



Десятый юбилейный слёт разработчиков  
отечественных CFD кодов  
«Отечественные CFD коды – 2023»  
(CFD Weekend-2023)



# Открытый пакет построения сеток Gmsh: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

**М.К. Ермаков**

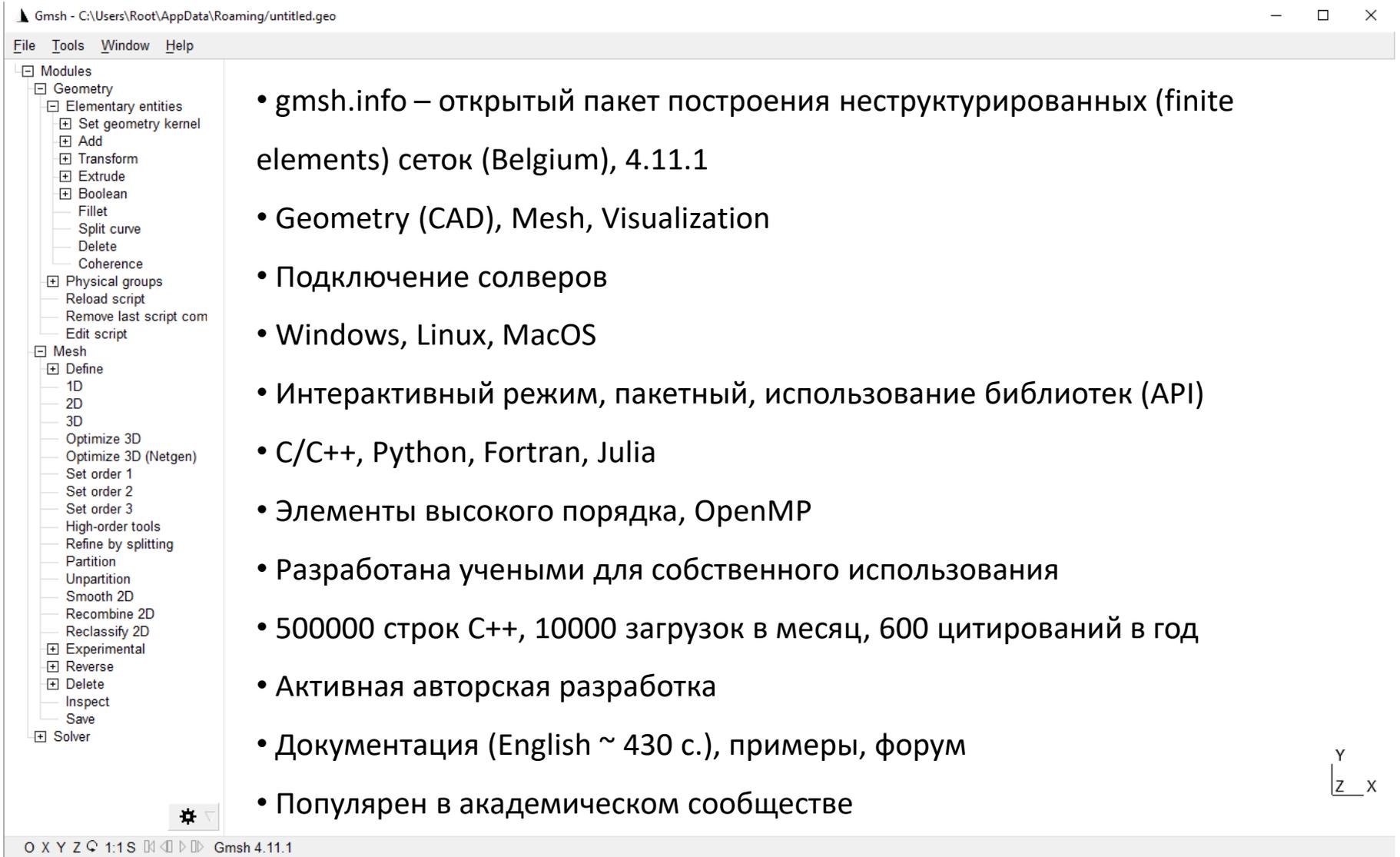
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН  
[ermakov@ipmnet.ru](mailto:ermakov@ipmnet.ru)

Москва, 9-10 декабря 2023 г.

# План сообщения

- Общая характеристика Gmsh, примеры
- Сравнение неструктурированных и структурированных сеток
- Расширенные возможности Gmsh
  - Трансфинитная интерполяция
  - Пограничный слой
  - Comround техника
  - Импорт и «лечение» геометрии
- Индустриальные приложения
- Планы и перспективы

# Общая информация о Gmsh



The screenshot shows the Gmsh software interface. On the left, a tree view lists various modules and tools. On the right, a list of features and capabilities is displayed. The status bar at the bottom indicates 'Gmsh 4.11.1'.

**Modules:**

- Geometry
  - Elementary entities
    - Set geometry kernel
    - Add
    - Transform
    - Extrude
    - Boolean
      - Fillet
      - Split curve
      - Delete
      - Coherence
  - Physical groups
    - Reload script
    - Remove last script com
    - Edit script
- Mesh
  - Define
    - 1D
    - 2D
    - 3D
  - Optimize 3D
  - Optimize 3D (Netgen)
  - Set order 1
  - Set order 2
  - Set order 3
  - High-order tools
  - Refine by splitting
  - Partition
  - Unpartition
  - Smooth 2D
  - Recombine 2D
  - Reclassify 2D
  - Experimental
  - Reverse
  - Delete
  - Inspect
  - Save
- Solver

