

## Раздел 4

## ОБЩИЕ ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ

Теоретические сведения о краевых задачах приведены в Приложениях 4 ... 8. Все они нуждаются во введении соответствующих начальных и граничных условий, назначения некоторых дополнительных условий для проведения расчетов. Для этого применяются инструменты FEMAP как общего назначения, так и специфические.

## 4.1 Общие инструменты для задания граничных условий

### 4.1.1 Объекты приложения граничных условий

Начальные и граничные условия для краевых задач в FEMAP создаются командами **Model**→**Load**→. В частности, командой **Model**→**Load**→**Create/Manage Set...** создается новый или активируется ранее созданный набор начальных и граничных условий: задаются или выбираются **ID** и название набора.

Кроме того, при создании нового набора можно выбрать вариант „**A Nastran LOAD Combination**”, т.е. создать набор для решателя **Nastran**, комбинированный из имеющихся стандартных наборов. Его редактирование проводится затем через кнопку „**Referenced Sets**”. При редактировании есть возможность масштабировать значения, получаемые из каждого набора (опция „**For Referenced Set**”, указать масштабный коэффициент перед помещением набора в список выбранных) или для всех помещенных в список выбранных (опция „**Overall**”). **Внимание:** не все виды нагрузок можно комбинировать; кроме того, такая комбинация в **SPLMS.Fv10.2.0** поддерживается только для статического анализа.

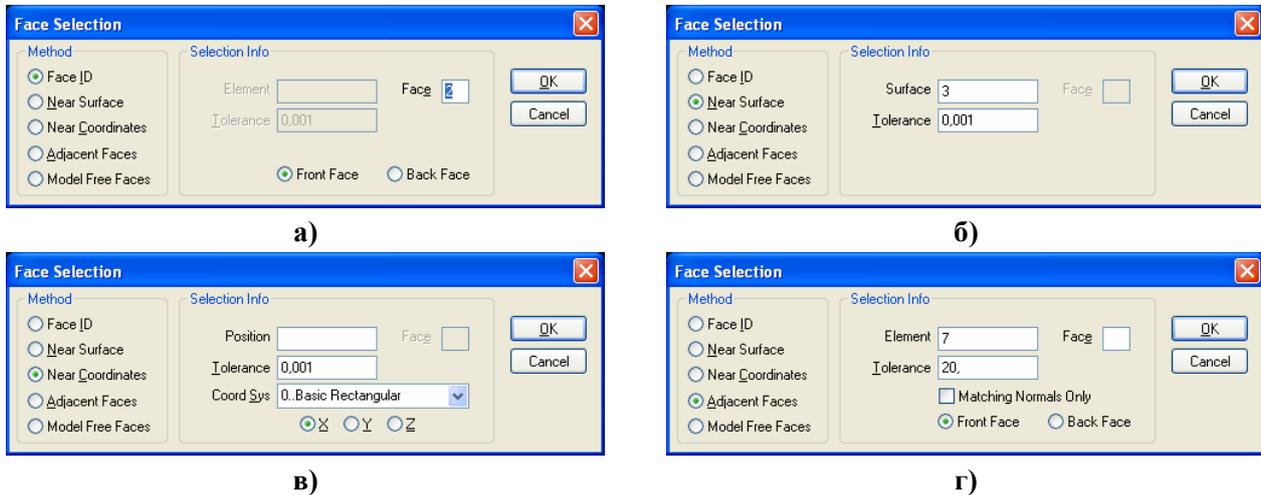
Граничные условия задаются (общую часть команды **Model**→**Load**→ опускаем): в узлах (**Nodal...**), узлах на грани (**Nodal on Face...**), на поверхностях КЭ (**Elemental...**), в точках (**On Point...**), на кривых (**On Curve...**), на поверхностях (**On Surface...**). Команда сначала вызывает стандартную диалоговую панель выбора объектов. Если объекты, к которым будут прикладываться ГУ, ранее собраны в группы, то можно выбрать нужную группу на этой панели (слева внизу, в окне „**Group**”).

Вариант задания ГУ „**Nodal on Face...**” (узлы на грани) имеет некоторые особенности. Сначала появляется стандартная панель диалога выбора КЭ, с помощью которой и кнопки „**Method**” назначаются КЭ или геометрические объекты, к граням которых будут прикладываться ГУ (например: **on Surface**, т.е. узлы КЭ на геометрической поверхности). Появится диалоговая панель „**Face Selection for Elemental Loads**” (см. рис.4.1). На ней есть пять вариантов указания грани для нахождения узлов:

- „**Face ID**” – номером грани (стороны) КЭ (см. рис.4.1-а); вводится в окно „**Face**” с клавиатуры или выбором курсором „мыши” на рабочем поле, когда мерцающий курсор находится в диалоговом окне „**Face**”. **Внимание:** в КЭ грани могут иметь номера 1...6 максимум. Есть радиокнопки „**Front Face**” (фронтальная) или „**Back Face**” (оборотная грань): это имеет значение для двумерных КЭ;
- „**Near Surface**” – номером поверхности (геометрического объекта, см. рис.4.1-б); вводится в поле „**Surface**” из клавиатуры или выбором курсором „мыши” на рабочем поле. Величина „**Tolerance**” – максимальное расстояние для поиска узлов КЭ на этой поверхности;
- „**Near Coordinates**” – назначаемой плоскостью (см. рис.4.1-в): выбором (одной из радиокнопок) оси **X**, **Y** или **Z**, которая *ортогональна* к плоскости с узлами, и указанием расстояния от начала координат до этой плоскости (**Position**);
- „**Adjacent Faces**” – как на соседних гранях (см. рис.4.1-г): курсором „мыши” на рабочем поле выбирается грань (сторона) КЭ (номера КЭ и грани появляются в соответствующую

щих окнах панели) и указывается допустимое угловое расхождение (**Tolerance**). Если нормаль к любой грани КЭ (из списка выбранных) „совпадает” с нормалью к грани указанного КЭ с точностью „**Tolerance**”, то к узлам этой грани КЭ будет прикладываться ГУ. Опцией „**Matching Normals Only**” можно потребовать полное соответствие („нулевое” расхождение). Есть радиокнопки „**Front Face**” (фронтальная) или „**Back Face**” (оборотная грань): это имеет значение для двумерных КЭ;

- „**Free Faces**” – нагрузка будет приложена ко всем свободным от нагрузки поверхностям КЭ.



**Рис.4.1.** Диалоговые панели назначения грани КЭ: а) – номером грани в КЭ; б) – номером геометрической поверхности; в) – плоскостью; г) направлением нормали к грани

ГУ могут задаваться как *полные* или *распределенные*: на поверхности (**per Area**), на длине (**per Length**), в узлах (**per Node**).

**Внимание:**

- распределенные ГУ имеют именно ту *суммарную* величину, которая вводится в диалоговом поле;
- распределенные ГУ к *геометрическому* объекту могут прикладываться как неравномерная нагрузка (как функционально зависящая), но на экране выглядят как равномерные;
- все ГУ, приложенные к КЭ, линиям и поверхностям, потом FEMAP распределяет на *узлы*. При этом, если узел входит в несколько КЭ, значение ГУ в узле столько же раз алгебраически складывается, тем самым фактически в таких узлах прикладывается *усредненное* значение ГУ, если эти значения были разными;
- иногда после запуска анализа задачи появляется сообщение, что перенос ГУ с того или иного геометрического объекта на узлы КЭС невозможен. О причинах этого и способах исключения этого нежелательного явления изложено в Разделе 4.1.2.

#### 4.1.2 Ассоциации между объектами КЭС и геометрической модели

Возможность приложения ГУ к геометрическим объектам модели (**Point, Curve, Surface, Solid**) упрощает процесс задания ГУ. Но геометрические объекты передают ГУ к КЭС только тогда, когда объекты КЭС и эти объекты „ассоциированы”. Ассоциации назначаются автоматически, если КЭС создана на основе геометрической модели. Но возникают и другие ситуации: КЭС (ее часть) создана на основе узлов (без геометрии); необходимо приложить ГУ лишь к *части* узлов (или КЭ) на поверхности, с которой они ассоциированы (нужно „отделить” избыточные узлы (или КЭ) от поверхности); другие.

Для решения таких проблем в FEMAP есть команды **Modify**→**Associativity**→**Automatic...**, **Modify**→**Associativity**→**Node...** и **Modify**→**Associativity**→**Element...** После команды **Modify**→**Associativity**→**Automatic...** и выбора нужных узлов или КЭ ассоциации назначаются автоматически (старые – удаляются). В остальных случаях выбираются нужные узлы или КЭ, появляется диалоговая панель „**Geometry Associativity**” (см. рис.4.2). На ней нужно указать вариант действия: „отделить” (**Detach From**) или „ассоциировать” (**Attach**

То), выбрать тип объекта и выбрать его (указать ID). Вариант „Any” – отделить выбранные узлы или КЭ от всех геометрических объектов. Опция „Interior Nodes Only” позволяет отделить узлы только от указанного геометрического объекта (когда установлена) или одновременно и от всех геометрических объектов нижнего уровня (базовых для указанного). Например, поверхность „опирается” на линии контура, а эти линии – на точки. Поэтому при ассоциации узла с поверхностью он автоматически ассоциируется с „опорными” линиями и точками.

**Внимание:** для ассоциации узла или КЭ с новым объектом нужно предварительно провести его „отделение” от всех других объектов. КЭ будет ассоциированным с геометрическим объектом только тогда, когда с ним ассоциированы *все* узлы данного КЭ. Т.е., для обособления КЭ достаточно отделить один из узлов КЭ.

### 4.1.3 Введение значений граничных условий

Значения ГУ вводятся на диалоговых панелях с характерным началом названия „Create Loads...” (см. рис.4.3-а). Для всех вариантов объектов можно изменять цвет изображения ГУ, уровень (Layer), координатную систему. Вариант граничных условий выбирается из списка. В зависимости от варианта будут активными один или несколько строк диалоговых окон „Value” (вводимые значения) и „Time/Freq Dependence” (функциональная зависимость, если она нужна). Функции можно создавать заранее или с помощью кнопки  $f_{xy}$  (см. Раздел 1.8.1).

В зависимости от объекта и типа ГУ в секции „Direction” (направление) может появиться возле *верхней* радиокнопки надпись „Components” (компоненты), „Normal to Element Face” (нормальное к грани КЭ), „Vector” (вектор), „Along Curve” (вдоль кривой), „Normal to Plane” (по нормали к плоскости), „Normal to Surface” (по нормали к поверхности), „Magnitude Only” (только значение) или „On Element” (на КЭ).

В большинстве случаев направление не нужно. При необходимости направление действия ГУ можно выбирать одним из доступных методов: во-первых, указанием значений ГУ как компонент вектора (в секторе „Load”); во-вторых – выбором соответствующей радиокнопки („Vector”, „Along Curve”, „Normal to Plane” или „Normal to Surface”) и с помощью кнопки „Specify...” – для задания необходимого направления или объекта.

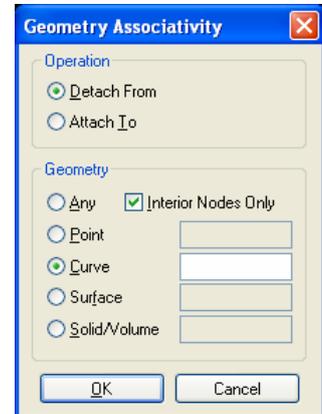
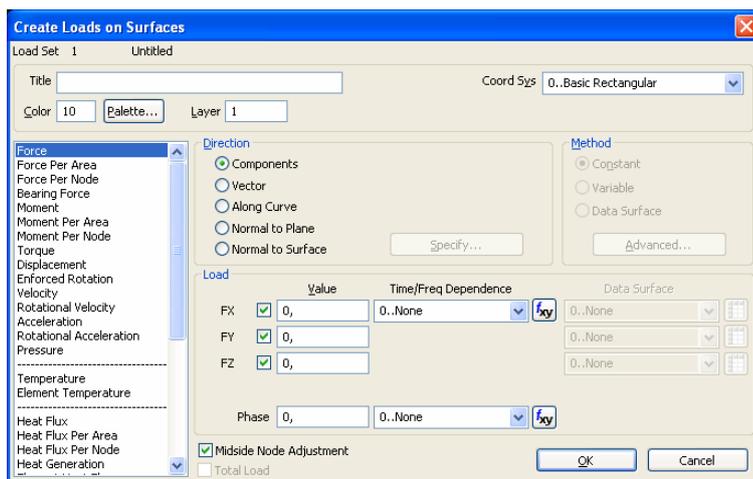
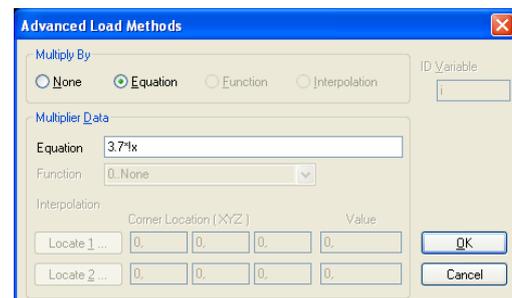


Рис.4.2. Диалоговая панель ассоциации объектов



а)



б)

Рис.4.3. Диалоговые панели для введения: а) – граничных условий; б) – уравнения

**Внимание:** в случае использования в секции „Direction” варианта „On Element”, и если ГУ задаются на *поверхности* КЭ типа **SOLID** и **AXISYMMETRIC**, FEMAP в процессе подготовки к решению задачи *самостоятельно* создает на узлах, что существуют и лежат на указанной поверхности, дополнительные неконструктивные КЭ типа „CHBDYi”, через кото-

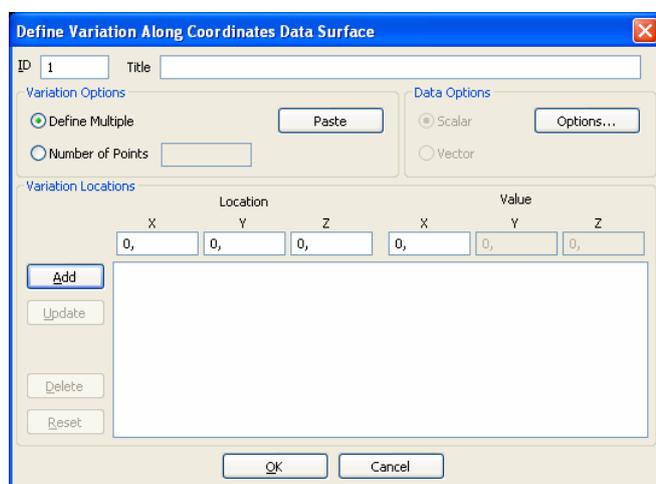
рые и прикладывает назначенные ГУ и которые потом отображаются как „PLOT PLANAR”. Если их потом не удалить, то они могут мешать передаче ГУ от геометрических объектов к КЭС, о чем на панели „Messages” появится сообщение лишь при запуске задания (вернее – при создании файла-задания) на счет.

Если в секции „Method” выбрать даже „Constant”, то заданные величины могут изменяться: умножаться на значение подключенной с помощью кнопки  функции.

