



Институт математики,
информационных и
космических технологий



Центр
инновационного
обучения

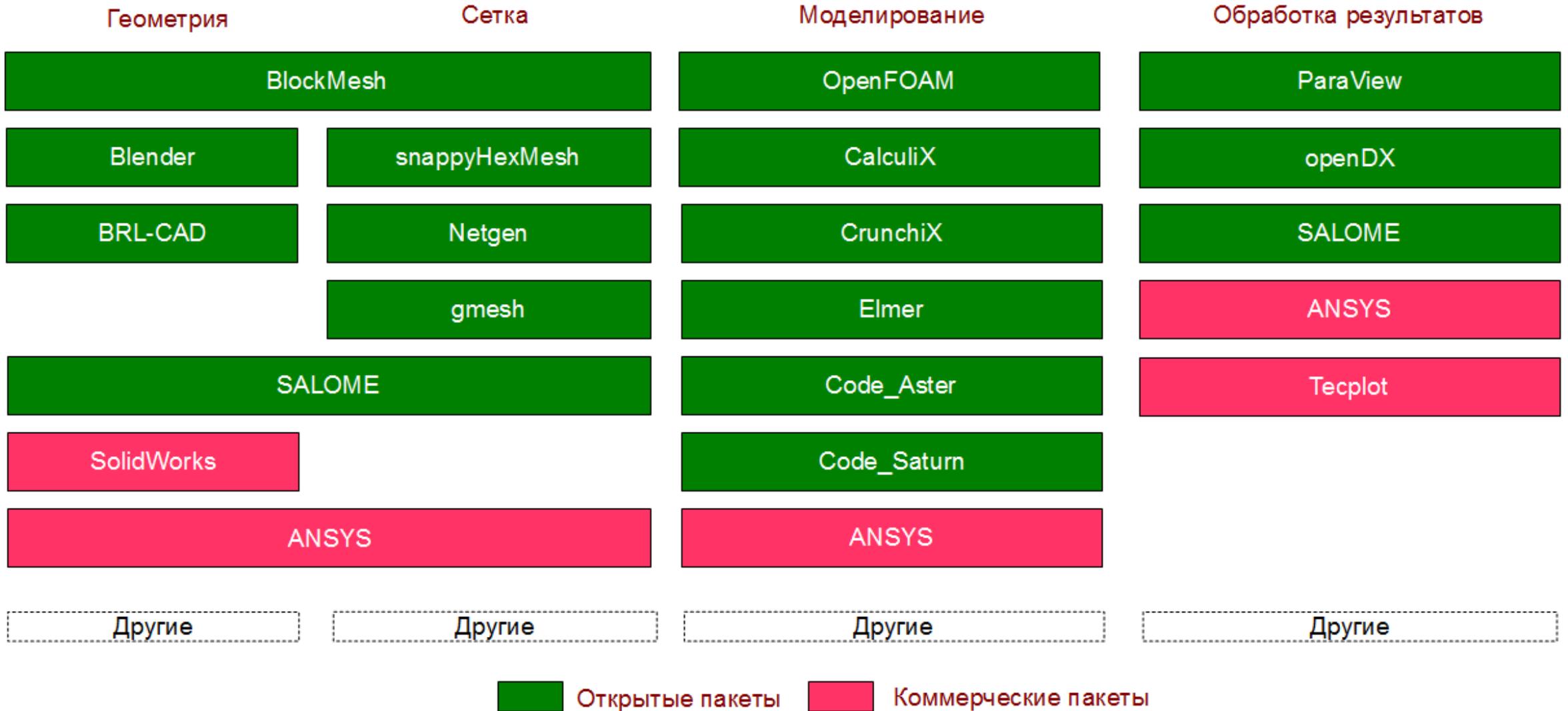


Высокопроизводительные вычисления
на Grid системах
Шестая международная молодежная научно-
практическая школа

Построение сеточной модели в ANSYS ICEM CFD

Панкратов Евгений
Инженер ЦИО ИМИКТ САФУ
e.pankratov@narfu.ru

Инструменты построения математической модели



Возможности ANSYS

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



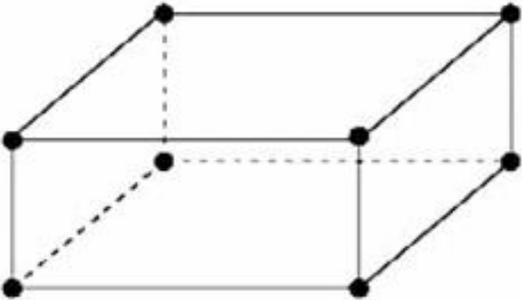
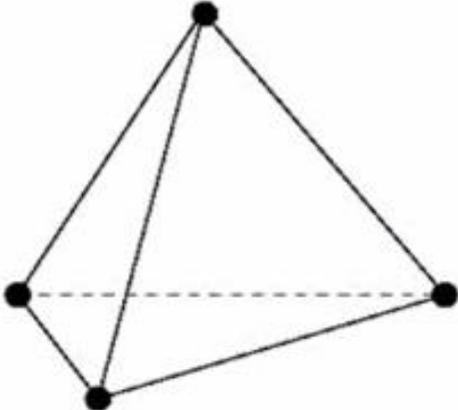
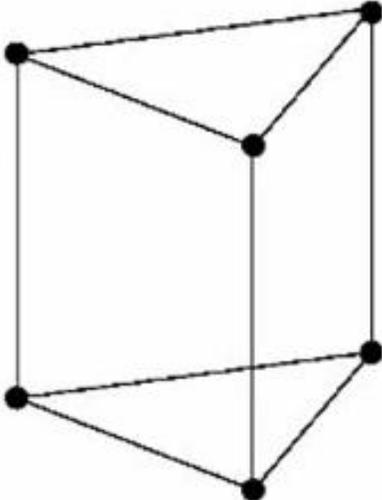
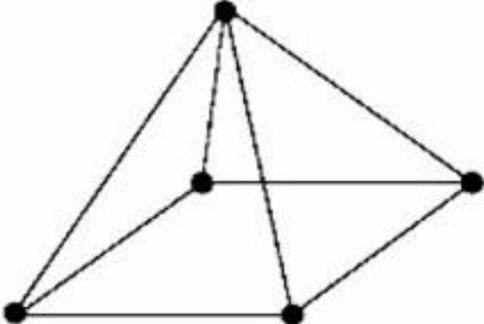
Вычислительная
гидродинамика

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



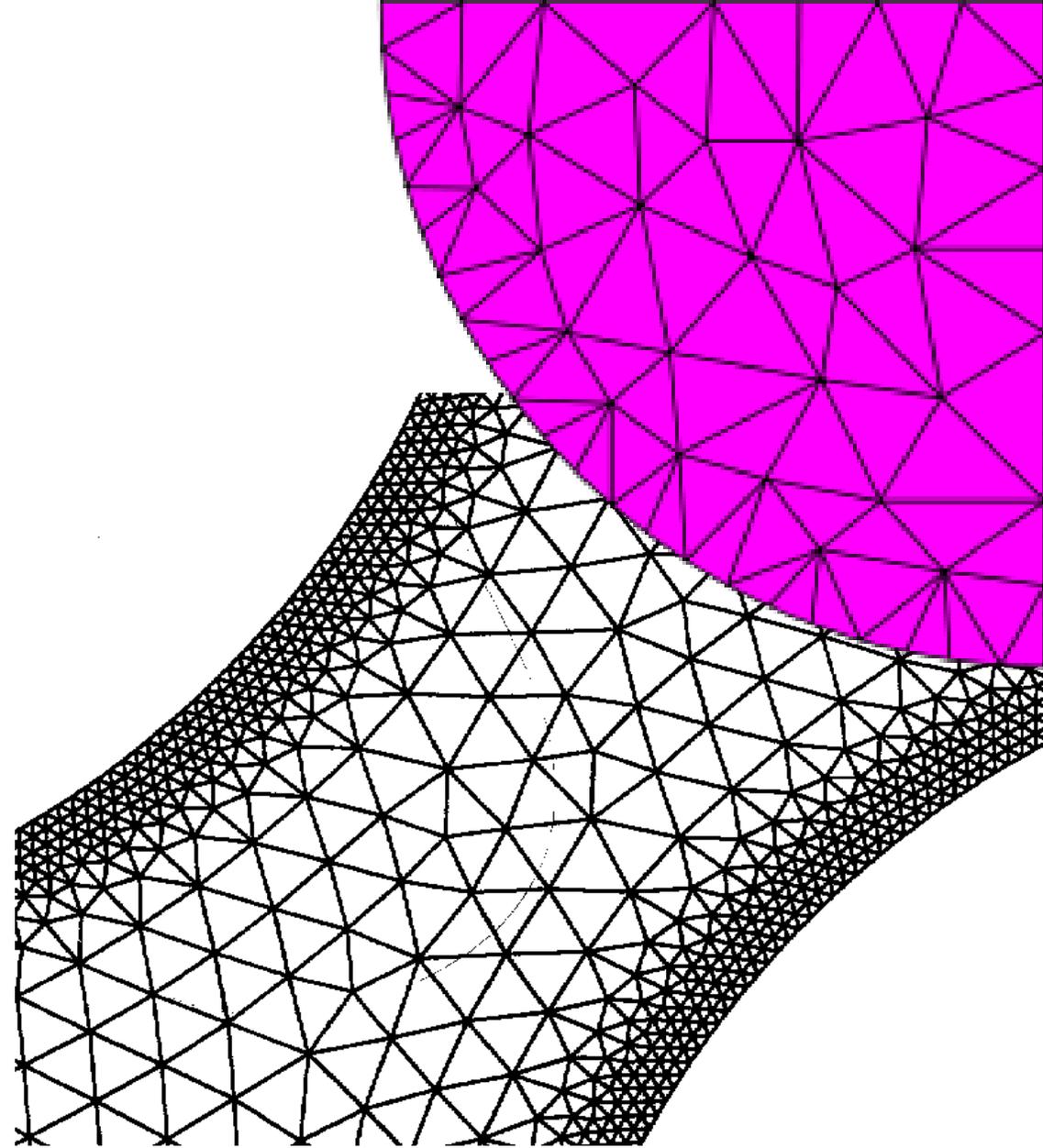
Элементы: тетраэдры

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



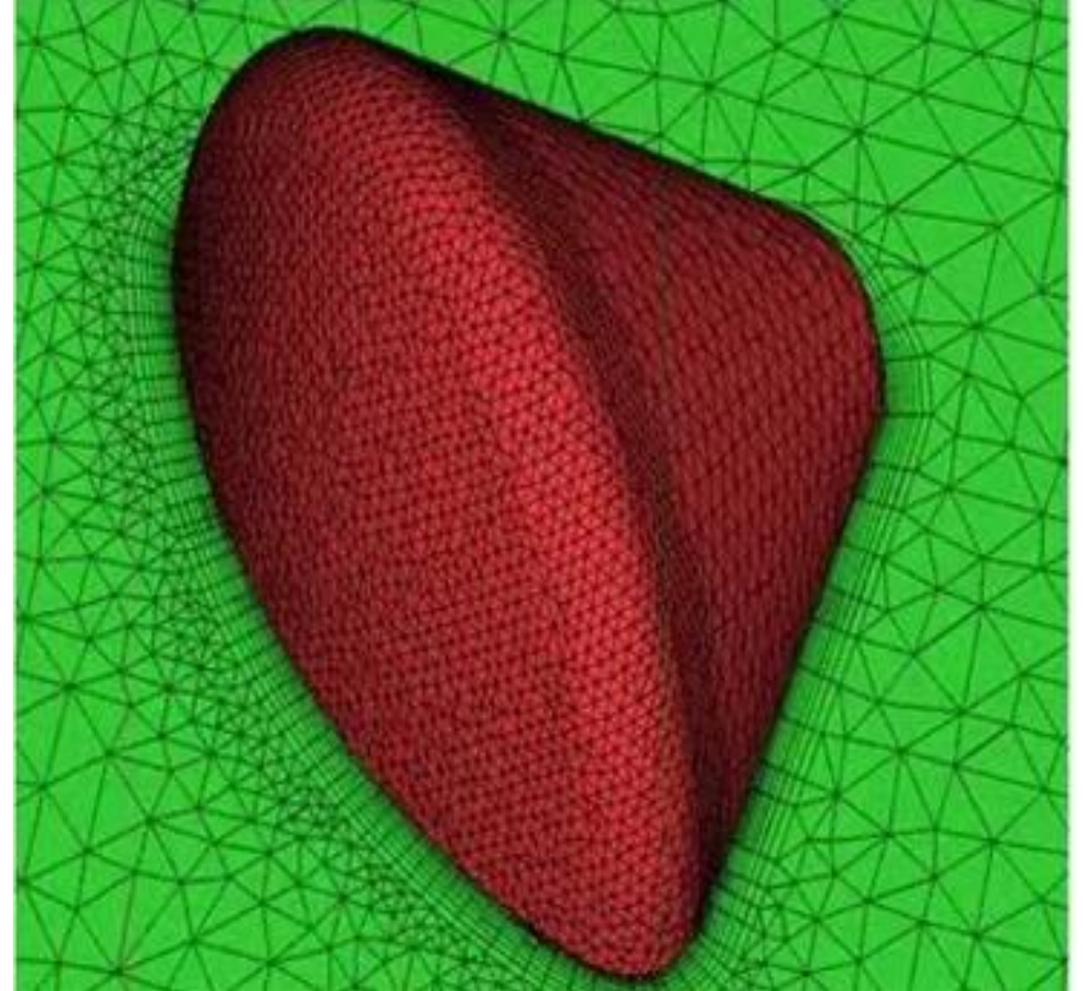
Элементы: призмы

За:

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

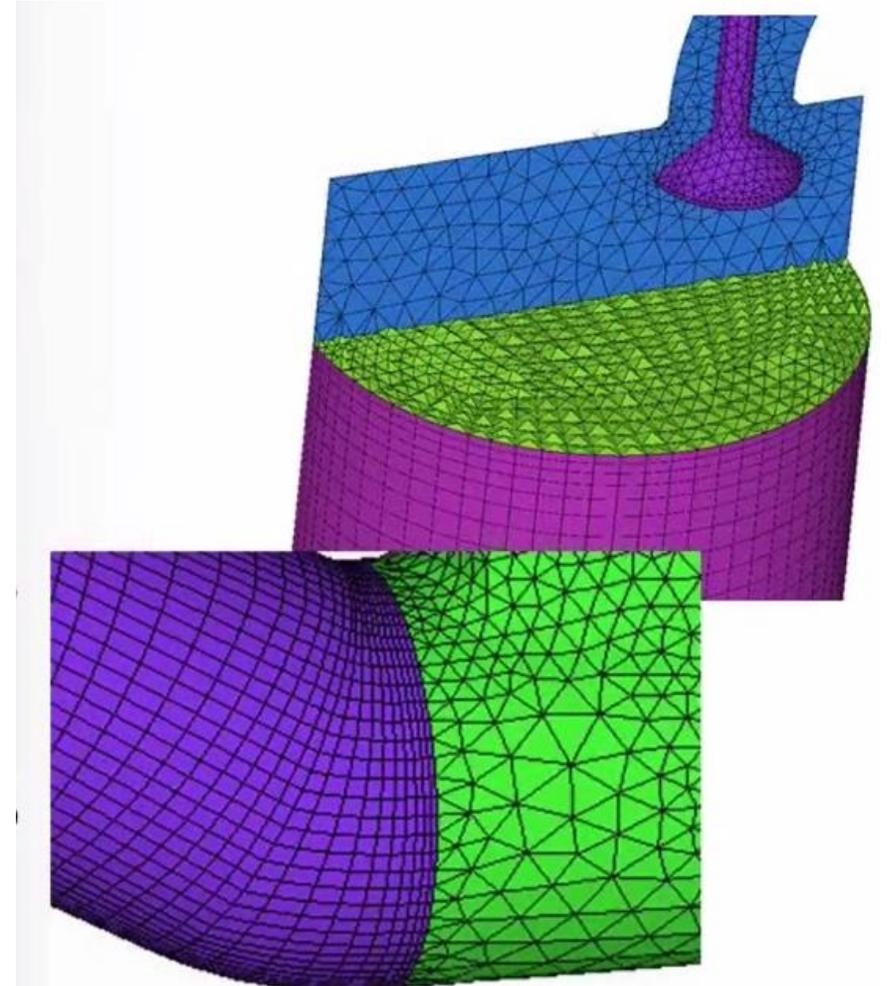
Против:

- 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

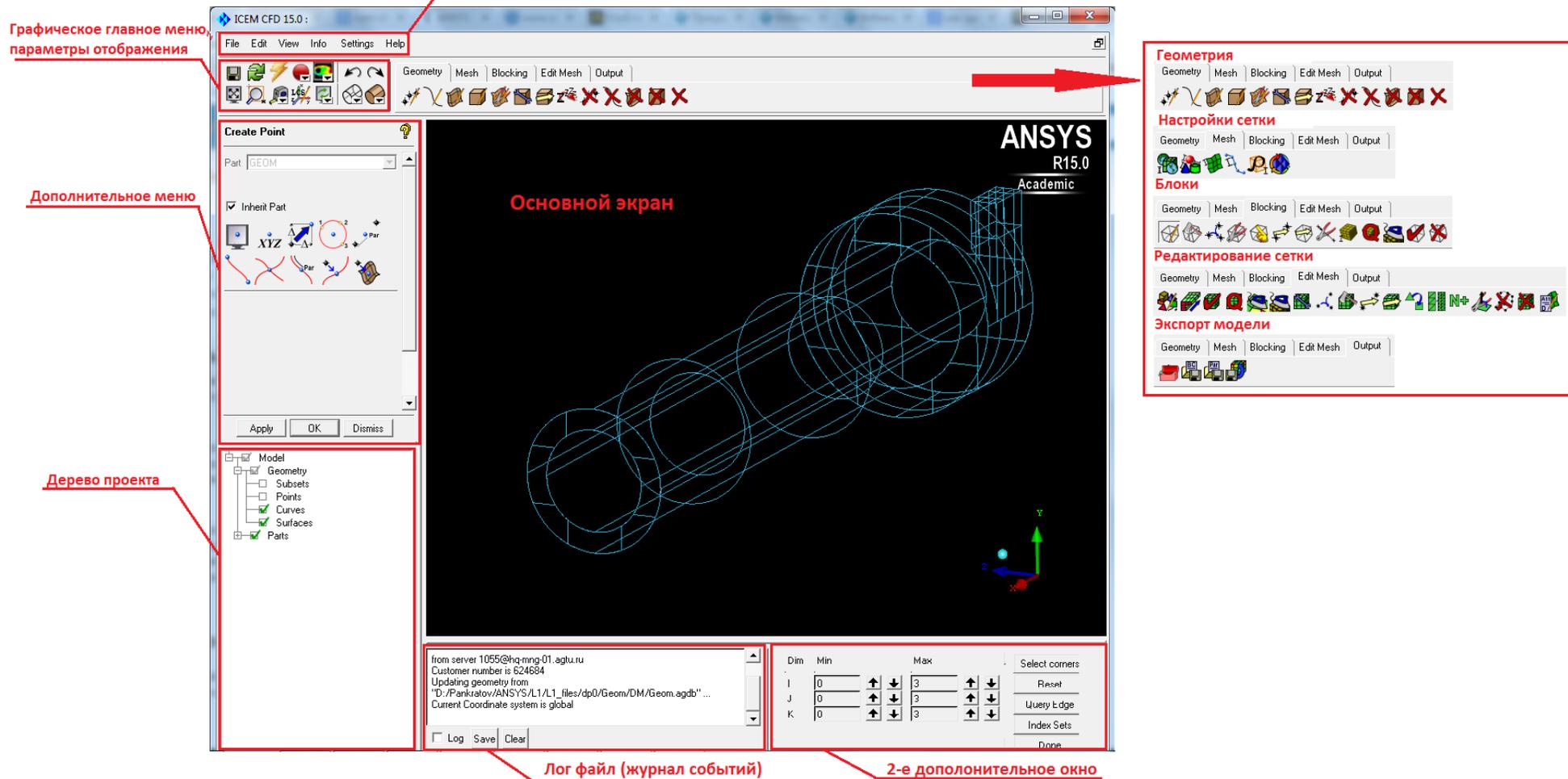
Тетраэдры:

- 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



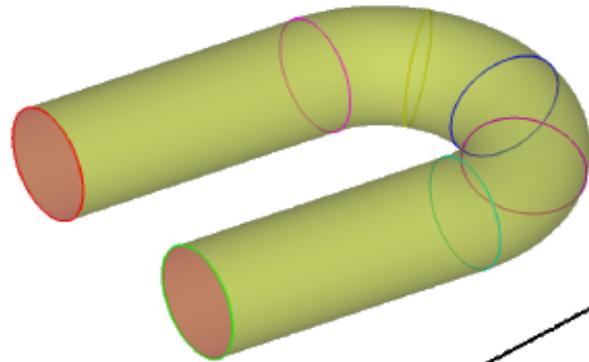
ANSYS ICEM CFD – это программный модуль ANSYS'а реализующий построение сеточной модели изучаемого объекта. **главное меню**



Блочная структура

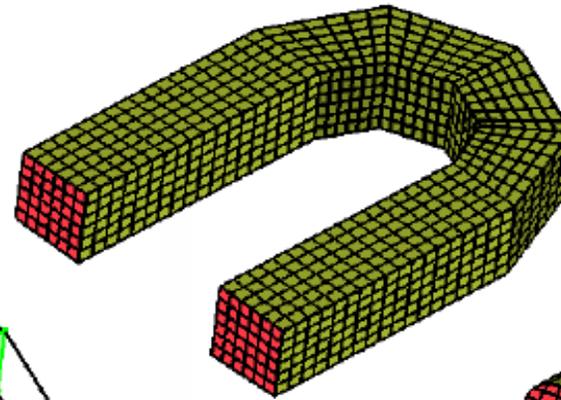
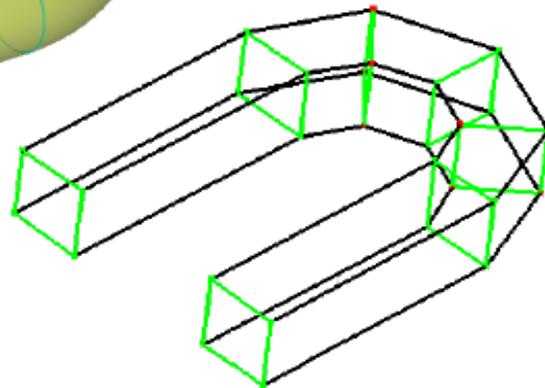
Сетка из гексаэдров создается по блочной структуре («blocking»)

