

Раздел 2

СОЗДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕЛА

Создание геометрической модели – важный этап полного цикла проведения вычисления элемента конструкции.

В FEMAP 10.2.0 можно применять одно из двух ядер (наборов команд) геометрического моделирования Parasolid: **Standard** (стандартная версия) или его расширенная версия **Parasolid** (фирмы Electronic Data Systems Corporation (EDS), версии 23.0.194. Эти ядра также применяются в других программах: Unigraphics, SolidWorks, SolidEdge, CATIA и др., что обеспечивает полную совместимость FEMAP с указанными и другими программами. По умолчанию (т.е., заранее установленное значение) в FEMAP применяется ядро **Parasolid**, при необходимости его можно заменить на ядро **Standard** в диалоге „Geometry Engine” (команда **File→Preferences...**, вкладка **Geometry/Model**).

Геометрическая модель в FEMAP может иметь такие объекты: точка, линия (прямая или кривая), поверхность (прямолинейная или криволинейная), объем и „твердое” тело (разновидность объема). Линия опирается на точки; поверхность – на линии и точки; объем – на поверхности, линии и точки. Поверхность должна иметь замкнутый контур, созданный линиями; объем – общую замкнутую поверхность, созданную из одной (шар, тор) или нескольких поверхностей.

Внимание: невозможно *удалить* любой объект, что является основой для другого. Это свойство можно рекомендовать для очистки модели от уже ненужных или по ошибке введенных объектов низшего уровня. Например, после создания кривых (линий) можно дать команду: удалить все точки (**Delete→Geometry→Point...→Select All→OK**); после создания поверхности (поверхностей) – удалить все линии (**Delete→Geometry→Curve...→Select All→OK**) и потом – все точки; после создания объема (объемов) – все поверхности (**Delete→Geometry→Surface...→Select All→OK**), потом все кривые, потом все точки.

Если инициировать какой-либо диалог, в котором нужно выбирать объекты конкретного класса (точки, линии, поверхности, объемы и т.п.), то каждый объект этого типа, существующий в модели, на экране монитора меняет изображение (выделяется, выбирается), когда *мерцающий* курсор помещен в соответствующем поле диалоговой панели (например, для введения **ID**), а курсор „мыши” найдет именно этот объект. Тогда достаточно нажать на левую кнопку „мыши” или клавишу „Enter”, чтобы **ID** этого объекта поместился в отведенное для **ID** поле на диалоговой панели. Аналогично, если нужно ввести координаты точки тела, то (кроме введения с клавиатуры) достаточно поместить *мерцающий* курсор в одно из полей для координат, привести курсор „мыши” на соответствующее место на рабочем поле и нажать на левую кнопку „мыши” или клавишу „Enter”.

После инициации треугольника на правой части электронной кнопки  („View Style”) на панели появившегося динамического меню (см. рис.2.1), можно выбрать стиль изображения геометрической модели:

- каркасный (**Wireframe**): изображаются точки и линии; поверхности обозначаются дополнительными тонкими линиями;
- полигональный поверхностный (**Hidden** – скрытый): изображаются только границы поверхностей, причем только видимые;
- изображение модели – как твердое тело (**Solid**): заполненное цветом тонированное трехмерное, в совершенном графическом режиме (см. подраздел 1.5).

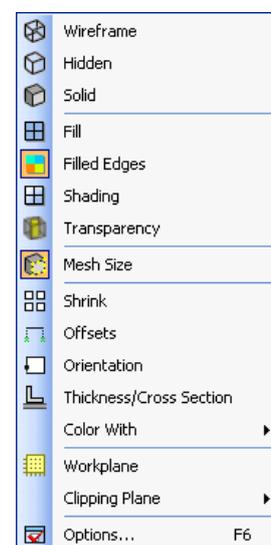


Рис.2.1

Еще есть несколько опций: „**Fill**” (заполнение поверхности цветом), „**Filled Edges**” (показ ребер конечных элементов), „**Shading**” (тонирование поверхностей) и „**Transparency**” (прозрачное изображение), позволяющие отдельно включать или выключать указанные инструменты.

Также есть переключатель „**Workplane**” (изображать/скрыть рабочую плоскость), команда „**Options**” для вызова диалоговой панели „**View Options**”. Еще есть пять опций: „**Mesh Size**” (размер сетки), „**Shrink**” („сжать” изображение КЭ), „**Offset**” (сдвиг одномерных и двумерных КЭ), „**Orientation**” (ориентация одномерных и двумерных КЭ), „**Thickness/Cross Sections**” (толщина, поперечное сечение), которые применяют при работе с конечно-элементной сеткой (рассмотрим в соответствующих разделах). Еще есть команда „**Color With**”, вызывающая один из трех переключателей цвета для изображения поверхностей конечных элементов: „**Element Colors**”, „**Property Colors**” или „**Material Colors**”. И еще есть команда „**Clipping Plane**”, вызывающая один из двух переключателей для плоскости отсечения: „**Clipping On**” (включить), „**Clipping Positive Side**” (отсечь с позитивной стороны), а также команду „**Plane...**” для изменения положения плоскости отсечения (будет изображаться только отсеченная часть проекта).

Есть два варианта создания геометрической модели в FEMAP:

- импорт полностью или частично готовой модели и дальнейшее ее редактирование;
- создание модели „с нуля”.

2.1 Импорт и экспорт геометрической модели тела

2.1.1 Импорт геометрической модели тела

Чтобы импортировать объект, необходимо в FEMAP иметь *открытый* проект: или совсем новый (**File**→**New**), или текущий. Импортируемый объект добавляется к тому, что имеется в открытом проекте, причем как дополнительный и в активный уровень (об уровнях см. в п.1.7.1). Иногда изображение на рабочем поле не изменяется. Чтобы увидеть все объекты, можно рекомендовать команду „**Ctrl+G**” (регенерация всей модели), или вызвать панель „**View Select**” (клавишей „**F5**”, или кнопкой ) , выбрать для „**Model Style**” другой вариант модели изображения, например, „**Draw Model**”.

Для импорта геометрической модели вызывается диалог „**Geometry File to Import**” (команда **File**→**Import**→**Geometry...**). Назначается тип формата файлов: **All Geometry** (все варианты) или конкретный тип: **ACIS** (*.SAT, до версии 21 включительно), **Parasolid** (*.X_T (текстовый) или *.X_B (битовый), до версии 23.0 включительно), **IGES** (*.IGS, версии 4.0...5.3), **Stereolithography** (*.STL), **AutoCAD DXF** (*.DXF), **STEP** (*.STP, версии от AP203 до AP214 включительно), **I-DEAS** (*.IDI), **Catia v4.x** (*.MDL, *.EXP, *.DLV, версии от 4.1.9 до 4.2.4 включительно), **Catia v5.3** (*.CATP, версии от R7 до R19 включительно), **Pro/E** (*.PRT, *.ASM, до версии Wildfire 4.0 включительно), **SolidEdge** (*.PAR, *.PSM, *.PWD, *.ASM, до версии Solid Edge with Synchronous Technology 3 включительно), **NX** (*.PRT, до версии 7.5 включительно) или **SolidWorks** (*.SLDPRT, *.SLDASM, до версии SolidWorks 2010 включительно). В файловой системе находится нужный файл, дается команда „**Open**”.

Внимание: версии форматов файлов должны соответствовать возможностям FEMAP 10.2.0, год выпуска которого – 2010. Файлы с геометрическими моделями форматов .X_T, .IGS и .STP можно открывать непосредственно командой **File**→**Open**, при этом автоматически создается новый проект.

На диалоговой панели „**Solid Model Read Option**” (см. рис.2.2-а), появляющейся при импортировании геометрической модели **Parasolid** (*.X_T), нужно обратить внимание на значение коэффициента „**Geometry Scale factor**” (коэффициенту масштаба геометрии). По умолчанию он равен числу **39.37** (приблизительное количество дюймов в метре). Если импортируемый файл создан программой FEMAP, то изменять его не надо. Но если, например, при импортировании файла, созданного программой **SolidWorks**, его не изменить, то миллиметры будут пересчитаны в дюймы. Чтобы этого не происходило, нужно задать величину коэффициента равную 1000. Еще можно изменить название проекта; номер уровня (**Layer**), в который проводить импорт (если такого уровня не было, он будет создан автоматически); цвет изображения и т.п.

Если импорт геометрии проводится в проект, который уже имеет „твердое” тело (**Solid**), то будет доступной опция „**Update Existing Geometry**” (обновить существующую геометрию) и соответствующая кнопка „**Options...**”, вызывающая диалоговую панель „**Geometry Replacement Options**” (см. рис.2.2-б) с опциями, что назначаются для „старой” модели: „**Match Existing Geometry**” (не изменять разметку сетки КЭ), „**Resize Curves with Length Changes**” (изменить разметку сетки КЭ на кривых, если длины линий („старого” и „нового” проектов) будут отличаться (изменены) больше (в ту или другую сторону), чем указанная в поле „**Length Tolerance**” пропорция) или „**Resize All**” (обновить всю начальную сетку). **Внимание:** такое обновление проводится только для *активного* „твердого” тела: одинаковые (по типу и **ID**) объекты заменяются, при этом на них переносятся все назначения (разметка, граничные условия и т.п.), но сетку КЭ еще нужно создавать. Еще одна опция: „**Delete Original Geometry and Mesh**” позволяет удалить всю „старую” геометрическую модель. Эта возможность обновления „твердого” тела предусмотрена для ускорения редактирования геометрии тела с применением другой программы геометрического моделирования с ядром **Parasolid**. Опция „**Update using Parasolid Identifiers**” позволяет обновить модель, пользуясь идентификаторами **Parasolid**, а опция „**Update Material Data**” – свойства материала.

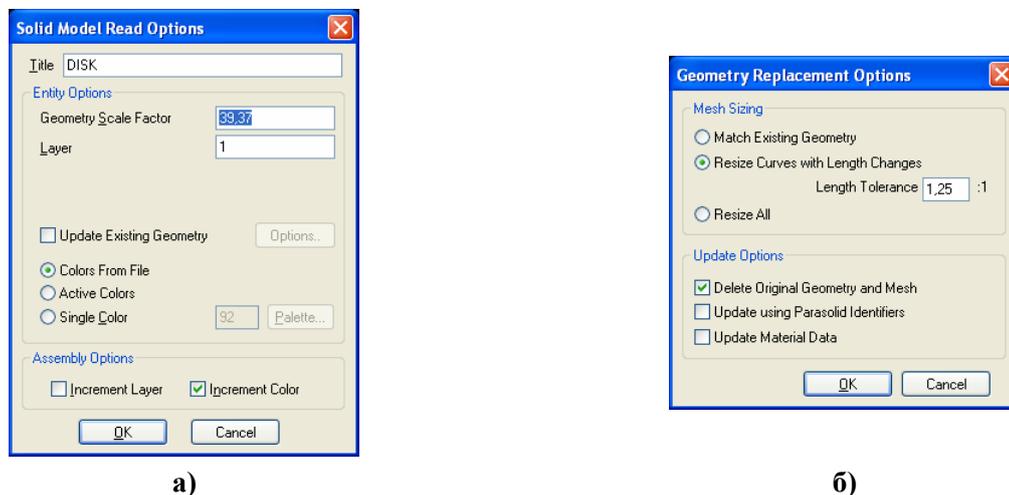


Рис.2.2. Диалоговые панели: а) – импортирования геометрической модели Parasolid; б) – обновления предыдущей модели

При импортировании геометрии из файлов *.IGS „твердые тела” (**Solid**) могут не передаваться, да и с поверхностями могут быть проблемы. Поэтому на диалоговой панели „**IGES Read Option**”, что появляется при импортировании (см. рис.2.3-а), есть три варианта преобразования („обрезания”) поверхностей: „**Default Trim Curves**”, „**2-D Trim Curves**” и „**3-D Trim Curves**”, а также – альтернативные назначения (см. рис.2.3-б), т.е. можно подобрать лучший вариант. В альтернативном случае модель должна „вписаться” в куб размером стороны 500 единиц (иначе импортированная модель будет проблемной). Поэтому нужно заранее подсчитать необходимое значение коэффициента „**Internal Scale factor**” (сколько единиц длины исходной модели помещается в единице FEMAP) и установить его (см. подраздел 1.5). **Внимание:** при этом расстояния между элементами модели, которые замеряются с помощью команды **Tools**→**Distance...**, не изменяются. Можно также установить опцию объединения совпадающих точек (**Merge Coincident Points**) и допуск на объединение (**Geometric Tolerance**). Если и после преобразований „твердые тела” не появились, то между поверхностями могут быть щели, поэтому необходимо задать команду для „сшивания” поверхностей: **Geometry**→**Solids**→**Stitch...** и указать допуск на „сшивание”. Только потом появляется возможность объявить объем: **Geometry**→**Solid**→**Activate**. Импортирование всегда проводится в ядро **Parasolid**, даже если было установлено ядро **Standard**.

При импортировании геометрии из файлов *.STL импортированные поверхности и объемы описываются узлами и треугольными поверхностными (двумерными) конечными

элементами. На диалоговой панели „**Read Stereo Lithography**” (см. рис.2.3-в), что появляется, целесообразно установить опции „**Skip Short Edges**” (отвергнуть короткие кромки по указанному размеру), „**Merge Nodes**” (объединить совпадающие узлы) и „**Close Gaps**” (уничтожить зазоры). При необходимости устанавливается опция „**PATRAN STL File**” (STL-файл программы PATRAN). Потом поверхностная конечно-элементная сетка может быть изменена командой **Mesh→Remesh...**, а объемная – создана командой **Mesh→Geometry→Solid from Elements...** (подробнее см. п.3.5.4).

