



Институт математики,  
информационных и  
космических технологий



Центр  
инновационного  
обучения

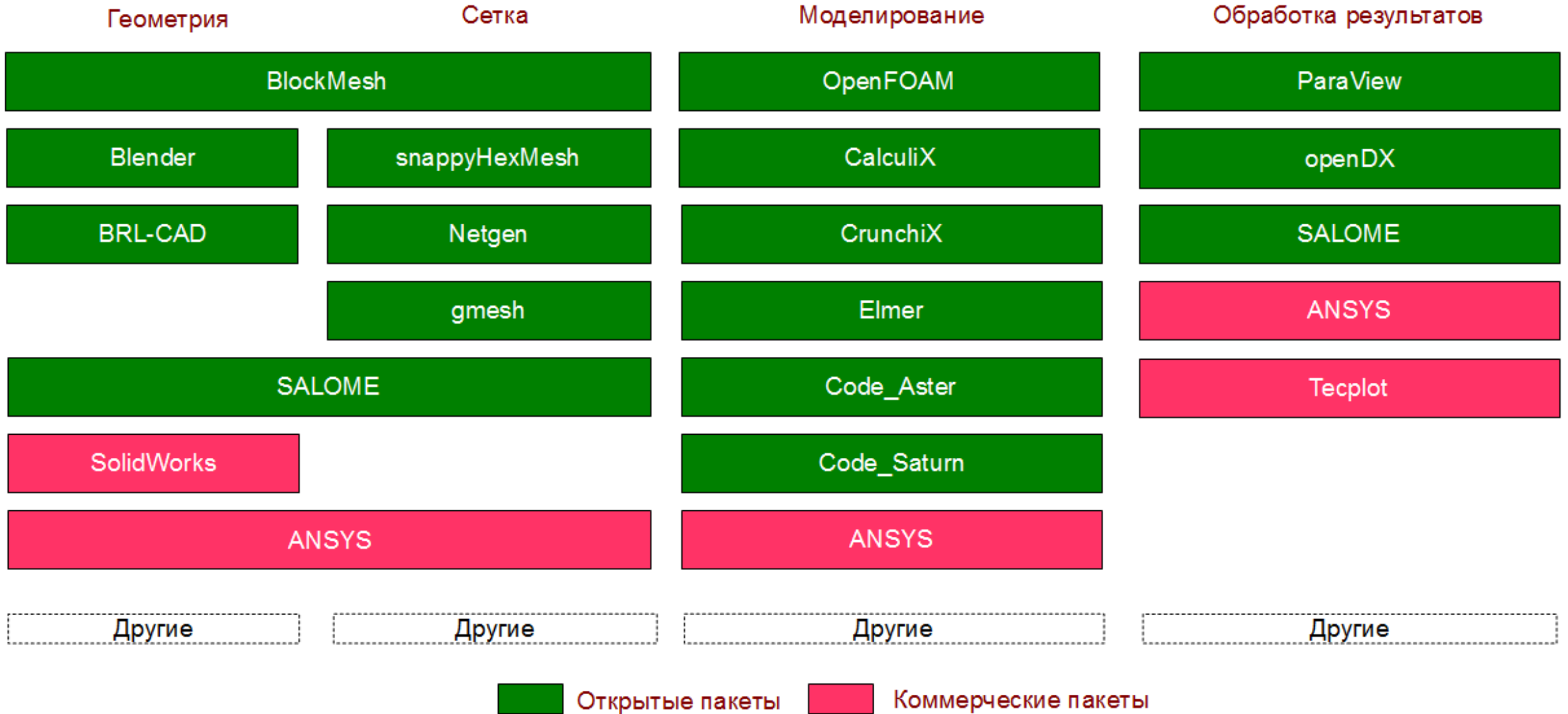


Высокопроизводительные вычисления  
на Grid системах  
Шестая международная молодежная научно-  
практическая школа

# Построение сеточной модели в ANSYS ICEM CFD

**Панкратов Евгений**  
Инженер ЦИО ИМИКТ САФУ  
[e.pankratov@narfu.ru](mailto:e.pankratov@narfu.ru)

# Инструменты построения математической модели



# Возможности ANSYS

ANSYS – это программное обеспечение для решения задач инженерного анализа с использованием методов математического моделирования.



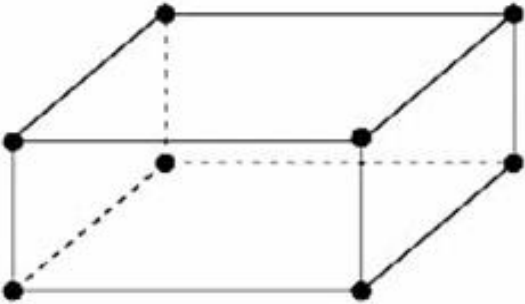
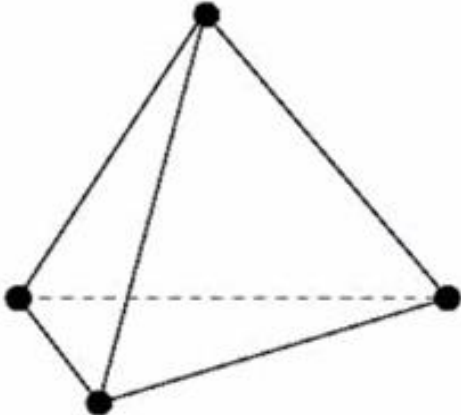
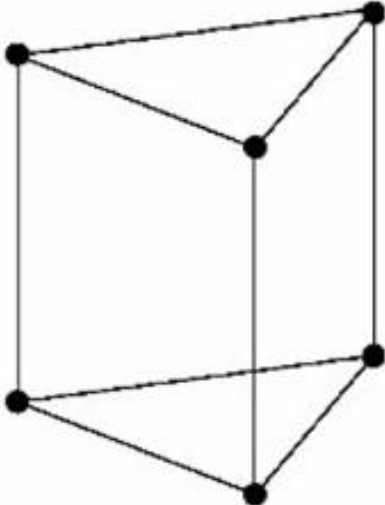
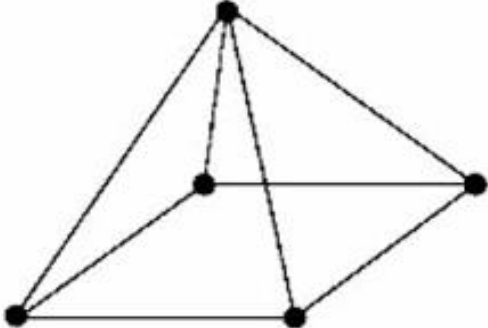
Вычислительная  
гидродинамика

Механика  
деформируемого  
твёрдого тела

Электромагнетизм

Междисциплинарные  
расчеты и системы

# Основные типы 3D элементов

Гексаэдр (hex)	Тетраэдр (tet)	Призма	Пирамида
			

# Элементы: гексаэдры

За:

- Хорошие элементы при моделировании пограничного слоя
- Лучший вариант с точки зрения затрат памяти и вычислительного времени в расчете на элемент

Против:

- Относительная сложность построения



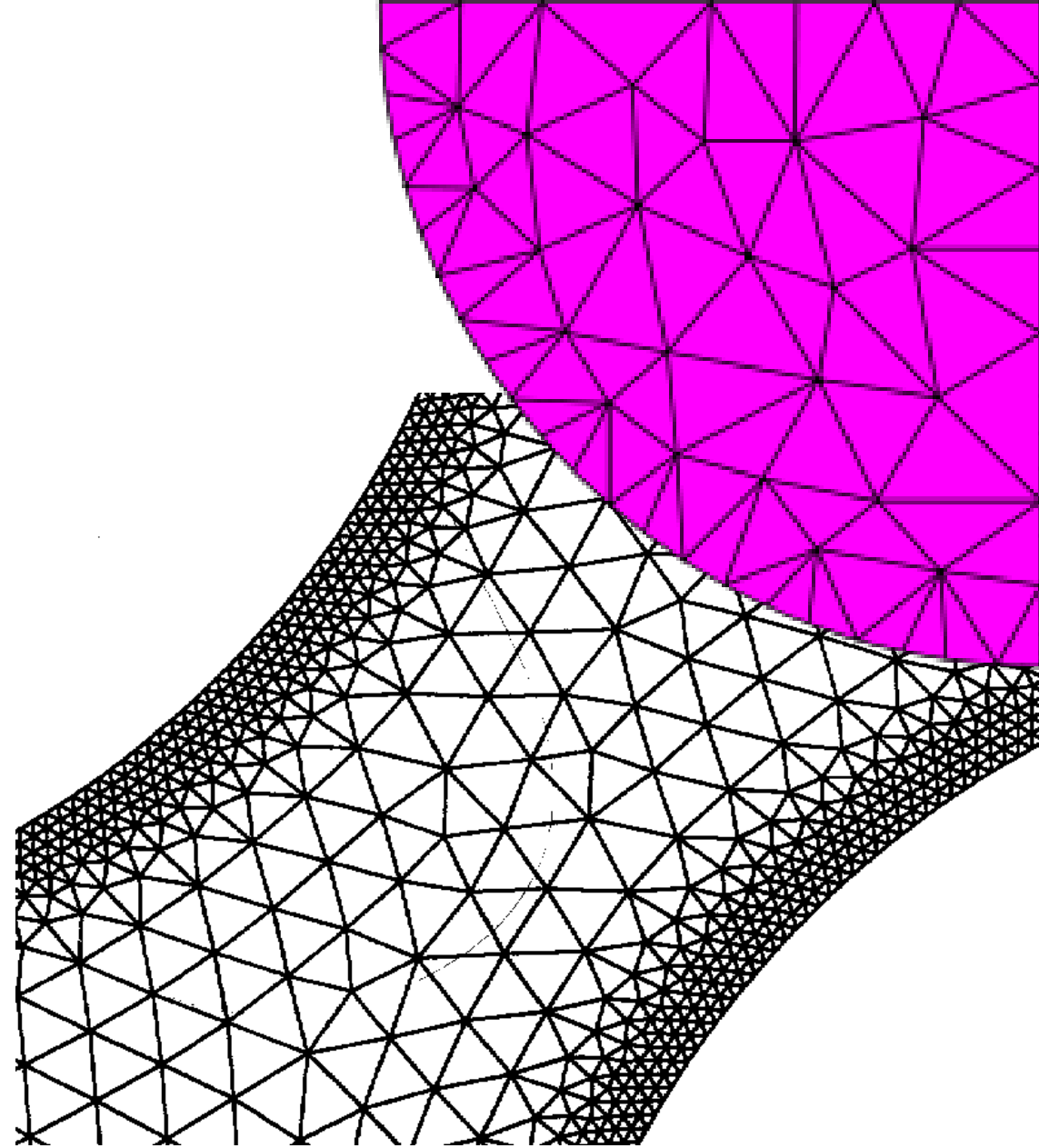
# Элементы: тетраэдры

За:

- Высокая степень автоматизации построения сетки

Против:

- Память и время в расчете на узел затрачивается в полтора раза больше по сравнению с гексаэдрической сеткой
- Плохие элементы в при моделировании пограничного слоя
- Нет ориентации по линиям тока
- Приходится компенсировать качество количеством



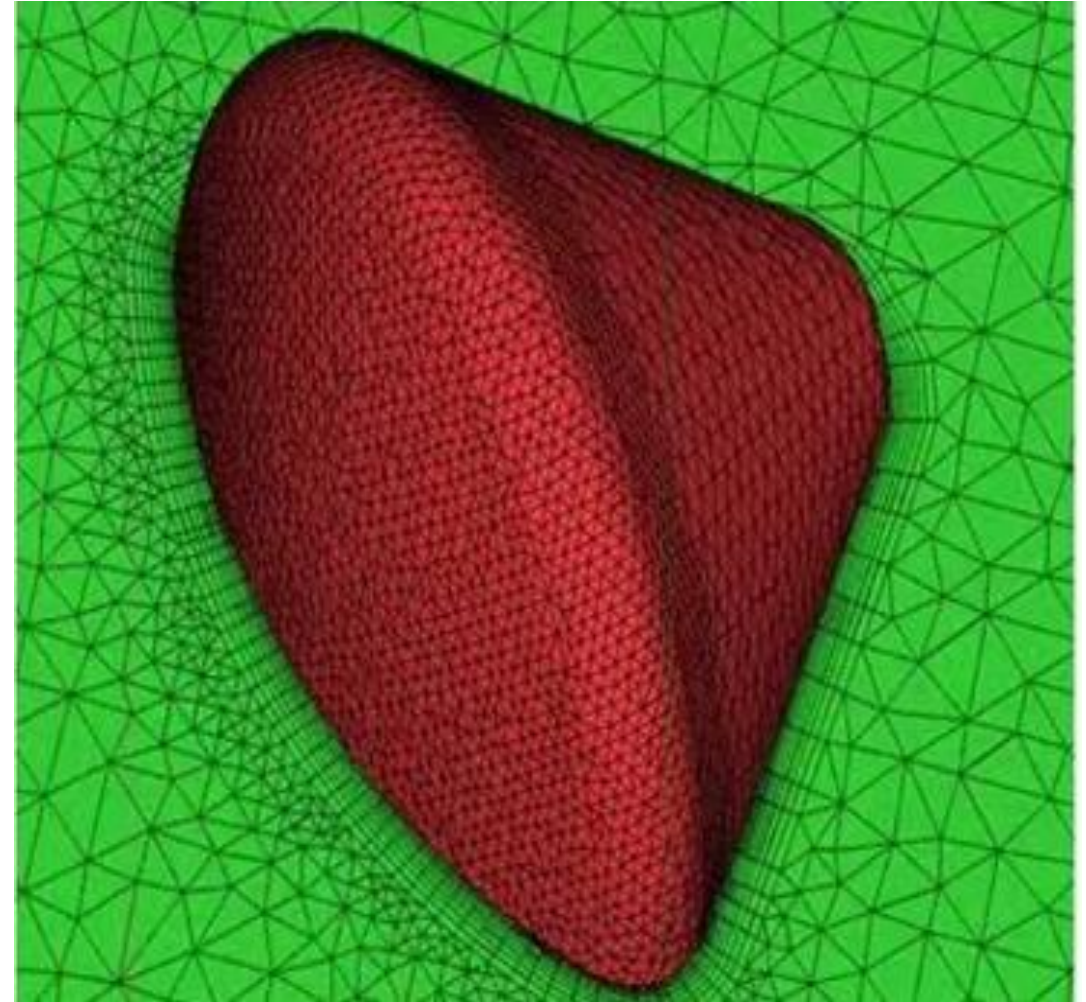
# Элементы: призмы

За:

