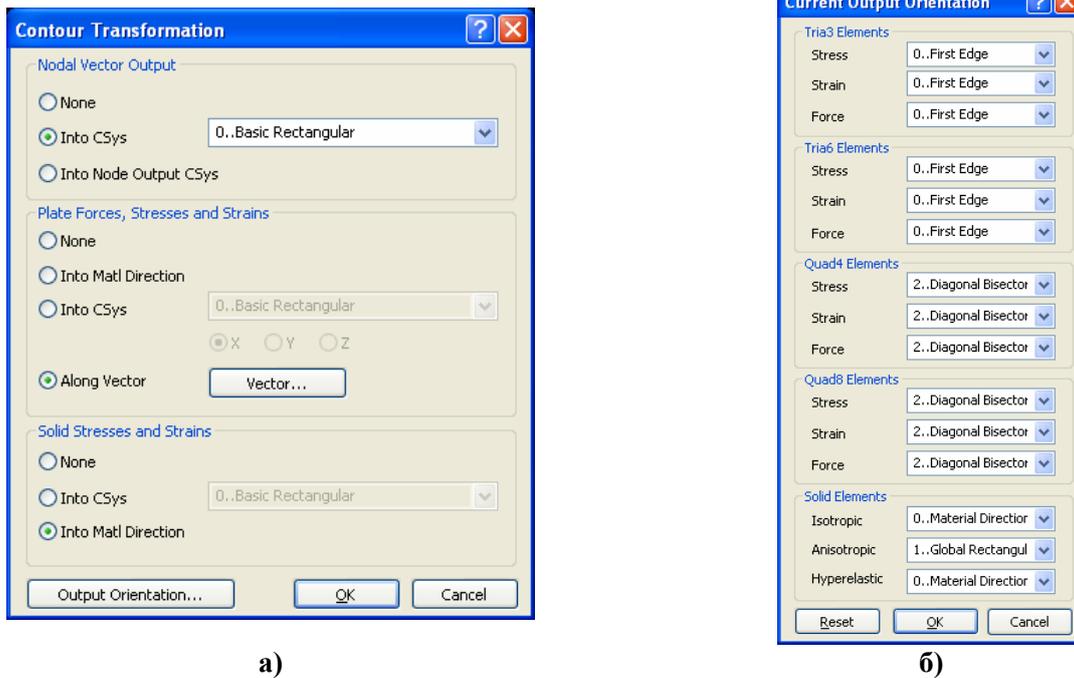


Рис.9.17. Диалоговые панели трансформации вывода значений на контуре модели:
а) – основная; б) – дополнительная

В секции „Section Cut Options” (активна лишь для варианта „Section Cuts” секции „Contour Style”, см. рис.9.14) есть три варианта. Первый (**Cut Model**) позволяет назначить одну плоскость рассечения твердого тела (с помощью кнопки „Section...”), после чего изображение одной части тела (что на стороне с положительным направлением нормали к плоскости) исчезает, а на плоскости рассечения и на оставшихся поверхностях появляется цветное изображение. Вторым вариантом (**Parallel Sections**) позволяет назначить одну или несколько *параллельных* плоскостей рассечения, причем изображение всего тела становится прозрачным, и лишь на плоскостях рассечения есть изображения изополос. В поле „Number” указывается количество плоскостей, а в „Spacing” – расстояние между ними в положительном направлении нормали от первой плоскости (со знаком минус – в обратном направлении). Изображение модели зависит от выбора варианта в секции „Model Style” (см. рис.9.14).

Третий вариант (**Multiple Sections**) позволяет назначить до трех плоскостей рассечения твердого тела с *независимой* ориентацией с помощью кнопок „Section 1...”, „Section 2...” и „Section 3...” (см. рис.9.18).

Для режима „Trace” (см. рис.9.14) кнопкой „Trace Locations...” можно вызвать диалоговую панель „Trace Locations”, на которой – выбрать один из трех вариантов для узлов: „All” (все, вариант по умолчанию), „ID” (конкретный узел) или „Group” (заранее созданная группа узлов).

Кнопкой „Contour Options...” можно вызвать диалоговую панель „Select Contour Options”, которая уже описана в Разделе 9.3.2 (см. рис.9.13-а).

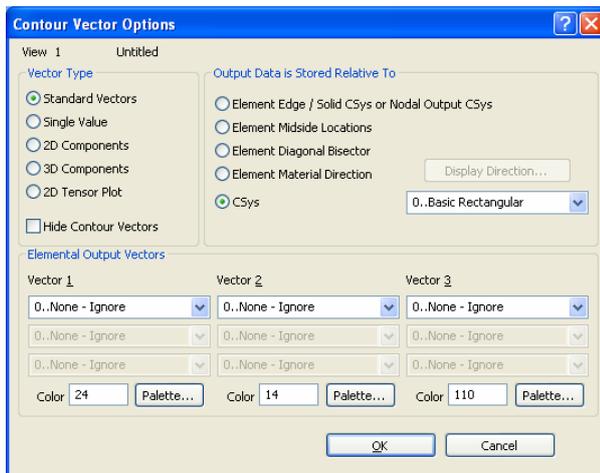
Для режима „Vector” (см. рис.9.14) кнопкой „Contour Vectors...” можно вызвать диалоговую панель „Contour Vectors Options” (см. рис.9.19-а) для настраивания контурных векторных графиков (до трех разных векторов (из списков), обозначенных разными цветами на одном графике). Есть такие типы графиков: „Standard Vectors” (один из векторов типа „Total”), „Single Value” (один из векторов типа „Total” или одна из компонент), „2D Components” (два), „3D Components” (три логически связанных вектора) и „2D Tensor Plot” (изображение компонент тензора 2-мерной задачи в виде трех векторов: вдоль X, Y и под 45 градусов, меж ними). Есть общая опция „2D Tensor Plot View Options Override”: команда