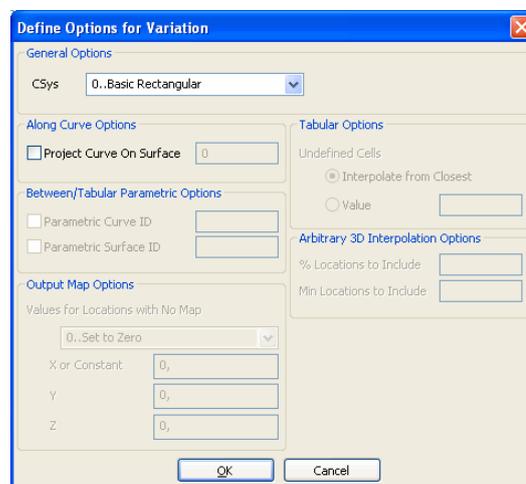
Если в секции „Method” выбрать „Variable”, то становится активной кнопка „Advances...” (продолжение). Она вызывает диалоговую панель „Advanced Load Methods” (см. рис.4.3-б), на которой доступны один ... четыре варианта: „None” (нет), „Equation” (уравнение), „Function” (функция) или „Interpolation” (интерполяция). Параметрами уравнений могут быть лишь координаты **X**, **Y** и **Z**. Уравнение вводится по правилам алгебры, только перед аргументом ставится восклицательный знак: **!x**. Функция выбирается из списка. Ее аргументом может быть длина кривой (**11..vs. Curve Length**), параметр кривой (**12..vs. Curve Param**) и т.п., т.е. геометрические характеристики. Интерполяция – только линейная, вдоль прямой, заданной двумя точками или узлами (для выбора существующих узлов/точек есть кнопки „Locate 1” и „Locate 2”). **Внимание:** вычисленное одним из выбранных вариантов значение является *масштабным коэффициентом*, на который умножаются *все* значения ГУ (**Value**), что заданы на панели „Create Loads ...”.

Если в секции „Method” выбрать „Data Surface”, то в секции „Load” становится активным поле (или несколько полей) „Data Surface ...”. Правее от поля „Data Surface ...” есть кнопка , вызывающая список команд для выбора вариантов задания ГУ:

- „Along Coordinates Data Surface” (вдоль координат, см. рис.4.4-а): позволяет задавать координаты (**Location X, Y, Z**) и скалярные (только **Value X**) или векторные (**Value X, Y, Z**) значения в них. Можно применять от 3 до 110 точек. Для точного задания координат путем выбора на рабочем поле можно использовать „Snap Mode” (см. последнюю строку табл.1.4 Раздела 1). Для редактирования таблицы есть кнопки „Add”, „Update”, „Delete” и „Reset”. Кнопка „Paste” вставляет строку данных в таблицу из буферной памяти (Clipboard). Введенные данные будут программой FEMAP сначала аппроксимированы сплайном (*по порядку следования в таблице*), а потом – перенесены в узлы конечно-элементной сетки. С помощью кнопки „Options...” можно вызвать панель „Define Options for Variation” (см. рис.4.4-б), где выбрать координатную систему и указать номер *поверхности*, на которую аппроксимированная сплайном нагрузка будет проектироваться перед интерполяцией на узлы. Если вместо радиокнопки „Define Multiple” выбрать „Number of Points”, то здесь можно будет указать лишь количество точек, а значение – в редакторе таблицы „Data Surface Editor”, который можно потом вызвать командой **Tools**→**Data Surface Editor**. Работу с этим редактором таблиц рассмотрим в этом Разделе ниже;



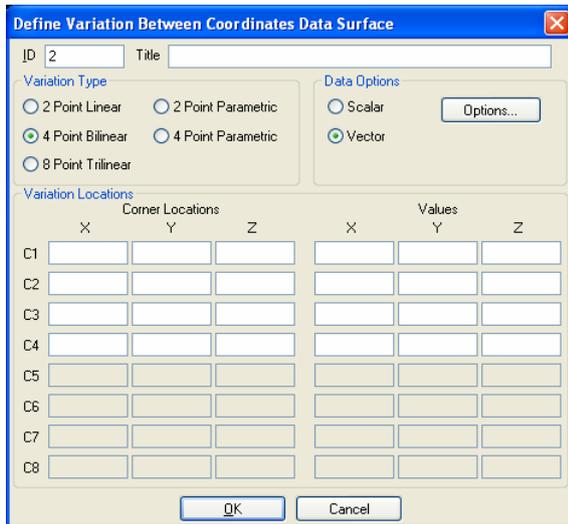
а)



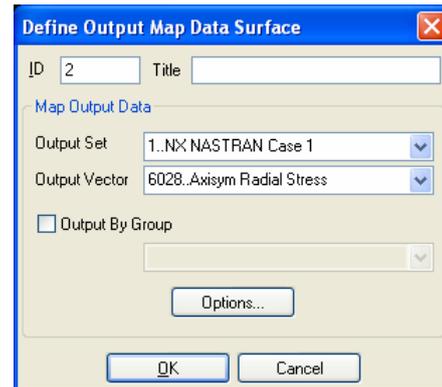
б)

Рис.4.4. Диалоговые панели задания: а) – данных вдоль координат; б) – дополнительных опций

- „**Between Coordinates Data Surface**” (между координатами, см. рис.4.5-а): задаются координаты двух (на линии), четырех (на поверхности) или восьми (в объеме) граничных точек (минимум и максимум), причем задаются в явном или параметрическом (на геометрическом объекте) варианте, а также задаются значения граничных условий (скалярные (только **Value X**) или векторные (**Value X, Y, Z**)) в этих точках. Интерполяция – *линейная*. С помощью кнопки „**Options...**” на панели „**Define Options for Variation**” (см. рис.4.4-б), что появится, можно выбрать координатную систему, а также, если координаты задавались параметрическим образом, то можно с помощью опции „**Parametric Curve ID**” или „**Parametric Surface ID**” ввести (с клавиатуры) номер соответствующей линии или поверхности;



а)



б)

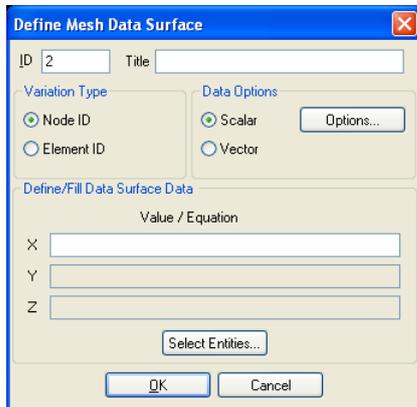
Рис.4.5. Диалоговые панели задания данных: а) – в пределах; б) – из результатов вычислений

- „**Output Map Data Surface**” (из результатов расчетов, см. рис.4.5-б): выбирается один из наборов результатов расчетов и вектор из него, или после подключения опции „**Output By Group**” – созданная ранее группа с необходимыми данными. Таким образом можно задавать такие *узловые* нагрузки: силы, момент, сдвиг, скорость, вращательная скорость, ускорение, вращательное ускорение, температура, температурный поток; и такие *элементные*: давление, температура, температурный поток, лучевой поток, конвекция и радиация. **Внимание:** FEMAP не проверяет логичность этих назначений. С помощью кнопки „**Options...**” на появившейся панели „**Define Options for Variation**” (см. рис.4.4-б) можно выбрать координатную систему, а также в активной секции „**Output Map Options**” выбрать в поле „**Values for Locations with No Map**” (значение для мест без „карты”, т.е. для тех, что не попали в ограниченную геометрическую область) один из вариантов: „**0..Set to Zero**” (заполнить нулями), „**1..Set to Value**” (применить введенные (в полях „**X or Constant**”, „**Y**”, „**Z**”, что становятся активными) значения), „**2..Extend Closest**” (расширение на самый близкий объект), „**3..Interpolate**” (линейная интерполяция – по умолчанию), „**4..No Output**” (не применять никаких значений);

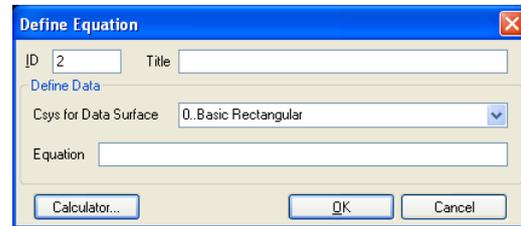
- „**Mesh Data Surface**” (координаты – с конечно-элементной сетки, см. рис.4.6-а): вводится значение или функция, которая получает значение: координат узлов (**XND()**, **YND()** или **ZND()**), геометрических центров элементов (**XEL()**, **YEL()** или **ZEL()**) или геометрических центров сторон элементов (**XEF(;)**, **YEF(;)** или **ZEF(;)**). Функции описаны в Приложении 2. Кнопка „**Select Entities...**” вызывает стандартный диалог для выбора узлов или КЭ. С помощью кнопки „**Options...**” на панели „**Define Options for Variation**” (см. рис.4.4-б), что появится, можно выбрать только координатную систему;

- „**Arbitrary 3-D Data Surface**” (произвольная трехмерная поверхность; диалоговая панель имеет тот же вид, что и панель на рис.4.4-а): действия такие же, как в варианте „**Along Coordinates Data Surface**” (см. выше), хотя содержание – другое. С помощью кнопки „**Options...**” на панели „**Define Options for Variation**” (см. рис.4.4-б), что появится, можно

выбрать координатную систему, а в секции „Arbitrary 3-D Interpolation Options” – ввести значения в полях „% Locations to Include” (взять % от положения) и „Min Locations to Include” (взять минимум от положения). При 100% будет основано среднее значение со всей поверхности, а при 0% – значение из поля „Min Locations to Include”, которое должно быть  $> 1.0$ ;



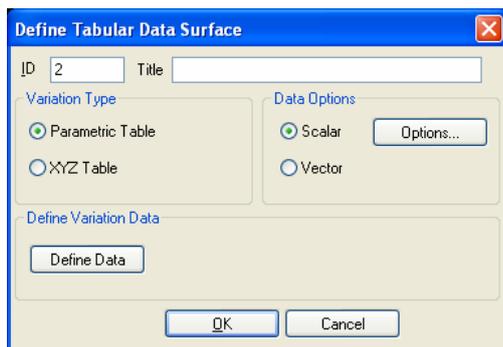
а)



б)

Рис.4.6. Диалоговые панели задания данных: а) – с привязкой к сетке; б) – формулой

- „Equation Data Surface” (уравнением, см. рис.4.6-б): выбирается тип координатной системы и вводится уравнение для вычисления значения функции. Кнопкой „Calculation...” вызывается диалоговая панель „Equation Editor” (см. рис.1.13-б), где формулу можно ввести с помощью диалогов в секциях „Variables”, „Opt” и „Function” и кнопок „Insert ...”;



а)



б)



в)

Рис.4.7. Диалоговые панели задания данных таблицей: а) – основная; б), в) – вспомогательные

- „Tabular Data Surface” (таблица данных поверхности). Диалоговая панель (см. рис.4.7-а) вызывается только из панели „Data Surface Editor”, из списка, открываемого правой частью кнопки . Если в секции „Variation Type” выбрать вариант „Parametric Table” и инициировать кнопку „Define Data”, то появится панель, изображенная на рис.4.7-б, где нужно указать *целые* числа „u Division” и „v Division”: будет создана пустая таблица из  $v$  строк и  $u$  столбцов (это является количеством промежуточных точек в каждом из направлений на поверхности с *четырьмя* сторонами), которая параметрическим образом „привязывается” к поверхности, для которой таблица создается. Тогда в таблице в строке  $U$  и в столбце  $V$  значения должны быть  $0 \dots 1$ , причем именно 0 и 1 соответствуют углам поверхности. Можно вручную заполнить только угловые значения, а потом с помощью кнопки дать команду „Interpolate...” – таблица заполнится интерполированными значениями. В случае выбора варианта „XYZ Table” и инициирования кнопки „Define Data” появится панель, изображенная на рис.4.7-в, где нужно указать *целые* числа „X Divisions”, „Y Divisions” и/или „Z Divisions”. Если будут введены значения для всех трех осей, то будет создана  $Z$ -слоенная таблица из  $X$  столбцов и  $Y$  строк каждая, а если только для одного или двух – однослойная таблица (еще пустая). С помощью кнопки „Options...” на панели „Define Options for Variation” (см. рис.4.4-б), что появится, можно изменить координатную систему для координат таблицы, а

также в секции „**Tabular Option**” для „**Undefined Cells**” (не определенные ячейки) один из вариантов: „**Interpolate from Closest**” (интерполировать от ближайшего, по умолчанию) или „**Value**” (ввести конкретное значение). Сначала в **Z**-слоистой таблице все **Z=0**. Чтобы ввести другое значение, нужно навести курсор на вкладку внизу, щелкнуть правой кнопкой мыши, выбрать команду „**Properties...**” и ввести значение. С помощью правой кнопки мыши можно добавить/изъять столбцы и строки таблицы (наводить курсор на **X** или **Y**, см. рис.4.8-а), или вкладки (таблицы при других **Z**). **Внимание:** обязательно нужно давать команду **Save** для сохранности таблицы. Созданную таким образом таблицу можно потом подключить из списка в поле „**Data Surface**” на панели „**Create Loads...**” (см. рис.4.3-а) после выбора варианта „**Data Surface**” в секции „**Method**”.

В **Help**, в разделе **FEMAP→Commands→Modeling Tools→ ... →7.2.5.1 Data Surface Definition Methods** есть примеры применения этих инструментов с объяснениями.

Добавим, что данные в таблицах можно формировать с применением одного варианта, а потом с помощью буферной памяти передавать в другой вариант. Еще данные можно создавать в любом табличном редакторе, например, в **Excel** и копировать через **Clipboard**.

Относительно панели „**Data Surface Editor**”, о которой шла речь выше, то она (см. рис.4.8-а), вызывается командой **Tools→Data Surface Editor**. Она имеет, кроме таблицы (или таблиц на вкладках), кнопки управления, описанные в таблице 4.1. Самая левая из них вызывает или диалог выбора существующих таблиц (по умолчанию), или динамическое меню, изображенное на рис.4.8-б, с командами выбора описанных выше семи вариантов создания таблицы данных, с командой выбора существующих таблиц и командой удаления таблиц.