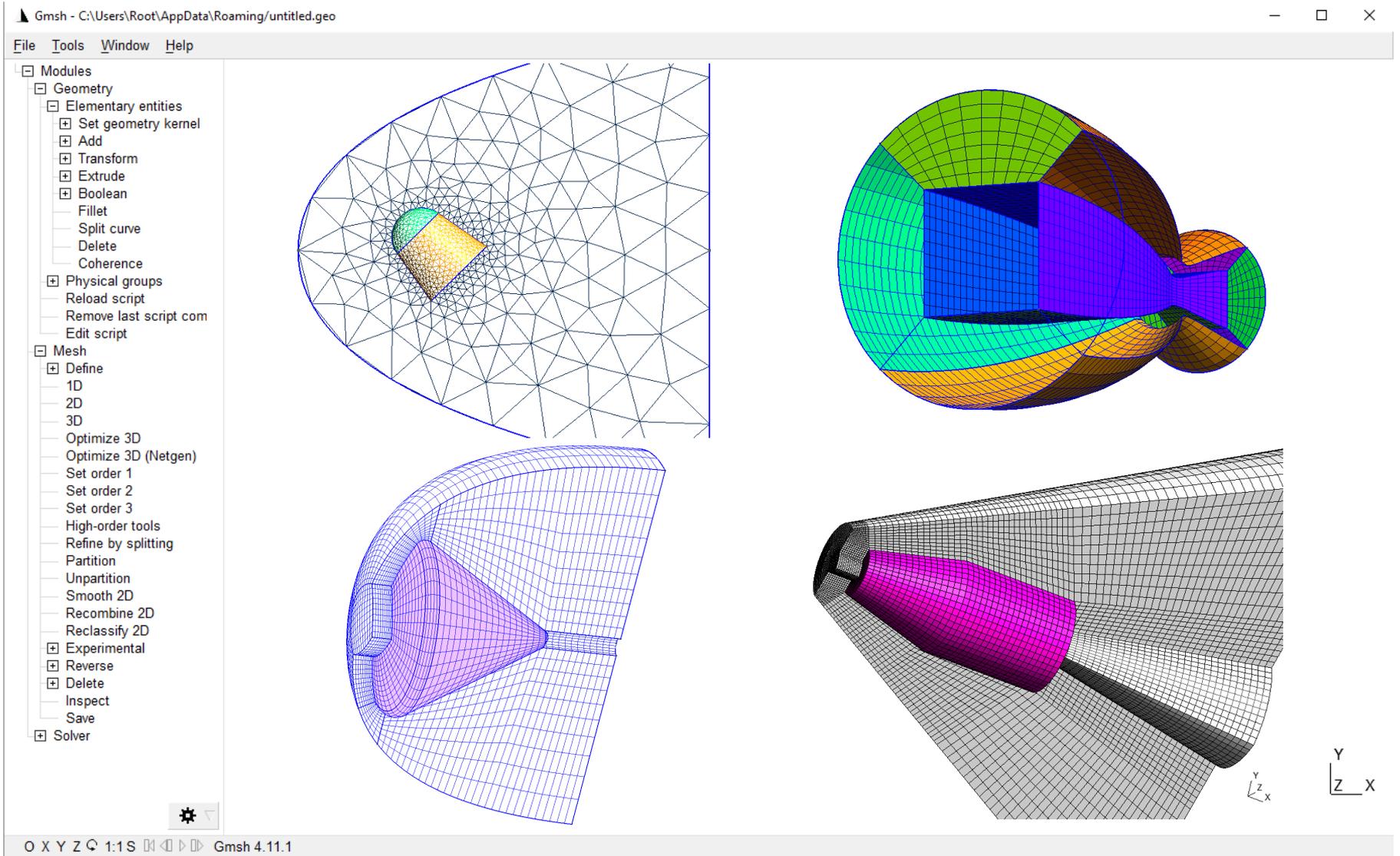
**Features:**

- gmsh.info – открытый пакет построения неструктурированных (finite elements) сеток (Belgium), 4.11.1
- Geometry (CAD), Mesh, Visualization
- Подключение солверов
- Windows, Linux, MacOS
- Интерактивный режим, пакетный, использование библиотек (API)
- C/C++, Python, Fortran, Julia
- Элементы высокого порядка, OpenMP
- Разработана учеными для собственного использования
- 500000 строк C++, 10000 загрузок в месяц, 600 цитирований в год
- Активная авторская разработка
- Документация (English ~ 430 с.), примеры, форум
- Популярен в академическом сообществе

