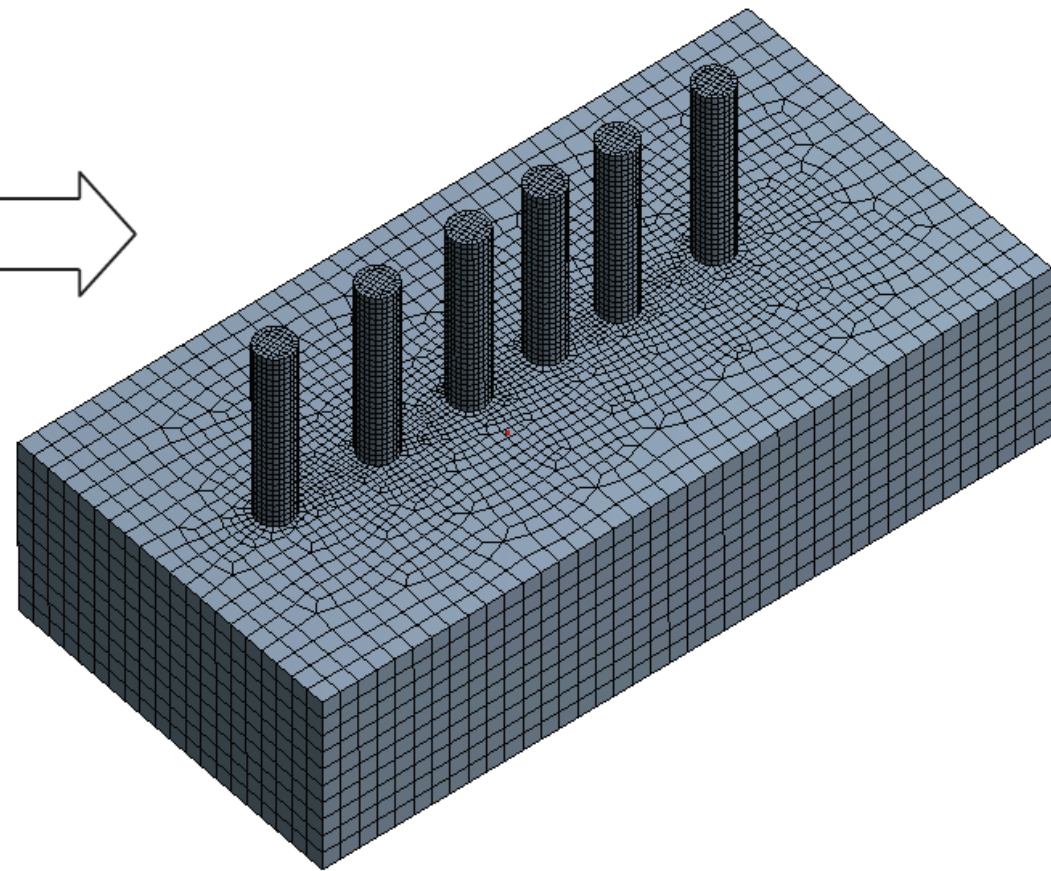
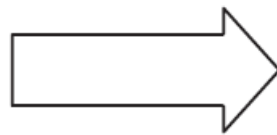
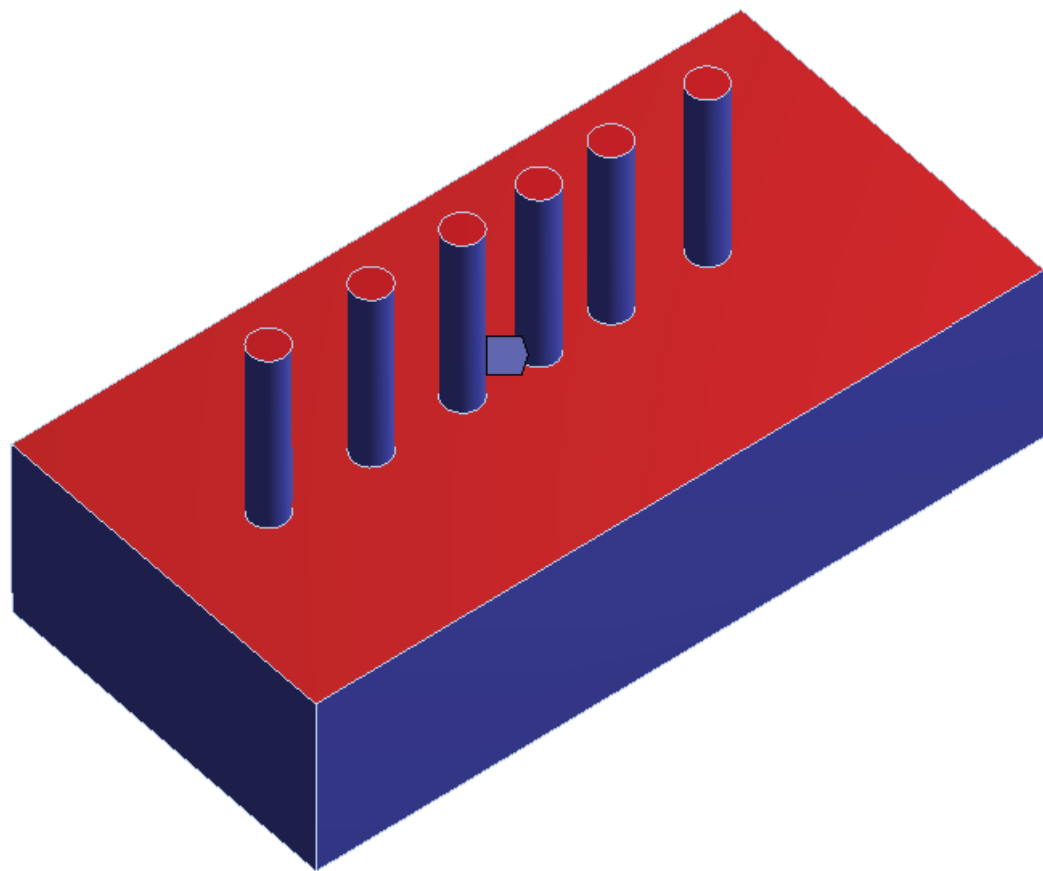


*Расчетная сетка, построенная методом **MultiZone***



- **Основные опции метода MultiZone**

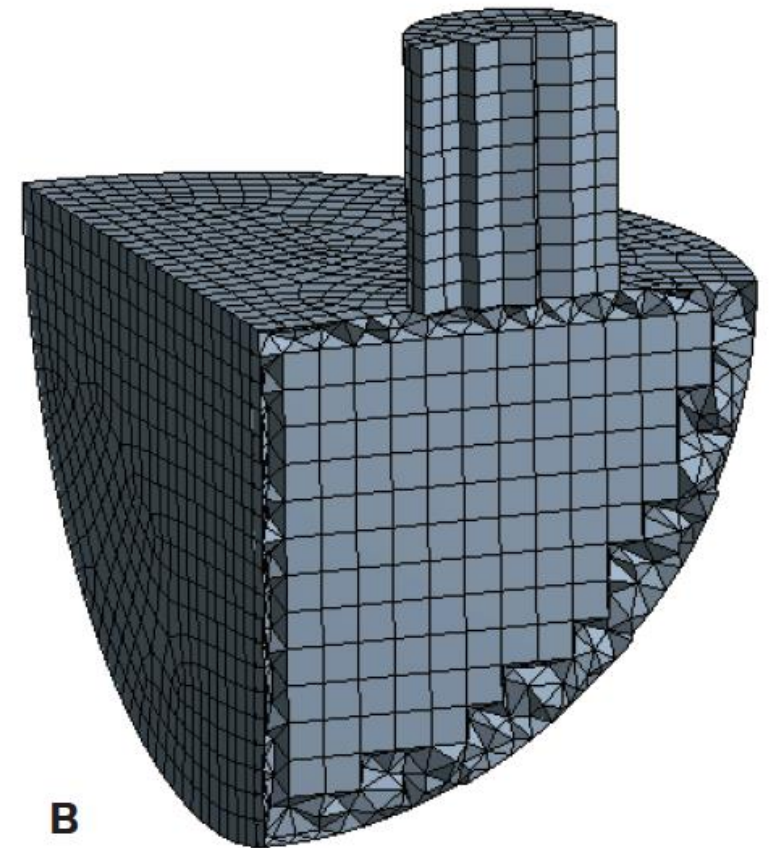
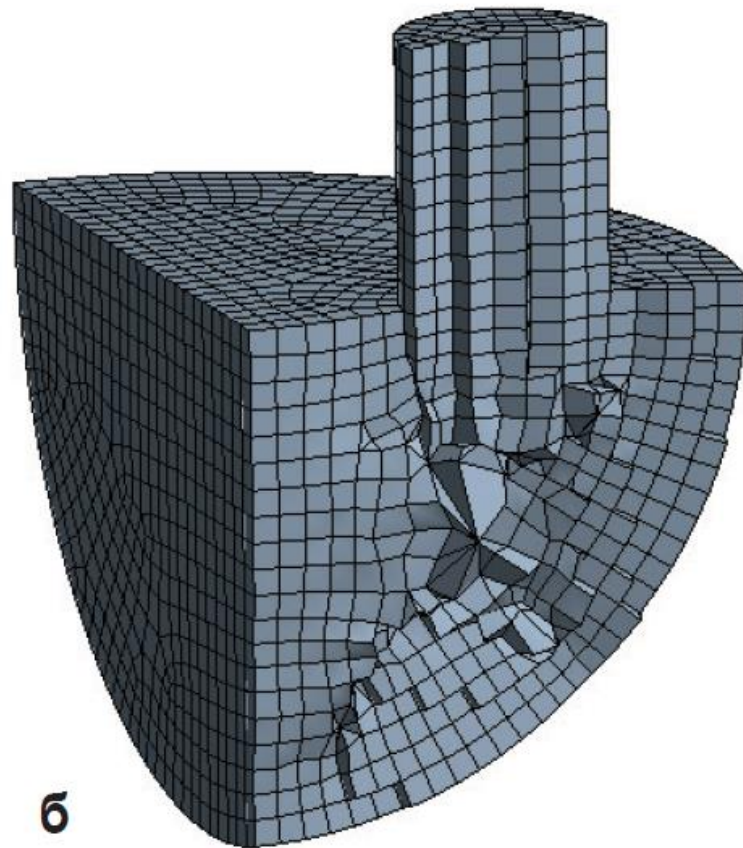
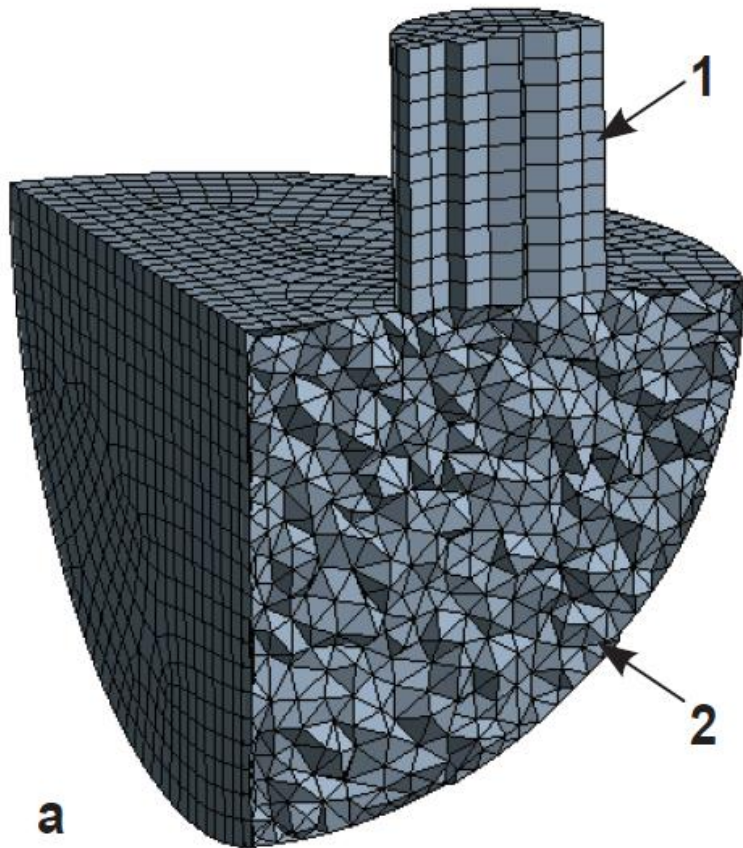
- 1) Mapped Mesh Type:**