- 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



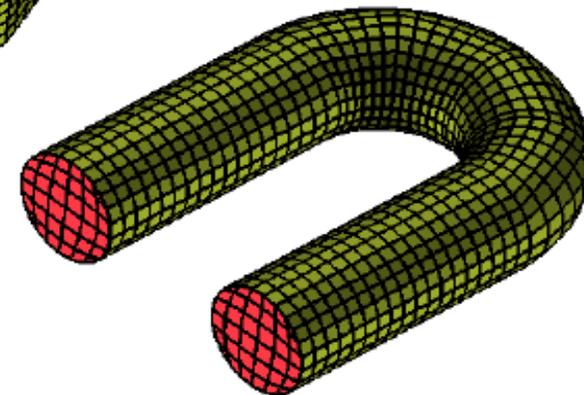
Геометрия

Блочная структура



Сетка без проекции

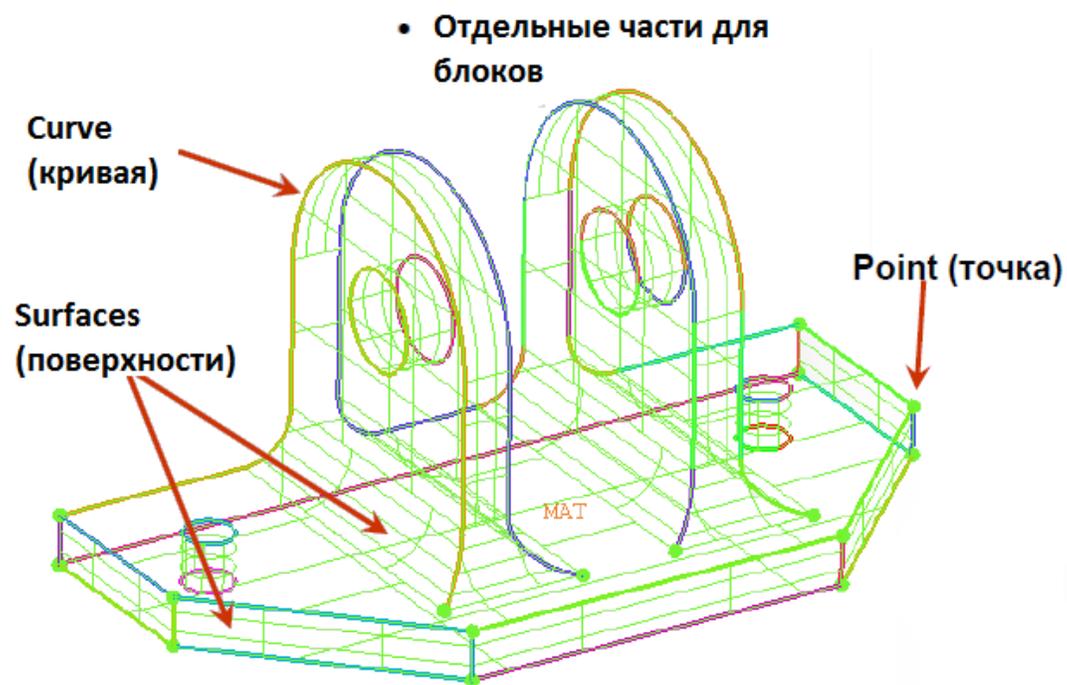
Сетка с проекцией



Основные термины

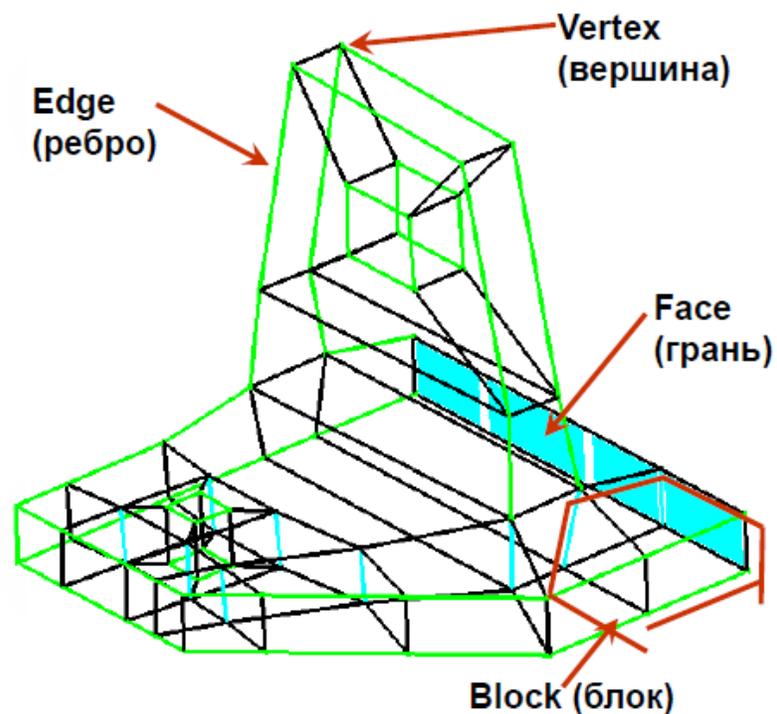
Геометрия

- 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

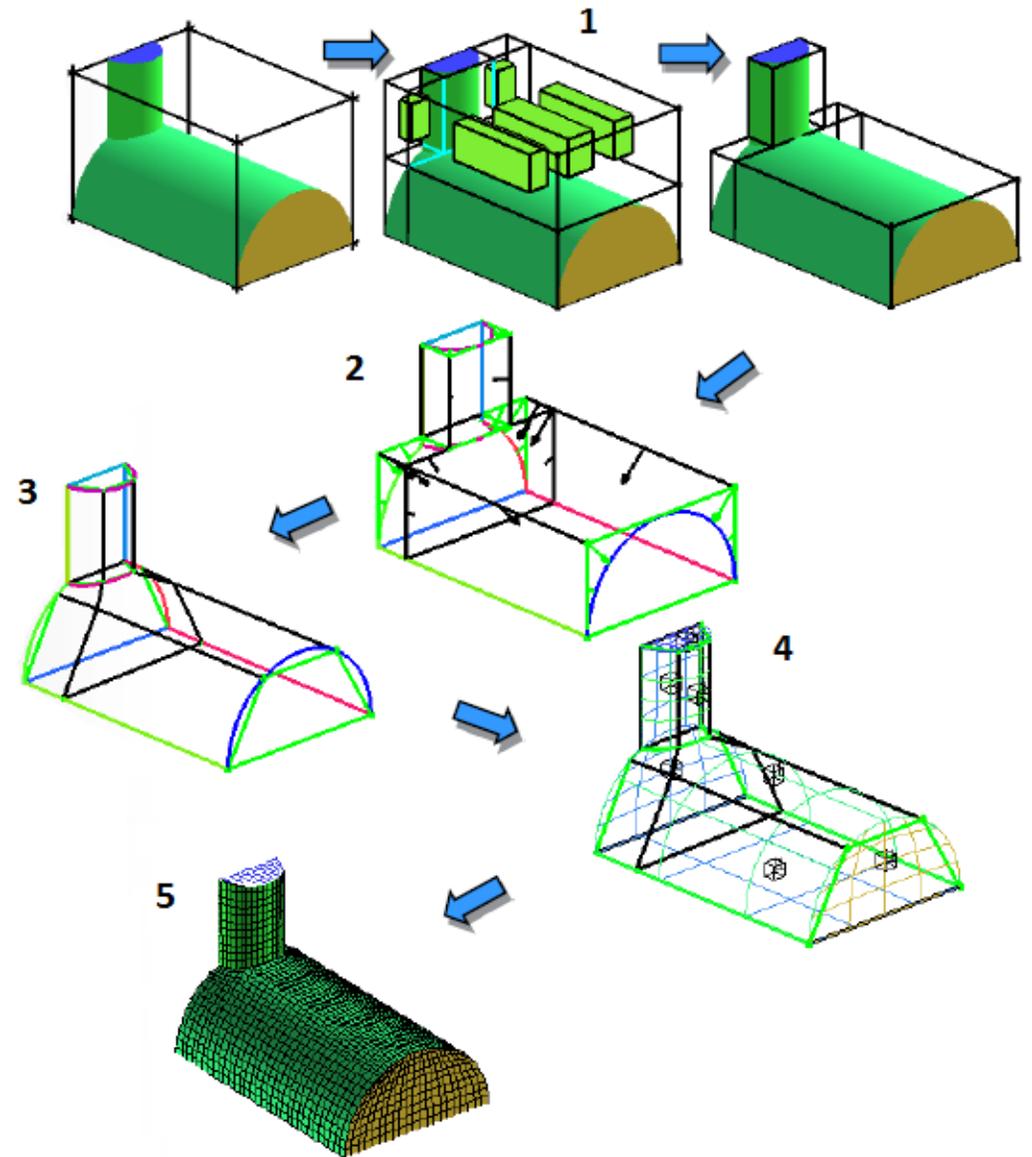
- Вручную и автоматически

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

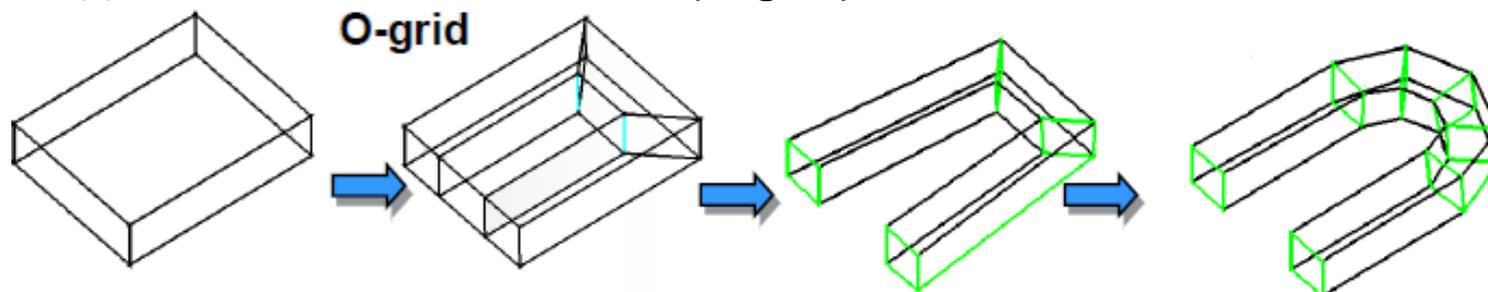


Подходы – «сверху вниз» и «снизу вверх»

Блочная структура создается независимо от геометрии

Создание топологии «сверху вниз»

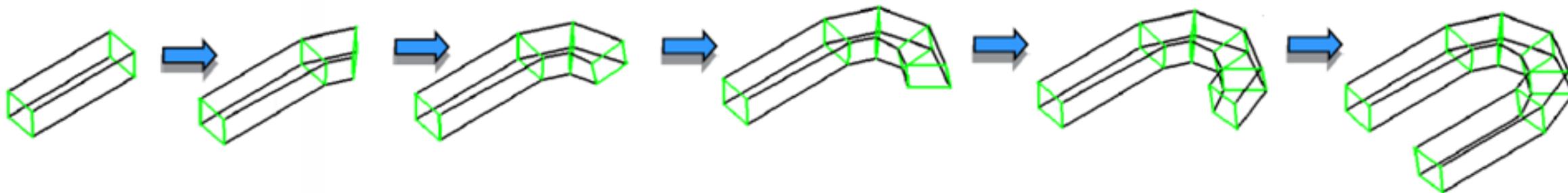
- Пользователь – не каменщик, а скульптор
- Одноступенчатое создание сложной топологии (O-grid)



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

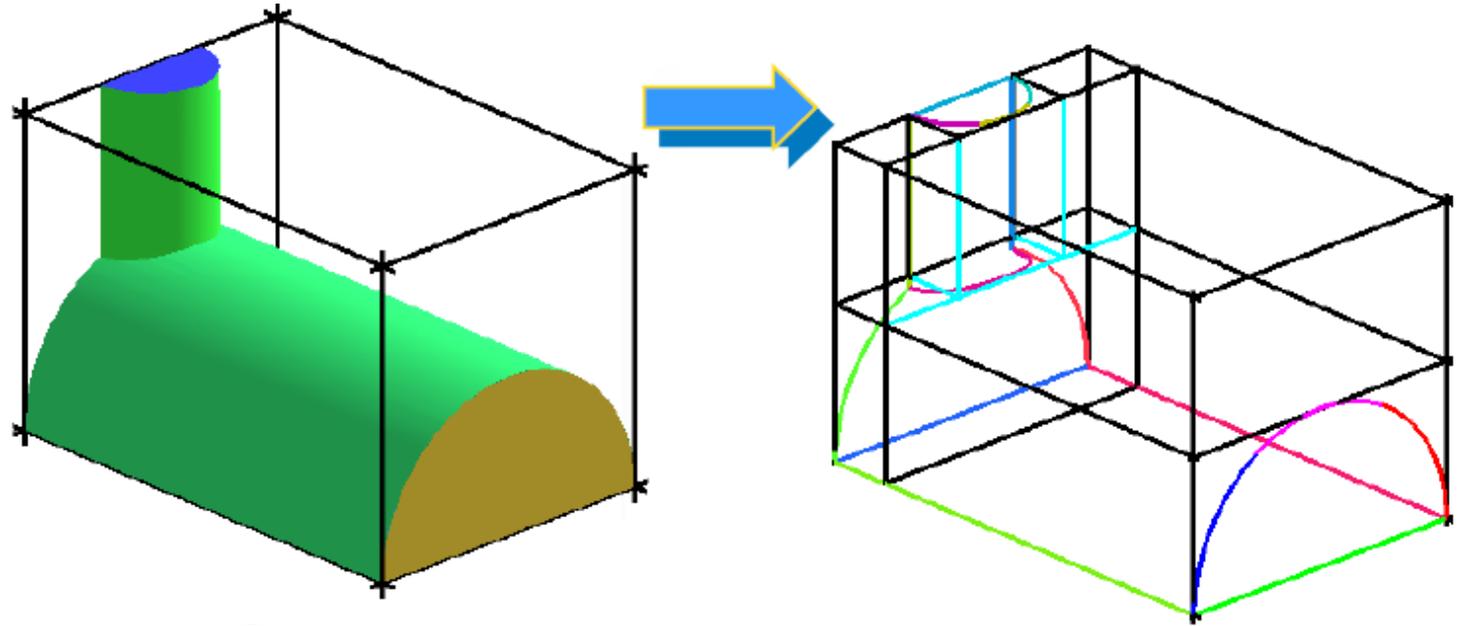
- Создайте блок
- Протяните грань
- Скопируйте топологию

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

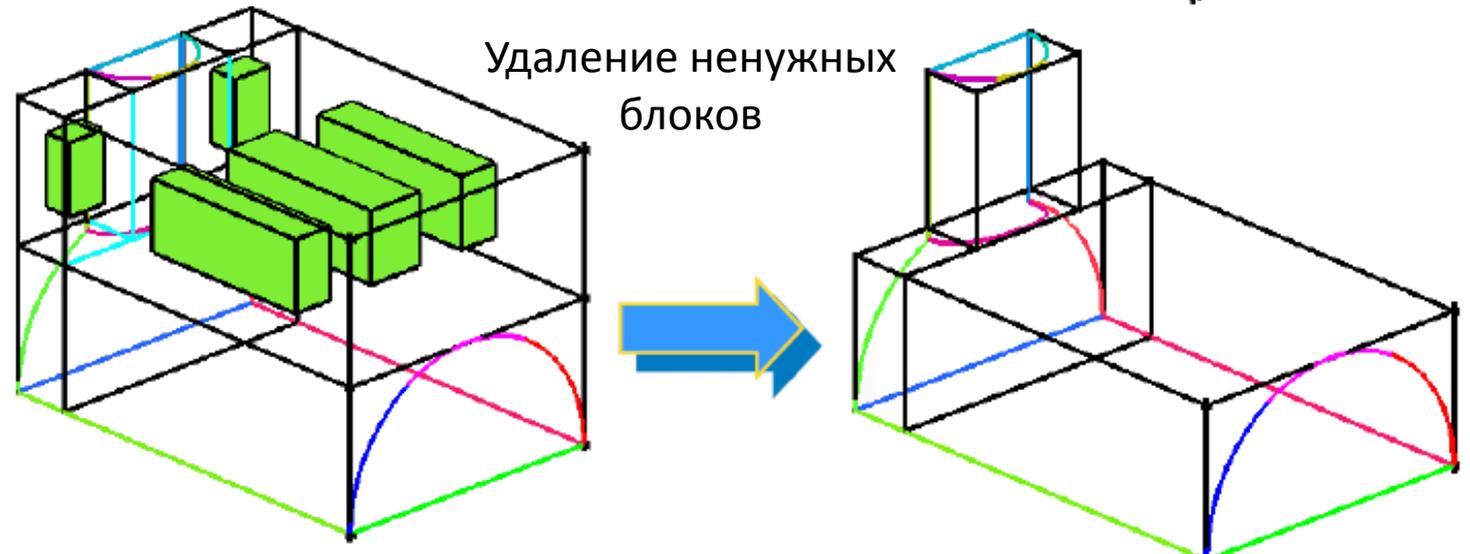


Подстройка блочной структуры под геометрию

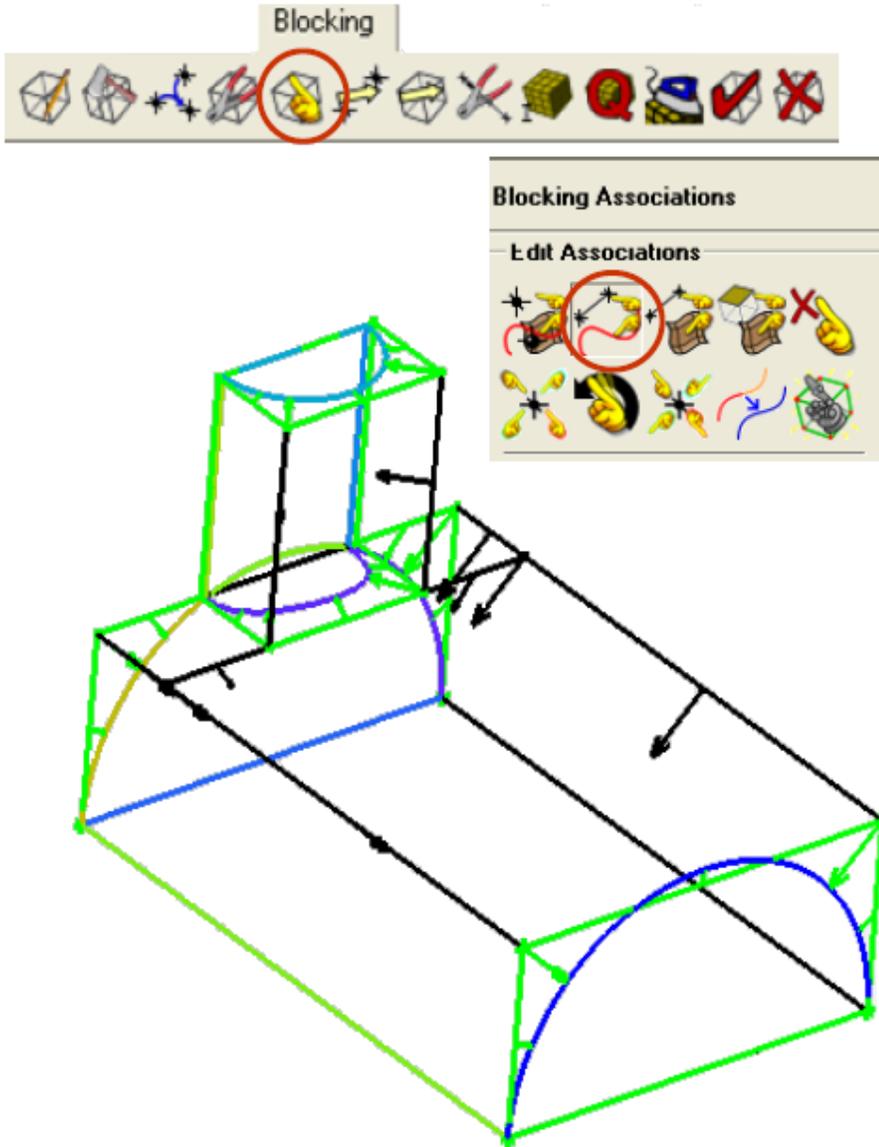
Построение первого блока
по габаритам геометрии



