Пример использования программного комплекса FEMAP с целью создания конечно-элеменных моделей

Цель:

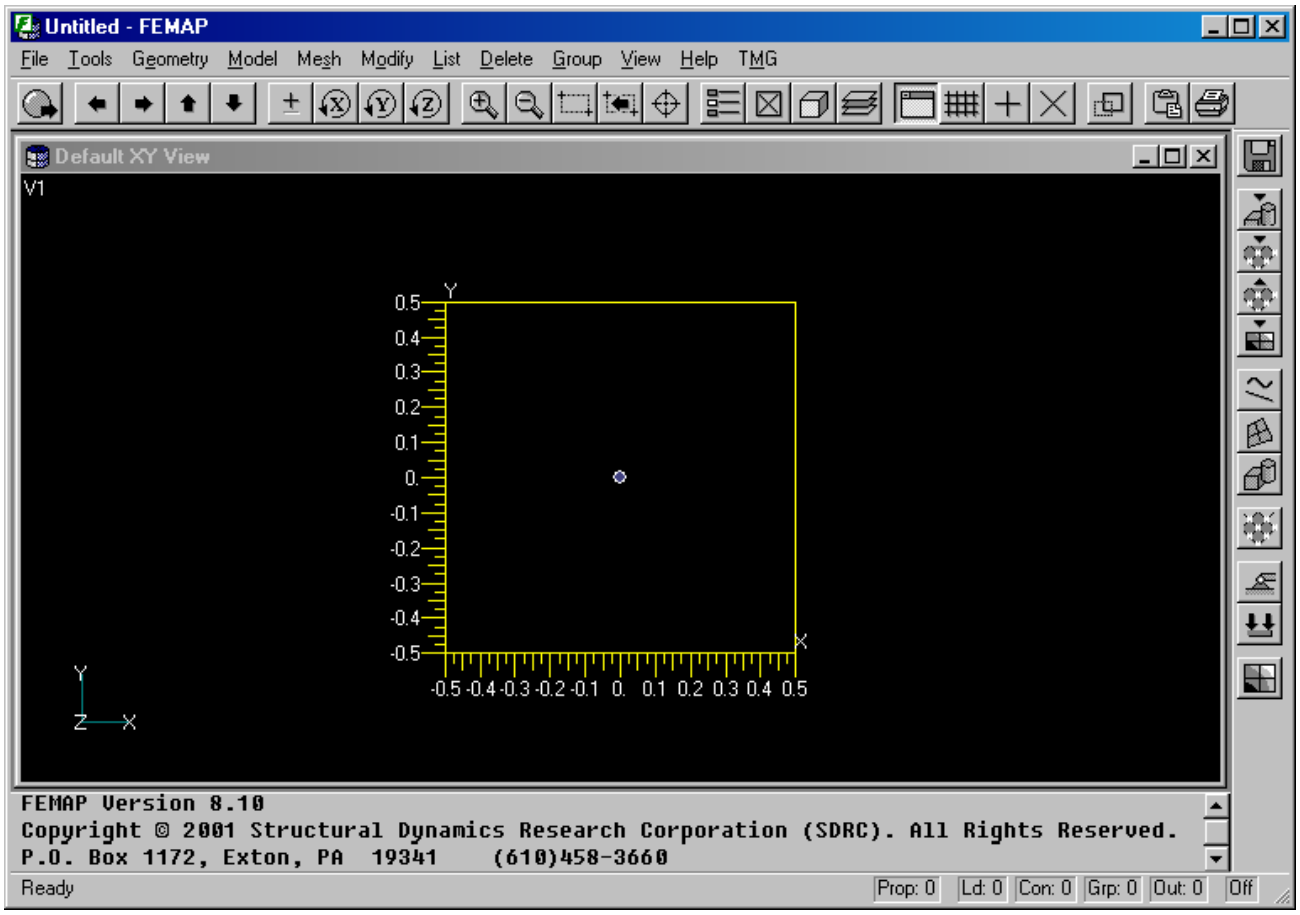
Продемонстрировать особенности создания трехмерной КЭ-модели на основе существующей геометрической модели большеберцовой кости. Рассмотреть задачи совместного меширования нескольких тел, управления количеством создаваемых элементов и создание условий для контактной постановки последующего расчета.

Раджабов О.С.
e-mail: JAZZ-ROS@YANDEX.RU
www: http://jazz-ros.narod.ru

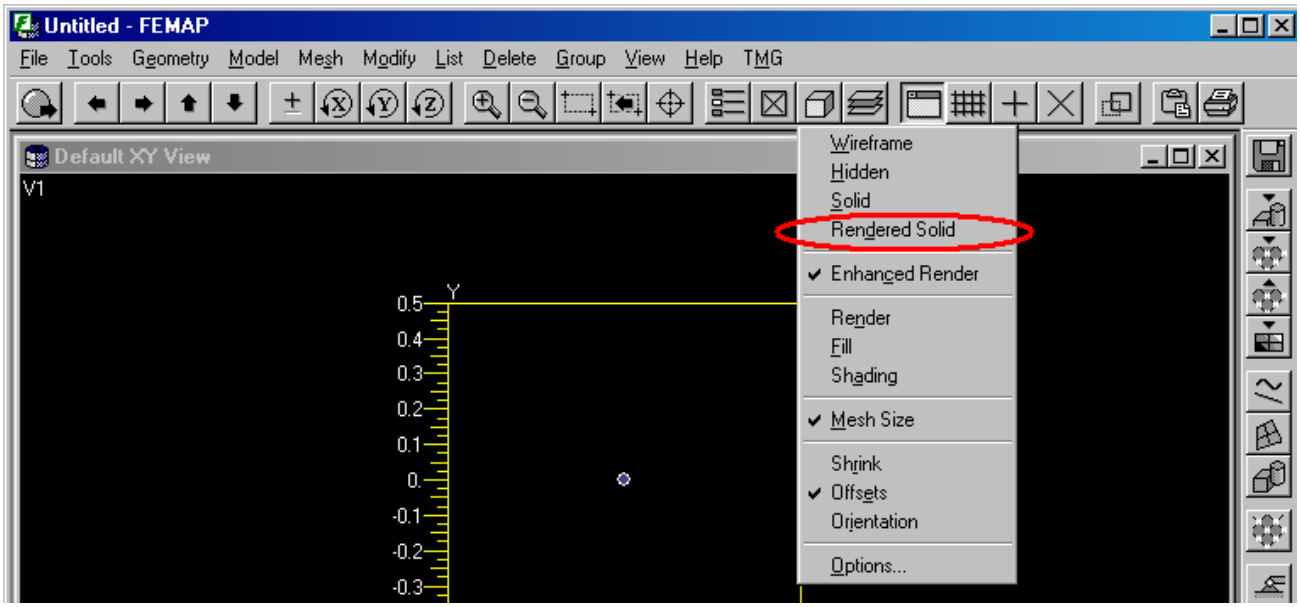
Содержание

1. Запуск FEMAP-а 4
2. Управление видом 5
3. Загрузка геометрической модели 8
4. Создание возможности объединения сеток разных тел в одну общую сетку 17
5. Определение свойств материалов 24
6. Создание контакта 32
7. Создание сетки 40
8. Завершение 57

1. Запуск FEMAP-а



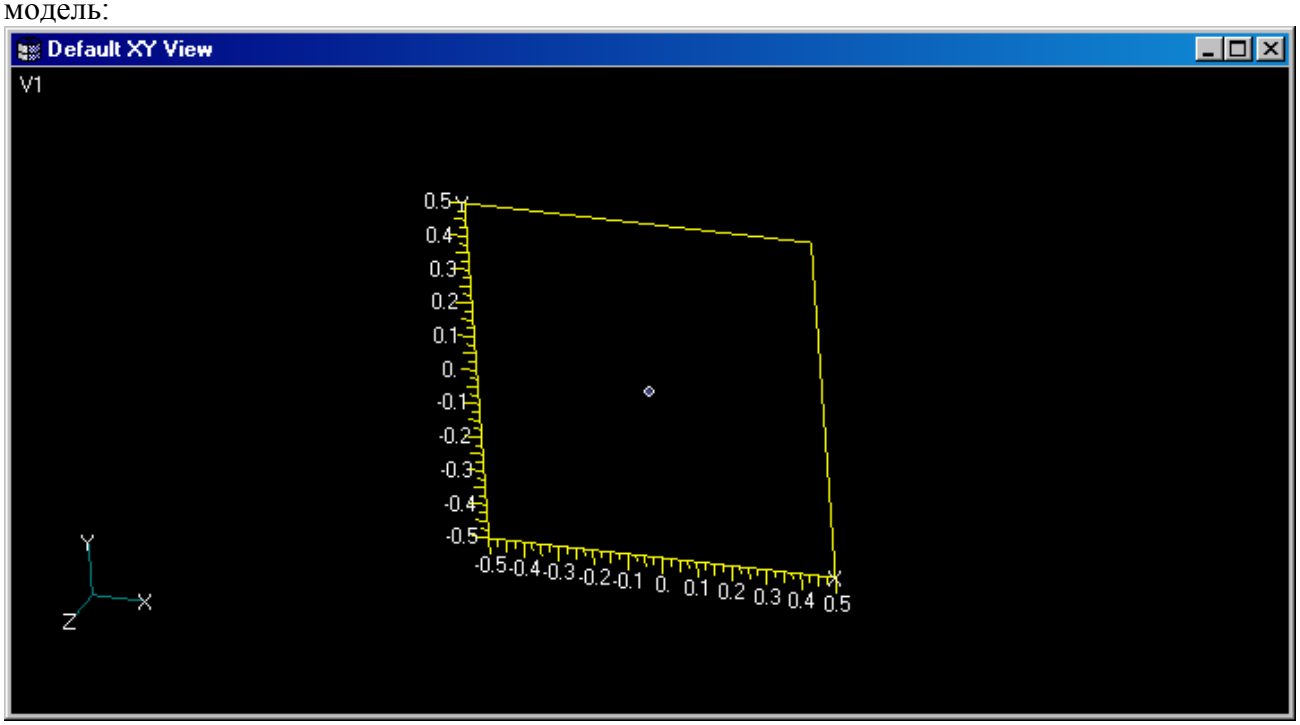
Сразу после запуска, установите видимость как – указано на рисунке:



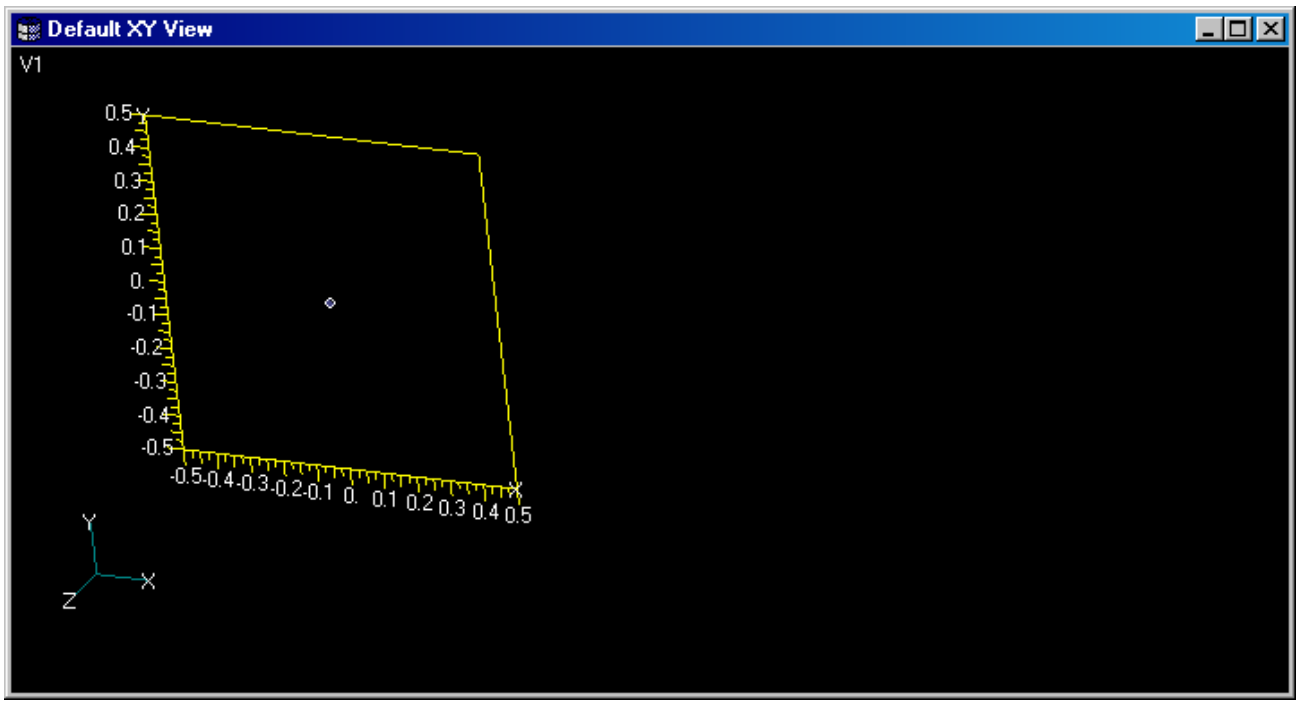
Это позволит работать с программой в режиме полнофункционального управления видами.

2. Управление видом

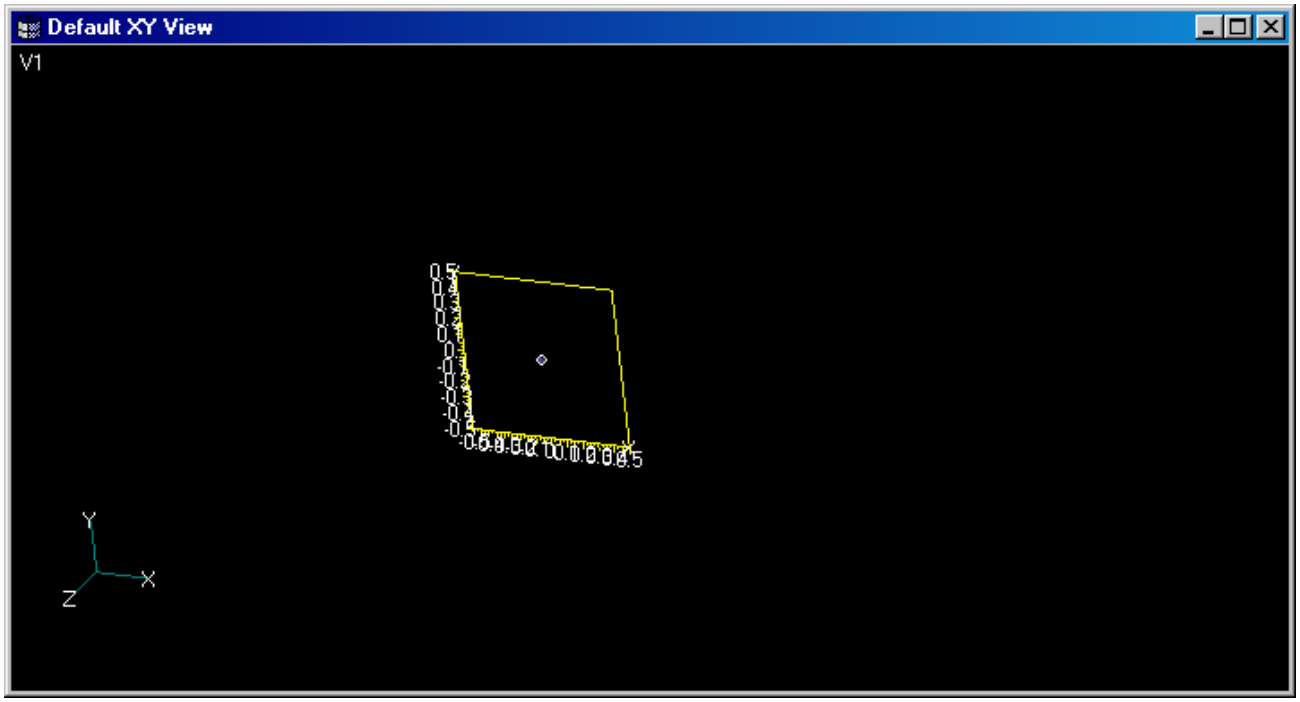
Нажав среднюю кнопку мыши и перетаскивая ее, можно менять угол зрения на модель:



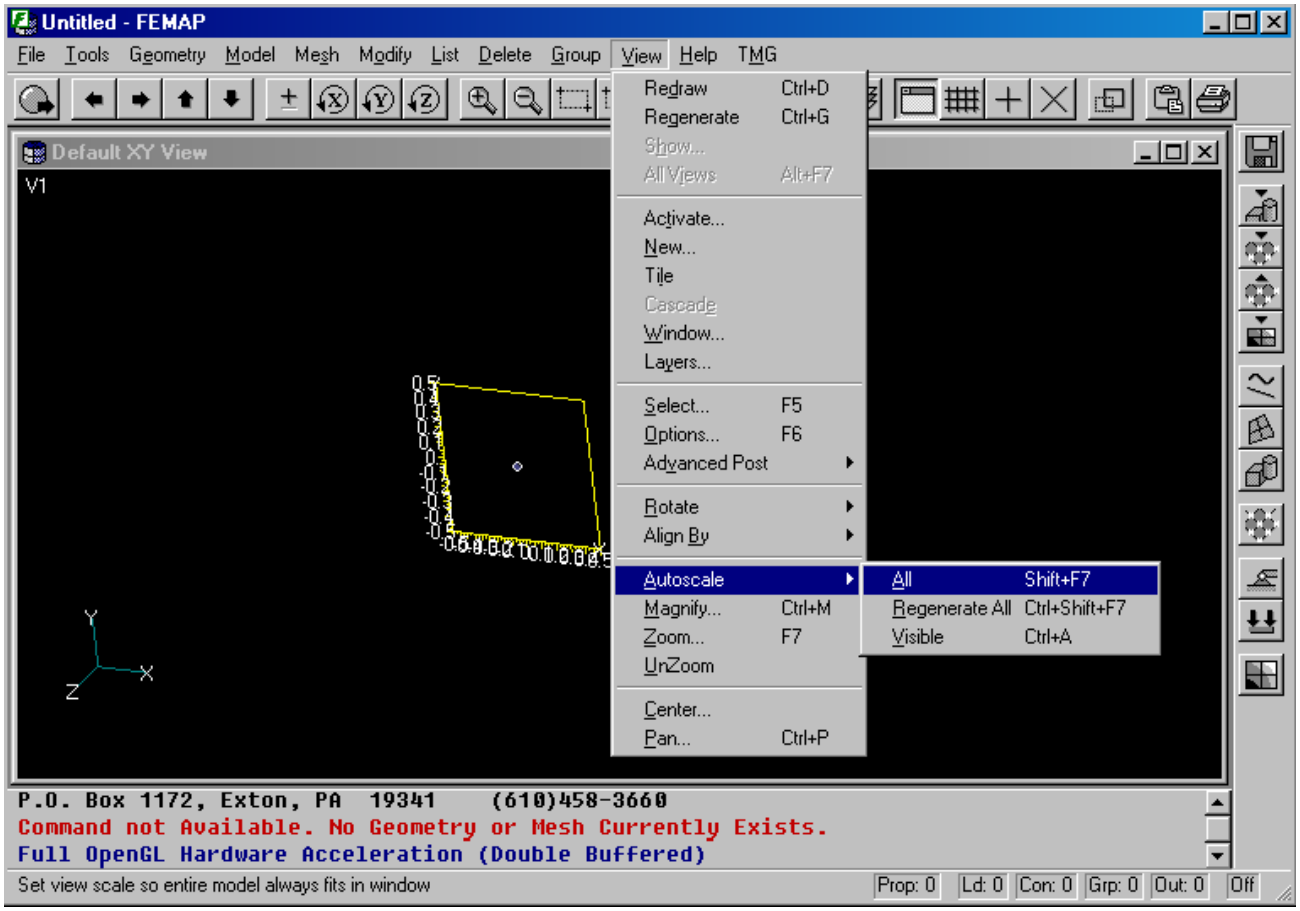
Нажав ***Ctrl***, а также среднюю кнопку мыши, и перетаскивая ее, можно перетаскивать вид на модель параллельно плоскости экрана.

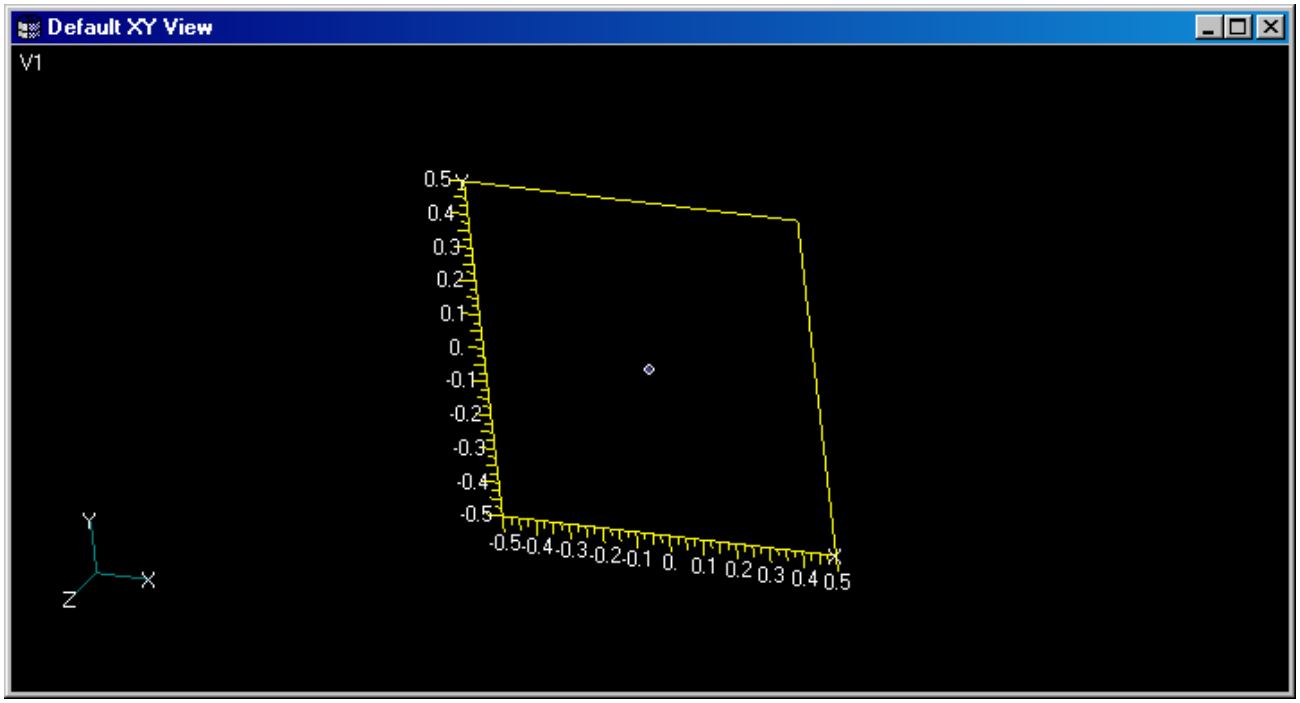


Крутя ролик мышки, либо нажав ***Shift*** и среднюю кнопку мыши, перетаскивая при этом ее вверх-вниз, можно менять масштаб изображения модели на экране.



Выбрав необходимый пункт меню (*см. рис. ниже*) можно установить изображение модели в центре экрана, где бы она не находилась до этого:

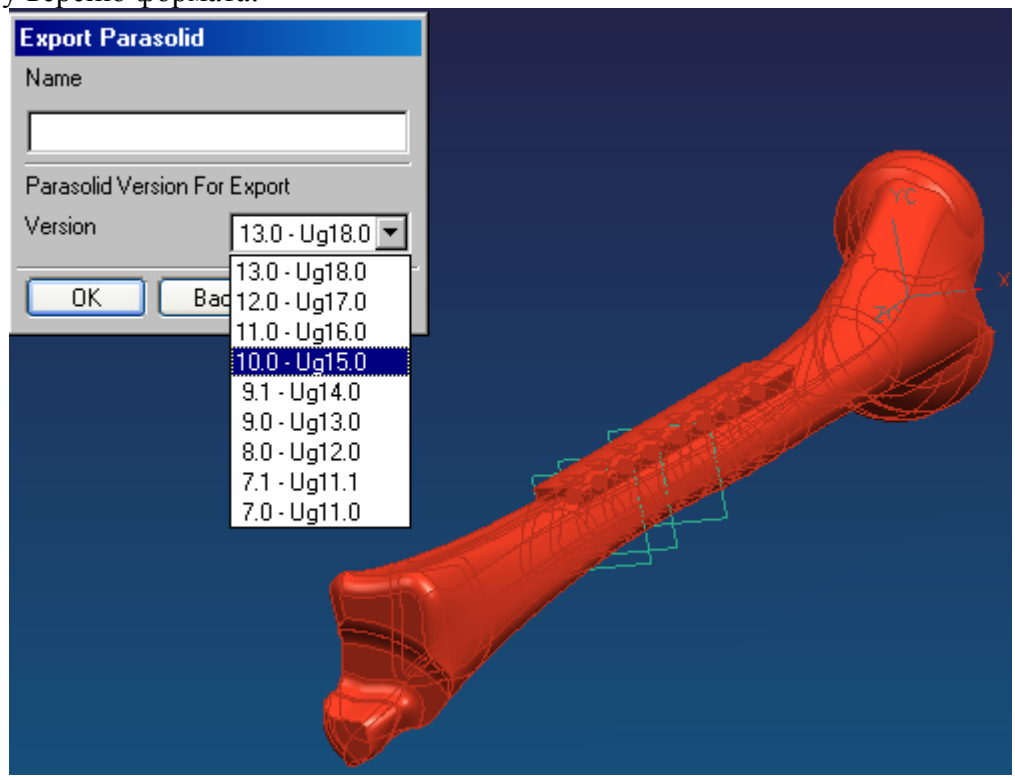

Untitled - FEMAP
File Tools Geometry Model Mesh Modify List Delete Group View Help TMG
Redraw Ctrl+D
Regenerate Ctrl+G
Show...
All Views Alt+F7
Activate...
New...
Tile
Cascade
Window...
Layers...
Select... F5
Options... F6
Advanced Post
Rotate
Align By
Autoscale
Magnify... Ctrl+M
Zoom... F7
UnZoom
Center...
Pan... Ctrl+P
All Shift+F7
Regenerate All Ctrl+Shift+F7
Visible Ctrl+A
Default XY View
V1
P.O. Box 1172, Exton, PA 19341 (610)458-3660
Command not Available. No Geometry or Mesh Currently Exists.
Full OpenGL Hardware Acceleration (Double Buffered)
Set view scale so entire model always fits in window
Prop: 0 Ld: 0 Con: 0 Grp: 0 Out: 0 Off


Default XY View
V1
0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0. -0.1 -0.2 -0.3 -0.4 -0.5
-0.5 -0.4 -0.3 -0.2 -0.1 0. 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5
Y
X
Z

3. Загрузка геометрической модели

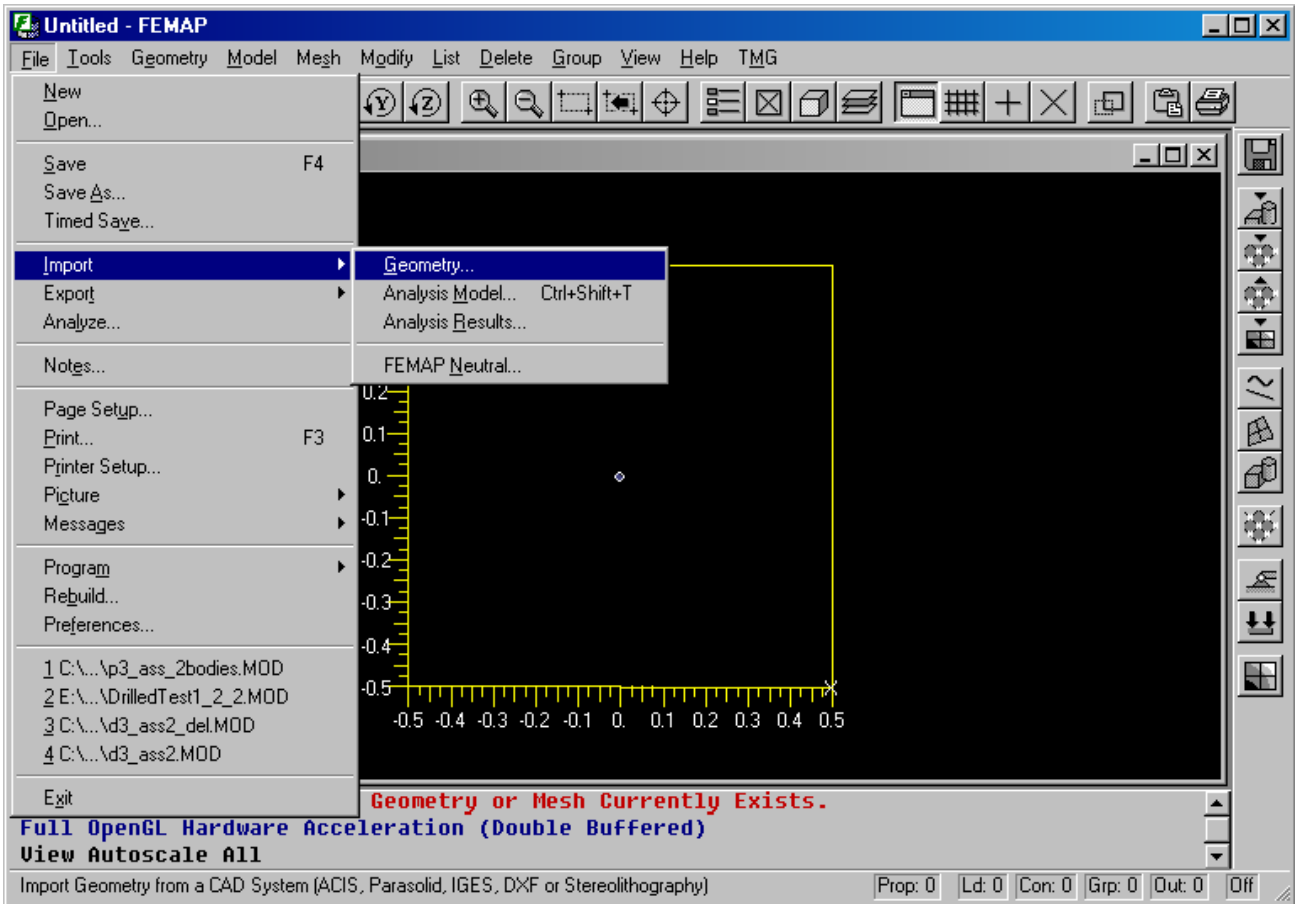
В FEMAP можно импортировать файлы различных форматов. Но наиболее удовлетворительным является его «родной» формат ***Parasolid***. Следует отметить, что максимальная версия этого формата должна быть 10-й (*либо, возможно, 11-й*). Об этом следует беспокоиться, когда Вы экспортируете файл из другого CAD-процессора.

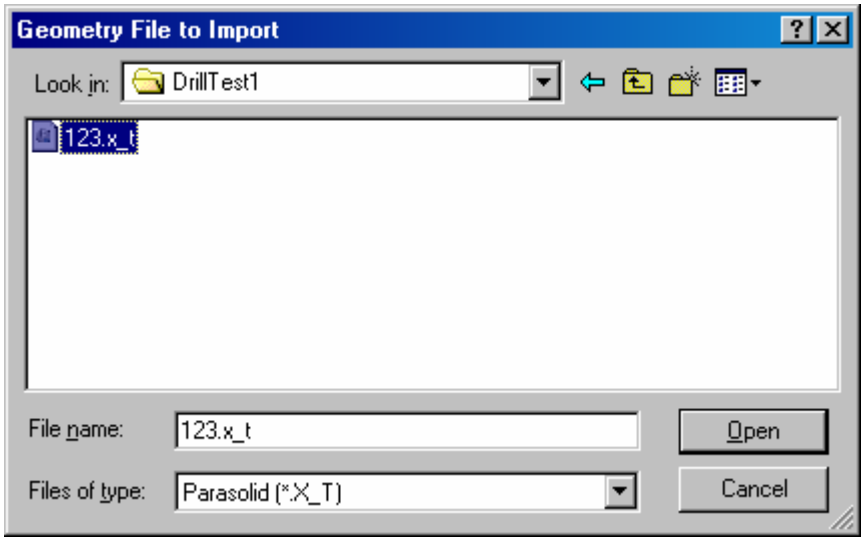
Например, в случае экспорта тел из Unigraphics-а, после выбора тел (*они подсвечиваются там красным цветом*), непосредственно перед экспортом, следует выбирать именно эту версию формата:



Для гарантии, при сохранении файлов (*особенно из Unigraphics-а*), следует избегать в пути сохраняемого файла (*и самом имени файла*) русских букв.