- 2) Surface Mesh Method**

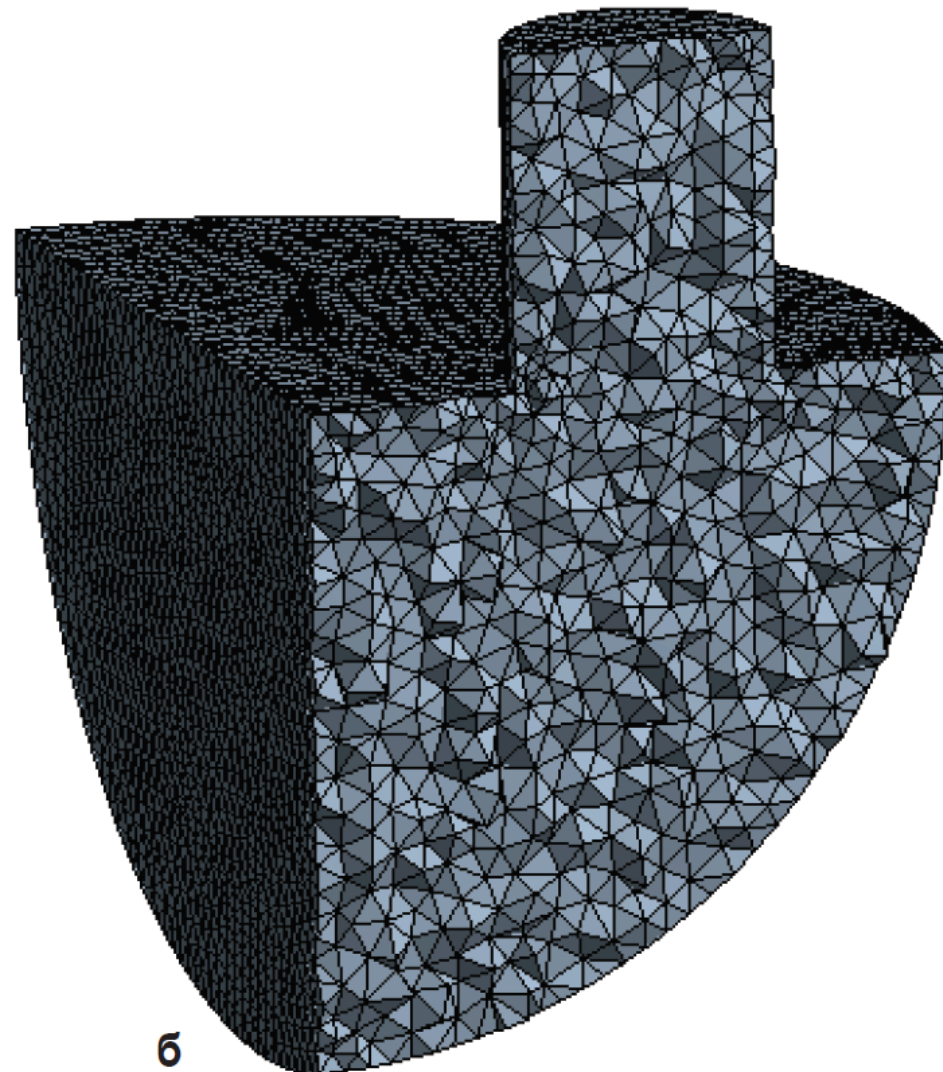
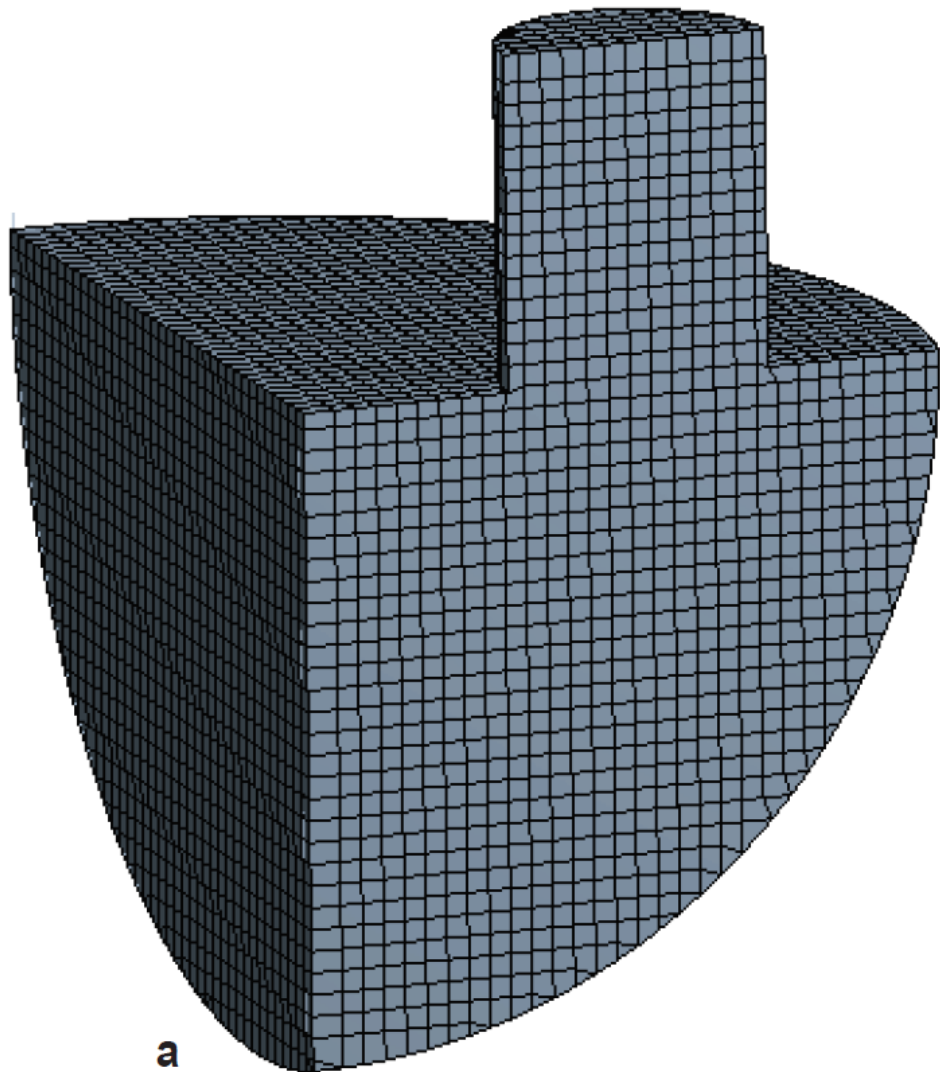
- 3) Free Mesh Type**