- Лучше чем тетраэдры, разрешают моделирование пограничного слоя
- Высокая степень автоматизации
- Комбинация тетраэдрической сетки со слоями призм (tet/prism)

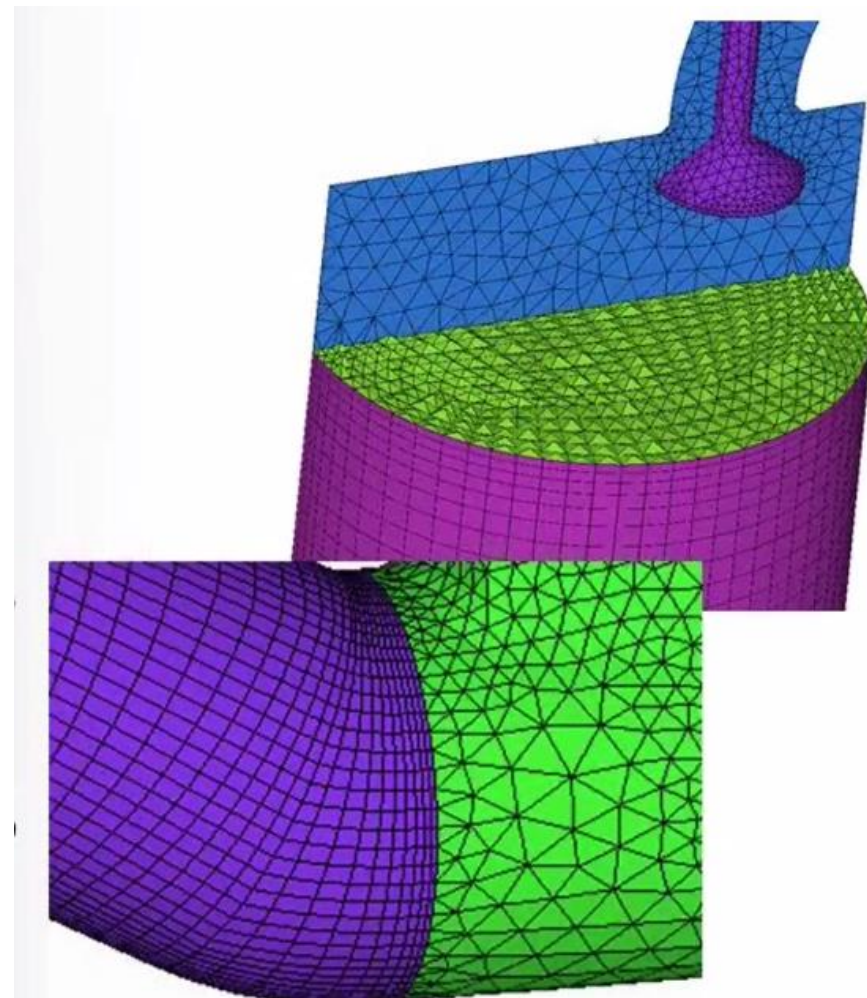
Против:

- Память и время в расчете на узел затрачивается в полтора раза больше по сравнению с гексаэдрической сеткой
- Менее эффективны, чем гексаэдры
- Топологические проблемы (углы, мелкие отверстия и т.д.). Исправление проблемных элементов вручную



# Элементы: пирамиды

Служат переходом от гексаэдрических сеток к тетраэдрическим





# Выбор типа элементов

## Гексаэдры:

- Лучший вариант с точки зрения ОЗУ и вычислительного времени в расчете на узел
- Отлично подходит для слоев сдвига
- Отсутствует полностью автоматический алгоритм построения, что вызывает более высокие трудозатраты, чем с неструктурированными сетками элементов вручную

## Тетраэдры:

- ОЗУ и вычислительное время в расчете на узел =  $1,5 * hex$
- Плохо подходит для погранслоя и зазоров (из-за неудовлетворительного качества сетки)
- Лучший вариант для построения сетки и сложной геометрии

# Возможности ANSYS ICEM CFD



ANSYS ICEM CFD – это программный модуль ANSYS'а реализующий построение сеточной модели изучаемого объекта. **главное меню**

**Графическое главное меню, параметры отображения**

**Дополнительное меню**

**Дерево проекта**

**Основной экран**

**Лог файл (журнал событий)**

**2-е дополнительное окно**

**Геометрия**  
Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Output

**Настройки сетки**  
Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Output

**Блоки**  
Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Output

**Редактирование сетки**  
Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Output

**Экспорт модели**  
Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Output

from server 1055@hq-mng-01.agtu.ru  
Customer number is 624684  
Updating geometry from  
"D:/Pankratov/ANSYS/L1/L1\_files/dp0/Geom/DM/Geom.agdb" ...  
Current Coordinate system is global

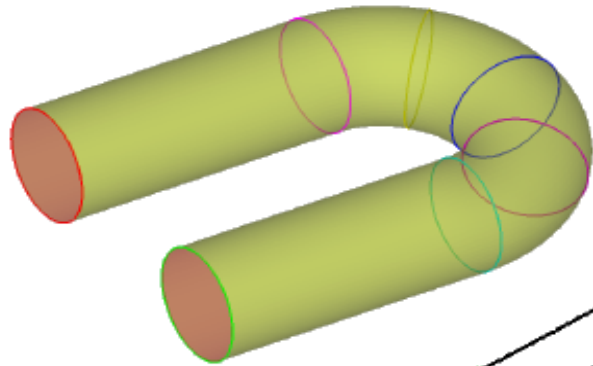
Dim	Min	Max	Select corners
I	0	3	Reset
J	0	3	Query Edge
K	0	3	Index Sets

Log Save Clear Done

# Блочная структура

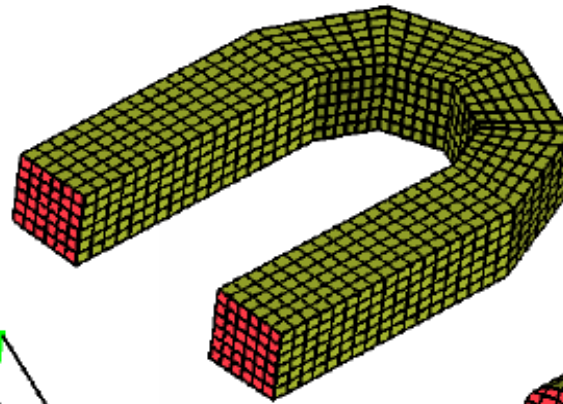
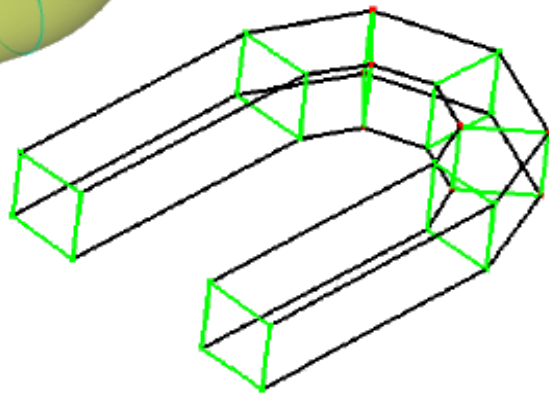
Сетка из гексаэдров создается по блочной структуре («blocking»)

- Блочная структура разбивает геометрию на большие гексаэдры и структурирует линии сетки по направлению блоков
- Каждый блок разбивается обыкновенной гексаэдрической сеткой
- Элементы блоков (границы и ребра) проецируются на геометрию
- Блочная структура сохраняется в отдельный файл и может быть применена для другой геометрии



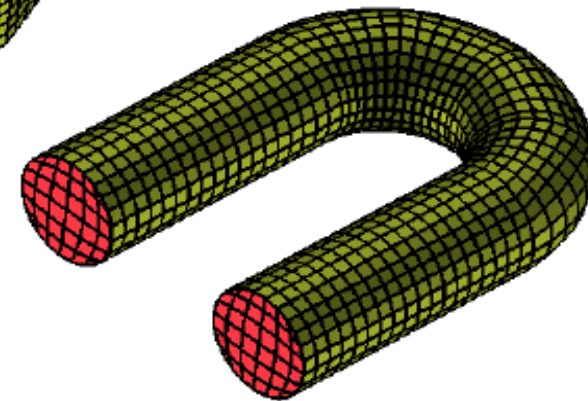
Геометрия

Блочная  
структура



Сетка без  
проекции

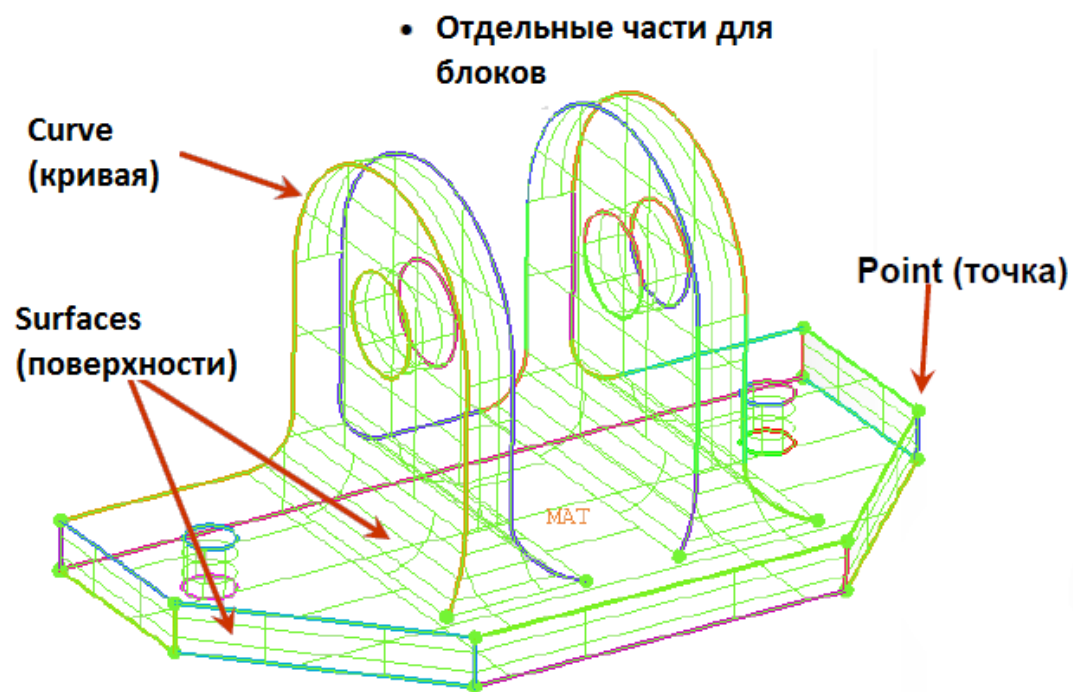
Сетка с  
проекцией



# Основные термины

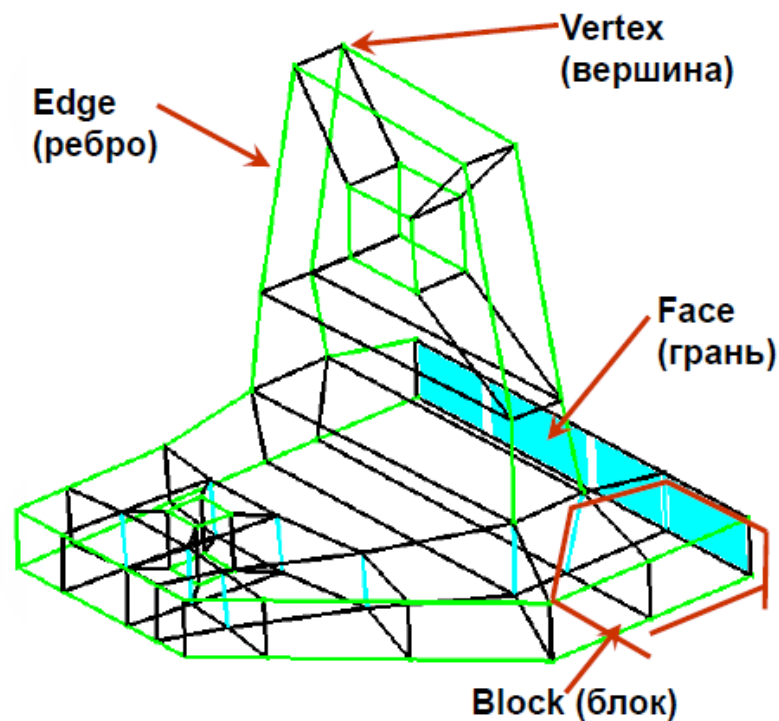
## Геометрия

- Point (точка)
- Curve (кривая)
- Surface (поверхность)
- Volume (объем)



## Блочная структура

- Vertex (вершина)
- Edge (ребро)
- Face (грань)
- Block (блок)