Y  
Z X

Gmsh 4.11.1

# Gmsh : примеры



# Неструктурированные и структурированные сетки

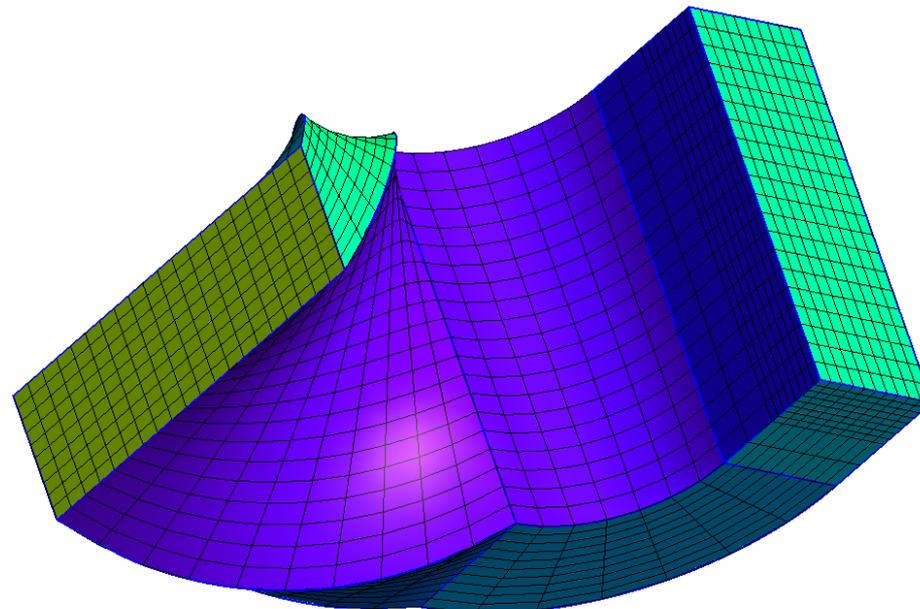
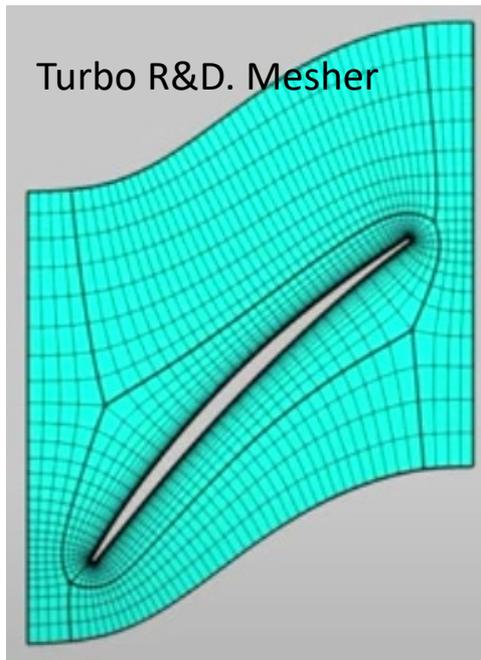
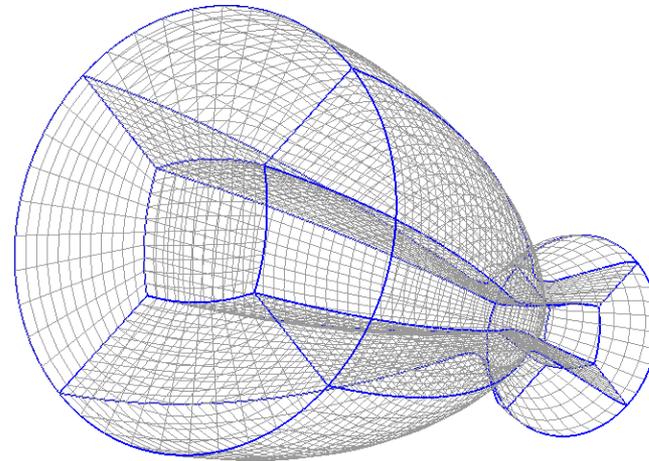
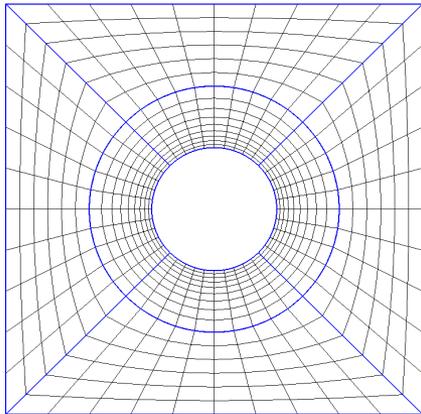
Неструктурированные Тетраэдральные сетки:

- Полностью автоматическое построение
- Выпуклость элементов, плоские грани

Структурированные Гексаэдральные сетки:

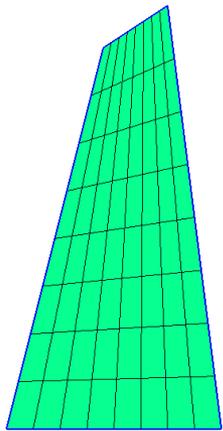
- Высокий порядок аппроксимации
- Уменьшение числа элементов :  $V_{\text{hex}} / V_{\text{tetra}} \approx 8.48$
- Анизотропные ячейки
- Предсказуемые размеры и качество ячеек
- Ручная декомпозиция области
- Автоматическое построение пограничного слоя (пока нет)

# Трансфинитные сетки

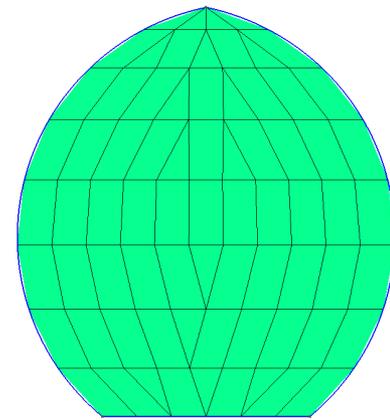
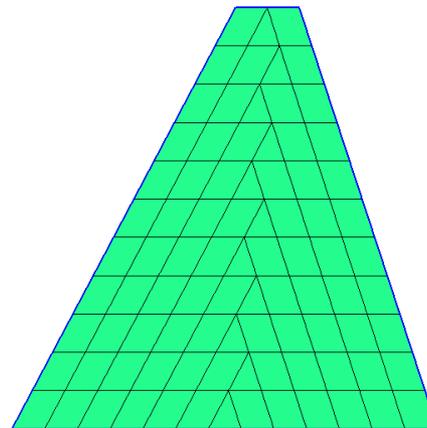
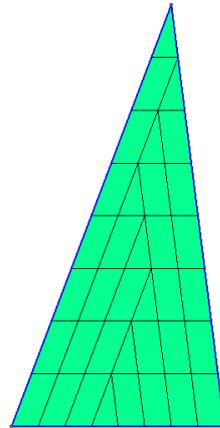
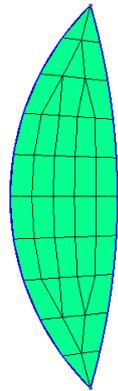
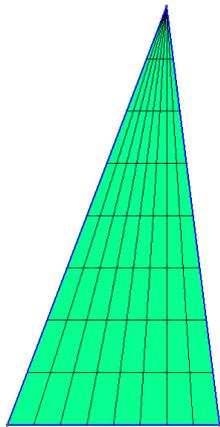