- 4) Src/Trg Selection**

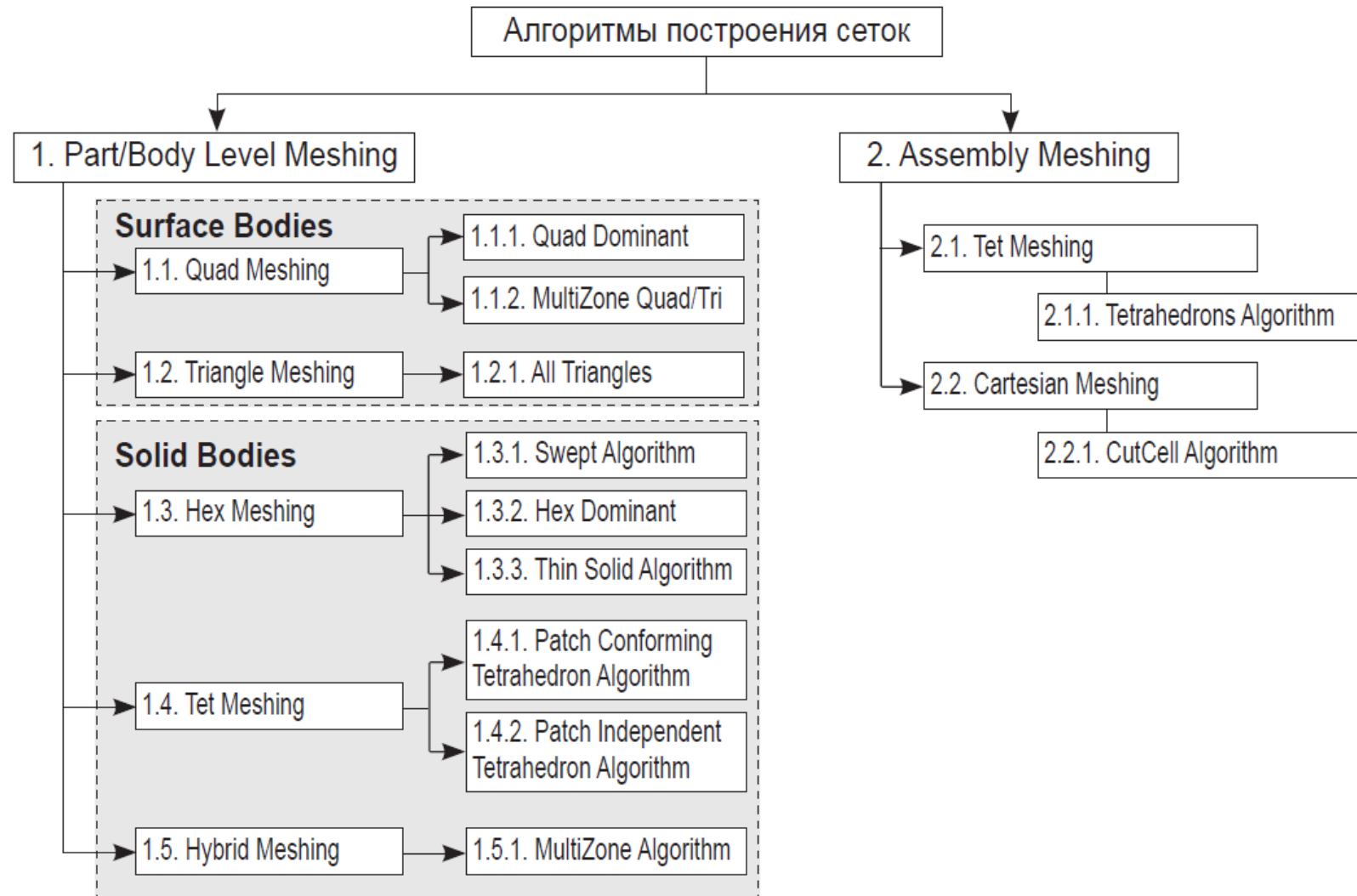
Расчетные сетки, построенные на основе метода **MultiZone**
с различным типом элемента **Free Mesh Type**:
Tetra (а), Hex Dominant (б), Hexa Core (в)



Расчетные сетки **Assembly Meshing**,
построенные с помощью методов **CutCells** (а) и
Tetrahedrons (б)



Классификация методов построения расчетных сеток в Meshing



Настройки глобальных параметров

Assembly Meshing	
Method	None

Advanced	
Number of CPUs f...	Program Controlled
Straight Sided Ele...	
Number of Retries	0
Extra Retries For ...	No
Rigid Body Behavior	Dimensionally Red...
Mesh Morphing	Disabled
Triangle Surface ...	Program Controlled
Topology Checking	No
Pinch Tolerance	Default (1,466e-0...
Generate Pinch o...	No

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	2369
<input type="checkbox"/> Elements	10304
Mesh Metric	None

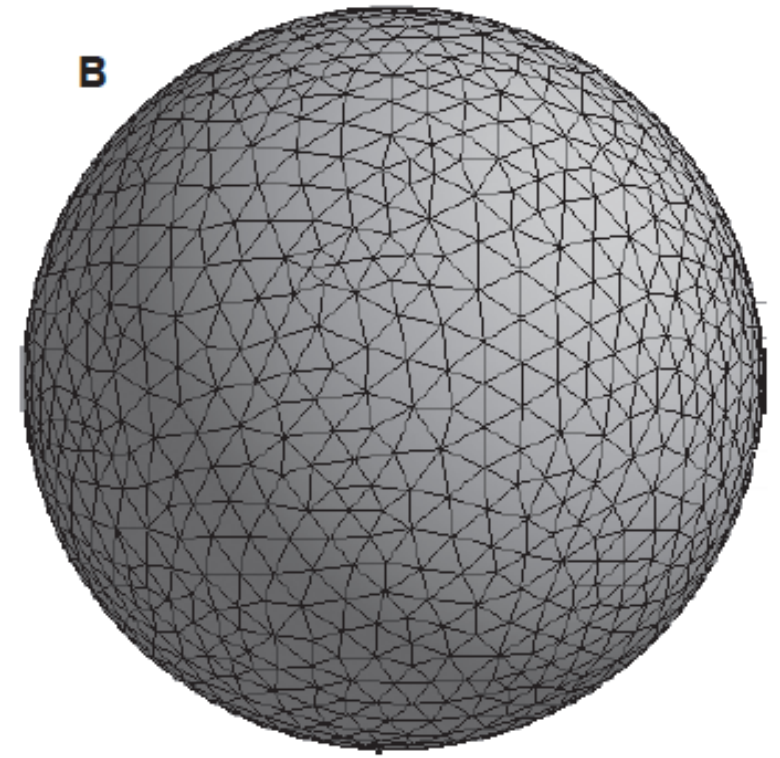
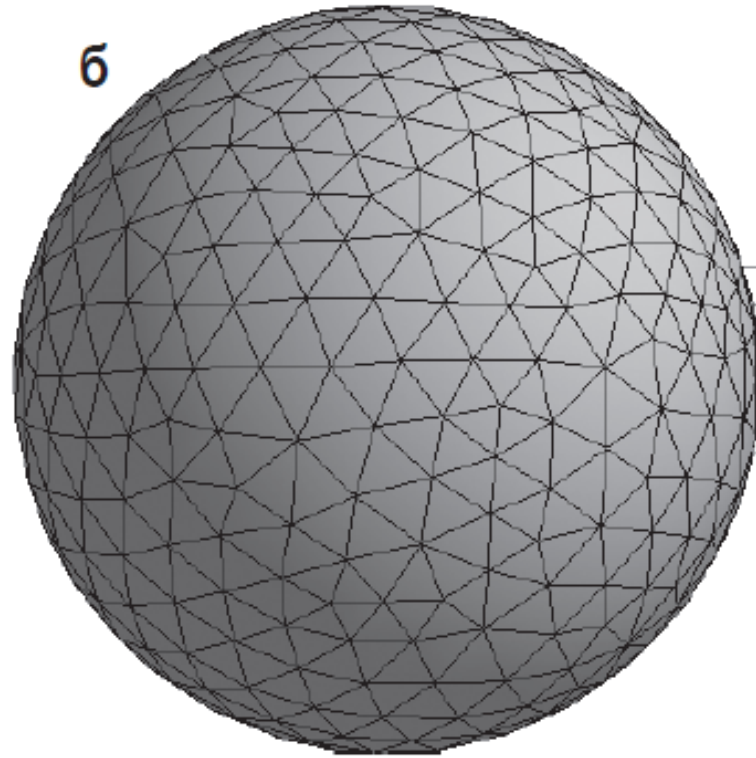
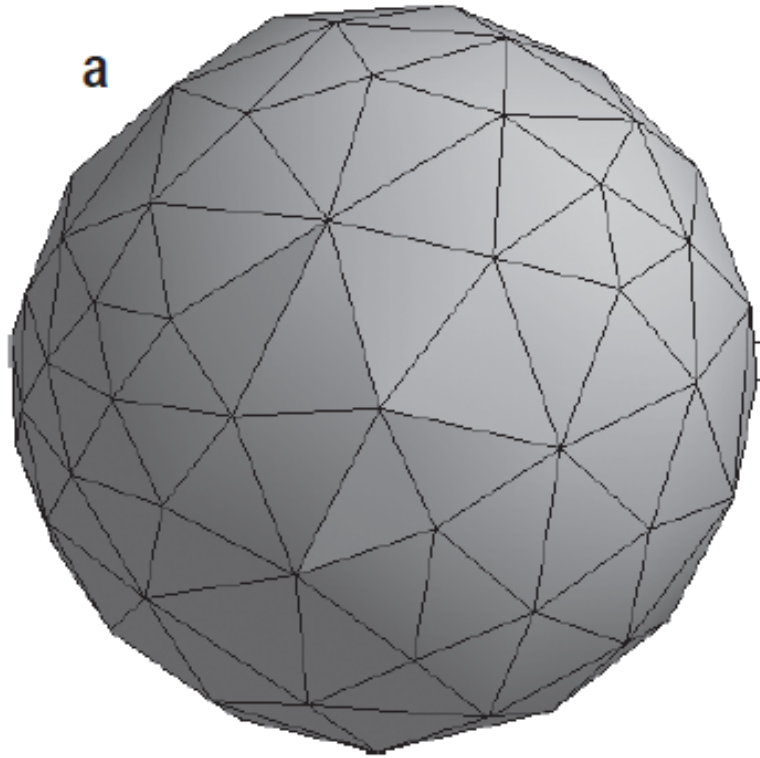
Details of "Mesh"	
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	CFD
Solver Preference	Fluent
<input type="checkbox"/> Relevance	0
Export Format	Standard
Shape Checking	CFD
Element Midside Nodes	Dropped
+ Sizing	
+ Inflation	
+ Assembly Meshing	
+ Advanced	
+ Statistics	