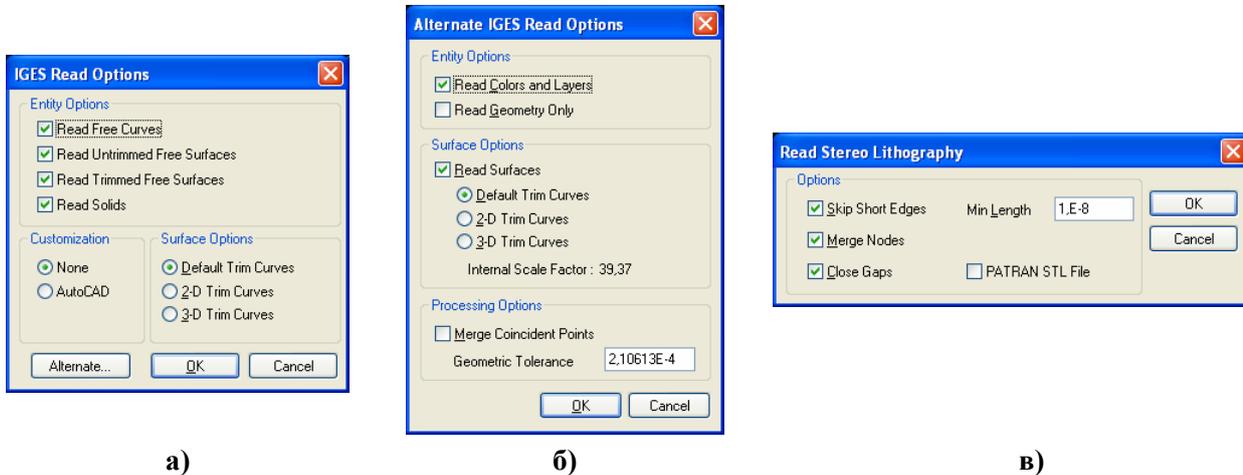


Рис.2.3. Диалоговые панели импортирования геометрической модели: а) – IGES стандартное; б) – IGES альтернативное; в) – Stereo Lithography

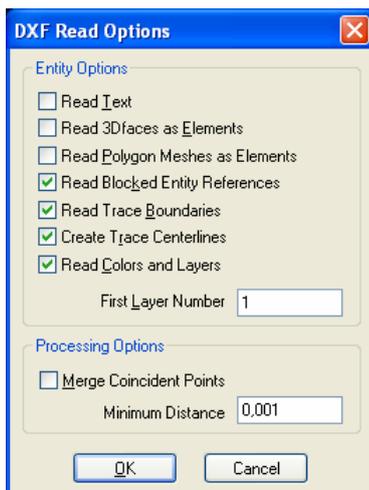


Рис.2.4. Диалоговая панель импортирования геометрической модели *.DXF

При импортировании геометрии из файлов *.DXF (файлы программы AutoCAD) импортированные поверхности и объемы описываются каркасным образом: линиями, поверхностями и/или конечными элементами. На диалоговой панели (см. рис.2.4) можно использовать такие опции: „**Read Text**” (читать текст), „**Read 3Dfaces as Elements**” (читать трехмерные грани как элементы), „**Read Polygon Meshes as Elements**” (читать полигональные ячейки как элементы), „**Read Blocked Entity References**” (читать блоки), „**Read Trace Boundaries**” (читать границы полос), „**Create Trace Centerlines**” (создать оси полос) и „**Read Colors and Layers**” (читать цвета и уровни), причем в поле „**First Layer Number**” можно изменять номер начального уровня.

Опция „**Merge Coincident Points**” указывает на необходимость объединения точек, что совпадают с заданной точностью (значение в поле „**Maximum Distance**”). **Внимание:** FE-MAP 10.2.0 не считывает формат *.DXF в полном объеме.

При импортировании геометрии из файлов *.SAT появляется диалоговая панель „**Solid Model Read Options**” (см. рис.2.5-а), а также можно вызвать диалоговую панель „**Geometry Conversion Options**” (см. рис.2.5-б). Первая из них является вариантом панели, изображенной на рис.2.2-а, поэтому не нуждается в дополнительных объяснениях. На второй есть опции: „**Conversion Scale Factor**” (масштабный фактор при конверсии), „**Cleanup Input Model**” (очистить введенную модель), „**Heal Converted Model**” (вылечить конвертируемую модель), „**Check Converted Model**” (проверить конвертируемую модель), „**Full Checking**” (полная проверка), „**Delete Invalid Geometry**” (удалить неисправную геометрию), „**Output Faces if no Solid**” (показать поверхности при отсутствии „твердого” тела).

При импортировании геометрии из файлов *.MDL (от CATIA v4.x) появляется диалоговая панель „**CATIA Read Options**” (см. рис.2.5-в). На ней есть опции: „**Read Analytical Surface Definition**” (читать поверхности, заданные сплайнами), „**Use CATIA Topology**” (фактически – не сшивать „твердые” тела, если они есть в модели), „**Use 2D Trim Curves**” и „**Use**

3D Trim Curves” (использовать 2D или 3D параметрические кривые), „Stitch into Solid” (сшить „твердые” тела из полученных поверхностей), „Heal Geometry” (вылечить геометрию).

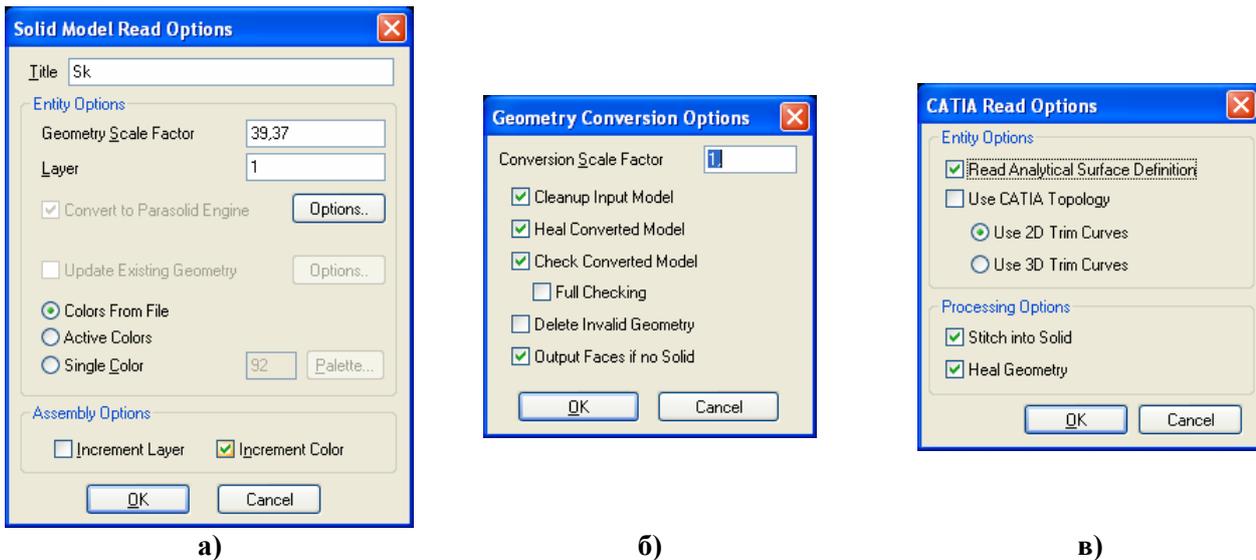


Рис.2.5. Диалоговые панели: а) – импортирования геометрической модели *.SAT; б) – дополнительные опции; в) – импортирования геометрической модели *.MDL (от CATIA v4.x)

При импортировании геометрии из файлов *.CATP (от CATIA v5) появляется диалоговая панель „CATIA V5 Read” (см. рис.2.6). На ней есть опции: „Simplify Geometry” (упростить геометрию (поверхностей и ребер)), „Read No Show” (не показывать сообщения при чтении (их может быть очень много)), „Read Inactive Layers” (читать неактивные слои), а также опции с названиями геометрических примитивов. В секции „Assembly Search Path” (читать файлы сборки модели из указанных папок) можно сформировать список этих папок с помощью клавиш „Add...” и „Remove”.



Рис.2.6. Диалоговая панель импортирования геометрической модели *.CATP (от CATIA v5)

При импортировании геометрии из файлов *.STEP появляется диалоговая панель „STEP Read Options” (см. рис.2.7-а), а также можно вызвать диалоговую панель „Advanced STEP Read Options” (см. рис.2.7-б). Первая из них

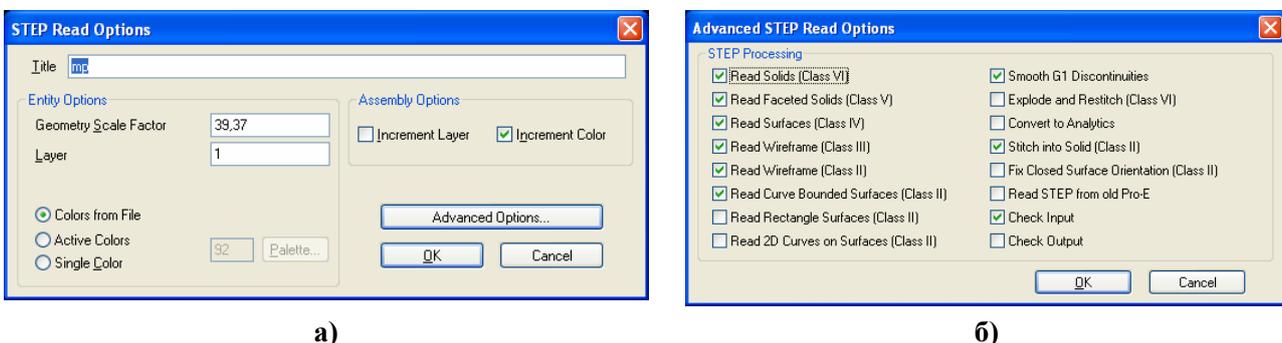


Рис.2.7. Диалоговые панели импортирования геометрической модели формата STEP: а) – стандартная; б) – расширенная

фактически является вариантом панели, изображенной на рис.2.2-а, поэтому не нуждается в дополнительных объяснениях. На второй есть опции: „Read ...”, с помощью которых можно указать, какие классы геометрических объектов модели не читать (если отключена опция „Read 2D Curves on Surfaces”, то вместо 2D будут использоваться 3D описание считанных 2D объектов), „Smooth G1 Discontinuities” (при наличии незначительных разрывов – сшить),

„**Explode and Restitch (Class VI)**” (попробовать считать „твердое” тело как поверхности, а потом сшить „твердое” тело), „**Convert to Analytics**” (конвертировать к аналитике), „**Stitch into Solid (Class II)**” (попробовать сшить в „твердое” тело поверхности класса II), „**Fix Closed Surface Orientation (Class II)**” (фиксировать ориентацию закрытых поверхностей – для поверхностей на основе сферы и тора), „**Read STEP from old Pro/E**” (читать STEP от старых версий Pro/E, чтобы решить проблему с разными единицами измерения углов), „**Check Input**” (проверить файл еще до импортирования модели), „**Check Output**” (проверить всю модель после импортирования).

2.1.2 Экспорт геометрической модели тела

При экспорте геометрической модели командой **File**→**Export**→**Geometry...** вызывается диалоговая панель „**Translate**” (см. рис.2.8-а), где выбирается один из форматов: Parasolid XMT, ACIS SAT, Stereolithography, VRML, STEP или IGES. **Внимание:** в формате STEP экспортируются только „твердые” тела; в формате Stereolithography – только двумерные и трехмерные КЭ.

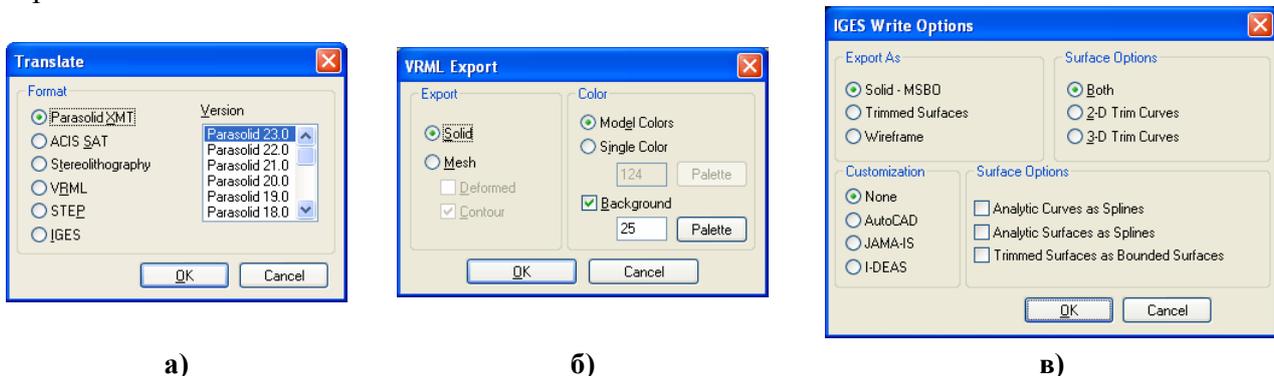


Рис.2.8. Диалоговые панели экспортирования геометрической модели в файлы: а) – основная панель (выбран формат Parasolid XMT); б) – дополнительная для формата ACIS SAT; в) – дополнительная для формата IGES

В случае экспорта в формате **VRML** еще появится диалоговая панель „**VRML Export**” (см. рис.2.8-б), где можно указать, что сохранять: „твердое” тело (**Solid**) или сетку объемных конечных элементов (**Mesh**). Для сетки КЭ еще можно вывести информацию о деформированной модели (**Deformed**) и контурные назначения (**Contour**). В секции „**Color**” можно сделать такие назначения: „**Color Model**” (цвета модели) „**Color Single**” (единый цвет) и „**Color Background**” (цвет фона). Последние два цвета можно ввести с клавиатуры или с помощью панели „**Color Palette**” (см. рис.1.5-б), что вызывается кнопкой „**Palette**”.