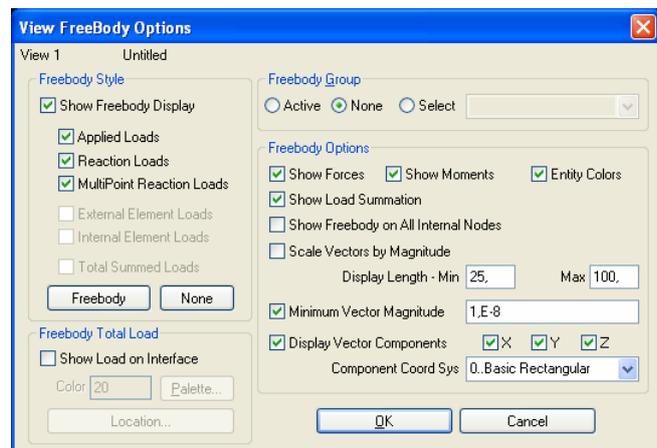
Рис.9.18. Изображение секции „Section Cut Options” диалоговой панели „Select PostProcessing Data” для варианта „Multiple Sections”

File→**Preferences...**, вкладка „**Views**”). Например, для двух векторных графиков типа „**3D Components**” необходимо выбрать 6 векторов. Для двумерных и трехмерных КЭ в секции „**Output Data is Stored Relative To**” можно выбрать один из пяти вариантов направлений: „**Element Edge / Solid CSys or Nodal Output Csys**” (в двумерных КЭ направление **X** – вдоль 1-го ребра КЭ; для трехмерных КЭ – в соответствии с введенной локальной системой координат); „**Element Midside Locations**” (в двумерных КЭ направление **X** – от среднего узла 2-го ребра к среднему узлу последнего (3-го или 4-го) ребра); „**Element Diagonal Bisector**” (в двумерных КЭ с 4-мя углами направление **X** – вдоль биссектрисы угла между диагоналями, причем угол – в треугольнике при 1-ом ребре); „**Element Material Direction**” (направление **X** – вдоль ориентации свойств материала); „**CSys**” (в выбранной глобальной системе координат). **Внимание:** FEMAP не проверяет соответствие этих назначений ситуации, поэтому возможны неверные изображения.

Активизация опции „**Hide Contour Vectors**” позволяет скрыть вектора на контуре.



а)



б)

Рис.9.19. Диалоговые панели для настраивания:

а) – контурных векторных графиков; б) – режима Freebody

Для всех режимов, кроме „**Free Edge**” (см. рис.9.14), кнопкой „**Freebody Display...**” можно вызвать диалоговую панель „**View FreeBody Options**” (см. рис.9.19-б) для настраивания еще одного типа графического изображения результатов расчетов – контурных векторов (после инициации опции „**Show Freebody Display**”). Типичная диаграмма „**freebody**” будет включать приложенные нагрузки (**Applied Loads**), реакции связей (**Reaction Loads** и **Multi-point Reaction Loads**), внешние (**External Element Loads**) и внутренние (**Internal Element Loads**) элементные нагрузки, сумму всех сил, т.е. равновесную „**Total Summed Load**” (позволяет проверить, является ли тело уравновешенным), которые отображены в виде векторов. Для прояснения изображения может послужить изображение КЭ в сжатом виде (см. п.50 таблицы П1.1 в Приложении 1). Есть возможность ограничить объекты (КЭ) заранее созданной группой. В секции „**Freebody Options**” нужно указать, какие векторы изображать: сил и/или моментов. Опция „**Entity Colors**” указывает, что будет применен цвет изображения векторов, предназначенный для „**Vector Style**” (см. рис.9.11-б). Опцией „**Show Load Summation**” указывается, что векторы каждого узла сводятся к единому; при этом появляется возможность в секции „**Freebody Total Load**” указать их особый цвет и (кнопкой „**Location...**”) – локализацию. Опцией „**Show Freebody on All Internal Nodes**” (для всех внутренних узлов) рекомендуют пользоваться при незначительном количестве таких узлов. С помощью опции „**Scale Vectors by Magnitude**” и полей „**Display Length**” можно указать минимальную и максимальную длину векторов. В поле „**Minimum Vector Magnitude**” можно указать ограничение снизу на величины векторов, что будут отображены, а с помощью опции „**Display Vector Components**” – удалить векторы, направленные вдоль осей **X**, **Y** и/или **Z** выбранной основной координатной системы.

Кнопкой „**Laminate Options...**” можно вызвать одноименную диалоговую панель (см. рис.9.20-а), предназначенную на настройку просмотра результатов расчетов в многослойных пластинах. По умолчанию реализуется вариант „**Selected Output Vector**” (выбранный выходной вектор). Другие варианты: „**Top Ply of Layup**” (верхний слой), „**Bottom Ply of Layup**” (нижний слой) и „**Global Ply**” (глобальный слой, если он был создан при создании структуры – выбирается из списка имеющихся глобальных слоев).