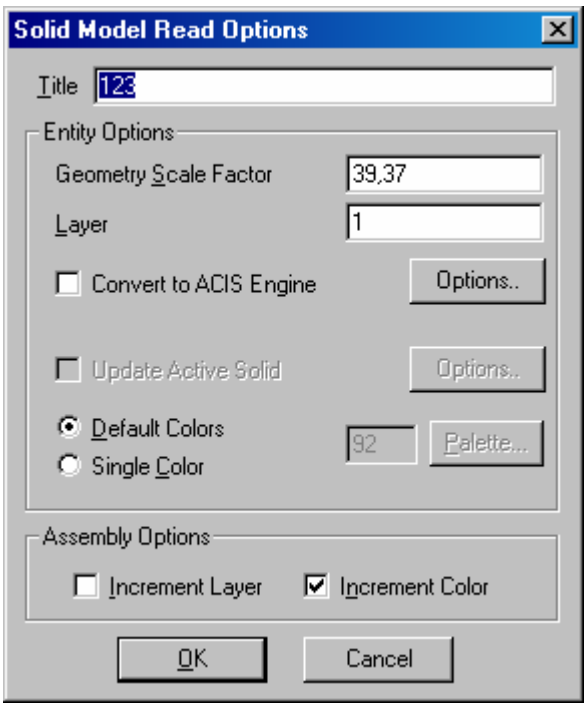
Далее, сохраненный файл следует импортировать в FEMAP:



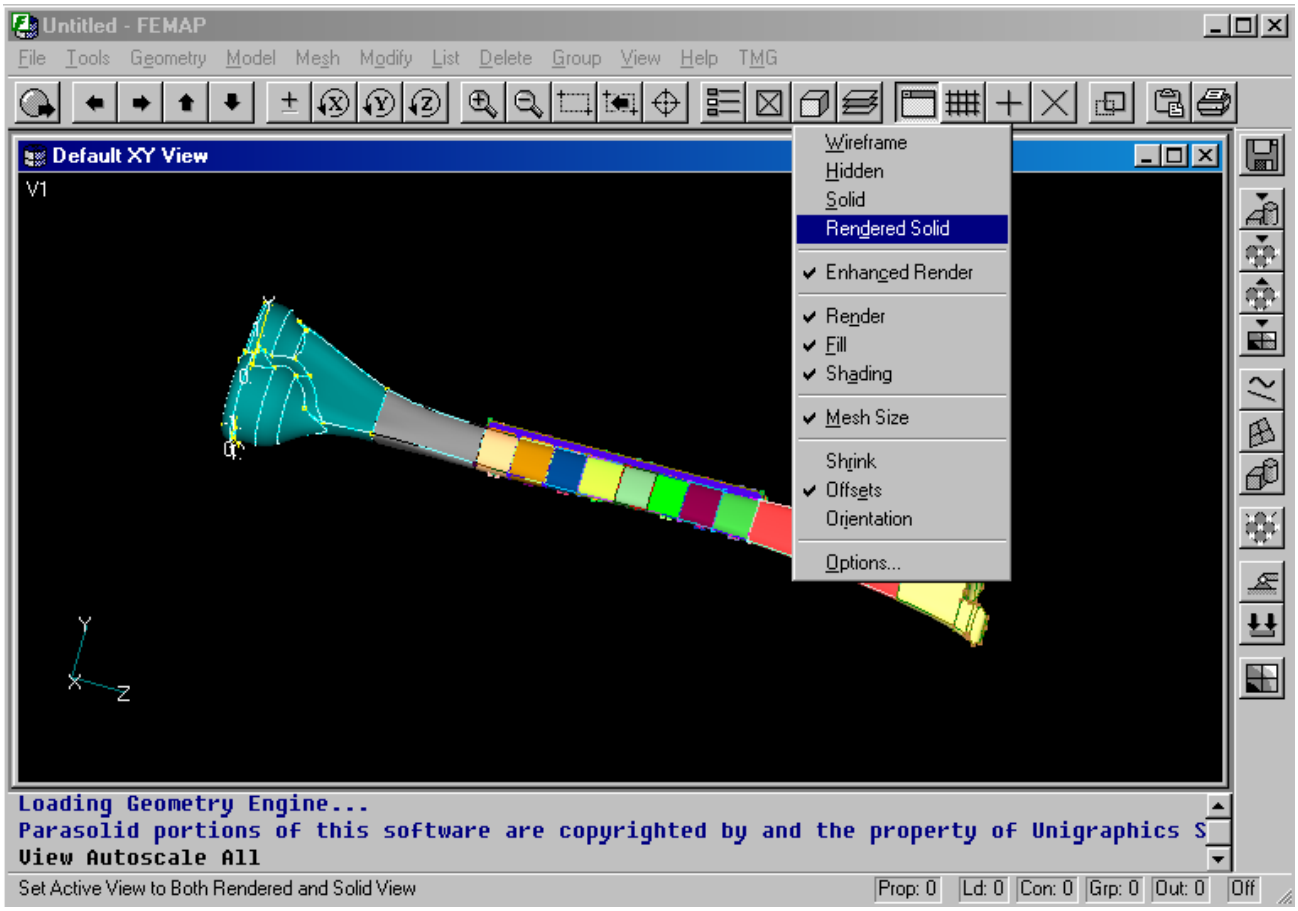


Примечание: Файлы формата Parasolid, сохраняются с расширением ***.x_t***.

Если модель в UG (***Unigraphics-е***) создавалась в миллиметрах, то следующий диалог импорта в FEMAP переведет модель в дюймы. Тут всё следует оставить по умолчанию и, пропустив диалог по нажатию «OK», помнить, что геометрия теперь предполагает единицу измерения, равной одному дюйму (*ранее было 25.4 мм, теперь в FEMAP-е стала равно 1.0*).

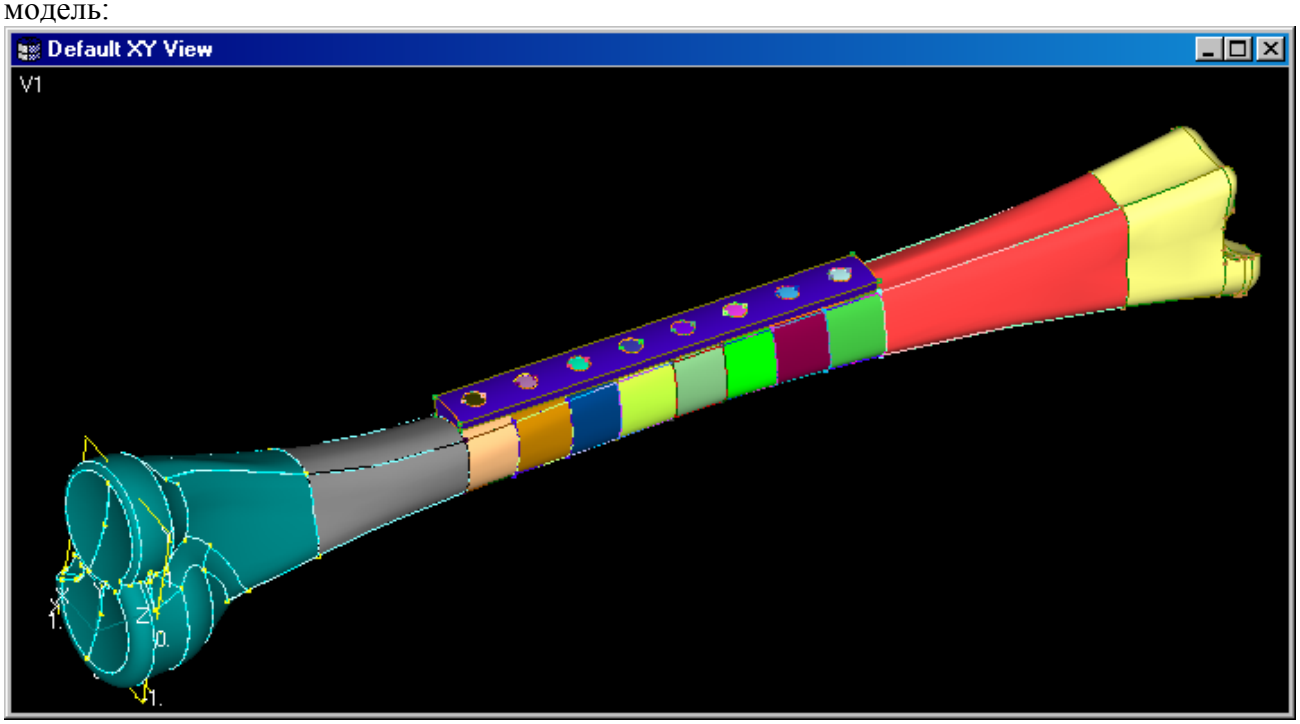


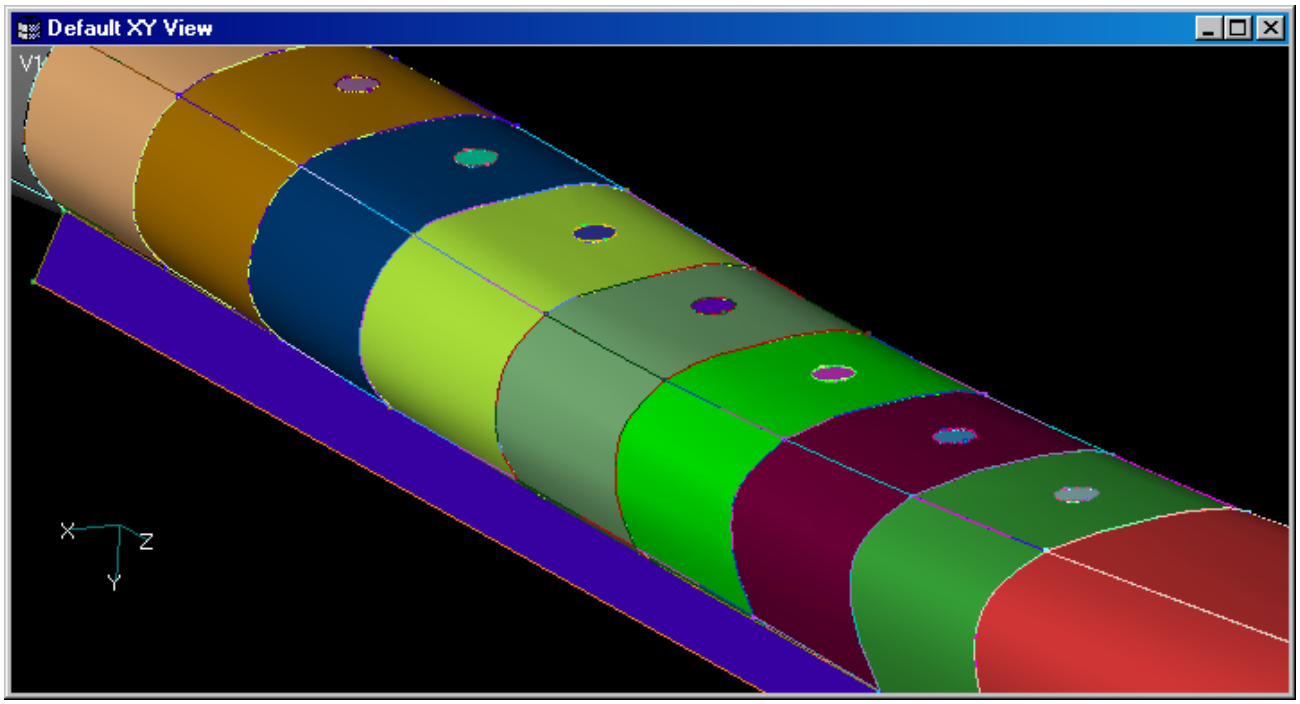
Если после загрузки, модель не отобразилась, регенерируйте изображение:



Каждое импортированное тело, теперь, отображается различным цветом. Это для наглядности.

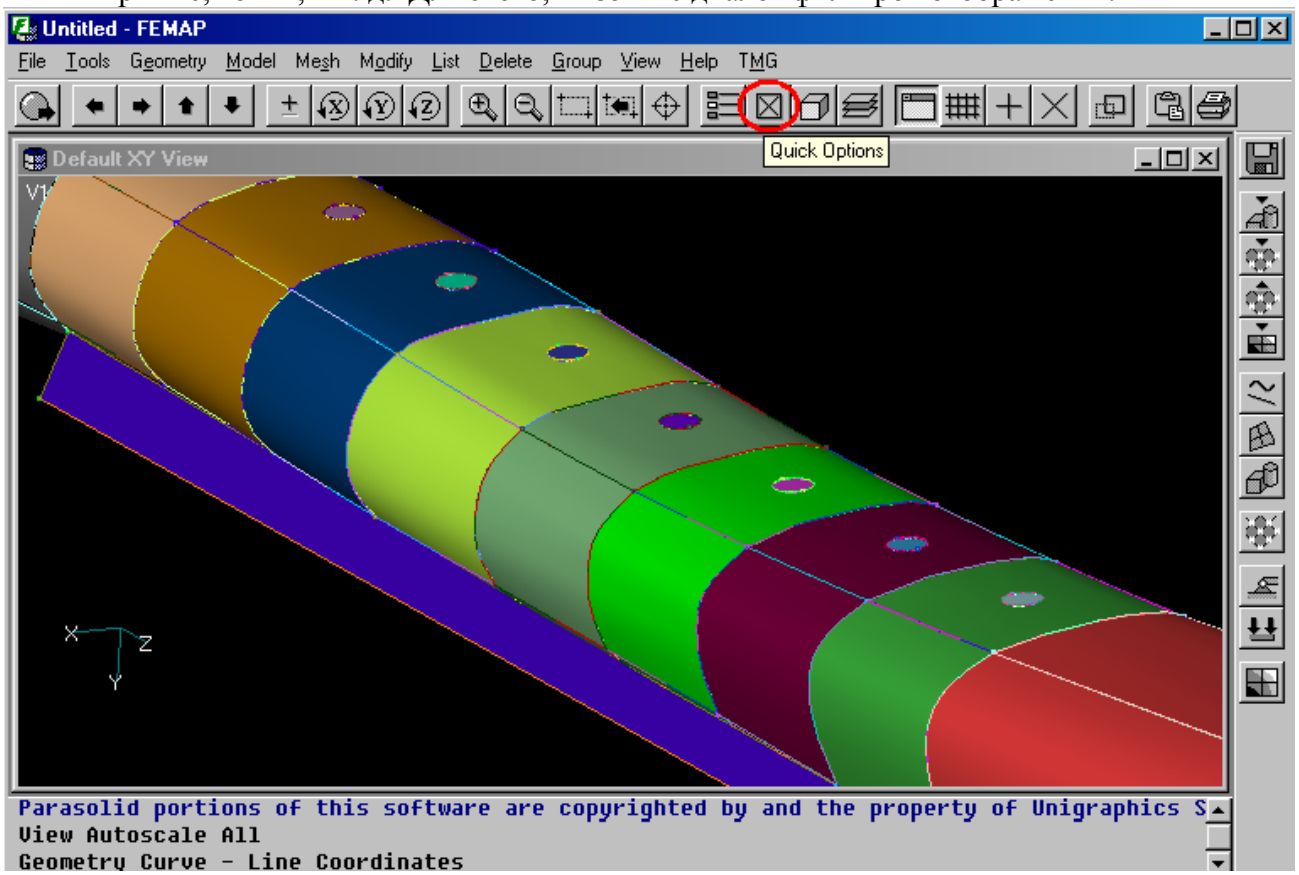
Используя знакомые уже Вам клавиши мышки, рассмотрите импортированную модель:

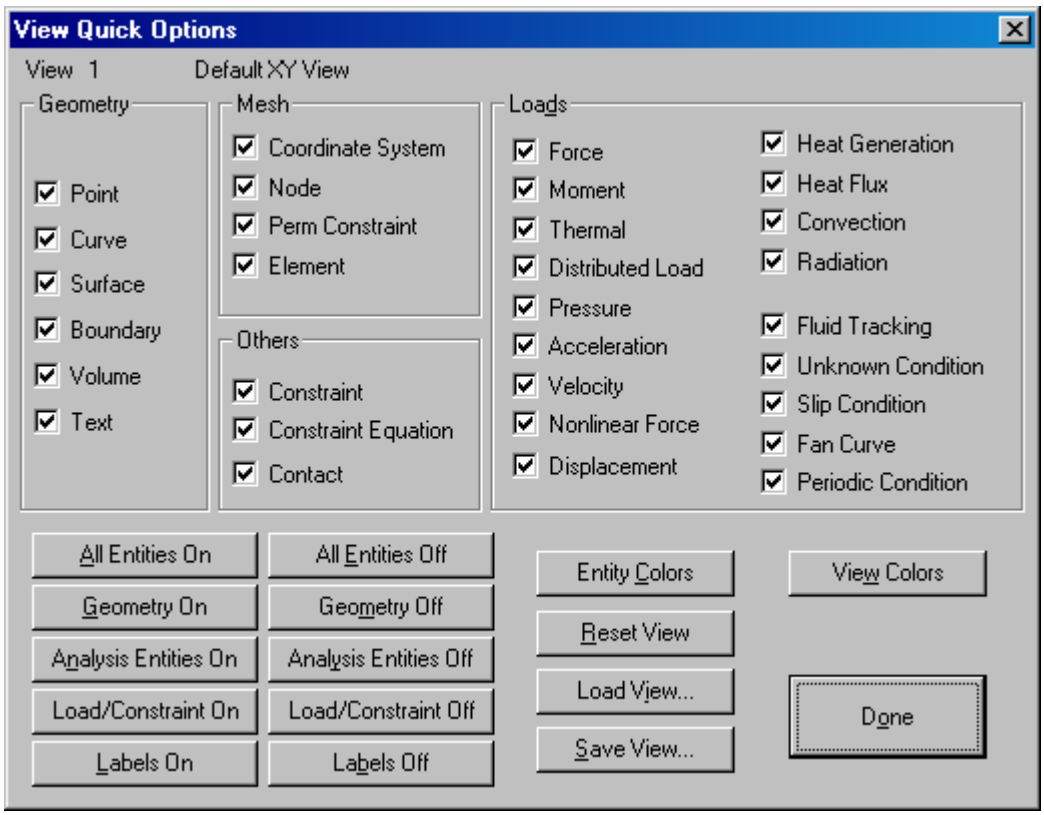




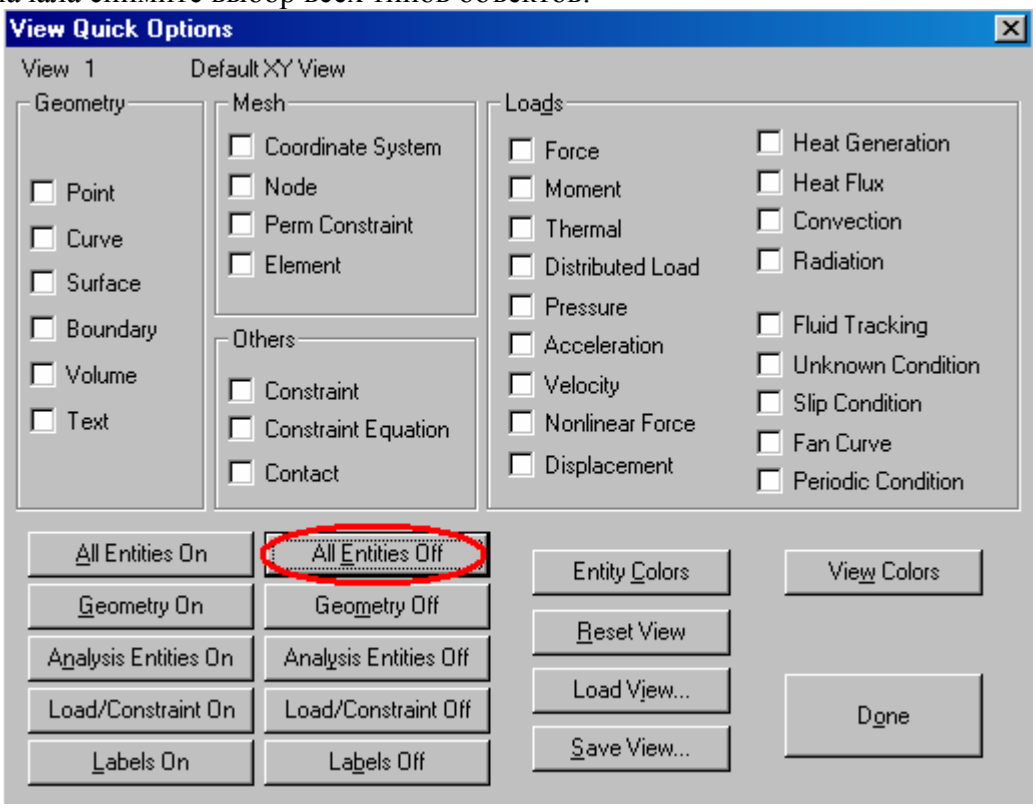
Для некоторого удобства сейчас, а далее, и из необходимости, научитесь «видеть» отдельные части загруженной геометрии (т.к. *сейчас вы видите все части вместе*)

Кривые, точки, и т. д. Для этого, вызовите диалог фильтров отображения:



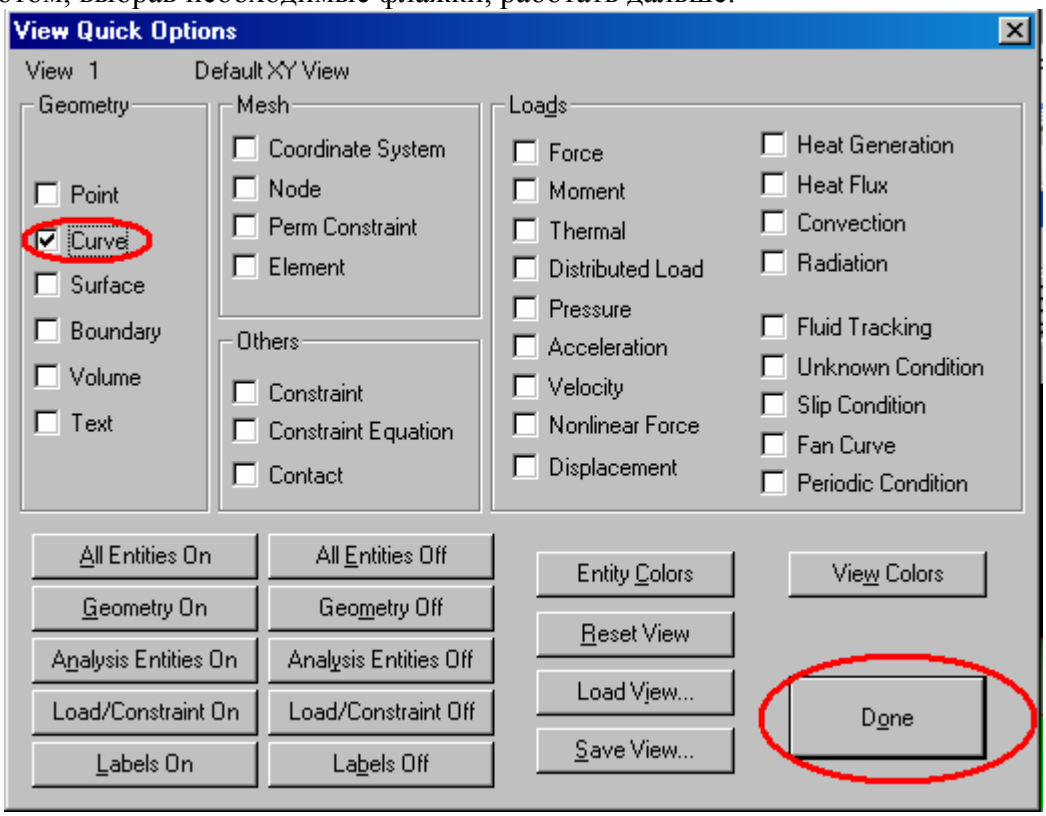


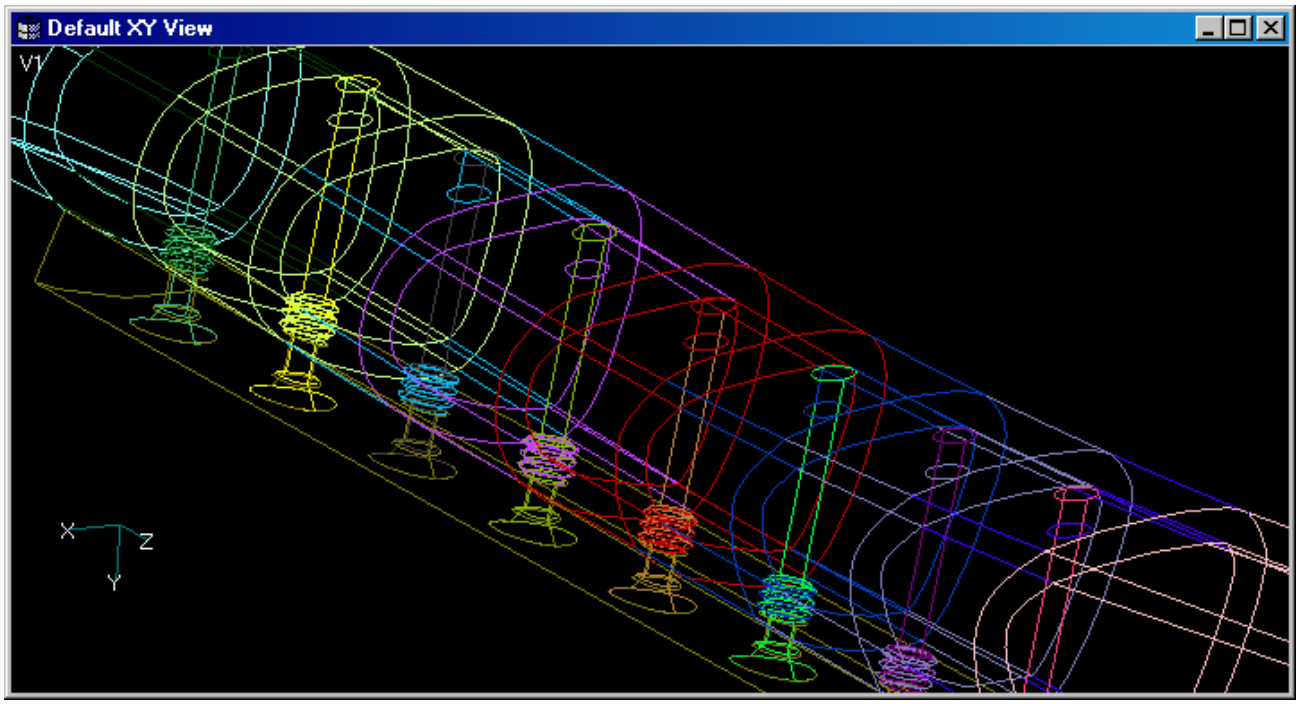
Сначала снимите выбор всех типов объектов:



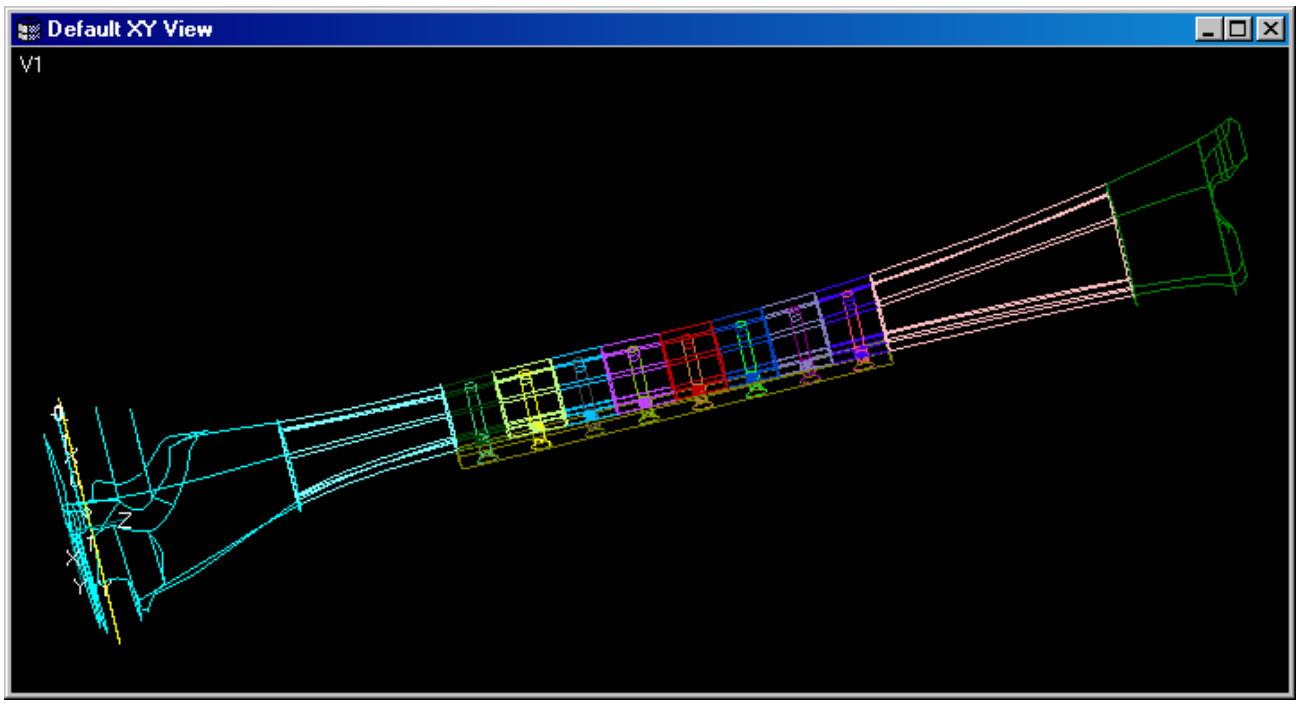
(*можно, конечно, кликать все флажки по отдельности, но это, если не лень*)

Потом, выбрав необходимые флажки, работать дальше:

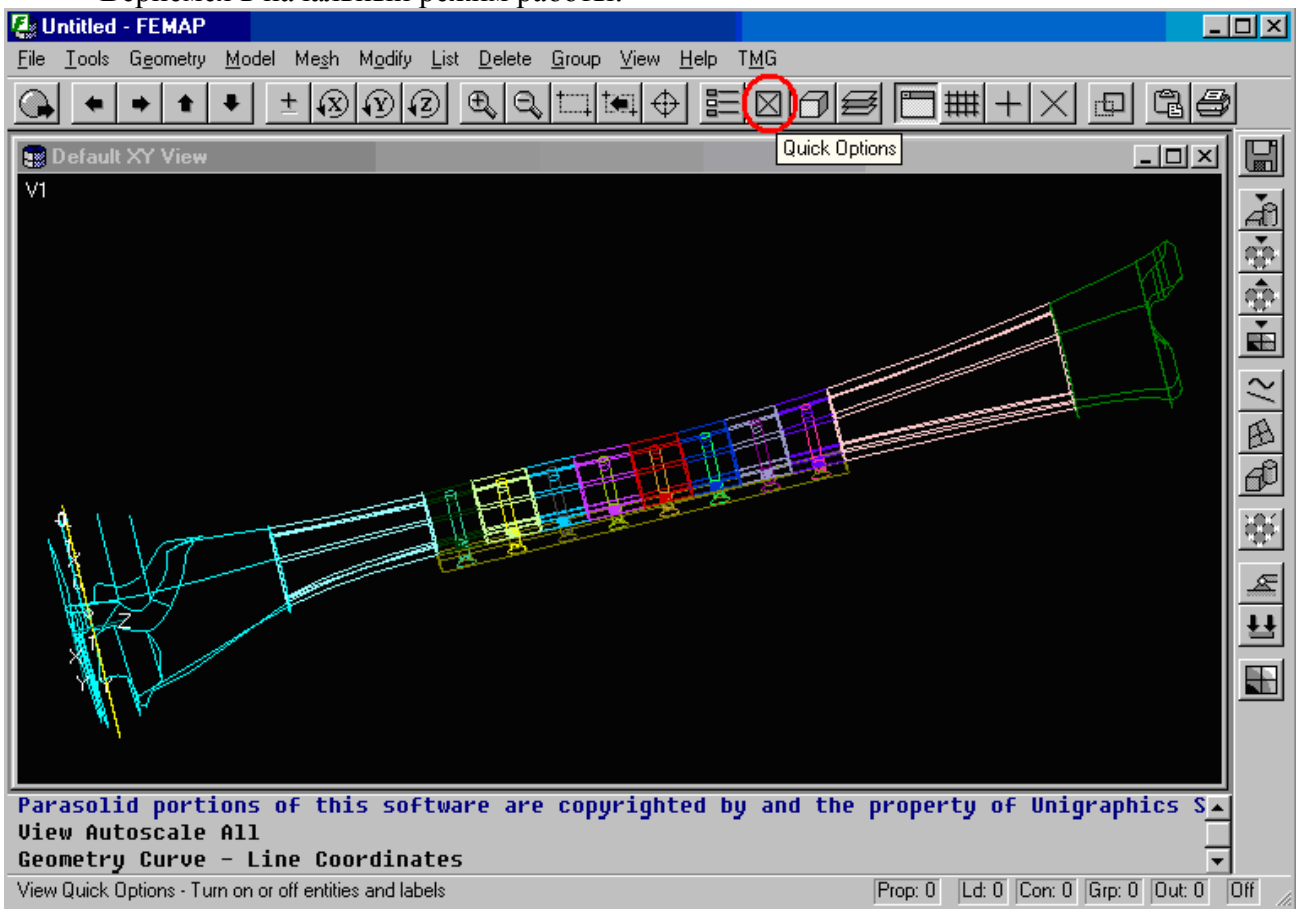


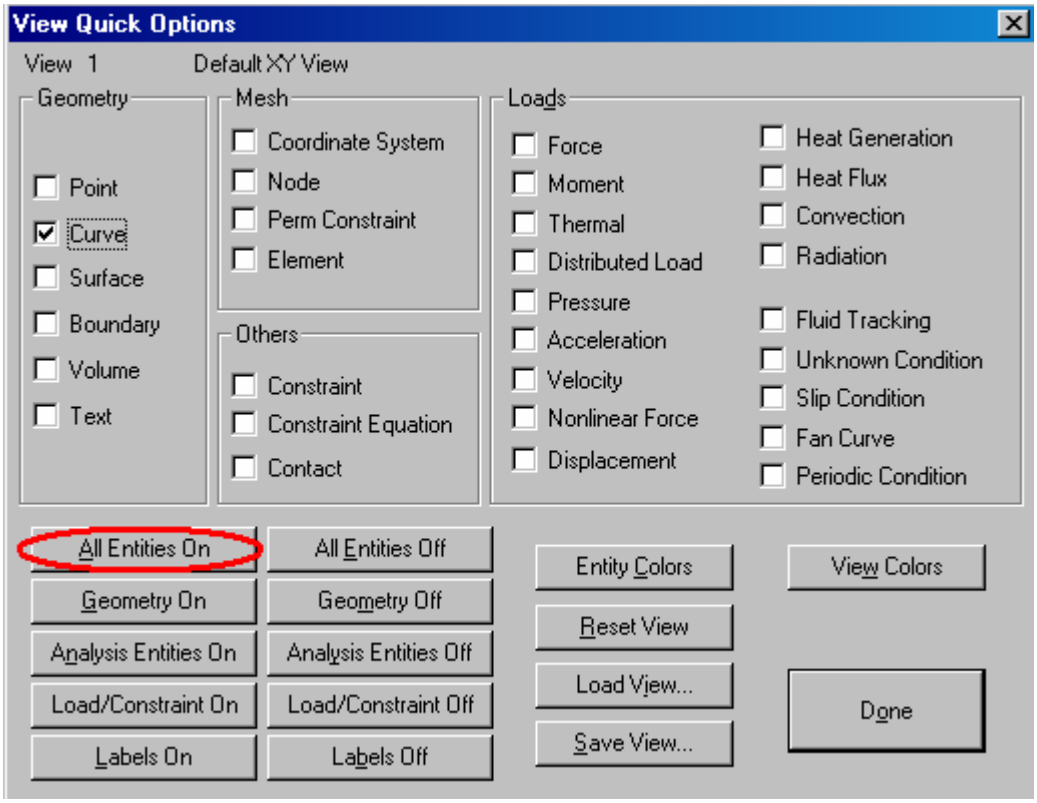


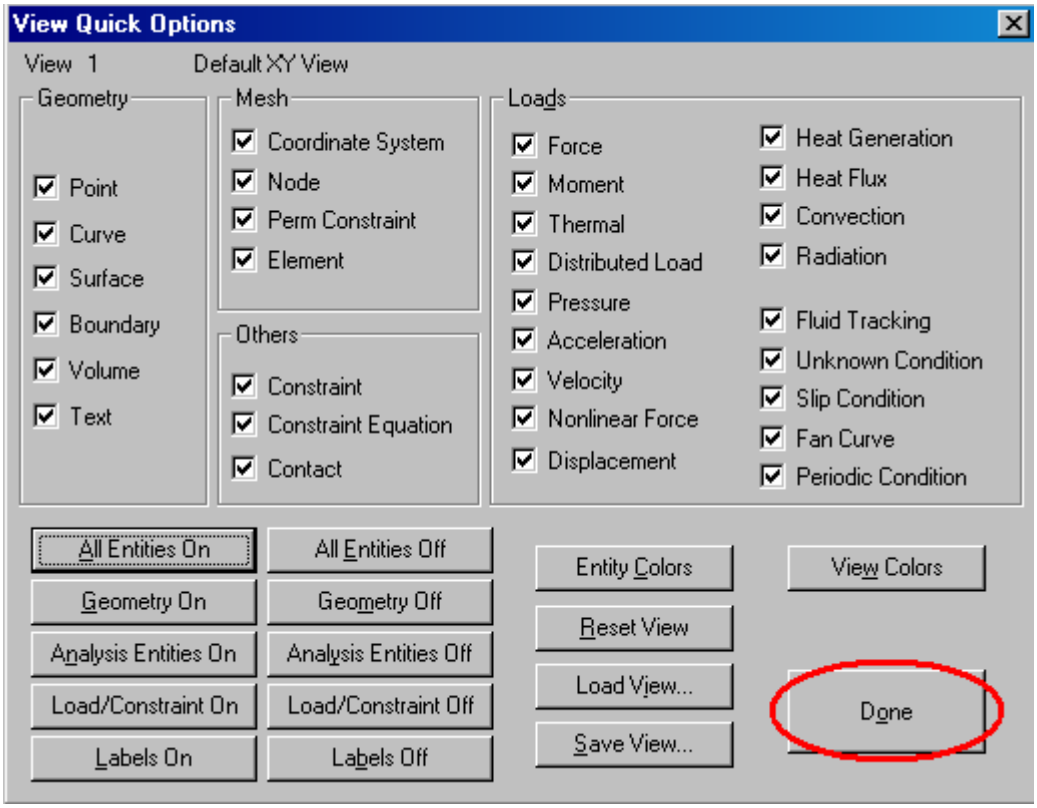
Теперь перед глазами (*и доступны для работы, не отягощенные другими типами объектов, которых, как вы заметили в предыдущем диалоге, не так уж и мало*) только линии.