Границы : криволинейные, составные

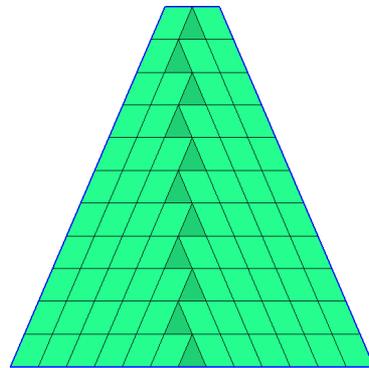
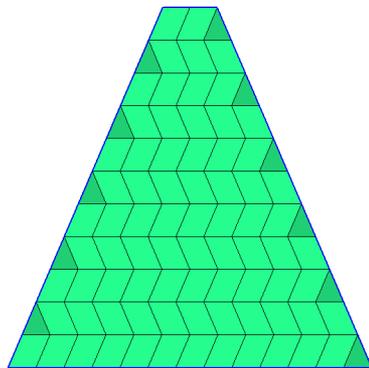
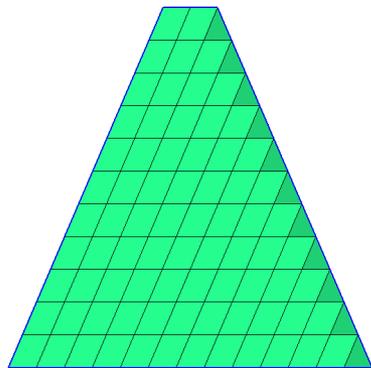
# Трансфинитные сетки : новое



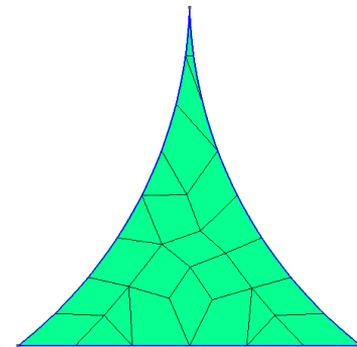
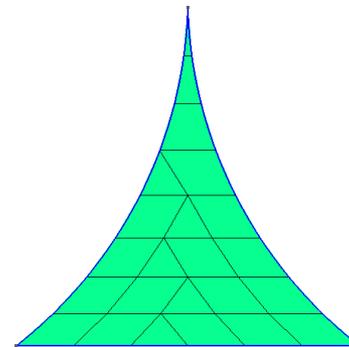
Стандартная TFI