В случае экспорта в формате IGES на панели „**Translate**” появляется кнопка „**Options...**”, которая вызывает другую панель – „**IGES Write Options**” (см. рис.2.8-в). В секции „**Export As**” устанавливается способ экспортирования геометрии: как „твердое” тело (**Solids – MSBO**), поверхностями типа 144 (**Trimmed Surfaces**) или каркасом (**Wireframe**). В секции „**Surface Options**” можно указать, на основе каких кривых должны описываться поверхности: плоских (**2-D Trim Curves**), неплоских (**3-D Trim Curves**) или на обоих видах (**Both**); можно установить опции „**Analytic Curves as Splines**” и/или „**Analytic Surfaces as Splines**” (описывать кривые/поверхности сплайнами), „**Trimmed Surfaces as Bounded Surfaces**” (представить поверхности типа 144 (**Trimmed Surfaces**) как поверхности типа 143 (**Bounded Surfaces**)). В секции „**Customization**” можно выбрать один из вариантов CAD-систем, чтобы FEMAP мог учесть специфику этих систем.

Для просмотра результатов экспорта можно применить команду импорта геометрии FEMAP, а также соответствующие программы, например, Catia, SolidView, SolidWorks, AutoCAD, Unigraphigs и т.п.

Основной проблемой импорта/экспорта геометрии может оказаться принудительное масштабирование, когда коэффициент пересчета из одной метрической системы в другую изменить негде. Проблема решается применением других программ и сменой форматов.

2.2 Создание геометрической модели тела

Начинается новый проект командой **File**→**New**. Появляется изображение рабочей плоскости и глобальных осей на ней.

2.2.1 Системы координат, ориентация и размеры изображения, рабочая плоскость

Для установления *глобальной системы координат* необходимо командой **Tools**→**Parameters...** вызвать диалоговую панель „**Model Parameters**” и выбрать в списке „**Coord Sys**” нужный вариант системы: декартовую, цилиндрическую или сферическую (см. рис.2.9), причем надо иметь в виду, что в последних двух системах углы задаются в градусах. Еще один вариант: выбрать курсором „мыши” соответствующее название координатной системы в объекте „**Coordinate Systems**” информационно-навигационной панели „**Model Info**”, щелкнуть правой кнопкой „мыши” и на динамической диалоговой панели, что появится (см. рис.2.9-г), дать команду **Activate**.

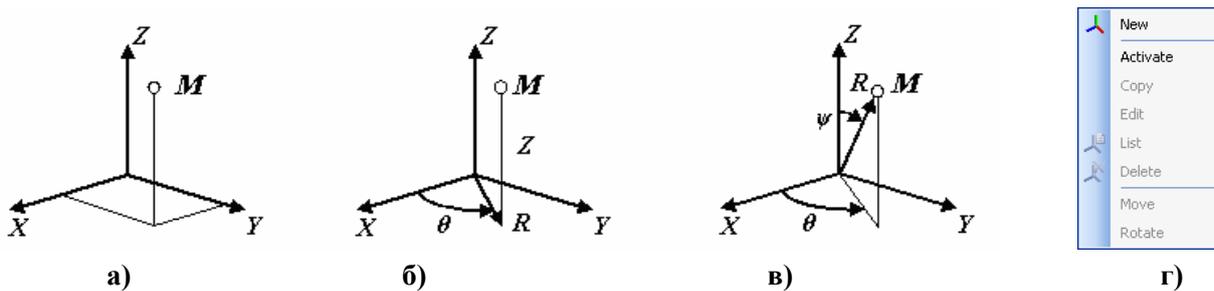


Рис.2.9. Декартовая (а), цилиндрическая (б), сферическая (в) системы координат; динамическая командная панель управления системами координат (г)

Примечание 2.1. Иногда нужна система координат, имеющая другую ориентацию осей, чем глобальная. Инструменты FEMAP для этого описаны в пп.6.1.2.1.

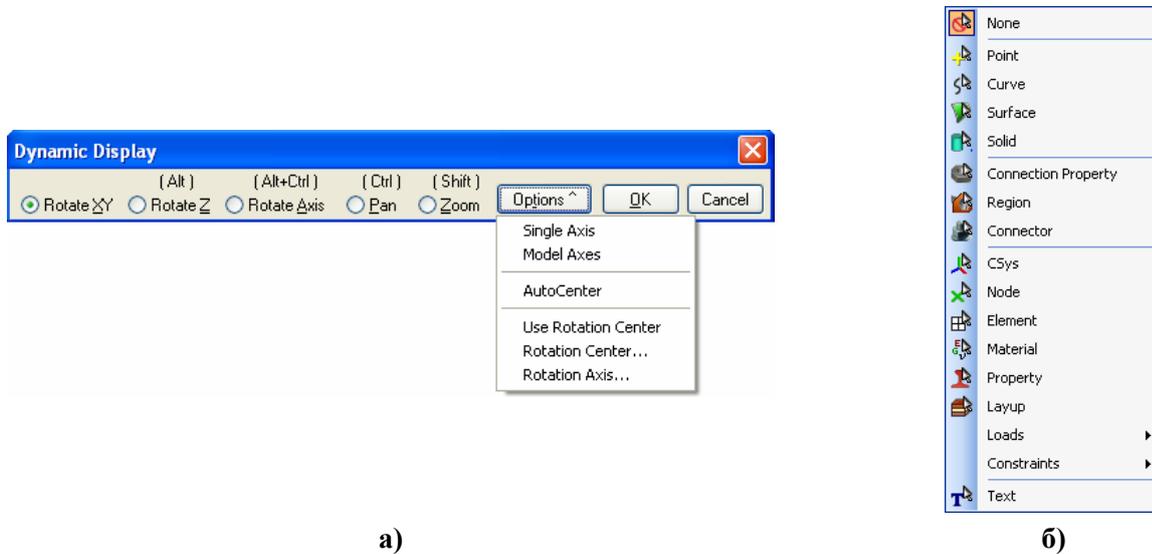


Рис.2.10. Диалоговая панель динамического управления геометрической моделью с нажатой кнопкой „Options” (а); динамическая панель меню типов объектов (б)

В процессе построения геометрии довольно часто необходимо сдвигать, вращать или масштабировать изображение на экране. Все эти действия можно выполнять после инициации электронной кнопки  (в мнемоническом меню „**View**”, слева). На диалоговой панели „**Dynamic Display**”, что появится (см. рис.2.10-а), есть радиокнопки для переключения режимов: „**Rotate**” (вращение), „**Pan**” (перемещение) и „**Zoom**” (масштабирование); а также подсказки, как быстро выбирать разные режимы без радиокнопок: нажать клавишу „**Alt**” – вращение вокруг оси **Z** экрана; клавишу „**Ctrl**” – перемещение; клавишу „**Shift**” – масштабирование (дополнительно нужно нажать на левую кнопку „мыши” и двигать курсором по экрану). Есть еще опции (кнопка „**Options**”): „**Single Axis**” – единичная ось; „**Model Axes**” – оси модели; „**AutoCenter**” – автоматически поместить в центр; „**Use Rotation Center**” – ис-

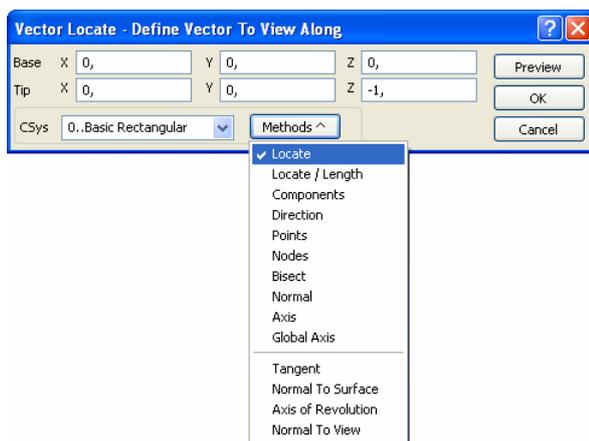
пользовать центр вращения; „**Rotation Center...**” – указать центр вращения; „**Rotation Axis...**” – указать ось вращения.

Напомним, что отображение любых объектов, в частности геометрических, можно изменить с применением диалоговой панели „**View Options**” (вызывается командой **View→Options...** или клавишей „**F6**”) – см. подраздел 1.5 и рис.1.10. Также напомним, что с помощью мнемонического меню „**Select**” (см. табл.1.4) можно вызвать динамическую панель меню (см. рис.2.10-б), на которой – выбрать тип объекта (точки, линии, поверхности, объемы, ...), чтобы потом просматривать данные о выбранном на рабочем поле объекте этого типа.

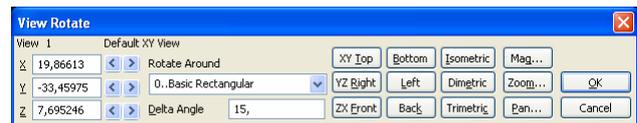
Для поворота глобальных осей и всего изображения на рабочем поле есть и другие возможности:

- группа электронных кнопок  мнемонического меню „**View**” (см. рис.1.1 и табл.1.2). Левая кнопка этой группы изменяет направление поворота на противоположное;

- команда **View→Align By→Along Vector...** На диалоговой панели, что появится (см. рис.2.11-а), нужно выбрать координатную систему и метод, которым будет задаваться направление вектора, вдоль которого будет рассматриваться модель (на рис.2.11-а – **Locate**), потом ввести необходимые значения в поля, соответствующие методу. После назначений вектор можно увидеть на экране (кнопка „**Preview**”). Например, в методе „**Locate**” в строке „**Tip**” вводятся значения направляющих косинусов этого вектора, или пропорциональных им величин. Кнопка  позволяет вызвать соответствующий раздел из „**Help**” (с помощью Internet-браузера);



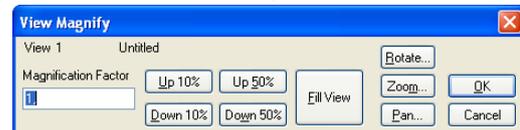
а)



б)



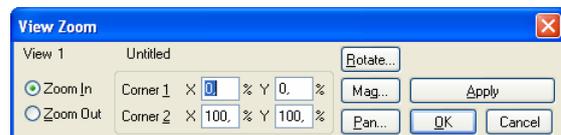
в)



г)



е)



д)

Рис.2.11. Диалоговые панели для: а) – задания направления вектора; б) – поворота; в) – смещения; г) – изменения масштаба; д) – „вырезания” зоны изображения; е) – настраивания рабочей плоскости

- команда **View→Rotate→Model...** (клавиши „**F8**”). На диалоговой панели „**View Rotate**” (см. рис.2.11-б) можно или числами (слева) или фиксировано (9-ю кнопками) установить положение осей и изображение. Из этой панели кнопкой „**Pan...**” вызывается диалоговая панель „**View Pan**” (см. рис.2.11-в) для изменения положения изображения на рабочем столе; кнопкой „**Mag...**” – панель „**View Magnify**” (см. рис.2.11-г) для изменения масштаба изображения (в частности, кнопкой „**Fill View**” – полное изображение); кнопкой „**Zoom...**” – панель „**View Zoom**” (см. рис.2.11-д) для назначения прямоугольной области на экране, изображение из которой будет увеличено (**Zoom In**) или уменьшено (**Zoom Out**) пропорционально

соотношению размеров прямоугольной области и рабочего поля (аналог кнопки  из мнемонического меню „View“).

Довольно часто возникает необходимость в изменении положения *рабочей плоскости*. Напомним (см. Введение), что рабочая плоскость (**Workplane**) – вспомогательная плоскость с „самостоятельными” координатами **X** и **Y**. Ее назначение – облегчение построения геометрических объектов. Координаты введенных на рабочей плоскости геометрических объектов автоматически пересчитываются в текущую глобальную систему координат (**CSys**).

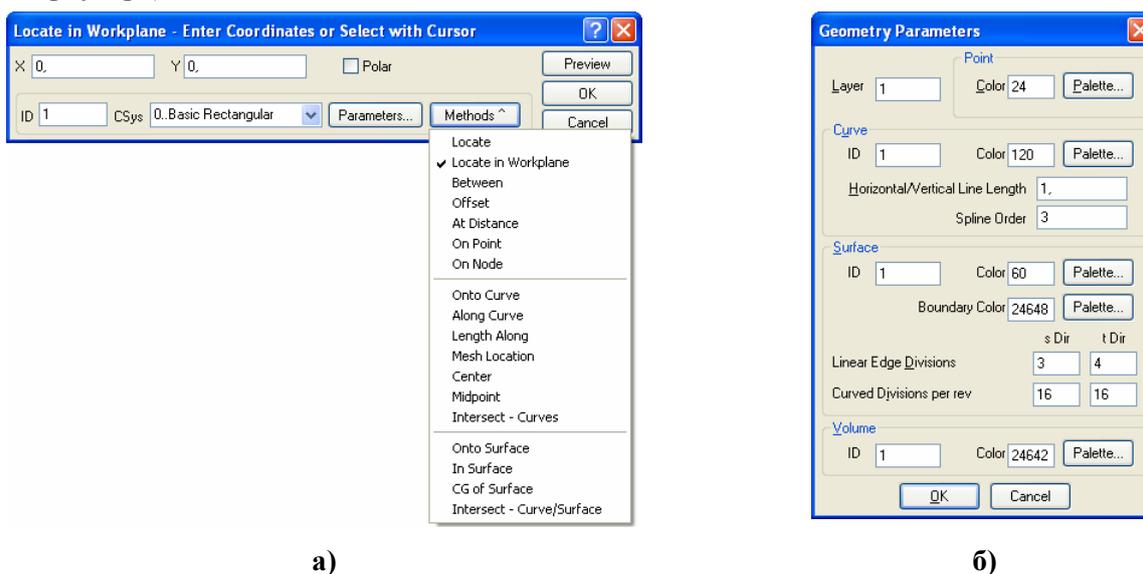
Для настраивания рабочей плоскости и изменения ее расположения вызывается диалоговая панель „**Workplane Management**” (клавишей „F2” или командой **Tools**→**Workplane...** или командой **Workplane...** после нажатия на правую кнопку „мыши”) и иницируется одна из кнопок (см. рис.2.11-е): „**Select Plane...**”, „**Global Plane**” или „**On Surface...**” (назначить положение рабочей плоскости выбранным способом); „**Offset Distance...**”, „**Move to Point...**” и „**Rotate...**” (ее смещение или вращение); „**Offset Origin...**” и „**Move Origin...**” (смещение начала координат на рабочей плоскости), „**Align X Axis...**” и „**Align Y Axis...**” (ориентирование координаты **X** (или **Y**) рабочей плоскости вдоль вектора, который будет указан). Если отменить опцию „**Draw Workplane**”, то рабочая плоскость на экране не будет отображаться. После иницирования кнопки „**Snap Options...**” можно изменить оформление рабочей плоскости: шаг, количество линий и стиль разметки сетки также.