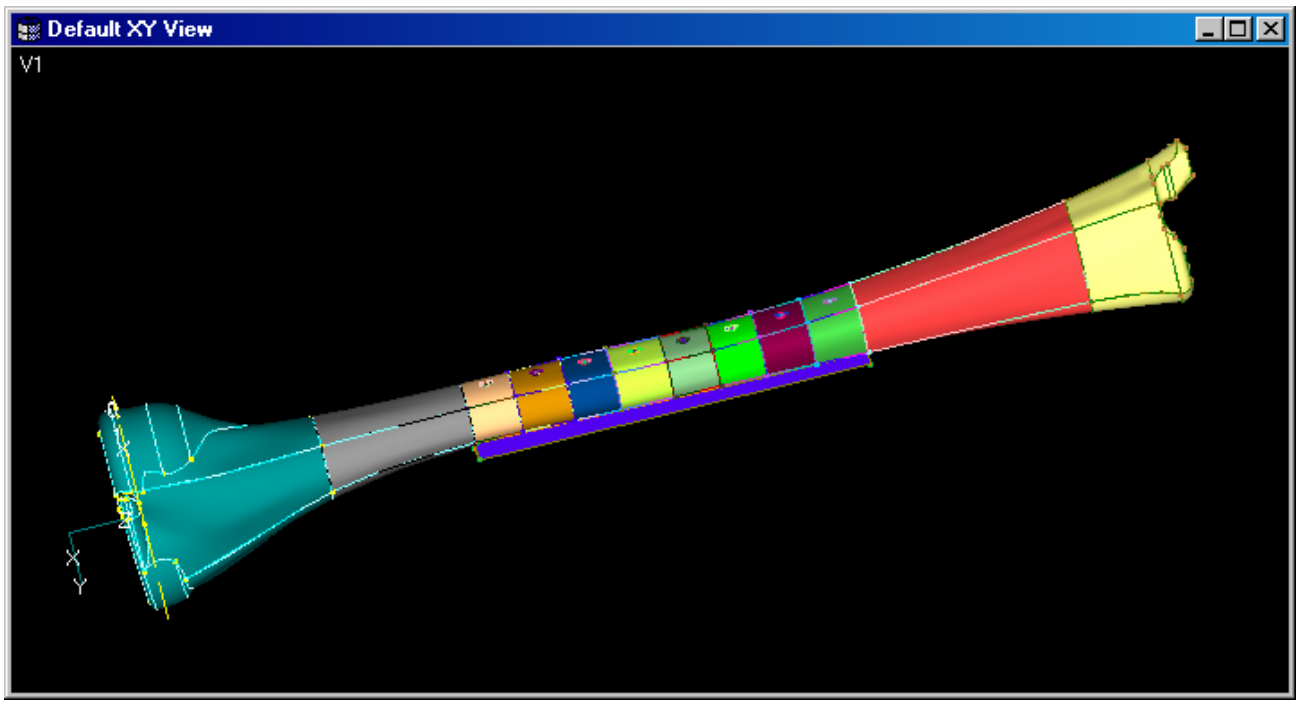


Вернемся в начальный режим работы:




View Quick Options
View 1
Default XY View
Geometry
Point
Curve
Surface
Boundary
Volume
Text
Mesh
Coordinate System
Node
Perm Constraint
Element
Others
Constraint
Constraint Equation
Contact
Loads
Force
Moment
Thermal
Distributed Load
Pressure
Acceleration
Velocity
Nonlinear Force
Displacement
Heat Generation
Heat Flux
Convection
Radiation
Fluid Tracking
Unknown Condition
Slip Condition
Fan Curve
Periodic Condition
All Entities On
All Entities Off
Geometry On
Geometry Off
Analysis Entities On
Analysis Entities Off
Load/Constraint On
Load/Constraint Off
Labels On
Labels Off
Entity Colors
Reset View
Load View...
Save View...
View Colors
Done


View Quick Options
View 1
Default XY View
Geometry
Point
Curve
Surface
Boundary
Volume
Text
Mesh
Coordinate System
Node
Perm Constraint
Element
Others
Constraint
Constraint Equation
Contact
Loads
Force
Moment
Thermal
Distributed Load
Pressure
Acceleration
Velocity
Nonlinear Force
Displacement
Heat Generation
Heat Flux
Convection
Radiation
Fluid Tracking
Unknown Condition
Slip Condition
Fan Curve
Periodic Condition
All Entities On
All Entities Off
Geometry On
Geometry Off
Analysis Entities On
Analysis Entities Off
Load/Constraint On
Load/Constraint Off
Labels On
Labels Off
Entity Colors
Reset View
Load View...
Save View...
View Colors
Done

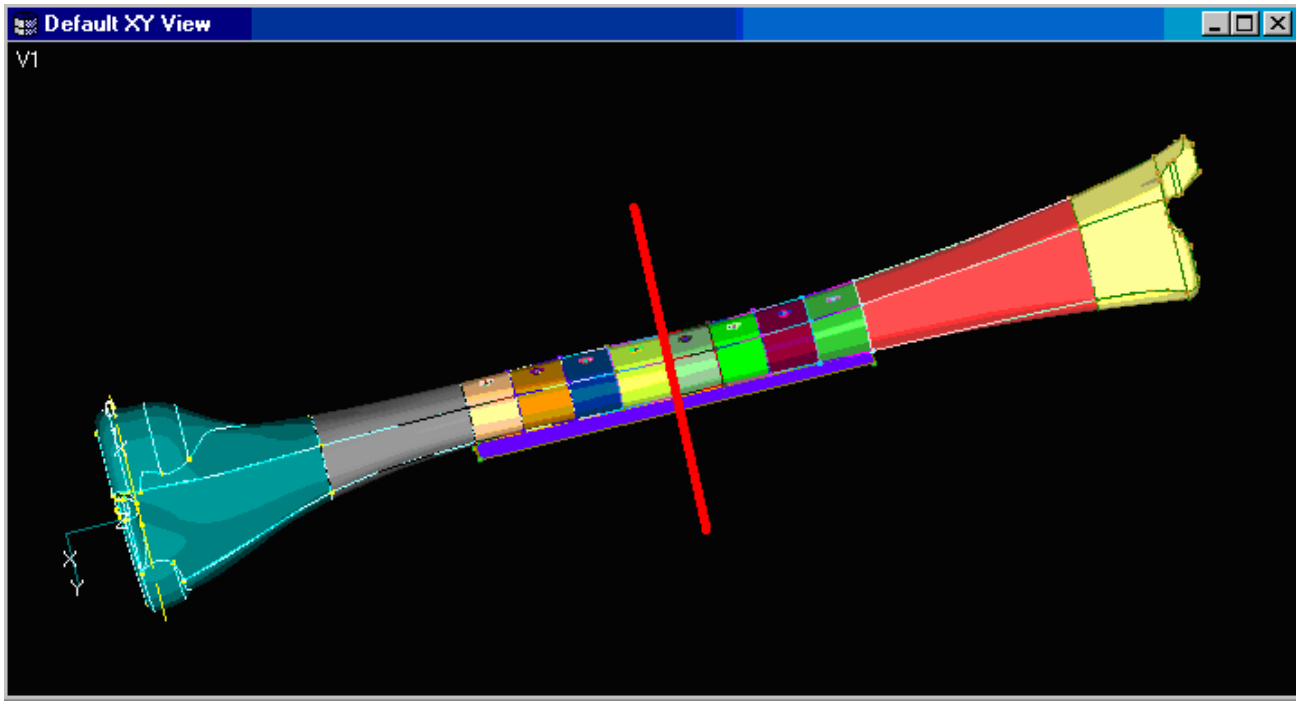


Итак: Мы научились импортировать модель в FEMAP, просматривать ее из разных видов, а также – выбирать необходимые типы фильтров работы с моделью.

4. Создание возможности объединения сеток разных тел в одну общую сетку

Сейчас, у нас есть несколько тел одной кости. В принципе, в конце создания конечно-элементной модели (*сетки + нагрузок*), готовой для расчетов, нам необходимы два тела одной кости. Кость ведь предполагаются поломанной.

Перед передачей модели в FEMAP, я задал условие, что «перелом» тела кости будет там, где это показано на рисунке ниже:

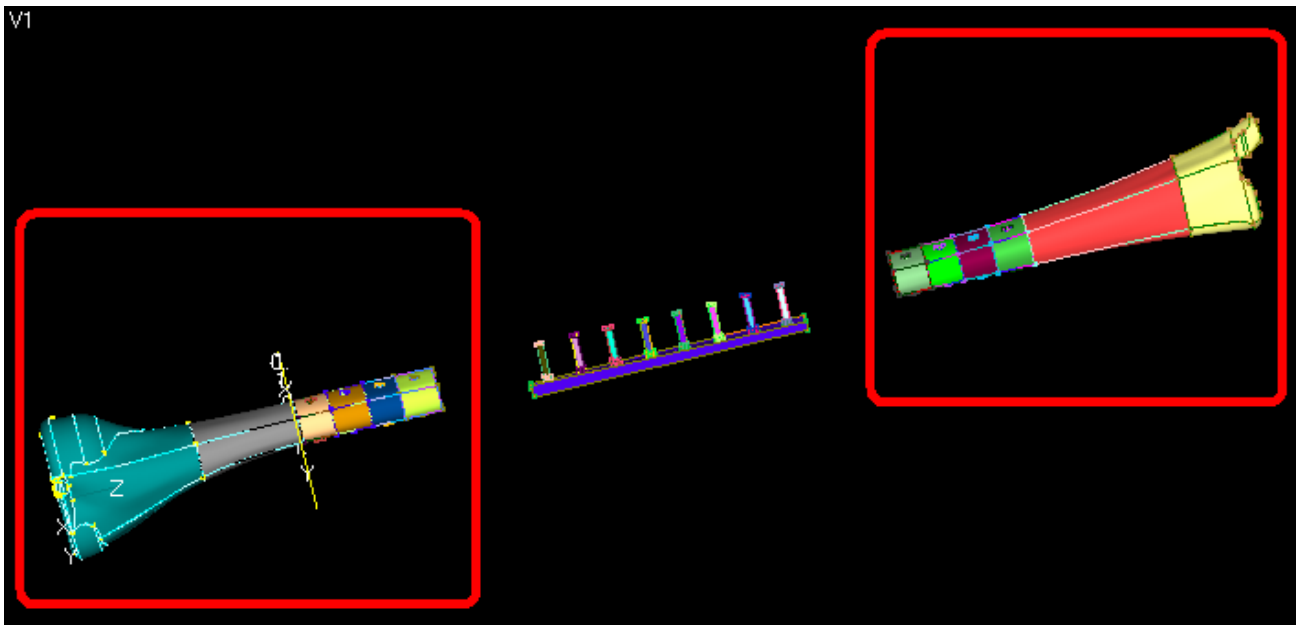


Т.е. перелом совпадает с одним из стыков многочисленных частей одной кости.

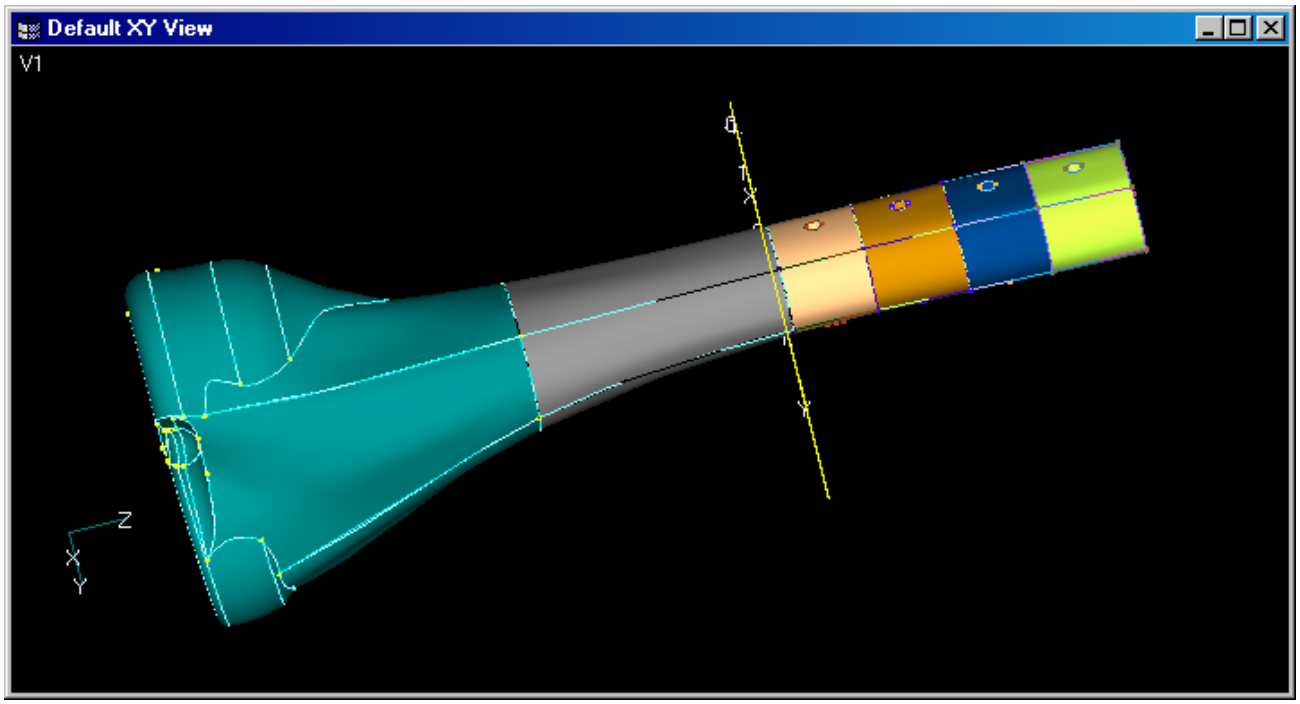
Идея состоит в том, чтобы после меширования всех тел (*mesh = англ. сетка*), перед стадией расчета, объединить совпадающие узлы всех стыкующихся поверхностей одной кости, кроме поверхности разлома. В таком случае, стека кости будет подразумевать два тела, которые в области перелома расположены близко, но не являются одним телом. И в таком случае, крутящая нагрузка с одной стороны кости, будет передаваться на вторую часть поломанной кости не через стволовую часть кости (*что происходит в целой, не поломанной кости*), а через фиксирующую пластину, которая служит «шиной» между двумя поломанными частями одной кости.

Но вернемся к процессу стыковки разных тел.

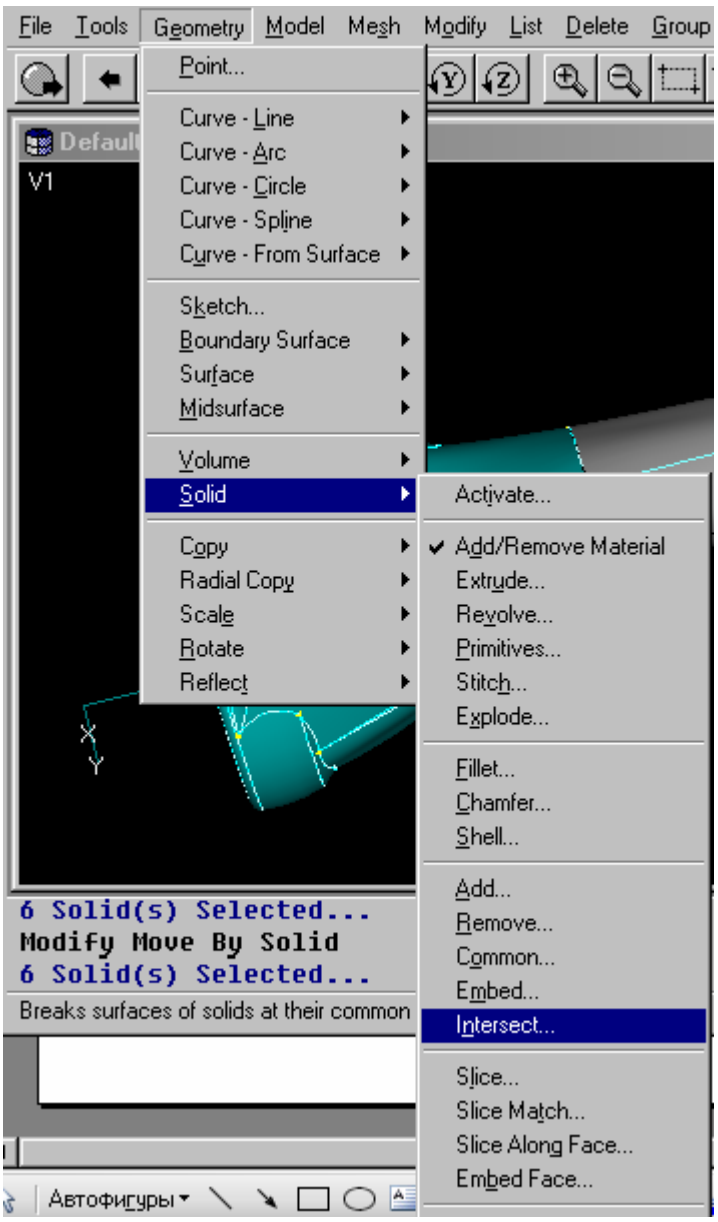
Исходя из вышесказанного, все части одной целой половины кости должны быть созданы воедино. А геометрия сейчас говорит об наличии 6-ти тел:



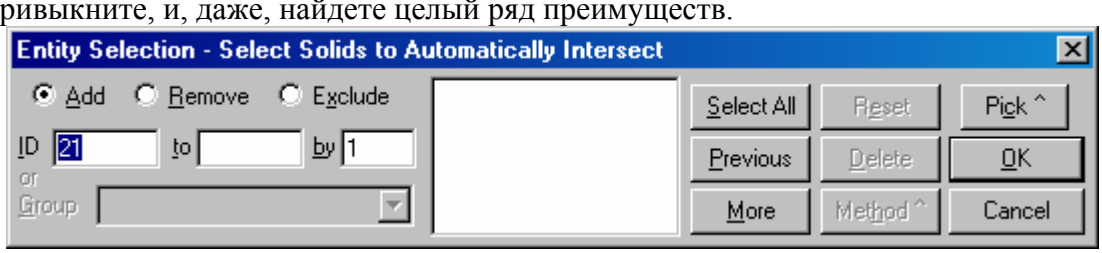
Это (*и другая, такая-же*) должны быть ОДНОЙ половинкой поломанной кости:



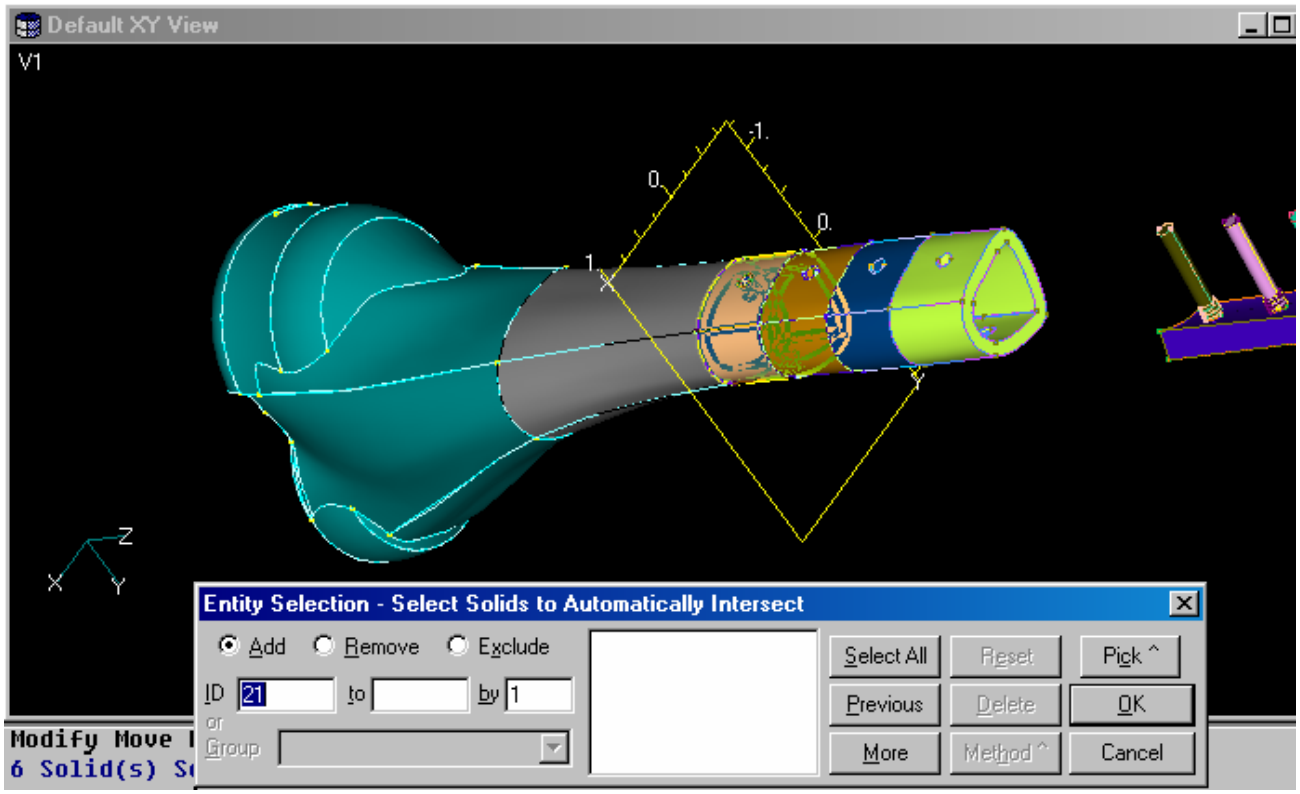
Для последующего выполнения общей стеки, на поверхностях стыка разных тел следует выполнить следующую операцию:



В результате чего, появляется обычный для FEMAP-а диалог. В дальнейшем, Вы к нему привыкните, и, даже, найдете целый ряд преимуществ.

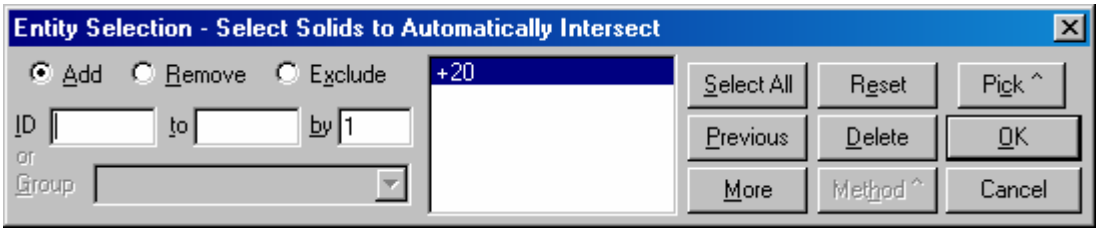


После появления этого диалога, вы можете выбрать необходимые тела (*что, собственно, говориться в имени этого диалога*), в которых будут отыскиваться совпадающие участки поверхностей, и на них создаваться необходимые ОБЩИЕ поверхности меширования.



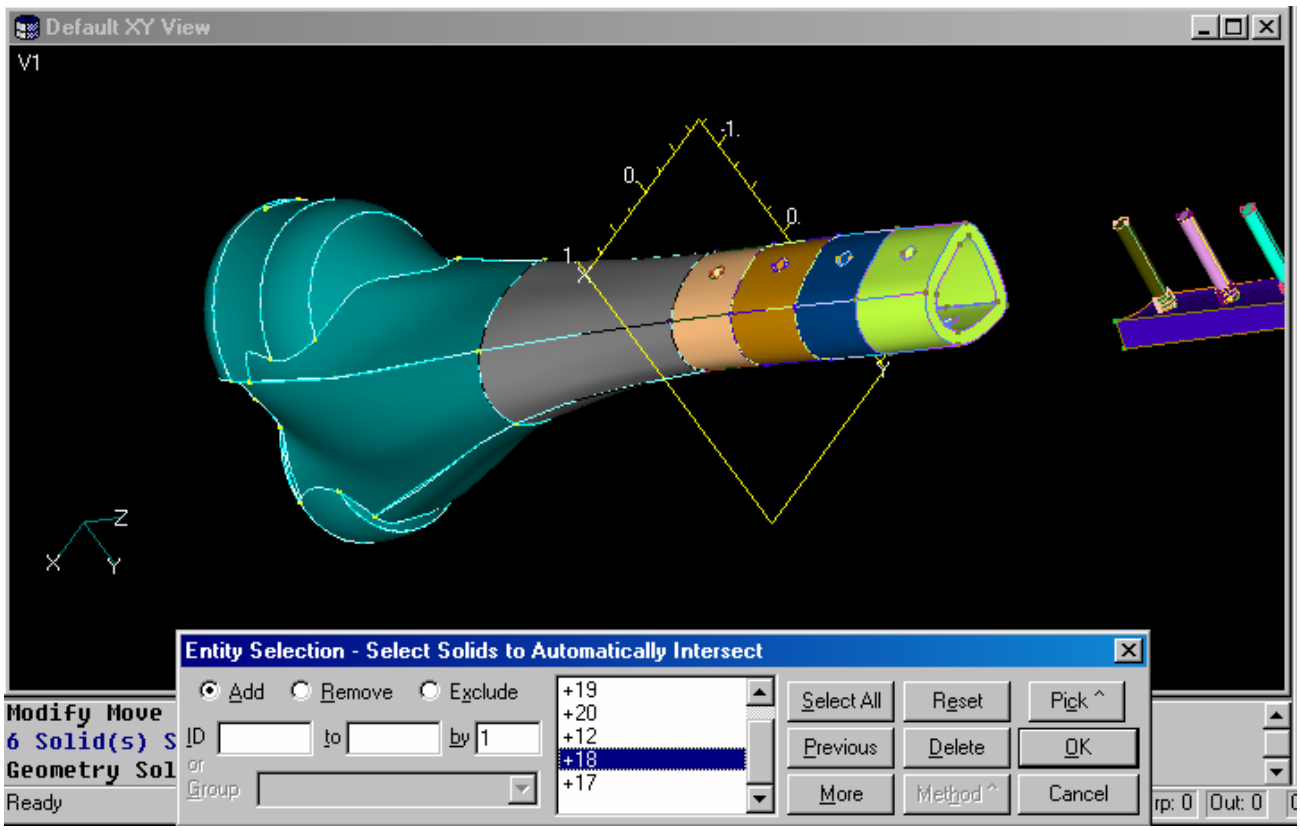
Должен предупредить, что в некоторых случаях, выбор объектов, в FEMAP-е, является не совсем простой задачей. Иногда, один объект, расположенный за массой других объектов, очень трудно выбрать, даже не смотря на вращение вида на модель. Иногда, порой, оказывается проще – предварительно перед выбором, временно переместить один объект от других (*специальной командой*), чтобы другие не сильно мешали выбору объектов (*например поверхностей*) на нем.

Выбор объектов осуществляется после его «захвата в фокус», что можно видеть на рисунке выш е(*подсвечиваются контуры*, *после подведения мышки к* ***некоторой точке объекта***). Нажав левую кнопку мышки, номер выбранного объекта попадает в список:



При необходимости, для его обратного выбора, следует выбрать номер из этого списка, нажать **Delete**.

В нашем случае, необходимо выбрать сначала эти 6 тел для одной половины поломанной кости:

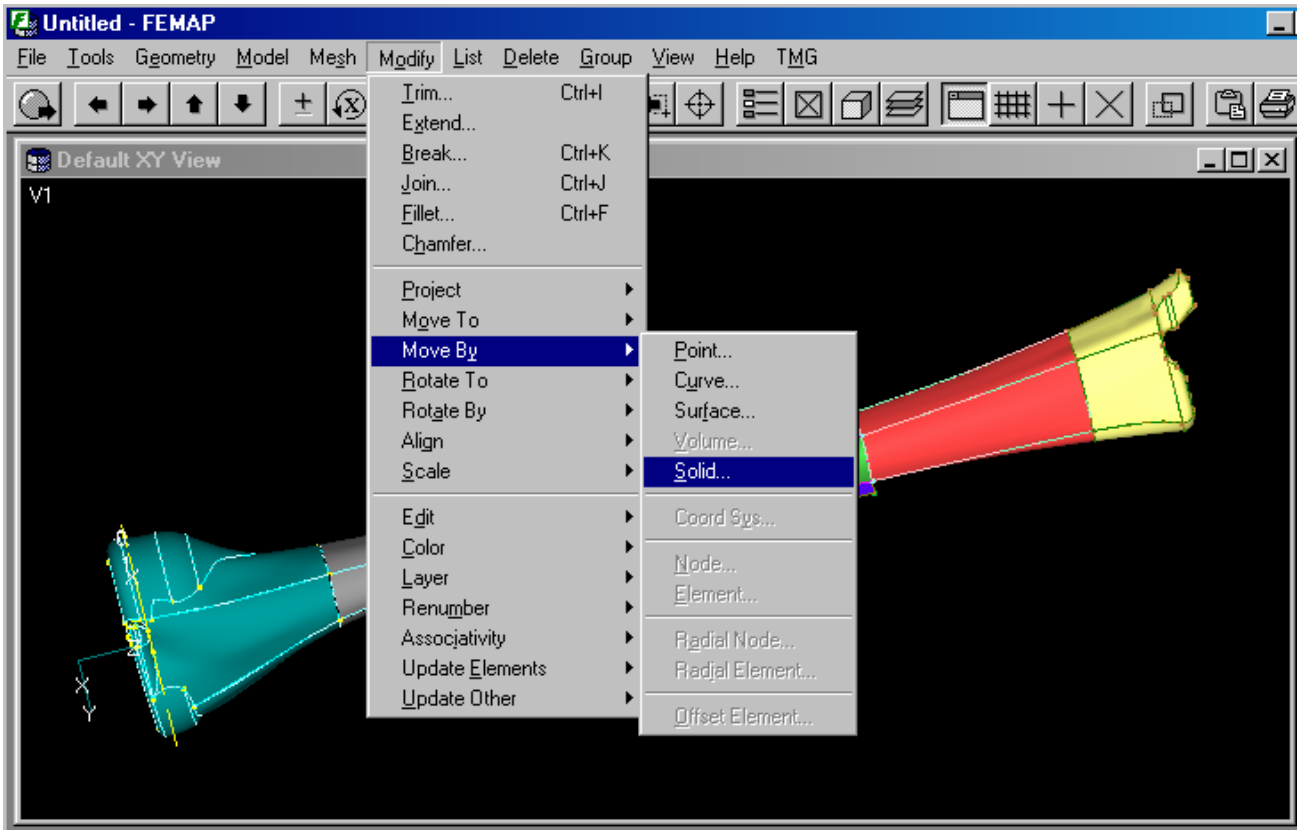


Ну, и для оставшихся тел половинки кости провести аналогичную операцию.