# Процесс построения блочной структуры

1) Построение блоков по габаритам геометрии

- Сверху вниз
- Снизу вверх

2) Ассоциирование блока с геометрией

- Обычно только ребер с кривыми

3) Движение вершин по геометрии

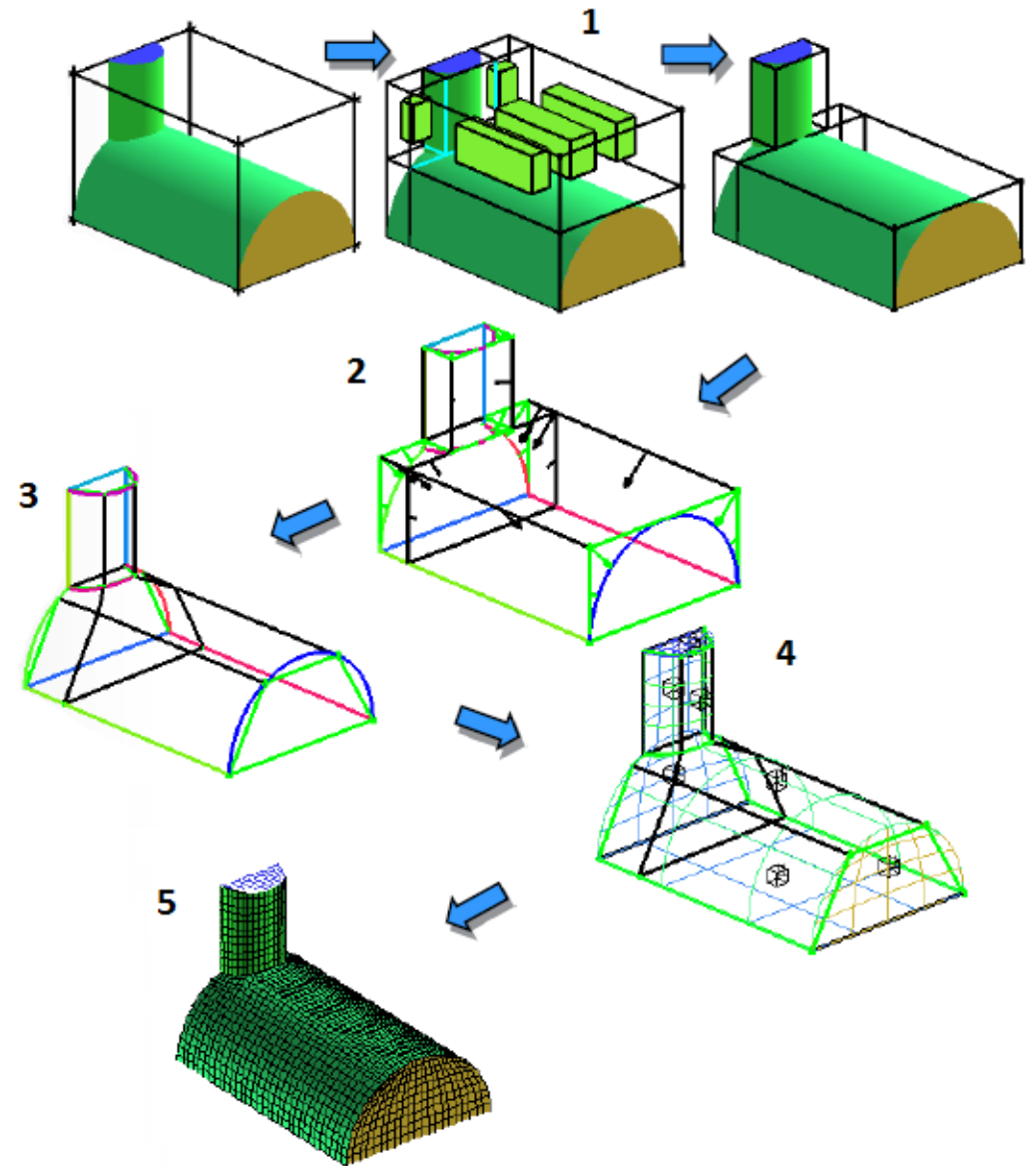
- Вручную и автоматически

4) Задание размеров сетки

- Быстро - задав размеры для поверхностей и/или кривых
- Точная настройка - разбиением ребер

5) Просмотр сетки, проверка и улучшение качества

6) Запись сетки

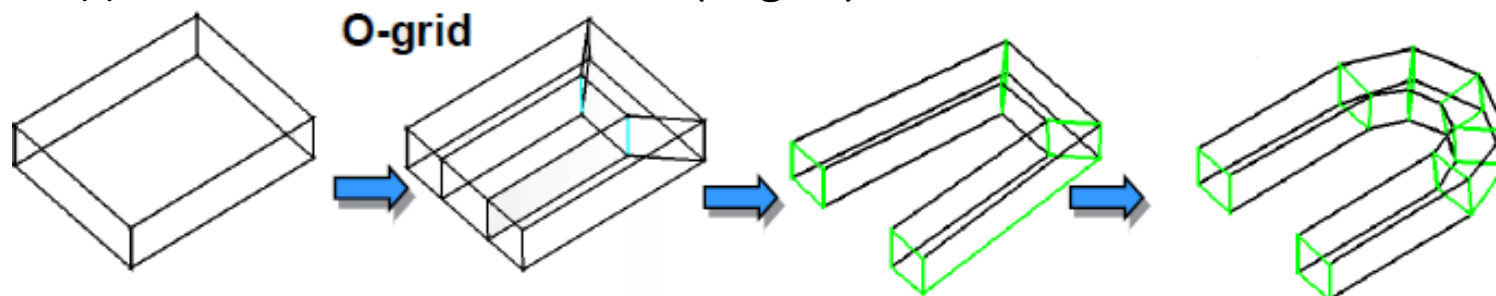


# Подходы – «сверху вниз» и «снизу вверх»

Блочная структура создается независимо от геометрии

Создание топологии «сверху вниз»

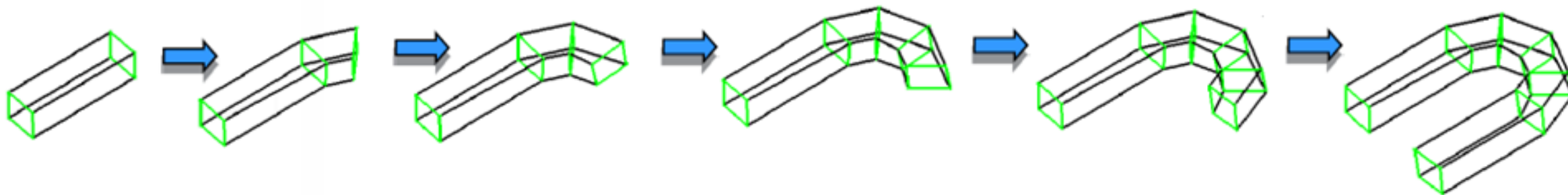
- Пользователь – не каменщик, а скульптор
- Одноступенчатое создание сложной топологии (O-grid)



Создание топологии «снизу вверх». Блочная структура строится «по кирпичикам»

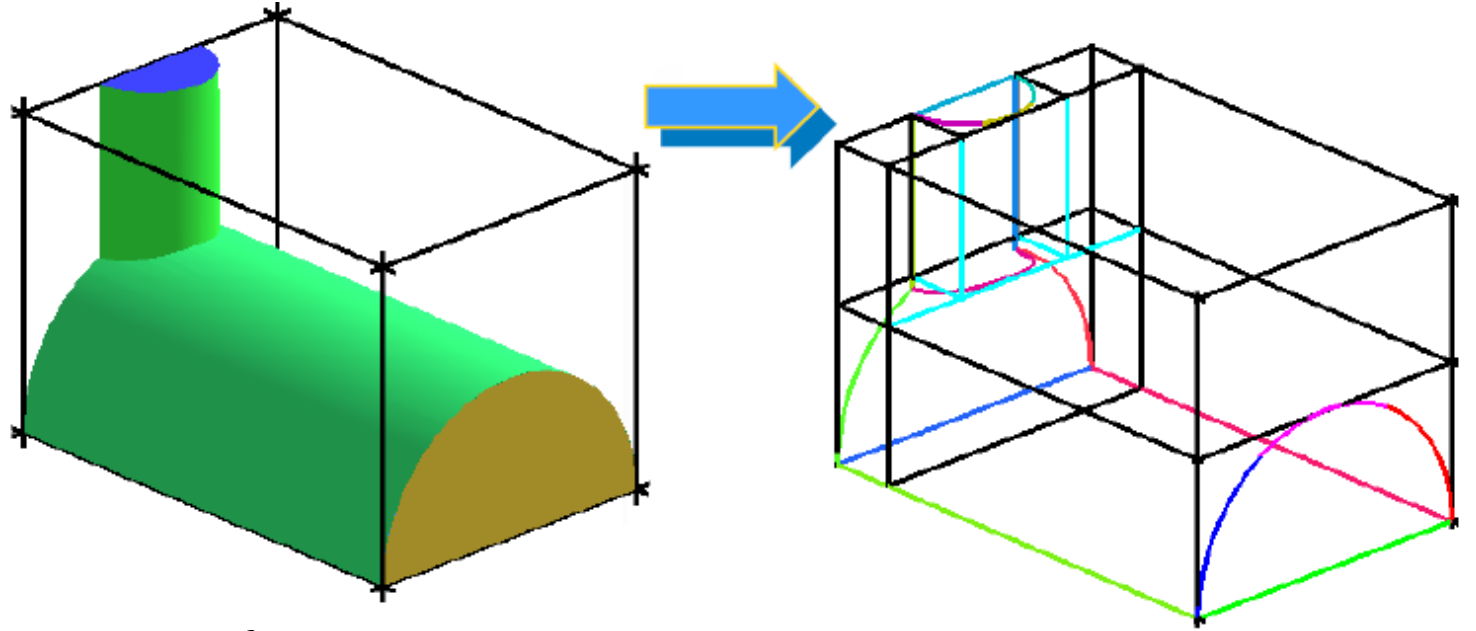
- Создайте блок
- Протяните грань
- Скопируйте топологию

Можно использовать сочетание методов «сверху вниз» и «снизу вверх»

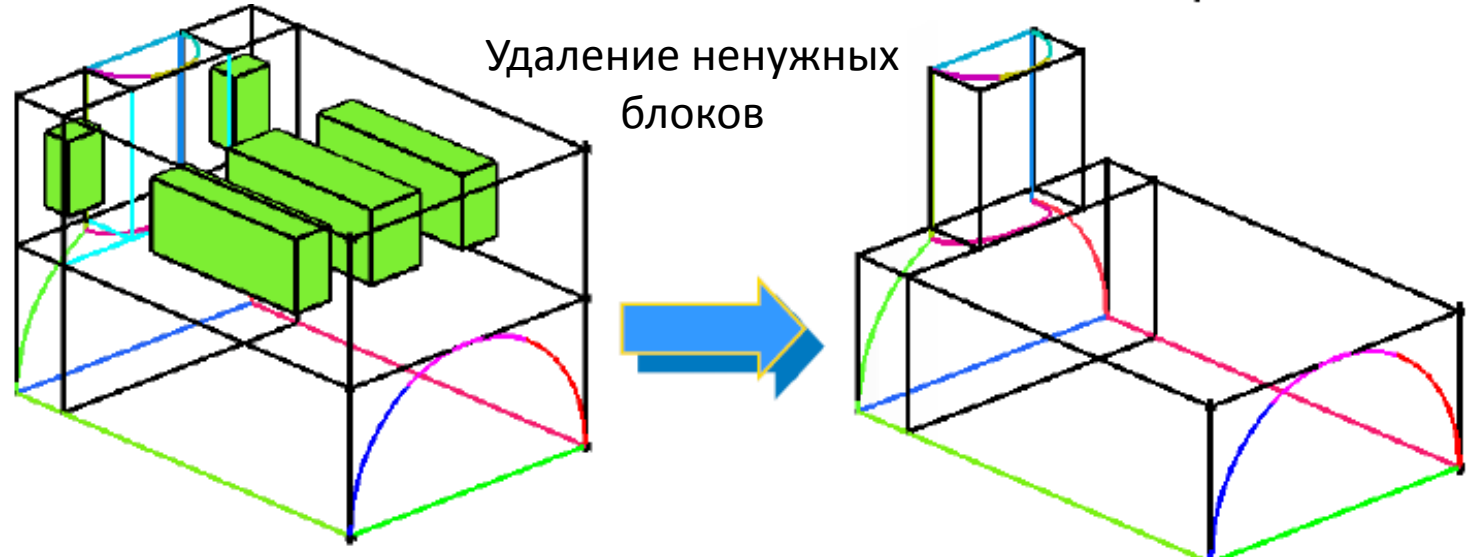


# Подстройка блочной структуры под геометрию

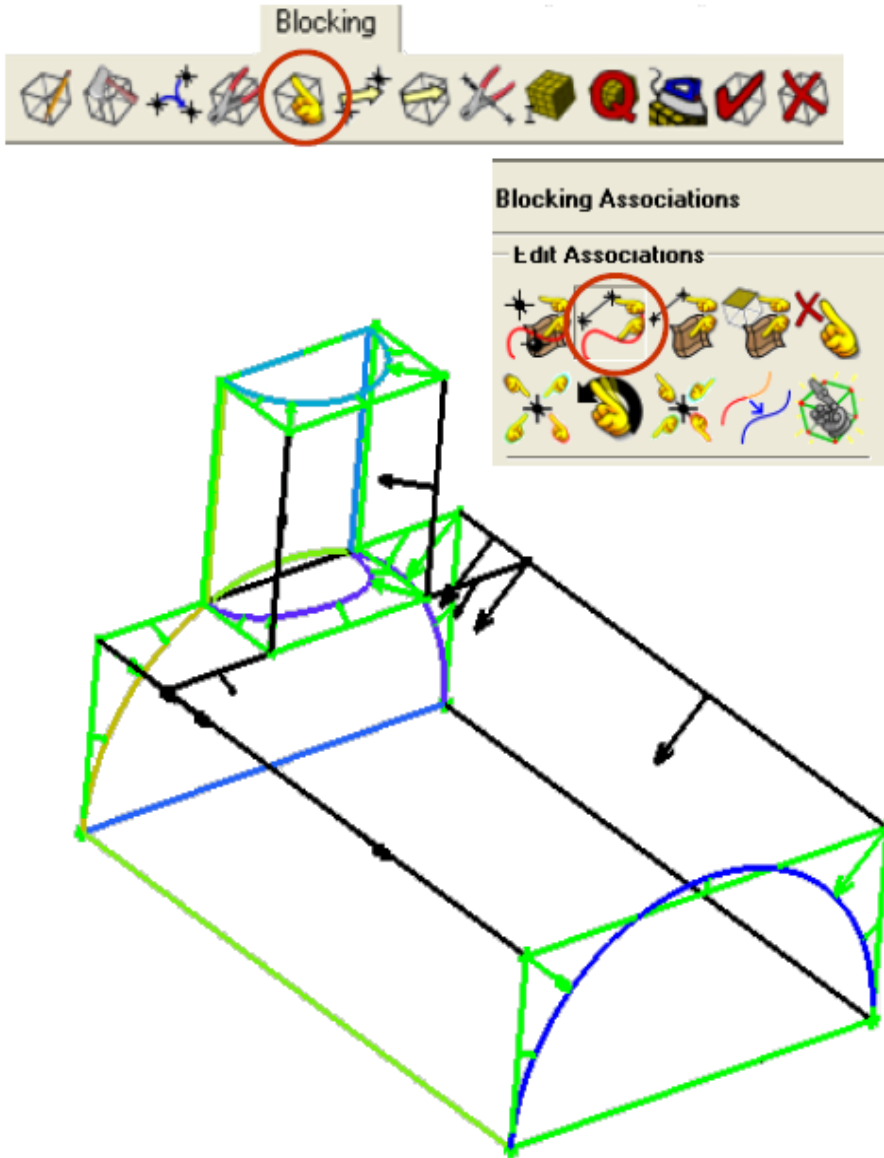
Построение первого блока по габаритам геометрии