Sizing	
Size Function	Curvature
Relevance Center	Coarse
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
<input type="checkbox"/> Curvature Normal...	Default (18,0 °)
<input type="checkbox"/> Min Size	Default (1,628...
<input type="checkbox"/> Max Face Size	Default (1,628...
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (3,257...
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Automatic Mesh Bas...	On
<input type="checkbox"/> Defeaturing Toler...	Default (8,144...
Minimum Edge Length	5,0 m

Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transit...
<input type="checkbox"/> Transition Ratio	0,272
<input type="checkbox"/> Maximum Layers	5
<input type="checkbox"/> Growth Rate	1,2
Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No

Влияние параметра *Relevance* на разрешающую способность сетки:

а) *Relevance* = -100; б) *Relevance* = 0; в) *Relevance* = +100

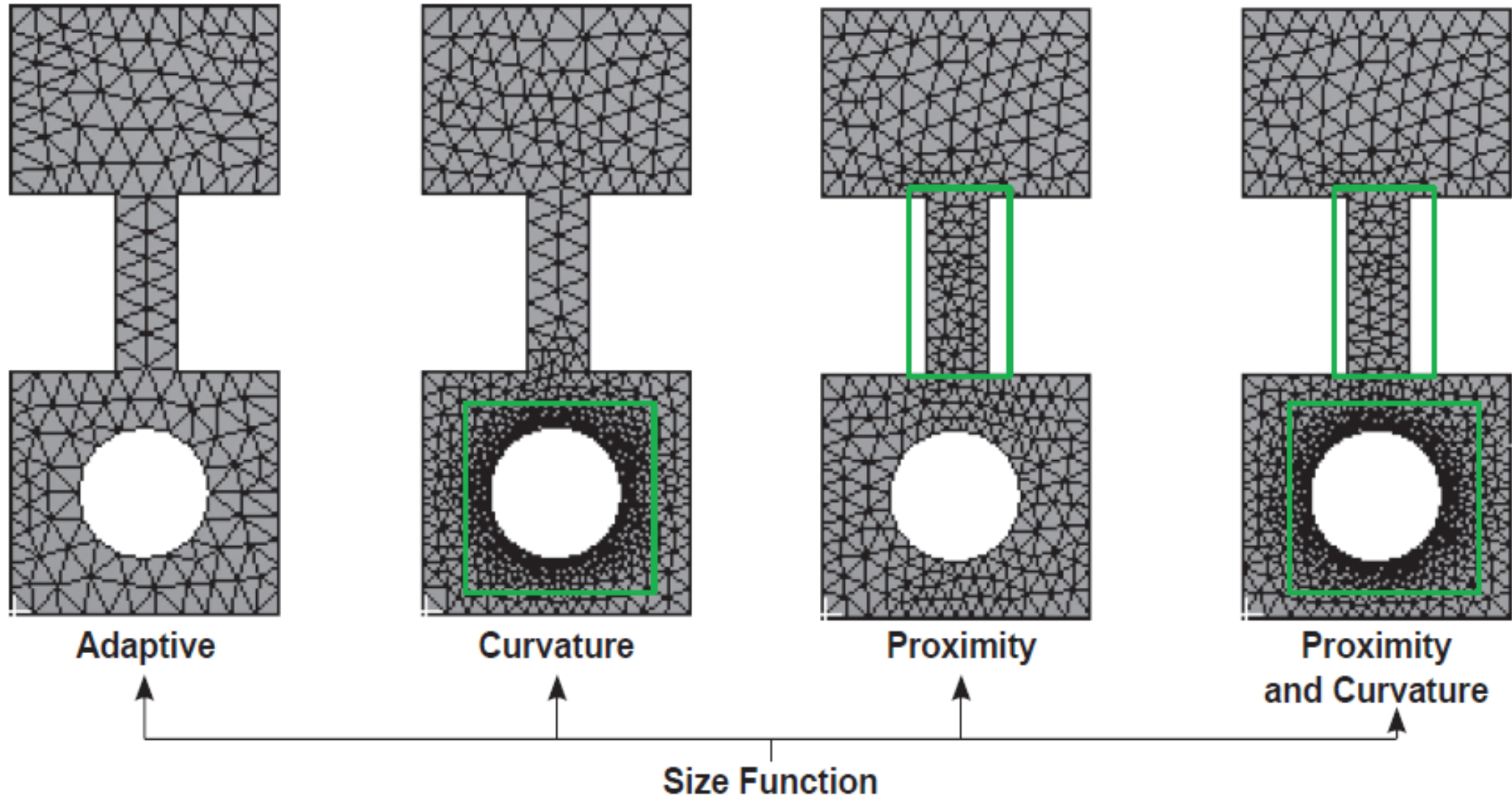


Режимы опции *Size Function*

Режим	Описание
Adaptive	<p>Расширенные возможности коррекции размера сеточных ячеек отключены (аналог режима Off в версиях старше 17.0). В этом случае размер элементов будет определяться следующими основными настройками:</p> <ul style="list-style-type: none">• среднее значение плотности сетки (Relevance Center): грубая (Coarse), средняя (Medium), мелкая (Fine);• характерный размер ячеек на ребрах, гранях и в объемах (Element Size);• Initial Size Seed: позволяет контролировать начальное распределение размеров сеточных элементов для каждой группы тел (Part) в сборке. На начальном этапе при генерации распределение размеров сеточных элементов задается на диагонали условного параллелепипеда, в который вписаны все активные группы тел (режим Active Assembly) или все активные и «подавленные» группы тел (Full Assembly). Также существует режим Part, при котором такие параллелепипеды создаются для каждой отдельной группы тел в сборке, это приводит к повышению качества сетки на отдельных элементах геометрической модели;• степень сглаживания (Smoothing), которая позволяет повышать качество ячеек за счет смещения узлов сетки по отношению к соседним узлам и элементам. В зависимости от числа итераций сглаживания могут быть использованы режимы Low, Medium или High;• отношение размеров соседних ячеек сетки (Transition): режим Slow обеспечивает более плавный переход между размерами соседних ячеек по отношению к более резкому переходу, характерному для режима Fast. Настройка Transition недоступна при использовании метода CutCells;• параметр учета кривизны ребер (Span Angle Center). Данный параметр позволяет подбирать размер сеточных элементов таким образом, чтобы угол между нормальными к граням смежных элементов находился в заданном диапазоне: Coarse (91°÷60°), Medium (75°÷24°) или Fine (36°÷12°);• инструмент Automatic Mesh Based Defeaturing: позволяет в автоматическом режиме удалять все геометрические особенности, характерный размер которых менее заданного критерия (Defeaturing Tolerance). Инструмент недоступен при построении сеток класса Assembly Mesh. <p>Настройки, описанные для режима Adaptive, используются и в других режимах Size Function</p>

Curvature	<p>Позволяет использовать дополнительные опции при выборе характерного размера элементов с учетом степени кривизны ребер и поверхностей геометрии:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curvature Normal Angle: устанавливает максимально допустимый угол между нормальными, проведенными к граням соседних элементов сетки, значение может варьироваться в диапазоне от 0° до 180°. В случае, когда значение параметра равно 0, угол вычисляется автоматически на основе значений параметров Relevance и Span Angle Center; • Min Size: минимальный характерный размер сеточного элемента, который будет использован при построении сетки; • Max Face Size: максимальный характерный размер сеточных элементов на поверхностях; • Max Tet Size: максимальный характерный размер сеточных элементов; • Growth Rate: определяет, во сколько раз длина ребра сеточного элемента может вырасти по отношению к длине ребра элемента предыдущего слоя ячеек. <p>В режиме Curvature также доступен ряд общих опций, описанных для режима Adaptive</p>
Proximity	<p>Позволяет задавать число элементов сетки в зазорах между геометрическими элементами сборки. Зазоры между геометрическими элементами идентифицируются:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) как внутренние объемы между двумя поверхностями геометрии; 2) как внутренние поверхности между двумя ребрами геометрической модели. <p>При использовании данного режима размер элементов будет определяться в соответствии со следующими дополнительными настройками:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Num Cells Across Gap: определяет минимальное количество слоев ячеек в зазорах; • Proximity Size Function Sources: определяет, для каких типов зазоров при корректировке размера ячеек будет применяться опция Proximity: Face (зазоры между поверхностями), Edge (зазоры между ребрами), Face and Edge (зазоры между поверхностями и между ребрами); • Proximity Min Size: определяет минимальный характерный размер сеточных ячеек в зазоре. <p>В режиме Proximity также доступны опции Max Face Size, Max Tet Size и Growth Rate, описанные для режима Curvature, и ряд общих опций, описанных для режима Adaptive</p>
Proximity and Curvature	<p>Позволяет совместно использовать опции методов Proximity и Curvature, описанные выше</p>
Uniform	<p>Аналог режима Fixed предыдущих версий продукта. Определяет характерный размер элементов на основе заданных пользователем минимального и максимального размеров сеточного элемента и соотношения размеров соседних ячеек. Использует опции Min Size, Max Face Size, Max Tet Size и Growth Rate, описанные выше</p>

*Примеры 2D-расчетных сеток,
построенных с использованием различных режимов
Size Function*