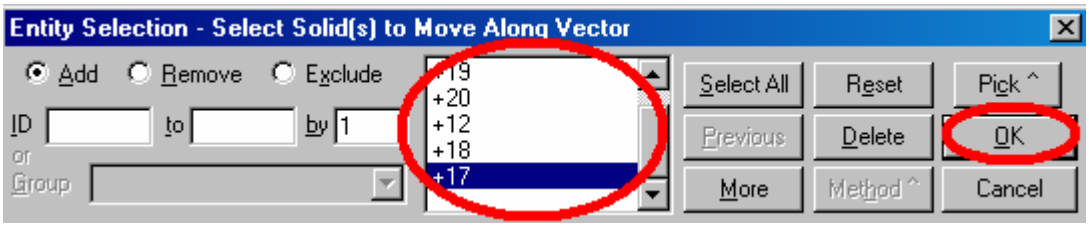
Примечание: С некоторого момента этого обучения, на рисунках вы могли видеть тела кости разнесенные друг от друга (*при этом тела винтов и пластины остались на месте*). Для этого, я воспользовался неуказанной сейчас в описании функцией переноса объектов.

По поводу примечания, я поясню:

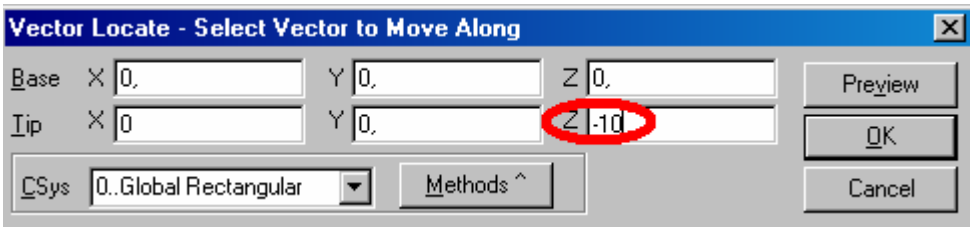
Выбираем пункт меню (*переместить тела*):



Выбираем перемещаемые тела (*первые 6 тел одной половинки поломанной кости*):

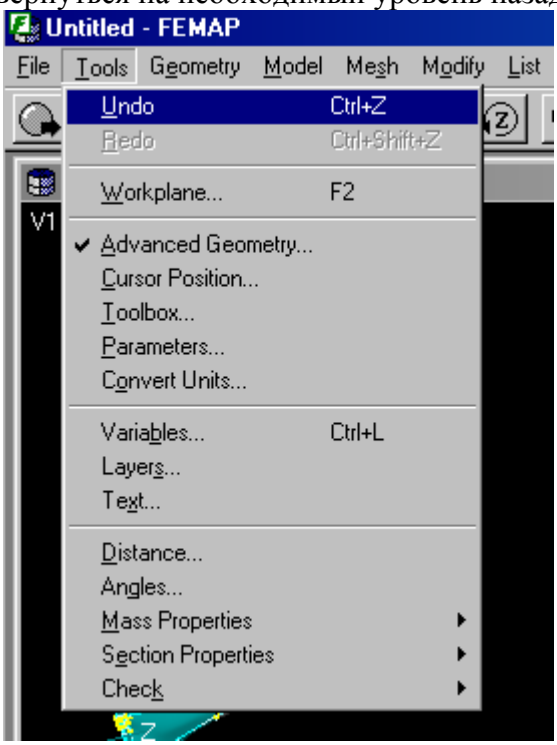


Указываем начальную и конечную точки перемещения (*в нашем случае все просто: от нуля, до 10, в направлении против оси Z*)



Ну, и другие 6 частей кости, так-же, только в направлении оси Z…

Пока что, самое трудное было выбрать объекты, ну, и, конечно, не допускать оплошностей. Кстати, FEMAP имеет средства возвращаться от ошибок… Отмена операций всегда может помочь Вам вернуться на необходимый уровень назад.



Но запомните, если Вы сохранили модель (*что всё-же стоит время от времени делать*), стек отмен операций сбрасывается. По этому, перед очередным сохранением, лишний раз проверьте – не следует ли вернуться на шаг назад?!

Итак, если Вы дождались окончания операции необходимой сшивки разных тел одного мешируемого тела, переходим к следующему этапу…

5. Определение свойств материалов

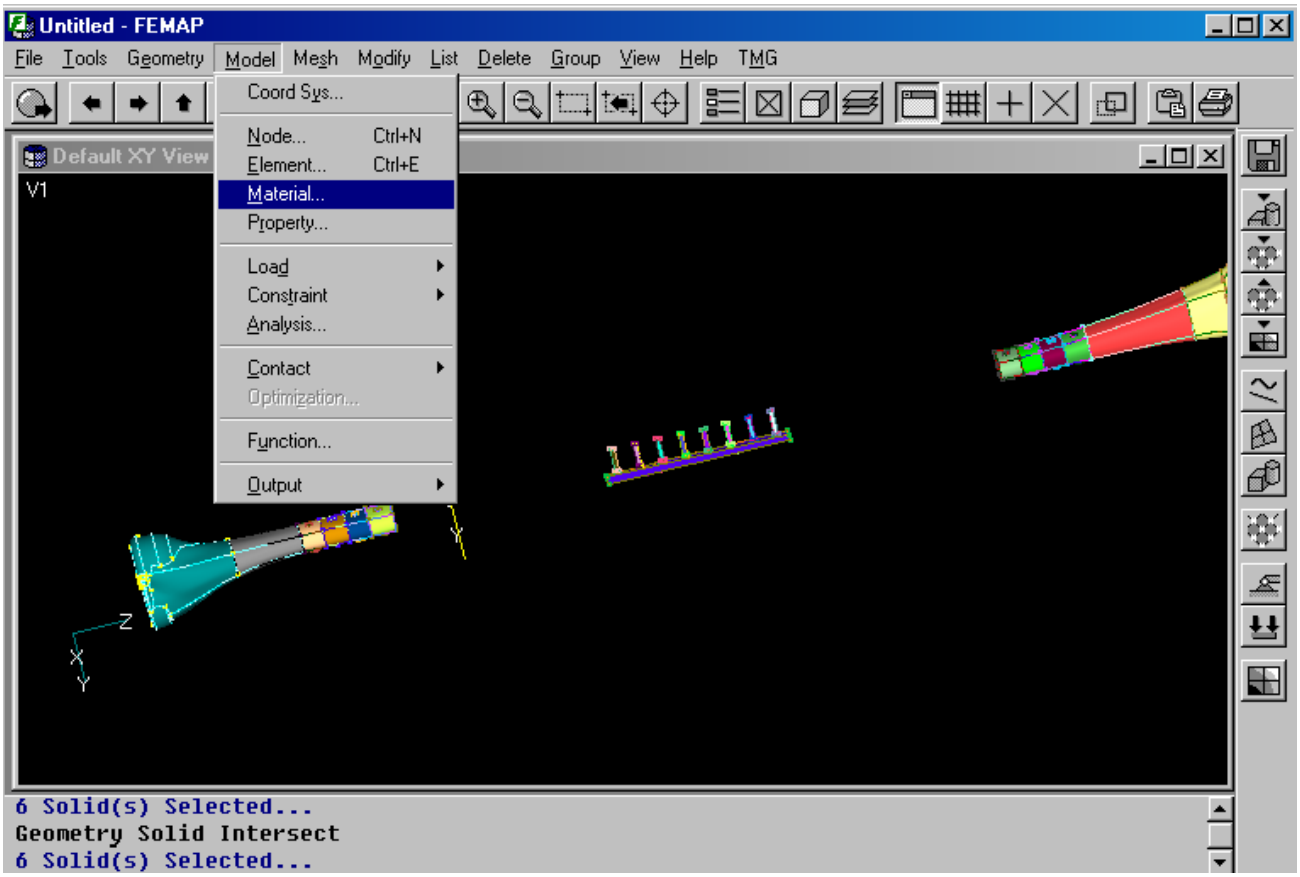
Сразу следует поправить название этого раздела - тут будет идти речь не об отыскании свойств используемых материалов, а о присваивании отдельным телам некоторых **индексов**, которые будут соответствовать отдельным материалам. Далее (*например в ANSYS-е*), по этому **индексу** Вы сможете выбирать группы тех или иных элементов, относящихся к конкретным телам, задать им конкретные величины свойств материалов, ну, собственно, и всё. Этого нам вполне хватит.

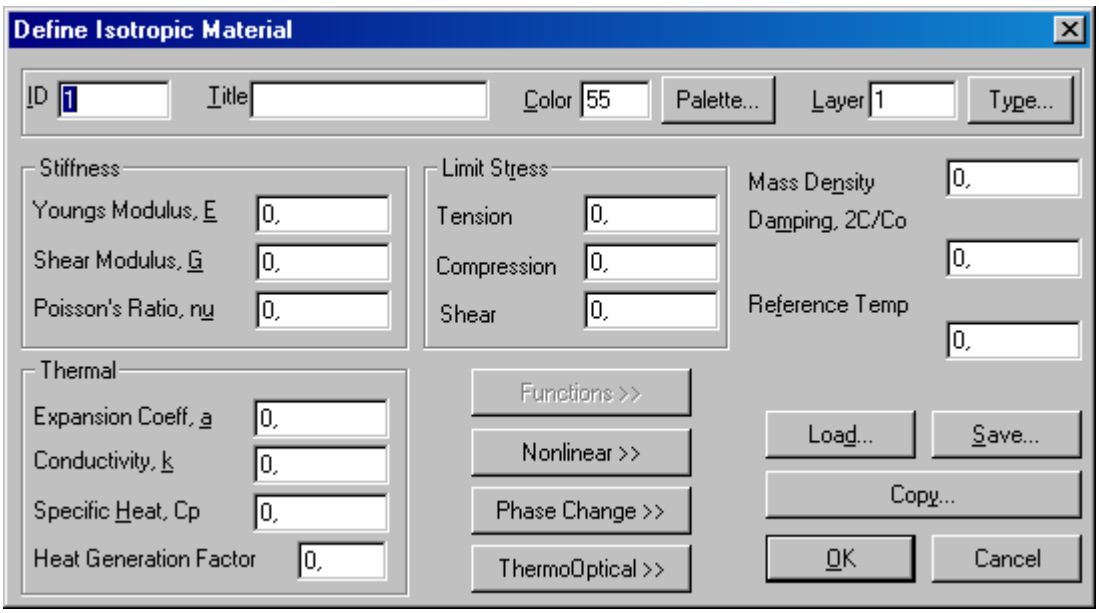
Итак, сначала подумаем – сколько у нас в модели будет различных тел? Я имею в виду – сколько будет существовать различных категорий тел? Я выдумал следующую классификацию:

- кость;
- пластина;
- винты;

Вы можете выдумать иную, например кость (*в моей классификации*) разделить на ***кость_1*** и ***кость_2***. Это, в последствии, поможет Вам демонстрировать результаты расчетов сначала одной части поломанной кости, а потом другой, причем раздельно, выбирая отдельную группу элементов. При этом, конкретные величины свойств материалов для этих частей костей, могут оставаться одинаковыми! В конце концов, одно слово мы можем написать как на заборе, так и не двери – смысл слова от этого, не поменяется.

В моей классификации, должно создаваться 3 типа материалов, для кости, пластины и винтов соответственно. Для создания каждого материала, вызываем диалог:



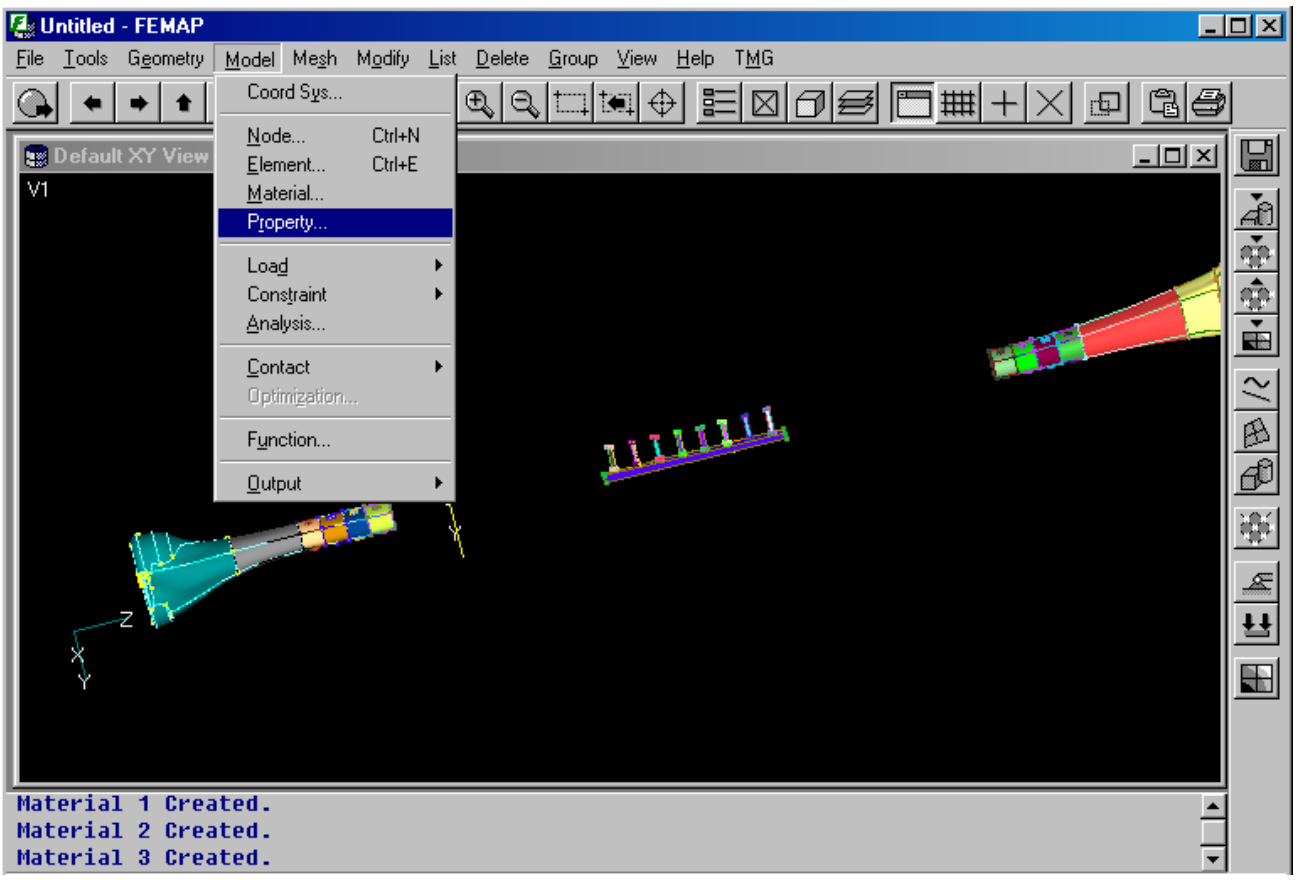


В принципе, конкретные величины свойств отдельных материалов можно не задавать. Нажимайте «ОК», пока не создадите последний, 3-й материал. После его создания, нажмите «Cancel». В памяти FEMAP-а созданы и сохранены 3 материала. И мы их можем использовать!

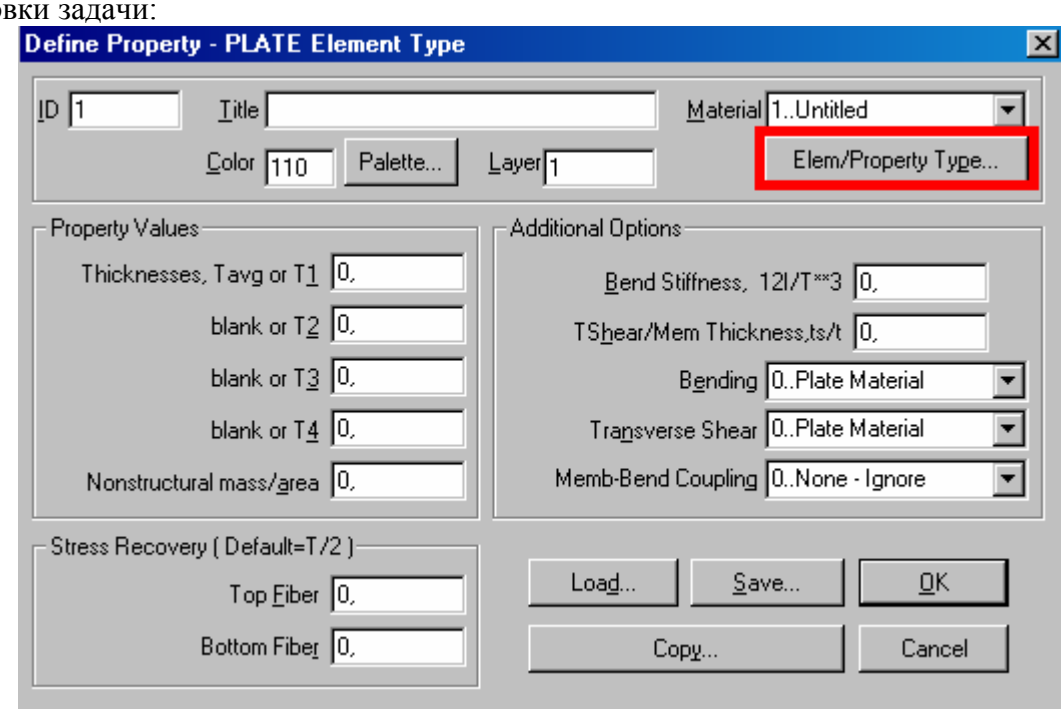
Но перед использованием созданных материалов, нам следует позаботиться о КЛАССЕ ЗАДАЧИ которую нам следует будет решать. Скажу проще: нам необходимо решать 3-х мерную задачу. И элементы, которые будут создаваться, должны быть 3-х мерными. Что, в принципе, очевидно. Но, к сожалению, есть еще и неочевидные вещи. По этому, нашим телам невозможно задавать просто индексы свойств материалов. Телам, перед их мешированием, можно задавать свойства элементов, на которые потом, они будут разбиваться. А свойства создаваемых элементов, уже, должны содержать свойства материалов.

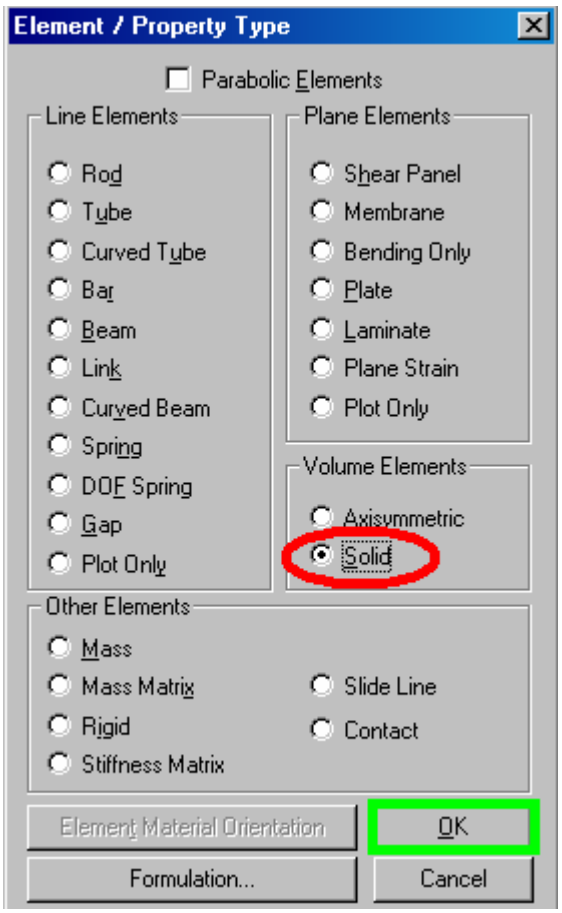
Проще говоря – свойства материалов необходимо указать в создаваемых еще свойствах элементов.

Итак, создадим 3 свойства элементов (*каждое свойство элементов, содержит свое свойство материалов*):

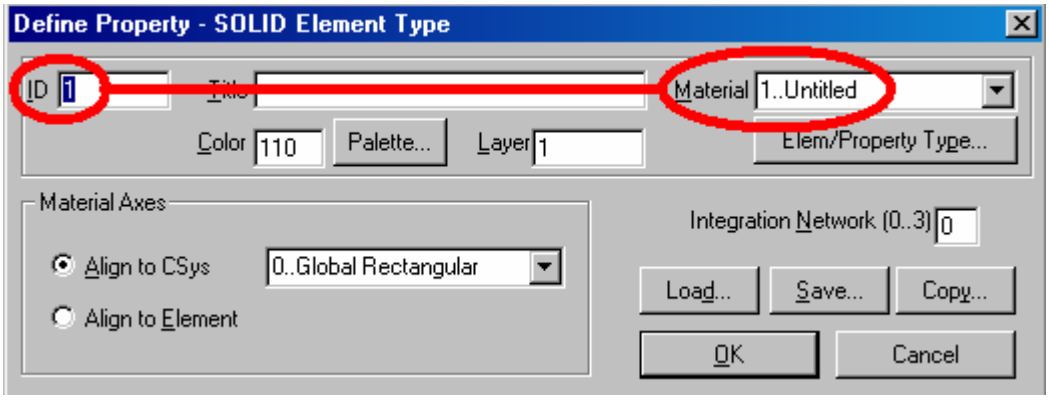


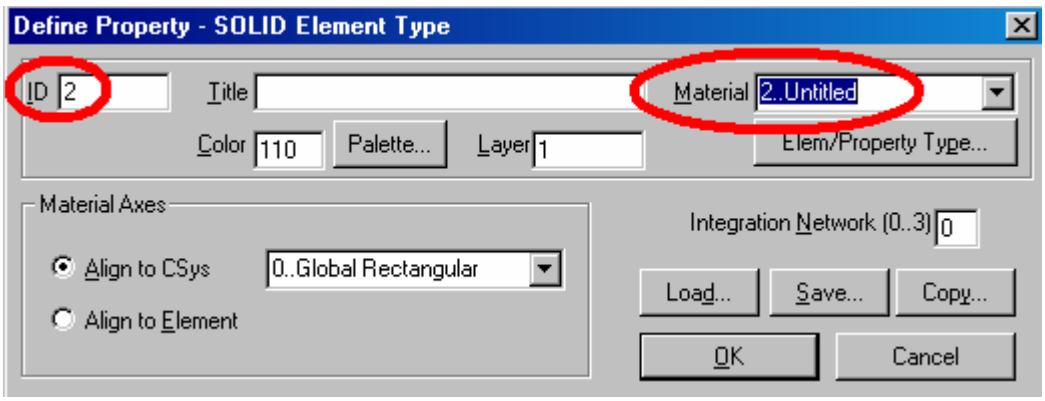
Но перед тем как жать «ОК», установите необходимые свойства 3-х мерной постановки задачи:

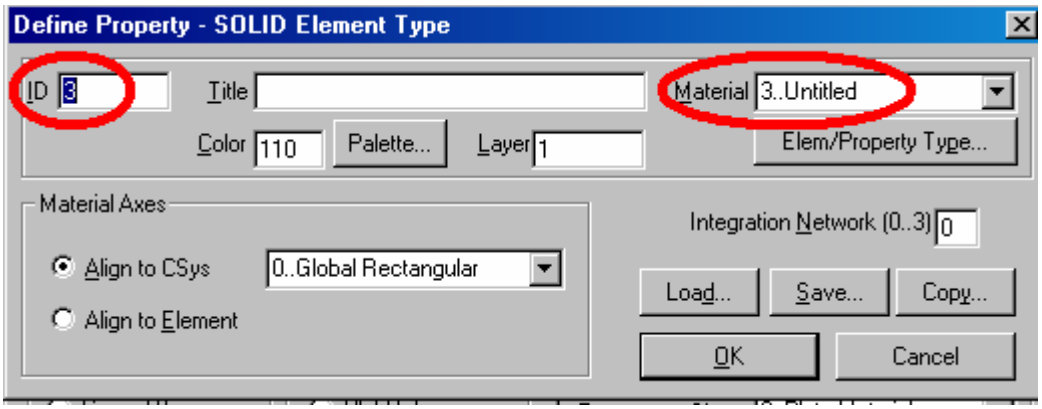




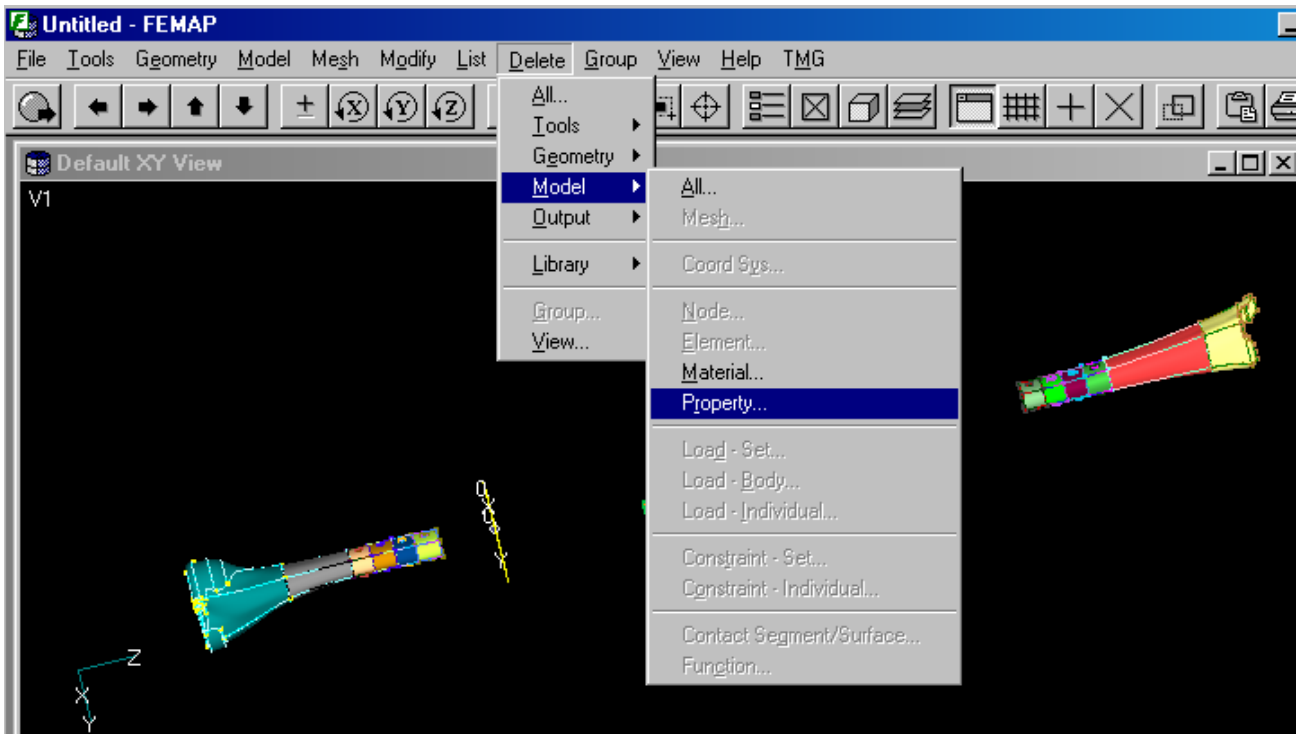
И потом, соответственно с выбираемым номером созданного свойства материалов, создавайте свойства элементов:







В случае необходимости, вы можете удалить созданные свойства, как, в принципе, и не только свойства:

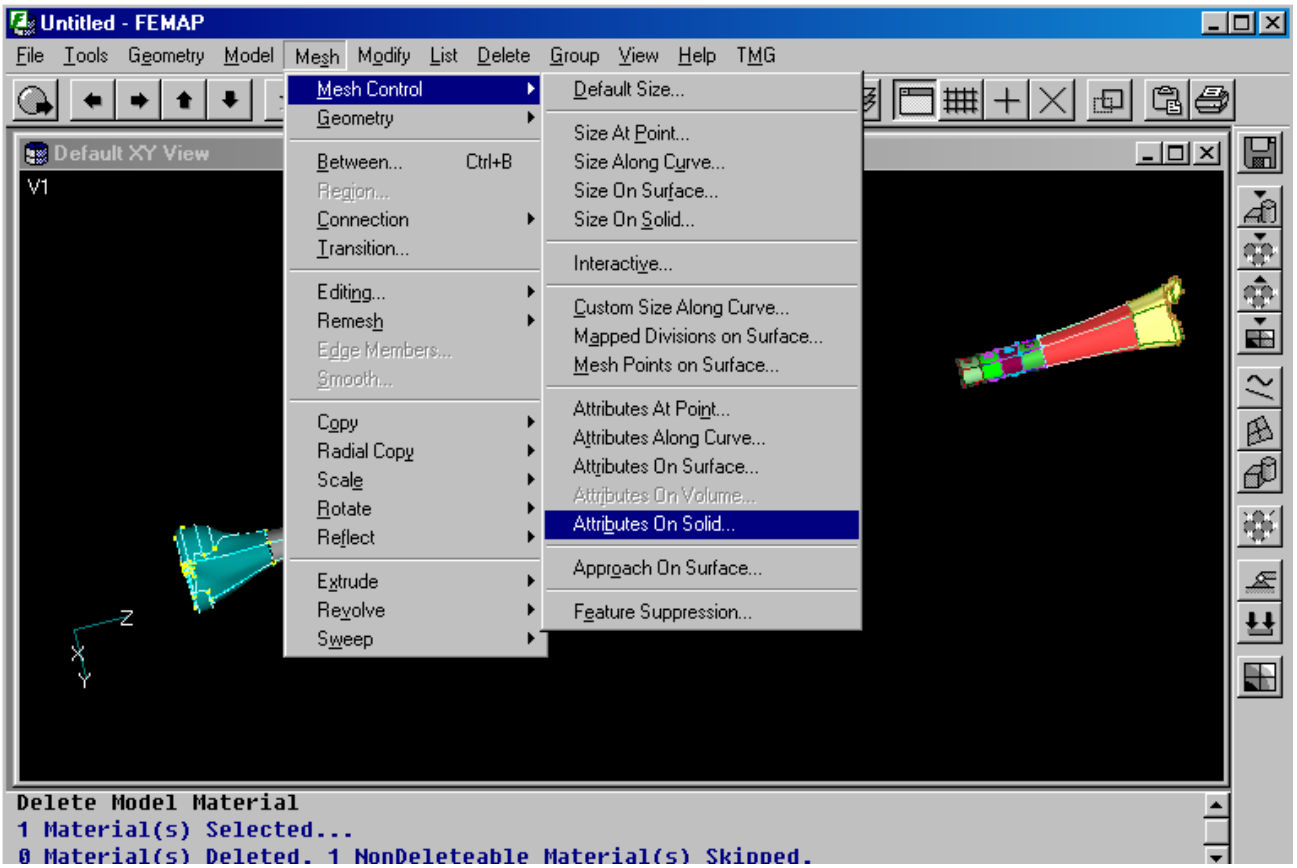


Но нужно понимать, что в связи с наличием некоторой иерархии объектов, отдельные объекты не смогут удаляться, т.к. от них могут являться базовыми для других, созданных позже объектов. Например, если после создания свойств элементов, Вы решите удалить свойства материалов, на которые ссылаются созданные позже свойства элементов, FEMAP запретит Вам операцию такого удаления.

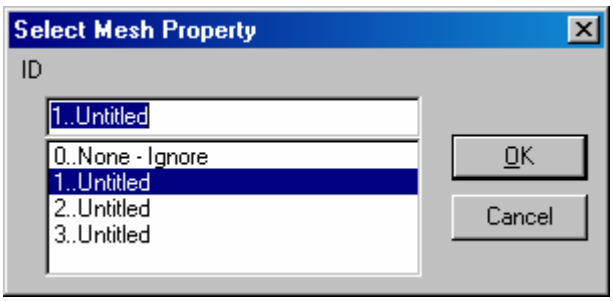
Итак, свойства элементов, базирующиеся на конкретных свойствах материалов, созданы. Остается присвоить эти свойства отдельно-взятым телам.

Напомню, что для кости мы выбрали свойство, отвечающее индексу – 1, для пластины - 2, и для винтов – 3.

Для присвоения отдельно-выбранным телам некоторого свойства элементов, вызовем диалог:

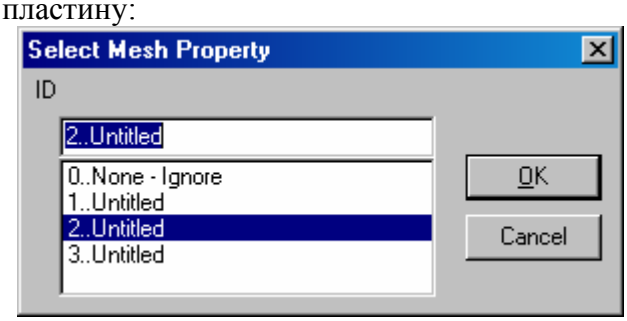


Выберем все тела, составляющие тело кости (*т.е. в принципе, отвечающие 1-й группе моей классификации*), и в диалоге выбора нажав «ОК», перейдем, собственно, к установке необходимого свойства элементов:

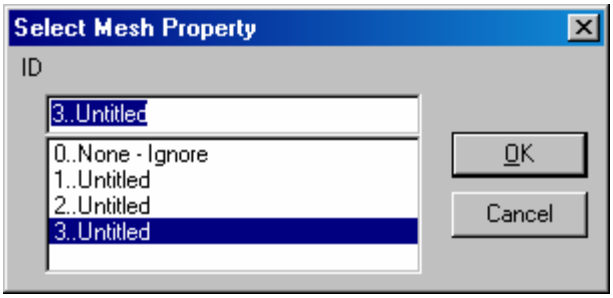


Как вы и сами видите, свойство я выбрал правильное☺. Значит жмем «ок»!