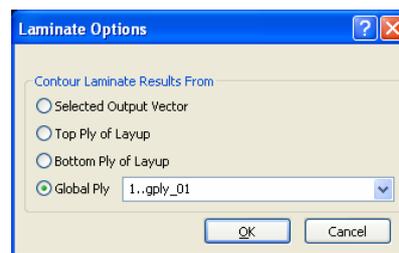
Кнопкой „**Streamline Options...**” можно вызвать одноименную диалоговую панель (см. рис.9.20-б). На ней в секции „**Locations**” можно указать координаты начальной точки: или с помощью кнопки „**Streamline Locations...**”, или указать **ID** точки, или указать группу с перечнем точек (тогда линий потока будет столько, сколько точек в группе). В секции „**Parameters**” – „**Runge-Kutta Order**” (порядок метода Рунга-Кутты, используемый для вычислений линии потока), „**Tolerance**” (точность вхождения в КЭ или выхода из него), „**Max Length Factor (x Model)**” (вычисление линии потока закончить при достижении этого значения), „**Minimum Speed (% of Max)**” (вычисление линии потока закончить, если он не превышает указанный процент от зафиксированного максимального значения). Почти все эти опции, а также оформление линии (цвет, тип линии, толщина) можно установить на панели „**View Options**” (см. рис.9.11) в секции „**PostProcessing**” для объекта „**Streamline**”.

Для просмотра результатов расчетов в *трехмерной* конечно-элементной модели еще можно применять группу команд **View**→**Advanced Post...**:

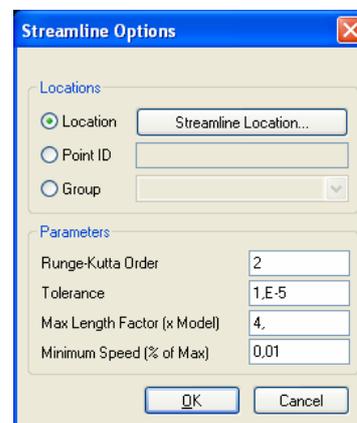
- **Contour Model Data...** – просмотр параметров модели на графическом изображении модели. На одноименной панели (см. рис. 9.20-а) выбирается один из параметров модели (из предложенного списка); выбирается вариант оформления („**Contour**” – заливка цветом на контуре, „**Criteria**” – критериально, „**Beam Diagram**” – как эпюра на балках); какую часть показывать: все, или в соответствии со списком из выбранной (заранее созданной) группы. Опция „**Allow Labels**” позволяет изображать метки, если они предусмотрены. После команды „**OK**” параметр изображается на рабочем поле (на модели), сопровождаясь цветовой шкалой значений. Если на этой шкале значение меняется от 0 до 1, а модель получает однотонную заливку, то выбранный параметр в данной модели отсутствует или не задан;

- **Dynamic Cutting Plane...** – динамическое рассечение трехмерной КЭ модели первую (по умолчанию – плоскость **XY**), вторую (**YZ**) или третью (**ZX**) плоскостями, ориентацию которых можно изменить с помощью кнопки „**Plane...**” на диалоговой панели „**Dynamic Section Cut Control**” (см. рис.9.21-б). Текущее положение плоскостей изменяется движком полосы прокручивания или с клавиатуры в поле „**Value**”. В поле „**Delta**” можно установить шаг для скачкообразного перемещения плоскостей;

- **Dynamic IsoSurface...** – динамическое отображение результатов трехмерного расчета в виде *одной* внутренней изоповерхности. На диалоговой панели „**Dynamic IsoSurface Control**” (см. рис.9.21-в) с помощью движка полосы прокручивания или из поля „**Value**” можно установить любое значение просматриваемой функции, в диапазоне ее изменения. На трехмерной модели тела отображается соответствующая изоповерхность. Ее цвет или будет соответствовать значению функции (**Contour Colors**), или будет неизменным (**Use View Color**) и соответствовать значению в поле „**IsoSurface Color**” (см. п.82 таблицы П1.1 Приложения 1);

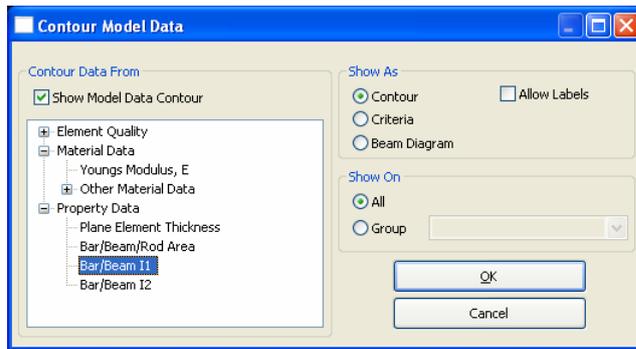


а)



б)

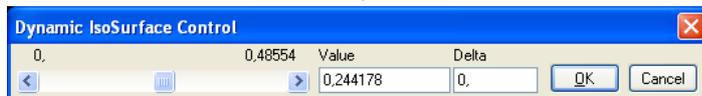
Рис.9.20. Диалоговые панели опций: а) – слоистой структуры; б) – линий потока



а)



б)



в)



г)



д)

Рис.9.21. Диалоговые панели:

а) – критериальных оценок; б) – динамического рассечения; в) – просмотра внутренней изоповерхности; г) – анимации; д) – линии потока