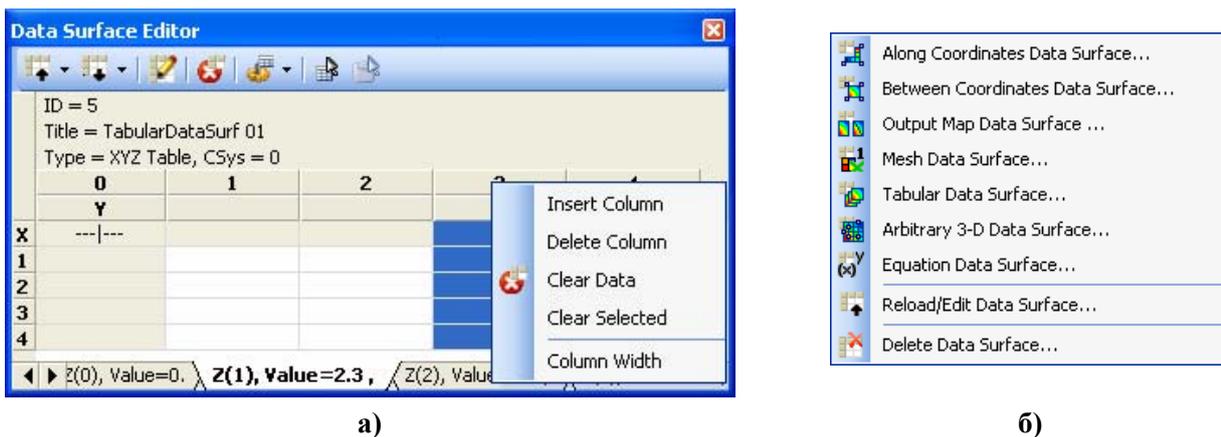


Рис.4.8. Диалоговая панель редактирования таблицы (а); динамическое меню команд (б)

Таблица 4.1. Значения электронных кнопок панели „Data Surface Editor”

	Загрузка таблицы и вызов динамического меню рис.4.8-б		Вызов динамического меню с командами сохранения
	Вызов панелей, изображенных на рис.4.4-а, рис.4.5 или рис.4.6		Удаление таблицы
	Вызов динамического меню с командами <b>Align Output Map...</b> , <b>Plot Output Map...</b> и <b>Interpolate...</b>		Копирование таблицы в Clipboard для передачи в другие программы
			Копирование/Вставка таблицы в/из Clipboard (только в Femap)

Если таблица создана по варианту „**Output Map Data Surface**”, то для приспособления таблицы к *новой* сетке конечных элементов можно применить (с помощью кнопки ) команду **Align Output Map...** („выровнять” карты результатов) или **Plot Output Map...** (участок карты результатов).

#### 4.1.4 Манипулирование наборами граничных условий

Набор граничных условий – объект, которым можно манипулировать: копировать, удалять, редактировать, комбинировать, масштабировать, превращать и т.п.

#### 4.1.4.1 Копирование наборов граничных условий

Командой **Model**→**Load**→**Copy...** создается новый набор ГУ, являющийся копией активного набора. При этом можно указать его номер **ID** и сделать активным. Новый набор будет иметь старое название, а изменить его можно с помощью команды **Model**→**Load**→**Create/Manage Set...**

#### 4.1.4.2 Удаление и редактирование наборов граничных условий

Полное удаление активного набора ГУ проводится с помощью команды (общую часть **Delete**→**Model**→ опускаем) **Load-Set...**; назначенных отдельной командой – **Load-Definition...**; относящихся ко всему телу – **Load-Body...**; выборочно – **Load-Individual...** В последнем случае появляется панель „**Load Options**” (см. рис.4.9-а), на которой нужно оставить выбранными только те варианты ГУ, что будут удаляться (для быстрой очистки/заполнения выбранных типов ГУ есть кнопка „**None/All**”). Удаление любого набора ГУ можно проводить с помощью команды **Model**→**Load**→**Create/Manage Set...**

Для редактирования активного набора ГУ дается команда **Modify**→**Edit**→**Load-Individual ...**, на панели „**Select Type of Load**”, что появляется (идентична панели „**Load Options**”, см. рис.4.9-а, но отсутствует кнопка „**None/All**” и секция „**Other Loads**”, а все опции, кроме „**Select All**” заменены на радиокнопки), выбирается необходимый тип ГУ. Если такой тип ГУ действительно существует и если выбранный вариант редактирования возможен, появится соответствующая панель „**Create Loads ...**”, где можно изменить значение ГУ. Другая команда: **Modify**→**Edit**→**Load-Definition ...** вызывает список из назначенных отдельной командой наборов ГУ, после выбора одного из них появляется соответствующая панель „**Create Loads ...**”, где можно изменить значение ГУ.

В наборах возможно задание нескольких ГУ к одним и тем же объектам. Для их объединения необходимо дать команду **Tools**→**Check**→**Coincident Loads...** и указать **ID** набора. Если такие ГУ найдены, появится запрос об их объединении. **Внимание:** ГУ „**Temperature**” не комбинируются, а используется *последнее* (для данного узла или КЭ) назначение.

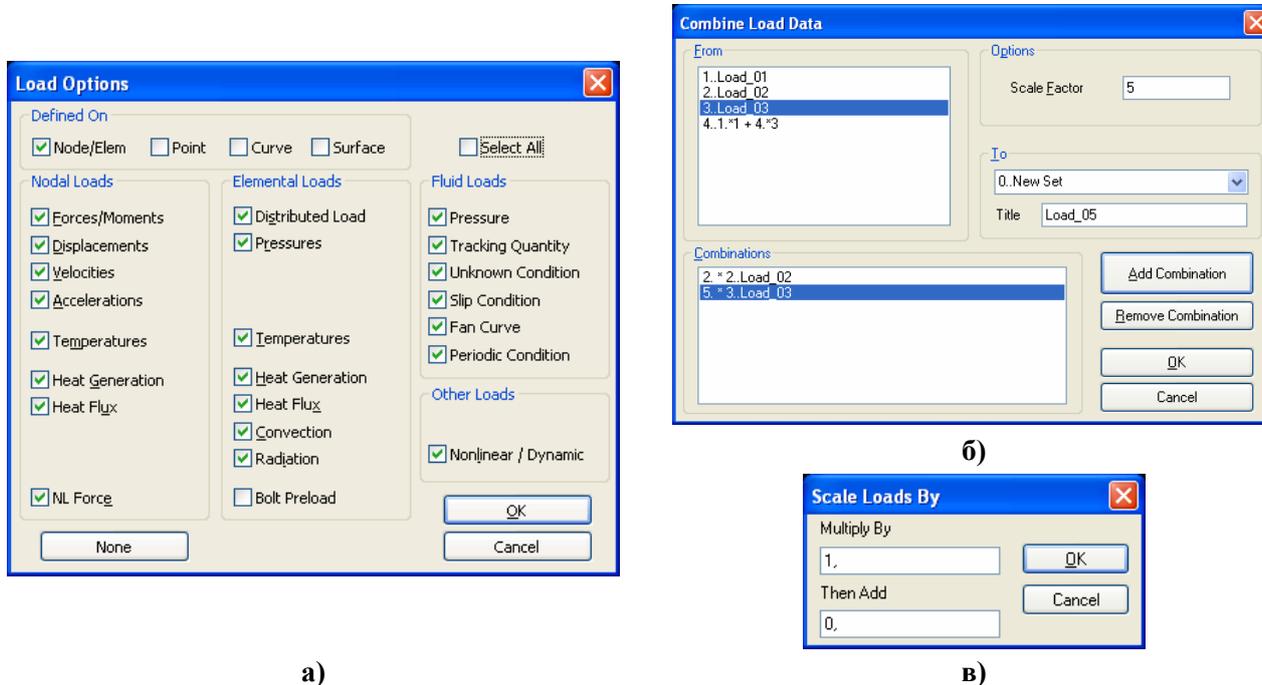


Рис.4.9. Диалоговые панели: а) – выбора вариантов ГУ; б) – масштабирования наборов ГУ; в) – комбинирования наборов ГУ

#### 4.1.4.3 Линейное комбинирование наборов граничных условий

Дается команда **Model**→**Load**→**Combine...**, на панели „**Combine Load Data**”, что появляется (см. рис.4.9-б), из списка „**From**” выбирается очередной набор, устанавливается масштабный коэффициент „**Scale Factor**”, дается команда „**Add Combination**” (можно использовать лишь один набор). В поле „**To**” можно выбрать, какой набор будет модифициро-

ваться, или, оставив **0..New Set**, ввести в поле „**Title**” имя нового набора ГУ. По умолчанию создается новый набор с новым **ID** и названием, указывающим на созданную комбинацию наборов (см. набор 4. на рис.4.9-б, который создан комбинацией наборов 1 и 3 с коэффициентами 1. и 4. соответственно). Название любого набора потом можно изменить с помощью команды **Model→Load→Create/Manage Set...** В новых наборах возможно появление нескольких ГУ, назначенных к одним и тем же объектам. Для их объединения необходимо дать команду **Tools→Check→Coincident Loads...** и указать **ID** набора. Если такие элементы ГУ найдены, появится запрос об их объединении. **Внимание:** ГУ „**Temperature**” не комбинируются, а используется *последнее* (для данного узла или КЭ) назначение.

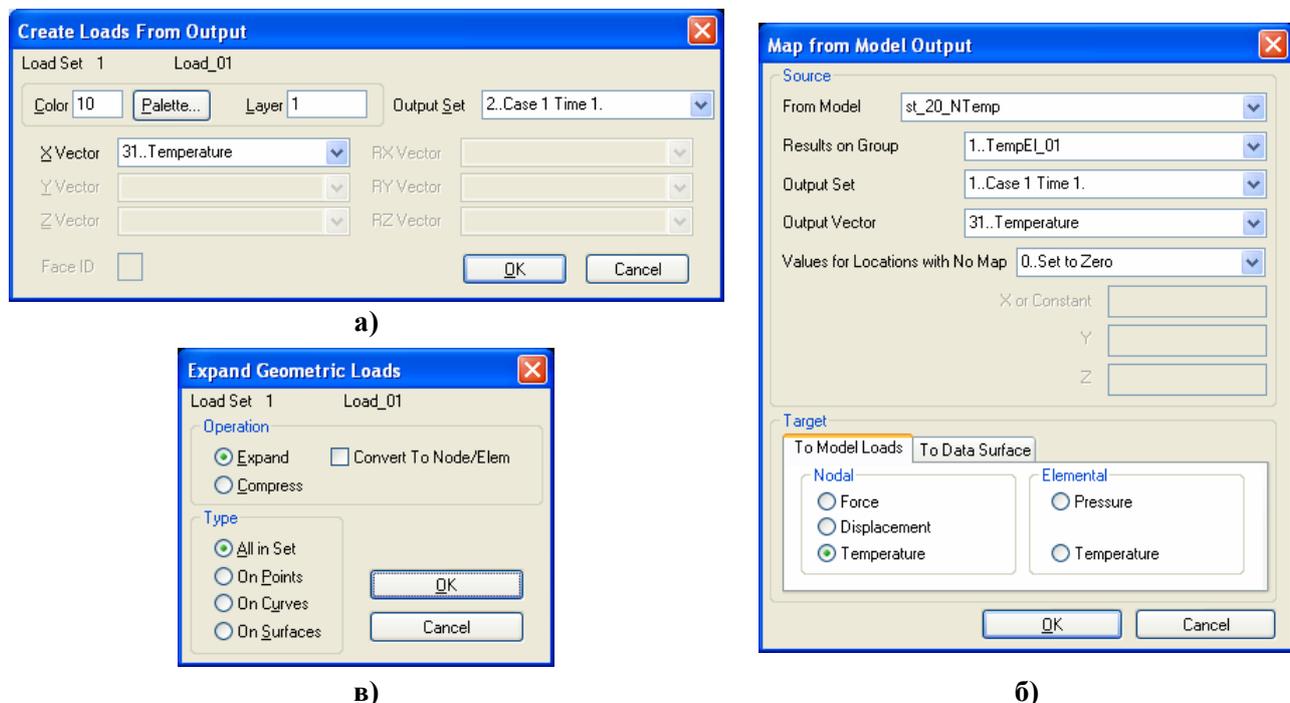
#### 4.1.4.4 Масштабирование наборов граничных условий

Дается команда **Modify→Update Other→Scale Load...**; на появившейся панели „**Select Type of Load**” (идентична панели „**Load Options**”, см. рис.4.9-а, но с радиокнопками вместо опций) выбирается необходимый тип ГУ. Если такой тип ГУ действительно существует и если выбранный вариант редактирования возможен, появится стандартная панель для выбора объектов, к которым приложены ГУ, потом – панель „**Scale Loads By...**” (см. рис.4.9-в), где можно указать масштабный коэффициент „**Multiply By**” и значение, которое потом прибавляется (**Then Add**).

#### 4.1.4.5 Использование результатов расчетов для задания граничных условий

Результаты расчетов Nastran помещает в файлы с расширением имен **.op2** (а FEMAP – перемещает их в файл проекта **.mod**) в виде таблиц со столбцами (векторами) значений в узлах: температура, ее градиенты (ТС); перемещения, напряжения, другие (НДС). В некоторых ситуациях полученные результаты расчетов используются как ГУ для последующих расчетов. Характерный пример: распределение температур – для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии (НДС) тела. Другой пример: НДС тела как начальное для дальнейших расчетов. Возникает необходимость в подключении или, наоборот, отключении результатов, их комбинации, выборочном подключении и т.п.

Дается команда **Model→Load→From Output...**; на появившейся панели „**Select Type of Load**” (идентична панели „**Load Options**”, см. рис.4.9-а) выбирается необходимый тип ГУ (узловые или элементные). Появится панель „**Create Loads From Output**” (см. рис.4.10-а).



**Рис.4.10.** Диалоговые панели: а) – создания ГУ из результатов расчетов; б) – создания ГУ из результатов расчетов другой модели; в) – преобразования ГУ

На ней в окне „**Layer**” устанавливается номер уровня, в окне „**Output Set**” выбирается набор результатов расчетов, в активных окнах „**X Vector**”, „**Y Vector**”, „**Z Vector**”, „**RX Vec-**

tor”, „RY Vector” и „RZ Vector” – векторы результатов расчетов. Если создаются элементные ГУ, то еще потребуется указать номер стороны (ребра) КЭ (**Face ID**), к которому ГУ будут прикладываться.

Есть возможность использовать исходные данные из другой модели. Конечно, эти модели должны быть родственными. Еще одно ограничение: только для двумерных КЭ и только перемещения или температуры. Модель-источник нужно открыть в FEMAP и создать из необходимых двумерных КЭ, имеющих результаты расчетов, группу (или группы). Потом нужно перейти к целевой модели, дать команду **Model→Load→Map Output From Model...** На появившейся панели „Map from Model Output” (см. рис.4.10-б) выбираются: модель-источник (в поле „From Model”), группа с результатами, исходный набор (**Output Set**) и вектор (**Output Vector**). Еще нужно в поле „Values for Locations with No Map” выбрать, какими значениями заполнять отсутствующие в модели-источники данные: **0..Set to Zero** (нулями), **1..Set to Value** (или константой (поле „X or Constant”), или координатами X, Y и Z); **2..Extend Closest** (значение – линейная аппроксимация с ближайших двух узлов); **3..Interpolate** (интерполирование); **4..No Output** (никаких значений). В секции „Target” на вкладке „To Model Loads” нужно указать, к каким объектам нагрузка будет прикладываться (узлам или элементам) и каким образом она будет трактоваться: как сила (**Force**), перемещение (**Displacement**), давление (**Pressure**) или температура (**Temperature**). Можно перейти на вкладку „To Data Surface”, где набрать имя таблицы, что будет создана (**внимание**: обе модели должны иметь КЭ с одинаковыми номерами). Работу с этим типом таблицы рассмотрено в Разделе 4.1.3.

После команды „OK” появится панель для выбора узлов, для которых создается нагрузка согласно назначениям в поле „Values for Locations with No Map”.