Разделение блока по
контурам геометрии

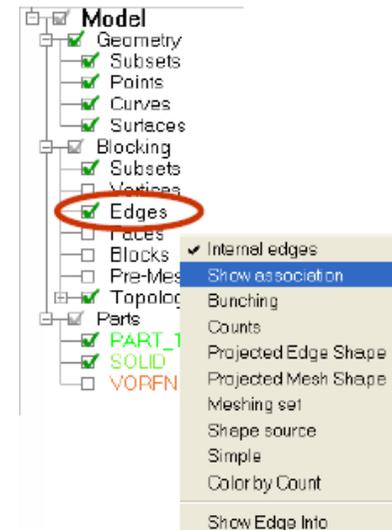


Ассоциирование блочной структуры с геометрией



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

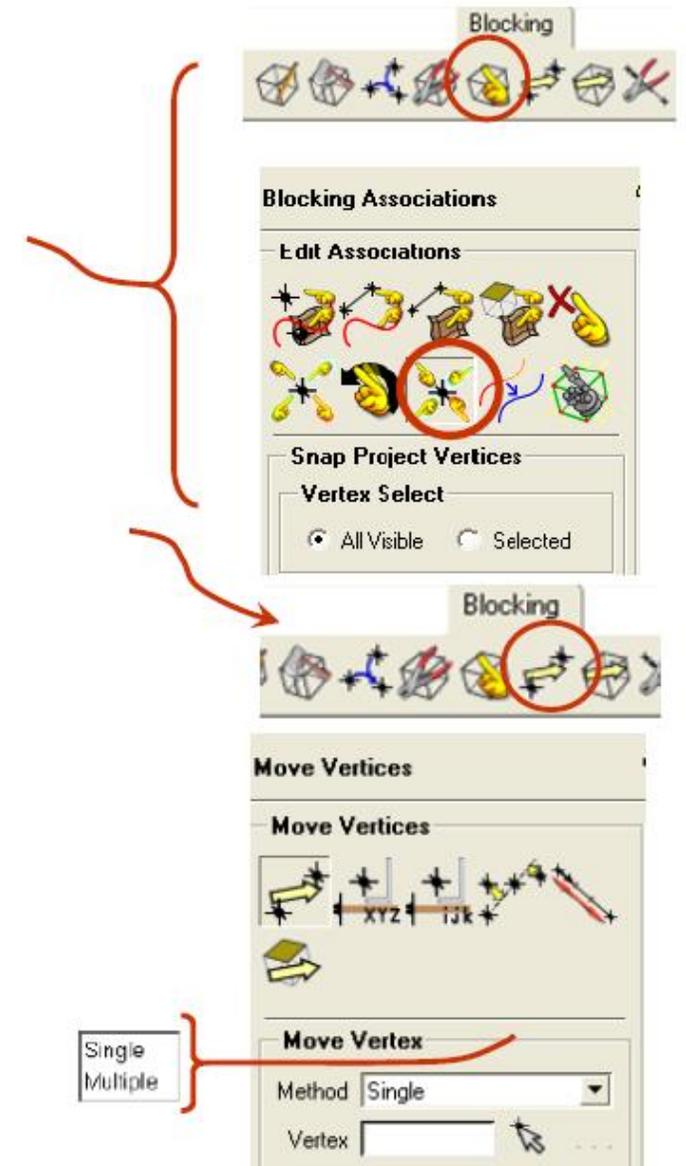
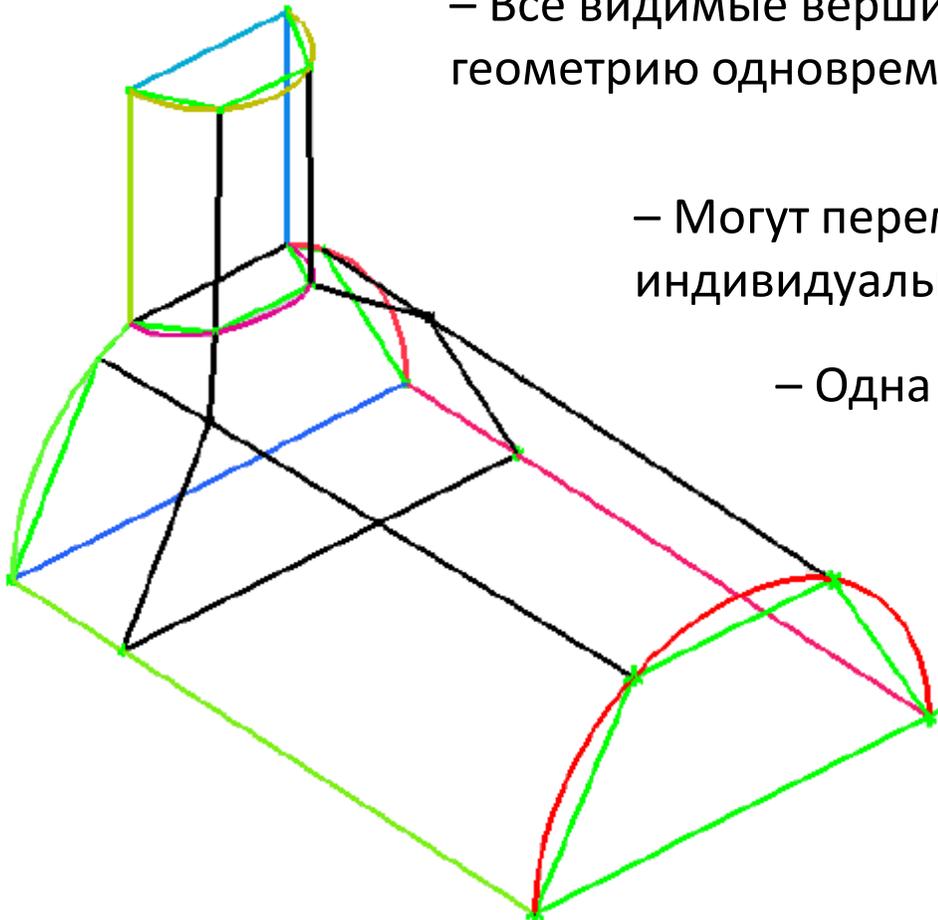
Переместите вершины для более точной передачи формы

– 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.

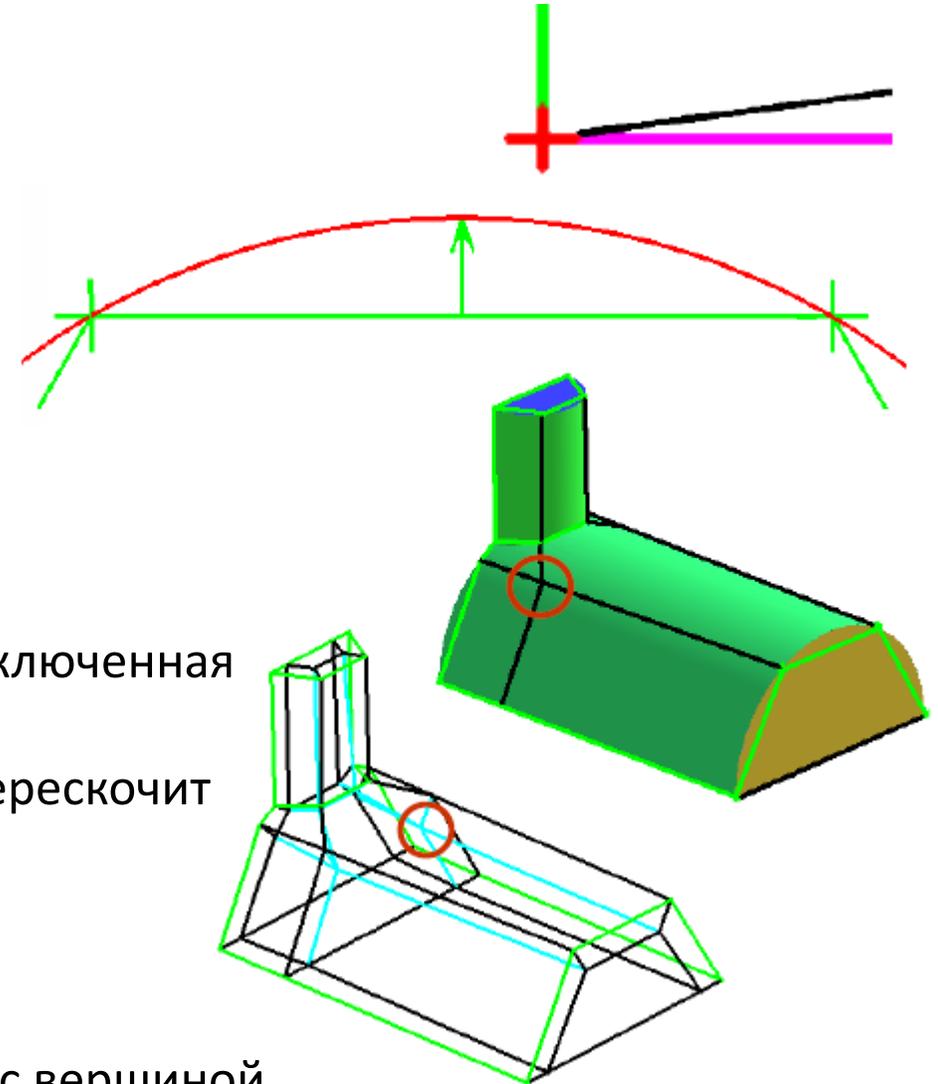
- Вершина привязана к кривой.
- Вершина может перемещаться только вдоль кривой.

– 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

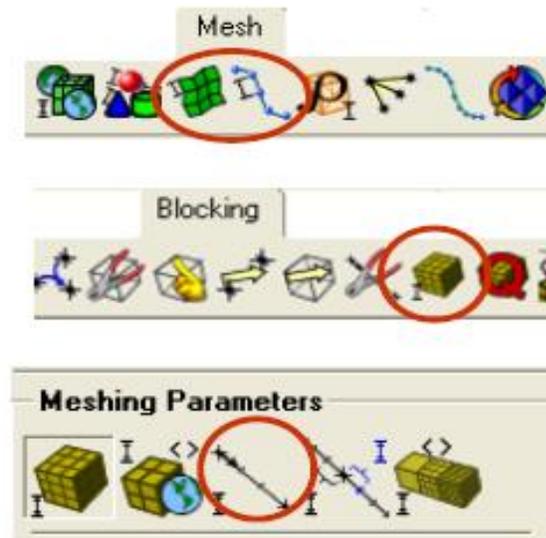
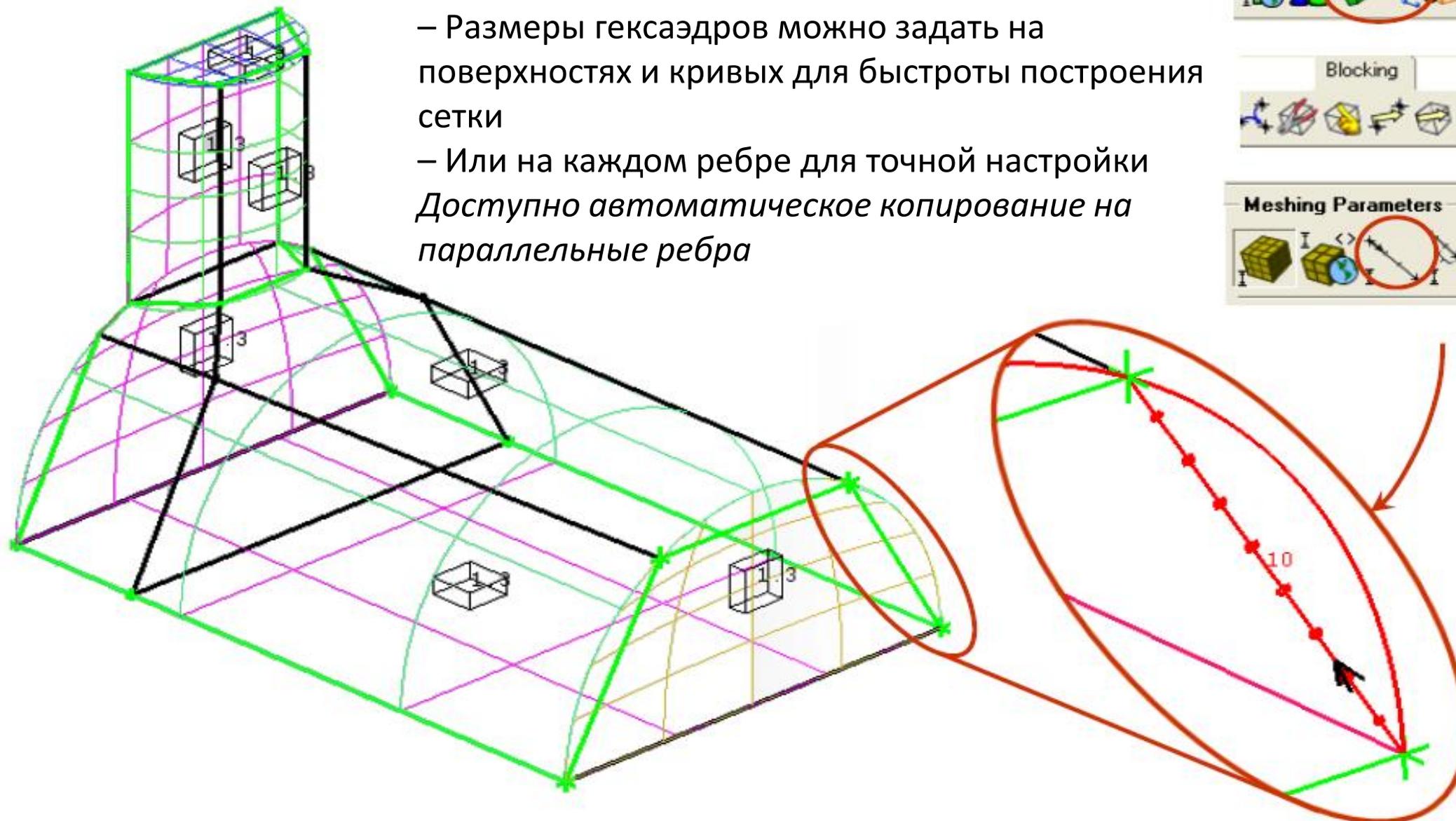
– Голубой