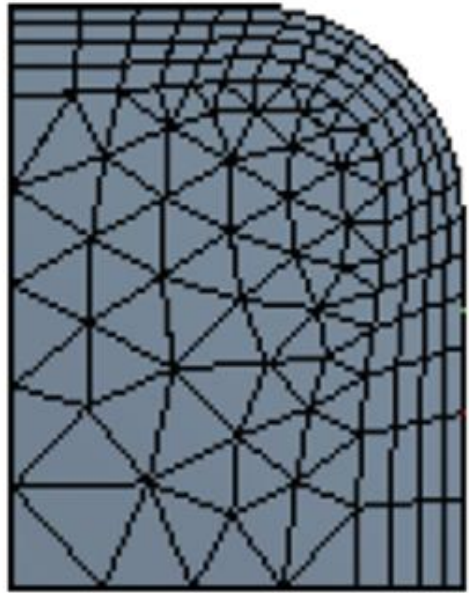


Настройки метода Inflation

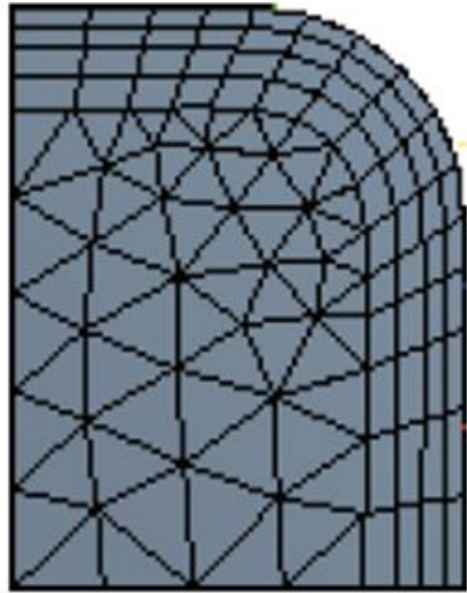
Метод	Описание и настройки
Smooth Transition	<p>Метод по умолчанию. Метод использует характерный размер сеточного непризматического элемента в модели для вычисления толщины последнего призматического слоя и общей толщины всех призматических слоев. Основным параметром метода является соотношение Transition Ratio [$0 \leq H \leq 1$], которое показывает, во сколько раз толщина элементов в последнем призматическом слое меньше характерных размеров ячеек следующего, непризматического слоя (расположенного над призматическими слоями). Таким образом, если исходная расчетная сетка, которую необходимо подвергнуть операции Inflation, является равномерной, то и толщина призматических слоев будет одинаковой. Если размер сеточных элементов в модели меняется вдоль поверхности, то и толщина элементов в пределах каждого призматического слоя также будет изменяться (рис. 3.20, а).</p> <p>Метод также требует задания следующих параметров:</p> <ul style="list-style-type: none">• Maximum Layers [$1 \leq n \leq 1000$]: определяет максимально допустимое число создаваемых призматических слоев;• Growth Rate [$0,1 \leq g \leq 5$]: определяет, как толщина следующего призматического слоя изменяется по отношению к толщине предыдущего

Метод	Описание и настройки
Total Thickness	В отличие от метода Smooth Transition , данный метод не учитывает изменения размеров сеточных элементов вдоль поверхности модели, что приводит к равной высоте всех ячеек в первом от стенки (и, соответственно, последующих) призматическом слое (рис. 3.20, б). Определяется параметром фиксированной совокупной высоты всех призматических слоев (Maximum Thickness), а также числом призматических слоев Maximum Layers и соотношением толщин соседних призматических слоев Growth Rate
First Layer Thickness	Аналогично методу Total Thickness , строит призматические слои с одинаковой толщиной элементов в пределах каждого слоя (рис. 3.20, в). Определяется параметром фиксированного значения толщины первого призматического слоя (First Layer Height), а также параметрами Maximum Layers и Growth Rate
First Aspect Ratio	Построение призматических слоев осуществляется на основе параметров Maximum Layers, Growth Rate и First Aspect Ratio , которые определяют отношение совокупных высот всех призматических слоев к характерным локальным размерам элементов, расположенных вдоль поверхности области (рис. 3.20, г)
Last Aspect Ratio	Построение призматических слоев осуществляется на основе параметров First Layer Height, Maximum Layers и Aspect Ratio , которые определяют отношение толщин элементов последнего призматического слоя к характерным локальным размерам элементов, расположенных на поверхности области (рис. 3.20, д)

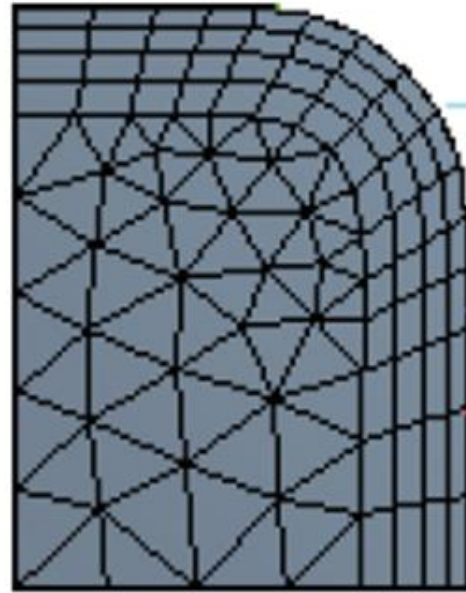
- *Примеры построения призматических слоев различными методами*
Inflation Option: Smooth Transition (а), Total Thickness (б), First Layer Thickness (в), First Aspect Ratio (г) и Last Aspect Ratio (д)