Для построения геометрических объектов можно пользоваться командами соответствующих мнемонических меню (см. табл.1.5).

Внимание: если после удаления любого объекта он и в дальнейшем отображается на рабочем поле, необходимо очистить файл сохранения проекта (с расширением имени **.modfem**) командой **File**→**Rebuild...** (см. подраздел 1.4).

2.2.2 Введение точек

Точки обычно вводят как опорные (элемент-основа) при создании линий и поверхностей. Точки можно вводить или отдельным процессом (**Geometry**→**Point...**), или в процессе построения линии или поверхности. Например, если нужно задать ломаную кривую из нескольких отрезков линий, целесообразно сначала задать точки, потом проводить линии через уже существующие точки. Можно выбрать такие методы (кнопка „**Methods**”) введение точки (см. рис.2.12-а; кнопка  позволяет вызвать соответствующий раздел из „**Help**”, с помощью Internet-браузера):



а)

б)

Рис.2.12. Диалоговые панели: а) - для введения точек координатами, при выбранном методе „Locate in Workplane”; б) - параметров геометрических объектов

- тремя координатами в глобальной системе координат (**Locate**);
- двумя координатами рабочей плоскости (**Locate in Workplane**). Если установить опцию „**Polar**”, координаты точки будут задаваться в полярной системе координат;

- посередине между двумя выбранными точками (**Between**);
- величинами смещения от базовой точки (**Offset**);
- на указанной дистанции вдоль вектора (**At Distance**);
- на основе уже существующей точки (**On Point**) или узла (**On Node**);
- на кривой (**Onto Curve**) или на поверхности (**Onto Surface**);
- на указанной дистанции (проценты от длины) от начала кривой (**Along Curve**);
- от конца указанной кривой в направлении начала этой кривой на указанное расстояние (**Length Along**);
 - на сетке (**Mesh Location**): точка получает координаты существующей точки, ближайшей к положению курсора в момент нажатия на левую кнопку „мышь“;
 - посередине кривой (**Center**) или прямой (**Midpoint**);
 - как точка пересечения кривых (**Intersect – Curves**);
 - в четырехугольной поверхности (**In Surface**): координаты точки задаются параметрически, т.е. частями единицы (**Param Loc**) вдоль координат **U** и **V** (их начало – в углу);
 - в геометрическом центре геометрической (не конструкционной, см. п.2.2.4) поверхности (**CG of Surface**);
 - как точка пересечения линии с поверхностью (**Intersect – Curves/Surface**).

Кнопкой „**Parameters...**” вызывается панель „**Geometry Parameters**” (см. рис.2.12-б) общего назначения. На ней можно изменить параметры точки, в частности уровень (**Layer**) и цвет изображения.

Заключительные действия: или, установив курсор в соответствующее окно редактирования, с помощью курсора „мышь” найти соответствующий объект (он изменит вид – активизируется) и нажать на левую кнопку „мышь”, или с помощью клавиатуры ввести (отредактировать) необходимые значения координат или **ID** объектов.

Точки еще можно создавать операциями модификации (одинаковое для всех команд начало команды **Modify**→ опускаем) как результат:

- проектирования существующей точки (точек, узла, узлов) на указанную линию или поверхность (**Project**→**Point onto Curve...** или **Project**→**Point onto Surface...**). **Внимание:** исходный объект (точка, узел, узлы) удаляется автоматически как уже ненужный. Команды **Project**→**Point along Vector...**, **Project**→**Point onto Vector...** или **Project**→**Point onto Plane...** позволяют использовать дополнительную информацию: вспомогательные вектор (**along** – вдоль вектора; **onto** – перпендикулярно вектору) или плоскость (**onto Plane**);
- перемещение в точку (**Move To...**), причем на последнем этапе на появившейся панели „**Move To**” опциями „**Update Coordinate**” указывается, какие координаты изменять; или в указанном вектором направлении (**Move By...**);
- поворота точки вокруг указанной оси, когда двумя точками указывается угол поворота (**Rotate To...**);
- поворота точки вокруг указанной оси и одновременного ее смещения вдоль этой оси (**Rotate By...**);
- объединения операций поворота и перемещения точки (**Align...**);
- масштабирование координат точки (**Scale...**) по формулам типа $\bar{x} = x_0 + (x - x_0) * m_x$,

где x_0 – координата базовой точки, m_x – масштабный коэффициент;

Координаты любой точки можно просто редактировать (**Modify**→**Edit**→**Point...**). Еще точки можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), делать с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

Когда точки уже не нужны, их можно удалить (**Delete**→**Geometry**→**Point...**).

2.2.3 Построение линий

Линии могут быть прямыми или кривыми. Кривые линии: окружность и ее отрезки – дуги, а также построенные сплайнами линии.

Подробные данные, в частности изображения для каждого варианта построения линий, можно получить в „Help” SPLMS.Fv10.2.0: команда **Help**→**Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Fe-map**→**Contents**, раздел **Commands**→**3.Geometry**→**3.2. Creating Curves**.

2.2.3.1 Построение прямых линий

Напоминаем, что все команды, не имеющие на графической пиктограмме изображения трех координат, выполняются в (для) рабочей плоскости (**Workplane**).

Прямые линии можно проводить (одинаковое для всех команд начало команды **Geometry**→**Curve-Line**→ опускаем):

- через две точки, что создаются: **Project Points...** (результат проектируется на рабочую плоскость) или **Coordinates...**; или через две точки, что уже существуют (**Points...**). Последние две команды – в глобальной системе координат;
- через точку, горизонтальную (**Horizontal...**) или вертикальную (**Vertical...**) прямую, причем в обе стороны от указанной точки и с общей длиной, что вдвое превышает установленное значение на диалоговой панели „**Geometry Parameters**” (вызывается кнопкой „**Parameters**”). Вертикальная прямая параллельна *глобальной* оси **Y**, а горизонтальная – оси **X**;
- через точку, перпендикулярно к существующей прямой линии (**Perpendicular...**);
- параллельно существующей прямой на указанном расстоянии от нее (**Parallel...**);
- параллельно двум существующим параллельным прямым посередине между ними (**Midline...**); длина линии будет равна среднеарифметическому длин опорных линий;
- через точку под углом к оси **X** (**At Angle...**);
- через точку под углом к указанной прямой линии (**Angle to Curve...**);
- через точку и касательной к окружности или части ее дуги (**Point and Tangent...**);
- касательной к двум окружностям или к частям двух окружностей (**Tangent...**);
- как контур прямоугольника (**Rectangle...**): задаются два противоположных угла;
- как замкнутая ломаная линия, т.е. многоугольник (**Continuous...**);
- со смещением от выбранной существующей прямой (**Offset...**);
- через точку параллельно указанному вектору (**Vectored...**);

Соответствующие этим командам инструменты можно еще вызвать с помощью mnemonic меню (см. табл.1.5).

Почти в каждом из вариантов можно выбирать метод (электронная кнопка „**Methods**”), которым указываются координаты объектов. Эти методы – такие же, что и при создании точек. Также с помощью кнопки „**Parameters...**” можно вызвать диалоговую панель „**Geometry Parameters**” (см. рис.2.12-б) и изменить параметры линии. Например, цвет линии.

Кроме создания, с линиями можно проводить операции модификации (если линии являются основой поверхностей, то не все такие операции будут выполняться):

- удаление (отсечение) части линии от точки ее пересечения с другой линией или линиями (**Modify**→**Trim...**): выбираются две или больше пересекающихся линий, потом курсором выбирается та часть линии, которую нужно удалить (указывается точка в окрестности удаляемой части), и дается команда на удаление (**OK**). Если „флажок” на опции „**Extended Trim**” снять, то удаление проводится только для линии, где указывалась точка;
- удлинение линии до точки, которая создается проекцией указанной точки на направление линии (**Modify**→**Extend...**);
- разрезание линии на части точкой, которая создается проекцией другой точки на направление линии (**Modify**→**Break...**);
- создание общей точки пересечения двух линий (**Modify**→**Join...**) с возможностью удаления их „лишних” частей, что лежат за пределами угла, созданного этими линиями, содержащего некоторую указанную точку (на панели необходимо инициировать опции „**Update 1**” и/или „**Update 2**”);
- создание округления двух линий дугой заданного радиуса с центром, близким к указанной точке (**Modify**→**Filet...**), с возможностью удаления их „лишних” частей (на панели необходимо инициировать опции „**Trim Curve 1**” и/или „**Trim Curve 2**”);

- создание „фаски” указанных размеров между двумя линиями (**Chamfer Length**) на каждой линии близко к указанной точке (**Modify→Chamfer ...**) с возможностью удаления их „лишних” частей (на панели необходимо инициировать опцию „**Trim 1**” и/или „**Trim 2**”);
- изменение положения линии с помощью редактирования координат ее опорных точек (**Modify→Edit→Point...**).

Указанные операции модификации еще можно начать с помощью кнопок мнемонического меню „**Curve Edit**” (см. табл.1.5).

Еще линии можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), проводить с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

Когда линии уже не нужны, их можно удалить (**Delete→Geometry→Curve...**).

2.2.3.2 Построение окружностей и их частей (дуг)

Кривые линии в виде окружности или ее части (дуги) можно создавать, опираясь на несколько вариантов данных. В FEMAP инициация соответствующих процессов возможна через команды меню, электронные кнопки и команды мнемонических меню (см. табл.1.5).

Для создания *дуги* (одинаковое для всех команд начало команды **Geometry→Curve-Arc→** опускаем) указываются:

- центр и две точки, определяющие начало и конец дуги (**Center-Start-End...**), причем последняя точка фактически определяет *направление* радиуса до конца дуги (его размер определяется расстоянием между центром и первой точкой);
- две точки, определяющие начало и конец дуги, и ее радиус (**Radius-Start-End...**);
- две точки, определяющие начало и конец дуги, и угол между радиусами к этим точкам (**Angle-Start-End...**);
- две точки, определяющие центр и начало дуги, и угол (**Angle-Center-Start...**);
- две точки, определяющие центр и начало дуги, и длину хорды, которая „стягивает” дугу (**Chord-Center-Start...**);
- три точки на дуге (**Points...**);
- центр и три точки на дуге (**Center and Points...**), причем две первые задают начало и конец дуги, а третья точка задается приближенно и указывает направление проведения дуги: самым коротким путем или вокруг центра;
- две точки, определяющие начало и конец дуги, и касательную к дуге; касательная задается вектором из конечной точки (**Start – End-Direction...**).

Первые 5 вариантов создают дуги только в рабочей плоскости (**Workplane**).

В каждом из вариантов можно выбирать метод (электронная кнопка „**Methods**”), которым указывается объект.

На линии дуги FEMAP дополнительно создает от одной до трех опорных точек (в зависимости от размера угла дуги), а также точку – центр дуги, если она не существовала.

Для создания *окружности* (одинаковое для всех команд начало команды **Geometry→Curve-Circle→** опускаем) указываются:

- центр и точка на окружности (**Radius...**);
- две точки на окружности, которые фактически задают ее диаметр (**Diameter...**);
- центр и радиус окружности (**Center...**);
- две точки на окружности и ее радиус (**Two Points...**);
- три точки (**Points on Arc...**);
- центр и две точки на дуге окружности (**Center and Points...**), причем последняя фактически определяет *плоскость*, в которой создается окружность (размер радиуса определяется расстоянием между центром и первой точкой).

Кроме того, окружность создается:

- на основе центра окружности, касательной к указанной линии (**Point-Tangent...**); линия может быть прямой или кривой;
- касательной до двух указанных линий (**Tangent to Curves...**), с указанным радиусом и ориентировочными координатами центра; линии могут быть прямыми или кривыми;

- концентрической к существующей окружности, с указанным радиусом (**Concentric...**).

Кроме 2-х вариантов команд: **Points on Arc...** и **Center and Points...**, все варианты создают окружности только в рабочей плоскости (**Workplane**).

На линии окружности FEMAP создает четыре опорные точки: одну – базовую, три – вспомогательные через угол 90 градусов (для возможного использования), а также точку – центр окружности, если она не существовала.

Еще дуги и окружности можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), проводить с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

2.2.3.3 Построение линий сплайнами

Сплайн (от англ. **Spline** – чертежное устройство для проведения гладких кривых через заданные точки, основной элемент которого – тонкая металлическая линейка, расположенная ребром к бумаге) или сплайн-функция – кривая без изломов, аппроксимирующая функцию, заданную таблицей, и описываемая отрезками многочленов одинаковой степени, которые в местах сопряжения имеют непрерывные первые, вторые (наиболее распространенные в применении кубические сплайны) или высшие производные. В зависимости от того, какие многочлены применяются, различают такие сплайны: **кривые Безье** (Bezier), **В-сплайны** (рациональные равномерные), **NURBS** (Non-Uniforms Rational B-Splines – неравномерные рациональные В-сплайны) и прочие.

Аппроксимации эллипса, параболы, введенной формулой кривой, линии, касательной к другой линии или к поверхности, соединение двух кривых в FEMAP проводятся кубическими кривыми Безье. Если точек больше 4-х, то применяются кубические В-сплайны. Кроме того, к проекту FEMAP кривые NURBS могут быть импортированы из IGES файла.

Для построения сплайновой кривой необходимо не менее 4-х точек. FEMAP имеет и верхнее ограничение – 110 точек. При построении сплайнов могут создаваться дополнительные контрольные точки (это делается для эллипса, параболы, гиперболы и т.п.).