в секции „**Output Set**” нужно выбрать набор-решение, в секции „**Output From Vectors**” установить опции используемых силовых факторов: „**Axial Force**” (осевая сила), „**Shear Force Y**”, „**Shear Force Z**” (перерезывающие силы вдоль (локальных для сечения) осей **Y** и **Z** соответственно), „**Moment Y**”, „**Moment Z**” (изгибающие моменты относительно (локальных для сечения) осей **Y** и **Z** соответственно), „**Torque**” (крутящий момент). В секции „**Elements**” можно в поле „**Single**” ввести номер единственного КЭ или с помощью радиокнопки „**Multiple**” и кнопки „**Elements**” выбрать несколько КЭ, в сечениях которых будут изображаться выбранные величины. Переключатели „**Screen Space**” и „**Model Space**”, когда активны, позволяют просматривать изображение в увеличенном виде, или на модели (соответственно). В поле „**Show Stress**” нужно выбрать один из восьми типов напряжений, вычисленных из указанных ранее векторов, причем при выборе „**Combined Shear Stress**” становится активной опция „**Vector Plot**”, позволяющая изобразить комбинированные касательные напряжения как векторы. Секция „**Location**” позволяет динамически сдвигать положение изображения от конца **A** к концу **B** выбранн(ого/ых) КЭ, причем в поле „**Position**” отображается текущее положение (в % от длины КЭ), а в поле „**Delta**” можно ввести желаемый шаг изменения положения изображения вдоль КЭ. В поле „**Multiple**” указывается количество изображений на каждом КЭ. Кнопка „**Advanced...**” вызывает дополнительную диалоговую панель (см. рис.9.22-б). В секции „**General Options**” в поле „**Scaled By**” можно ввести масштаб изображения (от 0.1 до 100); в поле „**Quality**” (качество) – указать количество КЭ (от 1 до 5), участвующих в аппроксимации результатов; опция „**Dynamic Update**” позволяет сразу же увидеть изменения, не нажимая на кнопку „**Apply**”; опция „**Element Shrink**” – провести „сжатие” изображений КЭ (процент „сжатия” устанавливается с помощью команды **View→Options**,

- **Animation...** – просмотр анимационных изображений (в режиме „**Animate**”, см. рис.9.14). Есть регулирование скоростью анимации (с помощью кнопок „**Faster**” и „**Slower**”, а также значение „**Delay**”, см. рис.9.21-г). В режиме „**Half**” половина изображений пропускается (есть еще „**Full**” – полный);

- **Dynamic Streamline...** – динамическое изменение начальной точки линии потока (в режиме „**Streamline**”, см. рис.9.14). На диалоговой панели „**Dynamic Streamline Control**” (см. рис.9.21-д) с помощью радиокнопок выбирается глобальная ось (**X**, **Y** или **Z**), движком полосы прокручивания или в поле „**Value**” можно установить значение координаты начальной точки, а также значение шага – в поле „**Delta**”;

- **Beam Cross Section...** – динамическое изменение изображений напряжений в модели из одномерных КЭ непосредственно в сечениях КЭ типа **BEAM** или **BAR**. На появившейся диалоговой панели (см. рис.9.22-а) в секции „**Output Set**” нужно выбрать набор-решение, в секции „**Output From Vectors**” установить опции используемых силовых факторов: „**Axial Force**” (осевая сила), „**Shear Force Y**”, „**Shear Force Z**” (перерезывающие силы вдоль (локальных для сечения) осей **Y** и **Z** соответственно), „**Moment Y**”, „**Moment Z**” (изгибающие моменты относительно (локальных для сечения) осей **Y** и **Z** соответственно), „**Torque**” (крутящий момент). В секции „**Elements**” можно в поле „**Single**” ввести номер единственного КЭ или с помощью радиокнопки „**Multiple**” и кнопки „**Elements**” выбрать несколько КЭ, в сечениях которых будут изображаться выбранные величины. Переключатели „**Screen Space**” и „**Model Space**”, когда активны, позволяют просматривать изображение в увеличенном виде, или на модели (соответственно). В поле „**Show Stress**” нужно выбрать один из восьми типов напряжений, вычисленных из указанных ранее векторов, причем при выборе „**Combined Shear Stress**” становится активной опция „**Vector Plot**”, позволяющая изобразить комбинированные касательные напряжения как векторы. Секция „**Location**” позволяет динамически сдвигать положение изображения от конца **A** к концу **B** выбранн(ого/ых) КЭ, причем в поле „**Position**” отображается текущее положение (в % от длины КЭ), а в поле „**Delta**” можно ввести желаемый шаг изменения положения изображения вдоль КЭ. В поле „**Multiple**” указывается количество изображений на каждом КЭ. Кнопка „**Advanced...**” вызывает дополнительную диалоговую панель (см. рис.9.22-б). В секции „**General Options**” в поле „**Scaled By**” можно ввести масштаб изображения (от 0.1 до 100); в поле „**Quality**” (качество) – указать количество КЭ (от 1 до 5), участвующих в аппроксимации результатов; опция „**Dynamic Update**” позволяет сразу же увидеть изменения, не нажимая на кнопку „**Apply**”; опция „**Element Shrink**” – провести „сжатие” изображений КЭ (процент „сжатия” устанавливается с помощью команды **View→Options**,

см. позицию 50 таблицы П1.1. Приложения 1); опция „**Section Outline**” – показывать контур сечения (опцией „**Colors**” устанавливается его цвет). В секции „**Contour Legend Min/Max Options**” есть опции „**Include End Stresses**” (включать в вычисления все выбранные КЭ), „**Override**” (отмена вычисленных, использование введенных значений в полях „**Min**” и „**Max**”). В секции „**Vector Plot Options**” устанавливаются опции изображения вектора: „**Vector Length**” (длина вектора, от 0.1 до 400), „**Solid Vector**” (векторы изображать как объемные или линии) и „**More Arrows**” (увеличенные стрелки).