Разделение блока по контурам геометрии

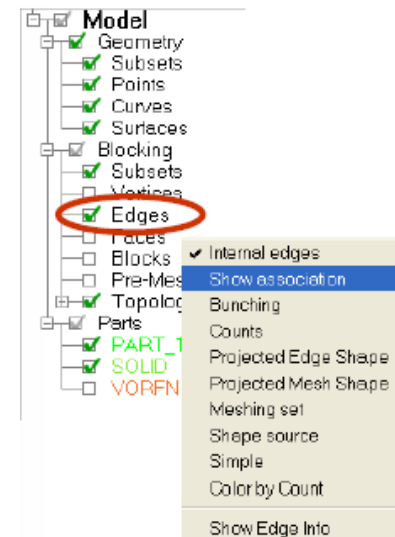


# Ассоциирование блочной структуры с геометрией



Ассоциирование блоков

- Обычно только ребер с кривыми
- В итоговой сетке, ребра должны иметь форму кривых, на которые они проецируются
- ПКМ в дереве проекта **Edges > Show Association** для отображения стрелок ассоциирования





# Перемещение вершин на геометрию

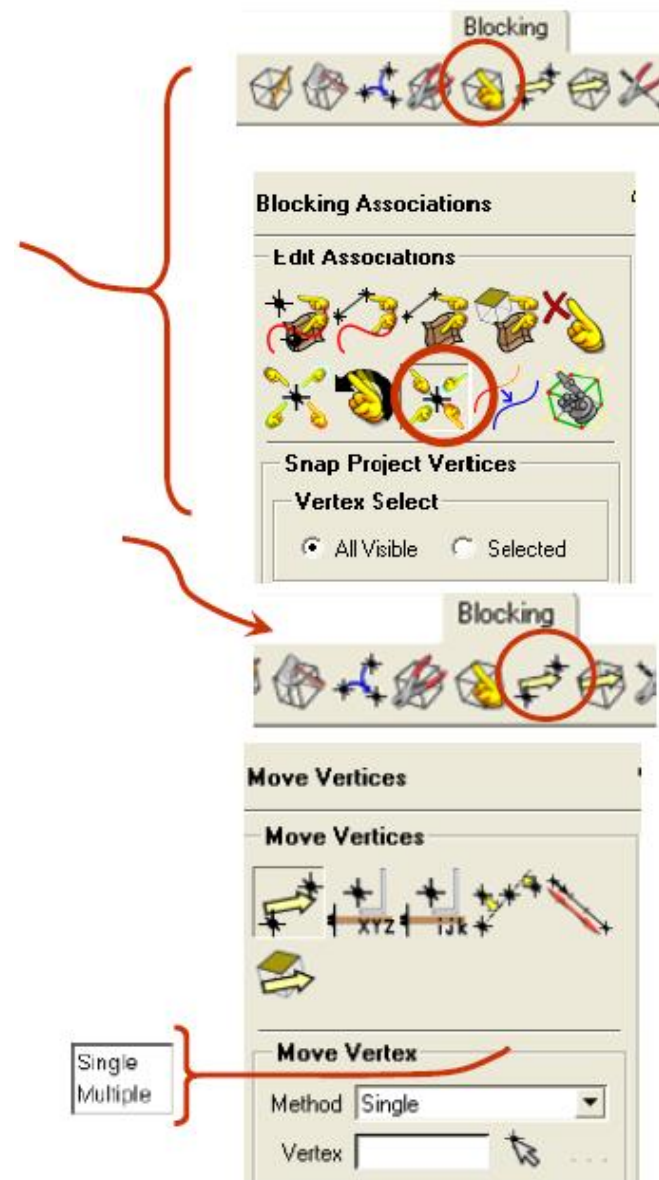
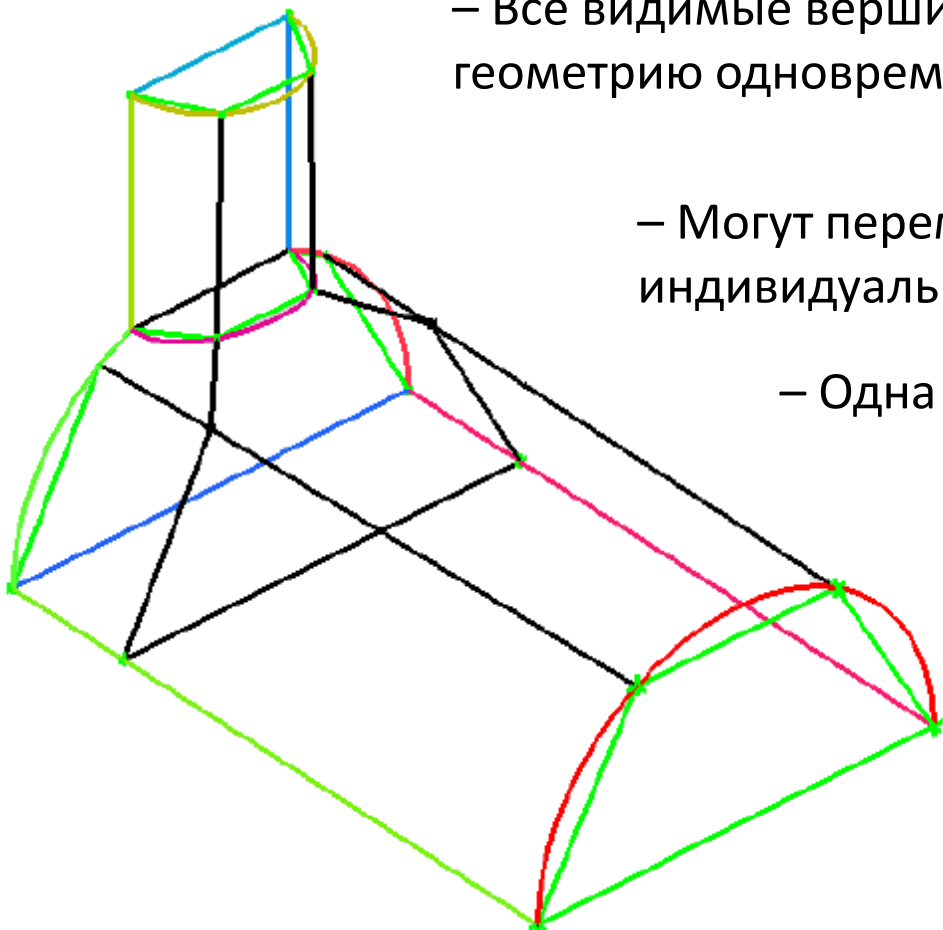
Переместите вершины для более точной передачи формы

– Все видимые вершины могут проецироваться на геометрию одновременно

– Могут перемещаться по геометрии индивидуально

– Одна или несколько одновременно

– Вдоль заданной поверхности или по линии/вектору



# Движение вершин с различными типами ассоциации

Цвет указывает тип ассоциации и то, как вершина может перемещаться (ребра имеют те же цвета, за исключением красного)

## – Красный.

- Вершина привязана к точке.
- Не может перемещаться если не изменить ассоциацию

## – Зеленый.

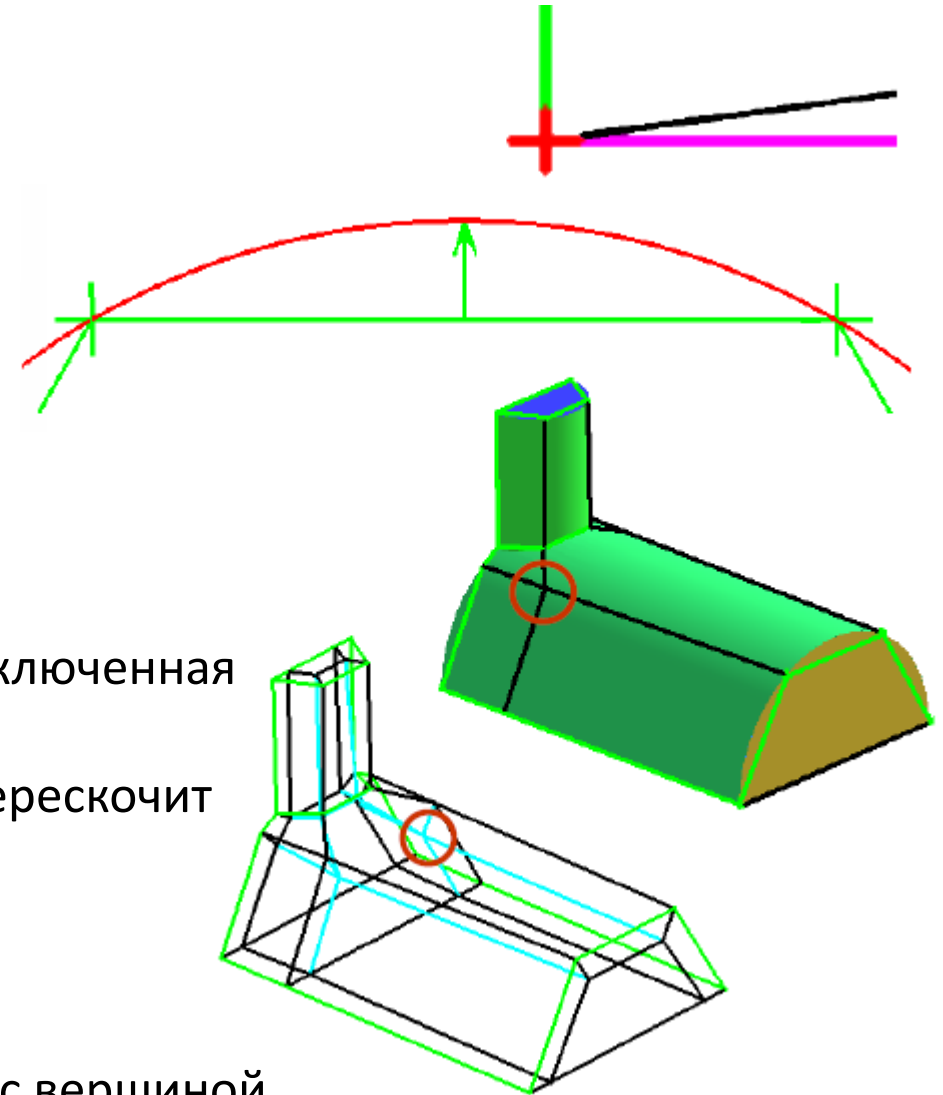
- Вершина привязана к кривой.
- Вершина может перемещаться только вдоль кривой.

## – Белый / черный

- Вершина привязана к поверхности
- Вершина скользит по АКТИВНОЙ поверхности (поверхность включенная в дерево проекта)
- Если вершина не на поверхности, то она при перемещении перескочит на БЛИЖАЙШУЮ АКТИВНУЮ поверхность

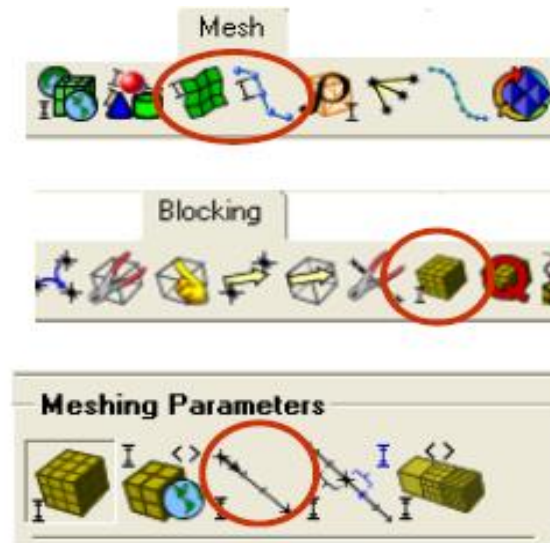
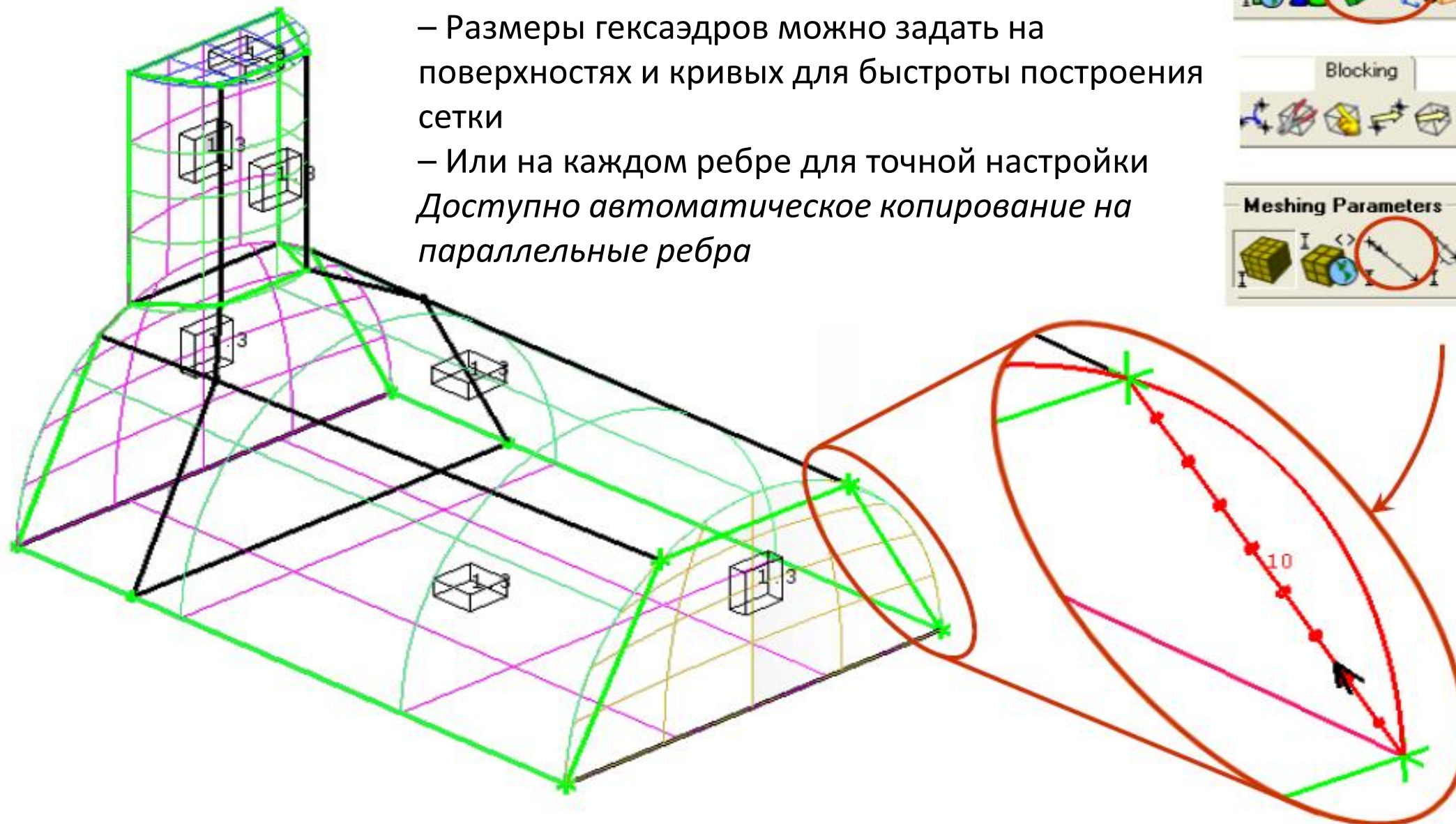
## – Голубой