Расширенная TFI

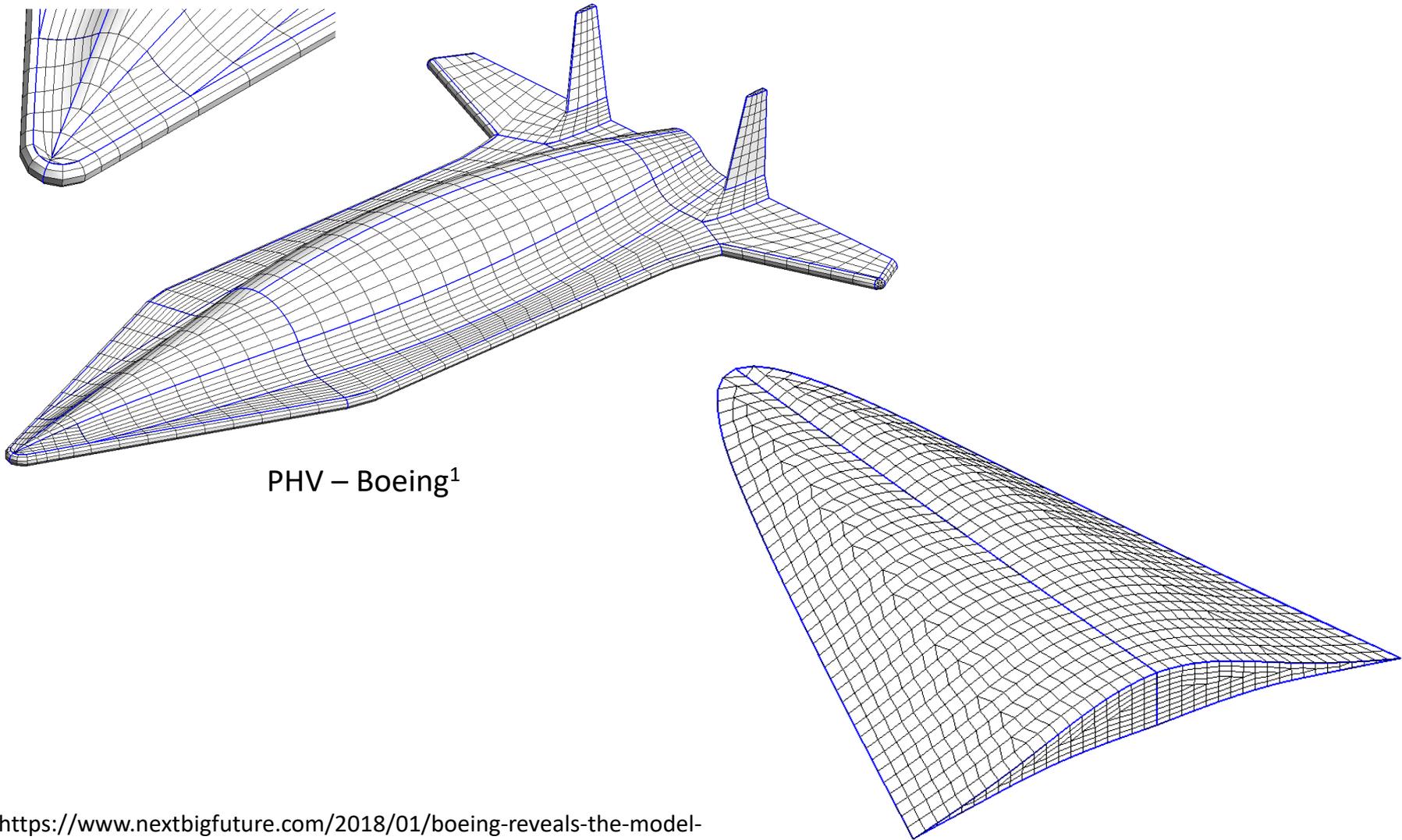


Дополнительные треугольники



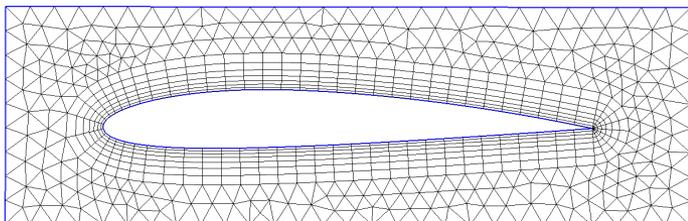
Сравнение

# Трансфинитные сетки : приложения

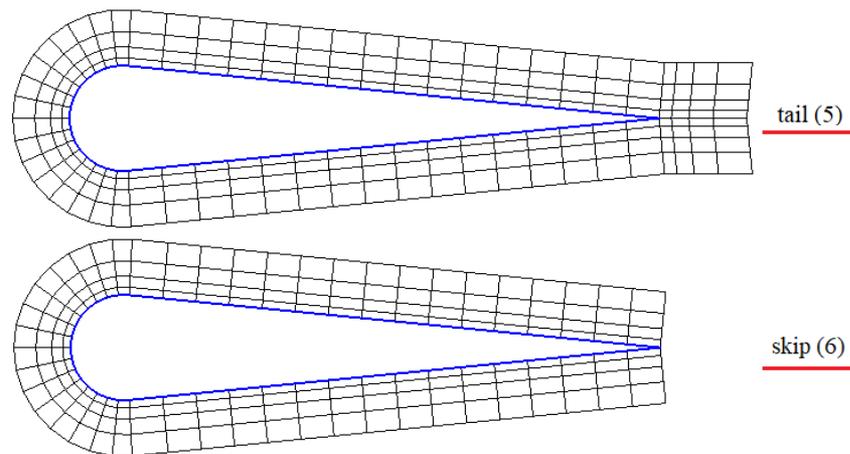
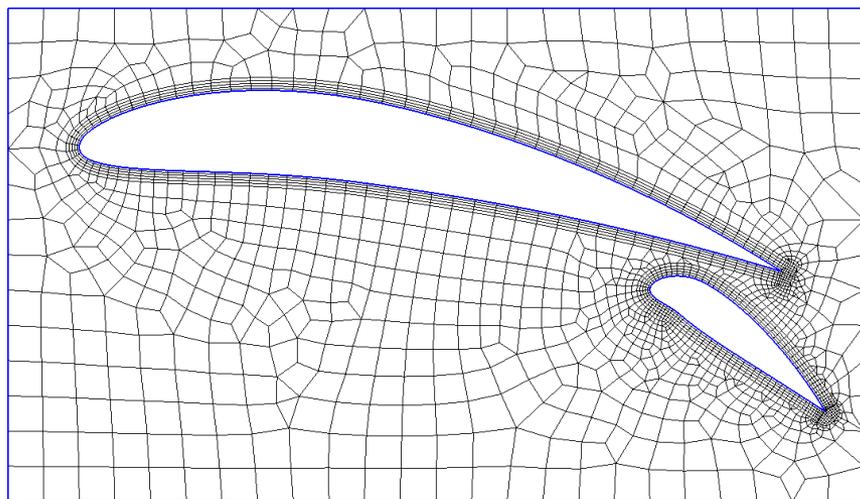
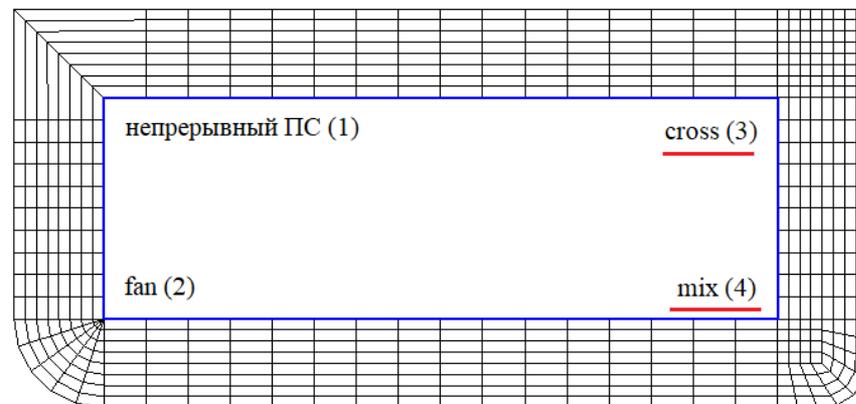


<sup>1</sup> <https://www.nextbigfuture.com/2018/01/boeing-reveals-the-model-for-a-complexity-design-for-a-reusable-hypersonic-plane.html>