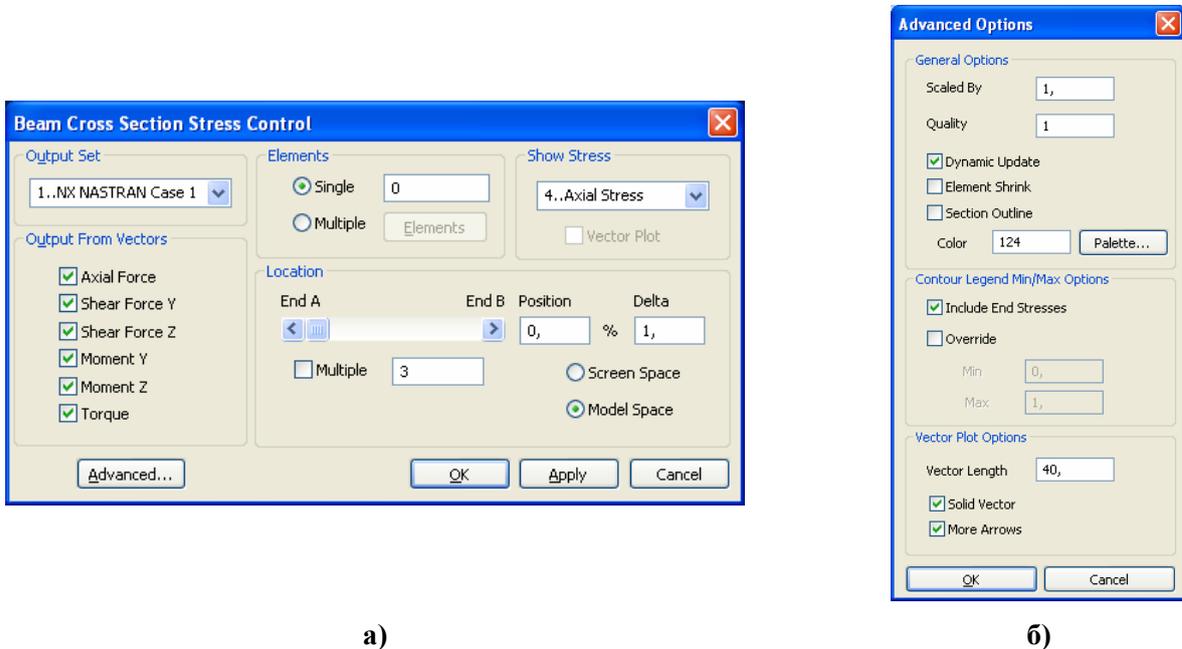


Рис.9.22. Диалоговые панели опций динамического изменения изображений напряжений в модели из одномерных КЭ типа BEAM или VAR (непосредственно в сечениях КЭ)

Еще один вариант просмотра результатов – с помощью команд меню **List**→**Output**:

- **Query...** (запрос о данных в одиночном объекте) – на диалоговой панели (см. рис.9.23-а) выбирается набор результатов („**All Sets**” – все), категория (все, или перемещение, скорость/ускорение, напряжение ...), объект (узел или КЭ), указывается его номер (**ID**). Кнопка „**More**” позволяет продолжать вывод данных без выхода из диалога;

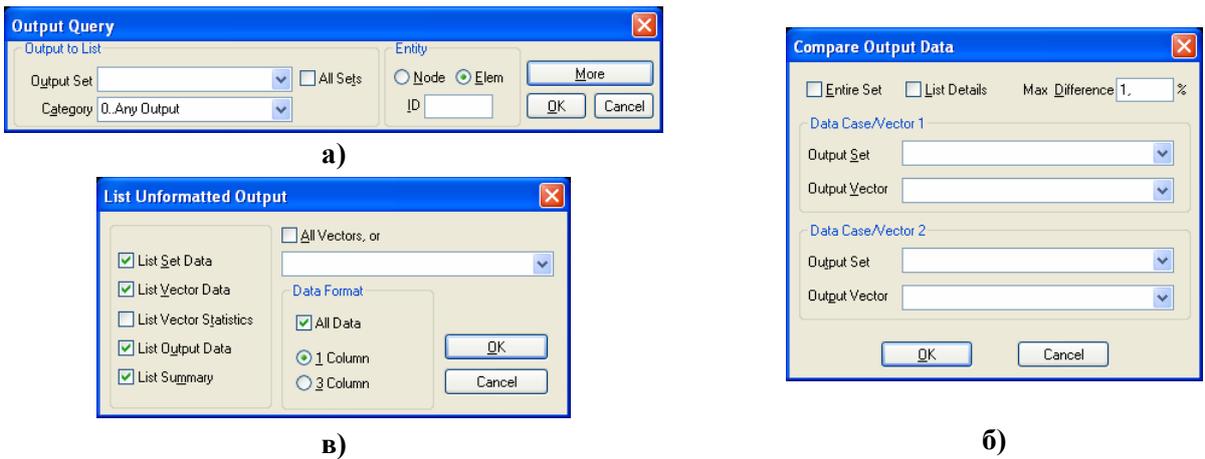


Рис.9.23. Диалоговые панели создания запроса: а) – для одиночного объекта; б) – сравнительного; в) – для вектора, упрощенный формат