- Свободная вершина (обычно внутренняя)
- Для перемещения вдоль ребра нужно выделить ребро рядом с вершиной

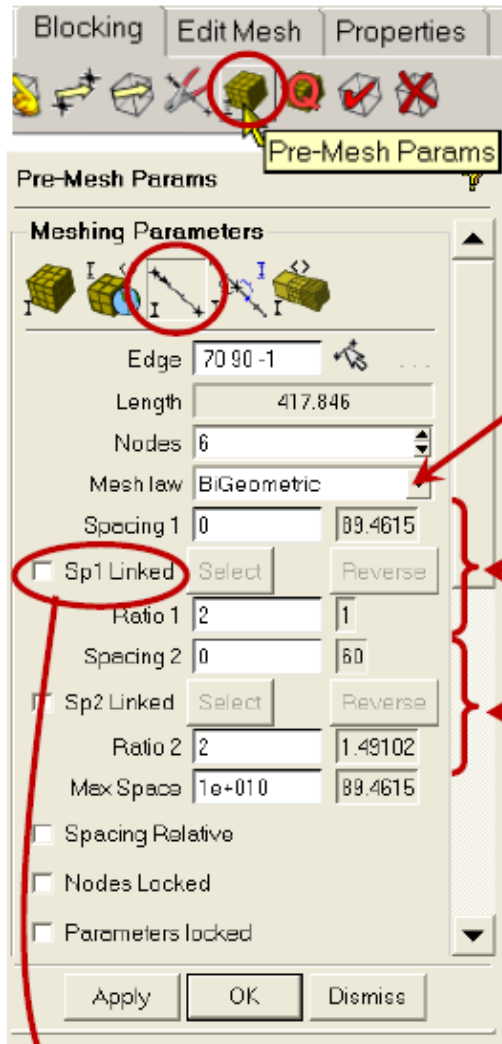


# Задание размеров сетки

- Размеры гексаэдров можно задать на поверхностях и кривых для быстроты построения сетки
  - Или на каждом ребре для точной настройки
- Доступно автоматическое копирование на параллельные ребра*



# Параметры ребер



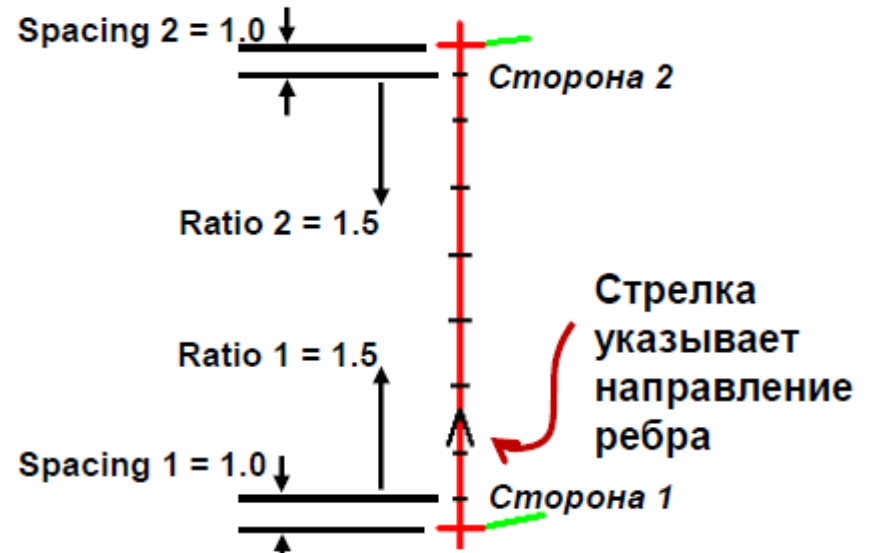
17 законов  
сгущения

- BiGeometric
- Biexponential
- Curvature
- Exponential1
- Exponential2
- From-Graphs
- FullCosinus
- Geometric1
- Geometric2
- HalfCosinus1
- HalfCosinus2
- Hyperbolic
- Linear
- On-Screen
- Poisson
- Spline
- Uniform

Параметры на  
стороне 1  
(основание стрелки)

Параметры на стороне  
2 (конец стрелки)

Шаг сетки можно связать с  
другим ребром



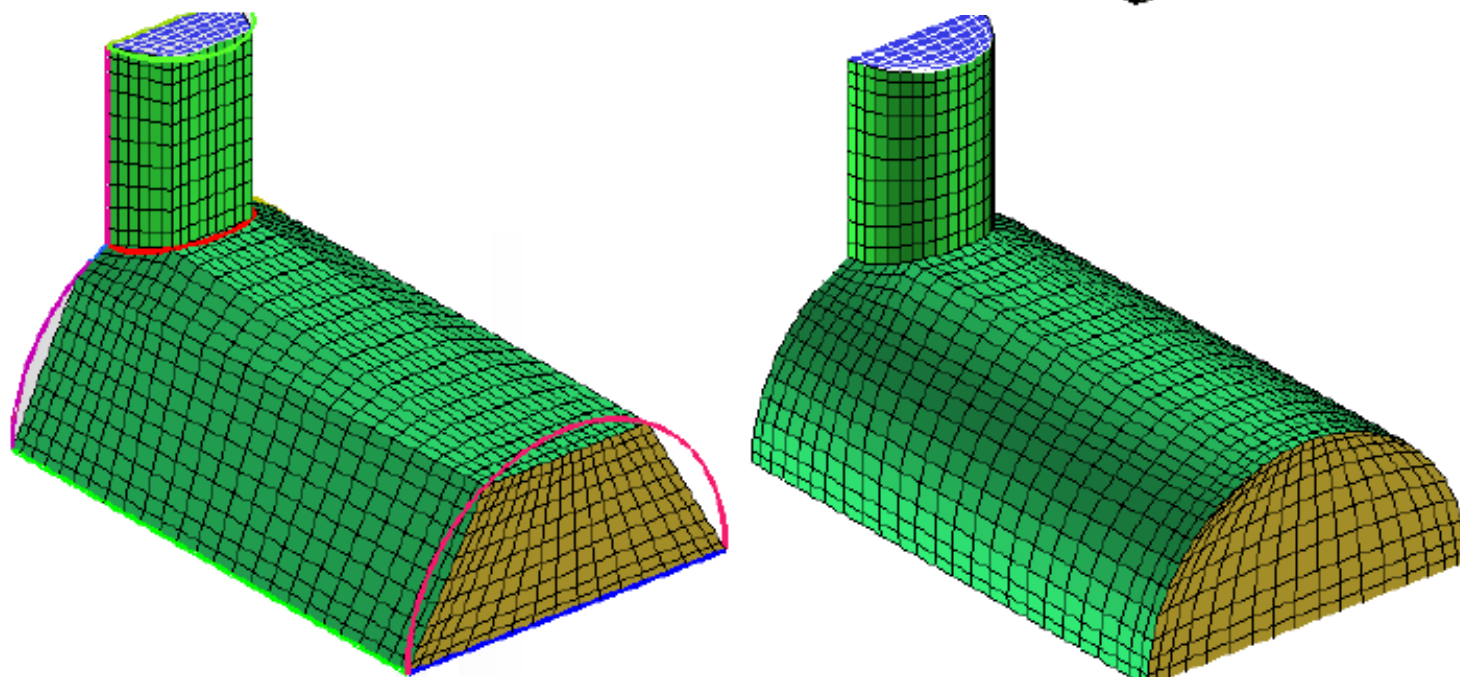
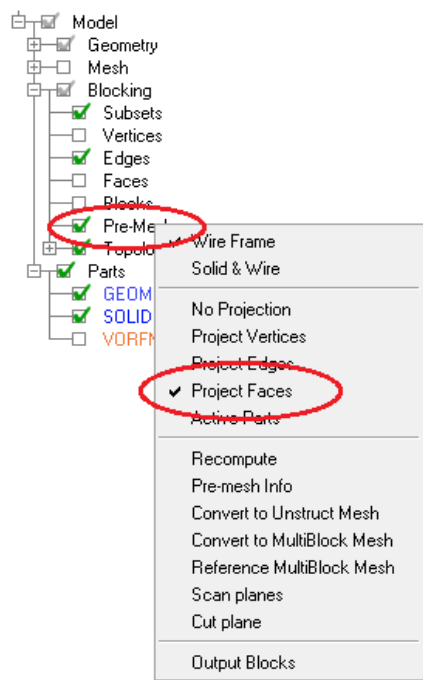
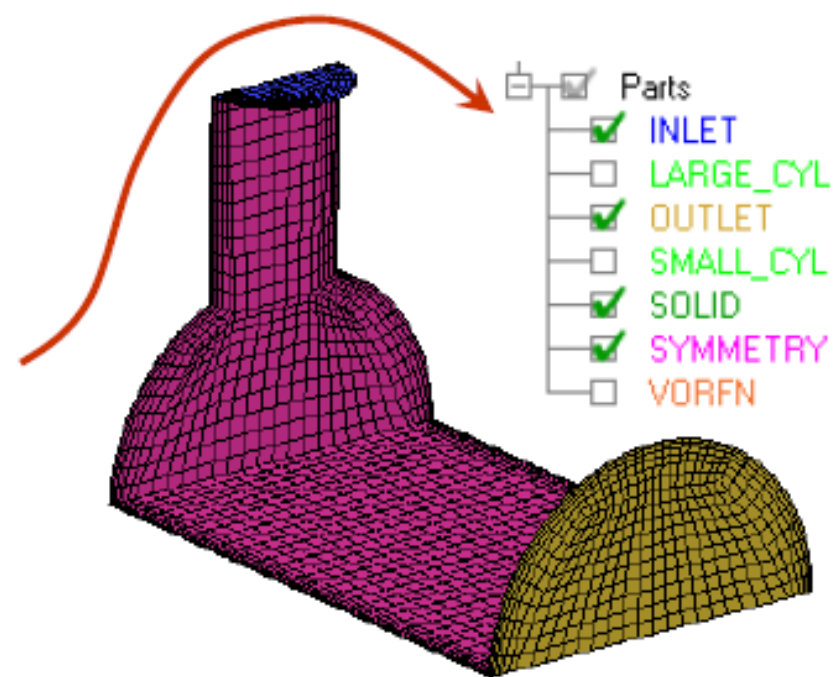
Требуется Факт

Spacing 1	0.0894933	0.0894912
Sp1 Linked	Select	Reverse
Ratio 1	1.1	1.52762
Spacing 2	0	0.206605
Sp2 Linked	Select	Reverse
Ratio 2	1.2	1.18348
Max Space	0	0.355077

*Spacing 1* – расстояние между первыми двумя узлами на стороне 1  
*Ratio 1* – темп роста от стороны 1 в направлении центра  
*Spacing 2* – расстояние между первыми двумя узлами на стороне 2  
*Ratio 2* – темп роста от стороны 2 в направлении центра  
*Max Space* – максимальный размер элемента на ребре

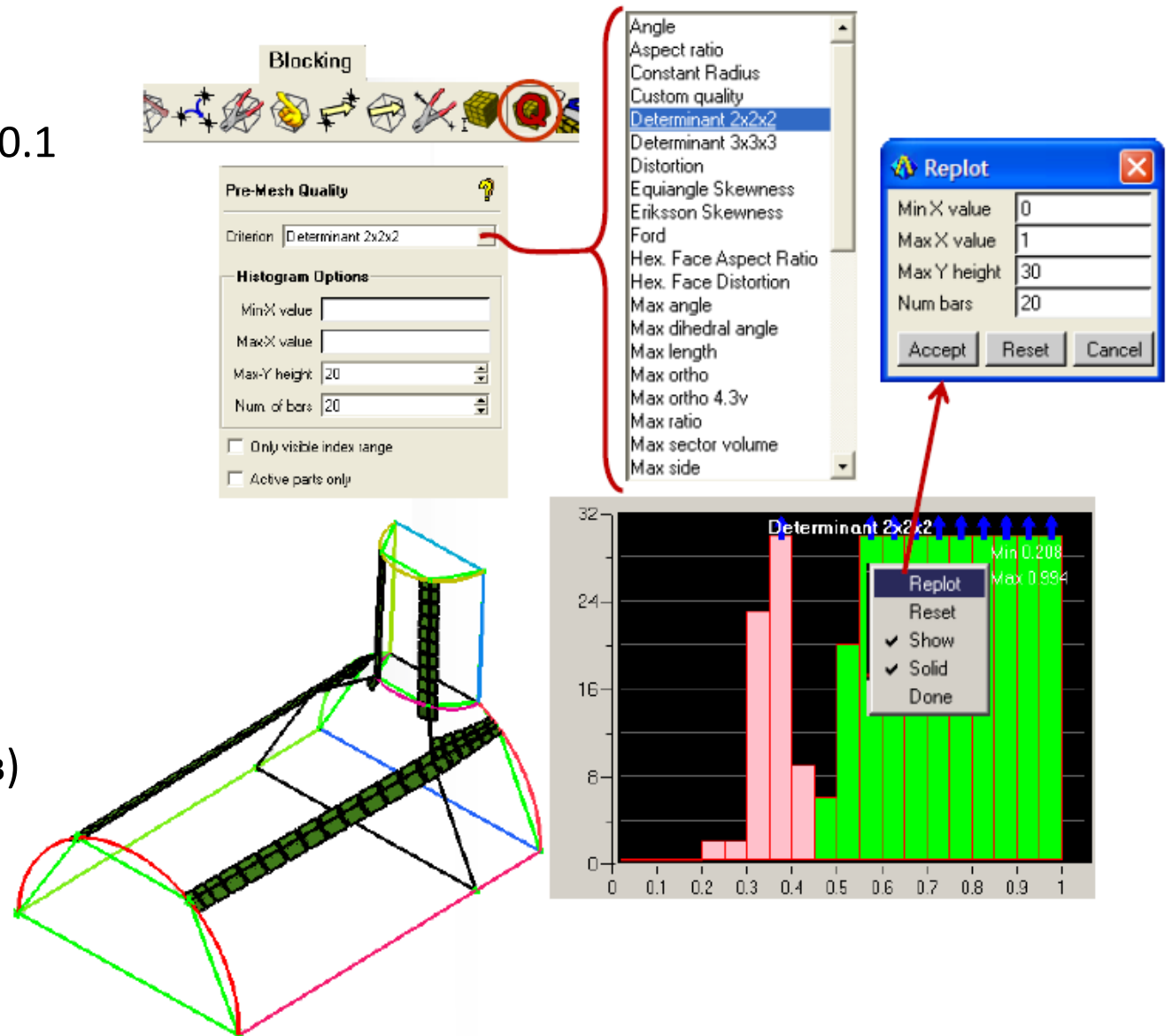
# Просмотр сетки

- Создание сетки на любой стадии процесса
- Сетка для разных вариантов проецирования
- Для полного проецирования сетки на геометрию - *Project faces* (по умолчанию)
- Показ сетки для нужной поверхности путем включения в дереве проекта ее имени (*Part*)
- Для просмотра сетки изнутри используется опция *Scan planes*