Далее выбираем пластину:

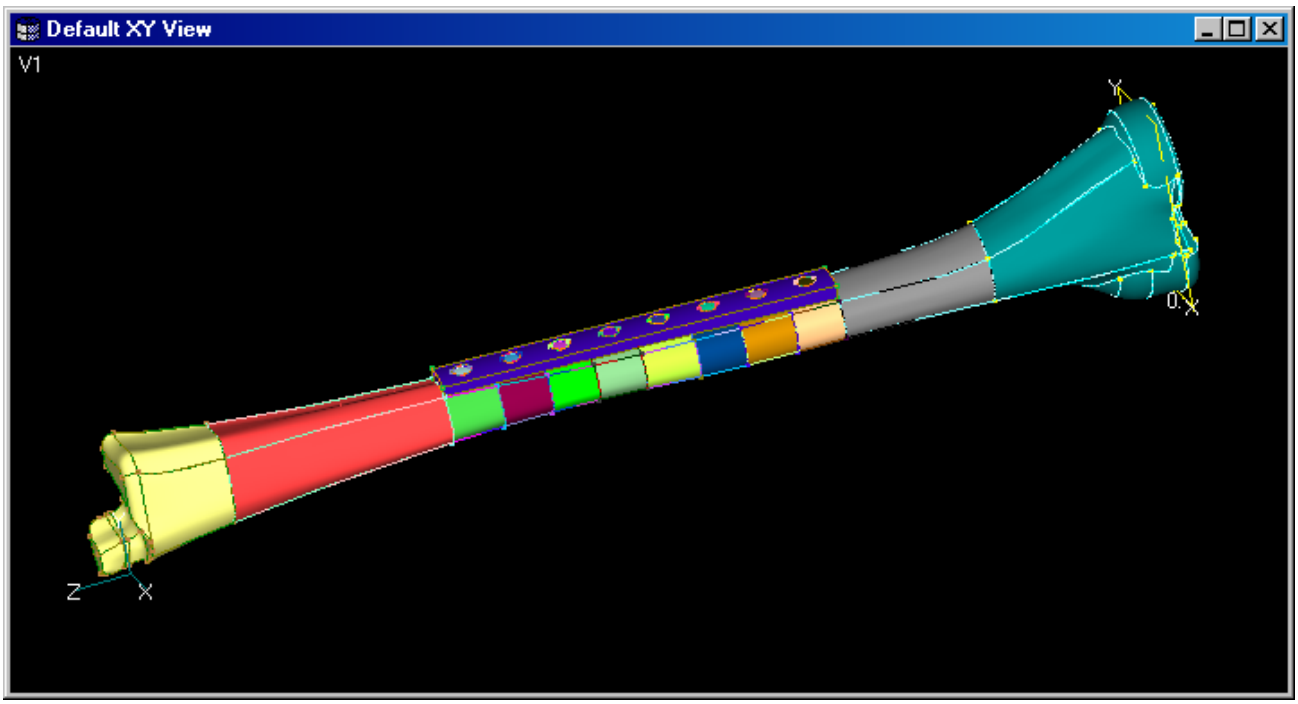


И все винты:



По завершению выбора, нажав 3-й раз «ОК», жмем “Cancel”.

Теперь, кроме объединения по общим поверхностям тел двух разных частей поломанной кости, задания им индексов своих материалов, мы бы могли перейти непосредственно к созданию сетки. Прошу прощения, перед созданием сетки, конечно, нужно вернуть разнесенные по сторонам поломанные участки костей в обратное положение. Надеюсь Вы не забыли, в каком направлении и на сколько мы перемещали эти участки?



Но, это еще далеко не всё! До начала расчета еще половина пути…

6. Создание контакта

Контакт - по природе, задача, которая рассчитывает пересечение поверхностных элементов. Т.е. мы интуитивно можем себе представить, что на поверхностях создаваемых 3-х мерных элементов, будут расположены поверхностные элементы. Эти элементы будут рассчитывать взаимопересечение, и в случае его наличия, вызывать некоторую реакцию.

Скажу, что еще перед созданием 3-х мерных элементов, для учета контакта, следует выбрать поверхности контактных пар. Например – если бы мы считали лампу, стоящую на столе, контактной парой тут были бы поверхности стола, и поверхность днища лампы. Если мы не предполагаем появление контакта между некоторыми поверхностями в процессе расчета деформации, то эти поверхности не следует рассматривать как контактные пары. Дело в том, что чем больше элементов рассматривается в контактных парах, тем «труднее» машине будет посчитать такую задачу. Т.е. не следует злоупотреблять возможностью рассмотрения контактной задачи, если есть возможность ее исключить, или хотя бы упростить!

Скажу несколько слов по поводу статического анализа, которому мы подвергнем нашу модель (*слава Богу именно модель, т.к. кость, как мы предполагаем, и без того несчастная*).

Расчет, не учитывающий контакт, является идеализацией поведения тел. Так, взяв например модель подковы (*U-образное тело*), и сдавив его как эспандер, линейный закон Гука (*связывающий деформации и напряжения прямопропорциональной зависимостью*) может показать, что перемещение одной части подковы (*назовем эту часть «ус»*) относительно другой (*при ее сжатии*) окажется больше зазора между этими «усами». В действительности, «усы» подковы должны были бы войти в соприкосновение, и не дать друг другу сжаться больше этого зазора. Но закону Гука (*которому подчиняется наш*

статический линейный анализ) этого сразу не известно! И в таком случае, мы бы получили очевидную ошибку, где «усы» подковы как бы пересекаются друг с другом! Для решения этой проблемы и была выдумана **контактная постановка** задачи.

Для начала определимся – сколько у нас должно быть контактных пар?

Пластина не должна расчтываться слитной с костью, но она и не должна пересекаться с нею. Т.о. между рядом лежащей поверхностью кости и соприкасающейся с костью поверхности пластины должна быть контактная пара.

Далее – между торцами поломанной кости, также должна быть такая пара. Ведь эти торцы могут соприкасаться, тереться друг о друга.

Кроме этого, болты должны держаться своими витками резьбы о соответствующие резьбы в кости. Да и своими шляпками, они должны прижимать пластину к кости.

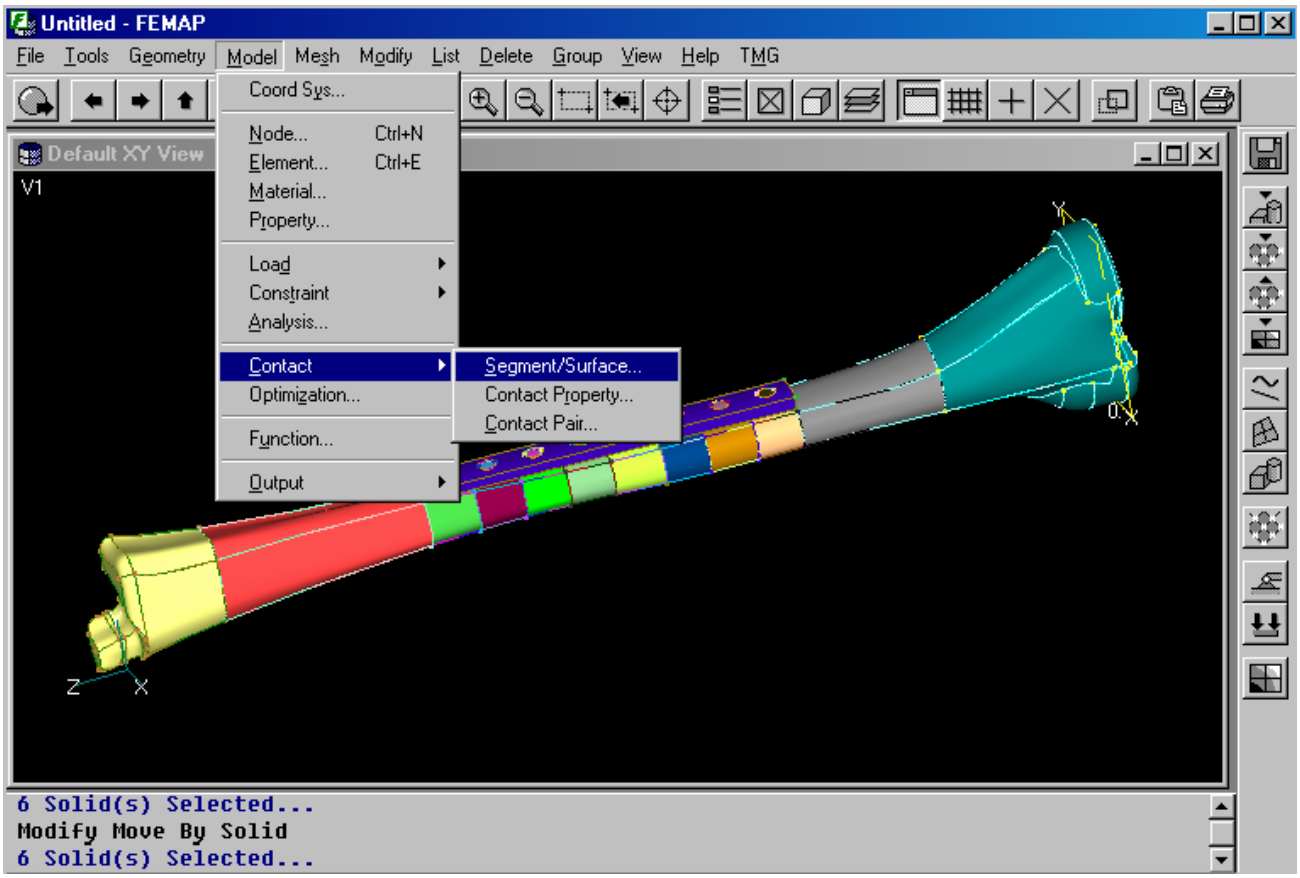
Итак:

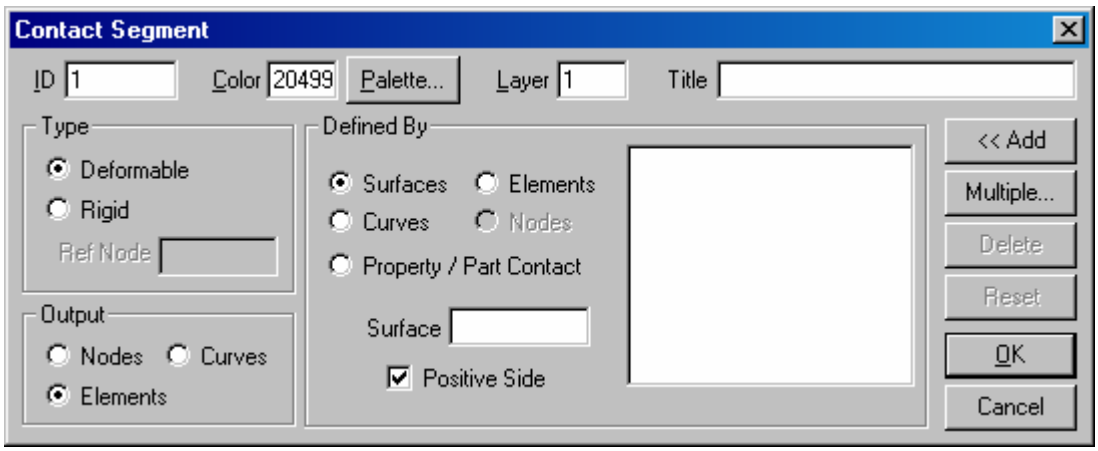
- Кость – пластина;
- Один торец кости – соответствующий торец другой кости;
- Витки болтов – витки в кости;
- Шляпки в болтах – ответные поверхности в пластине;

Т.е. 4 пары, значит 4*2 = 8 групп соответствующих поверхностей.

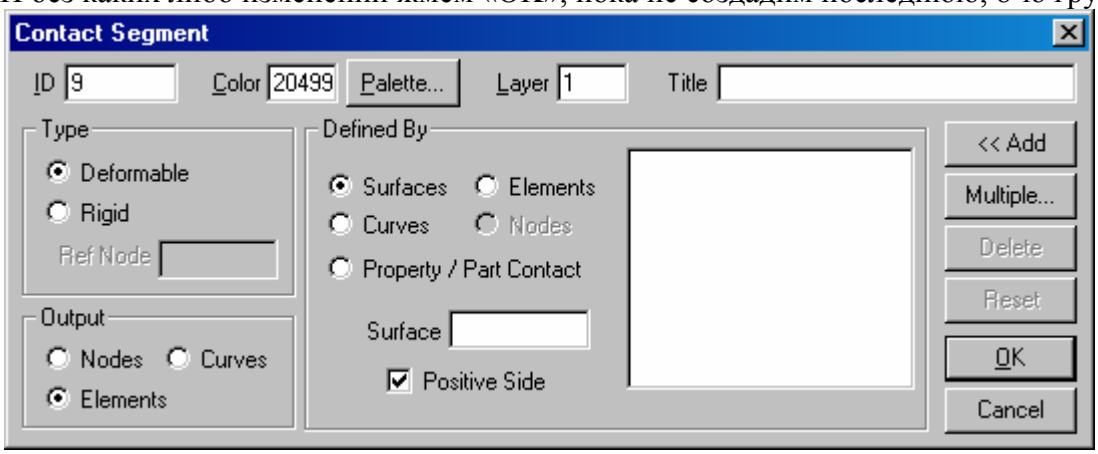
Сначала создадим просто группы. По техническим причинам, поверхности в эти группы будем заносить чуть позже.

Для создания группы поверхностей, вызовем команду:



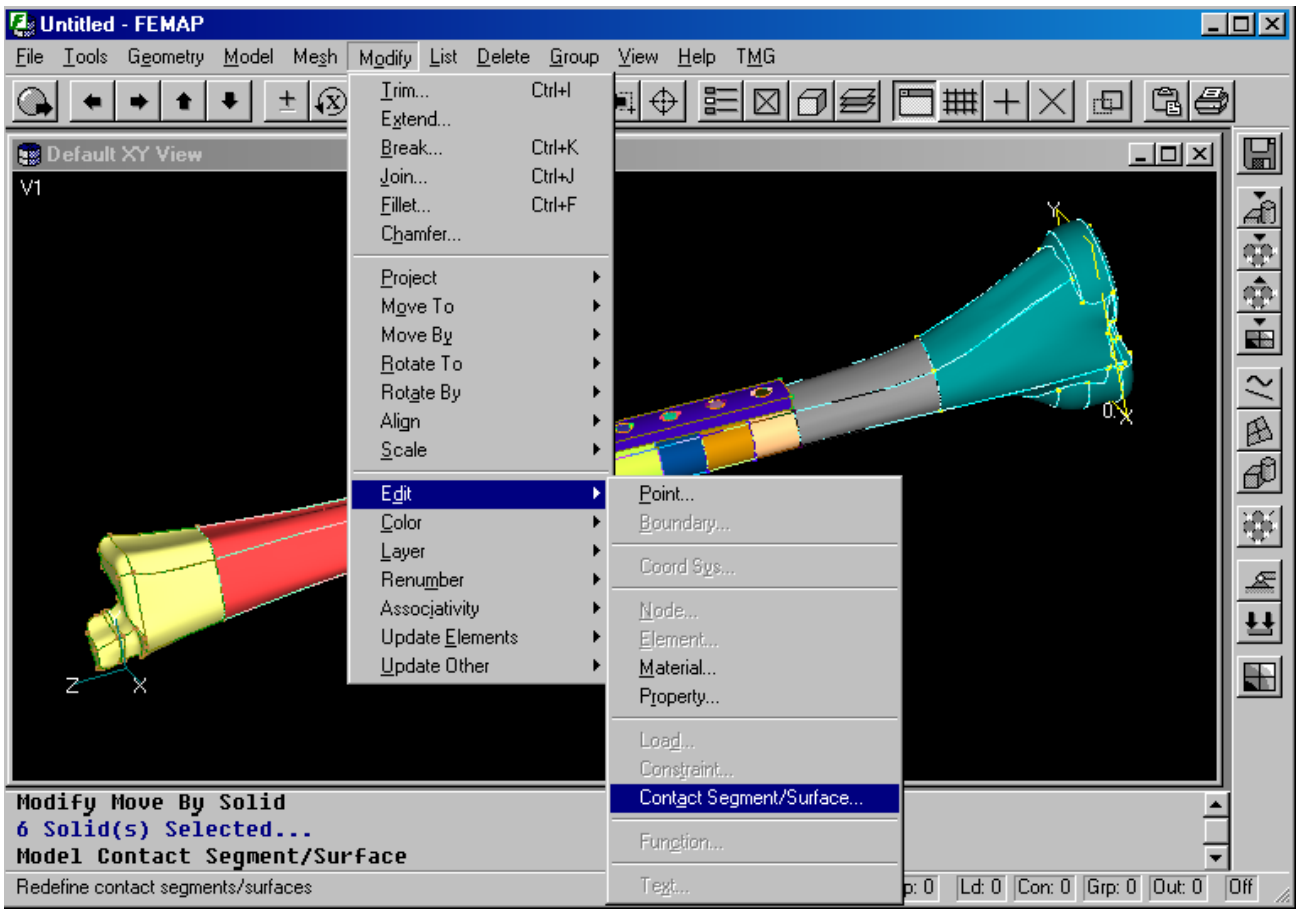


И без каких либо изменений жмем «OK», пока не создадим последнюю, 8-ю группу.

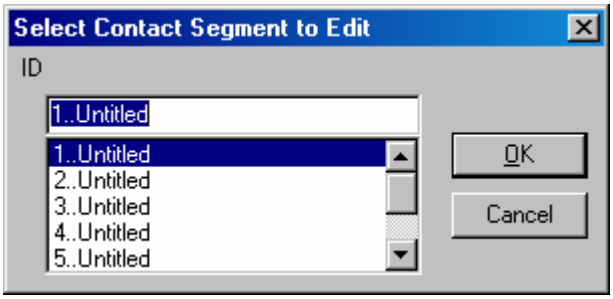


FEMAP собирается создавать 9-ю группу, но мы откажем ему в этом, и жмем «Cancel».

Теперь вызываем команду редактирования групп контактных поверхностей:

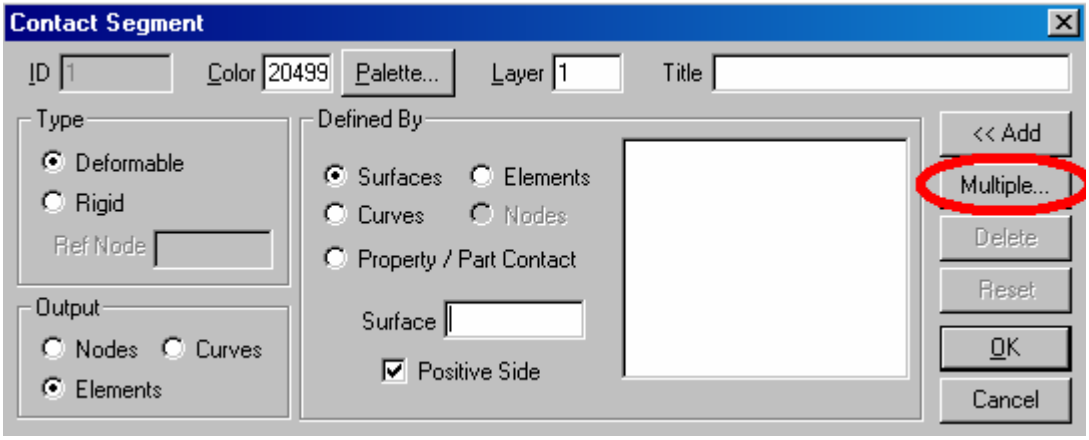


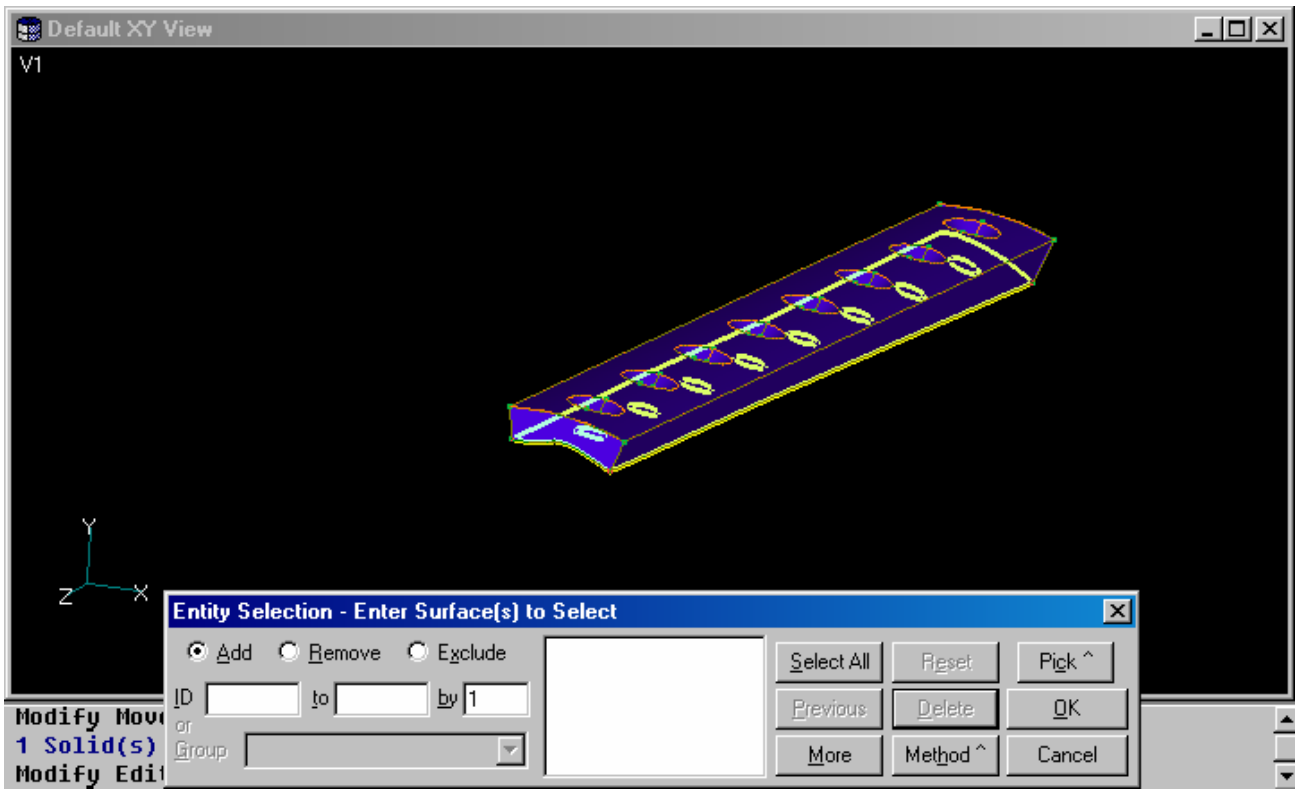
Выбираем редактирование первой группы:



Как мы помним, эта группа относится к паре «пластина – кость». Отнесем к этой группе поверхности пластины:

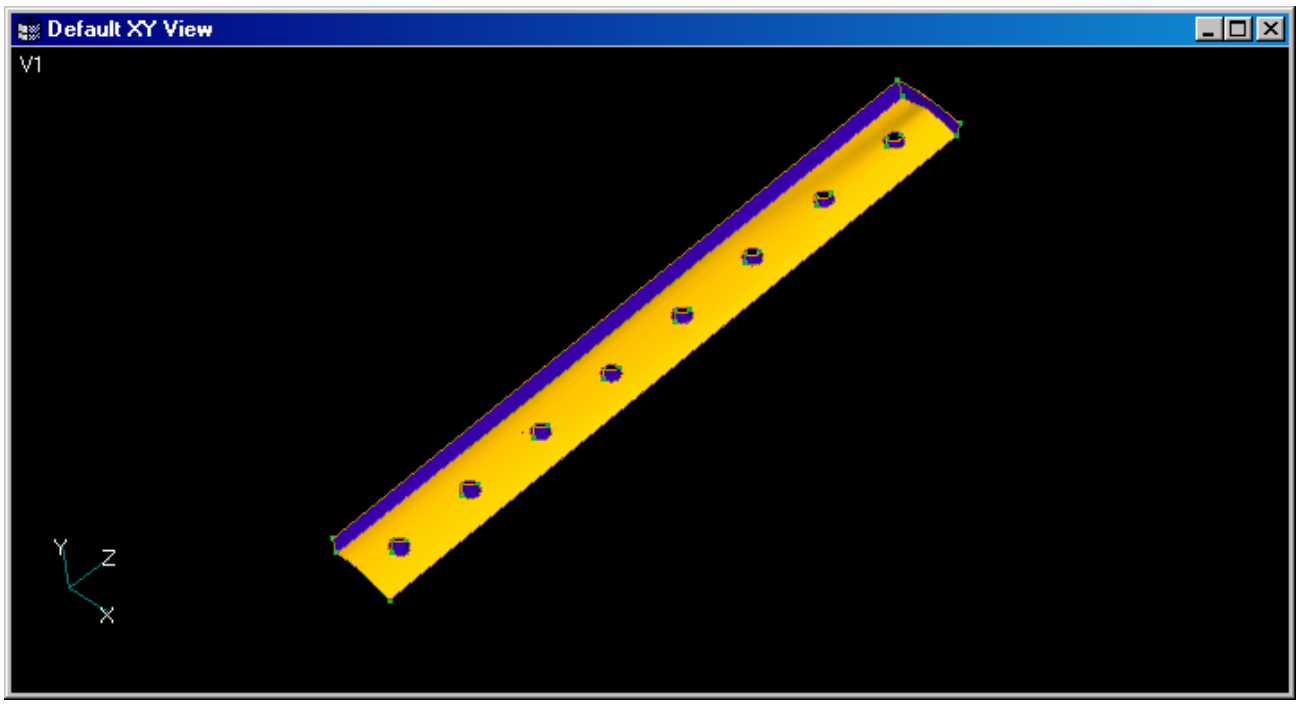
Жмем «ОК» и далее, в представленном диалоге, нажимаем кнопку «Multiple», что позволяет нам в наиболее удобной форме выбрать необходимые поверхности:



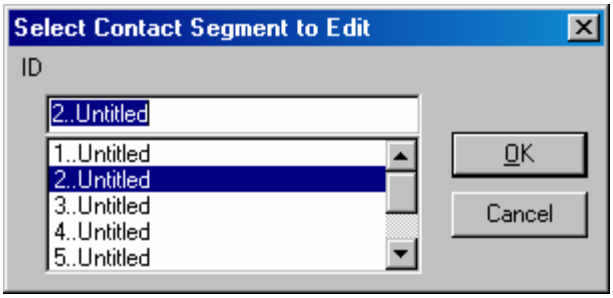


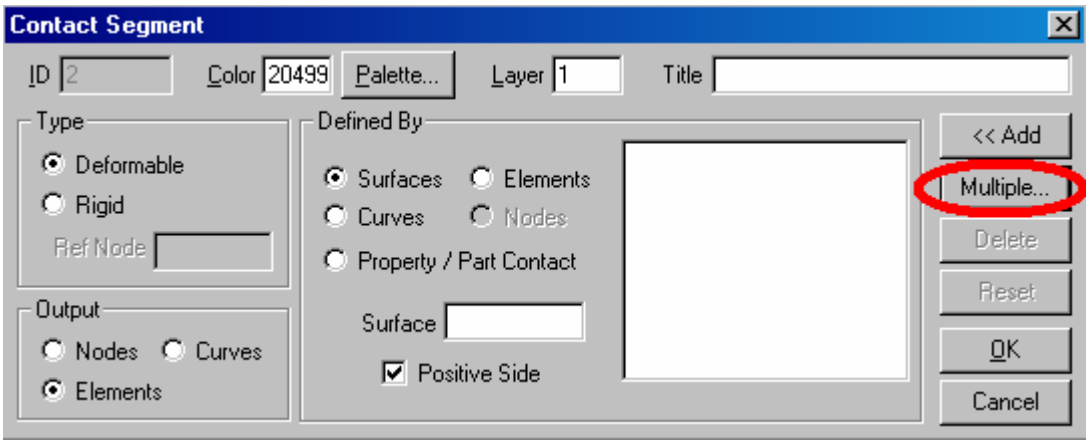
Мне, проще оказалось сместить тело пластины по оси X на 10 единиц и потом выбрать необходимую поверхность. Позже, закончив все выборы, я верну это тело назад.

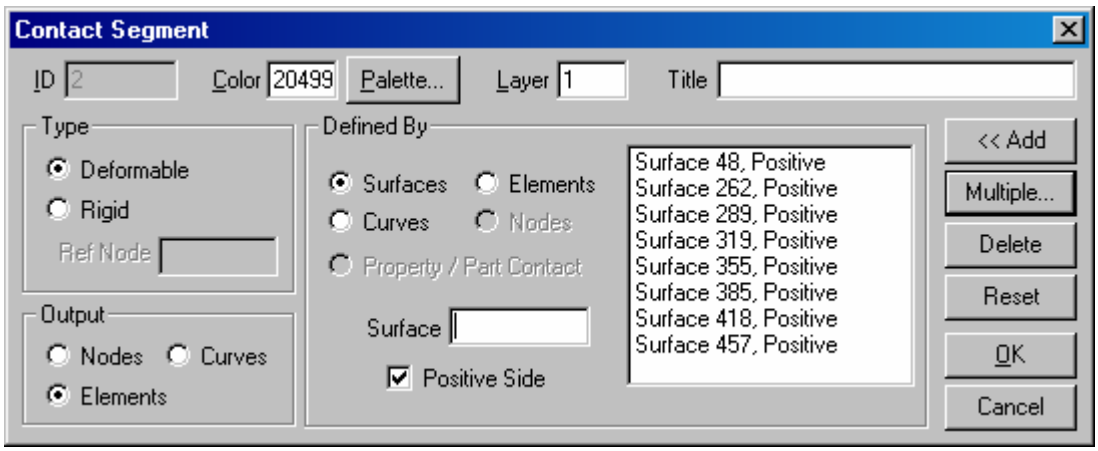
Выбрав поверхность, и нажав «ОК» в первом диалоге, жмем «ОК» в следующем диалоге. Для гарантии, можно убедиться, что именно ТА поверхность оказалась выбранной в группу контактных поверхностей, повернув вид, и заметив ее окрашенной в желтый цвет:



Второй группе поверхностей, аналогичным образом зададим соответствующие поверхности контакта пары пластина-кость но уже со стороны кости.