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

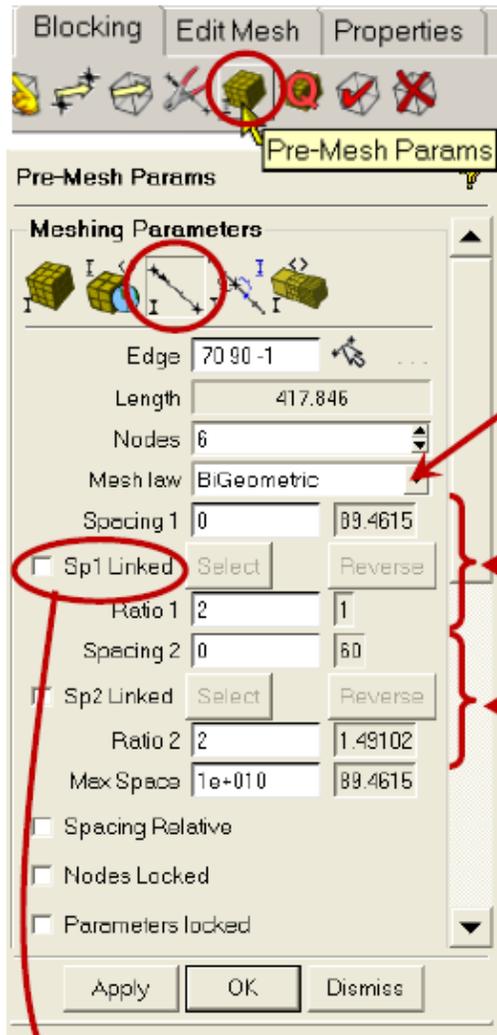


Задание размеров сетки

- 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



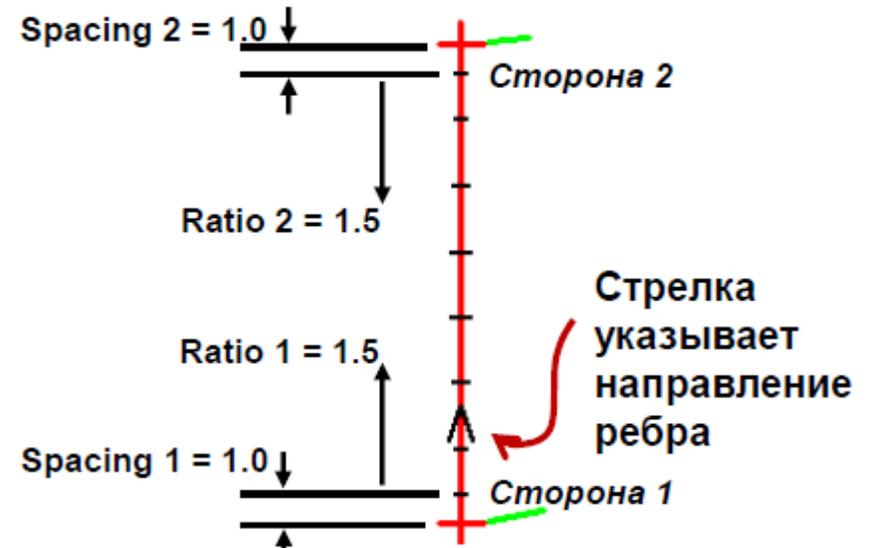
17 законов
сгущения

- 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



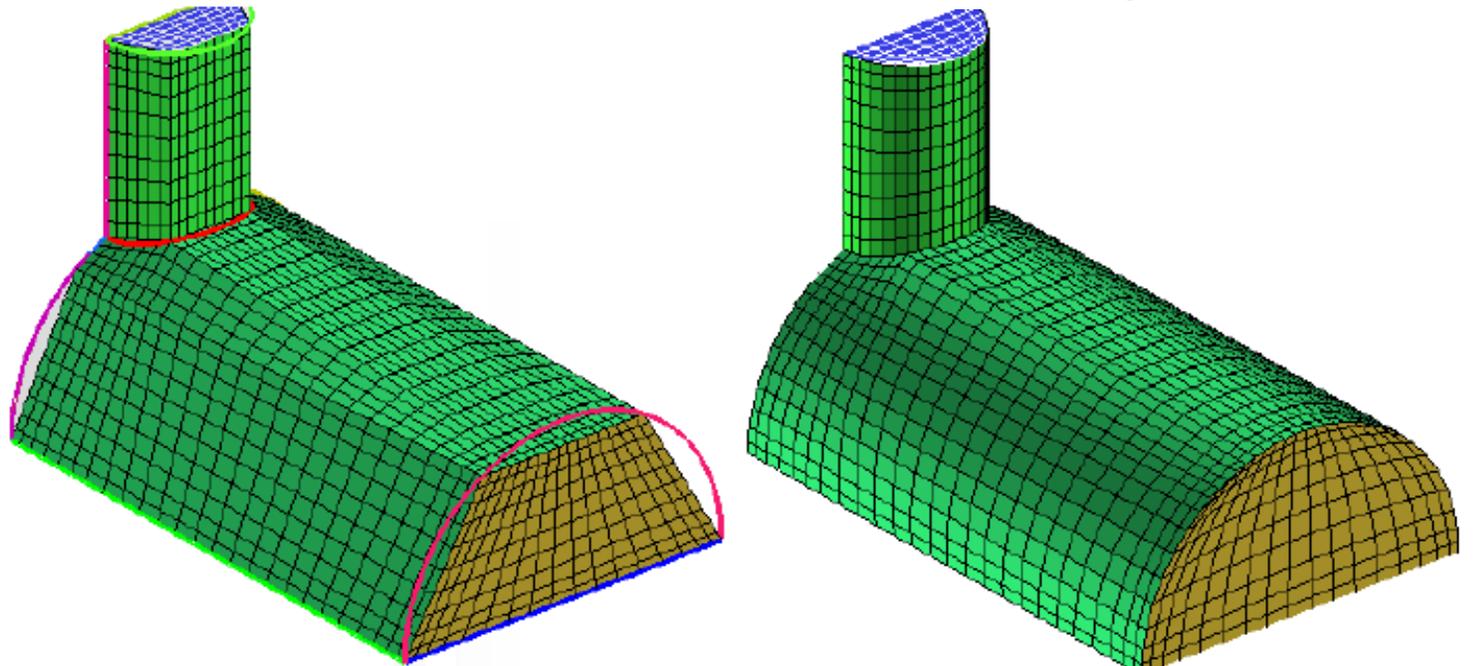
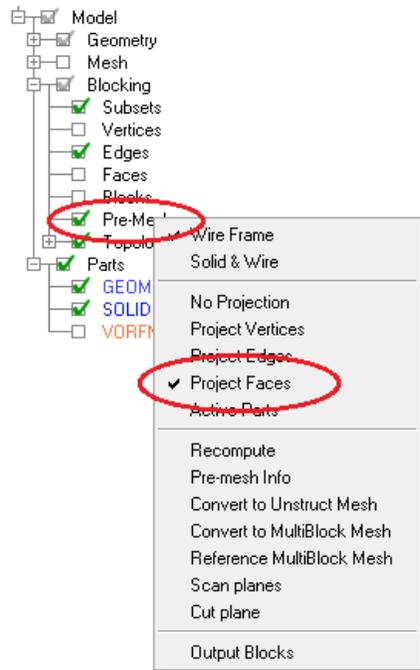
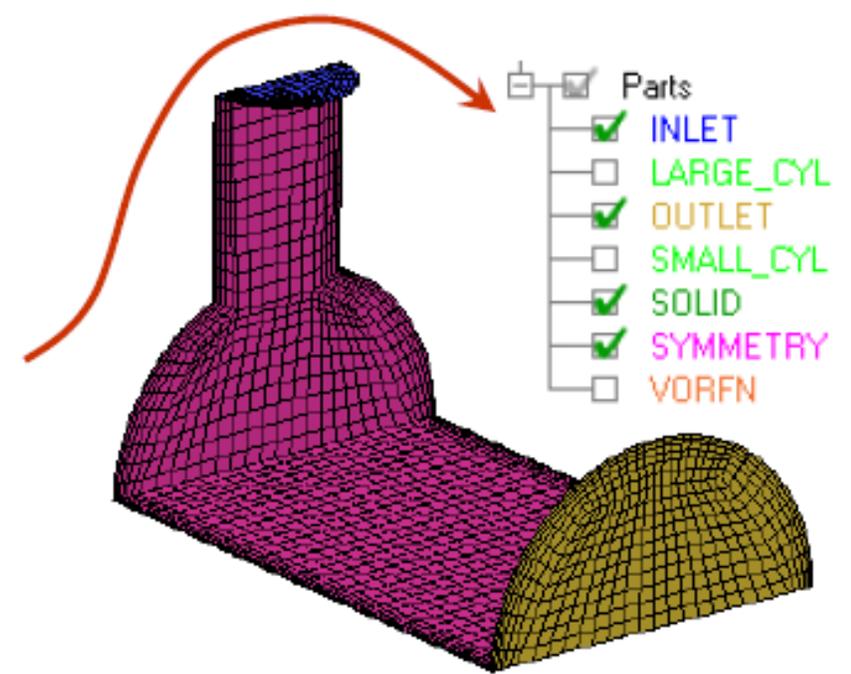
Требуется Факт

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

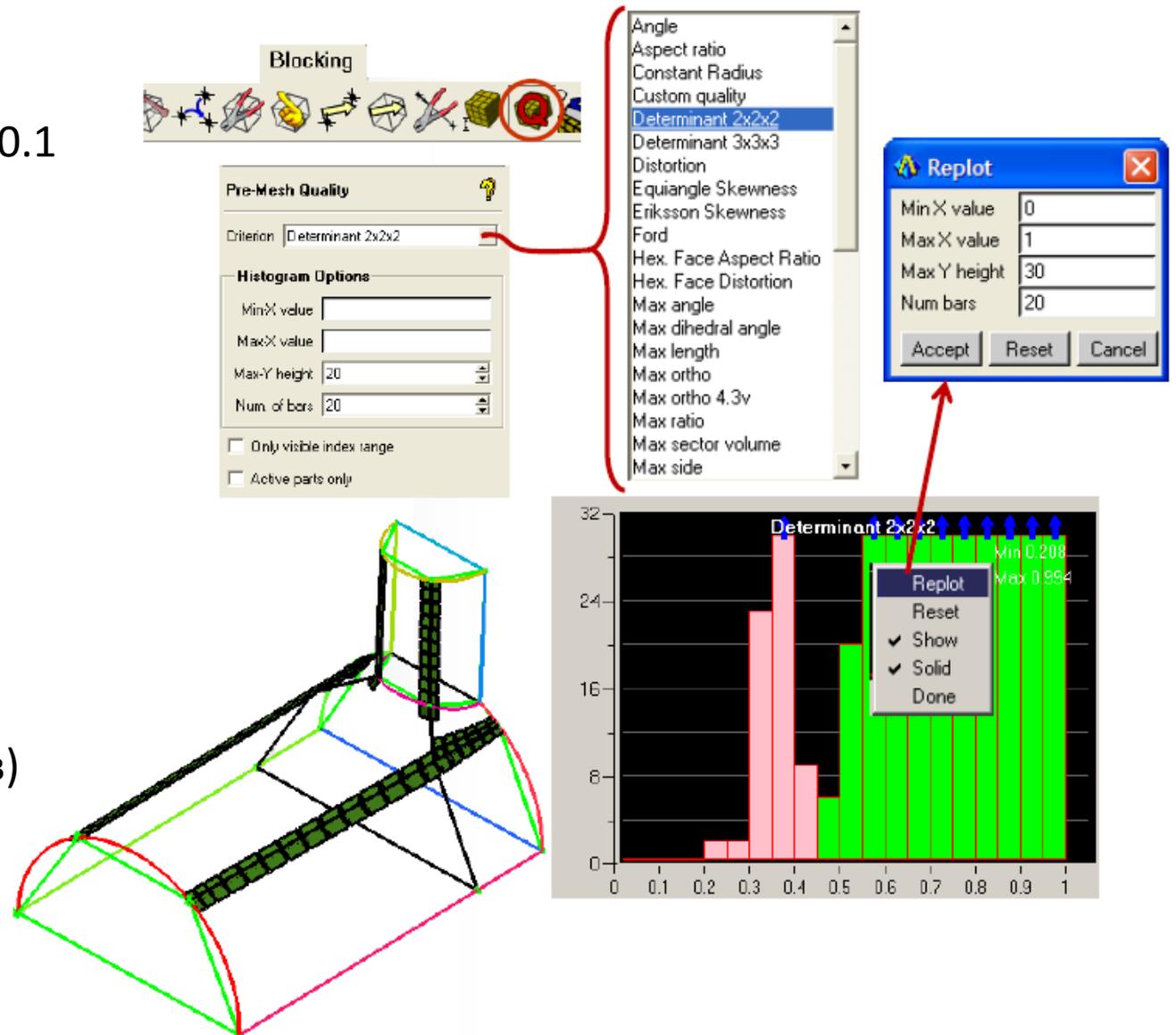
Просмотр сетки

- 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)