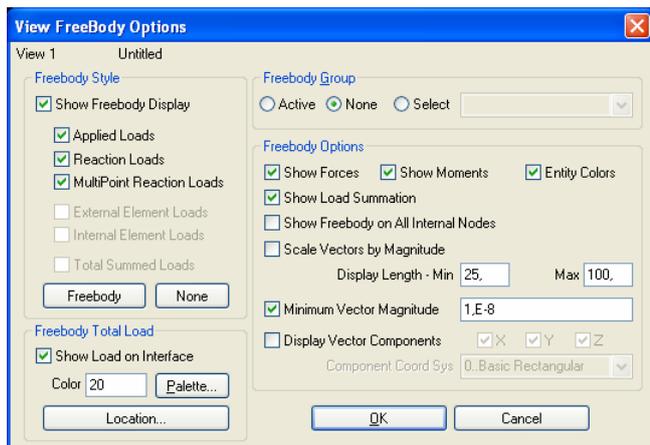


Рис.4.11. Диалоговая панели опций Freebody

(см. рис.4.11). На ней нужно установить опции „Show Freebody Display” (показать свободное тело), „Show Load Summation” (показать равнодействующую нагрузку) и „Show Load on Interface” (показать нагрузку на мониторе). Потом – последовательно давать команды „OK” до полного закрытия панелей. Теперь нужно дать команду **Model→Load→From Freebody...**, ответить на вопрос „OK to Create Freebody Resultant Load ?” (создать результирующую нагрузку ?) и „OK to Create Individual Freebody Load ?” (создать индивидуальную нагрузку ?). Если дать утвердительный ответ на первый вопрос, то при отсутствии узлов в соответствующих местах тела они будут созданы и в них будет приложена нагрузка (три силы и три момента). Если дать утвердительный ответ на второй вопрос, то появится стандартная панель для выбора узлов, в которых будут приложены нагрузки.

#### 4.1.4.6 Преобразования граничных условий

ГУ *активного* набора, заданные на геометрических объектах (**Point, Curve, Surface**), можно перевести к объектам КЭС (**Nodal, Elemental**) или наоборот, с помощью панели „Expand Geometric Loads” (команда **Model→Load→Expand...**), где (см. рис.4.10-в) необходимо выбрать направление преобразования ГУ: к элементам КЭС (**Expand**) или к геометриче-

ским объектам (**Compress**). Когда выбрано „**Expand**”, необходимо указать тип геометрического объекта (здесь „**All in Set**” – для всего активного набора ГУ), который потом будет выбираться. Преобразование ГУ в направлении „**Compress**” – для всего активного набора ГУ. Преобразования бывают полезными для дальнейшего редактирования ГУ (команда **Modify**→**Update Other**→**Scale Load...**). Аналогично преобразуются ГУ в виде закреплений.

**Внимание:**

- после включения на диалоговой панели опции „**Convert To Node/Elem**” („**Convert To Nodal**” для закреплений) обратное преобразование становится невозможным;
- иногда в процессе преобразования или при запуске процесса решения задачи (при создании файла задания с расширением имени \*.dat или \*.nas) появляется сообщение, что преобразование какого-то ГУ невозможно. Это бывает по причине, описанной в п.4.1.2, а также после того, как для этого тела на этой КЭС уже решалась другая задача (например, задача теплопроводности). Тогда, после задания ГУ на *поверхности* (см. Раздел 4.1.3), когда появлялась надпись „**On Element**” (см. рис.4.3-а), FEMAP в процессе подготовки к решению задачи *самостоятельно* создал на узлах, что существуют и лежат на указанных поверхностях, дополнительные неконструктивные КЭ типа „**CHBDYI**”, к которым и прикладывал назначенные ГУ. Итак, после этого КЭС содержит такие КЭ (идентифицируются как „**PLOT PLANAR**”), и именно они могут препятствовать проведению преобразований в будущих назначениях (это, наверное, ошибка в коде FEMAP, которая была и в предыдущих версиях). Чтобы ликвидировать эту проблему, нужно удалить все (или только в проблемном месте) неконструктивные КЭ типа „**PLOT PLANAR**”. Для *частичного* удаления – дать команду **Delete**→**Model**→**Element...**, найти на КЭС модели тела КЭ типа „**PLOT PLANAR**”, которые нужно удалять. Для полного удаления – дать команду **Delete**→**Model**→**Element...**, инициировать кнопку „**Method**”, назначить метод „**Type**”, найти один КЭ типа „**PLOT PLANAR**” на КЭС модели тела или найти этот тип в списке „**Type**” на панели (он обозначен как **32..L Plot Planar**, т.е. имеет номер типа 32). Когда КЭ выбраны – дать команду „**OK**”;
- после завершения преобразований есть смысл проверить их результаты. Обычно это удобно делать с помощью команды **List**→**Model**→**Load-Definition...**

## 4.2 Создание задания и запуск процесса расчета краевой задачи

### 4.2.1 О запуске процесса расчета краевой задачи

Процесс расчета краевой задачи можно начать из FEMAP с помощью:

- команды **Model**→**Analysis...**: создание/активирование/запуск задания;
- команды **File**→**Analyze...**, которая имеет дубликат – кнопку „**Analyze Model**” в мнемоническом меню „**Model**” (см. табл. 1.1 Раздела 1).

Если задание еще не создано, или нет активного задания, то второй вариант вызывает диалоговую панель „**Export Method**” (см. рис.4.12), где необходимо или выбрать ранее созданное задание из списка „**Activate Analysis Set**”, или дать команду „**Create/Edit Set**”, что вызовет диалоговую панель „**Analysis Set Manager**” (см. рис.4.13-а), как и команда **Model**→**Analyze...**

При этом в качестве анализатора можно применить NX Nastran или несколько других программ.

Если в проекте уже есть активное задание, то после команды **File**→**Analysis...** сразу же начинается процесс анализа.

Есть еще один вариант: с помощью команды **File**→**Export**→**Analysis Model...** создается файл задания для передачи в другие программы.

**Примечание 4.1.** Если на вкладке „**Interfaces**”, что вызывается командой **File**→**Preferences...**, установить опцию „**Enabled Old Analysis Interfaces**” (см. рис.1.8-а), то будет срабатывать кнопка „**Other Interfaces**” (см. рис.4.12), которая будет вызывать диалоговые панели для за-

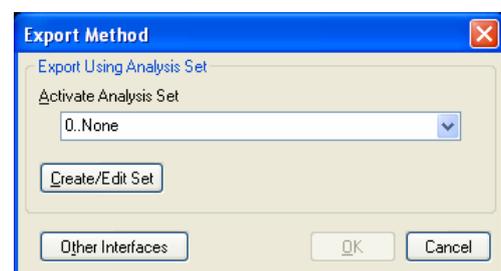


Рис.4.12. Диалоговая панель активирования задания задачи

пуска процесса расчета без создания задания на проведение анализа краевых задач, которые (панели) были характерны для выпусков FEMAP до версий 9.x. Далее этот вариант не рассматриваем, как устаревший.

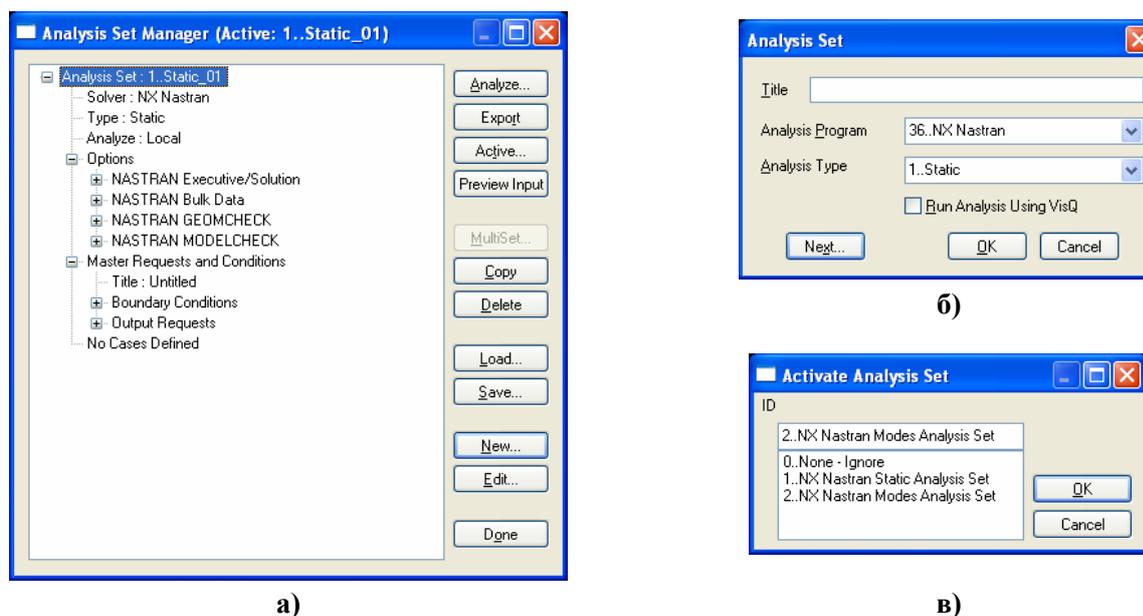


Рис.4.13. Диалоговые панели:

- а) – создания и общего управления заданиями; б) – начала создания нового задания;
- в) – активизации задания

#### 4.2.2 Идентификаторы и коды основных типов краевых задач в NX Nastran 5.0

В таблице 4.2 приведены типы краевых задач, названия идентификаторов, номера кодов и краткие объяснения для типов краевых задач, которые могут быть сформированы в FEMAP для NX Nastran (NX Nastran имеет еще несколько типов задач – см. табл.П9.1 и табл. П9.2 Приложения 9). В таблице 4.3 приведены ограничения свойств КЭ для типов краевых задач 601 и 701.

Таблица 4.2. Идентификаторы и коды основных типов краевых задач NX Nastran

Состояние	Тип краевой задачи	Идентификатор	Код	Пояснения
Напряженно-деформированное	1..Static	SESTATIC	101	Линейный статический анализ
	2..Normal Modes / Eigenvalue	SEMODES	103	Собственные частоты и формы колебаний
		SEDCEIG	107	Прямой комплексный анализ собственных частот ( <u>D</u> irect <u>C</u> omplex <u>E</u> IGenvalues)
	3..Transient Dynamic / Time History	SEMCEIG	110	Модальный комплексный анализ собственных частот ( <u>M</u> odal <u>C</u> omplex <u>E</u> IGenvalues)
		SEDTRAN	109	Переходной динамический процесс во времени (прямой переходной анализ, <u>D</u> irect <u>T</u> RANsient Response)
	4..Frequency / Harmonic Response	SEMTRAN	112	Переходной динамический процесс во времени (модальный переходной анализ, <u>M</u> odal <u>T</u> RANsient Response)
		SEDFREQ	108	Прямой частотной анализ / гармонический отклик ( <u>D</u> irect <u>F</u> REQuency Response)
		SEMFREQ	111	Модальный частотной анализ / гармонический отклик ( <u>M</u> odal <u>F</u> REQuency Response)

Напряженно-деформированное	5..Response Spectrum	SEDTRAN	109	Генерирование спектра отклика (Response Spectrum Generation)
	6..Random Response	SEMFREQ	111	Модальный частотный анализ с пост-процессорной обработкой для определения характеристик стохастического возбуждения
	7..Buckling	SEBUCKL	105	Устойчивость
	8..Design Optimization	DESOPT	200	Оптимизация
	10..Nonlinear Static	NLSTATIC	106	Нелинейный статический анализ
	12..Nonlinear Transient Response	<u>NLTRAN</u>	129	Нелинейный/линейный переходной динамический анализ ( <u>N</u> onlinear or <u>L</u> inear <u>TRAN</u> sient Response)
	22..Advanced Nonlinear Static	NXSTRAT	601	Нелинейный анализ статических процессов
	23..Advanced Nonlinear Transient	NXSTRAT	601	Пошаговый нелинейный анализ переходных (динамических) процессов
	24..Advanced Nonlinear Explicit	NXSTRAT	701	Явный нелинейный анализ динамических процессов
Тепловое	20..Steady-State Heat Transfer	NLSCSH	153	Стационарный тепловой анализ (линейный или нелинейный)
	21..Transient Heat Transfer	NLTCSH	159	Нестационарный тепловой анализ (линейный или нелинейный)

Таблица 4.3. Свойства КЭ и материала в типах краевых задач 601 и 701

	Rod		Beam		Shell		2D Solid		3D Solid	
	601	701	601	701	601	701	601	701	601	701
Elastic isotropic	+	+	+	+	+	+	+		+	+
...Thermal	+	+			+	+	+		+	+
...Creep	+				+		+		+	
Elastic orthotropic					+	+			+	+
...Thermal					+	+			+	+
Plastic isotropic	+(*)	+(*)	+(*)	+(*)	+	+	+		+	+
...Thermal	+	+			+	+	+		+	+
Hyperelastic							+		+	+
Gasket									+	
Nonlinear elastic isotropic	+	+								

+(\*) – без тепловых деформаций

#### 4.2.3 Диалоговая панель „Analysis Set Manager”: создание задания на проведение анализа со стандартным набором параметров

Для создания задания на проведение анализа краевых задач есть диалоговая панель „Analysis Set Manager” (см. рис.4.13-а).

Сначала диалоговая панель „Analysis Set Manager” пуста. Кнопкой „New” вызывается диалоговая панель „Analysis Set” (см. рис.4.13-б), где нужно указать название новой задачи (Title), выбрать из списков программу для анализа (Analysis Program) и тип краевой задачи (Analysis Type) – см. табл. 4.2.

На панели „Analysis Set” еще есть опция „Run Analysis Using Vis”, инициация которой позволяет запустить анализ с использованием программного сервера Vis (есть в составе SPLMS.Fv10.2.0), который позволяет передавать файл-задание по сети на другую ЭВМ и потом получать с той ЭВМ результаты расчета.

После команды „OK” на диалоговой панели „Analysis Set Manager” будут сформированы задания для краевой задачи со стандартным набором параметров (см. рис.4.13-а). Можно создать несколько таких заданий.

С помощью кнопки „Active...” вызывается диалоговая панель „Activate Analysis Set” (см. рис.4.13-в), где одно из заданий назначается активным, или проводится их деактивация (0..None – Ignore). Кнопкой „Save...” осуществляется запись заданий в файл **analysis.esp** (в рабочей папке), а кнопкой „Load...” – их чтение из этого или другого файла. С помощью кнопки „Copy” создается копия выделенной задачи, а кнопки „Delete...” проводится удаление заданий, для выбора которых будет применена стандартная процедура. Если для задачи было сформировано несколько наборов нагрузок или закреплений, то будет активной кнопка „MultiSet...” – для создания многовариантного задания для анализа. Каждую составляющую задания можно редактировать: кнопкой „Edit...”: вызывается соответствующая диалоговая панель.

Кнопкой „Preview Input”, когда она активна, вызывается диалоговая панель „Preview Analysis Input File” (см. рис.4.14), на которой можно увидеть содержание активного файла-задания, который будет передаваться анализатору (NX Nastran или другому, в соответствующем формате). Если установить опцию „Edit Preview”, то задание можно редактировать с клавиатуры (иногда это необходимо делать). При помощи кнопки „Export” можно сохранить файл-задание в файловой системе; кнопка „Analyze” запускает процесс анализа активной задачи, а кнопка „Done” закрывает диалог.