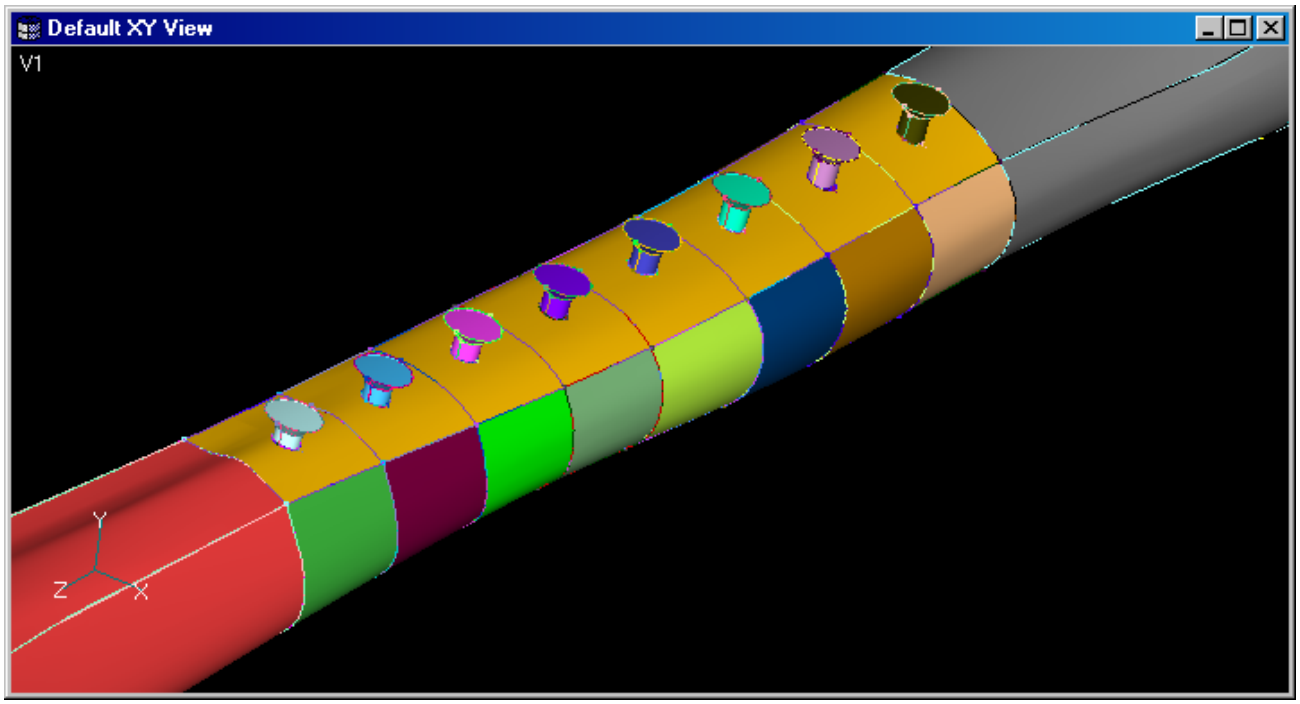






Главное – не хватить лишних поверхностей, упустив нужные…

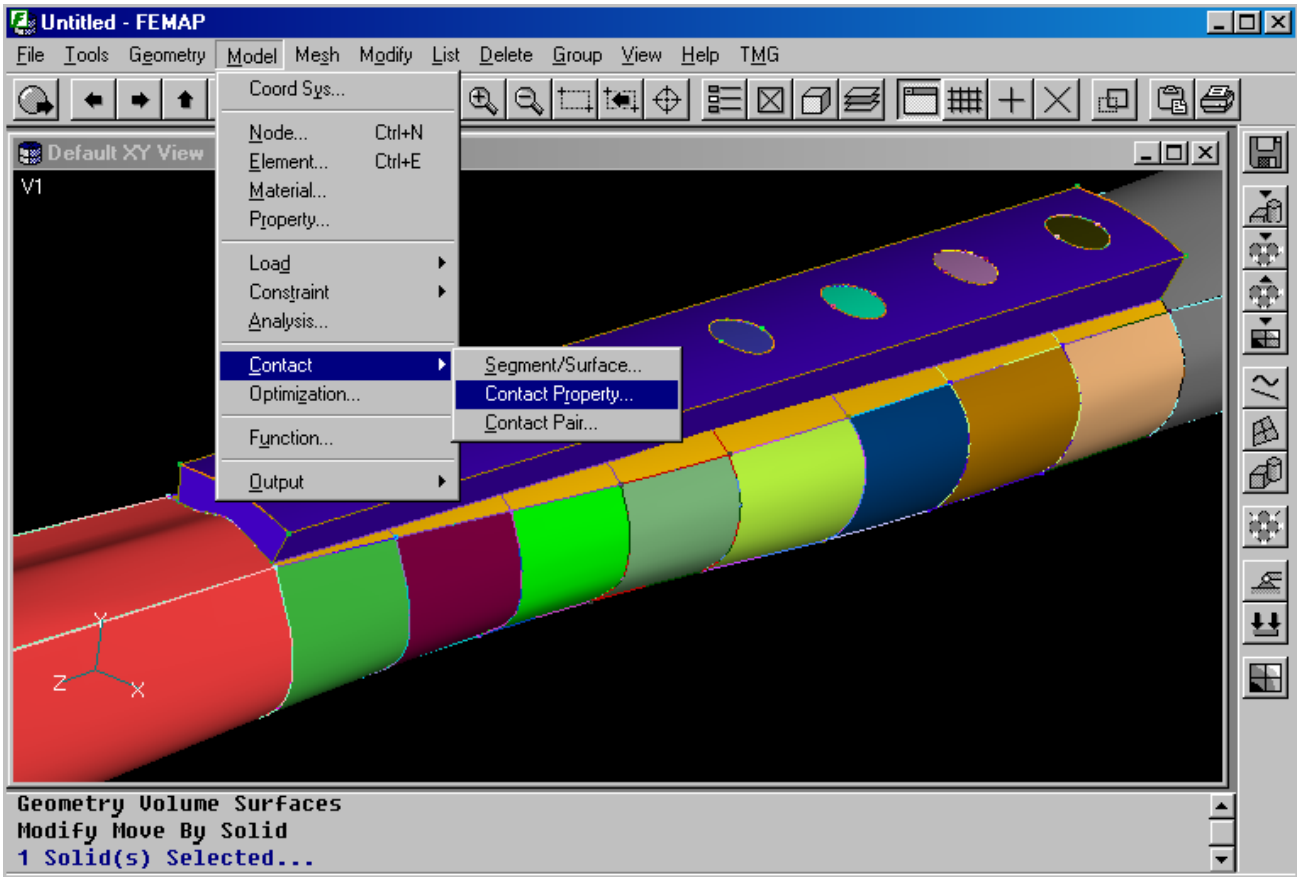
Проверкой будет подсветка поверхностей желтым цветом:



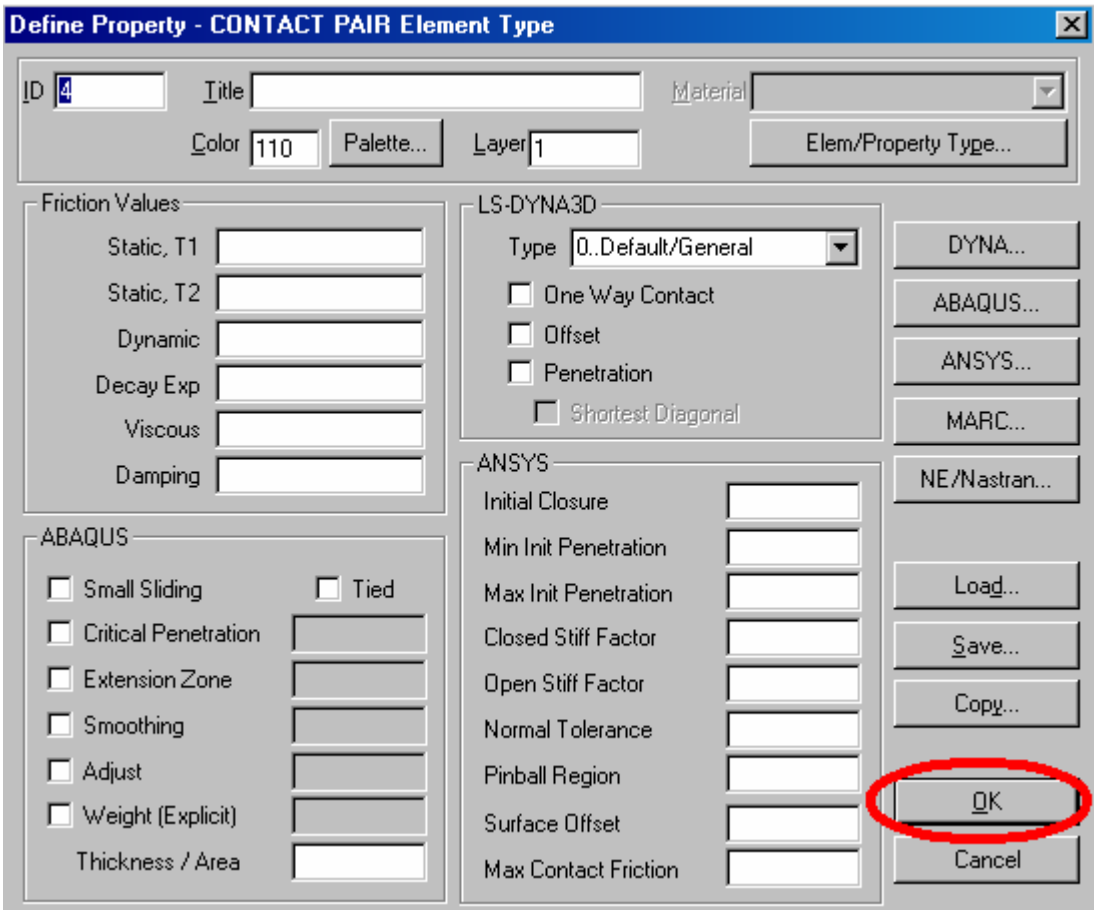
Если произошла какая-от ошибка, не забывайте, что у Вас есть превосходная возможность вернуться на шаг или более назад и повторить операцию более аккуратно.

Итак, предположим, что все группы контактных поверхностей были выбраны…

Создадим одно единственное свойство контакта:



Без каких либо изменений, соглашаемся со всем данными, которые представлены в диалоге, и жмем «ОК»:



После «ОК», жмем «Cancel»

Запомним, что мы создали 4-е свойство, которое соответствует контактам! Позже, когда на основе созданных групп контактных поверхностей, мы будем создавать контактные пары, это свойство (*его номер*) нам пригодиться.

Наконец, мы подошли к созданию сетки…

7. Создание сетки

Скажу сразу, что создание сетки, в отличие от предшествующих этапов подготовки конечно-элементной модели – процесс не рутинный, а творческий.

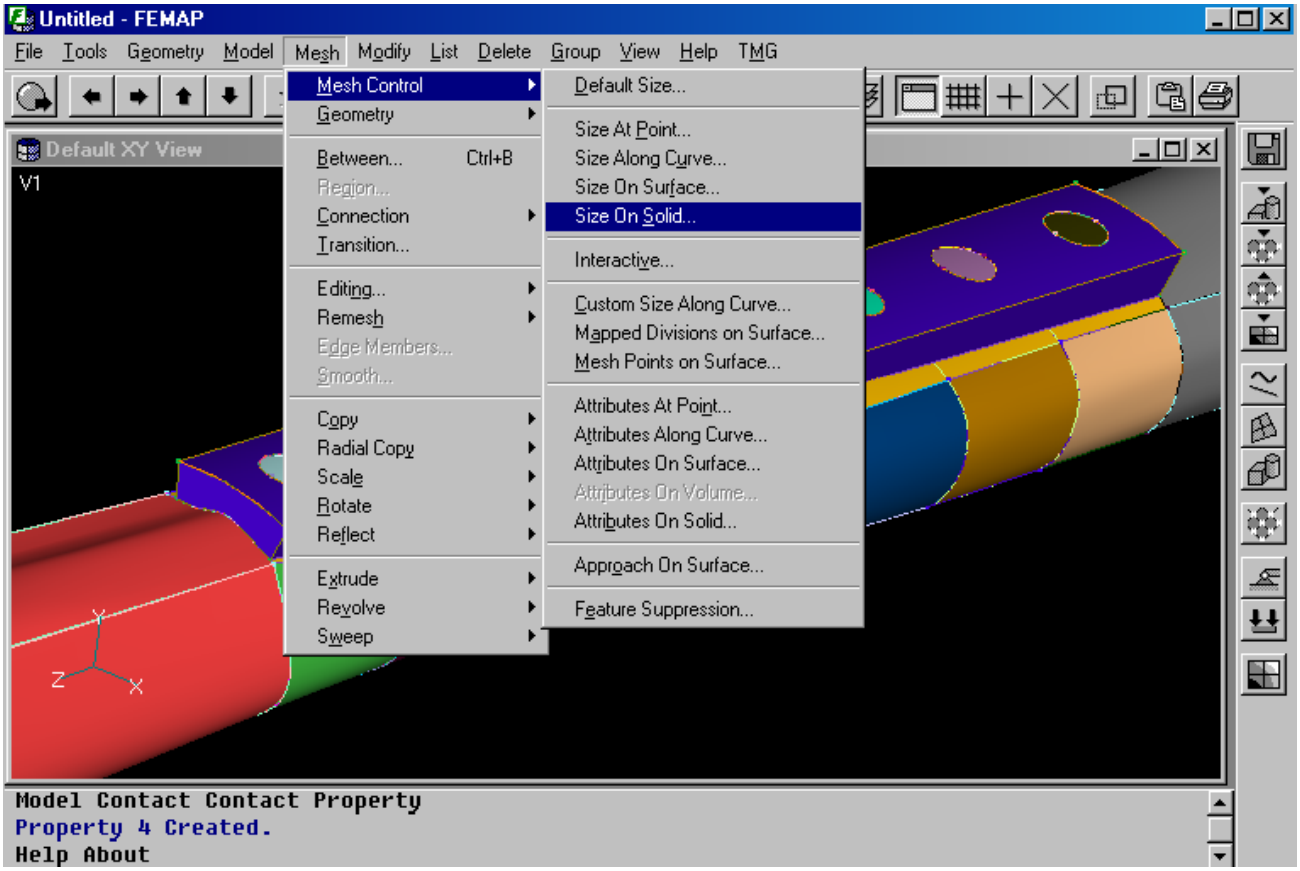
Тут нужно учесть множество важных факторов, в результате чего должна получиться сетка объемных элементов, «сшитая» в ранее указанных стыкуемых поверхностях, количество элементов не превышало некоторого порога, а степень дискретизации в отдельных участках была как можно выше!

Причиной высокой степени дискретизации могут быть как причины точности расчета отдельных областей (*чем больше элементов, тем точней результат; погрешность результатов, вызванная плохой дискретизацией модели может достигать сотен крат!!!*), так и характерные особенности модели. Вспомним, что контактная задача учитывает

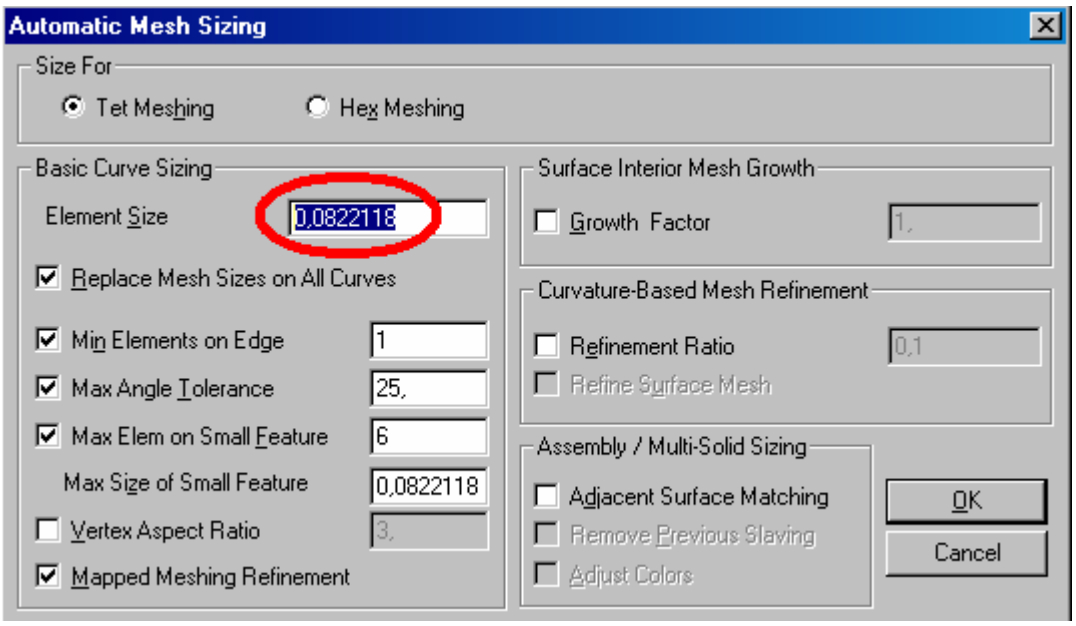
взаимпересечение поверхностей контактных пар. И если, например сечение болта, в результате грубого мешированиия получится квадратным, а расчет предполагает хотя бы некоторое вращение его вокруг своей оси, тогда такой болт в расчете может вести себя как прямоугольная шпонка, фиксирующая вращение в таком-же квадратном отверстии (*изначально предполагаемом как кругом, и не мешающем вращению болта вокруг своей оси*). Т.е. в случае с квадратным болтом мы имеем принципиальное искажение конструкции за счет грубости мешированиия! К такому болту следует отнестись со вниманием! Но и не переусердствовать. Из моего опыта скажу, что перед мешированием, следует посчитать примерное число элементов на каждую отдельную деталь, и потом стремиться не «вылазить» за посчитанные пределы, чтобы сохранить общее количество элементов.

Как же можно контролировать степень дискретизации при мешировании в FEMAP-е?

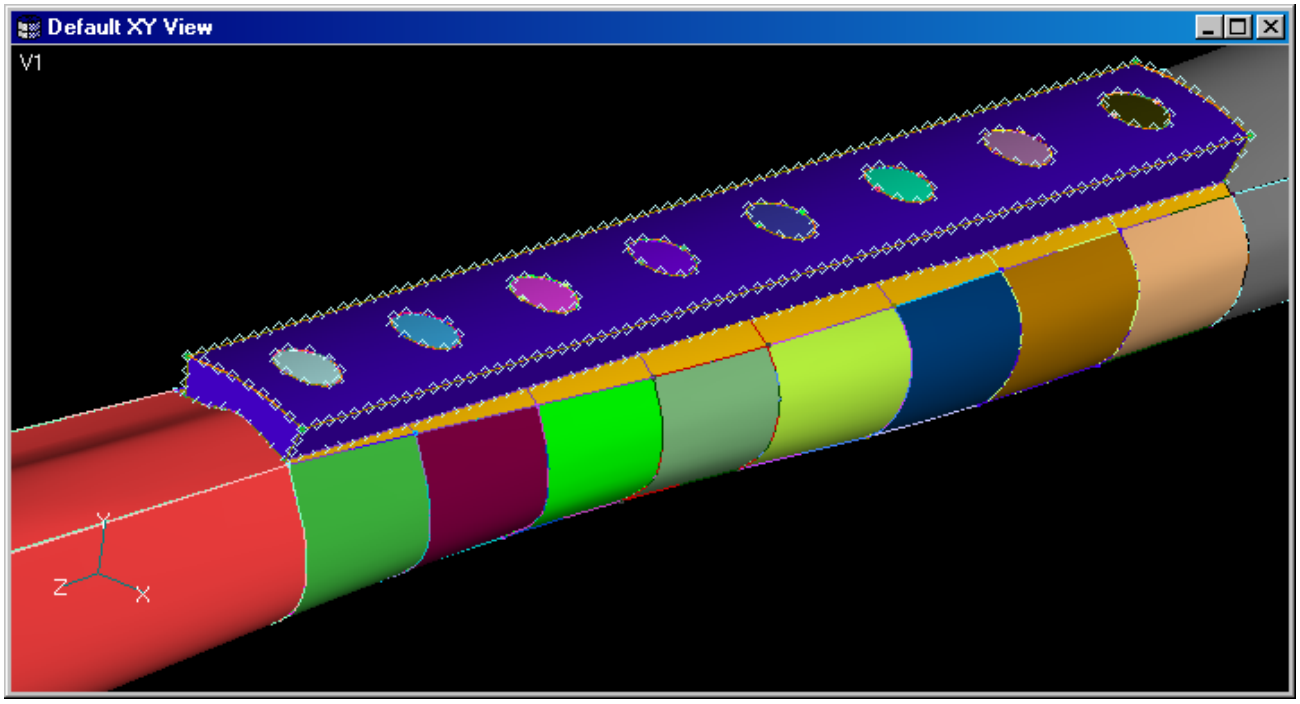
Самым грубым способом можно использовать задание характерного размера элемента, для целого тела:



После выбора необходимого тела, FEMAP автоматически предлагает свой вариант размера элемента для этого тела (*либо нескольких тел, если Вы выбрали несколько тел*):

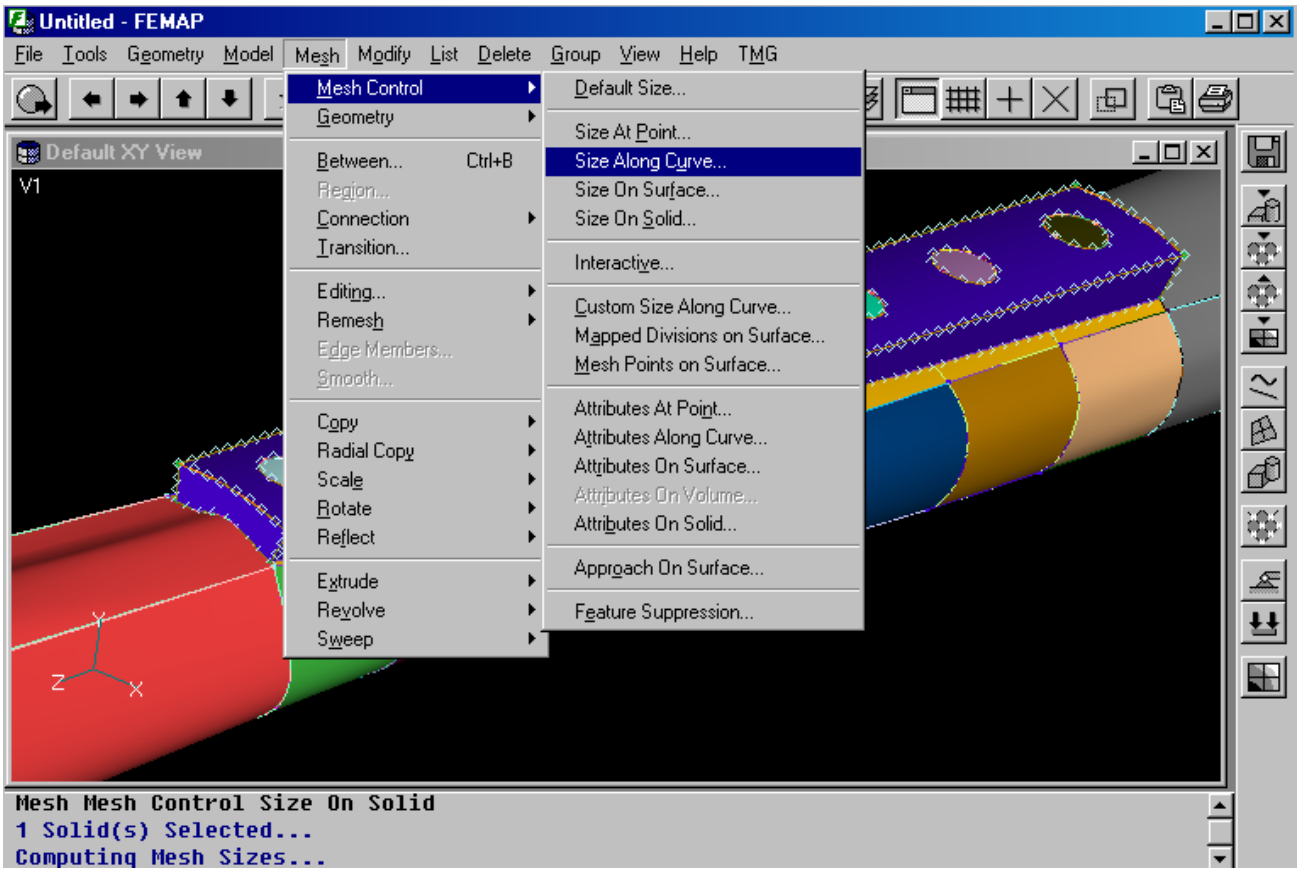


Но, как показывает опыт, в большинстве случаев эта величина является неудовлетворительно малой.



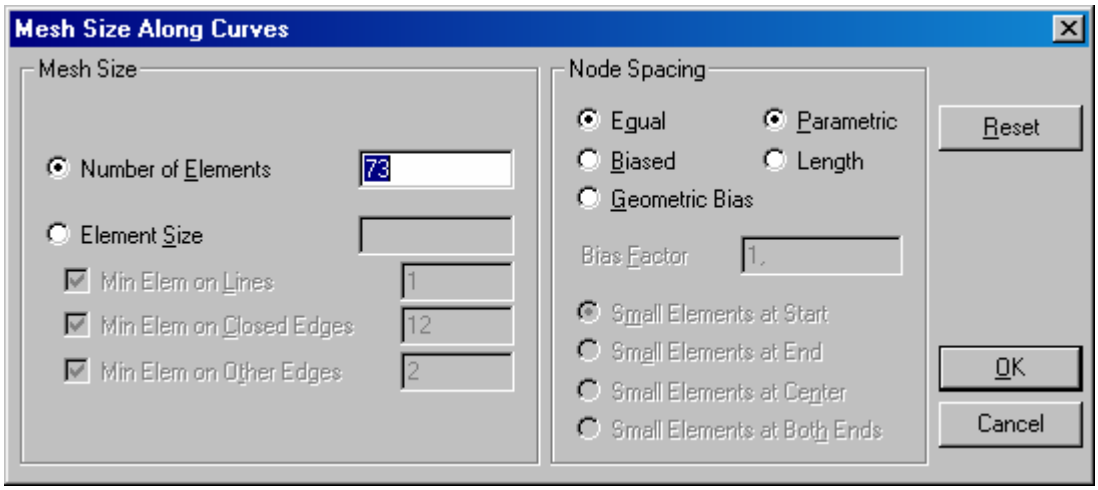
В данном случае, для установки размера элементов была выбрана только одна пластина. Программа расставила предполагаемые места узлов на линиях этого тела. Как можно заметить, на окружностях отверстий болтов будет 10 элементов. Ребро по высоте предполагает 3 элемента. Другое ребро пластины будет составлять 8 элементов. Самое же длинное ребро, составляет огромное число элементов. Как снизить число элементов на длинных ребрах?

Вызовем команду меню для установки размеров сетки по линиям:



И выберем эти 4 ребра.

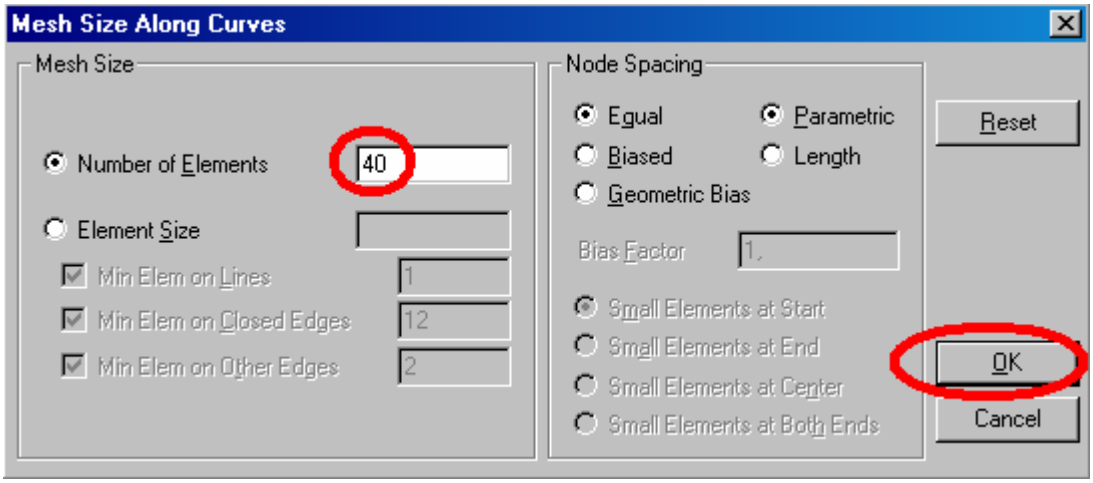
После завершения выбора и нажатия «OK» появится диалог установки размеров (*или числа*) элементов на выбранных ребрах:



Мы можем либо установить необходимое число элементов (*что предлагается по умолчанию, и сейчас предложило 73 элемента*), либо выбрать установку по размеру элементов.

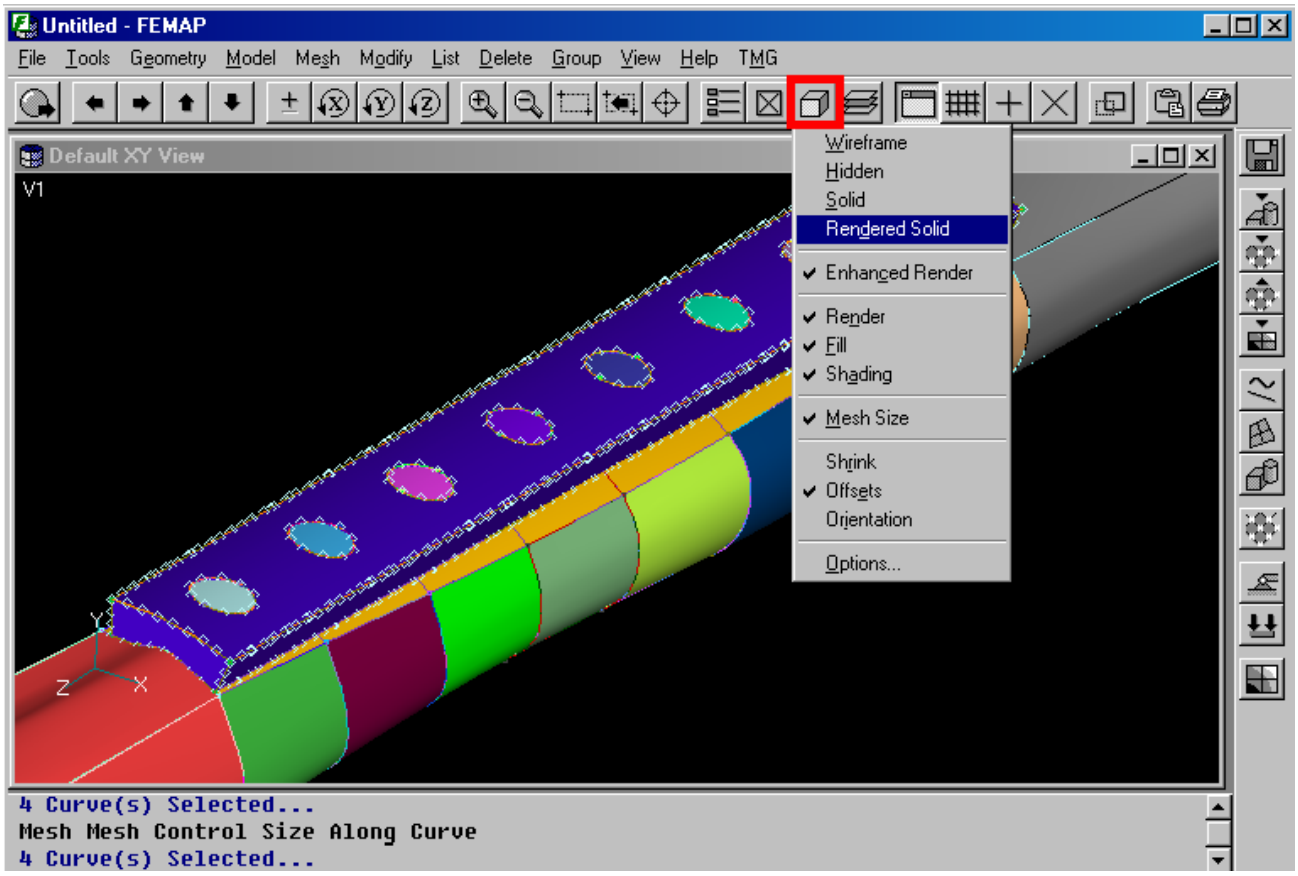
В графе «Node Spacing» можно выбрать закон сгущения узлов к одной или другой, или обеим вместе границам линии. По умолчанию – сгущение отсутствует, и узлы будут размещены равномерно.

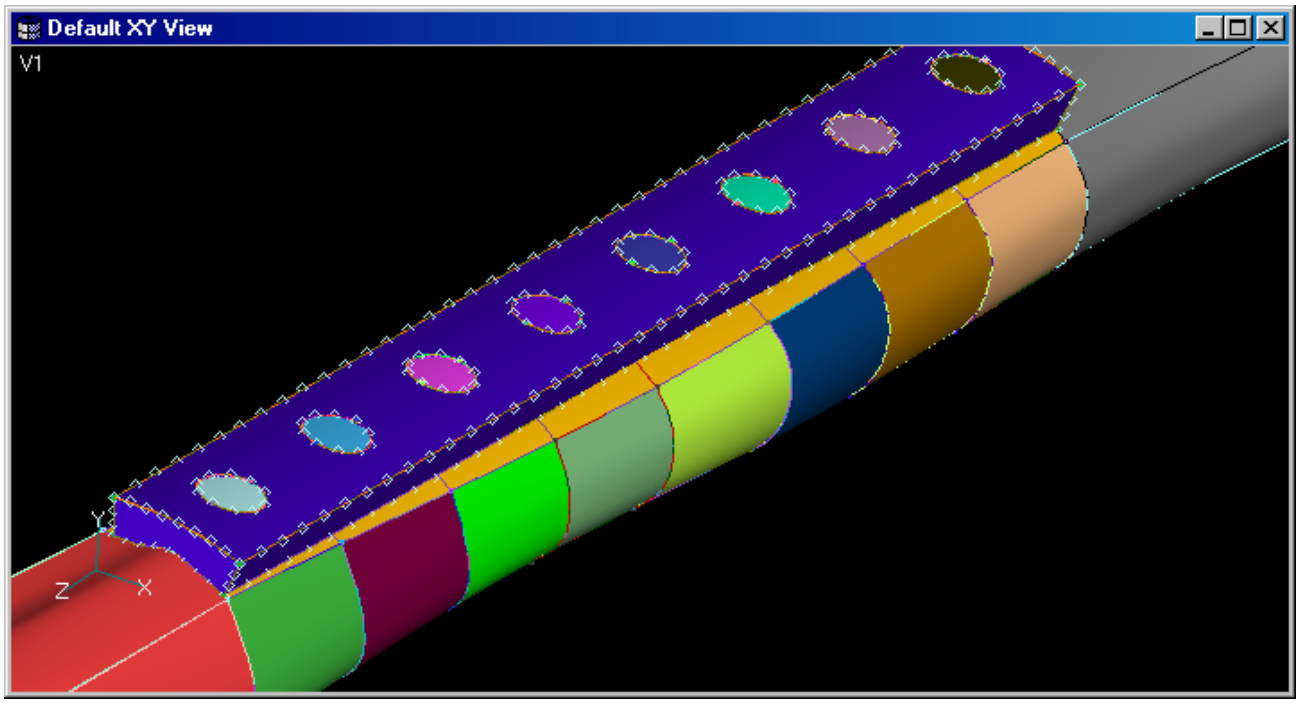
Итак, выберем не предлагаемое число 73 элементов, а, допустим, 40…



FEMAP просит продолжить выбор линий и установку их дискретизации, но мы жмем «Cancel».