- **Compare...** (сравнение) – на диалоговой панели (см. рис.9.23-б) выбираются два набора результатов и, если отключить опцию „**Entire Set**” (полный набор) – векторы. Также указывается предельное значение различия (в процентах), которое не будет считаться различием. Можно установить опцию „**List Details**” (детальный вывод). В заключительной строке

сообщения еще приводятся **ID** и максимальное различие (**MxDiff**), **ID** и максимальное различие в процентах (**MxPct**), а также скалярное произведение (**Dot**) двух векторов (последнее можно использовать для проверки ортогональности векторов);

- **Summary to Data Table...** (отчет в виде таблицы данных). Должна быть активна панель „Data Table”, см. Раздел 1.3. На появившейся диалоговой панели (см. рис.9.24-а) в секции „Report Style” (стиль отчета) выбирается „Vector Summary” (векторный – одна строка для каждого выбранного вектора вывода), „by Property ID” или „by Material ID” – одна строка для каждого выбранного (не узлового) вектора вывода и указанного **Property** или **Material** (для выбора последних появятся соответствующие диалоги выбора). В секции „Report Contents” (информационное наполнение отчета) выбирается „Vector Data” (значения максимума/минимума для каждого вектора) или „Envelope Data” (значения максимума/минимума для каждого вектора, но с учетом „окружения”). В секции „Output Selection” указывается, какие выходные данные будут выбираться: „Full Output Sets” (все выходные наборы), „Specific Output Vectors” (определенные векторы набора, выбираемые на панели, что появится после команды „OK” и почти совпадает с изображенной на рис.9.4-в панелью, за исключением наличия опции „Select Similar Layer/Ply/Corner Vectors”, которая указывает на гарантирование выбора всех подобных отмеченным векторов). Опция „Include Results at Element Corners” указывает на необходимость включения в вывод результатов из углов КЭ, а опция „Include Max/Min Absolute Value” – создания дополнительных столбцов с максимальными/минимальными абсолютными значениями. В секции „Additional Summary for Selected” можно установить опции „Nodes” и/или „Elements”, тогда дополнительно к выбранным объектам можно будет выбрать узлы и/или КЭ, для которых также будут сформированы столбцы в таблицах;