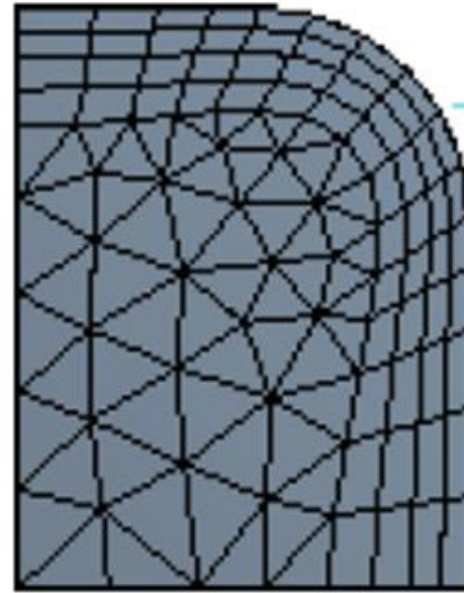
а



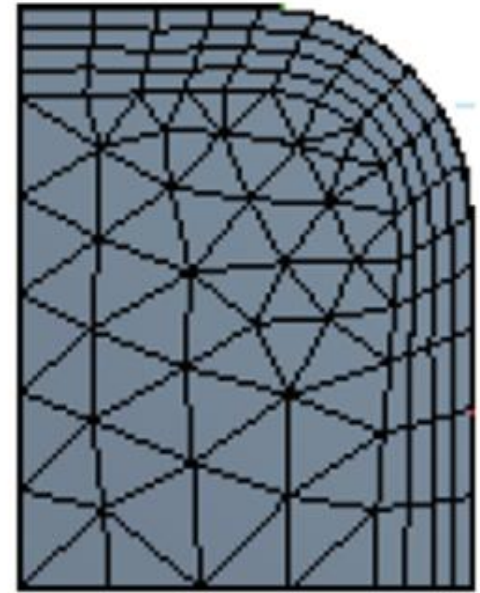
б



в



г

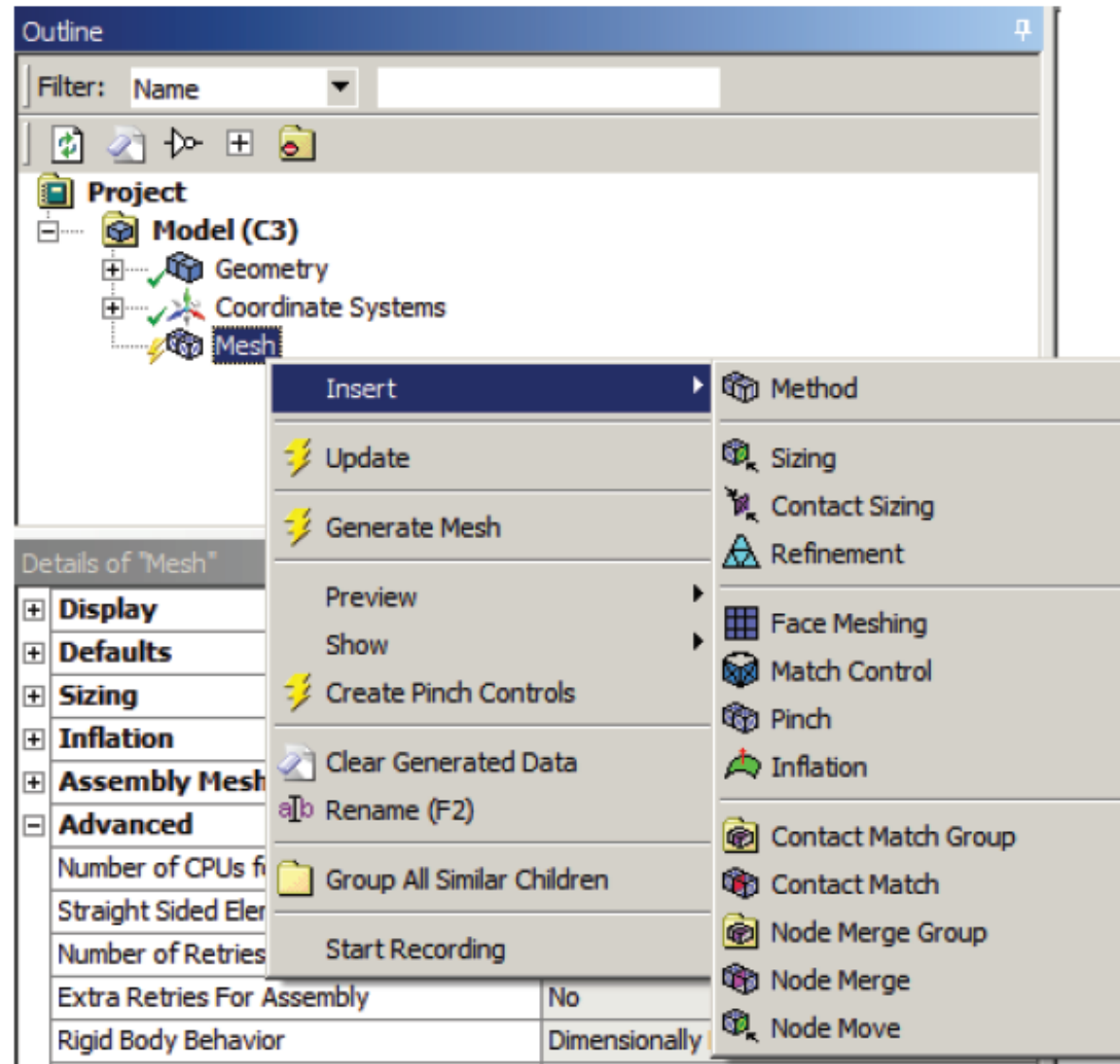


д

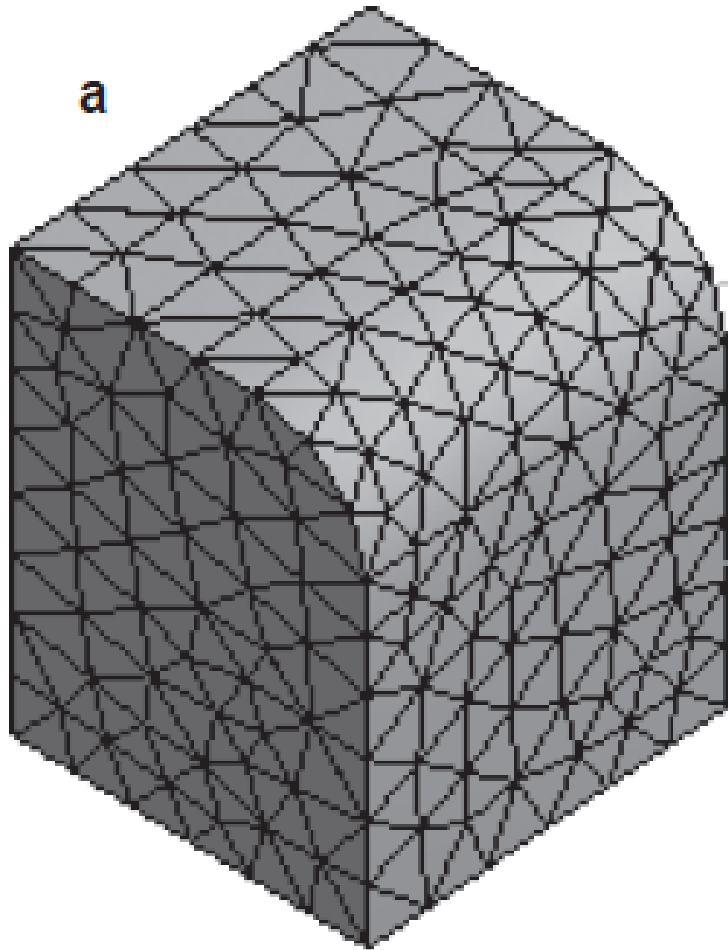
- **Number of CPUs for Parallel Part Meshing**
- **Number of Retries**
- **Mesh Morphing**
- **Topology Checking**
- **Pinch Tolerance**

Настройки локальных параметров

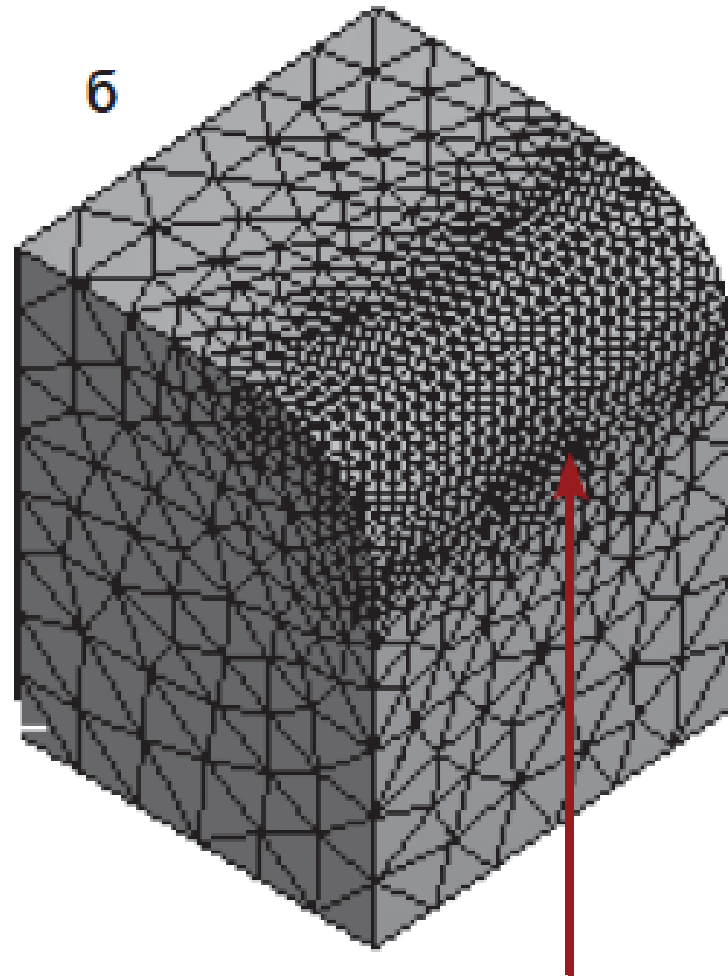
- Доступ к инструментам для настройки локальных параметров сетки



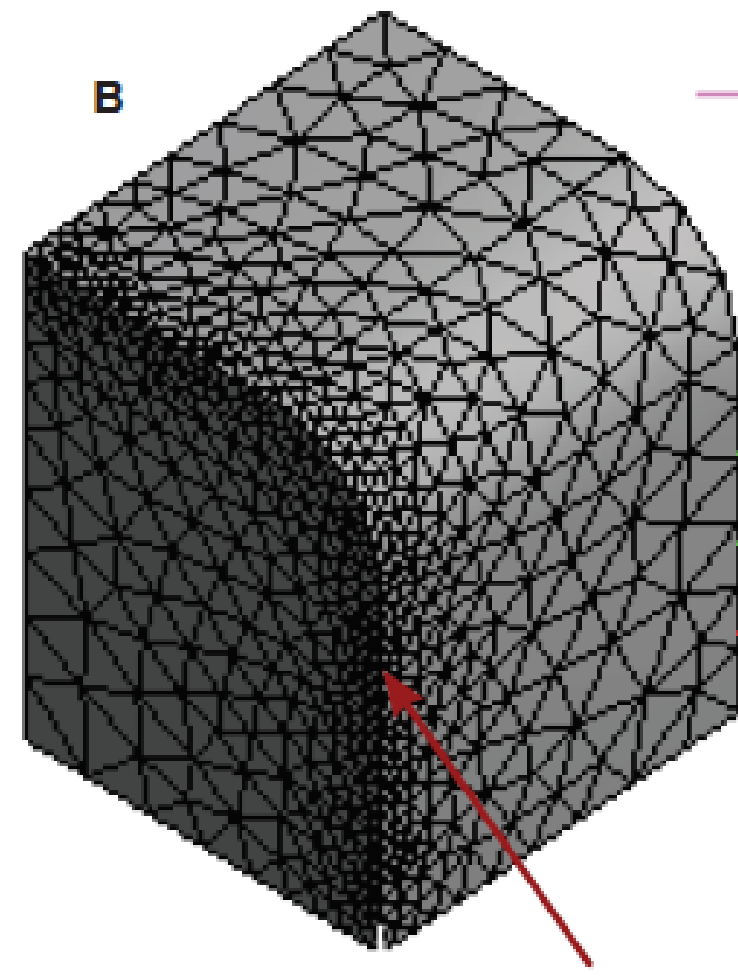
- *Примеры построения неструктурированной сетки с использованием: глобальных (а) и локальных (б, в) параметров для задания размера сеточных элементов*