# Проверка качества (Гистограмма качества)

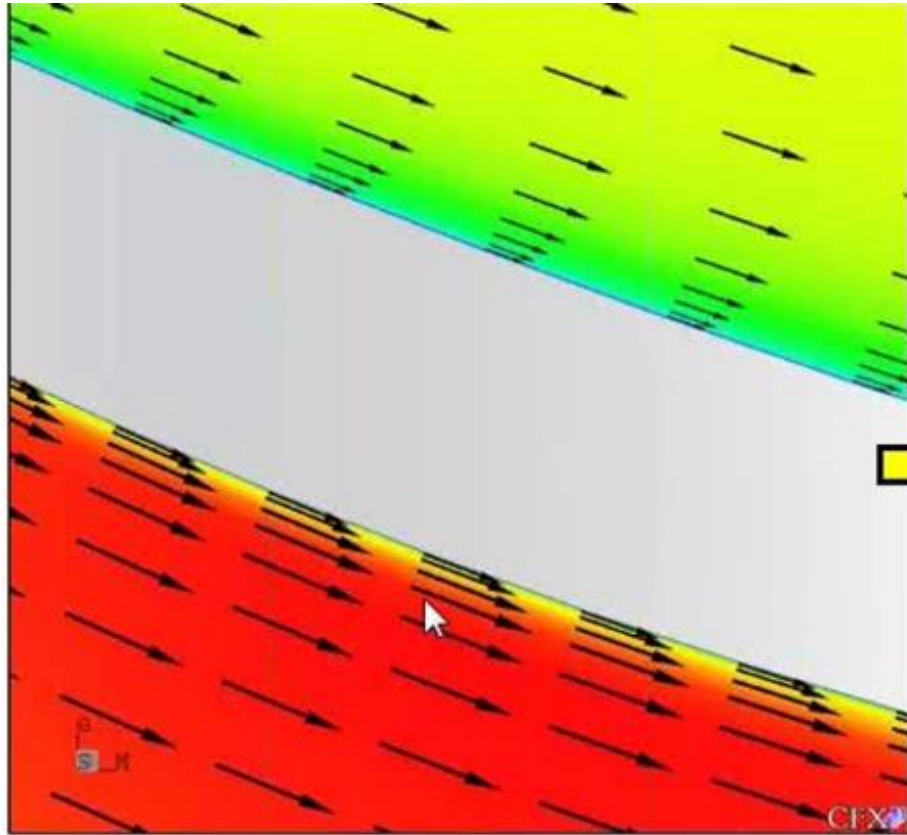
- **Determinant** (деформация элемента)
  - Для большинства решателей должен быть  $> 0.1$
  - Следует добиваться  $> 0.2$
- **Angle**  
(минимальный внутренний угол элемента)
  - Следует добиваться  $18 < \alpha < 160$
- **Aspect ratio**  
(показывает как вытянут контрольный объем)
  - Следует добиваться  $< 10\ 000$
- **Warpage** (перекос)
  - Следует добиваться  $< 45$
- **Expansion Factor**  
(соотношение большего и меньшего элементов)
  - Следует добиваться  $1 < \mu < 2.5$
- **Много других критериев**



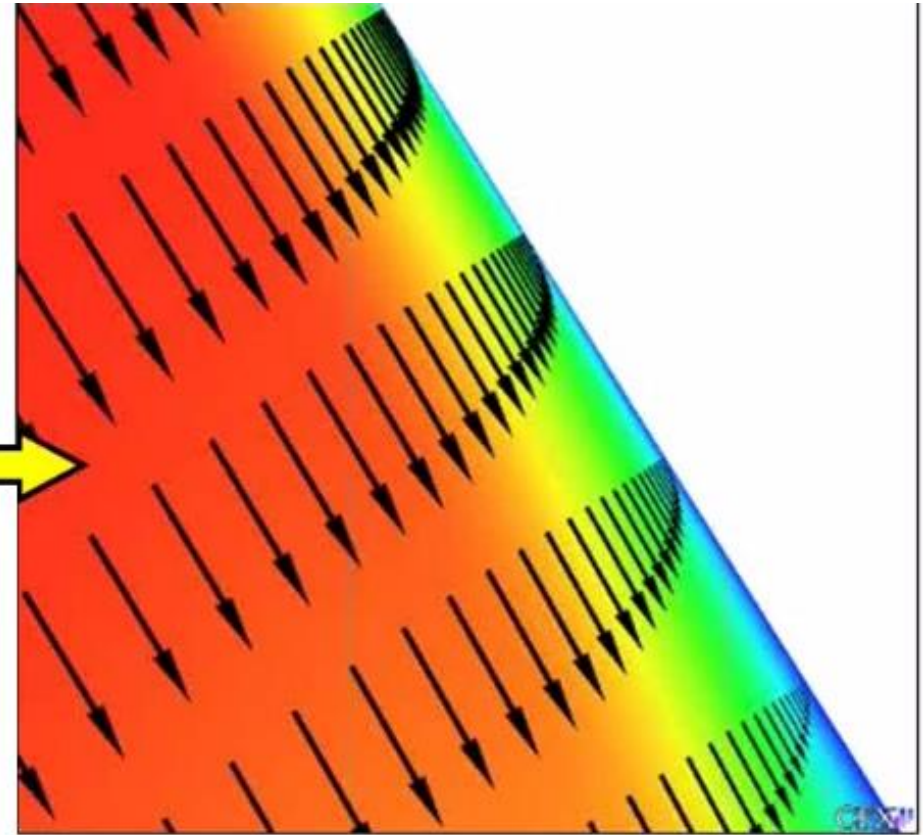
# Соответствие физике течения

Пример: профиль скорости вблизи поверхности профиля

Профиль при «плохой» сетке



Профиль при «хорошей» сетке



# Запись сетки

Конвертирование предварительной сетки в постоянную

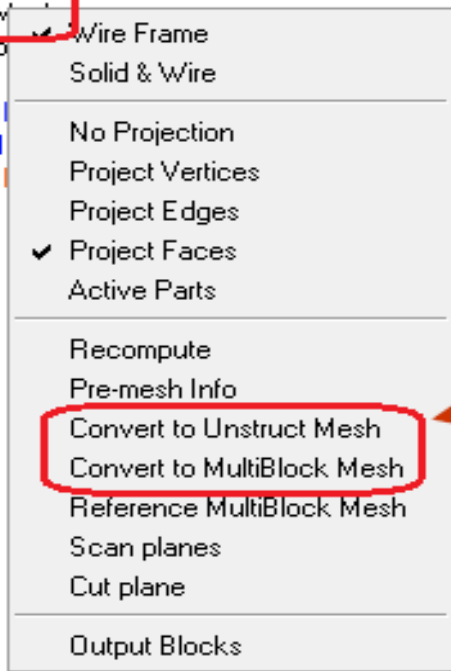
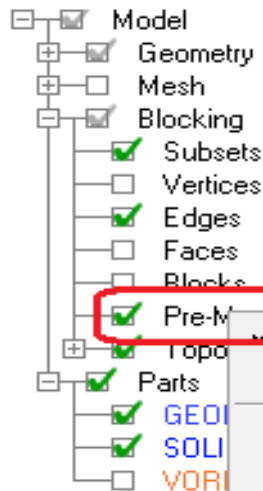
– Два формата в зависимости от требования решателя

Unstructured: ячейки определяются по номерам узлов

Structured: многоблочная – ячейки определяются

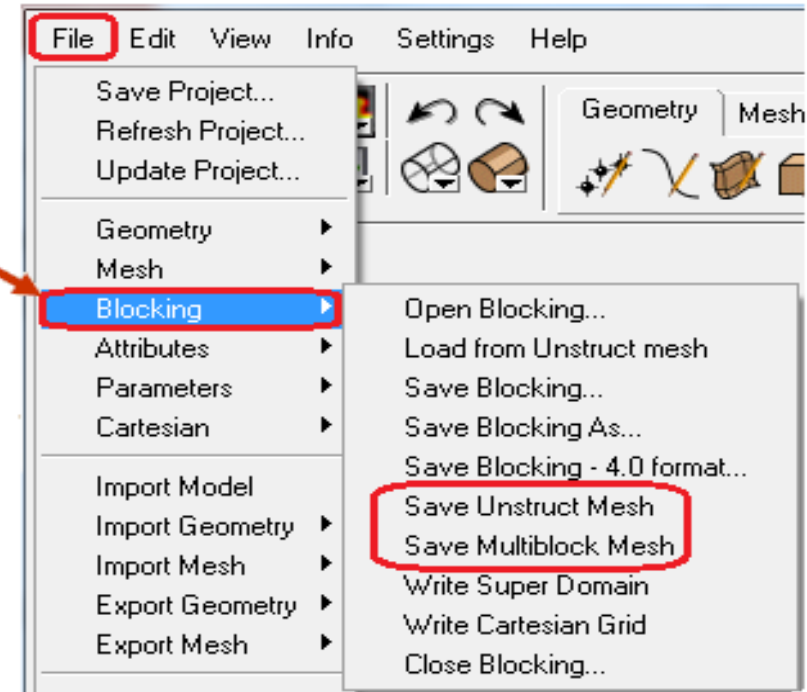
индексами  $i, j, k$

– Изменение блочной структуры уже не влияет на такую сетку



Команда **File>Blocking>Save...**  
только записывает сетку на диск

**Pre-Mesh>Convert to...** в дереве модели сохраняет и тут же подгружает сетку

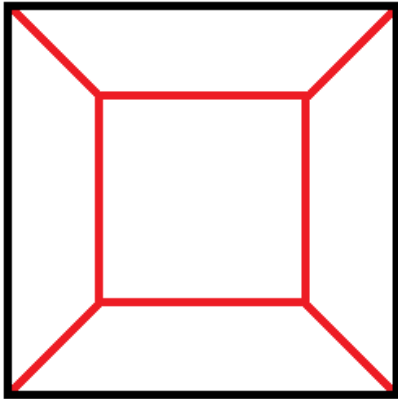




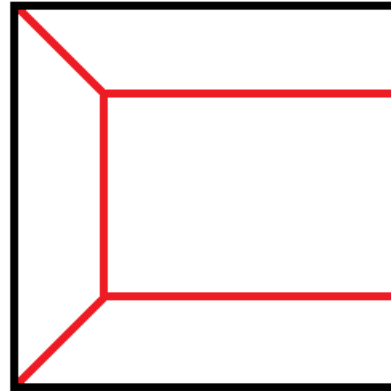
# Что такое O-Grid

O-Grid – полученная в одну операцию совокупность блоков, которая выстраивает линии сетки в виде буквы «О»

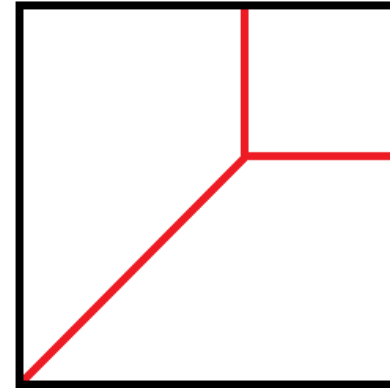
Топология 3 типов:



O-Grid



C-Grid



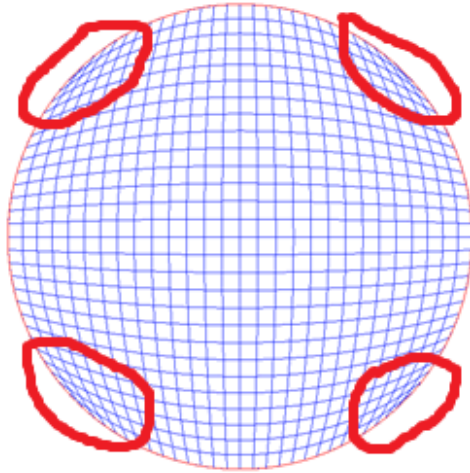
L-Grid

При помощи O-Grid можно повысить качество элементов которые расположены на непрерывной кривой или поверхности, например:

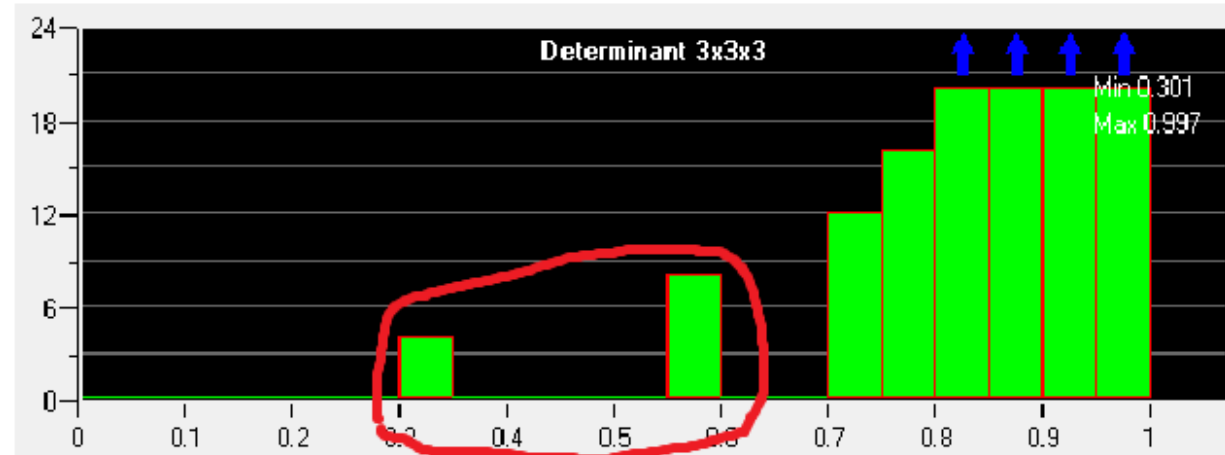
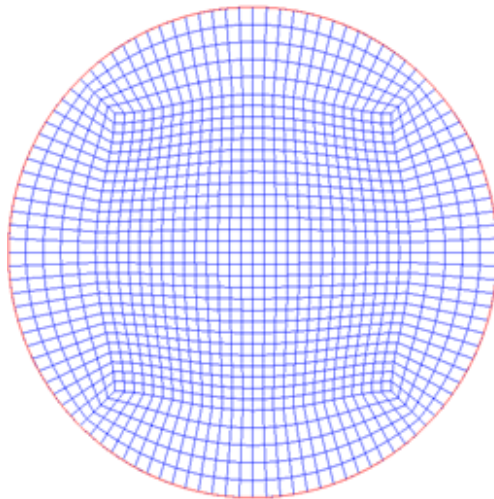
- Цилиндры
- Сложная геометрия