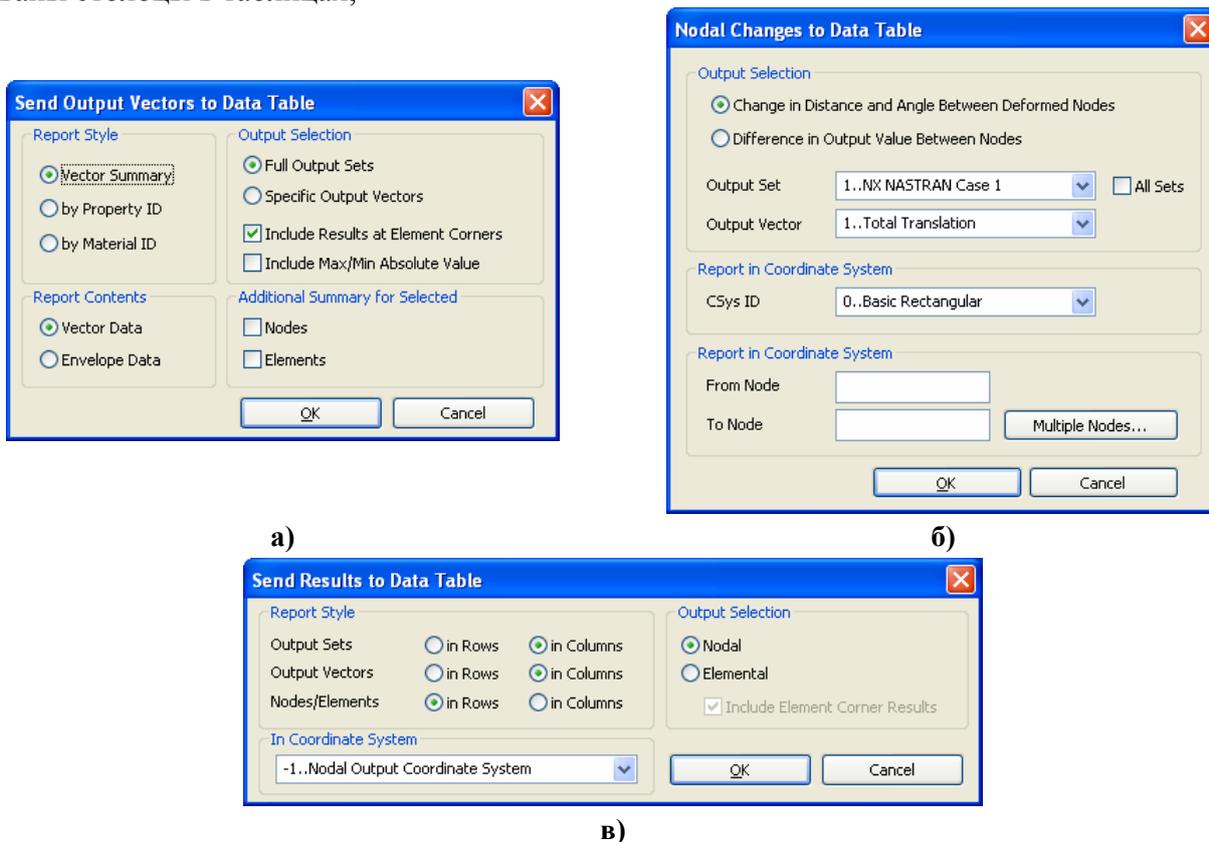


Рис.9.24. Диалоговые панели создания отчета в виде таблицы данных результатов анализа:
 а) – минимаксный вывод; б) – простой вывод; в) – изменения расстояний и углов

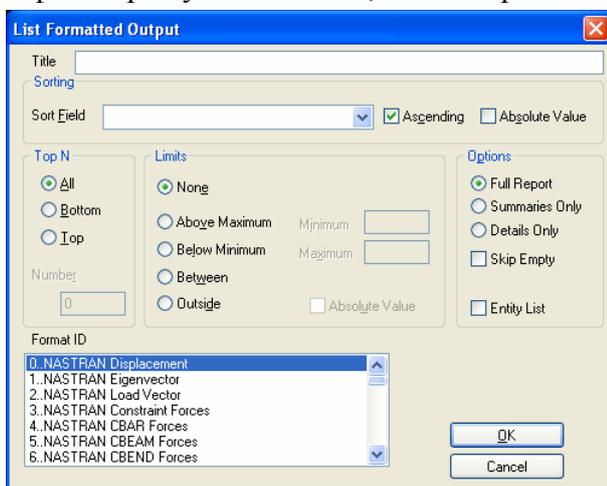
- **Result to Data Table...** – позволяет быстро сформировать таблицу данных из результатов расчетов, в соответствии с выбранным в секции „Report Style” (см. рис.9.24-в) стилем: „Output Sets” (набор), „Output Vectors” (вектор) или „Nodes/Elements” (узлы/элементы), причем хотя бы один из них должен быть „in rows” (в строках) или „in columns” (в колон-

ках). В секции „**Output Selection**” остается указать „**Nodal**” (узловой) или „**Elemental**” (элементный) вывод, причем в последнем случае активна опция „**Include Results at Element Corners**” (включить в вывод в узлах КЭ). Еще есть возможность выбрать систему координат для вывода (по умолчанию – „**-1..Nodal Output Coordinate System**”, т.е. та, что определена в каждом узле). Должна быть активна панель „**Data Table**”, см. Раздел 1.3;

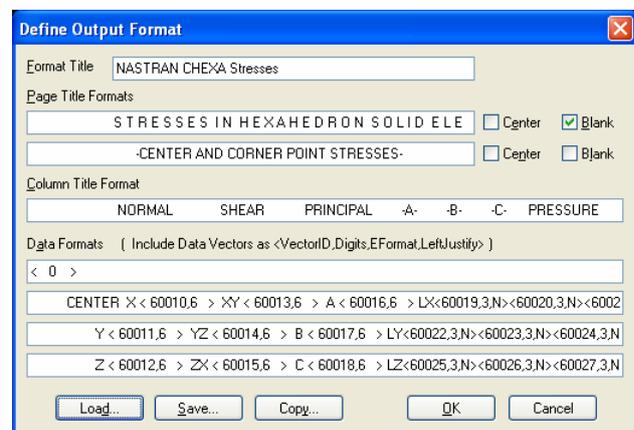
- **Nodal Changes to Data Table...** – позволяет быстро сформировать таблицу изменений (**Change**) расстояний (относительных смещений) и углов между одним узлом и множеством выбранных узлов, после деформирования. Выбирается один или все наборы результатов, вектор вывода, координатная система, один „базовый” узел и несколько других узлов, причем есть кнопка вызова стандартного диалога множественного выбора узлов „**Multiple Nodes...**”. После команды „**OK**” данные появляются в таблице (панель „**Data Table**”, см. Раздел 1.3, должна быть активна), а диалоговая панель готова к приему нового задания;

- **Unformatted...** (упрощенный вывод) – на диалоговой панели (см. рис.9.23-в) устанавливается опция „**All Vectors**” или выбирается вектор (из текущего набора), а также указываются, какие данные выводить и в какое количество столбцов (1 или 3);

- **Standard...** (стандартный вывод) – для выбранного набора результатов. На диалоговой панели (см. рис.9.25-а) можно ввести заголовок (**Title**), в списке „**Sort Field**” – выбрать вектор результатов; опциями „**Ascending**” (увеличение) и „**Absolute value**” (абсолютное значение) – назначить принцип сортировки; в секторе „**Top N**” (для узлов или КЭ) – количество значений, из которых будет сформирован список („**Top**” – максимальные или „**Bottom**” – минимальные значения); в секторе „**Limits**” – ограничения: „**Above Maximum**”, „**Below Minimum**”, „**Between**” или „**Outside**” (выше, ниже, в диапазоне или за границами указанных значений); в секторе „**Options**” – „**Full Report**” (полный отчет), „**Details Only**” (только детали) или „**Summaries Only**” (только резюме). Из списка „**Format ID**” нужно выбрать один из стандартных форматов вывода данных (**внимание**: он должен соответствовать вектору). Опция „**Skip Empty**” указывает, что не надо выводить поля с отсутствующими данными (когда вместо ожидаемых цифр выводятся „звездочки” ****); опция „**Entity List**” – список идентификаторов узлов или КЭ, для которых выведены данные;