В FEMAP сплайновые кривые начинаются и заканчиваются в заданных точках, но через заданные промежуточные точки могут *не проходить* (те будут использоваться как контрольные – см. рис.2.13-а) или *проходить* (при этом FEMAP использует эти точки для того, чтобы создать дополнительные контрольные точки, см. рис.2.13-б). Расстояние между контрольными точками влияет на искривление сплайновой кривой: при увеличении расстояния искривление уменьшается.

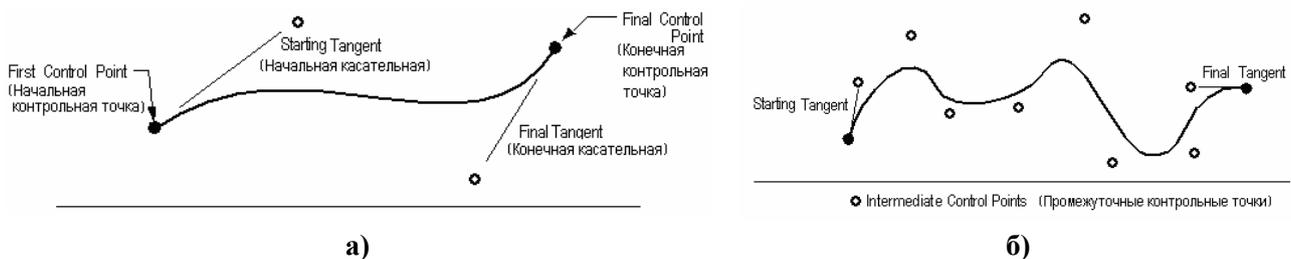


Рис.2.13. Сплайновые кривые: а) – через контрольные точки; б) – через точки

Подменю команды **Geometry→Curve-Spline** разделено на три секции: сплайны в **Workplane**, сплайны от аналитики (также в **Workplane**), и сплайны в трехмерном пространстве. Можно пользоваться мнемоническим меню „**Splines**” (см. табл.1.5).

Сплайновые кривые создаются (одинаковое для всех команд начало команд **Geometry→Curve-Spline→** опускаем):

- через контрольные точки: с последующим проектированием в **Workplane (Project Control Points...)**; в трехмерном пространстве (**Control Points...**). Кривая не проходит через заданные промежуточные точки; а пары точек, расположенные на концах кривой, определяют *касательные* к кривой в конечных точках;

- через точки: с последующим проектированием в **Workplane (Project Points...)**; в трехмерном пространстве (**Points...**). Кривая проходит через все заданные точки;

- в виде эллипса (**Ellipse...**): задаются координаты центра эллипса, потом – ориентацию большей оси эллипса, потом – размер большего (**Vector Radius**) и меньшего (**Other Radius**) его радиуса;
- в виде (точной) параболы (**Parabola...**): задаются координаты вершины (**Vertex**) кривой, потом – фокуса, потом – „специфической” точки близ конца кривой (см. рис.2.14-а);
- в виде (приближенной) гиперболы (**Hyperbola...**): задаются координаты вершины (**Vertex**) кривой, потом – направление вектора от вершины к фокусу (**Vector toward Focus**), потом – высоту вершины (**Vertex Height**) и угол асимптотической линии (**Asymptote Angle**), потом – „специфической” точки близ конца кривой (см. рис.2.14-б);
- заданием коэффициентов (кубические полиномы) для кривой, заданной через параметры (**Equation...**);
- касательной (концами) к двум векторам, начало и направление которых последовательно задается (**Tangents...**);
- такой, что соединяет концы двух линий (**Blend...**): выбираются две линии, причем одновременно указываются точки где-то возле этих концов;
- промежуточной (по положению) между двумя выбранными линиями (**Midspline...**);
- на указанном расстоянии от существующей *сплайновой* линии (**Offset...**), причем дополнительно задается точка, указывающая, с какой стороны от существующей сплайновой линии создавать новую. **Внимание:** если по ошибке расстояние указать таким, что не может реализоваться (слишком большим), то можно получить непредвиденное (т.е. ошибочное) очертание или положение новой кривой;
- как такие, что „округляют” углы замкнутого контура (**Multiple Curves...**).

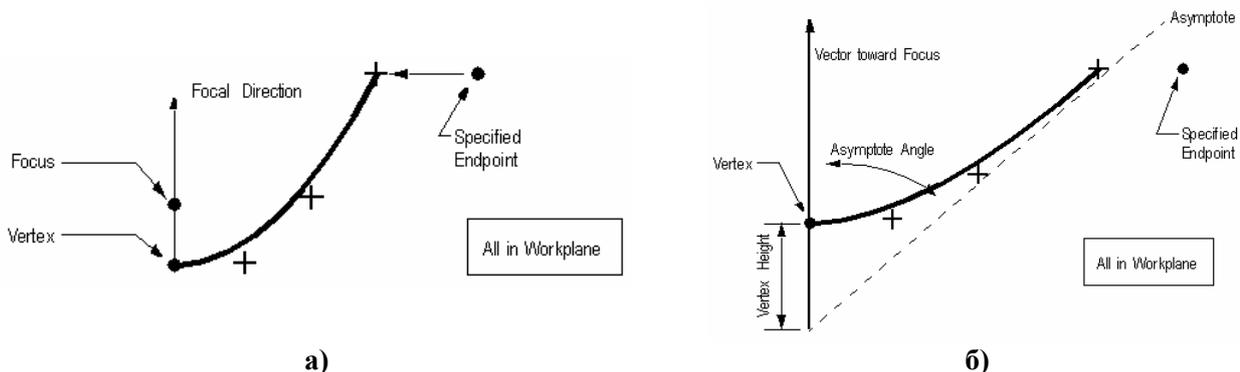


Рис.2.14. Сплайновые кривые в виде: а) – параболы; б) – гиперболы

При создании сплайновых линий кнопкой „**Parameters...**” можно вызвать панель „**Geometry Parameters**” (см. рис.2.12-б) и изменить на ней уровень (**Layer**), цвет изображения и порядок сплайна „**Spline Order**”.

Сплайновые линии можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7); можно проводить с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

Сплайновые линии часто применяют для построения сложных поверхностей, например, крыла и фюзеляжа самолета, лопаток турбомашин, винтов, обводов автомобилей и др.

2.2.3.4 Построение линий на поверхности

Еще линии можно создавать как (одинаковое для всех команд начало команд **Geometry**→**Curve - From Surface**→ опускаем; см. мнемоническое меню „**Curves On Surfaces**” в табл.1.5):

- результат пересечения двух поверхностей (**Intersect...**): указываются две пересекающиеся поверхности;
- проекцию линии на поверхность (**Project...**): указывается поверхность, потом линия;
- проекцию на поверхность линии вдоль вектора (**Project Along Vector...**). **Внимание:** после выполнения этой и предыдущей (**Project...**) команды исходную линию нельзя редактировать;

- параметрическую линию на поверхности (**Parametric Curve...**). Указывается поверхность, потом выбирается метод, которым линия „привязывается” к поверхности, например: а) через существующую точку (**On Point**); б) на поверхности (**In Surface**) с одновременным редактированием параметра „**Param Loc**” (U или V); в) другой метод; потом задается, какой параметр (U или V) применяется;
- результат разрезания (**Slice...**): указывается поверхность или объем, потом – плоскость, что разрезает (**Specify Cutting Plane**);
- результат разрезания поверхности (**Split at Locations...**): выбирается поверхность и две точки на поверхности, меж которыми проводится линия рассечения поверхности;
- линии рассечения поверхностей линиями-окантовками ребер (**Offset Curve/Washer...**): от ребер одного круглого отверстия вокруг отверстия и в его глубине (вариант „**Washer**”, рис.2.15-а) или от ребер нескольких отверстий любых форм или поверхностей любых форм без отверстий (вариант „**Offset Curve**”, рис.2.15-б), причем построенная кривая будет иметь такое же или большее количество точек разрыва, что и опорное ребро;

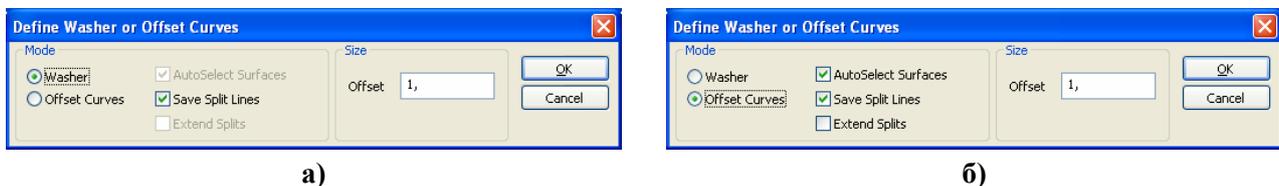


Рис.2.15. Диалоговые панели создания линий-окантовок вокруг отверстий

- окантовка кругового ребра на поверхности (**Pad...**), в соответствии с мнемоникой команды: . Указывается значение параметра „**Pad Size Factor**”, при необходимости – иницируется опция „**Setup Mapped Meshing**” (будет создаваться аналогичная конечно-элементная сетка, см. пп.3.3.1.3), выбирается способ ориентации: „**Auto Align**” (авто-направление), „**Vector Align**” (вдоль вектора) или „**Tangent Align**” (касательно к линии). Затем выбирается круговое ребро, (при необходимости – вектор направления или линия), затем – поверхность (**Surface to Split**). Значение параметра „**Pad Size Factor**” (не менее 0.5) соответствует отношению длины линии, отходящей от кругового ребра, к его радиусу. Если выбирается круговое ребро, не имеющее 180 или 360 градусов, то дополнительно будут появляться диалоговые панели для указания длины/ширины (**Pad/Width Length**) окантовки, центральной точки (**Pad Center**) и вектора выравнивания (**Pad Alignment Vector**). Выбранная поверхность разрезается на части в соответствии с нанесенными на нее линиями. **Внимание:** если операция проводится к ребру поверхности (не к отверстию), то она может завершиться успешно, но результат будет зависеть от геометрии ребра и поверхности, ориентации, значения параметра „**Pad Size Factor**”, т.е. может оказаться заранее непредсказуемым;

- (**Point to Point...**): прямая линия между выбранными с помощью появляющихся диалоговых панелей точками;
- (**Point to Edge...**): прямая линия от выбранной с помощью появляющихся диалоговых панелей точкой и ребром поверхности;
- (**Edge to Edge...**): прямые линии от выбранных с помощью появляющихся диалоговых панелей ребрами поверхностей (от выбранного первым ребра – кратчайшим путем ко второму ребру).

При работе с поверхностями целесообразно установить опцию **Geometry→Curve - From Surface→Update Surfaces**, чтобы их изображение после построения на них линий обновлялось автоматически. **Внимание:** для удаления созданных таким образом поверхностей (исходная поверхность разрезана на части) придется использовать операции экспорта/импорта геометрии (а именно **Solid**), или операции **Explode/Stitch** (см. пп.2.2.5.2), причем последняя должна выполняться с установленной опцией **Cleanup Mergeable Curves**.

2.2.4 Построение поверхностей

В FEMAP есть три типа поверхностей:

- *конструкционные*. Создаются и редактируются группой команд из **Geometry**→**Boundary Surface** ►. В FEMAP учтено то, что довольно часто поверхностная КЭС создается (автоматически) более удачной (см. рис.2.16), если несколько геометрических поверхностей объединить в единую. Это потому, что создание поверхностной КЭС проводится от контура поверхности. Есть понятия „**Multi-surface boundaries**” („граничный контур нескольких поверхностей”, когда внутренние контуры – отброшены) и „**Underlying Surfaces**” („подложенные поверхности” – те, на основе которых строится поверхность с **Multi-surface boundaries**). Командой **From Curves...** поверхность создается на основе линий, описывающих замкнутый контур (в пп.2.2.6.3 описано, как преодолеть проблему совпадающих точек и линий, которая иногда при этом мешает; с помощью команды **Modify**→**Edit**→**Boundary...**

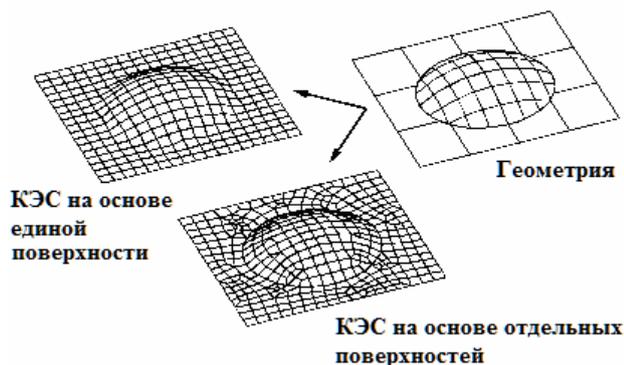


Рис.2.16. К применению поверхностей с **Multi-surface boundaries**

можно изменить набор линий в созданном ранее контуре поверхности); командой **From Surfaces on Solid...** – на основе выбранных поверхностей „твердого” тела (может появиться предупреждение: „**It appears that some holes may be outside of main. If they are, you will not be able to mesh this boundary**”, т.е. „Возможно, что некоторые отверстия могут быть за пределами главного контура. Если они будут, то Вы не будете в состоянии построить сетку в этом контуре”). Для поверхностей, созданных командой **From Surfaces on Solid...**, есть еще две команды: **Update Surfaces...** – обновить информацию о поверхности соответственно текущему состоянию „подложенных поверхностей”; **Edit Surfaces...** – присоединить/отсоединить до/от Multi-поверхности те поверхности, что будут выбраны;

• *срединные* поверхности, создаваемые командами меню **Geometry**→**Midsurface...** как вспомогательные для двумерной конечно-элементной модели (см. пп.3.3.2.5);

• *обычные* (геометрической модели), которые могут создаваться разными методами командами меню **Geometry**→**Surface...**

• *обычные* (геометрической модели), которые могут создаваться разными методами командами меню **Geometry**→**Surface...**

Подробные данные, в частности изображение для каждого варианта построения поверхностей, можно получить в „**Help**” SPLMS.Fv10.2.0: команда **Help**→**Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Femap**→**Contents**, раздел **Commands**→**3.Geometry**→**3.3. Creating Surfaces**.