# Почему O-Grid?

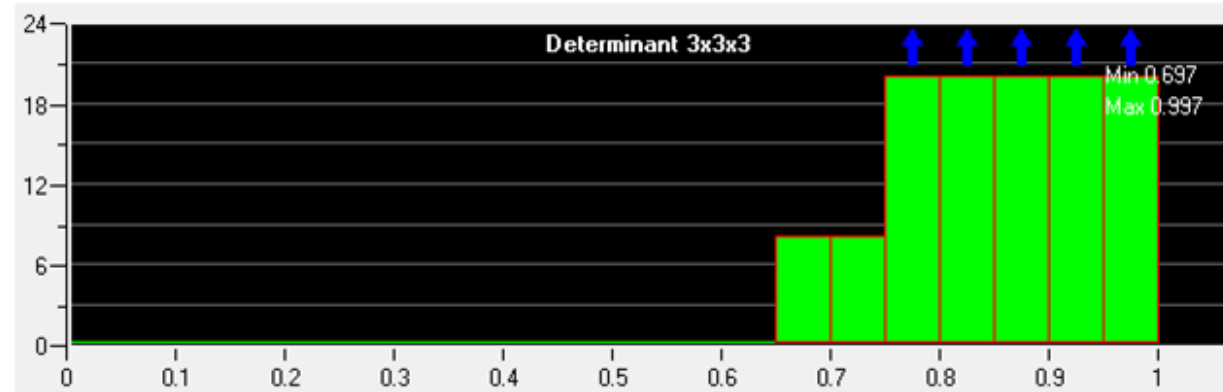
Без применения O-Grid



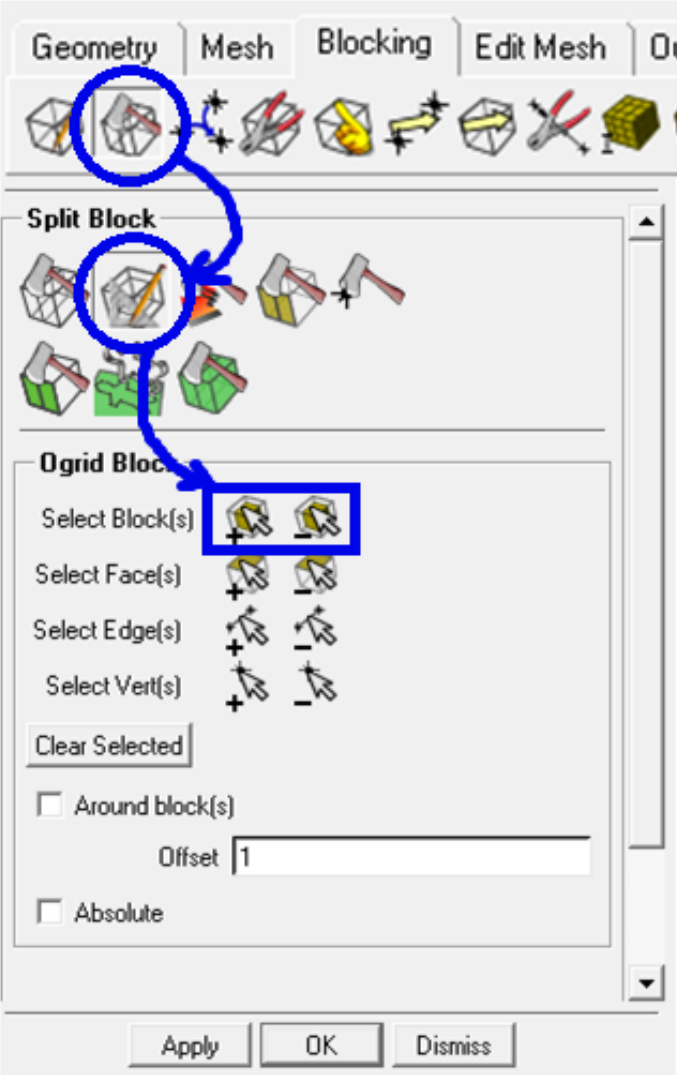
С применением O-Grid



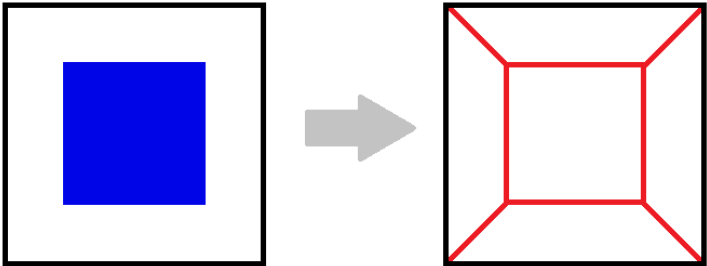
Применение O-Grid блоков улучшает сеточное разрешение у стенок для CFD-моделей



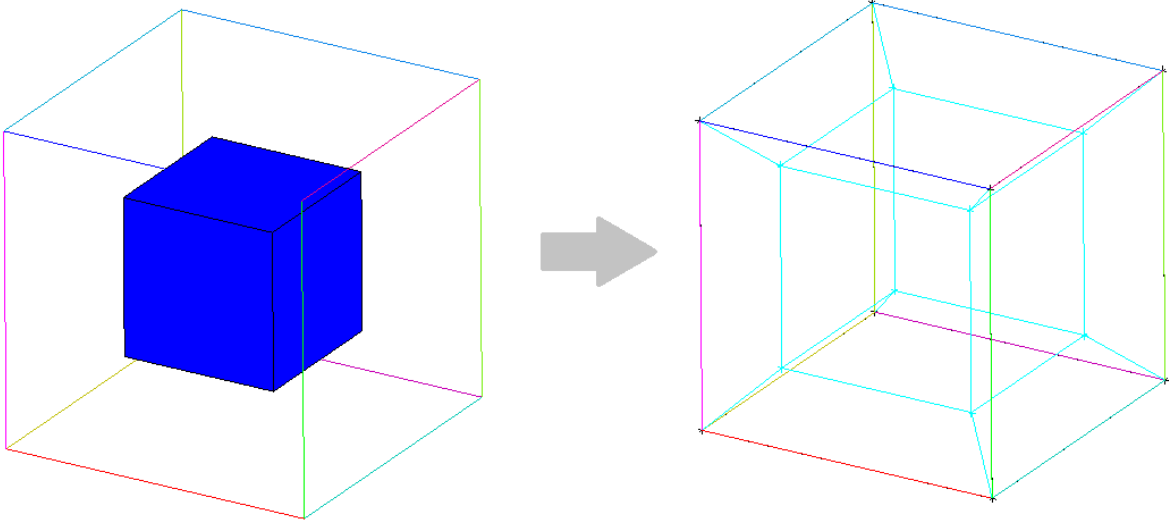
# Создание O-Grid блоков



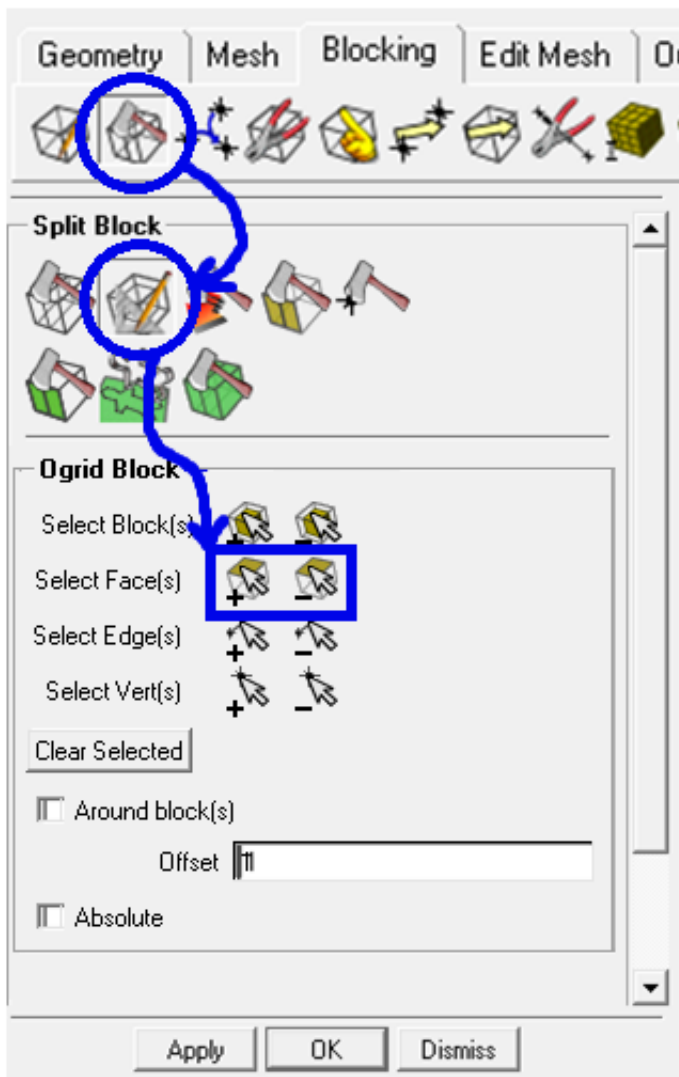
5 блоков в 2D



7 блоков в 3D

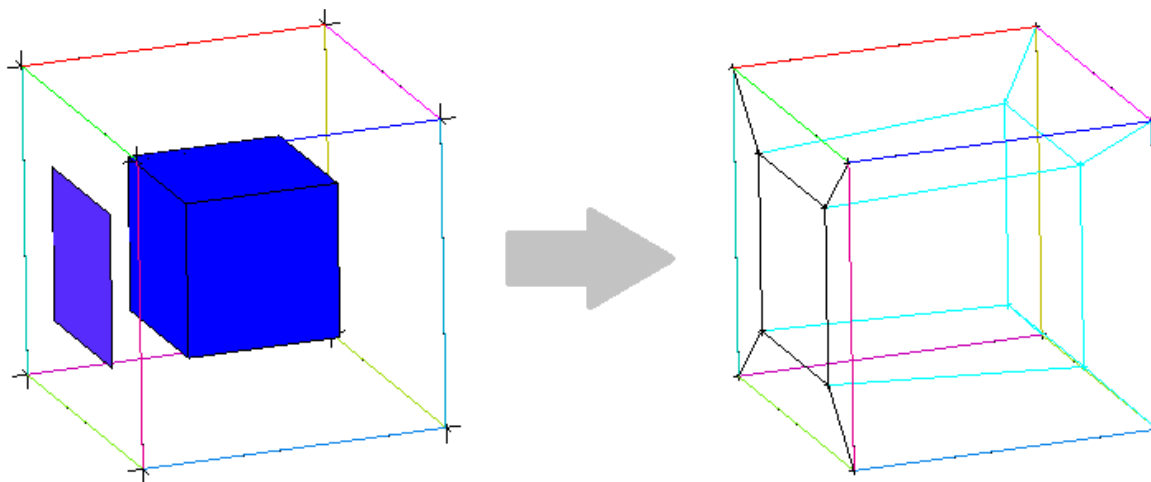
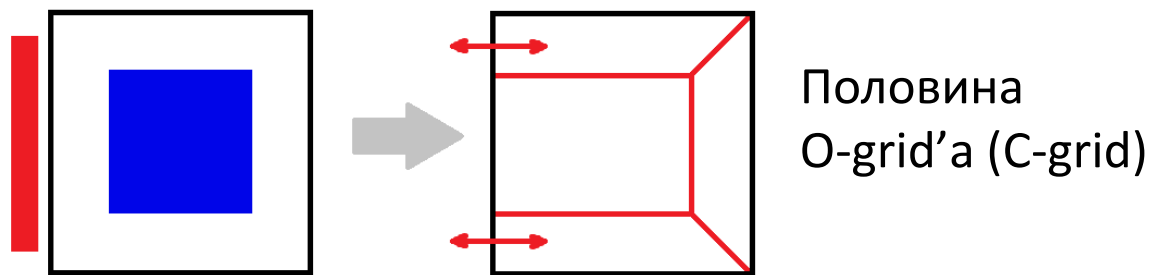