Кнопки „Export”, „Done” и „Analyze” с тем же назначением есть и на диалоговой панели „Analysis Set Manager”.

Задание, кроме основного подраздела, имеет подразделы „Options” и „Master Request and Conditions” (см. рис.4.13-а), которые в свою очередь, имеют тоже подразделы. Количество и название подразделов зависит от типа задачи и от анализатора, а содержание может изменяться с помощью диалоговых панелей, доступ к которым можно получить с помощью кнопки „Edit...” (см. рис.4.13-а) или „Next...” (см. рис.4.13-б).

Нужно иметь в виду, что файл задания для Nastran (с расширением имени \*.dat или \*.nas) имеет 5 групп (секций) данных, в которые помещаются, в частности, и параметры подразделов „Options” и „Master Request and Conditions”, а также специальные команды:

- параметры Nastran (секция „NASTRAN Statement”);
- файловые параметры (секция „File management Statements”);
- параметры типа расчета (секция „Executive Control Statements”);
- CEND (команда окончания трех предыдущих секций);
- параметры вариантов расчетов и данных расчета (секция „Case Control Commands”);
- BEGIN BULK (команда начала блока данных конечно-элементной модели задачи);
- массив данных конечно-элементной модели задачи (секция „Bulk Data”);
- END DATA (команда окончания блока данных конечно-элементной модели задачи).

#### 4.2.4 Настройка рестарта процесса расчета краевой задачи в Nastran

Если на панели „Analysis Set Manager” (см. рис.4.13-а) выбрать подраздел „Executive/Solution” раздела „Options”, то после инициирования кнопки „Edit” появится панель

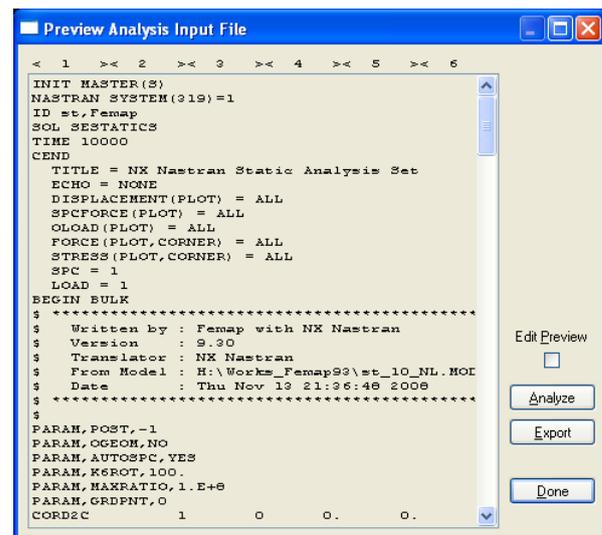


Рис.4.14. Диалоговая панель предварительного просмотра файла задания

„NASTRAN Executive and Solution Options” (см. рис.4.15-а). На ней в секции „Restart Control” для создания файла рестарта типа \*.MASTER инициируются опция „Save Databases for Restart” и (когда предыдущим процессом уже создан файл рестарта типа \*.MASTER) опция „Restart Previous Analysis” (провести рестарт предыдущего анализа), а в поле „From” выбирается соответствующий файл рестарта типа \*.MASTER (рестарт необходим для нескольких типов задач, о чем будет указано в соответствующих местах).

#### 4.2.5 Опции панели „NASTRAN Executive and Solution Options”

Подраздел „Executive/Solution” раздела „Options” на диалоговой панели „Analysis Set Manager” настраивается с помощью диалоговой панели „NASTRAN Executive and Solution Options” (см. рис.4.15-а).

В поле „Direct Output To” можно задать (создать) рабочую папку для проекта.

В секции „Executive Control” можно установить опцию „Extended Error Messages” (выводить расширенные описания ошибок в файл \*.f06, а также задать:

- „Problem ID” (путь в файловой системе и название проекта – файла \*.modfem);

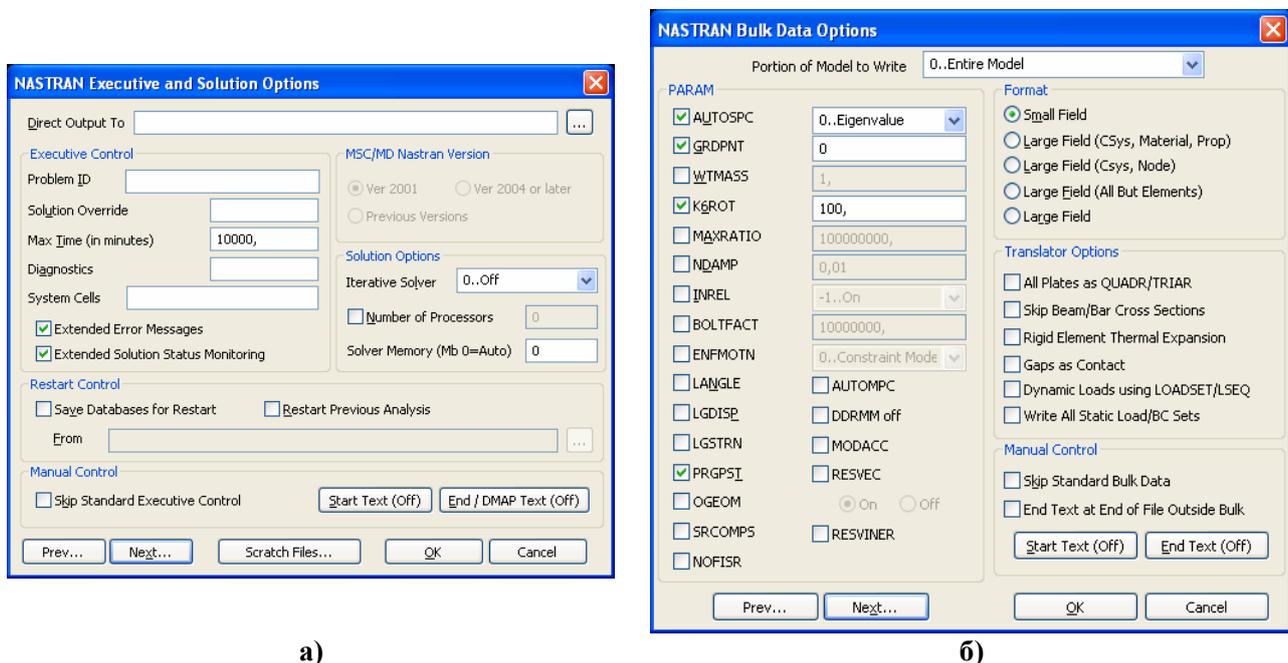


Рис.4.15. Диалоговые панели настройки данных и параметров секций „NASTRAN Executive/Solution” (а) и „Bulk Data” (б) файла \*.dat

- „Solution Override” (переменную или код типа задачи (см. табл.4.2), которая указывает на DMAP – последовательность алгоритмов для получения решения задачи);
- „Max Time (in minutes)” (максимальное время на решение задачи, в минутах);
- „Diagnostics” (параметры диагностирования), которые могут иметь значения от 1 до 64 (см. Приложение 10). Их можно указывать через запятую. Они помогают установить некоторые причины ошибок при решении задач. Сообщения выводят в файлы с расширением имен \*.f06 и \*.pch;
- „System Cells” (параметры подсистем Nastran. Имеет формат записи SYSTEM (#)=#, ..., SYSTEM (#)=#, например: SYSTEM (319)=1. Здесь 319 – номер подсистемы Nastran, которая выводит расширенные сообщения об ошибках).

**Примечание 4.2.** Таблица с номерами „System Cells” (от 1 до 491) и объяснениями помещена в Разделе „1.2. The NASTRAN Statement” книги „NX Nastran 7 Quick Reference Guide”, электронный вариант которой содержит файл ...FEMAPv102\nastranhelp\NXNastran\nast\misc\doc\ docs\pdf\qrg.pdf.

В секции „MSC/MD Nastran Version” можно указать версию MSC/MD Nastran (2001 или 2004 и более поздние).

В секции „**Solution Options**” можно в поле:

- „**Number of Processors**” указать количество процессоров в ЭВМ (>1);
- „**Iterative Solver**” выбрать итерационный метод решения системы алгебраических уравнений: „**0..Off**” (не использовать) „**1..On**” (использовать, метод по умолчанию) „**2..Elemental Iter**” (метод простых итераций). Его можно применять при значительном количестве уравнений в системе алгебраических уравнений (CAU);
- „**Solver Memory (Mb 0=Auto)**” указать ограничение на размер оперативной памяти под процесс решения CAU, в мегабайтах (по умолчанию – автоматически).

Секция „**Manual Control**” имеет опцию „**Skip Standard Executive Control**”, при инициации которой стандартная диагностика будет пропущена, кроме той, которая будет задана с помощью кнопок „**Start Text**” и „**End / DMAP Text**”. Эти кнопки вызывают панель, позволяющую в текстовом режиме вводить с клавиатуры (или считать содержимое файла из файловой системы ЭВМ) параметры и/или объяснения, или сделать ссылку на такой файл в виде команды включения (**INCLUDE**). Эти тексты будут помещены в файл задания (\*.dat или \*.nas) в начало („**Start Text**”) или конец („**End / DMAP Text**”) первой секции этого файла (от 2-й строки или перед строкой с надписью **CEND**). На редакционной панели отображается полное содержание этих текстов.

**Внимание:** все строки объяснений должны начинаться со знака \$.

С помощью кнопки „**Scratch Files...**” можно создать две папки ...\**Scratch** (для размещения временных файлов Nastran) на разных логических дисках файловой системы, а также максимальный размер этих папок, если это нужно.

#### 4.2.6 Опции панели „**NASTRAN Bulk Data Options**”

Подраздел „**Bulk Data**” (все детали модели для Nastran) раздела „**Options**” настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Bulk Data Options**” (см. рис.4.15-б).

Наверху панели есть поле „**Portion of Model to Write**” (записать часть модели в ...) для выбора вариантов: „**0..Entire Model**” (вся модель) или других.

В секции „**PARAM**” можно изменить или добавить к модели несколько внутренних параметров, которые модифицируют модель или руководят процессом решения задачи.

Параметры секции „**PARAM**” имеют такие назначения и значения:

- „**AUTOSPC**” (от **AUT**Omatic **S**ingle-**P**oint **C**onstraint) – задает действие, когда в матрице жесткости тела идентифицируется особенность. **AUTOSPC=YES** требует автоматическим образом ограничивать запредельные значения (по умолчанию = $10^{-8}$ ). **Внимание:** даже если это удалось (не было фатальной ошибки), то будет соответствующее сообщение. Нужно найти, исправить ошибку и снова выполнить решение. Обычные причины: тело плохо закреплено (имеет возможность смещаться в пространстве как жесткое целое) или нулевые значения характеристик материала. В файле проекта \*.f06 создается таблица „сингулярных” узлов „**GRID POINT SINGULARITY TABLE**”, где применяются такие обозначения: „**G**” – узел, „**S**” – скалярная точка, „**FAILED DIRECTION**” – проблемное направление, „**STIFFNESS RATIO**” – относительная жесткость, „**BF**” и „**F**” – указания на отсутствие связей („старый” статус) „**SB**” и „**S**” – наложенные связи („новый” статус). Есть два варианта: „**0..Eigenvalue**” (собственные значения, для чего связи не обязательны) и „**1..Singular Value Decomposition**” (метод разложения сингулярных значений – **SVD**). Значение **AUTOSPC=NO** (опция не активирована) по умолчанию – для задач типа 4, 106, 129, 153 и 159 (см. табл.4.2);

- „**GRDPNT**” – номер узла, относительно которого рассчитываются массово-инерционные характеристики тела (выводятся в файл \*.f06). Если **GRDPNT=0** (по умолчанию), то они рассчитываются относительно начала координатной системы;

- „**WTMASS**” – число, на которое умножаются все массовые характеристики модели (плотность, масса, инерция для КЭ типа **MASS** и матричные значения КЭ типа **MASS MATRIX**) – коэффициент масс. По умолчанию **WTMASS=1.0**;

- „**K6ROT**” – коэффициент фиктивной жесткости при вращении вокруг нормали к поверхности КЭ типа PLATE *первого* порядка аппроксимации (**CTRIA3** – 3 узла и **CQUAD4** – 4 узла). По умолчанию для типов задач 106, 129, 153 и 159 (см. табл.4.2) он равен 100, для других – нулю. Рекомендованные значения: от 0 до 100, наибольшие – для нелинейного и частотного анализа. В качестве альтернативы в секции „**Translator Options**” можно установить опцию „**All Plates as QUADDR/TRIAR**”. Тогда все КЭ типа PLATE не будут контролировать степень свободы „**R3**”, т.е. вращение узлов КЭ вокруг нормали к плоскости КЭ (это – лишь альтернативный вариант аппроксимации решения), а введенное значение „**K6ROT**” – игнорируется. КЭ „**CQUADR**” и „**CTRIAR**” рекомендуют применять для *плоских* конструкций *без значительных изгибающих усилий* (решения – близки к мембранным);

- „**MAXRATIO**” – максимально допустимое отношение диагонального члена матрицы жесткости (или теплопроводности) к недиагональному из треугольной матрицы после разложения исходной матрицы на две треугольные согласно методу Холецкого. По умолчанию **MAXRATIO** =  $10^8$ . Иначе матрица считается вырожденной (фатальная ошибка). Это бывает в двух случаях: когда тело не закреплено или когда в конечно-элементной модели есть сопряжения КЭ с очень разными жесткостями;

- „**NDAMP**” – величина „коэффициента демпфирования”, что вводится искусственно для стабилизации процесса вычисления для задач типа 129, 159 (нелинейные нестационарные задачи, см. табл.4.2) в случае применения адаптированного временного шага. По умолчанию **NDAMP**=0.01. Величина **NDAMP**=0 отменяет это искусственное „демпфирование”. Рекомендуются значение от 0.0 до 0.1;

- „**INREL**” – опция вычисления инерционного „облегчения” или принудительного ускорения для типов задач 101, 105 и 200. По умолчанию **INREL**=0 – не вычислять (статический анализ). При **INREL**=-1 и **INREL**=-2 к вектору нагрузок прибавляется вектор нагрузок, умноженный на некоторую матрицу (подробнее – в разделах „**Chapter 13. Solution Sequences → Data Processing and Matrix Operations by Functional Module → Data Recovery Operations in SubDMAP SEDISP**”, „**Chapter 13. Solution Sequences → Summary of Solution Sequence Operations → Buckling Analysis in SubDMAP MODERS**” и „**Chapter 18. Inertia Relief in Linear Static Analysis → Automatic Inertia Relief**” в книге „**NX Nastran 7 User’s Guide**”, электронный вариант которой содержит файл `...\FEMAPv102\nastranhelp\NXNastran\nast\misc\doc\docs\pdf\user.pdf`). Для инициации опции дополнительно можно применять параметр „**SUPPORT**” (см. табл.4.5 и Раздел 4.2.10);

- „**BOLTFACT**” – опция применения редуцированного значения жесткости предварительно нагруженного болта на первой фазе анализа. По умолчанию **BOLTFACT** =  $1.0 \cdot 10^7$ ;