Можно пользоваться командами меню, кнопками и командами мнемонического меню „**Surfaces**” (см. табл.1.5). Обычные поверхности в FEMAP можно создавать таким образом (одинаковое для всех команд начало команд **Geometry**→**Surface**→ опускаем):

а) по углам (**Corners...**): указываются координаты трех или четырех углов поверхности, дается команда **Cancel**;

б) по кромкам (**Edge Curves...**): указываются три или четыре линии, создающие замкнутый контур;

в) по нескольким линиям (**Aligned Curves...**): указываются две или больше *не пересекающиеся* линии (прямые или кривые). Боковые кромки создаются автоматически;

г) по двум прямым или кривым линиям (**Ruled...**). Похожа на предыдущую;

д) по траектории перемещения выбранной линии (без изломов, кусочно-ломаной или замкнутой):

1) „выдавливанием” (**Extrude...**); поверхность создается в указанном вектором направлении на длину этого вектора;

2) ее вращением вокруг заданной оси на указанный угол (**Revolve...**). **Внимание:** линия, пересекающая заданную ось, новую поверхность создать не сможет;

3) вдоль прежде созданной линии без изломов (**Sweep...**): указываются линия, которая будет создавать поверхность, и линия направления. **Внимание:** если линия направления является сплайновой, то новая поверхность будет создана лишь тогда, когда эта траектория будет позволять описывать вокруг нее поверхность, т.е. характеристики линий должны быть согласованными. При применении геометрического ядра **0..Standard** созданная на сплайновой кривой поверхность будет ломаной, а **1..Parasolid** – с плавными переходами;

е) как плоская поверхность (**Plane...**): задается (выбранным методом) положение и ориентация плоскости в пространстве, потом – ее размер в двух направлениях;

ж) как боковая поверхность цилиндра или конуса (**Cylinder...**): задается вектор локализации „**Locate Vector**” (начало и конец вектора), потом – вектор направления к точке, из которой будет „начинаться” поверхность, потом – выбрать тип поверхности (цилиндр или конус) и указать внешние (**Outer**) радиусы при основе (**Bottom**) и вершине (**Top**) конуса (для цилиндра – только первую величину);

з) как полная сферическая поверхность (**Sphere...**). Задается вектор локализации „**Locate Vector**” (начало и конец вектора), потом – вектор направления к началу поверхности, потом – радиус (угол долготы (**Longitude Angles**) и угол широты (**Latitude Angles**) не активны);

и) на указанном расстоянии от выбранной поверхности (**Offset...**), причем то, с какой стороны от выбранной поверхности создавать новую, задается знаком при указании величины расстояния (плюс – в сторону „увеличения”). **Внимание:** если по ошибке расстояние указать таким, что не может реализоваться (слишком большим), то можно получить непредвиденное (т.е. ошибочное) очертание или положение новой поверхности.

Если поверхность будет создаваться на основе замкнутого контура, можно перед этим дать команду **Geometry→Sketch...** Появится панель „**Sketch**” (т.е. „эскиз”). Потом пользователем создается замкнутый контур и на панели „**Sketch**” нажимается кнопка „**Finish Sketch**” – создается поверхность.

Для поверхностей есть еще пять команд:

- **Offset...** (дистанция): с ее помощью создается копия поверхности на указанной дистанции от оригинальной. Для смены метода выбора дистанции присутствует кнопка ;

- **Geometry→Surface→Convert...**: выбранные поверхности преобразуются из представления **Standard**, которое есть в FEMAP, в **Parasolid**;

- **Geometry→Surface→Remove Hole...**: удаляет отверстия (из „твердого” тела или из поверхностей, имеющих свойство „твердого” тела), удаляя старые и создавая новые поверхности без отверстий (хотя бы одну линию из линий, создающих *замкнутый* контур отверстия (любого геометрического очертания) необходимо дополнительно указать в стандартном диалоге выбора линий);

- **NonManifold Add...**: проводит булево сложение поверхностей с твердыми телами (Solid) и оболочками (Shell). Может быть полезна при создании сложных конечно-элементных моделей;

- **Recover Manifold Geometry...**: антипод предыдущей команды.

Еще поверхности можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), проводить с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

Еще есть команда **Geometry→Solid→Intersect...**, которая позволяет создавать поверхности сечения выбранных „твердых” тел (см. пп.2.2.5.2).

Поверхности применяют как основу для описания поверхности объема (**Volume**) или „твердого” тела (**Solid**), а также для создания двумерной или трехмерной (для трехмерной – на первом этапе, т.е. во вспомогательных целях) конечно-элементной сетки (КЭС). Также их можно использовать как вспомогательные объекты, например, для построения линии как линии пересечения поверхностей, для построения точки как результат проектирования на поверхность другой точки и т.п.

2.2.5 Построение объемов и „твердых” тел

2.2.5.1 Построение объемов

Внимание: объемы (**Volume**) могут иметь не более 8 углов и не более 6 поверхностей, а также не могут иметь пустот. Это значительно снижает значение этого (**Volume**) представление геометрии тел, поэтому обычно оно применяется для последующего построения конечно-элементной сетки. На вкладке „**Geometry/Model**” (команда **File**→**Preferences**→) нужно иметь вариант **0..Standard**. Подробные данные, в частности изображения для каждого варианта построения объемов, можно получить в „**Help**” SPLMS.Fv10.2.0: команда **Help**→**Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Contents**, раздел **Femap**→**Commands**→**3.Geometry**→ **3.4. Creating Solids/Volumes**→**3.4. 1.Volumes**.

Можно пользоваться лишь командами меню. Объемы в FEMAP можно создавать таким образом (одинаковое для всех команд начало команд **Geometry**→**Volume**→ опускаем):

- по точкам в углах (**Corners...**): указываются координаты от 4-х до 8-ми точек в порядке, указанном на рис.2.17. Если введенные данные не противоречивы, то объем создается;

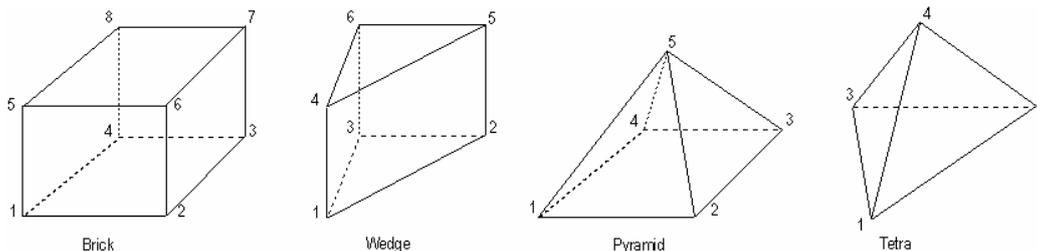


Рис.2.17. Порядок нумерации углов объемных фигур (рисунок из Help)

- поверхностями (**Surfaces...**): указывается тип фигуры (**Brick**, **Wedge**, **Pyramid** или **Tetra**, см. рис.2.17); как боковые (**Sides**), нижняя (**Bottom**) и верхняя (**Top**) выбираются ранее созданные поверхности, которые описывают замкнутое пространство. **Внимание:** нельзя применять конструкционные (граничные) поверхности (см. п.2.2.4), и созданные командой **Geometry**→**Surface**→**Aligned Curves...**, т.е. по нескольким линиям;

- между двух поверхностей или между поверхностью и точкой (**Between...**): выбираются ранее созданные поверхности одинакового типа (треугольные, четырехугольные: **2 Surface**) или поверхность и точка (**Surface and Point**);

- выдавливанием (**Extrude...**): выбирается поверхность или несколько поверхностей, потом указывается вектором направление, причем длина этого вектора является высотой полученной фигуры или полученных фигур;

- вращением (**Revolve...**): выбирается поверхность или несколько поверхностей, потом указывается ось вращения, потом – угол вращения;

- как цилиндр, конус или труба (**Cylinder...**): задается вектор локализации **Locate Vector** (начало и конец вектора), потом – вектор направления к точке, из которой будет „начинаться” внешняя поверхность, потом – выбрать тип поверхности (цилиндр, конус или труба), указать внешние (**Outer**) радиусы при основе (**Bottom Outer**) и вершине (**Top Outer**) конуса (для цилиндра – только первую величину, для трубы дополнительно – внутренние (**Bottom Inner** и **Top Inner**) размеры), указать угол разворота (360 – полный угол);

- как сфера (**Sphere...**): задается вектор локализации **Locate Vector** (начало и конец вектора), потом – вектор направления к точке, из которой будет „начинаться” внешняя поверхность, потом – радиус, начальные и конечные значения углов долготы (**Longitude Angles**) и широты (**Latitude Angles**).

Объемы можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), выполнять над ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

2.2.5.2 Построение „твердых” тел

Внимание: на динамической панели команд, вызываемой командами **Geometry**→**Solid**→..., есть переключатель „**Add/Remove Material**”, который устанавливает в командах

(что расположены на панели ниже) значение „Add” (есть „флажок”) или „Remove” (нет „флажка”) по умолчанию (которое, при желании, всегда можно изменить). Это бывает удобно, когда выполняются в основном операции сложения или, наоборот, операции удаления.

Подробные данные, в частности изображения для каждого варианта построения „твердых” тел, можно получить в „Help” SPLMS.Fv10.2.0: команда **Help**→**Help Topics Ctrl+H**, вкладка **Contents**, раздел **Femap**→**Commands**→**3.Geometry**→**3.4. Creating Solids/Volumes**→**3.4.2. Solids**.

Можно пользоваться командами меню, кнопками и командами мнемонического меню „Solids” (см. табл.1.5). „Твердые” тела в FEMAP можно создавать таким образом (одинаковое для всех команд начало команд **Geometry**→**Solid**→ опускаем):

- выдавливанием (**Extrude...**). Появляется диалоговая панель „**Extrusion Options**” (см. рис.2.18-а). На ней выбирается поверхность (кнопкой **Surface**); всегда автоматически выбирается та поверхность, которая выбиралась последней). В секции „**Material**” указывается, что делать с материалом „твердого” тела: это будет новое тело (**New Solid**) или он будет добавлен к существующему (**Add – Protrusion**) или наоборот – это будет удаление материала (**Remove – Hole**). В секции „**Direction**” указывается направление (на рабочем поле появляется изображение вектора): положительное, отрицательное или в обе стороны (**Both Directions**). В секции „**Length**” указывается длина выдавливания. Если выдавливание – в направлении нормали к поверхности, то достаточно в окне „**To Depth**” указать значение. Если – „под наклоном”, то сначала необходимо указать направление (кнопка „**Along Vector**”). Также можно в секции „**Length**” выбрать „**To Location**” и дать команду „**OK**”: появляется диалог, в котором вводится направление и длина выдавливания в терминах описания вектора. Опцию „**Try All**” (через все тело) устанавливают, когда в теле необходимо создать сквозное отверстие. С помощью кнопки и диалога „**Patterns**” (см. рис.2.18-б) можно на основе *одной* поверхности одновременно создать несколько „твердых” тел (или отверстий), расположенных рядами (**Rectangular**, см. рис.2.18-в): указывается количество в каждом направлении (**Number**) и расстояние между ними (**Spacing**); или расположенных на окружности (**Radial**, см. рис.2.18-г) с центром (**Center**) и через угол, который равен результату деления общего угла (**Total Angle**) на количество (**Number**) таких элементов;

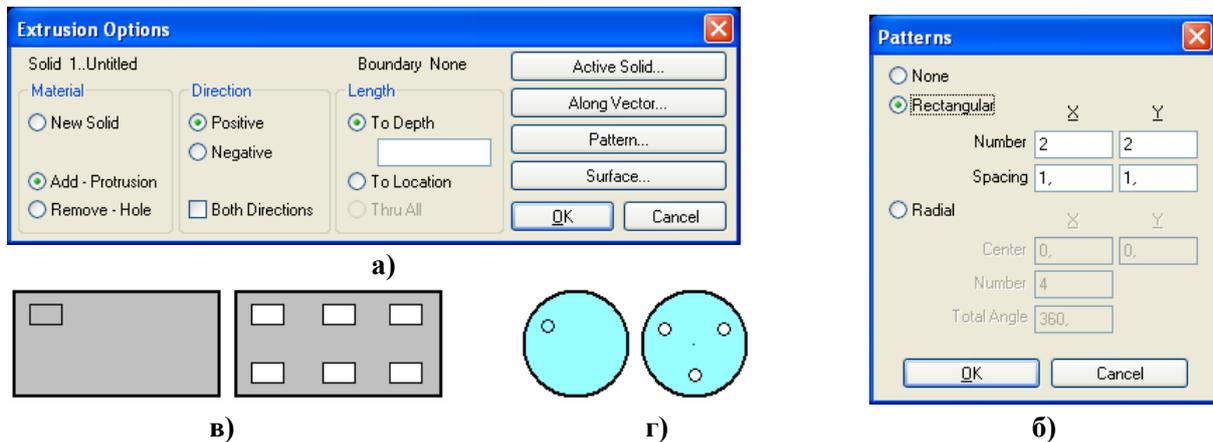


Рис.2.18. Диалоговые панели: а) – для выдавливания „твердого” тела; б) – шаблоны; и результаты действия шаблона: в) – Rectangular; г) – Radial

- вращением выбранной поверхности (**Revolve...**): сначала указывается ось вращения, потом появляется диалоговая панель „**Revolve Options**”, почти тождественная панели „**Extrusion Options**”, только в секции „**Length**” вместо „**To Depth**” и „**Try All**” указываются углы поворота „**Angle**” и „**Full 360**” соответственно. С помощью кнопки „**Revolve Axis**” (вместо кнопки „**Along Vector**”) можно изменить значение для уже указанной оси вращения;

- как один из примитивов (**Primitives...**) – см. рис.2.19-а: параллелепипед (**Block-Center** или **Block-Corner**), цилиндр (**Cylinder**), конус (**Cone**) и сфера (**Sphere** (рис.2.19-б, вверху) или **Sphere Alt** (рис.2.19-б, внизу)). Здесь новому материалу можно назначить имя (**Title**). В секции

„**Material**” есть дополнительная возможность: радиокнопка „**Common**” укажет на создание нового тела, которое будет содержать лишь *общую* часть того примитива, который задается, и существующего активного тела (общую часть пересечения). Тело создается в направлении нормали от рабочей плоскости; нормаль начинается из точки, указанной в секции „**Origin**”, причем в варианте „**Block-Center**” это координаты центра, а „**Block-Corner**” – угла параллелепипеда. **Внимание:** для конуса нулевой может быть лишь величина „**Top Radius**” (см. рис.2.19-а);

- как результат „сшивания” нескольких поверхностей, которые создают замкнутое пространство (**Stitch...**): выбираются поверхности, задается допускаемая величина зазора между поверхностями (может быть ликвидированной). **Внимание:** излишки (с выбранных) поверхностей будут удалены. Если установить опцию „**Cleanup Mergeable Curves**”, то в процессе сшивания будут удалены все избыточные линии.