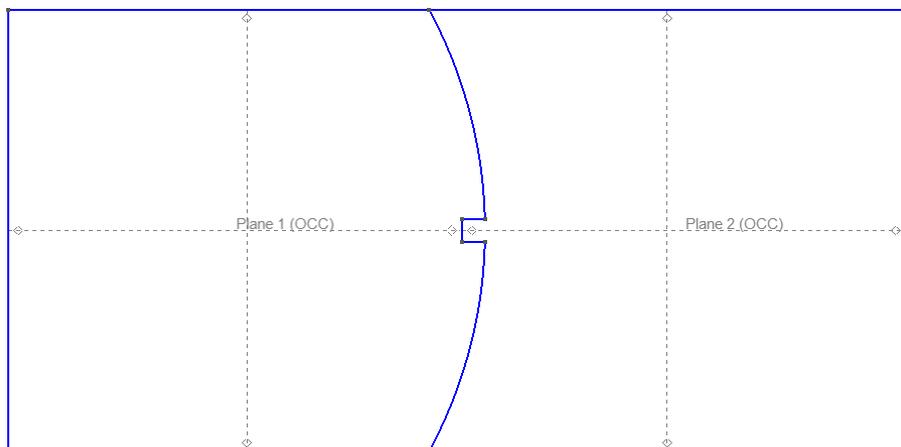
# Пограничный слой



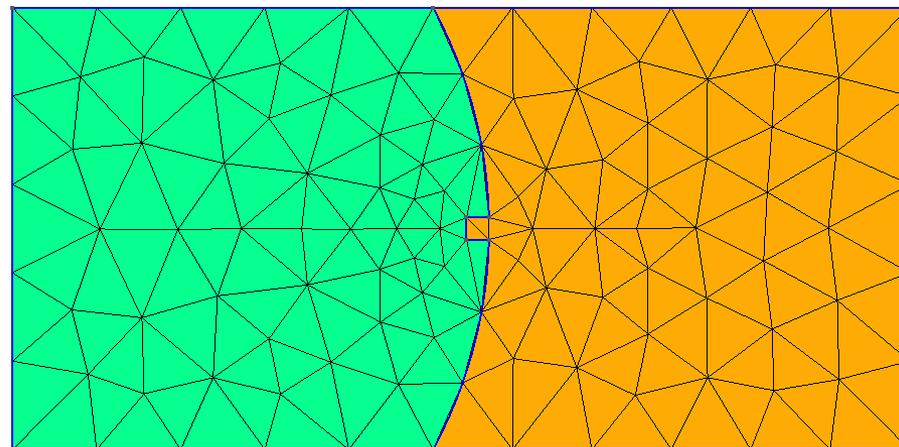
пограничный слой – NASA 2412



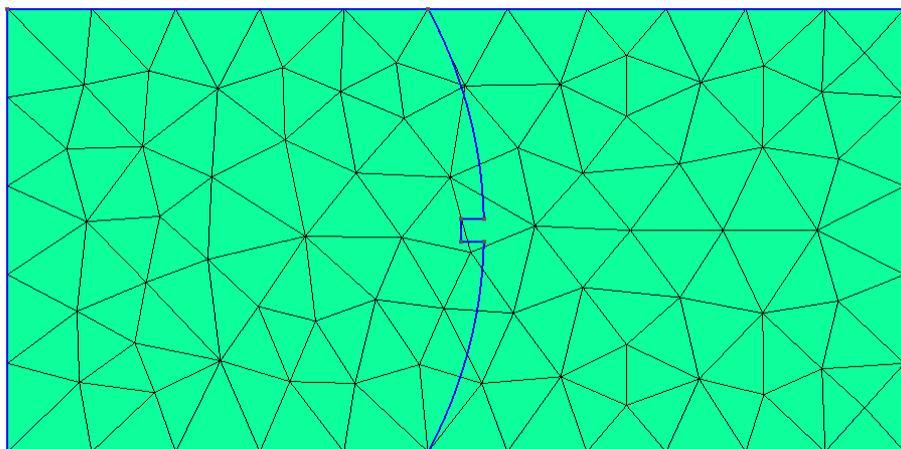
# Compound / Соединение



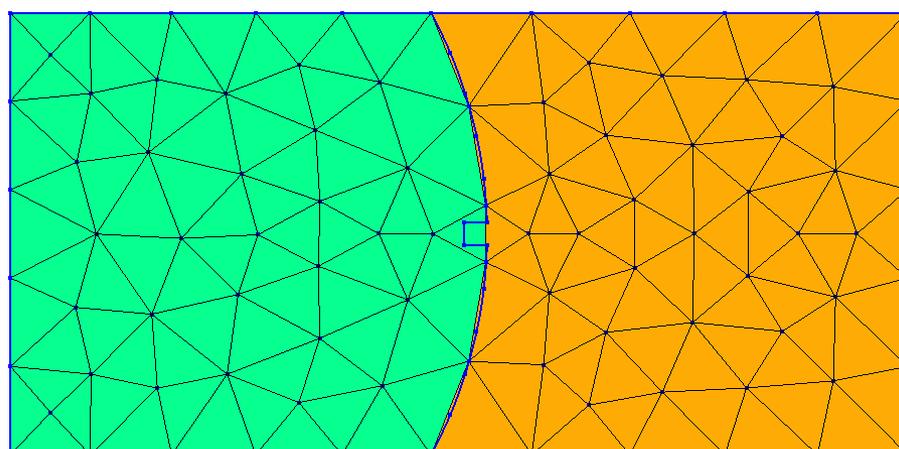
Исходные геометрические поверхности



Стандартная сетка



«Прозрачная» граница



Дискретизация границы (менее  
подробная)

# Импорт и «лечение» геометрии

- Входные форматы: STEP, IGES, BREP
- Сеточный формат: STL -> Геометрия (внутренняя) -> сетка
- STEP File Analyzer and Viewer (NIST)
- Цель лечения : построение корректного замкнутого объема
- «Лечение / HealShapes» средствами OpenCascade:
  - Допуск по геометрии / geometry tolerance (1e-8)
  - Вырожденные элементы (дубликаты)
  - Малые ребра и грани
  - «Сшивание» граней (устранение зазоров)
  - Создание тел