- „**ENFMOTN**” – опция, управляющая вариантом алгоритма при решении о вынужденных колебаниях тела: 0 – метод ограниченных мод; 1 – метод ограничения абсолютных перемещений плюс ускорения мод (по умолчанию); 2 – как 1, но с учетом демпфирования;

В секции „**PARAM**” еще есть такие опции (без полей редактирования значений):

- „**LANGLE**” – опция применения алгоритма „карданный подвес” для более точного вычисления больших углов поворота (больше 90 градусов) узлов КЭС при решении краевых задач со значительными перемещениями. Применяется одновременно с опцией „**LGDISP**”. По умолчанию **LANGLE**=1 для задач типа 106, 129, 153 и 159 с геометрической нелинейностью. При установлении **LANGLE**=2 применяется метод **Rotation Vector**. Нельзя изменять ее значение при последующем рестарте;

- „**LGDISP**” – опция управления алгоритмом значительных перемещений. Если ее отключить (**LGDISP**=-1), то будет применяться формула (П5.6) Приложения 5 (малые деформации). При включенной опции (тогда **LGDISP**=1), будет применяться формула (П5.5) Приложения 5 (для задач типа 106, 129, 153, 159, 601 и 701 с геометрической нелинейностью), кроме того, силы будут „следить” за перемещениями и вращениями объектов, к которым они приложены (для отключения „слежения” **LGDISP**=2, только для задач типа 106, 129, 153 и

159). При  $LGDISP \geq 0$  к линейной матрице добавляется нелинейная матрица касательной жесткости. Для задач типа 601 и 701 приоритетен другой параметр: **LOADOPT**;

- „**LGSTRN**” – опция управления алгоритмом вычисления напряжений при значительных перемещениях. Только для задач типа 601 и 701, и только с КЭ для моделирования плоской деформации (**Plane Strain**), для односторонних оболочечных (**Single Shell**), осесимметричных (**Axisymmetric**) и объемных (**Solid**) КЭ;

- „**PRGPST**” – выводить таблицу сингулярных узлов в файл \*.f06 (см. выше о параметре „**AUTOSPC**”);

- „**OGEOM**” – выводить блоки данных геометрии в файл задания на расчет;

- „**SRCOMPS**” – выводить соотношения сил изгиба для многослойных (композитных) КЭ. По умолчанию **SRCOMPS=NO**;

- „**NOFISR**” – при **NOFISR>0** не выводить никаких сообщений о многослойных КЭ в файл \*.f06. По умолчанию **NOFISR=0**;

- „**AUTOMPC**” – проверять набор **MPC** – набор с формульными связями перемещений в узлах. По умолчанию **AUTOMPC=NO**;

- „**DDRMM off**”. По умолчанию **DDRMM=0** (опция не активна). Тогда в задачах о переходных модальных процессах и частотном анализе используется матричный метод восстановления данных. При **DDRMM=-1** – все матрицы вычисляются снова со „сдвигом” частот. Также см. про опцию „**MODACC**”;

- „**MODACC**”. По умолчанию **MODACC=-1** (опция не активна). При инициации опции (**MODACC=0**) автоматически иницируется опция „**DDRMM off**” (**DDRMM=-1**), после этого при динамическом анализе будет использоваться метод „сдвига” частот с использованием набора „**QSET**” (см. табл.4.5 и Раздел 4.2.10). При **MODACC=1** (с помощью кнопки „**Start Text**” ввести строку **PARAM,MODACC,1**) дополнительно учитываются данные набора „**SUPPORT**” (см. табл.4.5 и Раздел 4.2.10). Значение **MODACC**  $\geq 0$  не рекомендуется применять для задач гидроупругой динамики;

- „**RESVEC**”. По умолчанию **RESVEC=NO**. Если опцию иницировать (**RESVEC=On**), то в файл \*.f06 будет выведена диагностика для нагрузок, которые были подключены в секции „**Nodal**” для „**Applied Load**” на панели „**NASTRAN Output Requests**” (см. рис.4.19-б), а также для инерционных или единичных сил (динамический анализ). Эти данные могут значительно улучшить результаты модального динамического анализа отклика (modal dynamic response analysis). Если тело – не закреплено, то для получения этих данных (**Applied Load**) необходимо подключить набор „**SUPPORT**” (см. табл.4.5 и Раздел 4.2.10);

- „**RESVINER**”. По умолчанию **RESVINER=NO**, и это учитывает увеличение размеров от инерционных нагрузок (ускорение модуля массы).

**Примечание 4.3.** Полная таблица с параметрами NX Nastran и объяснениями помещена в Разделах „7.1. Parameter Descriptions” (со стр. 666) и „10 ... 19 Bulk Data Entries” (со стр. 901) книги „NX Nastran 7 Quick Reference Guide”, электронный вариант которой содержит файл ...\\FEMAPv102\nastranhel\NXNastran\nast\misc\doc\docs\pdf\qrg.pdf.

В секции „**Format**” по умолчанию выбрано „**Small Field**”, т.е. короткий формат записи данных в файлы (8 позиций для действительных чисел, которыми обычно являются координаты узлов, характеристики материалов и другие данные). Когда эта точность не удовлетворяет, нужно выбрать „**Large Field**” (по 16 позиций) для всех данных или для указанных в скобках. **Внимание:** формат „**Large Field**” значительно увеличивает объем рабочих файлов Nastran.

В секции „**Translator Options**” можно установить опции: „**All Plates as QUARDR/TRIAR**” (все КЭ типа **PLATE** будут иметь вращательную жесткость в направлении нормали к поверхности, как в **QUARDR/TRIAR** (по умолчанию создаются КЭ **QUARD4** или **TRIA3** без вращательной жесткости)); „**Skip Beam/Bar Gross Sections**” („сброс” данных о сечении КЭ типа **BEAM** и **BAR** – для устаревших версий Nastran, которые не воспринимают обновленный набор характеристик сечения таких КЭ); „**Rigid Element Thermal Expansion**” (КЭ

типа **RIGID** имеет такую характеристику, как коэффициент температурного расширения – для версий NX Nastran (от 5.1) и MSC/MD Nastran (от 2005 г.); „**Gaps as Contact**” (КЭ типа „**Gaps**” воспринимать как контактные: для задачи типа 101); „**Dynamic Loads using LOADSET/BCLSEQ**” (использовать (устаревший) метод **LSEQ** в динамическом нагружении); „**Write All Static Load/BC Sets**” (записать все статические нагрузки для задачи типа 101 в набор таким образом, как и во всех версиях до Femap 10.1).

В секции „**Manual Control**” есть две опции: „**Skip Standard Bulk Data**” (не писать стандартный набор общих данных); „**End Text at End of File Outside Bulk**” (дописывать конец текста в конце файла вне **Bulk**-части). Кнопка „**Start Text**” позволяет дописывать текст (в частности, другие параметры, чем те, что есть на панели) сразу после команды **BEGIN BULK**, а кнопка „**End Text**” – перед командой **END DATA**, т.е. в конце файла (на редакционной панели отображается *полное* содержание этих текстов).

**Внимание:** все *строки объяснений* должны начинаться со знака \$.

#### 4.2.7 Опции панели „**GEOMCHECK**”

Подраздел „**GEOMCHECK**” (проверка геометрии) раздела „**Options**” настраивается с

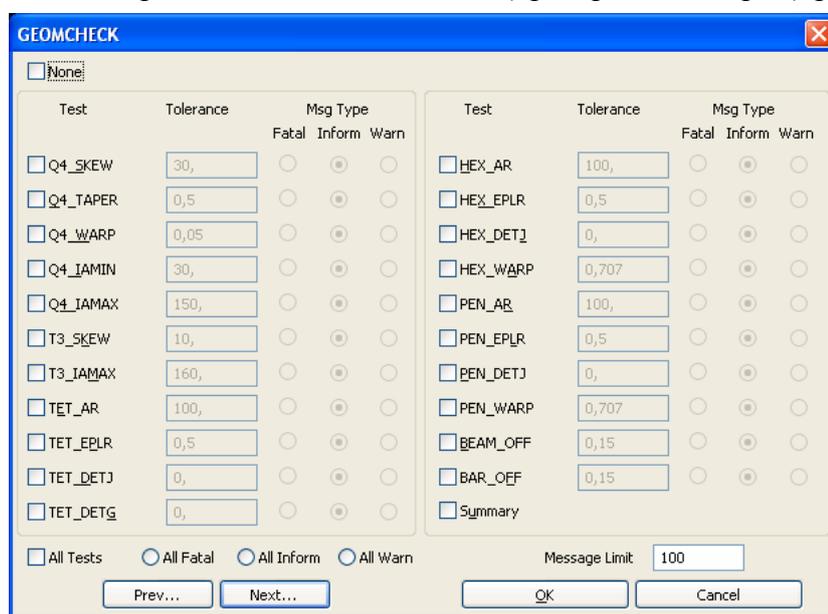


Рис.4.16. Диалоговая панель параметров контроля геометрии КЭ

помощью диалоговой панели „**GEOMCHECK**” (см. рис.4.16). На ней имеются опции для активации параметров (столбцы „**Test**”), начало названий которых указывает на тип КЭ: **Q4** – 4-х и **T3** – 3-х угловые (двумерные); **TET** – 4, **HEX** – 6 и **PEN** – 5 граней (трехмерные). Объяснения к параметрам и их значения по умолчанию помещены в таблице 4.4. В столбцах „**Tolerance**” указываются допустимые значения параметров. В столбце „**Msg Type**” выбирается тип сообщения: как фатальная ошибка (**Fatal**), как информационное (**Inform**)

или как предостережение (**Warn**).

**Внимание:** тип „**Fatal**” приводит к невозможности продолжения анализа, другие – нет. Отчет в виде таблиц помещается в файл \*.f06.

На панели есть еще опция и радиокнопки для быстрого назначения всех параметров и типов сообщений (**All Tests**, **All Fatal**, **All Inform**, **All Warn**), а также ограничения в количестве строк в таблицах сообщений (**Message Limit**).

Некоторые из этих инструментов для проверки качества КЭС (а также и другие) уже рассматривались в Разделе 3.6.

Таблица 4.4. Параметры проверки геометрии КЭ

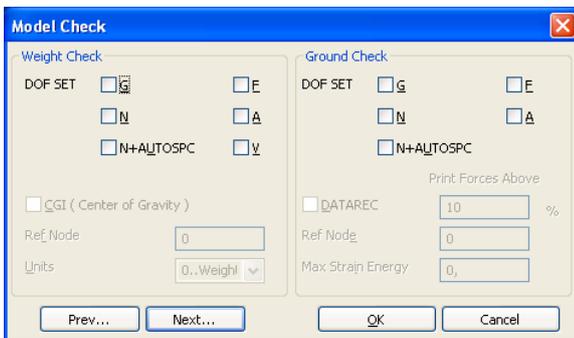
Параметр	Перевод, пояснения	Значение
<b>Q4_SKEW</b> Skew angle in degrees	Угол перекоса (град): острый угол между линиями, которые соединяют середины сторон, лежащие напротив	30.0
<b>T3_SKEW</b> Skew angle in degrees	Наименьший внутренний угол в КЭ	10.0
<b>Q4_TAPER</b> Taper ratio	Альтернативное сужение (см. Раздел 3.6.4. и рис.3.33-а)	0.5

<b>Q4_WARP</b> Surface warping factor	Коэффициент искривления поверхности КЭ (см. параметр „Warping” в Разделе 3.6.4. и на рис.3.33-б)	0.05
<b>Q4_IAMIN</b> Minimum interior angle in degrees	Минимальный внутренний угол в КЭ (град)	30.0
<b>Q4_IAMAX, T3_IAMAX</b> Maximum interior angle in degrees	Максимальный внутренний угол в КЭ (град)	150.0, 160.0
<b>TET_AR, HEX_AR, PEN_AR</b> Longest edge to shortest edge aspect ratio	Максимальное из соотношений длин сторон КЭ	100.0
<b>TET_EPLR, HEX_EPLR, PEN_EPLR</b> Edge point length ratio	Отношения расстояний между узлами на ребре (при наличии промежуточного узла): при EPLR=1 узел – на середине ребра; при EPLR=0.5 – на 1/3 длины всего ребра	0.5
<b>TET_DETJ, HEX_DETJ, PEN_DETJ</b>  J  minimum value	Минимальное значение якобиана (пропорционально объему КЭ)	0.0
<b>HEX_WARP, PEN_WARP</b> Face warp coefficient	Коэффициент искривления поверхности КЭ: максимальный косинус угла между нормальями в угловых узлах грани КЭ	0.707
<b>BEAM_OFF, BAR_OFF</b> Offset length ratio	Отношение (к длине КЭ) перемещения нейтральной оси	0.15

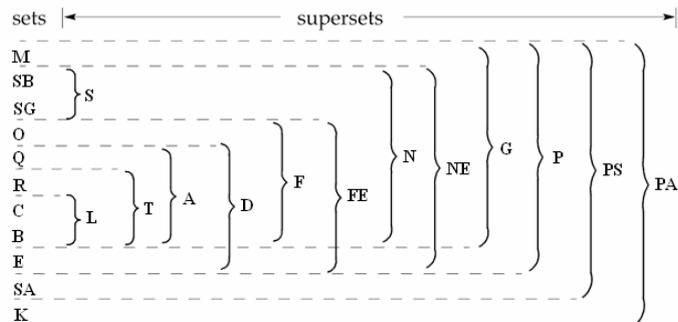
#### 4.2.8 Опции панели „MODELCHECK”

Подраздел „MODELCHECK” (проверка модели) раздела „Options” настраивается с помощью диалоговой панели „Model Check” (см. рис.4.17-а). Опции секции „Weight Check” предназначены для контроля приведения масс. Здесь в части „DOF SET” можно выбрать для проверки *множества* степеней свободы узлов, в поле „Ref Node” – указать номер узла приведения (0 – относительно начала глобальной координатной системы), а в списке „Units” – выбрать единицу измерения для вывода результатов: вес (0..Weight) или масса (1..Mass). Если инициировать опцию „CGI (Center of Gravity)”, то все вычисления (силы тяготения и массовых моментов инерции тела) будут проводиться относительно центра тяжести тела.

Опции секции „Ground Check” предназначены для контроля закрепления модели. Опции части „DOF SET” аналогичны опциям секции „Weight Check”. Если при анализе будет применяться адаптивная процедура (нелинейный анализ, эволюционные процессы), то можно инициировать опцию „DATAREC” и указать: номер узла приведения (0 – относительно геометрического центра); процент деформирования и максимальное значение энергии деформирования (**Max Strain Energy**), при превышении которых будет проводиться вывод сообщения в файл \*.f06. **Внимание:** эта информация формируется лишь после проведения анализа.



а)



б)

Рис.4.17. Диалоговая панель контроля степеней свободы узлов (а); наборы степеней свободы и их объединение (б)

По поводу обозначений множеств „**DOF SET**”. Дело в том, что все степени свободы узлов КЭС в Nastran сгруппированы по нескольким признакам во множества, среди которых различают оригинальные множества (**EXCLUSIVE**) и их объединения (**UNION**). В таблице 4.5 приведены коды этих множеств и некоторые пояснения, а на рис.4.17-б – графическое объяснение объединений.