# Создание C-Grid блоков

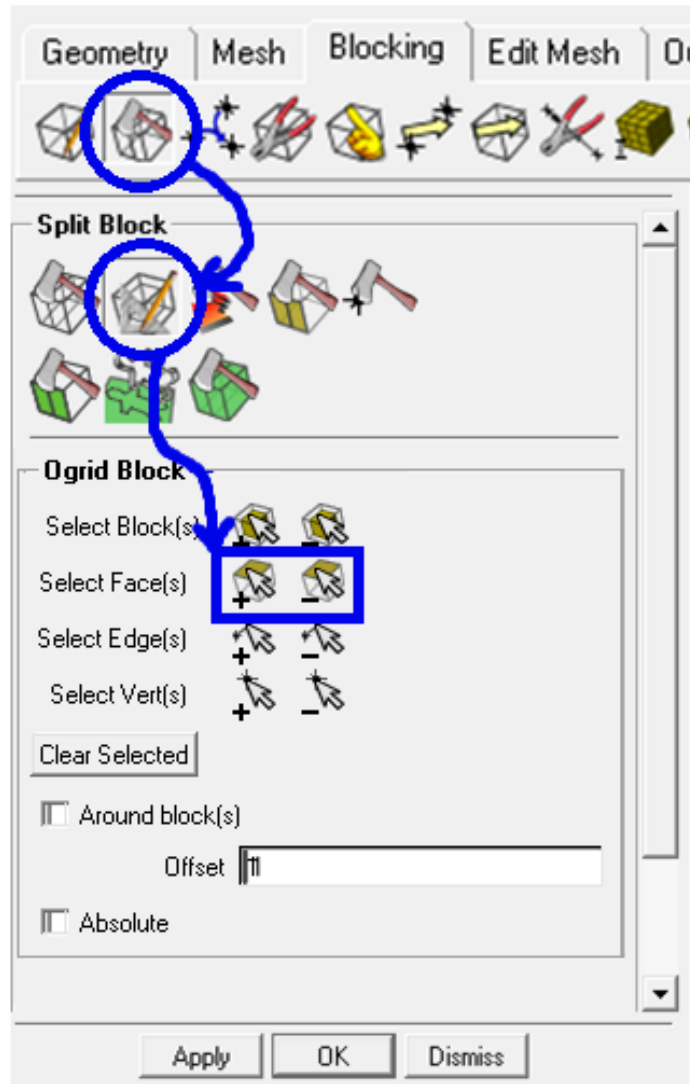


- При создании C-grid'a появляются дополнительные грани
- O-сетка "проходит через" выделенную грань блока
- Заданная грань делится на несколько граней
- Новые блоки появляются по обе стороны грани

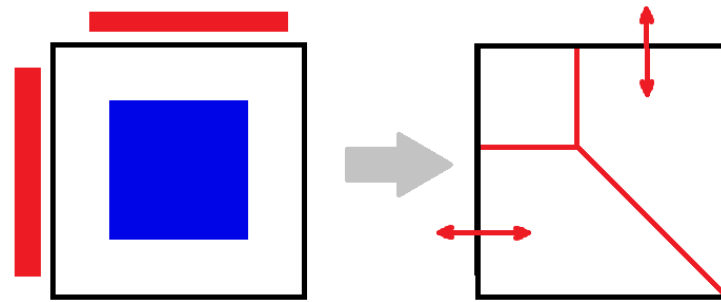
O-grid проходит сквозь эту грань



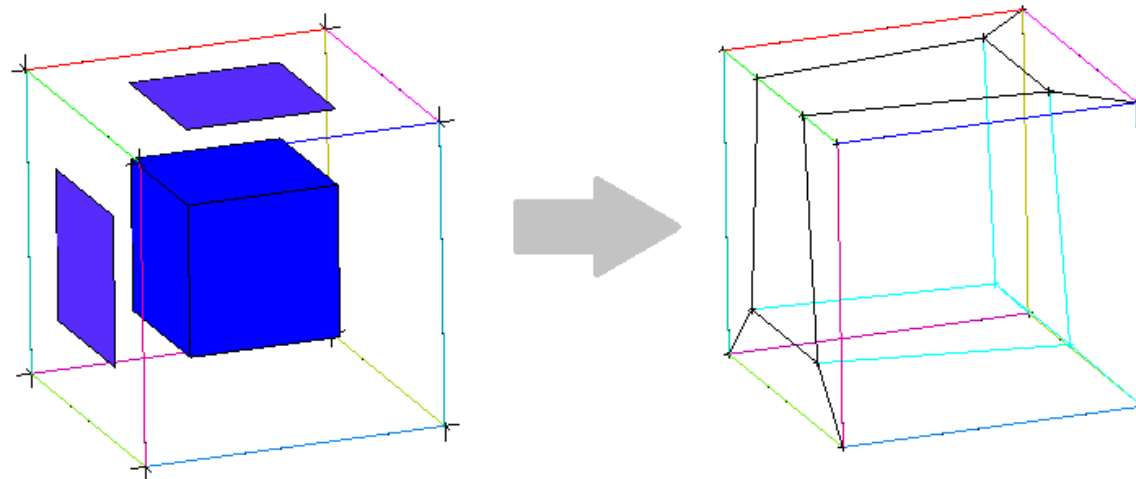
# Создание L-Grid блоков



L-grid можно использовать для разбиения треугольников а также для сложной геометрии



Четверть  
O-grid'a (C-grid)

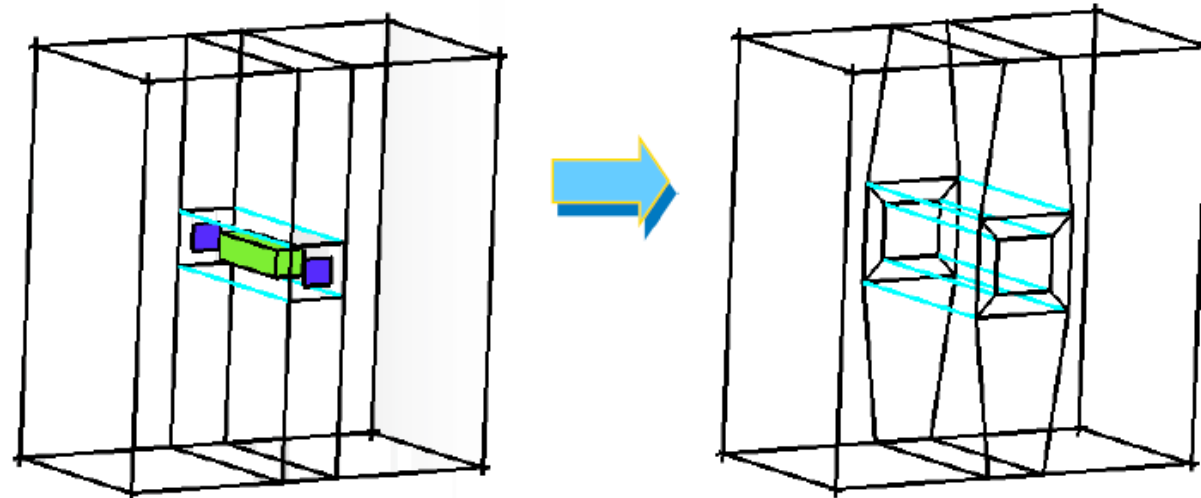
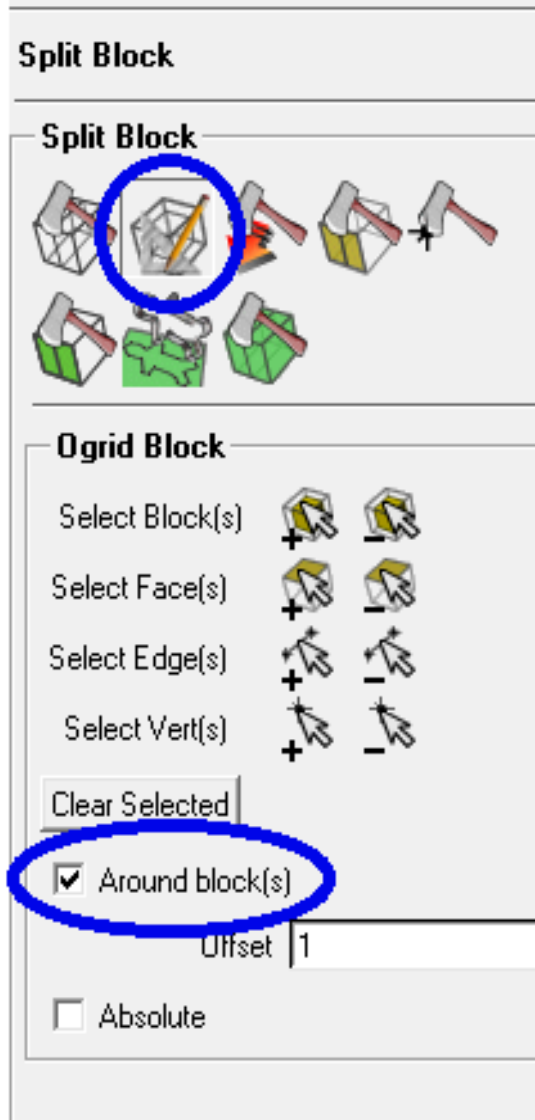


# Создание O-Grid вокруг блоков

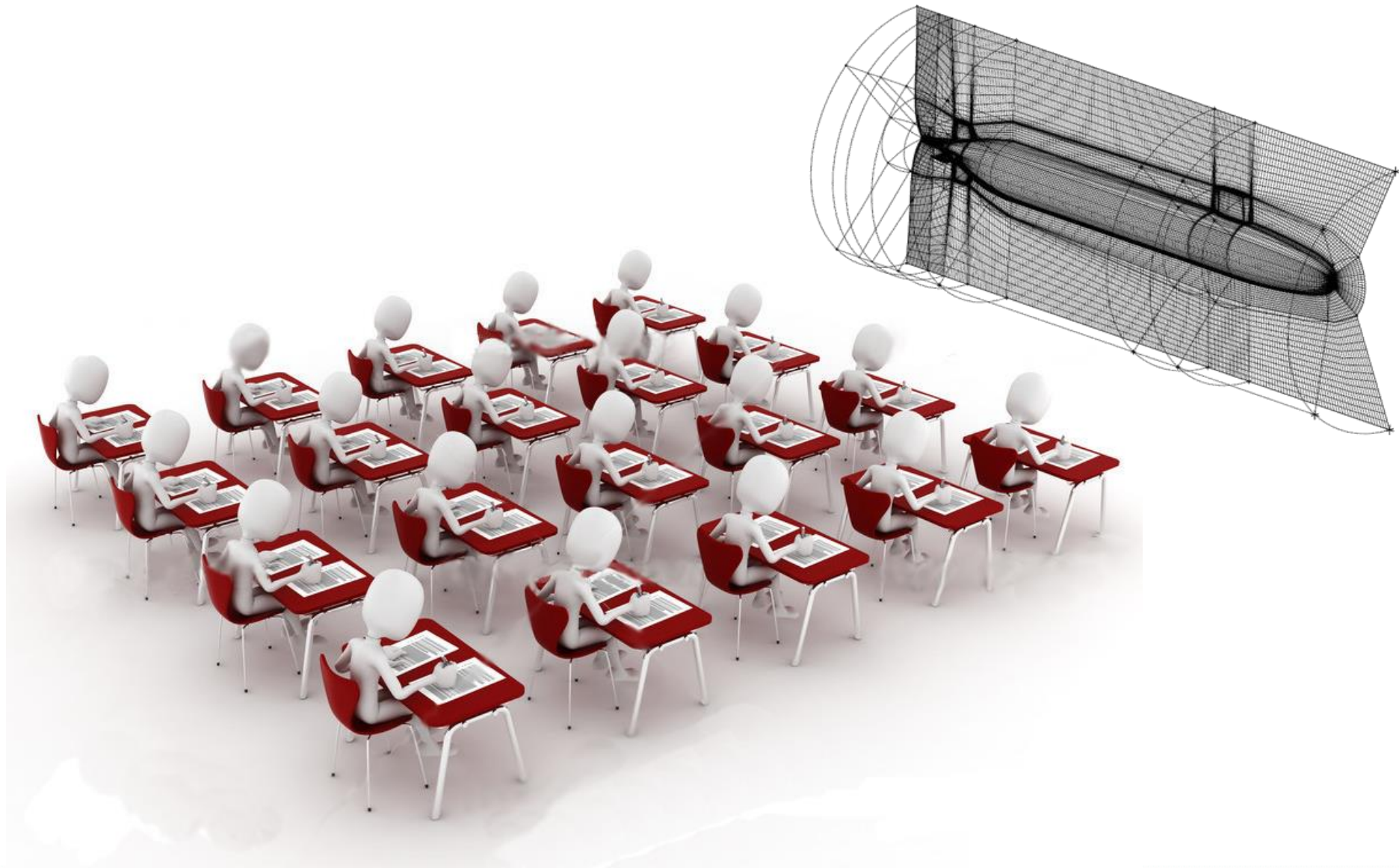
Выберите *Around block(s)* для создания O-grid'а вокруг выбранных блоков

– Полезно для создания сетки вокруг выбранного объема

- Обратный порядок создания от внешних блоков к внутреннему O-grid'у
- Обтекание цилиндра
- Разрешение пограничного слоя вокруг самолета или корпуса автомобиля



# Приступим к практике!



# Приступим к практике!

The image illustrates the process of adding and running an ICEM CFD component in ANSYS Workbench. It is divided into three main sections:

- Component Systems Panel:** On the left, a list of component systems is shown. The "Component Systems" header is highlighted with a red box. The "ICEM CFD" component is also highlighted with a red box. A red arrow labeled "ВЫТЯНУТЬ" (Drag) points from the ICEM CFD icon to the next section.
- Component List:** In the center, a component list for a system named "A" is shown. It contains two components: "1 ICEM CFD" and "2 Model". A red arrow labeled "ВЫТЯНУТЬ" points from the ICEM CFD component in this list to the next section.
- Context Menu:** On the right, a context menu is open for the "ICEM CFD" component. The "Edit..." option is highlighted with a blue box. A red arrow labeled "ЗАПУСТИТЬ" (Run) points from the ICEM CFD component in the list to the "Edit..." option in the menu.

The context menu includes the following options:

- Edit...
- Duplicate
- Transfer Data From New
- Transfer Data To New
- Update
- Update Upstream Components
- Refresh
- Reset
- Rename
- Properties
- Quick Help
- Add Note



# Используемая литература

- Любимов А.К., Шабарова Л.В. Методы построения расчетных сеток в пакете ANSYS ICEM CFD: Электронное методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 25 с.
- Вебинар «Применение ICEM CFD для построения гекса-сеток блочным методом»  
(<http://cae-systems.ru/webinars/01082013-1300>)
- Вебинар «Численное решение задач гидродинамики в продуктах ANSYS: полезные советы»  
(<http://cae-systems.ru/webinars/28062013-1400>)
- Сайт компании ANSYS  
(<http://www.ansys.com/>)
- Сайт компании ДЕЛКАМУРАЛ  
(<http://www.cae-expert.ru/>) (<http://www.cae-club.ru/>)
- Сайт компании CADFEM  
(<http://www.cadfem-cis.ru>)
- ICEM CFD Documentation 2014.
- Introduction to ANSYS ICEM CFD 15.0  
(<https://support.ansys.com/portal/site/AnsysCustomerPortal>)



Институт математики,  
информационных и  
космических технологий



Центр  
инновационного  
обучения



Высокопроизводительные вычисления  
на Grid системах  
Шестая международная молодежная научно-  
практическая школа

Спасибо за внимание!

**Панкратов Евгений**  
Инженер ЦИО ИМИКТ САФУ  
[e.pankratov@narfu.ru](mailto:e.pankratov@narfu.ru)