Global Size



Global Sizing + Face Sizing

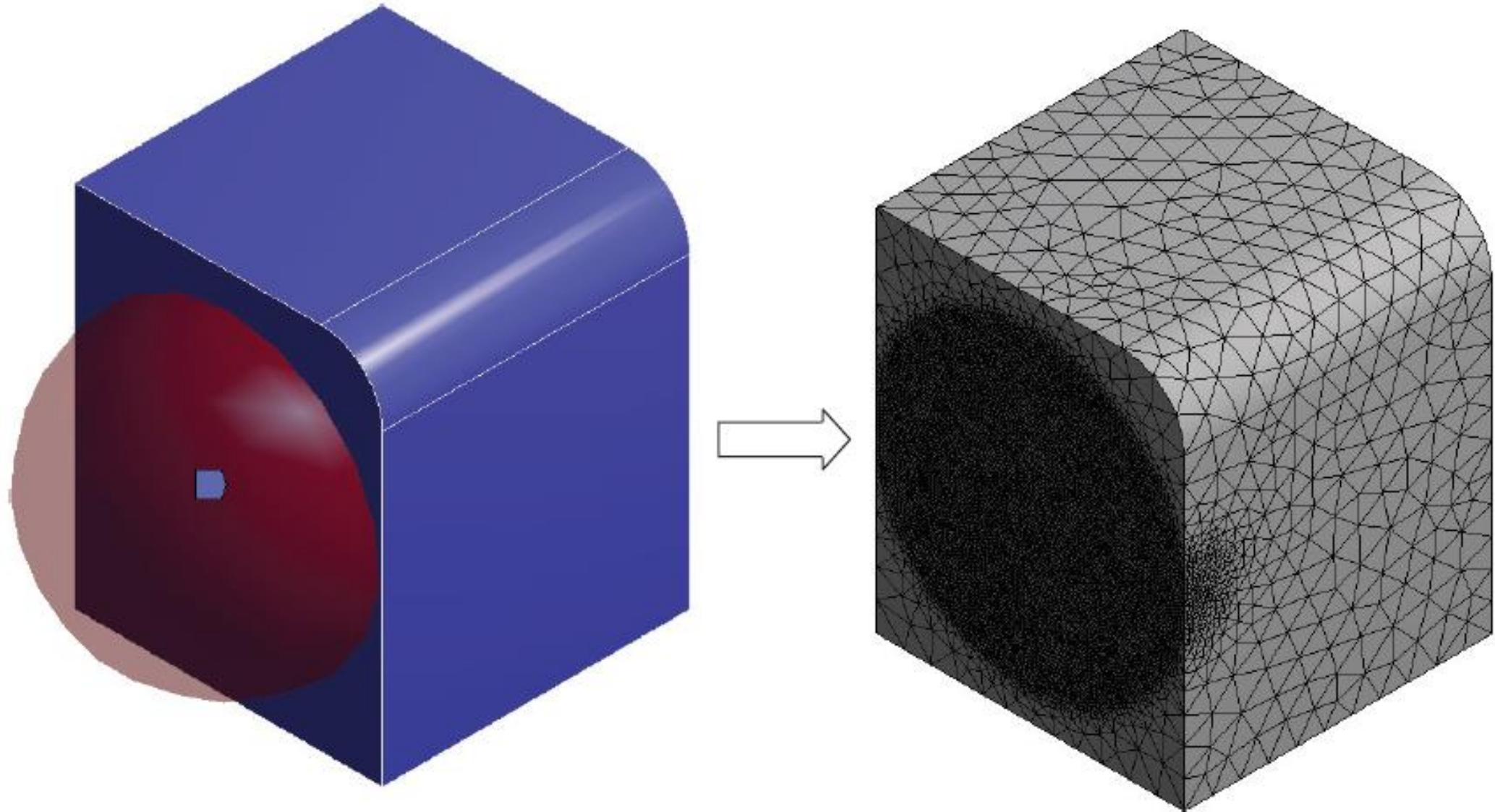


Global Sizing + Edge Sizing

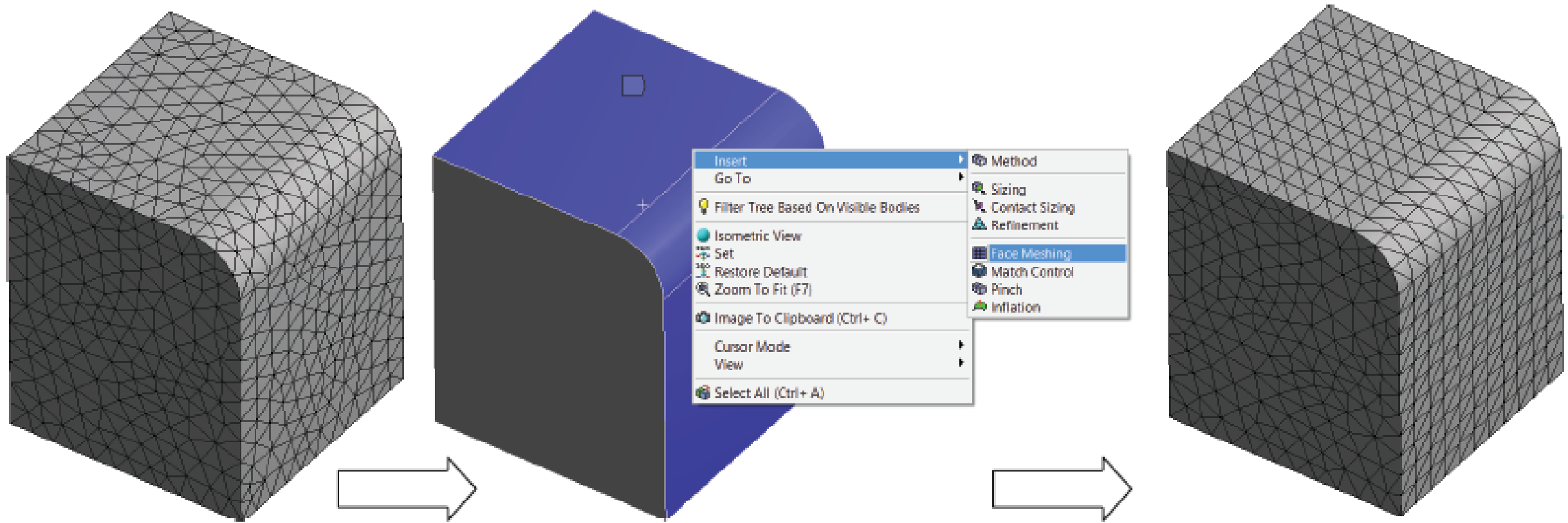
Методы описания размерности сетки

Название	Описание	Ограничения
Element Size	Требует задания максимального размера ячейки в объеме/на поверхности/ребре. Имеет дополнительные параметры: <ul style="list-style-type: none">• Behavior: опция Hard означает, что число ячеек, определенное в методе, будет фиксированным вне зависимости от глобальных настроек сетки и индикации ячеек плохого качества; опция Soft, напротив, позволяет изменить количество ячеек на ребре в соответствии с глобальным параметром сетки для повышения качества ячеек;• Bias Type: позволяет выбрать тип сгущения ячеек на ребре к одному из концов/обоим концам/середине ребра и степень сжатия ячеек в выбранном направлении	–
Sphere of Influence	Позволяет установить размер ячеек сетки локально на некоторой части геометрической модели в пределах сферы заданного радиуса (рис. 3.23), для чего необходимо задать: <ul style="list-style-type: none">• центр сферы (в поле Sphere Center), в пределах которой будет установлен фиксированный размер ячейки. Для этого следует предварительно создать локальную систему координат (через контекстное меню Coordinate Systems дерева Outline);• радиус сферы (Sphere Radius);• размер ячейки в пределах сферы (Element Size)	Не может быть применен к ребрам и поверхностям при включенной глобальной опции Size Function
Body of Influence	Принцип работы метода аналогичен методу Sphere of Influence , однако вместо сферы может быть выбрано тело любой произвольной формы, частично пересекающее объем исходного 3D-тела	Доступен только для 3D-тел при включенной опции Size Function
Number of Divisions	Требует задания количества ячеек на ребре, размер ячейки пересчитывается автоматически. Доступны настройки, аналогичные методу Element Size	Недоступен для разбиения на сеточные элементы поверхностей и объемов; недоступен при построении сетки методом Assembly Mesh

*Примеры работы инструмента **Sphere of Influence** для задания локального размера ячеек сетки*



Пример работы инструмента **Face Meshing** для построения структурированной сетки на поверхности



Критерии качества расчетных сеток

- Построение качественной расчетной сетки – часто процесс итерационный и состоит из следующих шагов:
 - 1) задание настроек для сетки;
 - 2) построение сетки;
 - 3) проверка качества сетки и повторение пп. 1–3 в случае неудовлетворительного результата.

Основные критерии качества расчетных сеток.

- **Element Quality:** может принимать значения от 0 (наиболее низкое качество) до 1 (самое высокое качество). Для 2D-случая критерий основан на отношении площади элемента к сумме квадратов длин ребер элемента:

$$Quality^{2D} = C(S/\sum(EdgeLength)^2),$$

а для случая 3D – на отношении объема элемента к квадратному корню от суммы квадратов длин ребер элемента в кубе:

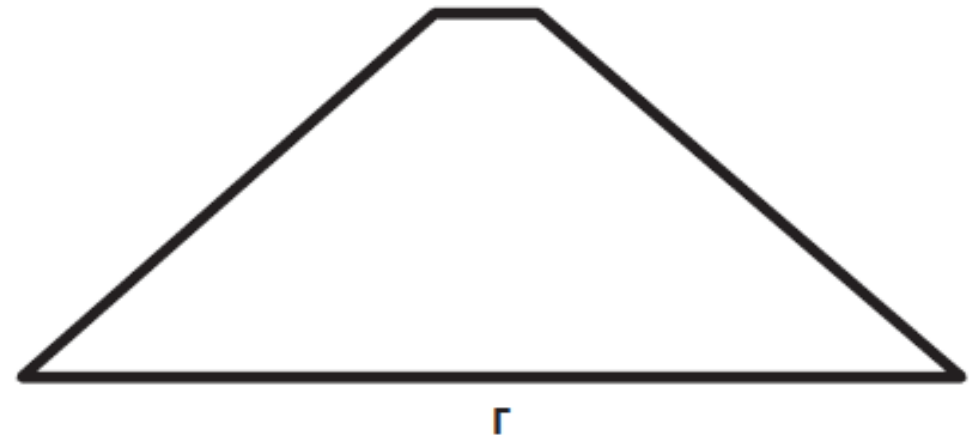
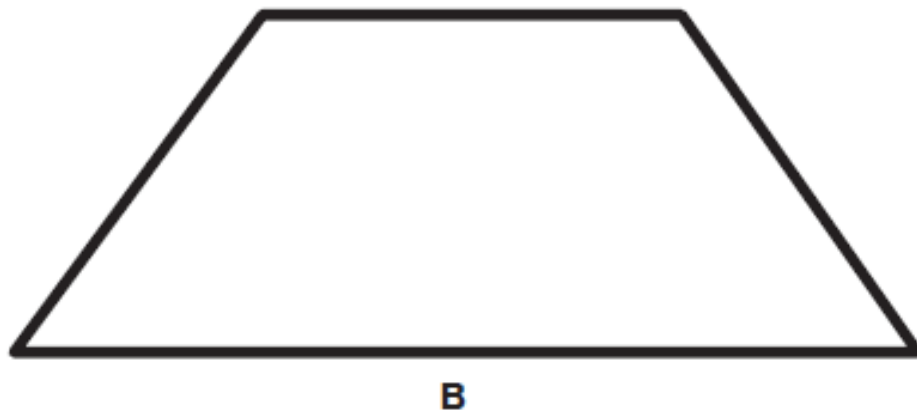
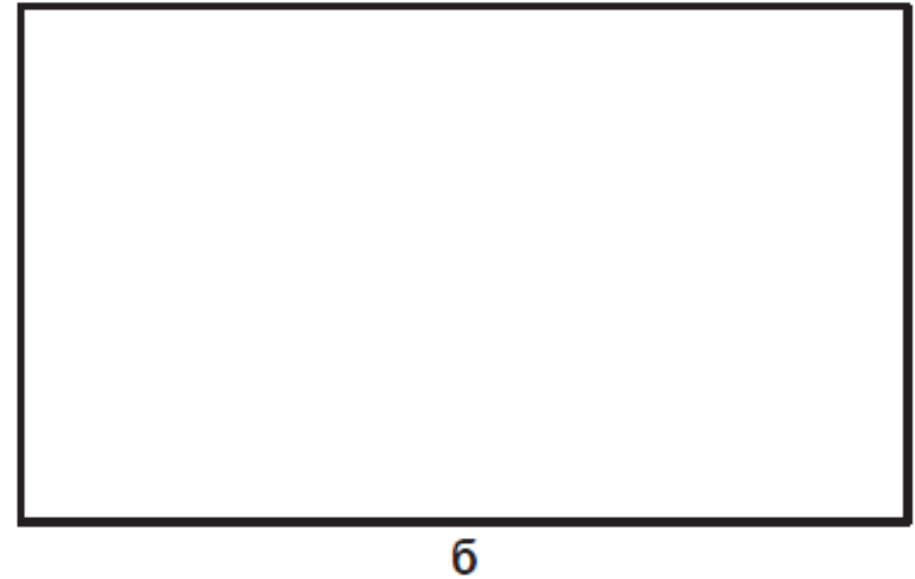
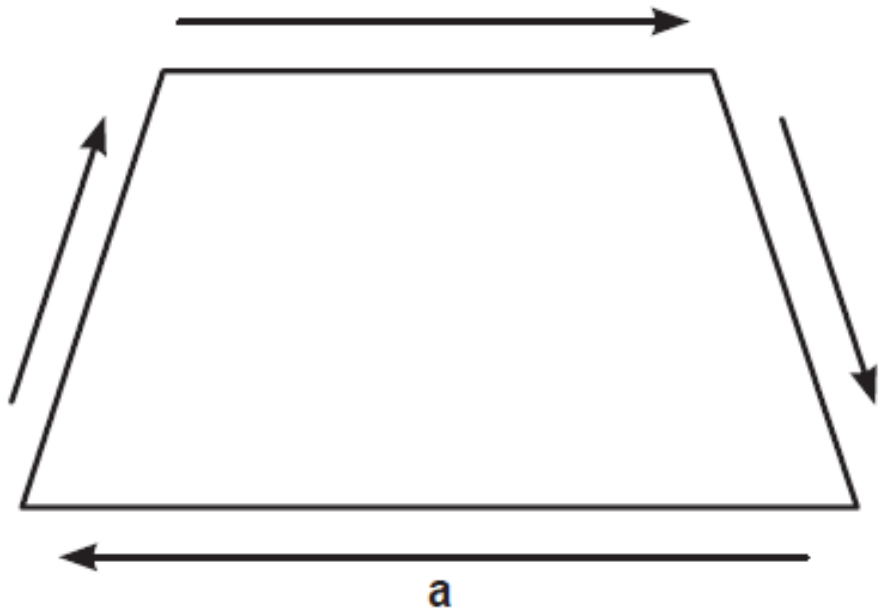
$$Quality^{3D} = C(V/\sqrt{\sum(EdgeLength^2)^3}),$$