**Таблица 4.5. Кодирование множеств степеней свободы в Nastran**

<b>EXCLUSIVE (оригинальные)</b>	<b>UNION (объединения)</b>
<b>M</b> – с межузловыми связями (MPC)	$MS = M + S$ – степени свободы со связями „ <b>Constraint</b> ”. $S = SB + SG$ ; $F = A + O$ – свободные степени свободы. $A (ASET) = (R + C + B) + Q$ ; $L = B + C$ ; $T = L + R$ ; $N = F + E$ ; $D = A + E$ ; $FE = F + S$ ; $NE = N + E$ ; $G = N + M$ ; $P = G + E$ ; $PS = P + SA$ ; $PA = PS + K$ ; $FR = F - Q - R$ ; $V = O + C + R$
<b>SB</b> – граничные условия 1-го рода (SPC) и AUTOSPC	
<b>SG</b> – с постоянными связями, одного узла	
<b>O (OSET)</b> – степени свободы, взаимосвязанные через уравнения глобальной САУ	
<b>Q (QSET)</b> – обобщенные степени свободы (для метода GDR)	
<b>R (SUPORT)</b> – кинематические связи (обобщенные степени свободы движения как твердого тела)	
<b>C (CSET)</b> – свободные степени свободы (для метода GDR)	
<b>B (BSET)</b> – степени свободы, которые фиксируются (для метода GDR)	
<b>E</b> – дополнительные степени свободы, которые введены в динамическом анализе	
<b>SA</b> – постоянно ограниченные аэродинамические степени свободы	
<b>K</b> – аэродинамические степени свободы	

**Примечание 4.4.** Связи между узлами (MPC) создаются уравнениями или КЭ типа **RIGID**. Динамическая редукция – удаление из уже собранной САУ некоторого количества уравнений (степеней свободы).

**Примечание 4.5.** Если с помощью кнопки „**End Text**” панели „**NASTRAN Bulk Data Options**” (см. рис.4.15-б) в файл \*.dat ввести строку **PARAM, USETPRT,0**, то в файл \*.f06 будут выведены таблицы со всеми множествами степеней свободы.

#### 4.2.9 Другие панели раздела „Options” для Nastran

В зависимости от типа задачи раздел „Options” может иметь и другие подразделы:

- „**Modal/Buckling**” – настраивается с помощью фактически одинаковых диалоговых панелей „**NASTRAN Buckling Analysis**” (см. рис.6.13-а с пояснениями в Разделе 6.3.6) и „**NASTRAN Modal Analysis**” (см. рис.7.3 с пояснениями в Разделе 7.3.1);
- „**DDAM**” – настраивается с помощью диалоговых панелей „**NASTRAN DDAM Solution Options**” и „**NASTRAN DDAM Coefficients**” (см. рис.7.11 и пояснения в Разделе 7.3.5);
- „**Rotor Dynamics**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Rotor Dynamics Options**” (см. рис.7.6 и пояснения в Разделе 7.3.2.5);
- „**Modal XYPlot**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN XY Output for Modal Analysis**” (см. рис.6.13-б и пояснения в Разделе 6.3.6);
- „**Response Spectrum Application**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Response Spectrum Application**” (см. рис.7.7 и пояснения в Разделе 7.3.2.6);
- „**Response Spectrum Generation**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Output for Response Spectrum Analysis**” (см. рис.7.5-б и пояснения в Разделе 7.3.2.4);
- „**Random Output2**” – настраивается с помощью 3-х панелей „**NASTRAN Output for Random Analysis**” (см. рис.7.8 или рис.7.9 и пояснения в Разделе 7.3.4);

- „**Random XYPlot**” – настраивается с помощью диалоговых панелей „**NASTRAN Output for Random Analysis**” (см. рис.7.9 и пояснения в Разделе 7.3.4);
- „**PSD Correlation**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Power Spectral Density Factors**” (см. рис.7.10 и пояснения в Разделе 7.3.4);
- „**Stiffened Modal**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NASTRAN Modal Analysis**” (см. рис.7.3 с пояснениями в Разделе 7.3.1);
- „**Dynamics**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**Dynamics Control Options**” (см. рис.7.4 и пояснения в пп. 7.2.1, 7.3.2.1, 7.3.2.3.1, 7.3.2.4, 7.3.3, 7.3.4);
- „**Nonlinear**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**Nonlinear Control Options**” (см. рис.5.6-б и рис.5.7-б и пояснения к ним);
- „**Advanced Nonlinear Solver**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NXSTRAT Solver Parameters**” (см. рис.6.15 и Раздел 6.4);
- „**Advanced Nonlinear Iteration/Convergence**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NXSTRAT Iteration and Convergence Parameters**” (см. рис.6.16 и Раздел 6.4);
- „**Advanced Nonlinear Explicit Solver**” – настраивается с помощью диалоговой панели „**NXSTRAT Solver Parameters**” (см. рис.6.15 и Раздел 6.4).

#### 4.2.10 Панели раздела „Master Requests and Conditions”

Последний раздел задания – „**Master Requests and Conditions**” (основные требования и условия). На одноименной диалоговой панели (см. рис.4.18) можно задать имя набора, активизировать опцию „**Skip Standard**”.



Рис.4.18. Диалоговая панель раздела „Master Requests and Conditions”

Кнопка „**Start Text**”, как и ранее, позволяет дописывать текст и параметры сразу после команды **BEGIN BULK**, а кнопка „**End Text**” – перед командой **END DATA**, т.е. в конце файла \*.dat или \*.nas (на редакционной панели отображается *полное* содержание этих текстов).

**Внимание:** все строки пояснений должны начинаться со знака \$ (иначе будет фатальная ошибка).

Подраздел „**Boundary Conditions**” (граничные условия) раздела „**Master Requests and Conditions**” настраивается с помощью диалоговой панели „**Boundary Conditions**” (см. рис.4.19-а). На ней в секции „**Primary**

**Sets**” выбираются основные наборы нагрузок (**Loads**), закреплений (**Constraints**), начальных условий (**Initial Conditions**), уравнений связей (**Constraints Equations**) и предварительной нагрузки болтов (**Bolt Preloads**).

В секции „**Other DOF Sets**” подключаются другие наборы со степенями свободы узлов. После инициации соответствующей опции из списка выбирается один из наборов (их нужно создать заранее с помощью команды **Model**→**Constraint**→...). Очевидно, что в эти наборы можно включать лишь некоторые степени свободы из множества **F**, т.е. из свободных. Опции такие:

- „**ASET**” (от **Analysis Set**) – для списка базовых степеней свободы из множества „**A**”, на основе которых по методу Гайана будет строиться решение в виде разложения по этим степеням. В этот список не должны входить степени свободы из списка, что подключается к задаче на диалоговой панели рис.4.19-а. Все свободные степени свободы, не включаемые в „**A**”, считаются членами множества „**O**” (см. табл.4.5);
- „**OMIT**” (пропустить) – для списка степеней свободы, не входящих в множества „**MS**” и „**A**”, т.е. для некоторых степеней свободы из множества „**O**”. Указанные в списке степени свободы будут изъяты из CAУ в процессе анализа, т.е. формы и частоты колебаний в этих направлениях рассчитываться не будут, что сокращает время, нужное для анализа. Если список „**ASET**” не выбрано, то все степени свободы, не вошедшие в список „**OMIT**”, считаются выбранными в список „**ASET**”. **Внимание:** обычно в этот список помещают степени

свободы одного из направлений (**X**, **Y** или **Z**), что почти не сказывается на значениях других частот;

- „**SUPPORT**” (поддержка) – для списка степеней свободы, которые будут полностью закреплены (в случае отсутствия ограничений в модели). Применяются для статических задач типа 101, 105 и 200 (расчет незакрепленных тел, механизмов; дополнительно нужно инициализировать опцию „**INREL**” – см. Раздел 4.2.6) и для динамических задач;
- „**SUPPORT1**” (поддержка) – для списка степеней свободы, которые будут полностью закреплены. Отличается от „**SUPPORT**” тем, что может применяться для любого из **subcases** (поднаборов в задании на счет), а не для всех одновременно;
- „**QSET**”, „**CSET**” и „**BSET**” – подключение наборов со степенями свободы, которые соответствуют табл.4.5, для метода обобщенной динамической редукции (**GRD**).

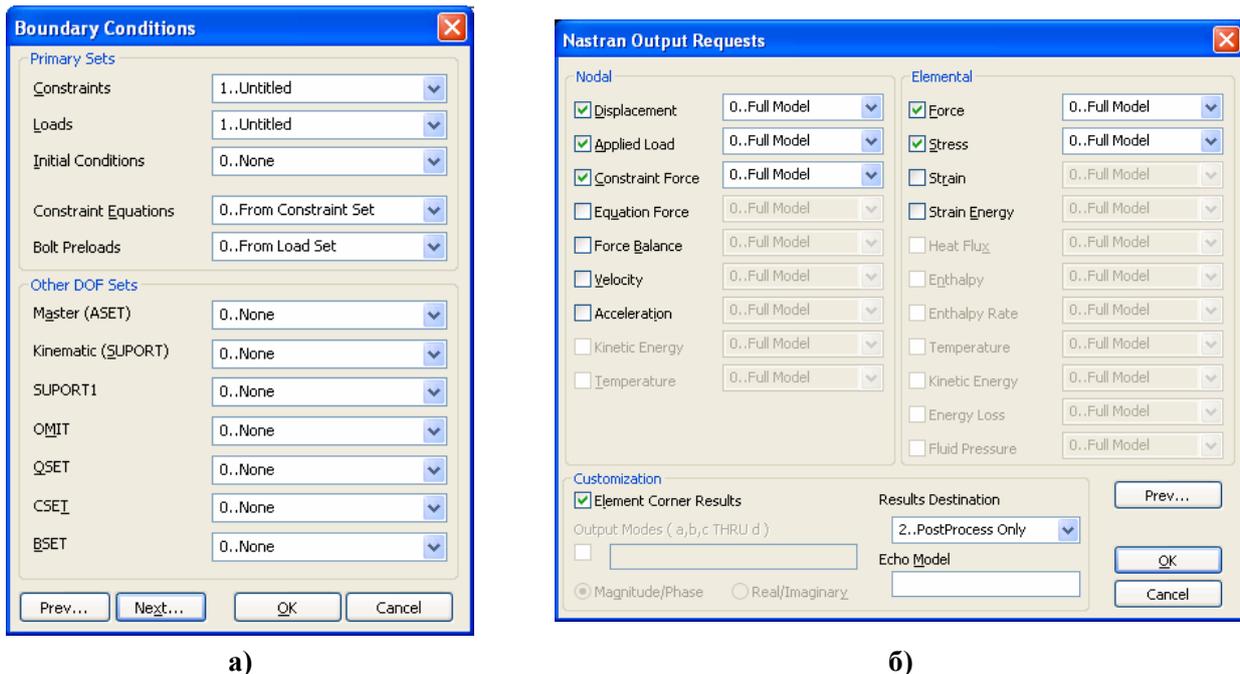


Рис.4.19. Диалоговые панели назначения наборов: а) – граничных условий; б) – результатов

Последняя диалоговая панель – „**Nastran Output Requests**” (см. рис.4.19-б). На ней указываются наборы для результатов анализа, который нужно создать для узлов (**Nodal**) и элементов (**Elemental**). Здесь можно указать „**0..Full Model**” (полная модель) или выбрать заранее созданную группу (узлов или КЭ). В секции „**Customization**” опцией „**Element Corner Result**” можно указать, что результаты расчета нужно выводить только в узлах КЭС. Для частотного анализа можно установить опцию „**Output Modes (a,b,c THRU d)**” и указать нужные моды по указанному шаблону, а также изменить вариант вывода результатов: „**Magnitude/Phase**” (амплитуда/фаза) или „**Real/Imaginary**” (действительная/мнимая). В списке „**Results Destination**” можно выбрать вариант вывода данных (**0..Default**, **1..Print Only** (только в файл \*.f06), **2..PostProcess Only** (только в файл \*.op2), **3..Print and PostProcess**, **4..Punch Only** (только в файл \*.pch), **5..Punch and PostProcess**, **6..XDB** (только в файл \*.xdb)). Когда активно поле „**Echo Model**”, можно указать вариант модели.

Для задачи об НДС тела варианты результатов: перемещения (**Displacement**), приложенные нагрузки (**Applied Load**), реакции связей (**Constraint Force**), реакции связей, заданные уравнениями или КЭ типа **RIGID** (**Equation Force**), баланс сил в узлах КЭС (**Force Balance**), скорость (**Velocity**), ускорение (**Acceleration**); элементные (**Elemental** – внутренние) нагрузка: изгибающие и крутящие моменты, нормальные и перерезывающие силы (**Force**), напряжения (**Stress**) и деформации (**Strain**) в КЭ, энергия деформирования (**Strain Energy**) и т.п. Ориентация выводимых напряжений, деформаций и сил по отношению к геометрии конечных элементов и главных осей анизотропии настраивается для всей модели с помощью диалоговой панели, изображенной на рис.1.7-б (см. Раздел 1.5).

Есть и другие специфические результаты, для которых обычно создаются таблицы и функции. Конкретные ситуации будут описаны в следующих Разделах.

#### 4.2.11 Создание задания для многовариантного анализа

Если нужно создать задание для многовариантного анализа, то нужно сначала кнопкой „New...” на диалоговой панели „Analysis Set Manager” создать стандартное задание (только первое действие) и инициировать кнопку „MultiSet...”. Поочередно будут появляться стандартные диалоговые панели для выбора наборов закреплений и нагрузок, после чего задание будет содержать все возможные варианты анализа, которые теперь можно настроить отдельно.

На диалоговой панели „Analysis Set Manager” появляется соответствующее количество разделов „Case: # ...”, где # – номер варианта, а дальше идет имя, созданное из названий наборов нагрузок и закреплений. Для настраивания каждого из этих разделов вызываются панели „Analysis Case” (подобны панели, изображенной на рис.4.18), а также „Boundary Condition” и „Nastran Output Requests”, уже рассмотренные ранее.

**Примечание 4.6.** При последовательном применении нескольких наборов ГУ в Nastran считается, что реализуется поэтапный эволюционный процесс, при котором на каждом следующем этапе тело нагружается „от достигнутого уровня”. Это позволяет выполнять непрерывные расчеты при довольно сложных программах нагружения. Однако возможность задать циклическую нагрузку по принципу: „условия для одного цикла и количество таких циклов”, к сожалению, не предусмотрена.