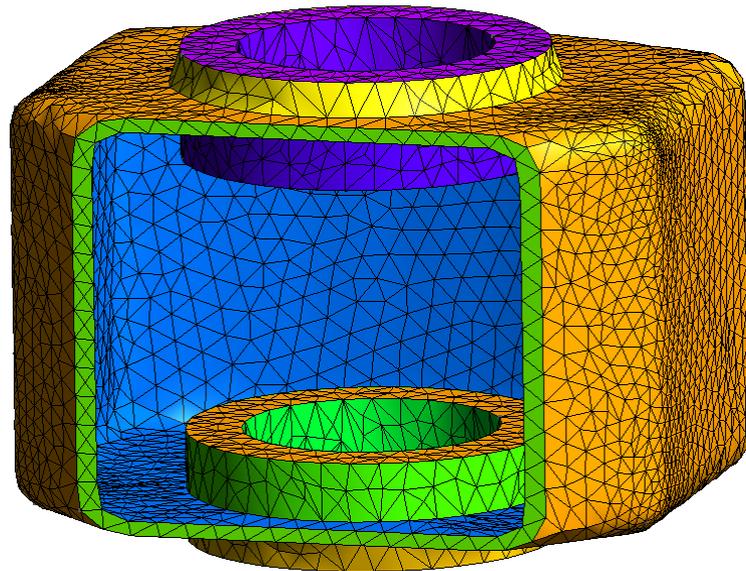
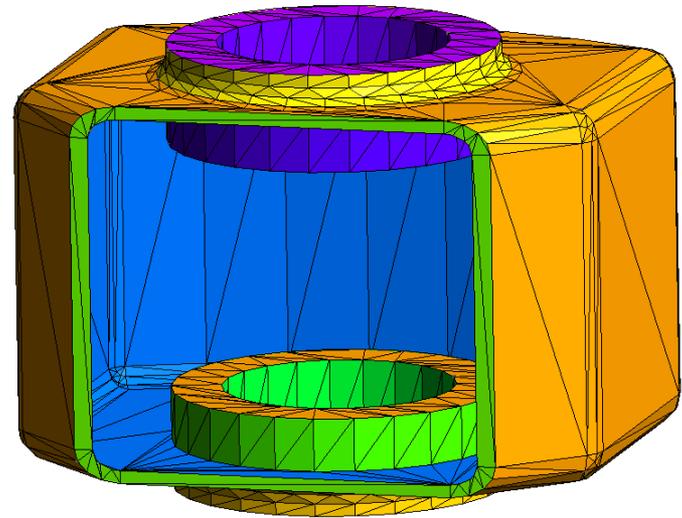
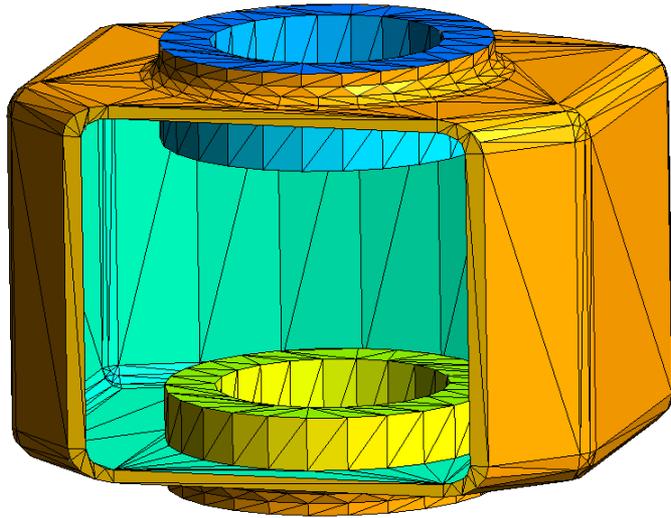
- 6750-TEU

|      |          |
|------|----------|
| 4543 | Points   |
| 4555 | Curves   |
| 1085 | Surfaces |
| 0    | Volumes  |

|      |          |
|------|----------|
| 1252 | Points   |
| 2340 | Curves   |
| 1085 | Surfaces |
| 1    | Volumes  |

После лечения

# STL -> Геометрия -> Сетка



# Индустриальные приложения



Боинг А319

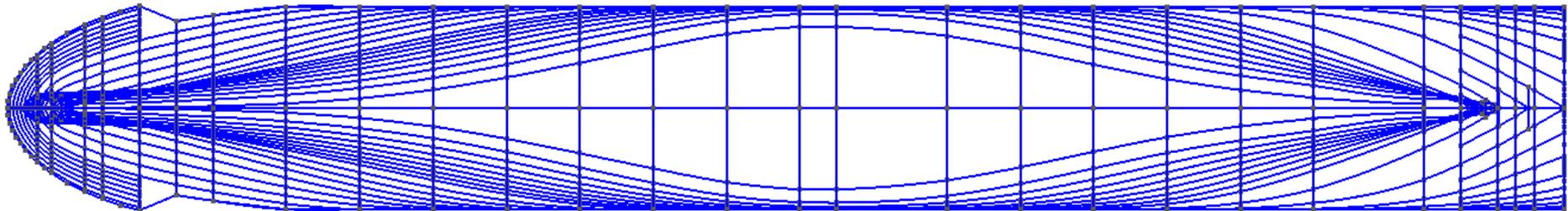
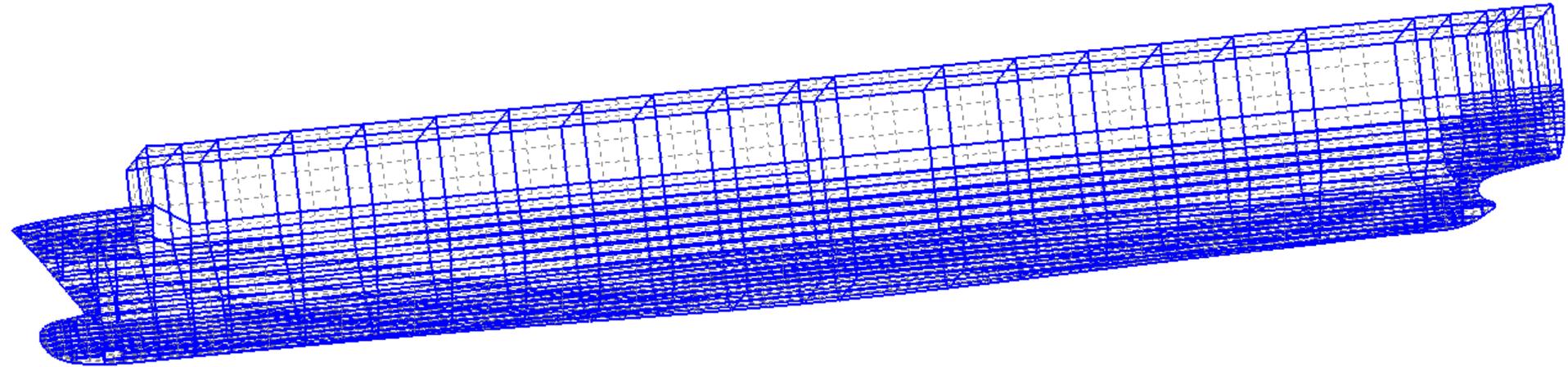