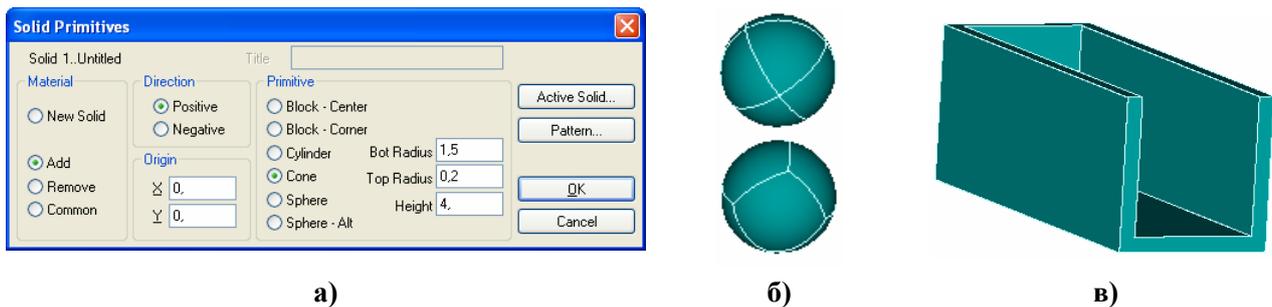


Рис.2.19. Диалоговая панель создания примитивов (а); два варианта сферы (б); результат превращения параллелепипеда в оболочку командой **Shell...** (в)

Если операция закончилась неудачно с сообщением в Messages „**Unable to stitch surfaces together. Verify that selected surfaces are continuous**”, т.е. „Сшить поверхности вместе невозможно. Проверьте, что выбранные поверхности – непрерывны”, а в процессе сшивания участвовала поверхность, созданная командой **Geometry→Boundary Surface→From Curves...**, то вполне возможно, что дефектна такая поверхность. Для проверки ее качества можно попробовать выдавить из нее Solid (**Geometry→Solid→Extrude...**).

Кроме указанных действий есть действия, связанные с модификацией существующих „твердых” тел:

- уничтожение „твердого” тела с сохранением поверхностей, которые содержали это пространство (**Explode...**);
- округление выбранных кромок указанным радиусом (**Fillet...**);
- создание фасок указанным размером на выбранных кромках (**Chamfer...**);
- преобразование тела в оболочку указанной толщины (**Shell...**): выбирается тело, одна или несколько поверхностей для преобразования, потом указывается толщина стенки оболочки. Те поверхности, что не выбраны, остаются без перемен, а те, что выбраны – преобразуются (см. рис.2.19-в);



Рис.2.20. Диалоговая панель утолщения/утончения

- утолщение/утончение (**Thicken...**): выбираются поверхности, появляется панель „**Thicken Solid Surfaces**” (см. рис.2.20). На ней в секции „**Offset**” выбираются варианты „**In**” (в направлении тела) и/или „**Out**” (во внешнем направлении) и указываются соответствующие значения изменений (в каждой точке – по нормали к поверхности). В секции „**Options**” можно установить опции „**Auto Cleanup**” (автоматическое очищение), „**Thick Individually**” (индивидуальное утолщение) и „**Delete Original Surfaces**” (удалить оригинальные поверхности). В секции „**Auto Boolean**” указывается логическая операция: „**None**” (нет), „**Add**” (прибавить), „**Subtract**” (вычитание)

„**Embed**” (включение). Эта операция может применяться для изменений толщины стенок, увеличения („**Subtract**”) или уменьшения („**Add**”) диаметров отверстий, сферы, других.

- удаление поверхностей (**Remove Face...**): отверстий, углублений, округлений, фасок и т.п. объектов.

Также есть несколько команд *логических* операций с телами:

- сложение или объединение нескольких „твердых” тел (**Add...**): создается новое „твердое” тело; те, что вошли в новое тело – уничтожаются. Если указанные тела не пересекаются, то объединение не возникает. В диалоге „**Activate Solid**”, что вызывается командой **Geometry→Solid→Activate...**, новое тело будет иметь неопределенное название „**Untitled**”, которую можно изменить на другое;

- удаление общего для выбранных тел материала (**Remove...**): указывается базовое тело (его имя будет предоставлено новому) и еще одно или несколько;

- умножение (**Common...**), т.е. выделение *общего* для выбранных тел материала: указывается базовое тело и еще одно или несколько; не общие части выбранных тел исчезают;

- врезание (**Embed...**): подобно **Common...**, но не общая часть *первого* выбранного тела не исчезает, а новое тело имеет неопределенное название „**Untitled**”, которое можно изменить;

- пересечение (**Intersect...**): совпадающие поверхности (разных тел) будут отделены в новые поверхности, на которых узлы (при создании в будущем КЭС) будут иметь *согласованное* положение. Это будут разные узлы, а тела не будут в них связаны; для их связывания необходимо применить инструменты команды **Tools→Check→Coincident Nodes...** (аналогично описанному в пп.2.2.6.3 для точек).

Внимание: если результат логической операции – частичное разрушение тел с торчащей из тел линией (линиями), заканчивающейся точкой, то другим концом эта линия указывает на проблемную зону, а причину, скорее всего, является весьма незначительная внешняя, но такая нестыковка точек, линий или поверхностей, когда их объединение принципиально невозможно. Допуск выбирается автоматически самой программой FEMAP, или устанавливается предварительно пользователем на диалоговой панели „**Model Parameters**”, вызываемой командой **Tools→Parameters...**, в секции „**Merge Tolerance**” или на панели, появляющейся после команды на выполнение логической операции. После неудачи рекомендуется провести „откат” и редактирование проблемной зоны.

К логическим операциям можно также отнести несколько операций рассечения тел на части:

а) разрезание плоскостью (**Slice...**): выбирается тело (или тела) и назначается положение рассекающей плоскости. На поверхностях тела (тел) появляются новые ребра (в виде линий);

б) разрезание плоскостью „с соответствием” (**Slice Match...**): аналогично предыдущей операции, но потом при *одновременном* создании конечно-элементной сетки узлы на соответствующих поверхностях рассечения будут иметь *согласованное* положение (дополнительную информацию см. для команды **Intersect...**);

в) разрезание вдоль грани (**Slice Along Face...**): аналогично предыдущей операции, только выбирается (если она есть) грань (плоскость или криволинейная поверхность), вдоль которой будет разрезано тело на части;

г) врезание грани (**Embed Face...**): создание нового тела за счет „материала” существующего, путем врезания (вдавливания) у него выбранной грани тела. Сначала выбирается грань, которая будет врезаться, потом в левом столбце опций на появившейся диалоговой панели „**Solid Embed Face**” (см. рис.2.21-а) выбирается один из вариантов:

- 1) „**Automatic**” (автоматически): в направлении нормали к грани, насквозь (через все тело);
- 2) „**Specify Direction**” (в указанном направлении): дополнительно необходимо задать направление и расстояние (вектором);

3) „Specify Offset” (на указанное расстояние): в направлении *нормали* к грани, на указанное расстояние, причем геометрия не плоской грани при врезании преобразуется подобно исходной геометрии;

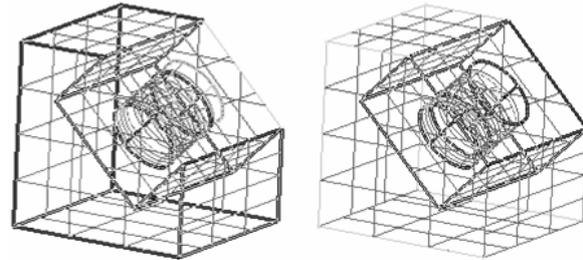
Будет реализовываться один из двух (выбранный из правого столбца) вариантов:

- ♦ „Outline Only” (только контур): врезается *краеугольный* замкнутый контур выбранной грани;
- ♦ „All Curves” (все кривые): врезается выбранная грань, причем все отверстия, которые на ней расположены, будут создавать соответствующие отверстия в новом теле (см. рис.2.21-б).

Напомним, что в FEMAP есть еще команда **Geometry→Solid→Intersect...**, которая позволяет создавать поверхности пересечения выбранных „твердых” тел.



а)



б)

Рис.2.21. Диалоговая панель Solid Embed Face (а) и пример врезания грани с неглубоким круглым углублением (б): создано два тела, второе – со сквозным отверстием

С помощью команды **Modify→Update Other→Solid Facetting...** можно изменить параметры отображения твердого тела в Femap. После выбора тела появится диалоговая панель, на которой (см. рис.2.22) указываются критерии построения изображения: „Angle Error”, „Chord Error” – меры углов и длины для объектов, „Curve Factor” – порядок аппроксимации кривых (панель появляется со значениями по умолчанию). Опции секции „Cross Hatching” позволяют переопределять число штриховки на каждой поверхности тела, изображенного в режиме **Wireframe**.

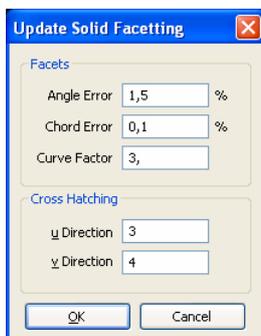


Рис.2.22. Диалоговая панель отображения Solid

В процессе работы с *несколькими* „твердыми” телами для выбора нужного тела его необходимо „активизировать”: командой **Geometry→Solid→Activate...** вызывается диалоговая панель „Activate Solid”, на которой можно выбрать необходимое тело, а также изменить его название.

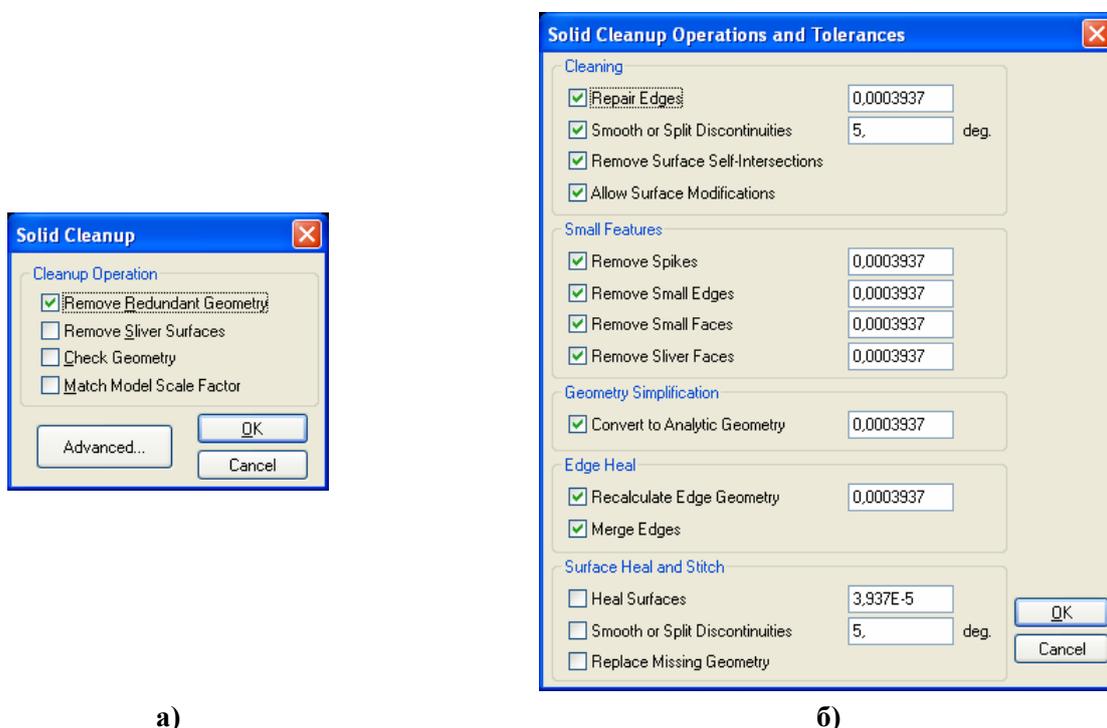
Еще „твердые” тела можно помещать в разные уровни и группы (см. подраздел 1.7), проводить с ними другие общие операции модифицирования (см. п.2.2.6).

2.2.5.3 Очищение „твердых” тел

Последняя операция, которую целесообразно проводить с созданными „твердыми” телами всегда – „очищение” от „остатков” после логических операций и операций преобразования при импортировании (вспомогательных точек, обрезков линий, поверхностей и т.п.).

Командой **Geometry→Solid→Cleanup...** вызывается панель „Select Solid(s) for Cleanup”, выбираются объекты для „очищения”. Появляется панель „Solid Cleanup” (см. рис.2.23-а), на которой можно установить опции „Remove Redundant Geometry” (удалить избыточные объекты. **Внимание:** дополнительные линии, созданные при выполнении операций **matching** (с соответствием), будут удалены), „Remove Sliver Surface” (удалить обрывки поверхностей: только для геометрического ядра **Parasolid**), „Check Geometry” (контроль геометрии на ее соответствие понятию „твердого” тела) и „Match Model Scale Factor” (при наличии нескольких разных масштабных факторов для „твердых” тел установится единый). Для дополнительной настройки процесса очищения кнопкой „Advanced” вызывается панель „Solid Cleanup Operations and Tolerance” (см. рис.2.23-б), на которой есть несколько секций.