### 4.3 Процесс расчета краевой задачи

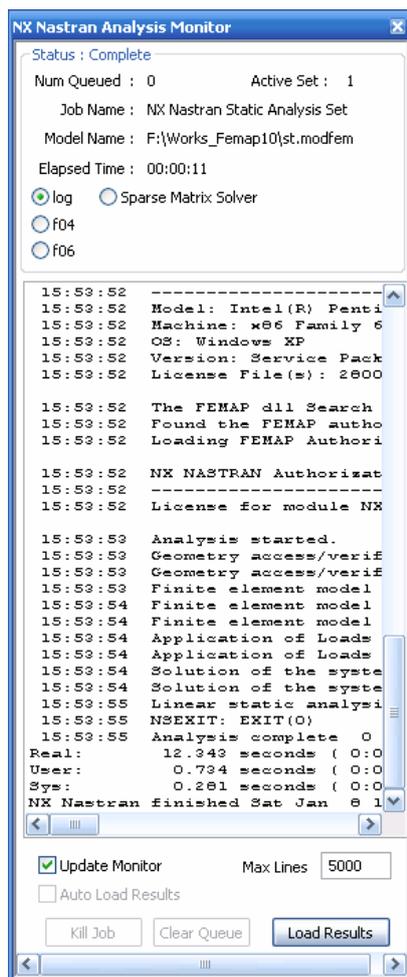


Рис.4.20. Диалоговая панель мониторинга процесса анализа

После подачи команды на проведение анализа на экране монитора могут появляться сообщения FEMAP, нуждающиеся в ответе „Да” или „Нет”, предупреждения о некоторых не фатальных ошибках, а иногда – даже о фатальных. В частности, может появиться запрос о сохранении обновленного файла модели; сообщение о том, что КЭ будут модифицированы (это касается осесимметричных КЭ: четырехугольные автоматически превращаются в треугольные); что некоторые граничные условия не могут быть переданы от геометрических объектов к КЭ или узлам (о преодолении этой проблемы см. Раздел 4.1.4.6); другие.

Процесс расчета краевой задачи в среде SPLMS.Fv10.2.0 проводится программой-анализатором NX Nastran 7.1. Ей передается информация о полном имени файла \*.dat (или \*.nas), в котором сохранена модель краевой задачи.

В течение процесса анализа в поле FEMAP активна панель мониторинга процесса анализа (см. рис.4.20). На ней можно: прервать процесс анализа (кнопка „Kill Job”) или просмотреть текущее заполнение файлов диагностики процесса .log, .f04 и .f06. Активная опция „Update Monitor” указывает на то, что обновление диалогового окна проводится автоматически. Значение в поле „Max Lines” – максимальное количество строк для просмотра. Радиокнопкой „Sparse Matrix Solver” можно вызвать отчет о прохождении процесса решения системы алгебраических уравнений, порожденных методом конечных элементов. По окончании счета активной кнопкой „Load Results” можно вызвать панель „Mes-

**sage Review**” для просмотра сообщений о собственно задаче (выборка из файлов диагностики процесса **.log**, **.f04** и **.f06**).

**Внимание:** при каждом запуске процесса расчета Nastran и FEMAP создают новые версии вспомогательных файлов. Поэтому время от времени их необходимо пересматривать и удалять ненужные. Кроме того, программа создает значительные и очень значительные по размерам временные файлы, которые исчезают при окончании расчетов, поэтому на магнитном носителе нужно иметь достаточное свободное пространство для их размещения.

#### 4.4 Мастер создания модели

В FEMAP есть инструмент, предназначенный для облегчения освоения процесса создания модели и для быстрого расчета простых тел типа „**Solid**”. Командой **Tools→Stress Wizard** вызывается диалоговая панель „**Stress Wizard**” (см. рис.4.21-а). На ней есть 4 кнопки „**Step 1**”, „**Step 2**”, „**Step 3**” и „**Step 4**” с объяснениями, т.е. процесс разбит на 4 шага. Каждому шагу соответствуют некоторые основные действия, которые можно делать с помощью других кнопок с соответствующими надписями. Но это не значит, что можно пользоваться только ими: доступны все команды меню FEMAP. Когда минимально необходимые действия какого-то шага выполнены, напротив кнопки „**Step ...**” появится изображение „птички” (см. рис.4.21-б). **Внимание:** это совсем не гарантирует правильность действий! Кнопки секции „**View Control**” (внизу) позволяют быстро изменить ориентацию модели.

До применения мастера необходимо установить желательное значение „**Solid Geometry Scale Factor**” (команда **File→Preferences**, вкладка **Geometry/Model**). Еще нужно проверить, есть ли в библиотеке FEMAP необходимый материал, если нет – создать его (см. Раздел 3.1).

Новый проект начинается командами **File→New** и **Tools→Stress Wizard**. Кнопкой „**Select Solid for Analysis**” (см. рис.4.21-а) вызывается стандартный диалог открытия файла, причем будут читаться только файлы **Parasolid**-формата (**\*.X\_T**). Потом будет необходимо выбрать из библиотеки FEMAP материал. Результат первого шага: считана геометрия, создана КЭС с КЭ типа **SOLID** второго порядка аппроксимации (**Parabolic**) из выбранного материала, созданы задание анализа (**Analysis Set**) под тип задачи **Static**, а также пустые списки нагрузок (**Stress Wizard Load Set**) и закреплений (**Stress Wizard Const Set**).

**Примечание 4.7.** Есть смысл проверить координаты точек тела или расстояния в теле, чтобы определиться в правильности значения коэффициента „**Solid Geometry Scale Factor**”. „**Stress Wizard**” сам не показывает КЭС, поскольку желает работать с „твердым” телом. Отображение КЭС можно настроить с помощью кнопки „**Quick Options**”. Если созданная автоматически КЭС – не удовлетворяет, то можно последовательно удалить КЭ и узлы, потом создать новую КЭС, или сначала создать геометрическую модель и КЭС, потом вызвать панель „**Stress Wizard**”. А свойства материала КЭС всегда можно отредактировать с помощью команды **Modify→Edit→Material...**

Шаг 2 – создание закреплений (здесь – только через поверхности). Варианты (см. рис.4.21-б):

- **Specify surfaces that are fully fixed** (назначение поверхностей с полным закреплением);
- **Specify surfaces that can slide tangent to themselves** (назначение поверхностей с закреплением в направлении нормали к ним. Обычно так моделируют отброшенную *симметричную* часть тела);
- **Specify surfaces that can slide only in a defined direction** (назначение поверхностей с возможностью скольжения в указанном направлении);
- **Pick cyl. surf(s) that can only rotate about their axes** (выбор цилиндрических поверхностей, которые будут иметь возможность только вращаться вокруг своей оси);
- **Pick cyl. surf(s) that rotate about and slide on their axes** (выбор цилиндрических поверхностей, которые будут иметь возможность вращаться вокруг своей оси и перемещаться вдоль ее);

- **Free surfaces from constraint** (освободить поверхности от закреплений).

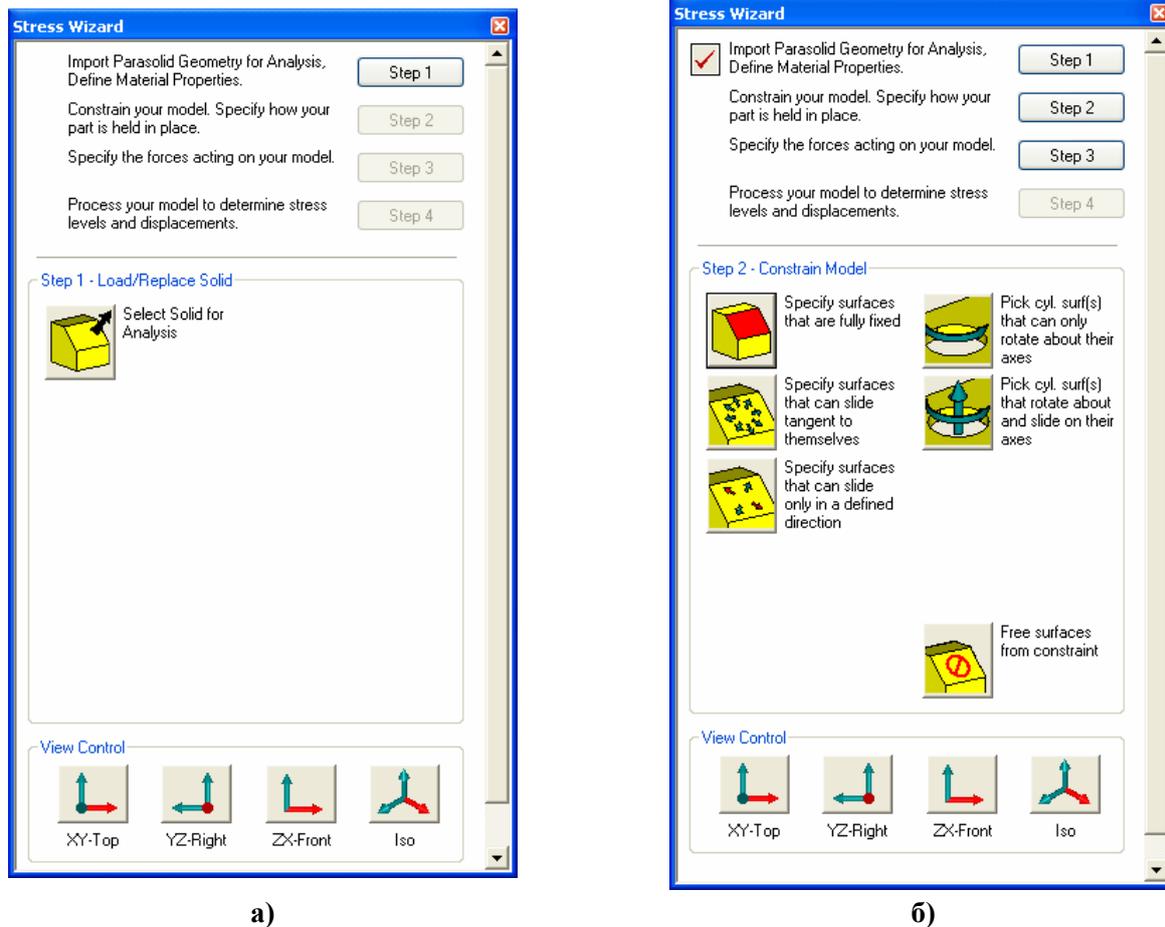


Рис.4.21. Диалоговая панель „Stress Wizard”: а) – шаг 1; б) – шаг 2

Шаг 3 – создание нагрузок. Варианты (см. рис.4.22-а):

- **Select surfaces for pressure loading** (назначение поверхностей с нагрузкой в виде давления);
- **Select surfaces to apply directional force** (назначение поверхностей с направленными силами);
- **Select edges to apply directional force** (назначение граней для приложения направленных сил);
- **Select surface(s) to zero out or remove loads** (назначение поверхностей для освобождения от нагрузок);
- **Select edge(s) to zero out or remove loads** (назначение граней для освобождения от нагрузок).

Шаг 4 – проведение анализа и просмотр результатов. Варианты (см. рис.4.22-б):

- **Run this model and recover answers** (проведение анализа и получение результатов);
- **Reset Post-Processing View** (очистить контур модели от изображения результатов);
- **Show Model in Deformed State** (переключатель: показать (или ни) модель в деформированном состоянии);
- **Toggle Stress Contours** (переключатель: показать (или нет) напряжения на контуре);
- **Animate Deformation** (провести анимацию деформирования модели);
- **List Reaction Forces on Surface(s)** (создать таблицу значений результирующих сил на поверхностях);
- **Toggle Contour – Stress/Displacem** (переключатель: показать на контуре или напряжения (по Мизесу) или полные перемещения);
- **Set Deformation Scale Factor** (установить параметр сдеформированного состояния);

- **Dynamic Cutting Plane** (плоскость динамического рассечения: вызывает панель настраивания этой плоскости: см. описание и рис.9.16-а в Разделе 9.4).

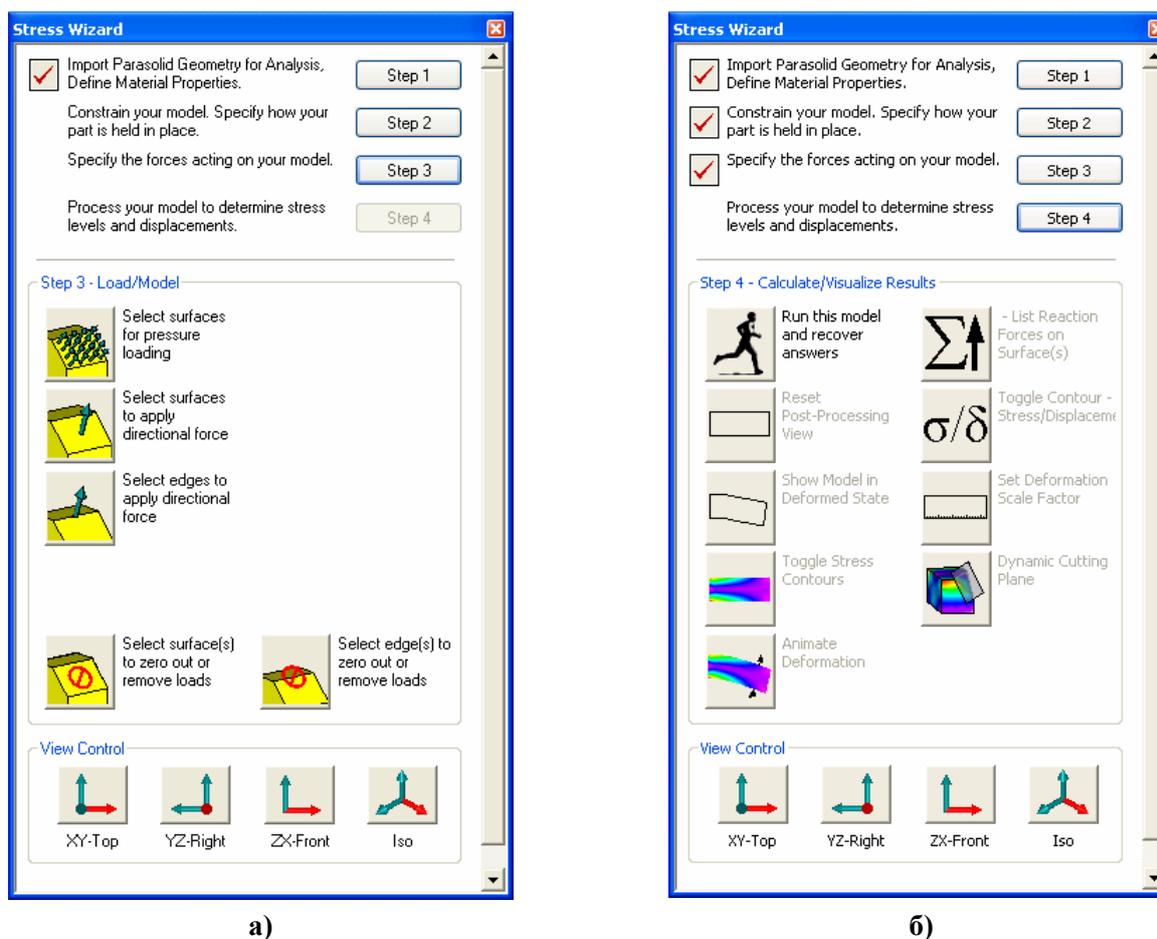


Рис.4.22. Диалоговая панель „Stress Wizard”: а) – шаг 3; б) – шаг 4

Поскольку все граничные условия (ГУ) при применении мастера создания модели формулируются относительно геометрических объектов, то после некоторой модификации геометрии тела можно назначенные ГУ использовать без перемен, если тело модифицируется таким образом, что внутренние номера (ID) этих геометрических объектов не изменяются в процессе модификации.