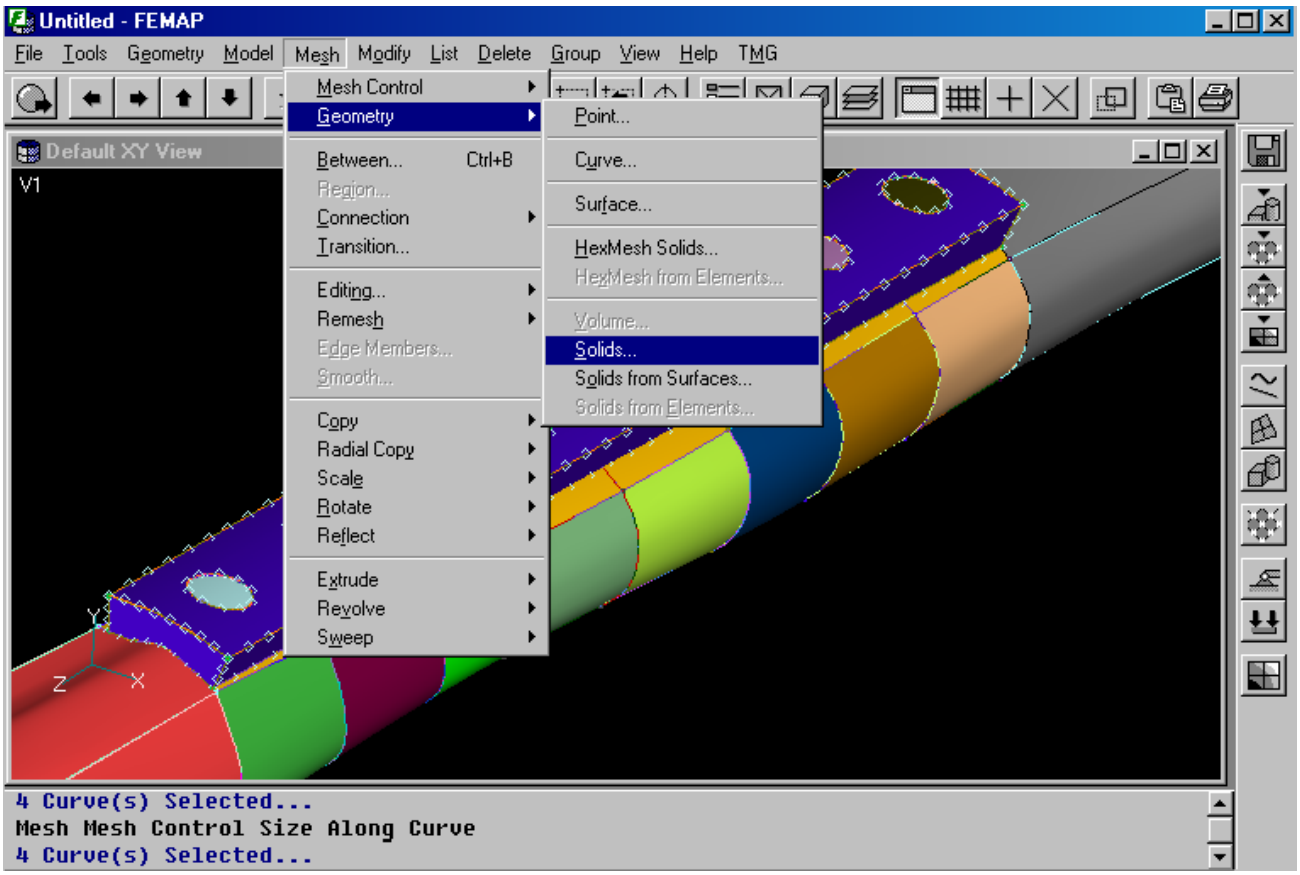
Для регенерации изображения, в котором мы увидим точное состояние новых предполагаемых узлов, выберем известную уже нем команду:





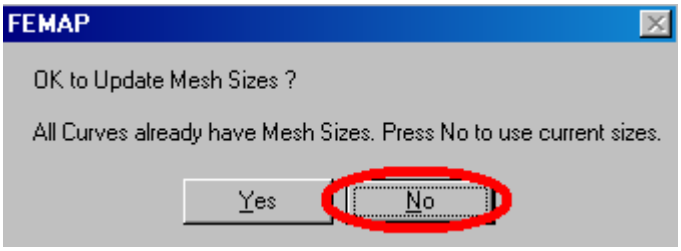
Как можно заметить, теперь сетка будет намного реже.

Выполним меширование подготовленной пластины:

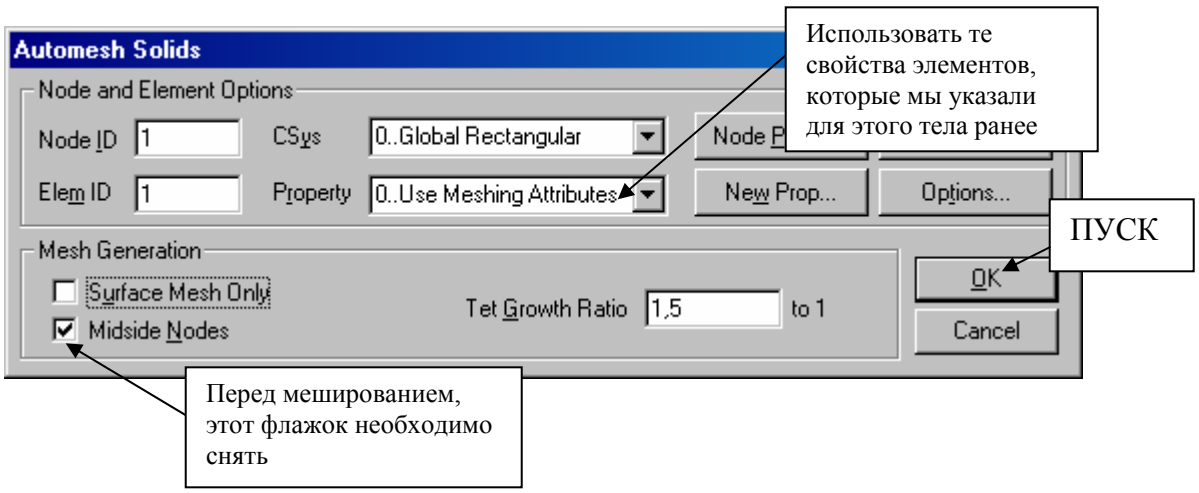


Выбрав необходимое тело (*пока что только пластину*), жмем «OK»…

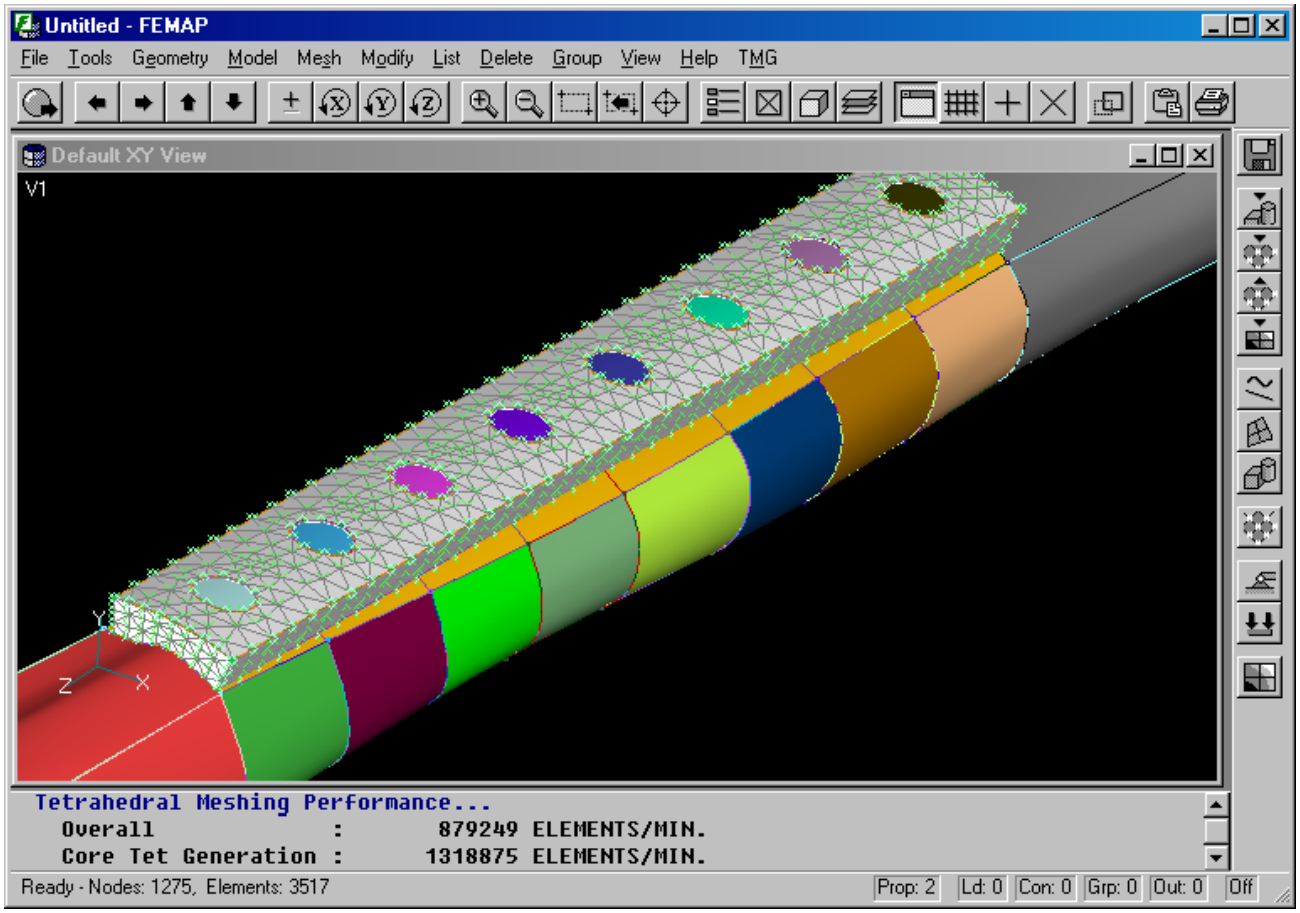
FEMAP сообщает о том, что размер элементов не соответствует его представлениям о размерах элементов для этого тела, и просит Вас разрешения на пересчет. Т.к. мы хотим всё-таки выдержать свои условия, мы не даем ему такой возможности, и жмем «No»:



Последним диалогом, FEMAP оповещает нас о следующей информации:

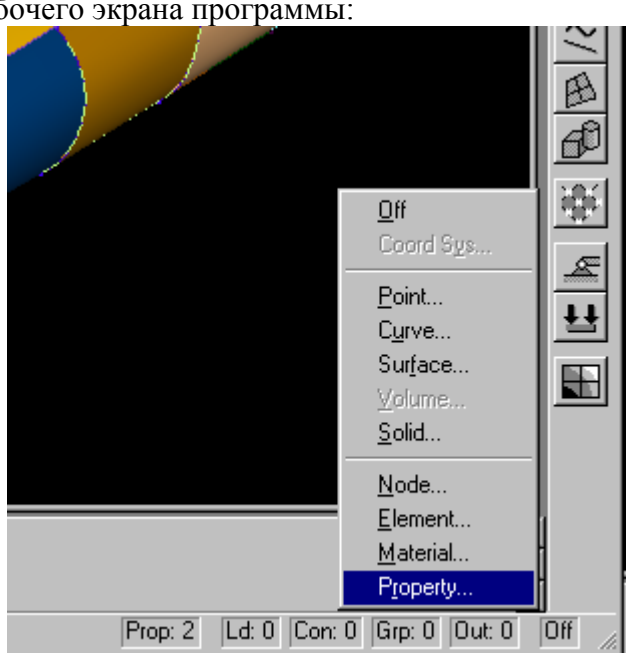


Подождав некоторое время, FEMAP закончит операцию меширования:



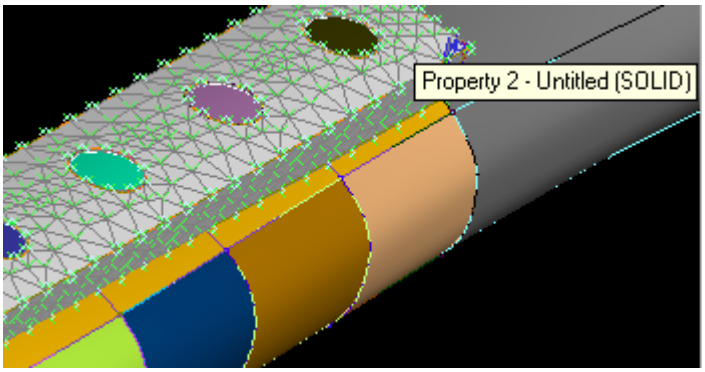
Теперь нам стоило бы проверить – не произошло ли ошибки при мешировании?

Для этого войдем в меню установки селекта курсором, кликнув один раз на закладку в правом нижнем углу рабочего экрана программы:



Появится всплывающее меню, в котором следует выбрать пункт Property…

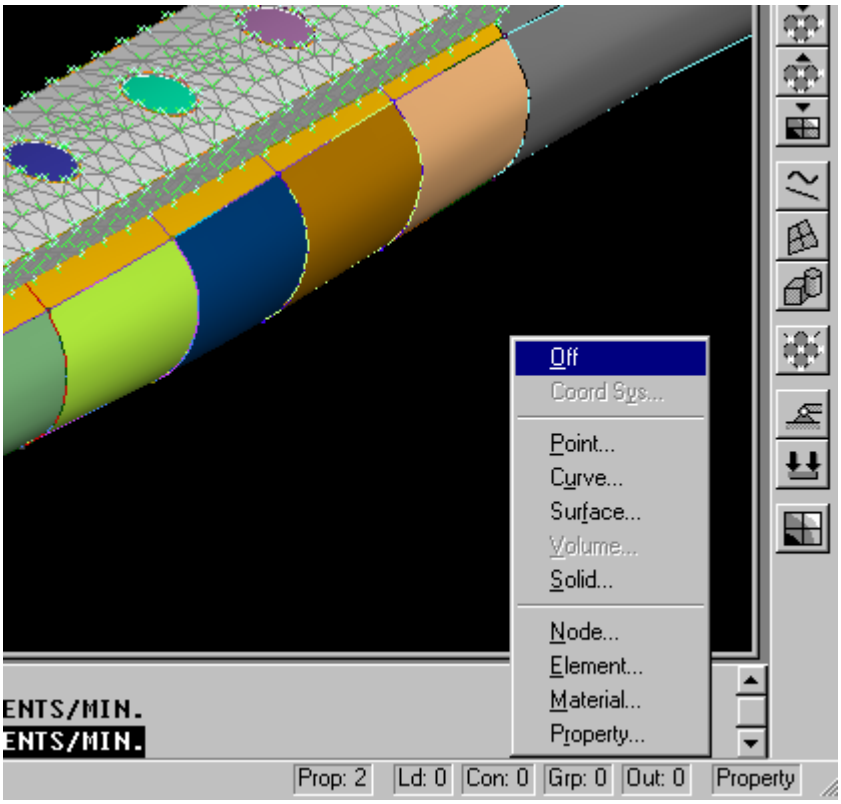
Теперь обычное состояние курсора заменилось активным, и он начинает реагировать на то, на что вы наведете мышкой. В случае выбора «Property…», подвод курсора к созданным элементам сетки, будет выбирать этот элемент, и после некоторой паузы, когда вы не будете двигать мышкой, высветиться всплывающая информация о том элементе, на который указывает курсор:



Если в тексте подсказки стоит слово SOLID, то это говорит о том, что выбранный элемент является объемным, и все созданные элементы для этого тела (*и только этого, т.к. для другого тела сетка могла и не создаться*) являются объемными, т.е. сетка создана!

Если вместо слова SOLID, Вы увидите PLOT PLANAR, то это говорит о том, что курсор попала на поверхностный элемент, а объемных элементов там нет, т.е. меширование этого тела закончилось только поверхностным мешированием, без возможности продолжить создание объемной сетки. В таком случае нужно возвращаться назад, и искать пути, по которым мешер создаст объемную сетку.

Вернемся в прежний режим выбора:

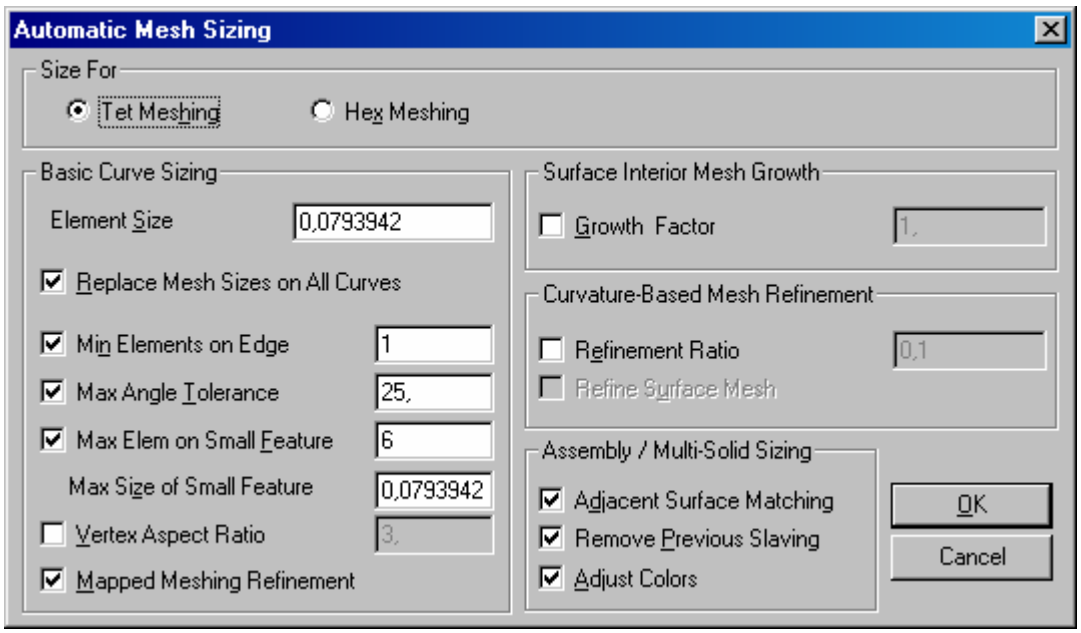


Скажу пару слов о характерных особенностях совместного меширования нескольких тел, сетка которых предполагает быть объединенной в одно целое.

В случае меширования кости, у нас есть некоторая особенность: каждая из половинок поломанной кости состоит из нескольких частей. Эти части одной половинки подразумеваются как одно целое, и предварительно были подготовлены операцией создания объединяющих поверхностей в местах так-называемого контакта (*не путать с контактом в расчетах, как например пластина-кость*). В местах этого стыка, сетка на одном теле будет в точности соответствовать сетке на другом теле. В таком случае, после меширования, узлы сетки можно будет объединить, и общая сетка для каждой из половинок поломанной кости будет единой.

Для меширования с такой особенностью, от нас требуется одновременный выбор всех соединенных по стыкуемым поверхностям тел, и их одновременное меширование. Т.е. для того, чтобы получить сетки разных тел одной половинки поломанной кости, необходимо для меширования выбрать все эти части (*если бы мы их мешировали по отдельности, то общности сеток на стыкуемых местах не было бы, несмотря на то, что мы предварительно выполняли операцию поиска общих поверхностей*):

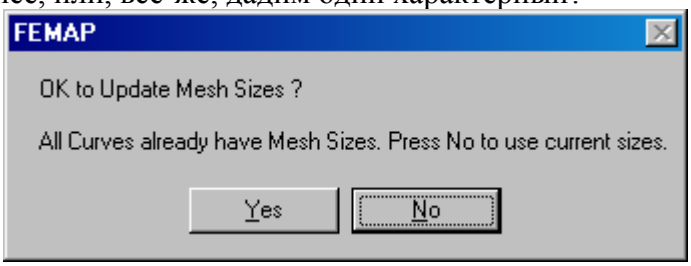
Если телам мы ранее не задавали конкретных размеров элементов, то FEMAP автоматически предлагает нам указать эти размеры (*что в принципе не совсем хорошо, т.к. одни части могут быть грубо разбиты, тогда, когда другие обязаны быть детальными*)



Задав же один единый размер для всех тел, мы лишаем себя необходимой дифференциации в размерах элементов.

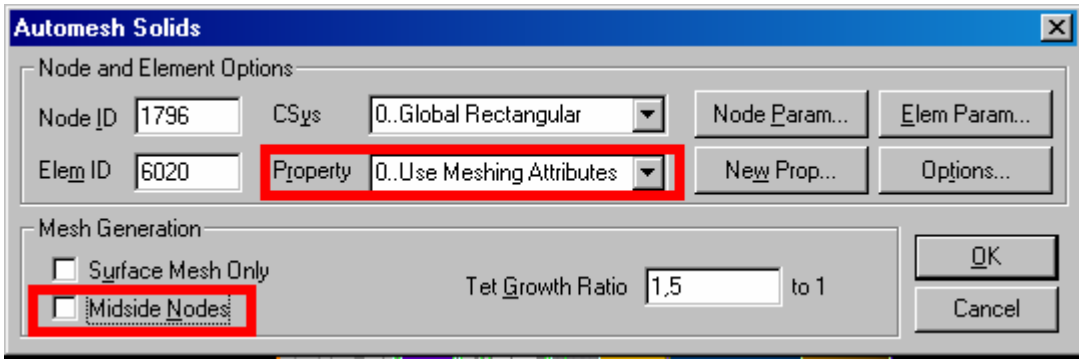
Чтобы этого избежать, вернемся назад (*жмем «Cancel»*), и зададим размеры…

После того, как мы задали необходимые на наш взгляд размеры элементов мешируемым телам, и перешли к их совместному мешированию (*не забываем, что в этом случае их нужно выбрать все вместе*), программа уже не предлагает нам выбор одного размера, а спрашивает – согласны ли мы на те размеры элементов мешируемых тел, которые были установлены ранее, или, всё-же, дадим один характерный?



Конечно же мы не согласны…

Далее появляется знакомый уже нам диалог:



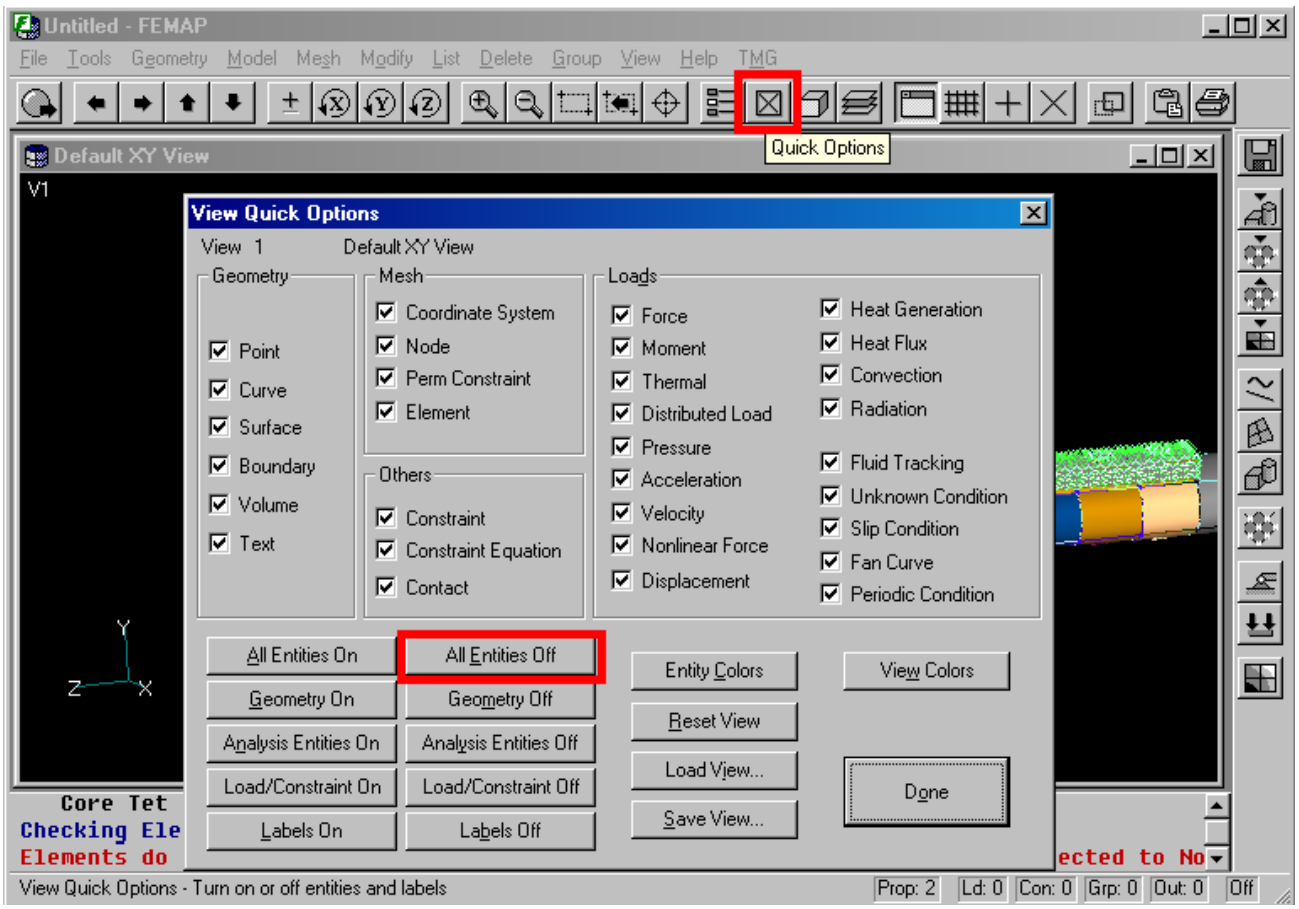
Проверяем – все ли тела обладают своим собственным атрибутом (*При мешировании использовать заданные ранее свойства элементов*, *ато, если мы какое-то из мешируемых тел пропустили перед этим наградить свойством материала, что крайне не желательно для расчетов, программа предложит иное, менее изящное сообщение*), и не забываем снять флажок создания «ненужных» узлов… Жмем «ОК»…

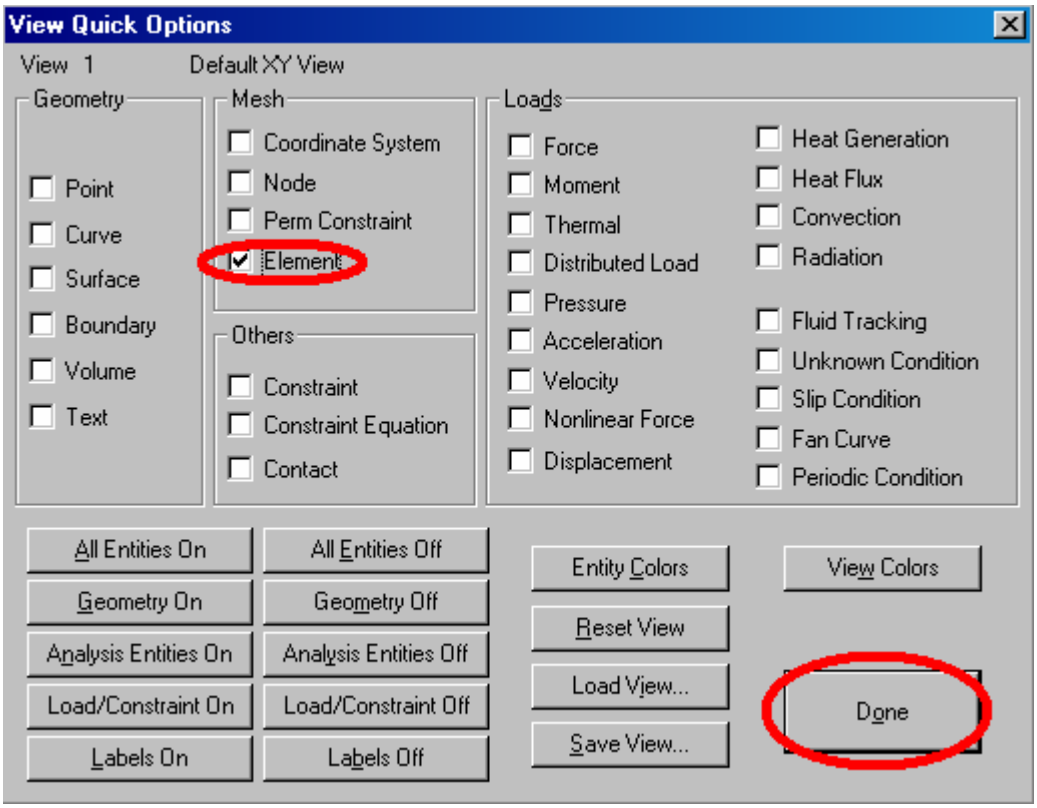
В процессе мешировании, FEMAP может выдавать сообщения:

Это говорит о проблемах в процессе мешировании, и в большинстве случае, конечно, заканчивается неудачей для какого-от тела… Но иногда может быть и нет… Жмем «ОК» и продолжаем ждать окончания…

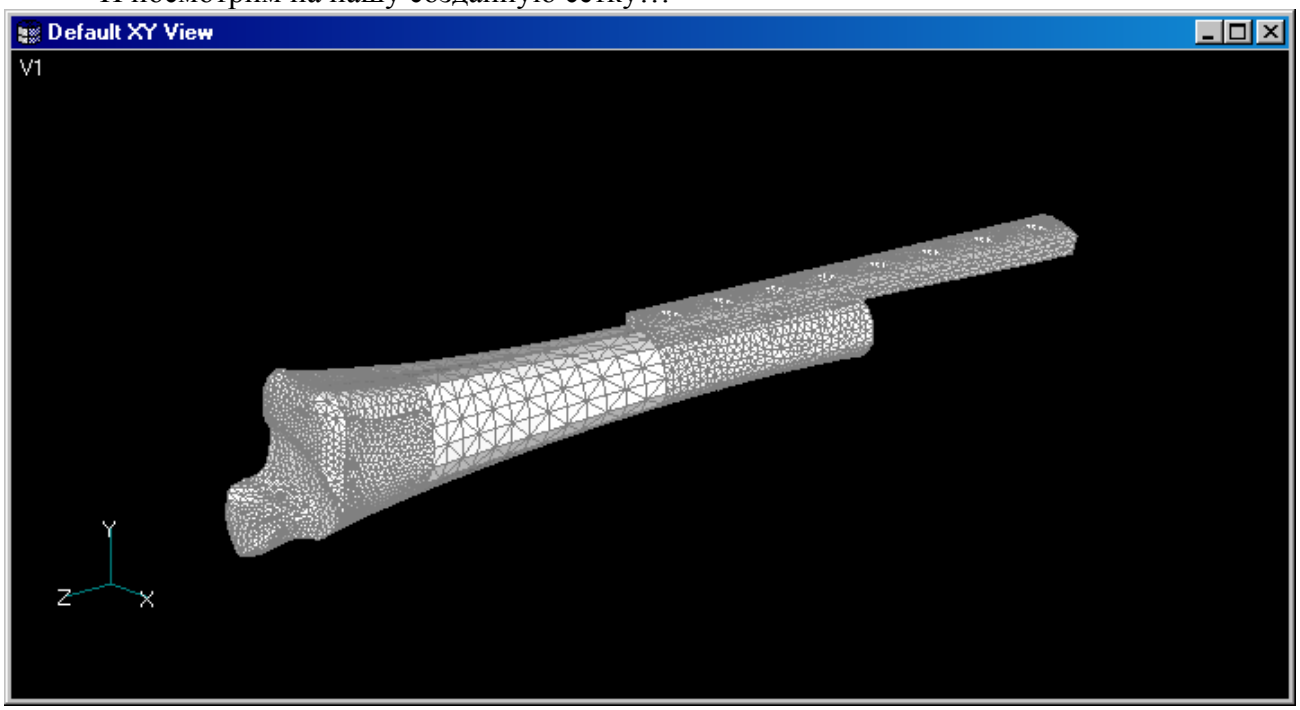
Мне повезло! По указанной ранее методике (*проверка активным выбором элементов Property… SOLID – PLOT PLANAR*) я выяснил, что все созданные элементы имеют тип SOLID, т.е. они объемные, а выдаваемые предупреждения, вероятно, касались качества некоторых отдельных элементов. Вопрос качества элементов, в данной ситуации нас не должен волновать.