В секции „Cleaning” есть опции: „Repair Edges” (точность на „ремонт краев” для удаления разрывов), „Smooth or Split Discontinuities” (восстановить гладкость, с точностью ... градусов), „Remove Surface Self Intersections” (удалить пересечение поверхности с собой), „Allow Surface Modifications” (разрешить проведение модификаций поверхностей). В секции „Small Feature” задаются точность для удаления (**Remove ...**): „Spikes” (шипов, т.е. игловидных образований), „Small Edges” (малых ребер), „Small Faces” (малых поверхностей), „Sliver Faces” (кусков поверхностей). В секции „Geometry Simplification” (варианты упрощения) опция „Convert to Analytic Geometry” указывает, что при упрощении в описании объектов (линий, поверхностей) оригинальная геометрия В-сплайна должна отвечать аналитическому представлению в пределах указанной точности. В секции „Edge Heal” (лечение ребер) опция „Recalculate Edge Geometry” указывает на точность повторного вычисления геометрии ребра; опция „Merge Edges” указывает на необходимость проведения слияния ребер. В секции „Surface Heal and Stitch” („заживление” и сшивание поверхностей) есть опции: „Heal Surface” (точность „заживления” поверхностей), „Smooth or Split Discontinuities” (восстановить гладкость, с точностью ... градусов), „Replace Missing Geometry” (замена поверхностей, которых не хватает).



а) б)
Рис.2.23. Диалоговые панели проверки „твердого” тела

Дополнительно укажем, что при „ремонте” FEMAP сначала проводит операцию разъединения, а потом – соединения (воспроизведения). Поэтому не всегда такой „ремонт” приводит к ожидаемым результатам.

2.2.6 Общие операции с элементами геометрической модели

Одна из общих операций с элементами геометрической модели – создание групп. Эти инструменты рассмотрены в п.1.7.2. Есть и другие.

2.2.6.1 Операции копирования

Для всех типов геометрических объектов (точек, линий, поверхностей, объемов и „твердых” тел) можно делать операции копирования (одинаковую часть команды **Geometry** → опускаем):

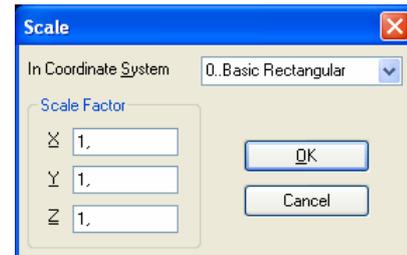
- обычного копирования (**Copy...**): выбирается объект, появляется диалоговая панель „**Generation Options**” (см. рис.2.24-а). В секции „**Parameters**” выбирается одна из радиокнопок „**Use Current Settings**” (применить текущие установки) или „**Match Original Entities**” (отвечать оригинальным объектам) и указывается количество копий „**Repetitions**”. Опция

„**Match Mesh Sizes, Loads, Constraints...**” позволяет переносить разметку и граничные условия с оригинальных объектов на вновь созданные. Если активизировать опцию „**Update Every Repetition**”, то для каждого экземпляра копии будет необходимо указывать (вектором) ее положение, если нет – все копии будут созданы в одинаковом направлении на указанном расстоянии одна от одной;

- радиальное копирование (**Radial Copy...**, кроме **Solid**): все почти аналогично **Copy...**, но смещение проходит на расстояние **Length** вдоль радиуса, что проходит через указанный центр копирования и текущую точку выбранного объекта (см. рис.2.25-а);
- копирование с одновременным масштабированием (**Scale...**): выбирается объект, указывается количество копий и координаты центра масштабирования, потом – масштабные коэффициенты для трех координат (см. рис.2.24-б);



а)



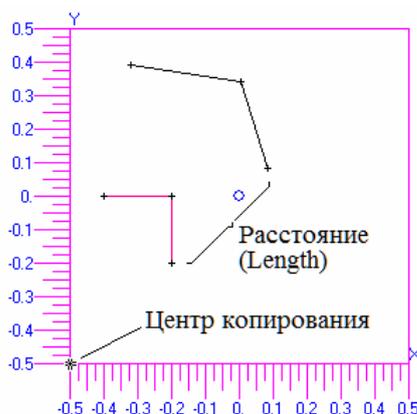
б)

Рис.2.24. Диалоговые панели установления:

а) – количества копий и других опций копирования; б) – коэффициентов масштабирования

- копирование с одновременным вращением (**Rotate...**): выбирается объект, указывается количество копий и положение оси вращения, потом – угол вращения и шаг смещения при копировании. На рис.2.25-б точка копировалась 19 раз вокруг вертикальной оси с углом вращения 18 градусов и шагом смещения 0.05; потом через точки проведена сплайновая линия (на рисунке видны автоматически созданные опорные точки сплайна). Результат – полный оборот винтовой линии с шагом 1.0.

- копирование (только одна копия) с зеркальным отражением (**Reflect...**): выбираются объекты, на панели „**Generation Options**” указывается значение „**Trap Width**” – фильтр расстояния (на рис.2.24-а этот параметр не является активным) и положение плоскости отражения. Все объекты, что расположены близко к плоскости отражения, копироваться не будут.



а)



б)

Рис.2.25. Примеры копирования: а) – радиального (линий); б) – точки с обращением и смещением, с последующим созданием сплайновой линии

2.2.6.2 Операции модификации

Значительную часть этих операций рассмотрено в п.2.2.2 о создании точек: **Modify**→**Move By...**, **Rotate To...**, **Rotate By...**, **Align...**, **Scale...** и т.п. Их применение к другим объектам, не только геометрическим, аналогичное.

Не были рассмотрены такие общие операции модификации элементов геометрической модели:

а) перемещение в указанную точку начала введенной прежде координатной системы (**Modify→Move To→Coord Sys...**). В отличие от перемещения точки есть возможность установить дополнительную опцию „**Move CSys, Nodes and Points which Reference modified CSys**” (Переместить системы координат, узлы и точки, что ссылаются на систему координат, которая модифицируется). Если ее выбрать, то вместе с координатной системой будут перемещены и все объекты, построенные в этой системе. Также есть возможность указать, какие координаты (X, Y или Z) обновить (см. рис.2.26);

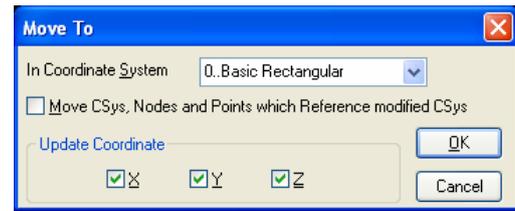


Рис.2.26. Задание условий перемещения координатной системы

- б) цвета изображения (**Modify→Color...**): выбираются объекты, устанавливается цвет;
- в) других вариантов обновления (**Modify→Update Other...**). Есть несколько вариантов:
- 1) система координат для точки (**Point Definition CSys...**): точки относятся к выбранной системе координат (обычно используют как подготовительное действие перед операциями перемещения, вращения и т.п.);
 - 2) порядок сплайна (**BSpline Order...**): выбирается сплайновая кривая и изменяется порядок сплайна (от 2 до 10, но не больше количества точек, через которые проведена кривая);
 - 3) узлы сплайна (**BSpline Knots ...**): для выбранной сплайновой кривой прибавляются контрольные точки (**Control Points**), что изменяет аппроксимацию;
 - 4) изменение направления кривой (**Reverse Curve...**), когда это имеет значение. Не применяется для кромок поверхностей и ребер „твердых” тел;
 - 5) назначить кривые такими, что не будут исчезать при проведении таких операций, как булевы, очищение, сшивание (**Nonmergeable Curve...**);
 - 6) границу (поместить) на поверхность (**Boundary On Surface...**). Команда задается как заключительная, когда на *обычной* криволинейной поверхности с помощью замкнутого контура создана *границная* поверхность (командой **Geometry→Boundary Surface**). Дефект неточного соответствия двух поверхностей может оказаться после создания на поверхности конечно-элементной сетки;
 - 7) изменение направления нормали к „твердой” (Solid) поверхности (**Surface Normal...**);
 - 8) привязка системы координат (**CSys Definition CSys...**): почти аналогичная команде **Point Definition CSys...**, но вместо точки указывается система координат.

2.2.6.3 Операции контроля качества геометрии

Довольно часто при создании геометрических элементов появляются совпадающие точки и линии (точки – чаще). Иногда это явление – отрицательное, например, нельзя создать конструкционную поверхность (командой **Geometry→Boundary Surface...**), если внешне замкнутый контур фактически является разорванным, поскольку линии опираются на совпадающие точки, или выбрано одну (не ту что нужно) из совпадающих линий. Иногда это явление – положительное, например, при подготовке геометрии к решению контактной краевой задачи, когда точки с одинаковыми координатами создают контактные пары и принадлежат разным контактирующим телам.

Команды вызова инструментов для выявления совпадающих линий и точек и дальнейшей работы с ними такие: **Tools→Check→Coincident Points...** и **Tools→Check→Coincident Curves...**. Поскольку действия для выявления совпадающих линий и точек – одинаковые, то рассмотрим их на примере точек.

С помощью стандартной диалоговой панели для выбора точек создается их список (все точки из прямоугольной области рабочей зоны можно выбрать с помощью нажатых клавиши

„Shift” и левой кнопки „мыши”). После команды „OK” появляется диалоговая панель „**Check/Merge Coincident**” (см. рис.2.27), где можно: назначить допуск на поиск совпадающих точек „**Tolerance**” (с клавиатуры или с помощью инструмента для измерения расстояния, вызываемого кнопкой , в списке „**Action**” назначить действие: объединить (**Merge**), объединить и вывести отчет (**Merge and List**) или только вывести отчет (**List**); в списке „**Keep ID**” выбрать принцип назначения номера объединенному (сохраненному) объекту: как получится (**Automatic**), оставить самый меньший (**Lower ID**) или больший (**Higher ID**) номер, позволить пользователю сформировать еще один список (**Select Point(s) to Keep**). Последнее сработает после команды „OK”. Еще на панели есть кнопка предварительного просмотра и три опции: „**Make Groups**” (Создать группы для сохранения результатов), „**Safe Merge**” (безопасное слияние, т.е. не разрушающее модель) и „**Merge Across Connections**” (слияние через связи, если таковые имеются).

Список совпадающих точек, а также указание на количество объединенных точек появляется на информационной панели „**Messages**”, будет иметь приблизительно такой вид (в скобках – расстояние между точками):

Coincident Point List

Point	7	Coincident with Point	15	(3.4986E-2)	Not Merged, Point 15
Point	9	Coincident with Point	8	(0.)	

2 Point(s) Merges



Рис.2.27. Диалоговая панель назначения опций для работы с точками

Если все совпадающие точки необходимо объединить, то достаточно установить опцию „**Merge**”. Если нет, то целесообразно сначала просмотреть список совпадающих точек, потом делать необходимые объединения. Выбирать точки для объединения можно, выбирая в диалоге назначения точек для объединения группу для объединения (со списка **Group**).

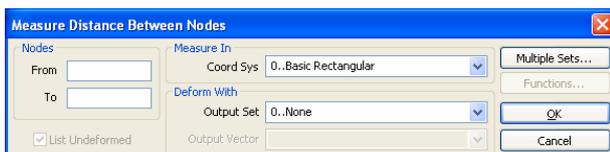
Если проведенное объединение не удовлетворяет, нужно возвратиться к предыдущему состоянию и изменить назначения в действиях: выбрать другую группу узлов, назначить другой допуск на поиск совпадающих точек и т.п.

2.2.6.4 Операции измерения

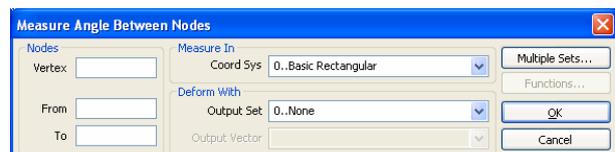
В FEMAP есть инструменты измерения (**Measure**) расстояния, углов между выбранными объектами, длины, площадей, объемов, масс, моментов инерции и других параметров геометрических объектов (а также объектов конечно-элементной модели).

Из группы команд **Tools**→**Measure** ► командой **Distance...** (расстояние) вызывается стандартная диалоговая панель выбора объектов, где с помощью кнопки „**Method...**” устанавливается тип объектов, после чего последовательно выбираются два объекта. Результат появляется на информационной панели: прямое расстояние и его разложение на глобальные оси. Аналогичные действия – при измерении угла (команда **Angle...**), причем первую точку нужно выбирать в вершине угла.

Если выбрать команды **Distance Between Nodes...** (расстояние меж узлами) или **Angle Between Nodes...** (угол меж узлами), вызывается соответствующая диалоговая панель (см. рис.2.28). Результаты измерений появляются на информационной панели „**Messages**”.



а)



б)

Рис.2.28. Диалоговые панели замера: а) – расстояний между узлами; б) – углов между узлами

Есть еще две команды, вызываемые командой **Tools**→**Measure**► :

- **Curve Length...** (длина линии);

- **Surface Area...** (площадь поверхности).

В меню **Tools** есть еще две группы команд, которые вызываются командами:

- **Tools→Mass Properties ►** (массовые характеристики): **Solid Properties...** (свойства „твердого” тела: объем, площадь поверхностей, координаты центра масс, осевые моменты инерции; потребуется ввести значение удельной плотности материала); **Mesh Properties...** (разнообразные свойства конечных элементов);

- **Tools→Section Properties ►** (свойства выбранных сечений относительно указанного вектора): **Surface Properties...** (геометрических поверхностей); **Mesh Properties...** (конечных элементов).

Отчеты появляются на информационной панели „**Messages**”.