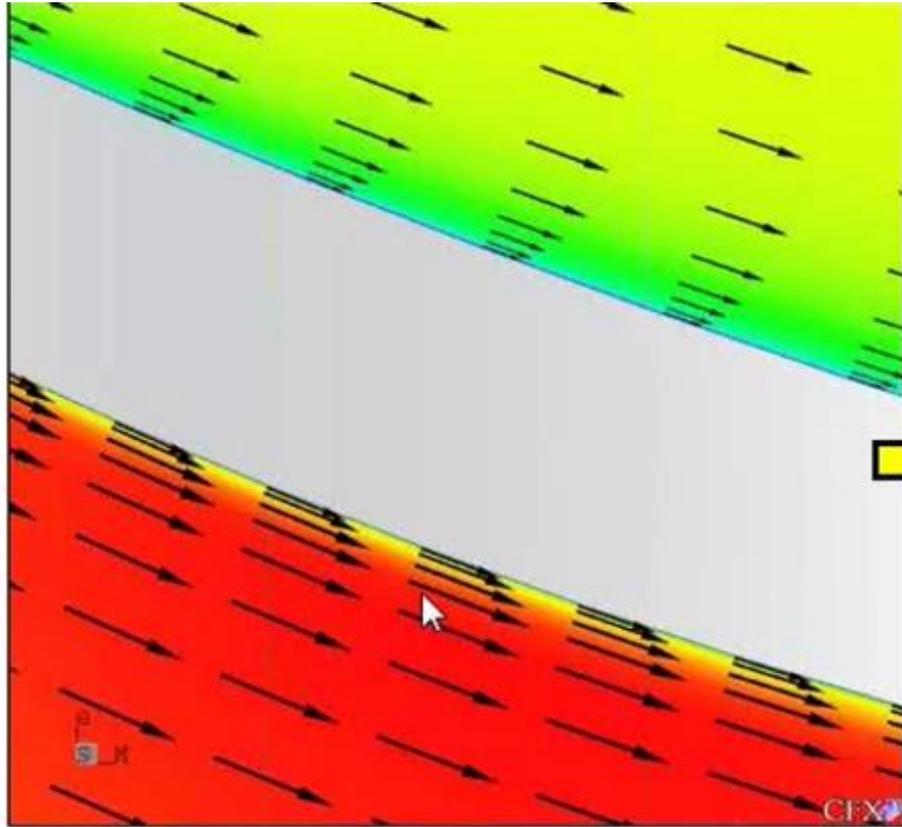
- **Determinant** (деформация элемента)
 - Для большинства решателей должен быть > 0.1
 - Следует добиваться > 0.2
- **Angle**
(минимальный внутренний угол элемента)
 - Следует добиваться $18 < \alpha < 160$
- **Aspect ratio**
(показывает как вытянут контрольный объем)
 - Следует добиваться $< 10\ 000$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



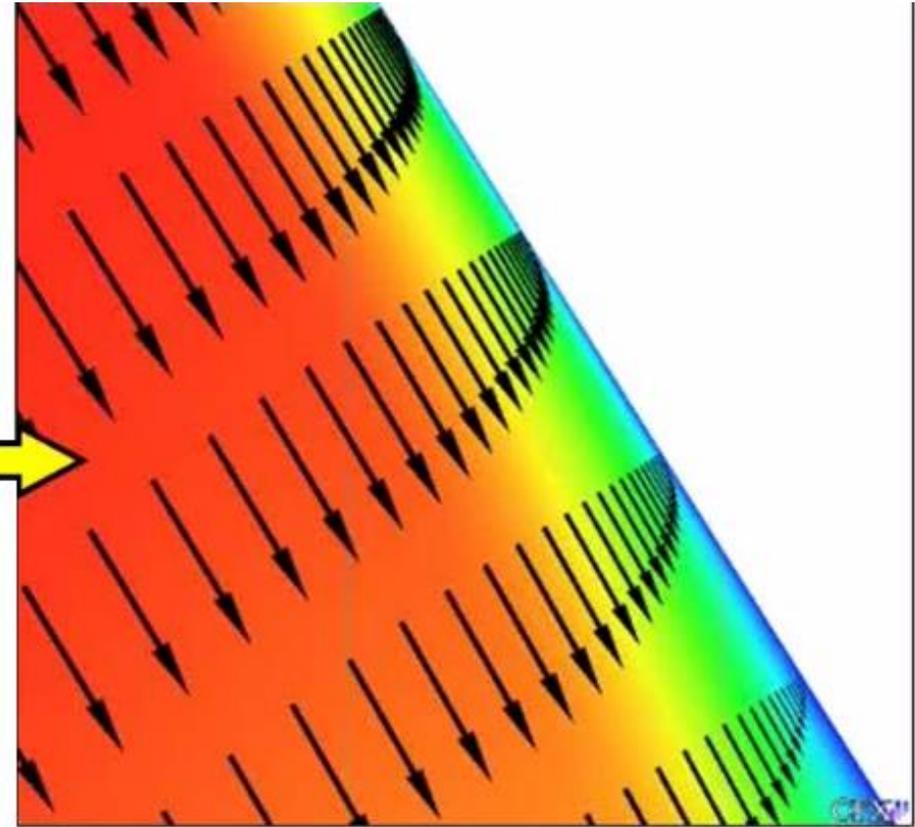
Соответствие физике течения

Пример: профиль скорости вблизи поверхности профиля

Профиль при «плохой» сетке



Профиль при «хорошей» сетке



Запись сетки

Конвертирование предварительной сетки в постоянную

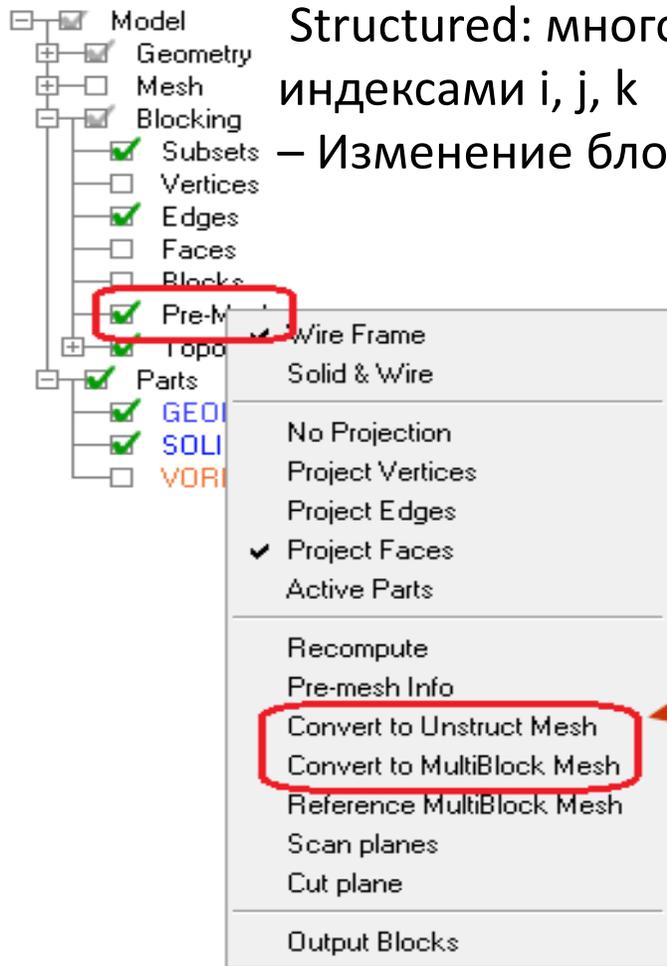
– Два формата в зависимости от требования решателя

Unstructured: ячейки определяются по номерам узлов

Structured: многоблочная – ячейки определяются

индексами i, j, k

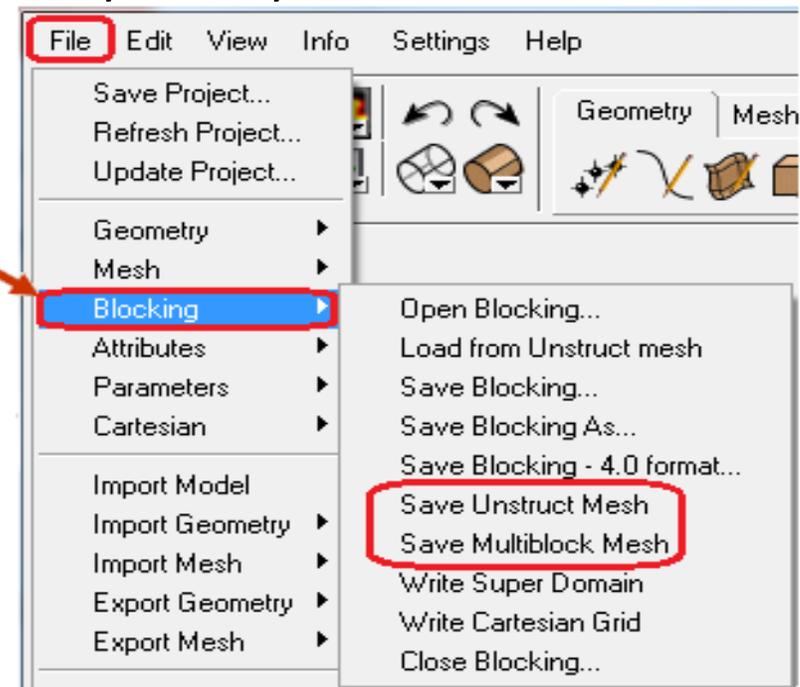
– Изменение блочной структуры уже не влияет на такую сетку



Команда
File>Blocking>Save...

только записывает
сетку на диск

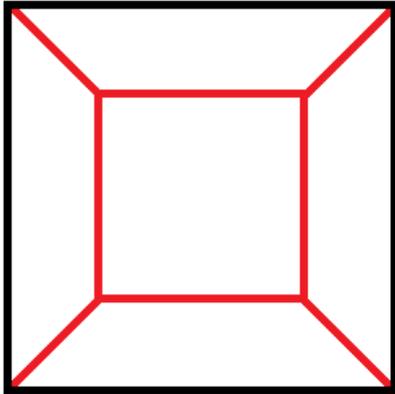
Pre-Mesh>Convert to... в
дереве модели сохраняет и
тут же подгружает сетку



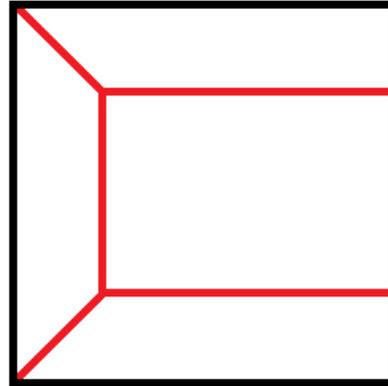
Что такое O-Grid

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

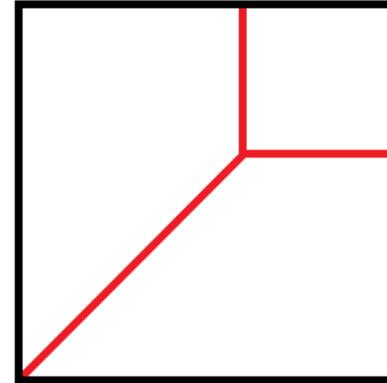
Топология 3 типов:



O-Grid



C-Grid



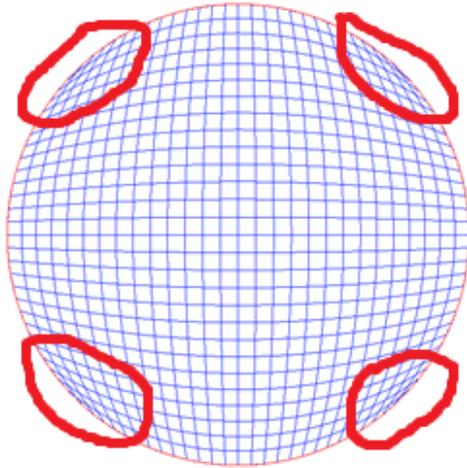
L-Grid

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

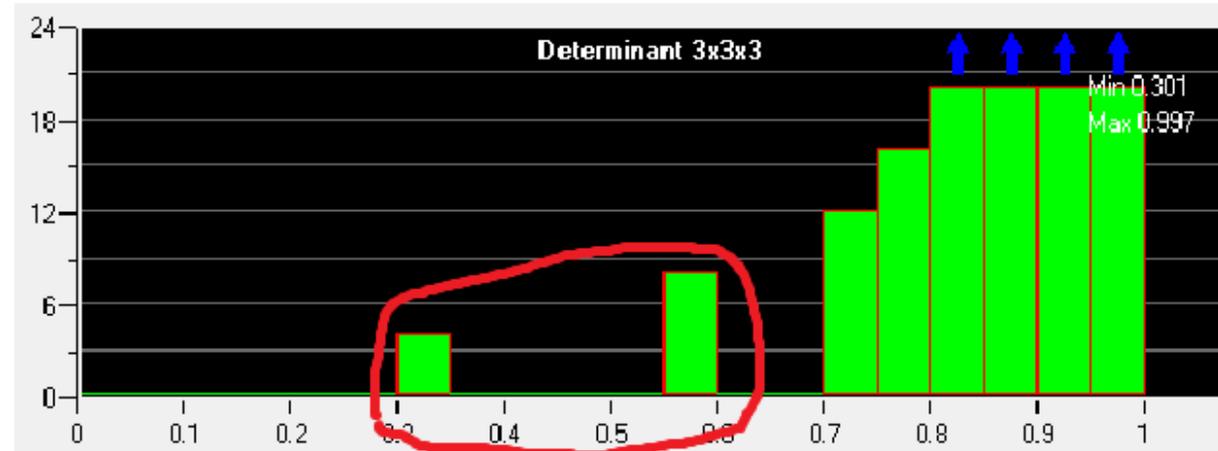
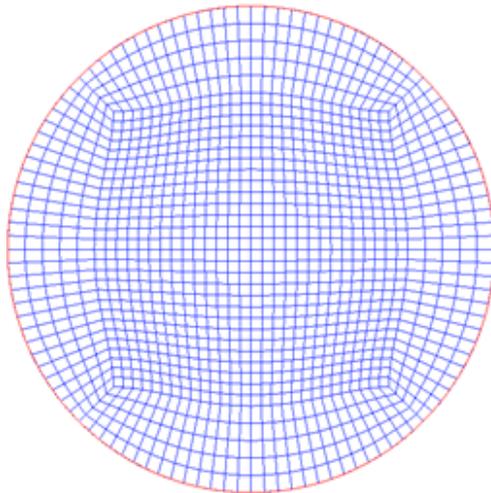
- Цилиндры
- Сложная геометрия

Почему O-Grid?

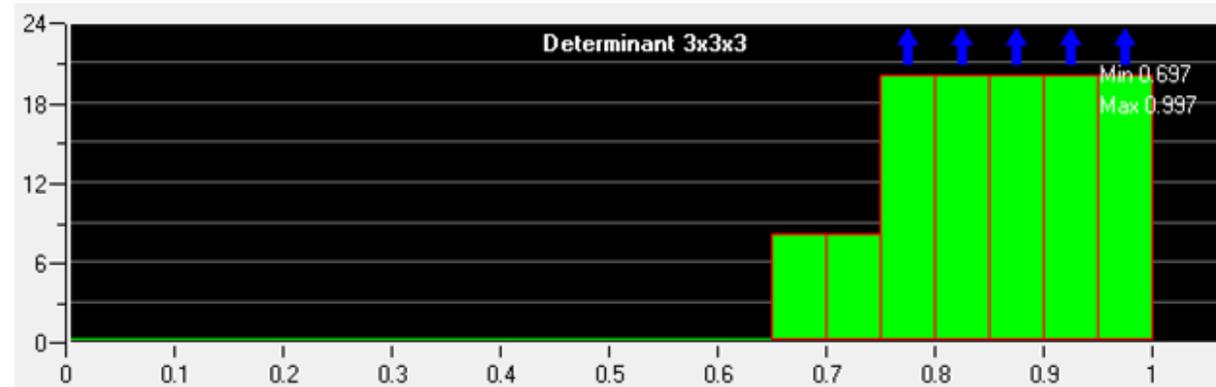
Без применения O-Grid



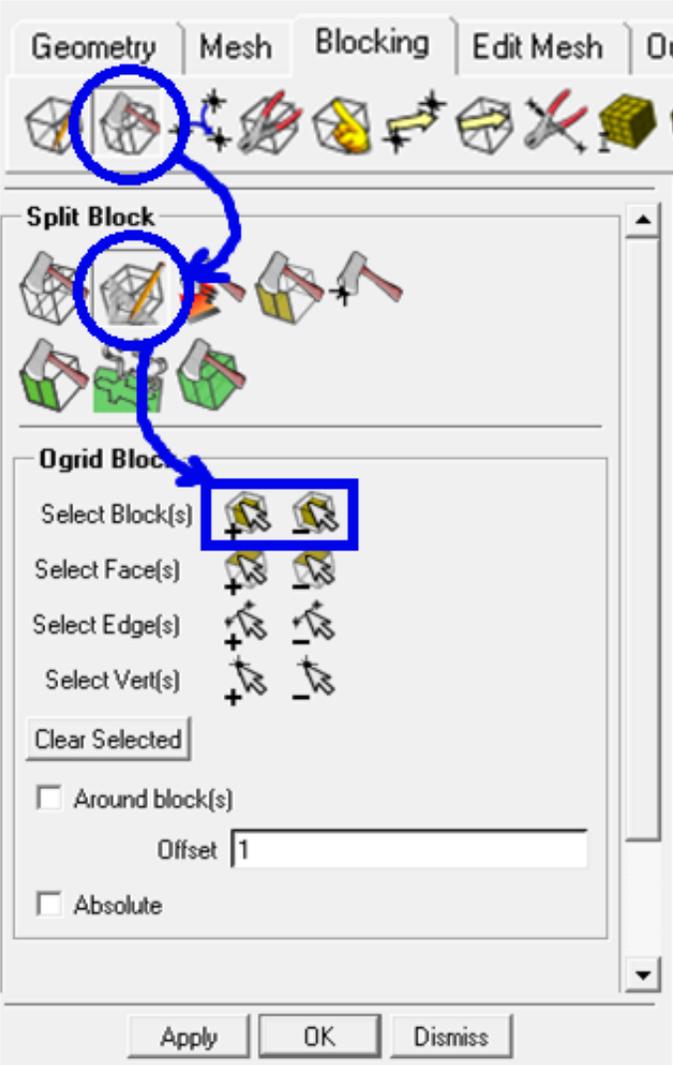
С применением O-Grid



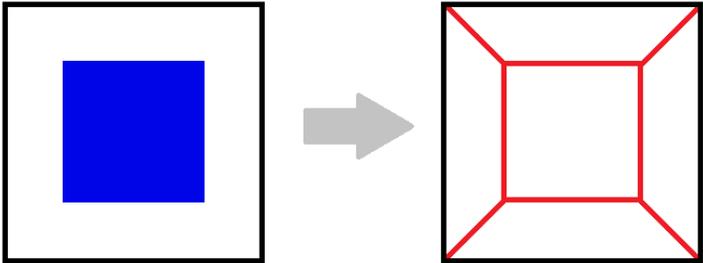
Применение O-Grid блоков улучшает сеточное разрешение у стенок для CFD-моделей



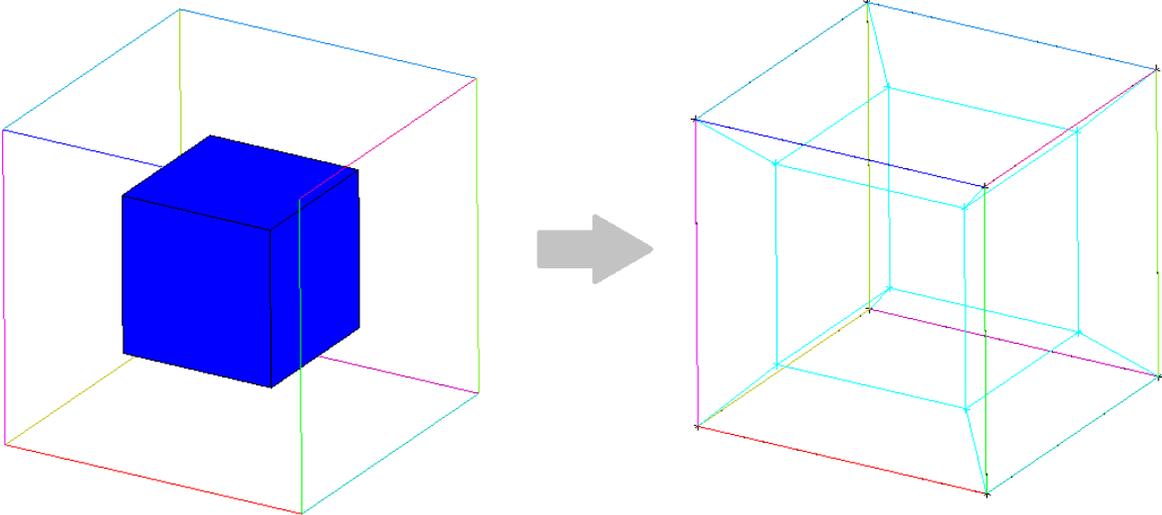
Создание O-Grid блоков



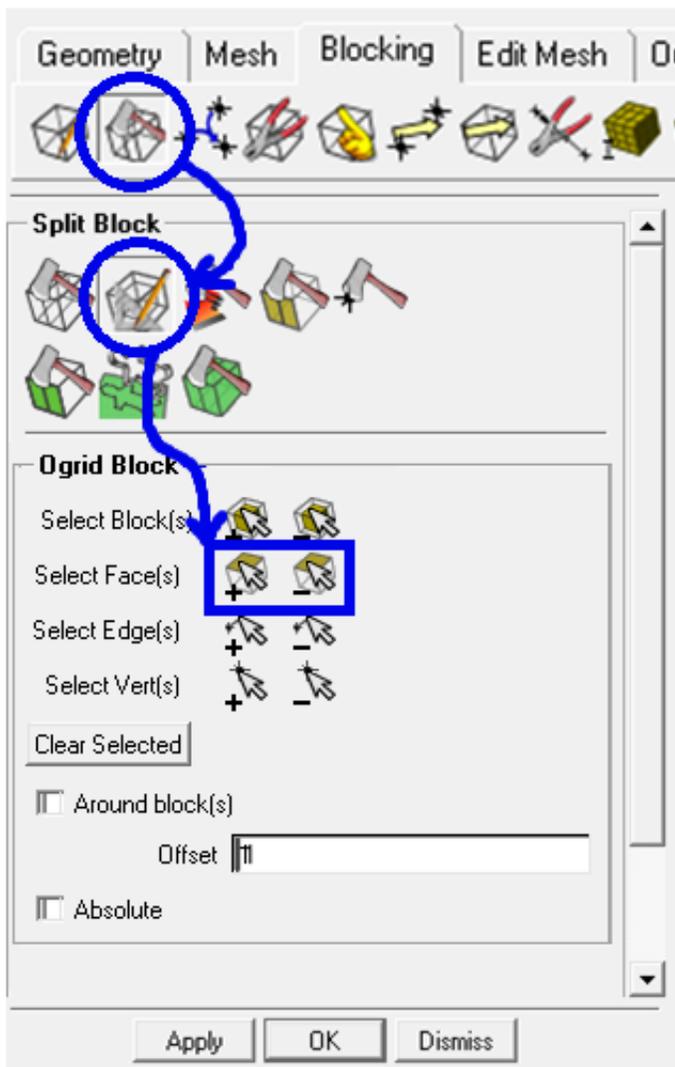
5 блоков в 2D



7 блоков в 3D

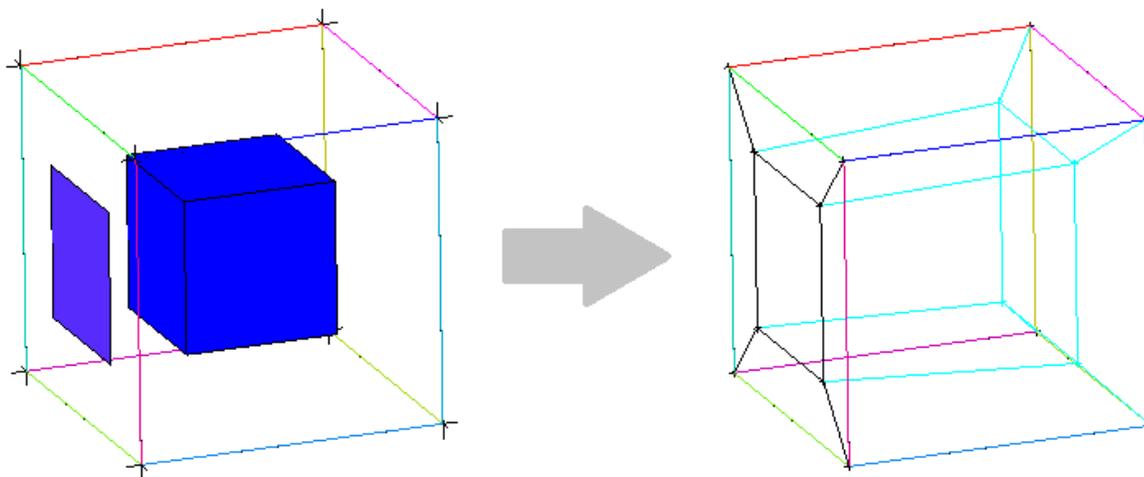
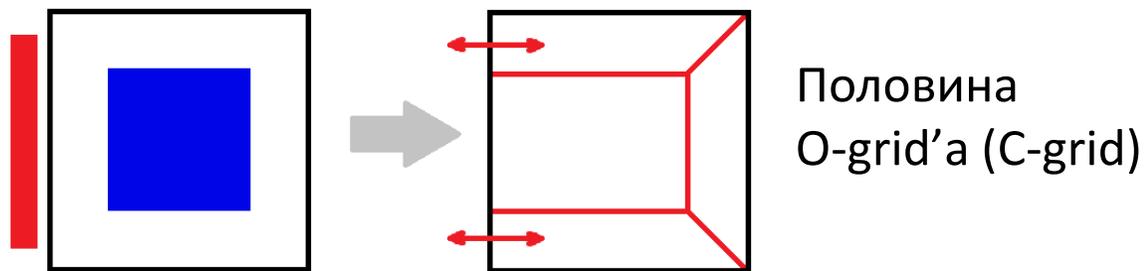