а)



б)

Рис.9.25. Диалоговые панели: а) – стандартного формата вывода; б) – настраивания формата

- **Use Format...** (формат пользователя) – после выбора набора результатов появляется диалоговая панель „**List Formatted Output**” (см. рис.9.25-а). Но на ней над кнопкой „**OK**” есть две новые кнопки: „**Modify Format...**” и „**New Format...**”, вызывающие панель „**Define Output Format**” (см. рис.9.25-б). На ней кнопкой „**Load**” вызывается список стандартных форматов или кнопкой „**Copy**” – один из ранее выбранных; выбирается один из списка, потом формат можно изменить нужным образом. Значения в скобках <> такие: номер вектора, количество цифр, указатель E-формата (Y или N), выравнивать слева (Y или N). Более подробно – в „**Help**” (FEMAP→Commands→ ... →8.6.8 List, Output, Use Format ...);

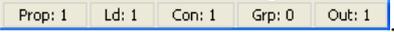
- **Force Balance...** (баланс сил) – последовательно выбираются набор результатов, узел (узлы) и система координат для вывода всех сил, что действуют на узел (узлы);

- **Force Balance Interface Load...** (листинг баланса сил) – последовательно выбираются набор результатов, затем узлы на контуре и конечные элементы на контуре для подсчета баланса сил, затем указывается базовая точка приведения, после чего появляется панель с вопросом: „**Ok to include Nodal Details (No=Resultant Only)?**”. При ответе „**Yes**” силы будут получены в индивидуальных узлах, а при „**No**” будет получен результирующий вектор в базовой точке приведения. **Внимание:** в диалоговой панели для введения значений координат базовой точки приведения появляются значения, соответствующие средним координатам выбранных ранее узлов;

- **XY Plot...** (график в виде таблицы) – необходимо последовательно построить график (**F5**→**XY vs. ...** →**XY Data...**), если это нужно – задать имя файла для вывода с расширением имени **.rtf** или **.lst** (**List**→**Destination...**→**Select File...**), дать команду для вывода графика в виде таблицы (**List**→**Output**→**XY Plot**);

- **Format...** – выводят данные о назначенных ранее форматах вывода результатов.

Сообщения появляются в окне „**Messages**”. **Внимание:** с помощью команды **List**→**Destination...** можно указать и другие пути вывода: на принтер или в файл, но нужно помнить, что туда будут выводиться *все* сообщения. Выделенную в окне „**Messages**” часть сообщения можно сохранить в файле с расширением имени **.lst** или **.rtf** с помощью команды **File**→**Messages**→**Save...**, или скопировать в буферную память.

Напомним о еще двух очень удобных возможностях. Первая – применение переключателей , что расположены в правой части панели состояния (горизонтальная полоса внизу, см. рис.1.1. Раздела 1.3). Вторая – вывод информации об выбранных объектах (линия, поверхность, узел, материал, КЭ, ...) на информационные панели „**Entity Info**” (об одном объекте) и „**Data Table**” (несколько объектов) – см. рис.1.2-в и рис.1.2-г и объяснение к ним.

Полную статистику для всей модели можно получить командой **List**→**Model Info**.

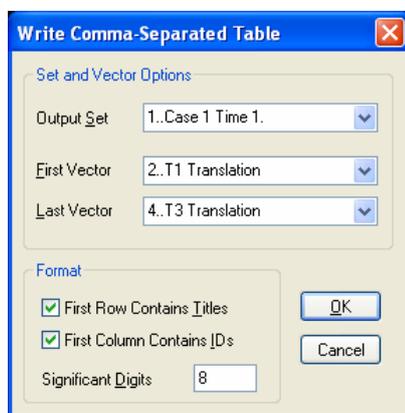


Рис.9.26. Диалоговая панель вывода результатов в текстовый файл в виде таблиц

В FEMAP реализованная возможность передачи результатов расчетов в виде текстовых таблиц, например, в табличный редактор **Excel**. Нужно командой **File**→**Export**→**Analysis Model...** вызвать диалоговую панель „**Export Method**”, кнопкой „**Other Interface**” вызвать панель „**Export To**” и выбрать на ней вариант „**Comma-Separated**”. После назначения имени файла появится панель (см. рис.9.26), где необходимо выбрать набор результатов (**Output Set**), первый (**First**) и последний (**Last**) из нужных векторов (они должны иметь одинаковый тип: узловой или элементный). В секции „**Format**” есть опции „**First Row Contains Titles**” (первая строка – название) и „**First Column Contains IDs**” (первый столбик – номера), а также поле „**Significant Digits**” (количество значащих знаков в результатах). После выбора необходимых узлов или КЭ будет создан файл ***.csv**.

Данные из этого текстового файла в табличный редактор **Excel** можно импортировать с помощью команды (русскоязычный интерфейс): **Данные** → **Импорт внешних данных** → **Импортировать данные...**, в дальнейшем указать, что формат данных – с разделителем, символ-разделитель – запятая; на следующей панели инициировать кнопку „**Подробнее...**” и указать, что разделитель целой и дробной части – точка.