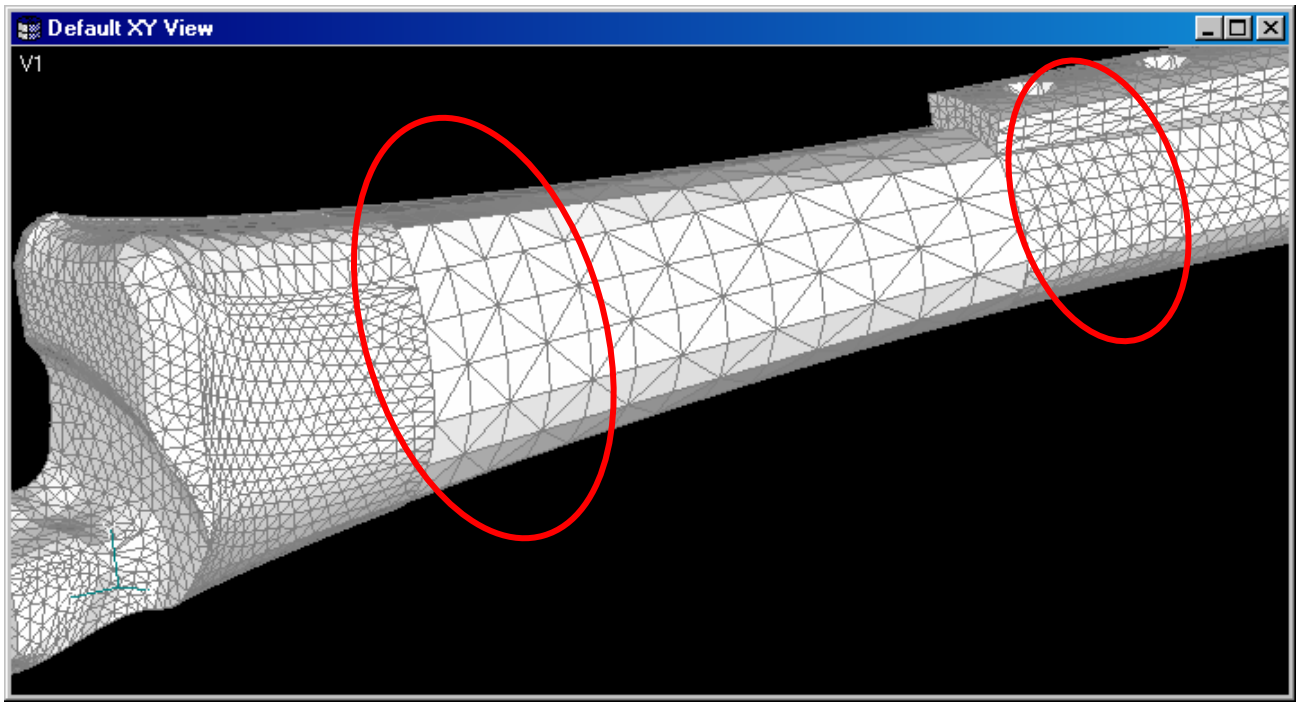
Выберем фильтр просмотра только элементов:


Untitled - FEMAP
File Tools Geometry Model Mesh Modify List Delete Group View Help TMG
Quick Options
Default XY View
V1
View Quick Options
View 1 Default XY View
Geometry
Point
Curve
Surface
Boundary
Volume
Text
Mesh
Coordinate System
Node
Perm Constraint
Element
Others
Constraint
Constraint Equation
Contact
Loads
Force
Moment
Thermal
Distributed Load
Pressure
Acceleration
Velocity
Nonlinear Force
Displacement
Heat Generation
Heat Flux
Convection
Radiation
Fluid Tracking
Unknown Condition
Slip Condition
Fan Curve
Periodic Condition
All Entities On
All Entities Off
Geometry On
Geometry Off
Analysis Entities On
Analysis Entities Off
Load/Constraint On
Load/Constraint Off
Labels On
Labels Off
Entity Colors
View Colors
Reset View
Load View...
Save View...
Done
Core Tet
Checking Ele
Elements do
ected to No
View Quick Options - Turn on or off entities and labels
Prop: 2
Ld: 0
Con: 0
Grp: 0
Out: 0
Off


View Quick Options
View 1 Default XY View
Geometry
Point
Curve
Surface
Boundary
Volume
Text
Mesh
Coordinate System
Node
Perm Constraint
Element
Others
Constraint
Constraint Equation
Contact
Loads
Force
Moment
Thermal
Distributed Load
Pressure
Acceleration
Velocity
Nonlinear Force
Displacement
Heat Generation
Heat Flux
Convection
Radiation
Fluid Tracking
Unknown Condition
Slip Condition
Fan Curve
Periodic Condition
All Entities On
All Entities Off
Geometry On
Geometry Off
Analysis Entities On
Analysis Entities Off
Load/Constraint On
Load/Constraint Off
Labels On
Labels Off
Entity Colors
View Colors
Reset View
Load View...
Save View...
Done

И посмотрим на нашу созданную сетку…





И теперь заметно, о чем всё-таки «ругался» FEMAP…

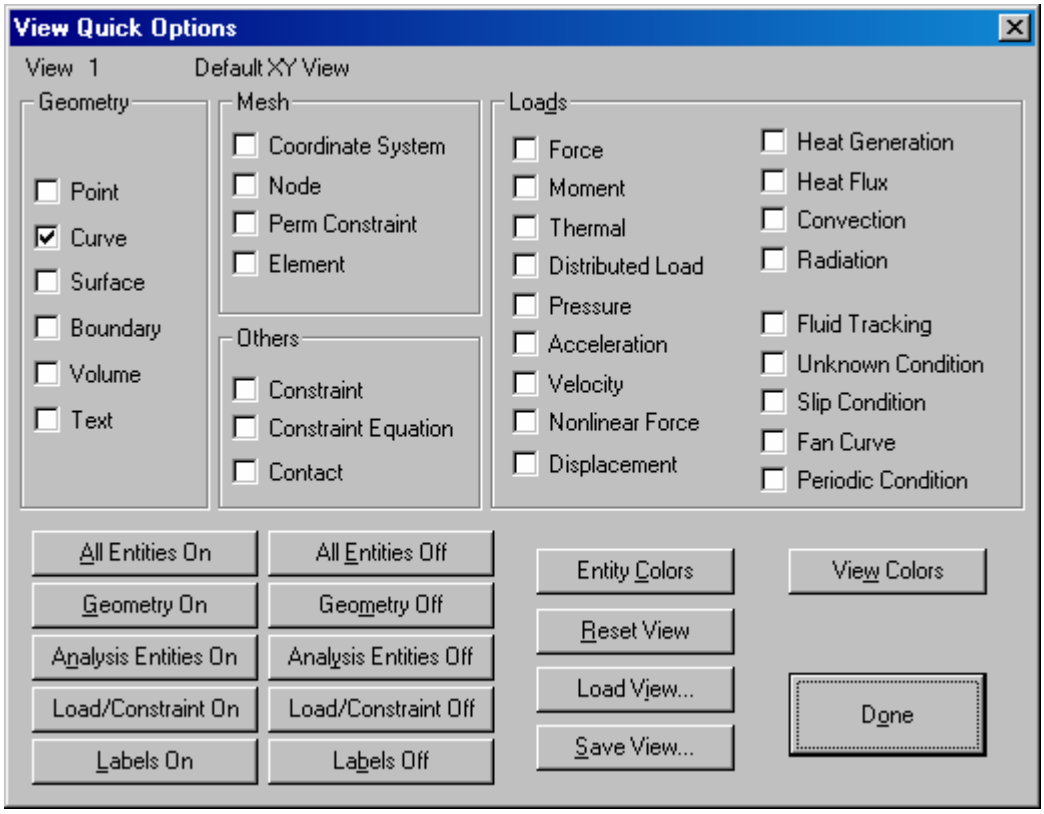
На стыках тел с телом, размеры элементов которого больше остальных (*см. рисунок выше*) нет стыка сеток! Это недопустимо!

Где могла быть ошибка?

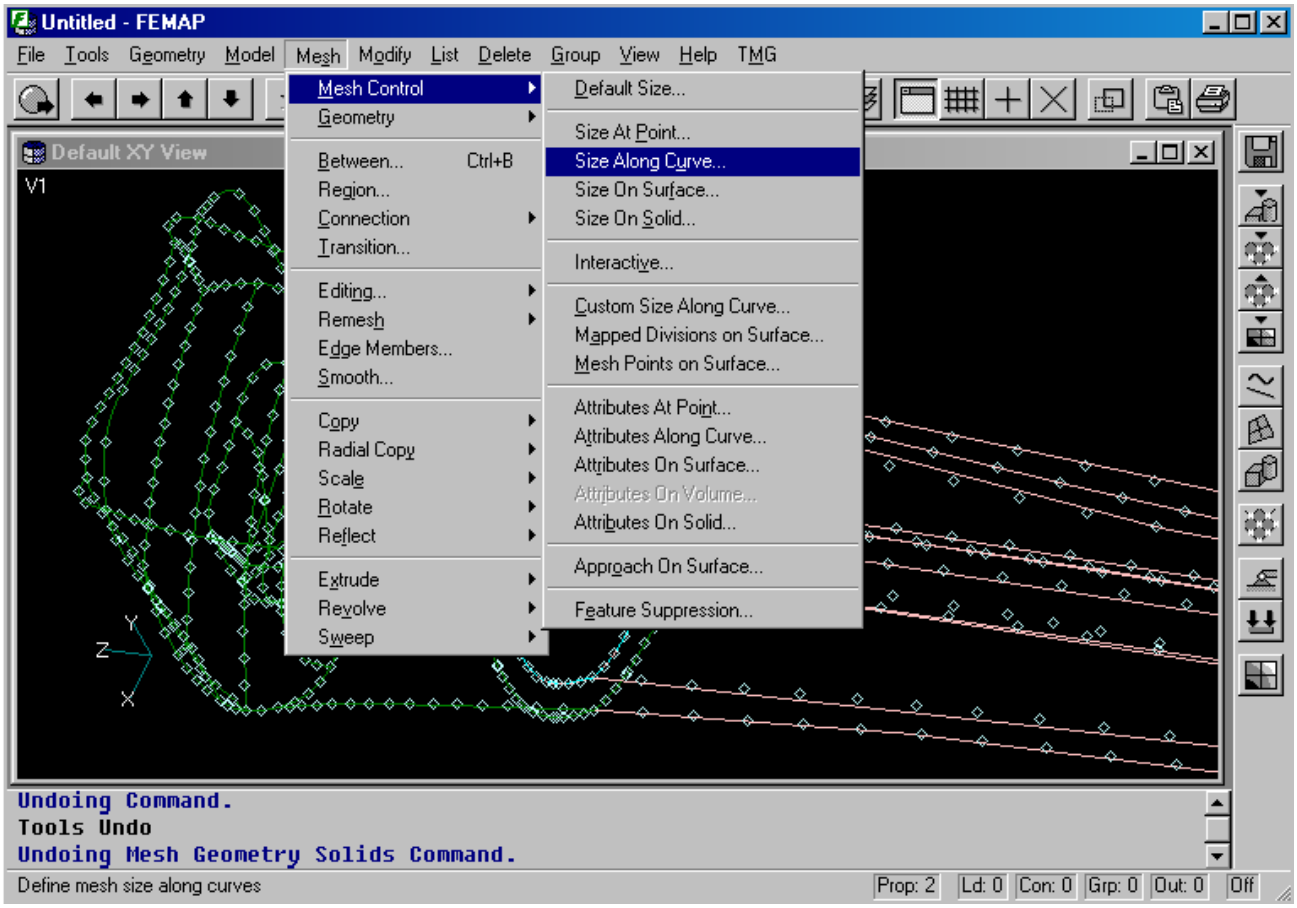
Просто на общих линиях стыкуемых тел, т.е. границах совместных поверхностей, было строго установлено разное количество элементов. Само собой, что как и евроштепсель не войдет в советскую розетку с двумя отверстиями, так и одно тело с сотней элементов не состыкуется с другим, если на такой-же линии не 100, а 10 элементов.

По этому, откатываемся до момента меширования, и устанавливаем общее количество элементов на проблемных линиях…

Для этого лучше всего включить фильтр отображения только кривых:



И на одинаковых (*на совпадающих поверхностях*) линиях разных тел и поверхностей установим одинаковые количества элементов:

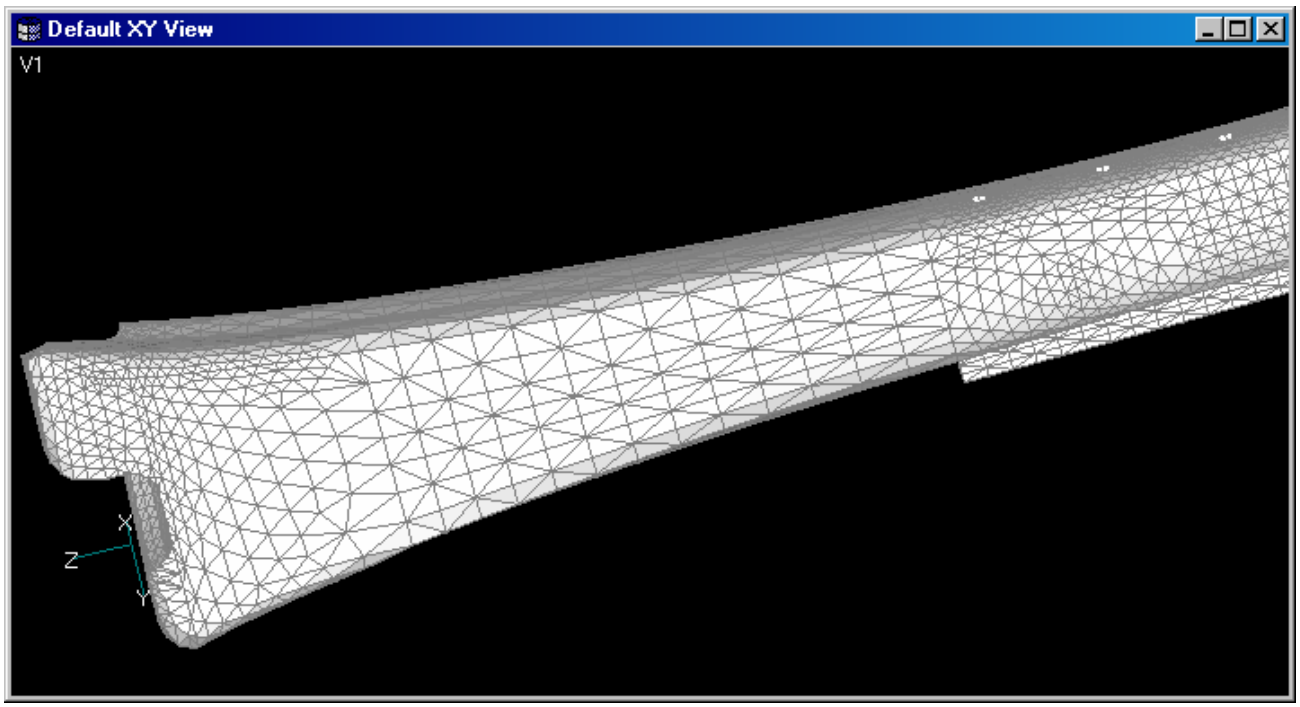


Главное тут – внимательность.
Не пропустить, но и не кликнуть лишнего!

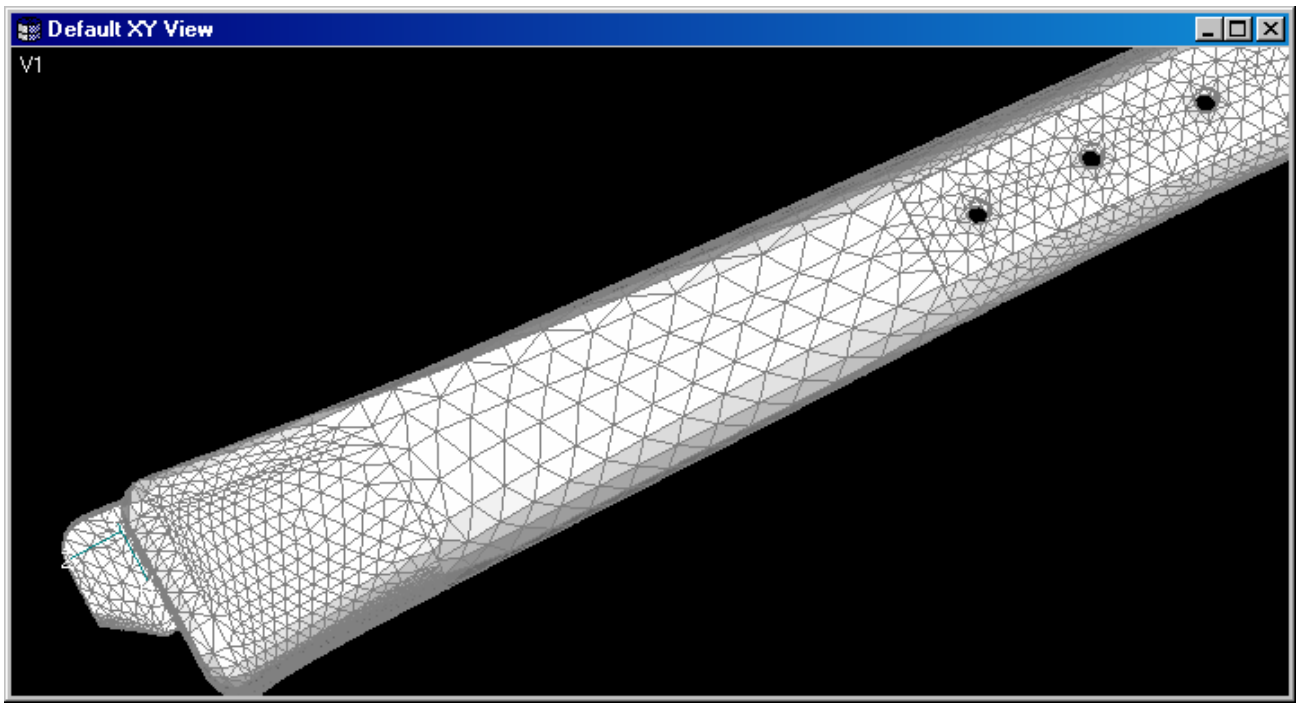
После необходимых операций, вернем фильтры в прежнее состояние, чтобы можно было видеть всё, и повторим меширование…

Выбрав все необходимые стыкующиеся тела, не согласившись на предложение установки одного характерного размера элементов и сняв флажок создания лишних узлов… запускаем процесс…

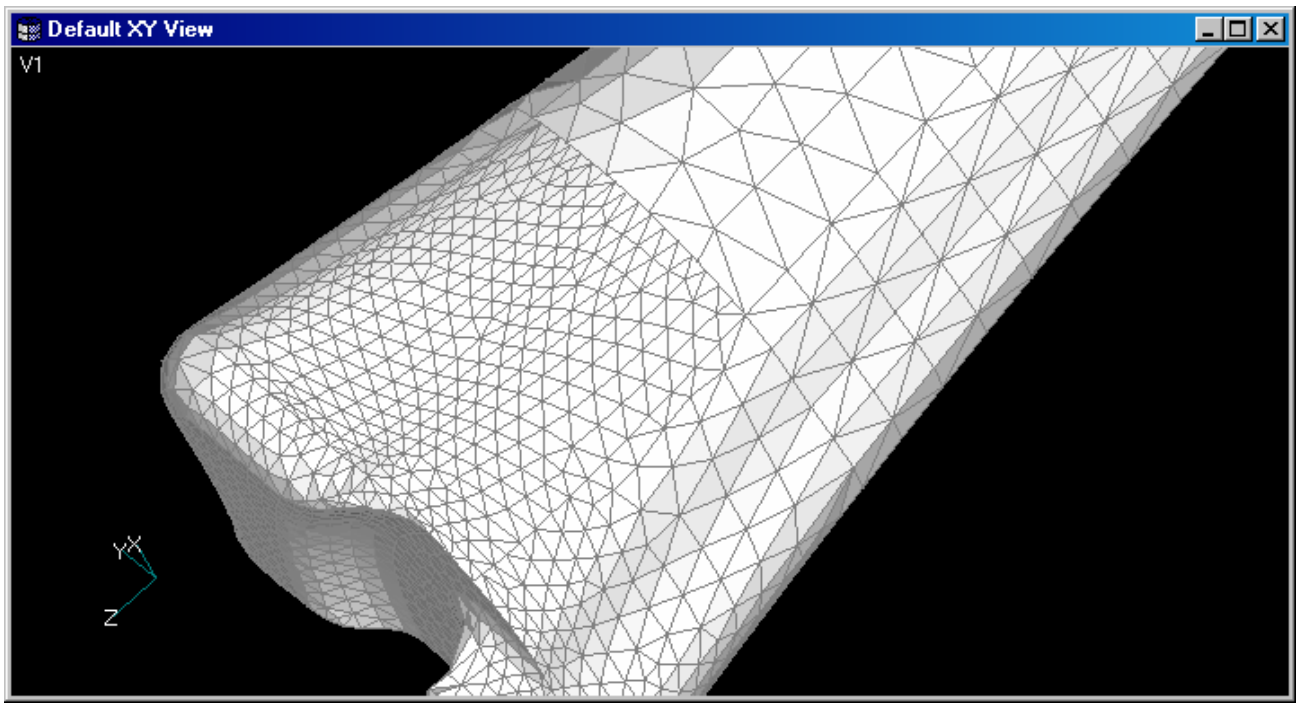
Смотрим на элементы:



Вроде бы всё ок?



А вот на рисунке ниже заметно, что всё-таки еще не всё ок…



Как быть? Возвращаться, и искать…

Может быть мы забыли (*пропустили*) кликнуть на кривую и задать ей общее число элементов. Но возможно и другое – если мешер не смог поставить там то число, которое мы ему навязывали. Тогда проблема распространяется с этой проблемной кривой на поверхность, которая едина с этой кривой. Т.е. необходимо задать размер элемента не только на кривой, но и всей поверхности. Тут она показана с мелкой сеткой. Скорей всего получается как-бы так, что мешируя поверхность мелкой сеткой, мешер не смог создать такую сетку, которая бы могла пристыковаться к тому количеству элементов, которое мы ему сказали на кривой… Можно попробовать увеличить количество элементов для всех кривых, которые совпадают с этой проблемной кривой, но тогда увеличиться число элементов в другом теле. А можно и увеличить размер элементов на проблемной поверхности, и тогда кроме получения стыка тел, мы дополнительно уменьшим общее число элементов.

Как быть в каждом отдельном случае – это и есть творчество, о котором я говорил в самом начале раздела о мешировании!

8. Завершение

После успешного создания сетки, необходимо закончить подготовку контактной задачи, после чего модель можно считать почти готовой для расчетов.

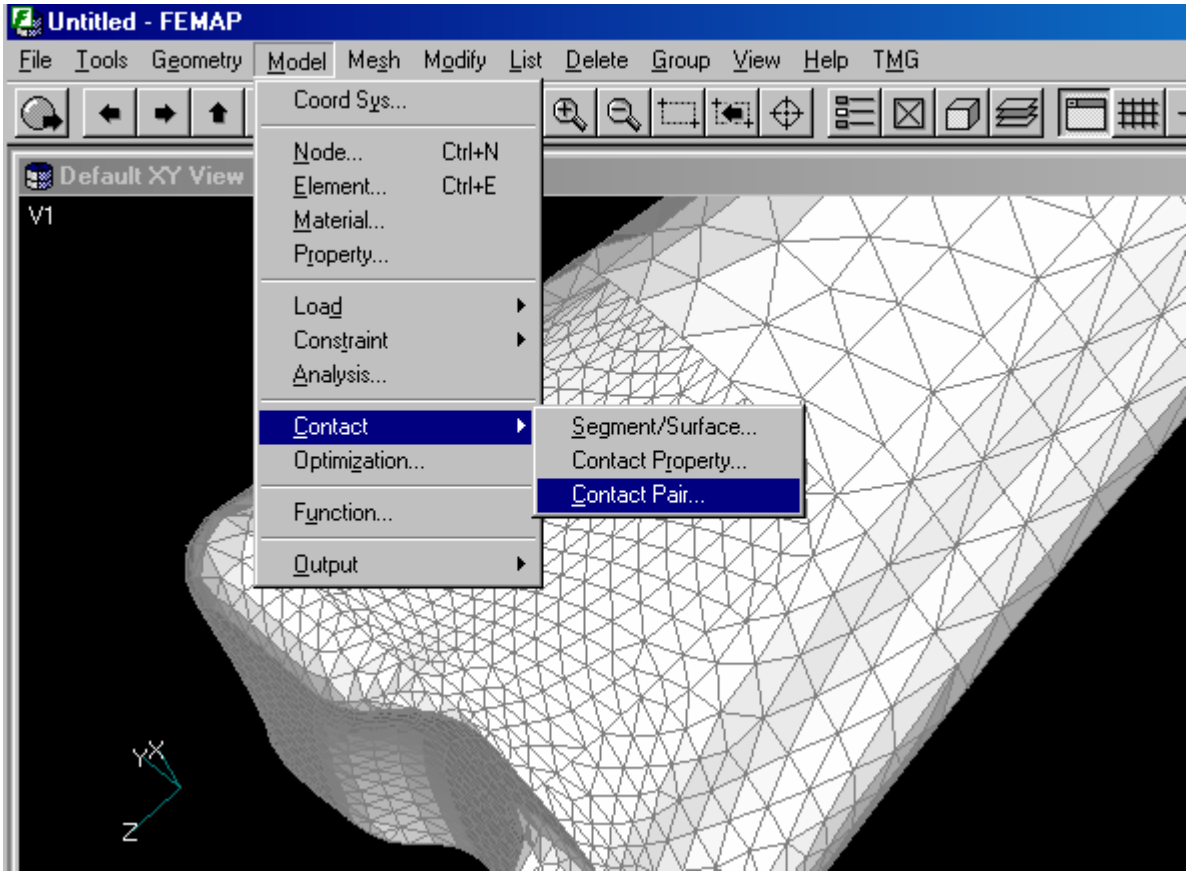
Помните, я говорил о контактных парах? До мешированиия мы занимались созданием групп поверхностей. Сейчас же, когда у нас уже готова сетка, мы можем создавать поверхностные элементы на созданных объемных элементах.

Это не занимает много времени, и если все подготовительные операции были выполнены аккуратно, то через пару минут Вы смело можете завершать работу.

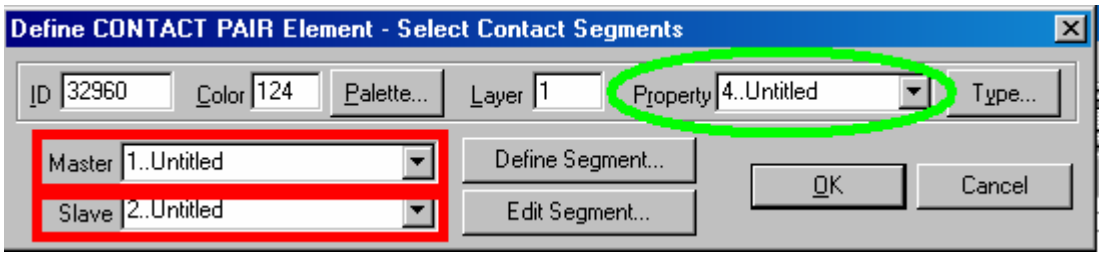
Итак, необходимо указать, какие из созданных ранее групп контактных поверхностей будут состоять в парах?

Если Вы помните, то первой группой была поверхность на пластине, второй – соответствующие ей участки поверхностей на кости. Эти поверхности будут «контактировать». Мой опыт таков, что я создаю группы поверхностей одна за одной, в соответствии со своей парой. Т.е. для создания первой контактной пары, участвуют группы 1 и 2. Для 2-й пары, группы 3 и 4. Для третей пары, группы 5 и 6. И для 4-й пары, группы поверхностей под номерами 7 и 8.

Итак, вызываем команду:



И указываем первую и вторую группы контактных поверхностей, входящих в контактную пару. Порядок указания (*1-2 или 2-1*), в нашем случае не имеет значения.

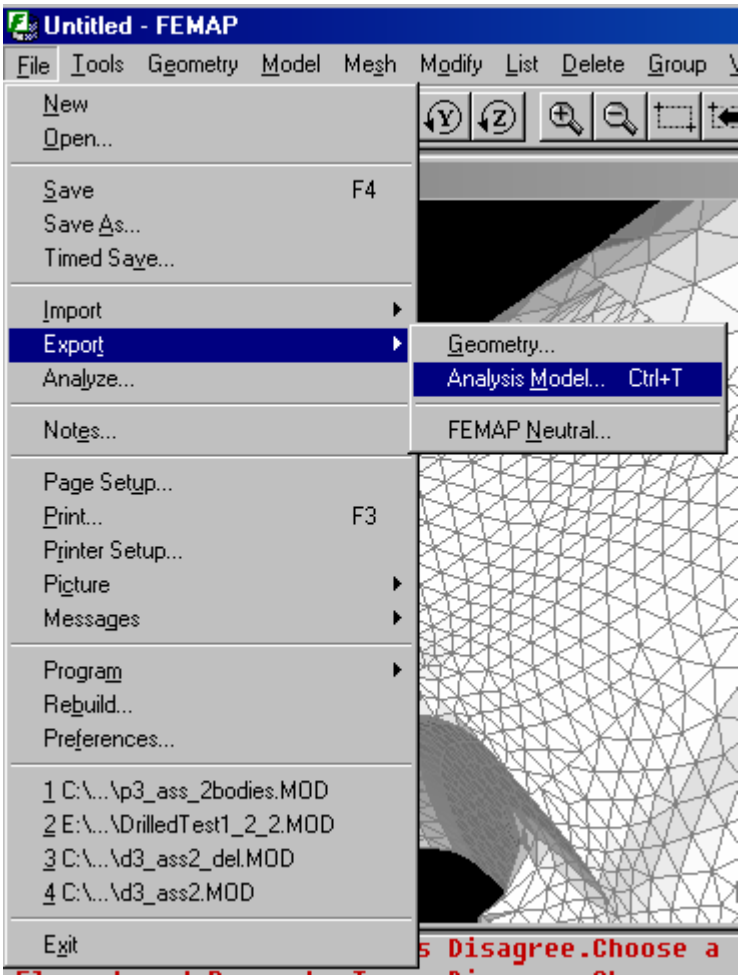


Поле «Property» следует указать на следующий, после последнего созданного нами свойства. Вспомним, что у нас было 3 материала, значит 3 свойства элементов и когда мы

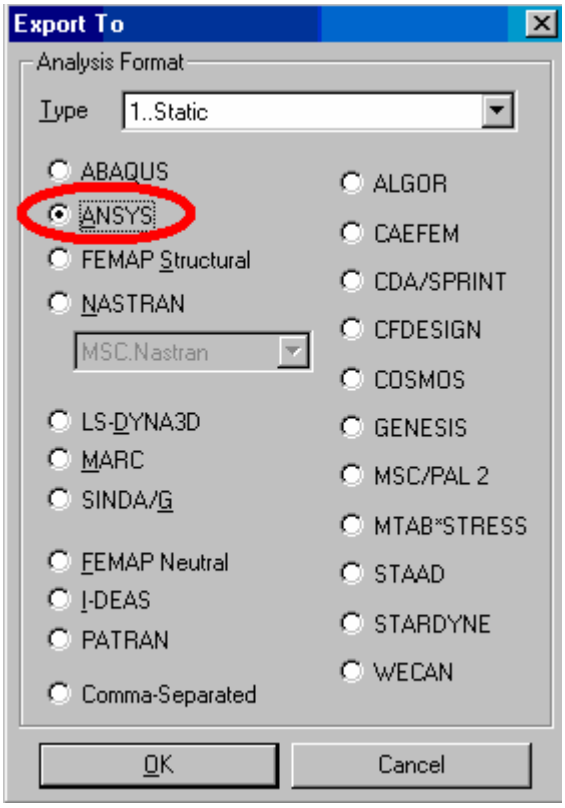
создавали свойства контактных элеменетов, то то свойство носило индекс 4. Это свойство будет соответствовать свойствам контакта, таким например как трение…

После завершения создания всех контактных пар, можно экспортировать созданную конечноэлементную сетку в необходимый формат.

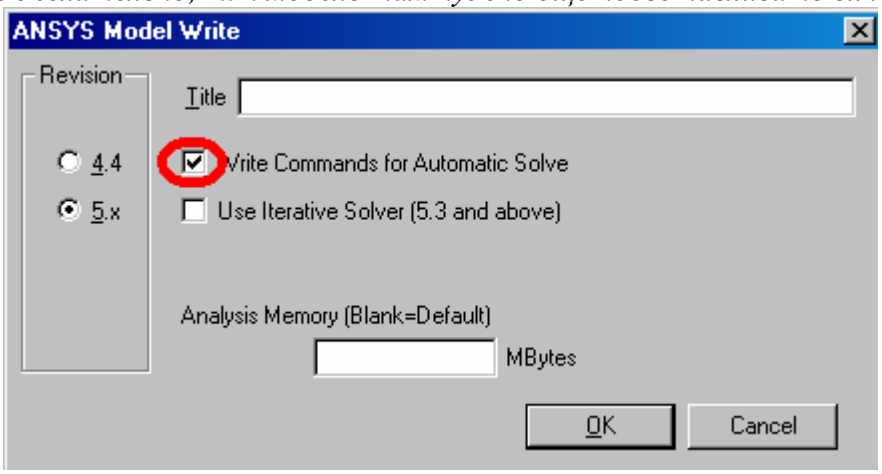
Для экспорта сетки в формат ANSYS, выберите следующие команды:



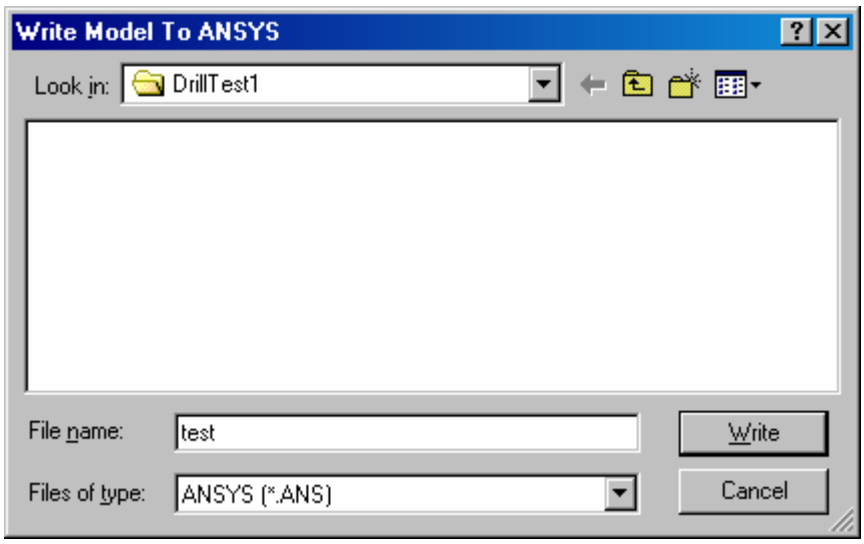
Выберите пункт ANSYS:



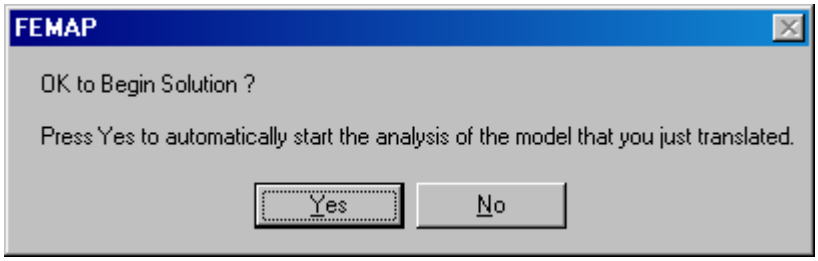
Снимите галочку автоматического запуска выполнения расчета, после загрузки в ANSYS (*это не желательно, т.к. модель там нужно еще подготавливать для расчета*)



Укажите необходимое имя файла



В конце экспорта, FEMAP попросит Вас самому выполнить этот расчет:



, на что можно скромно отказываться, и идти отдыхать…