Создание C-Grid блоков

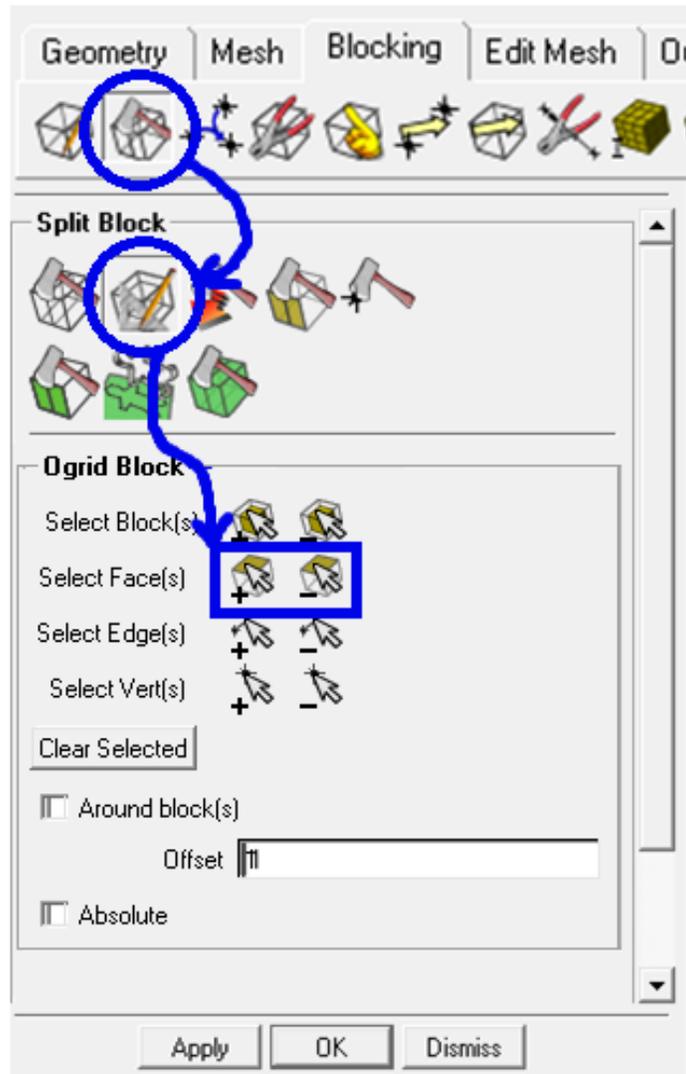


- При создании C-grid'a появляются дополнительные грани
- O-сетка "проходит через" выделенную грань блока
- Заданная грань делится на несколько граней
- Новые блоки появляются по обе стороны грани

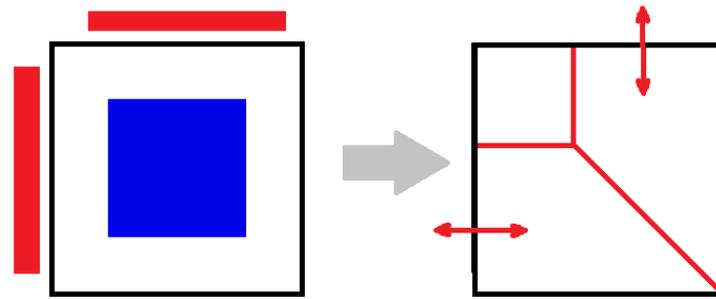
O-grid проходит сквозь эту грань



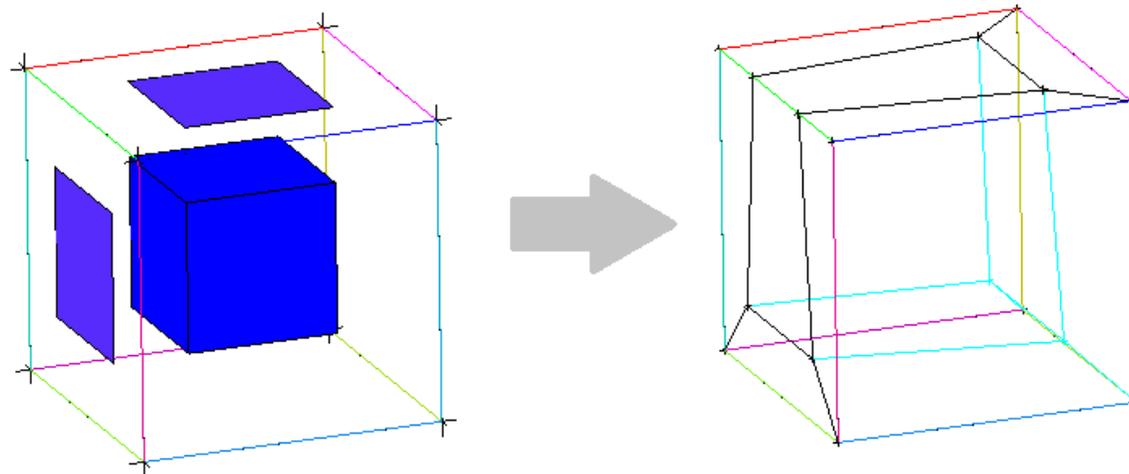
Создание L-Grid блоков



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



Четверть
O-grid'a (C-grid)

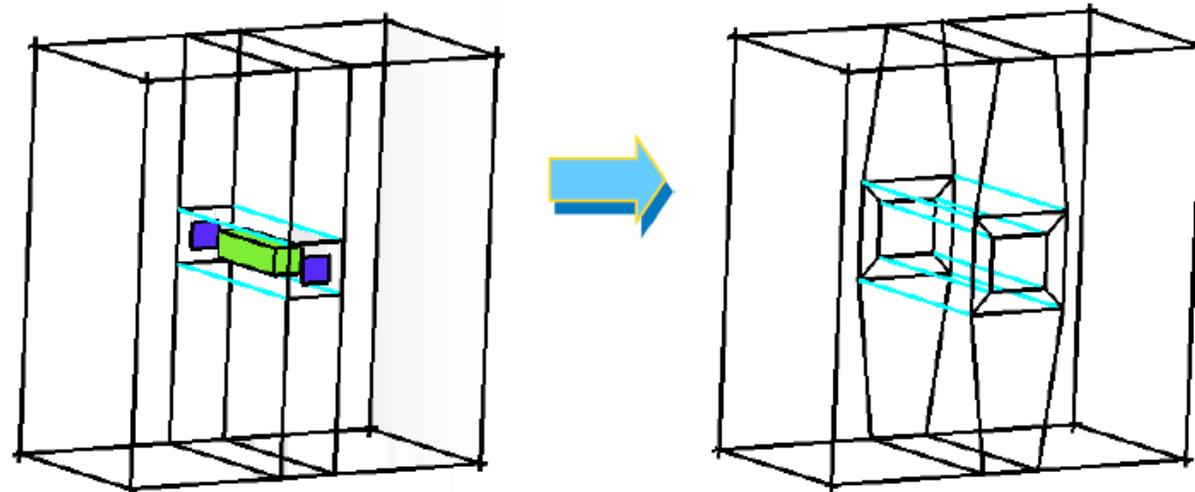
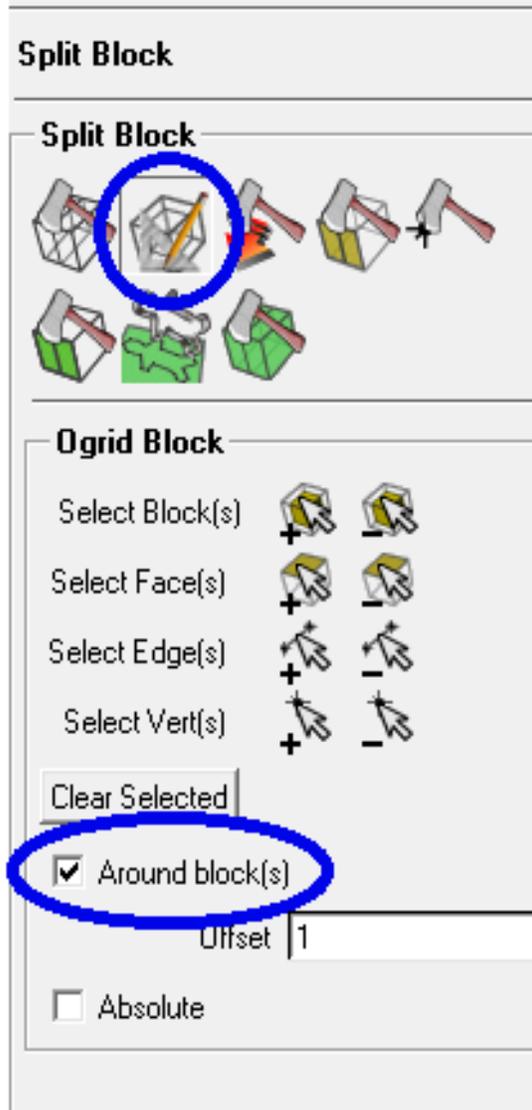


Создание O-Grid вокруг блоков

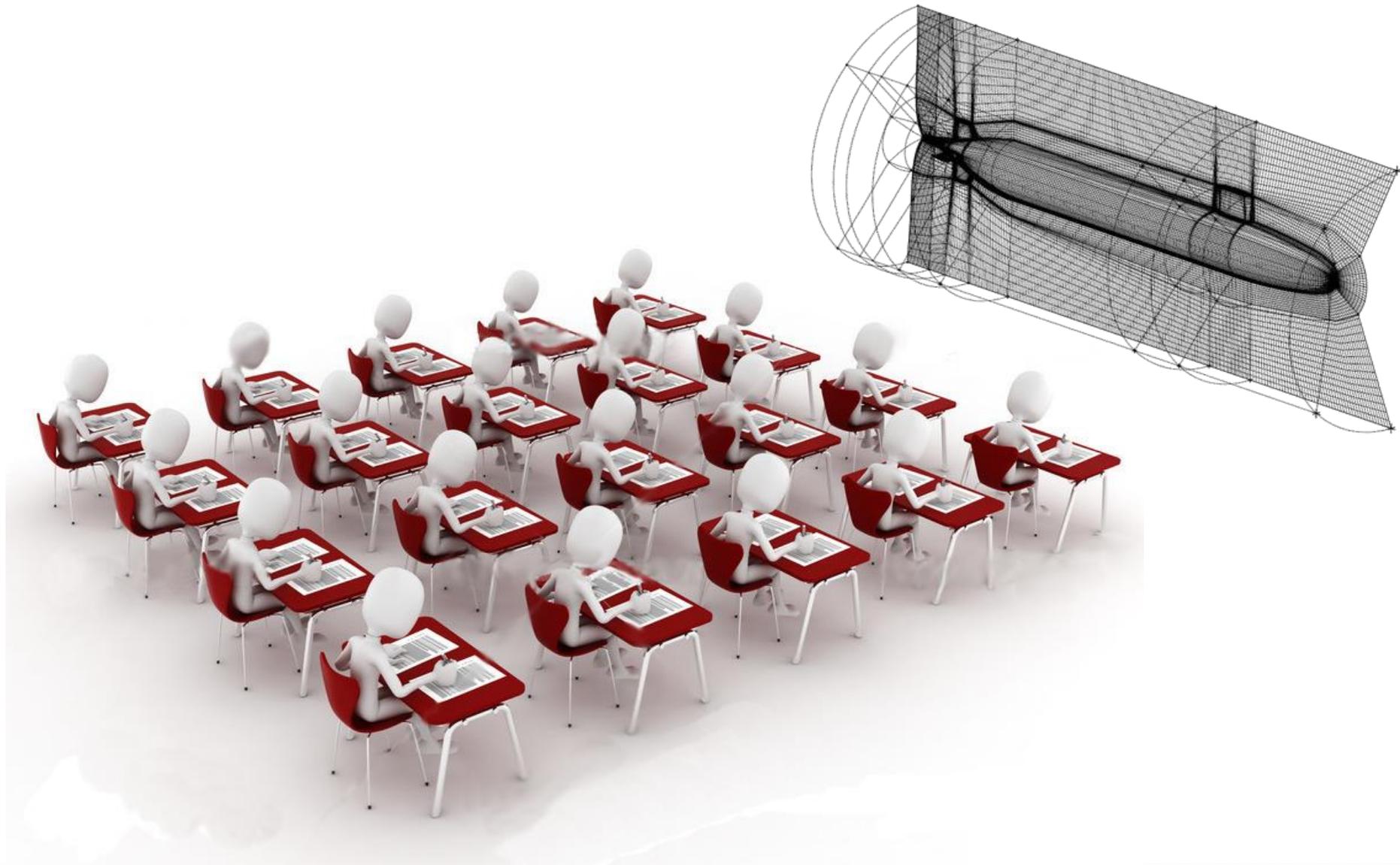
Выберите *Around block(s)* для создания O-grid'а вокруг выбранных блоков

– 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 stages:

- Component Selection:** The 'Component Systems' tree on the left is shown. The 'ICEM CFD' component is highlighted with a red box. A red arrow labeled 'ВЫТЯНУТЬ' (Drag) points from this component to the next stage.
- Component Placement:** A new component system 'A' is shown with two components: '1 ICEM CFD' and '2 Model'. A red arrow labeled 'ВЫТЯНУТЬ' points from the 'ICEM CFD' component in this system to the next stage.
- Running the Component:** The 'ICEM CFD' component is selected, and a context menu is open. The 'Edit...' option is highlighted. A red arrow labeled 'ЗАПУСТИТЬ' (Run) points from the 'ICEM CFD' component to the 'Edit...' option.

The context menu for 'Edit...' 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