где S – площадь 2D-элемента; V – объем 3D-элемента; C – параметр, зависящий от формы элементов

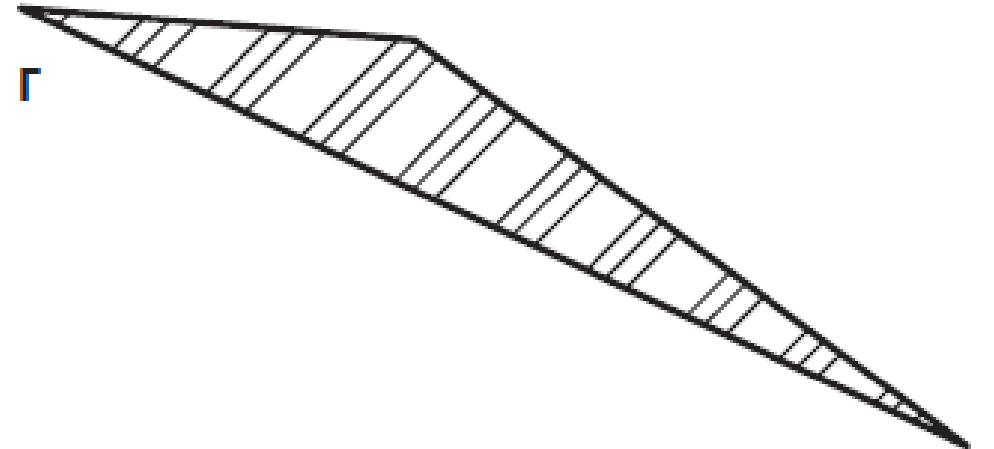
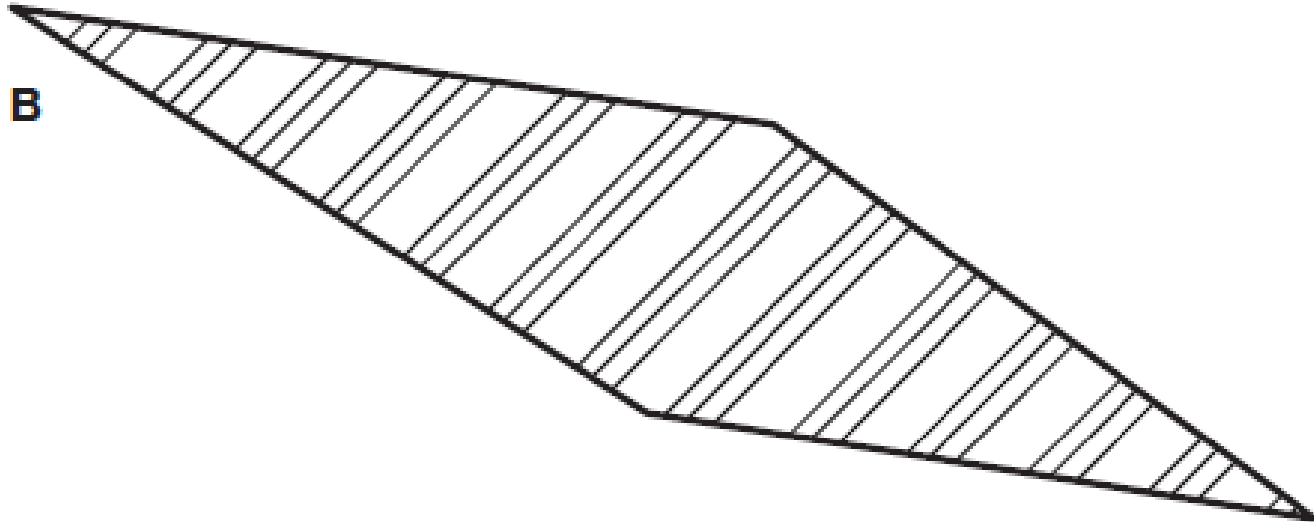
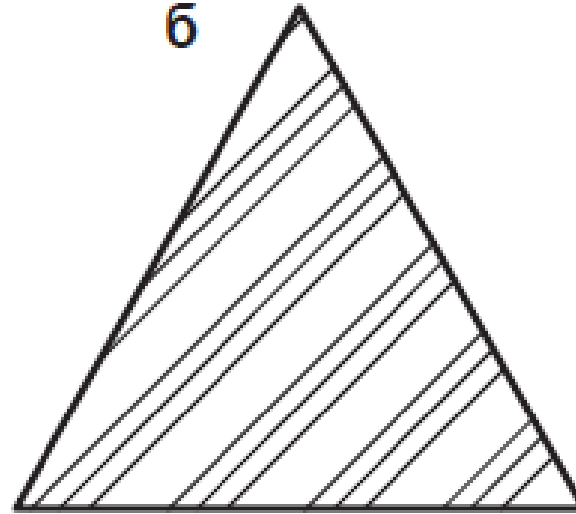
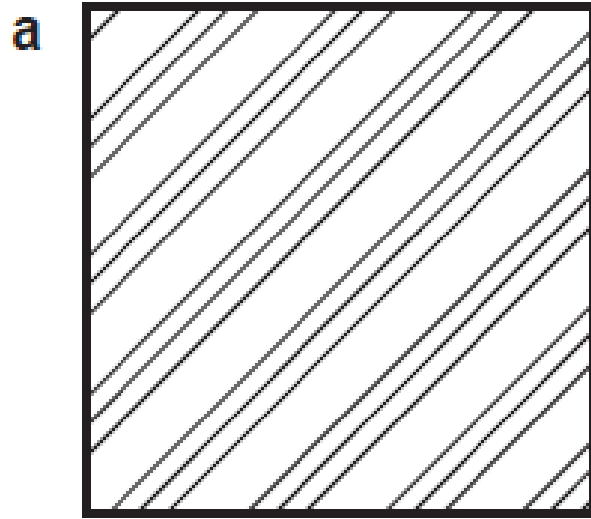
Тип элемента	Параметр C
Треугольный элемент, 2D	6,92820323
Четырехугольный элемент, 2D	4,0
Тетраэдр, 3D	124,70765802
Гексаэдр, 3D	41,56921938
Призма, 3D	96

Критерий *Parallel Deviation*:

построение единичных векторов для каждой пары ребер элемента (а)
и элементы с различным значением критерия $\alpha = 0^\circ$ (б), $\alpha = 70^\circ$ (в), $\alpha = 100^\circ$
(г)



Критерий Skewness: элементы со значением критерия, равным 0 (а, б) и близким к 1 (в, г)



Orthogonal Quality: один из наиболее важных критериев качества для CFD-сеток. Принимает значения от 0 до 1, где 0 соответствует наихудшему качеству ортогональности ячеек, а 1 – наилучшему. **Orthogonal Quality** определяется как минимальное из величин:

$$\frac{\vec{A}_i \cdot \vec{f}_i}{|\vec{A}_i| \cdot |\vec{f}_i|}, \frac{\vec{A}_i \cdot \vec{c}_i}{|\vec{A}_i| \cdot |\vec{c}_i|},$$

где \vec{A} – нормальные к граням ячейки векторы, проведенные из геометрического центра текущей ячейки к геометрическим центрам ячеек, соприкасающихся с текущей; \vec{f} – векторы, проведенные из геометрического центра текущей ячейки к геометрическому центру каждой грани текущей ячейки; i – номер грани ячейки; \vec{A}_i – вектор, нормальный к i -й грани ячейки

- **Orthogonal Quality:** *графическая интерпретация критерия*