Контейнеровоз 6750-TEU<sup>1</sup>

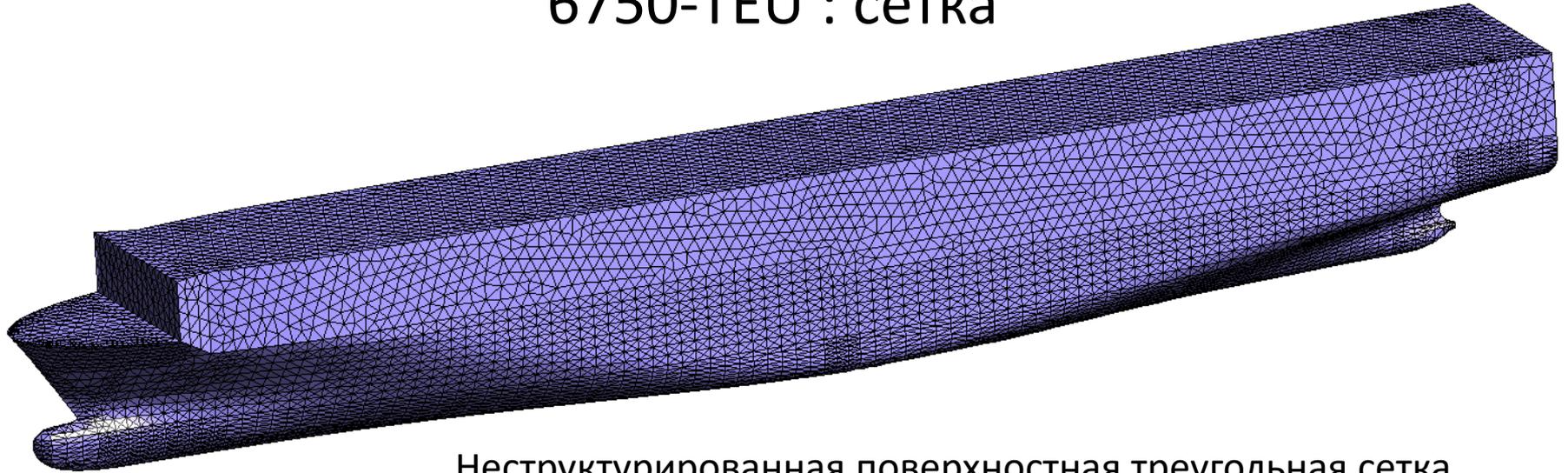


<sup>1</sup> Ocean Engineering 119 (2016) 262-273

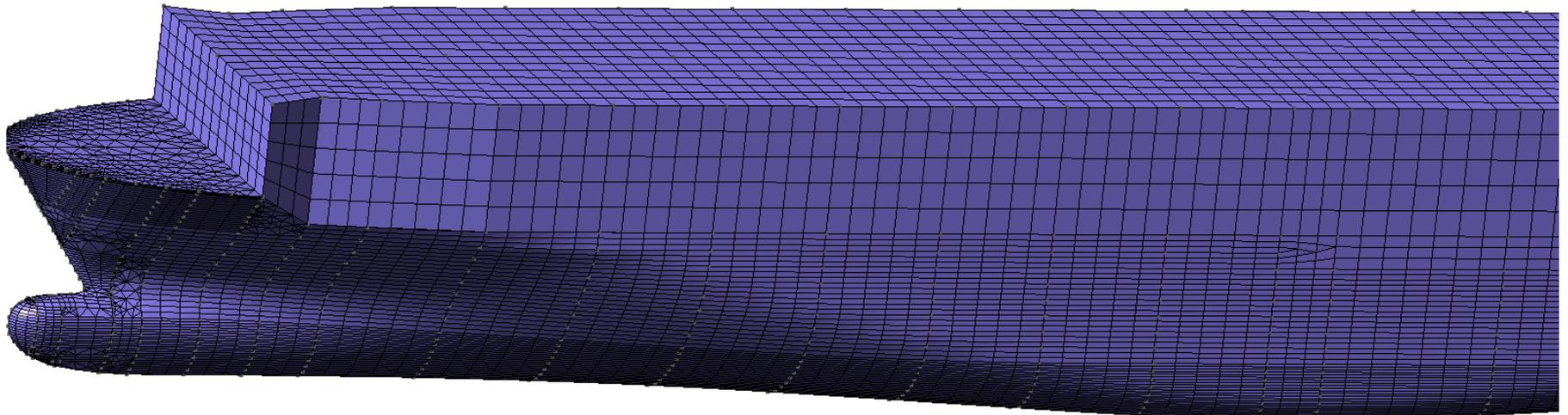
# 6750-TEU : геометрия



## 6750-TEU : сетка

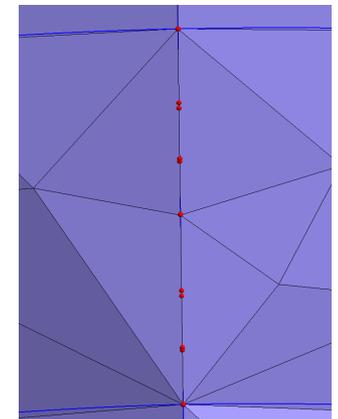
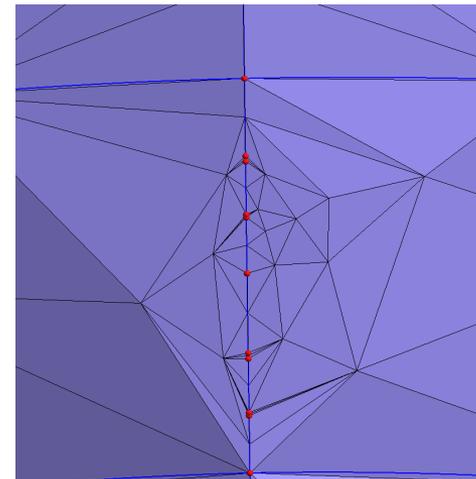
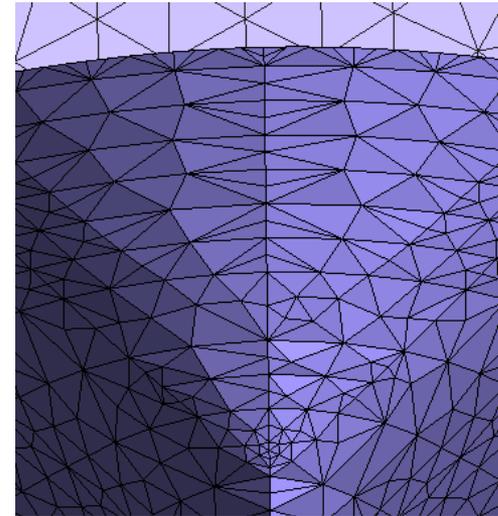
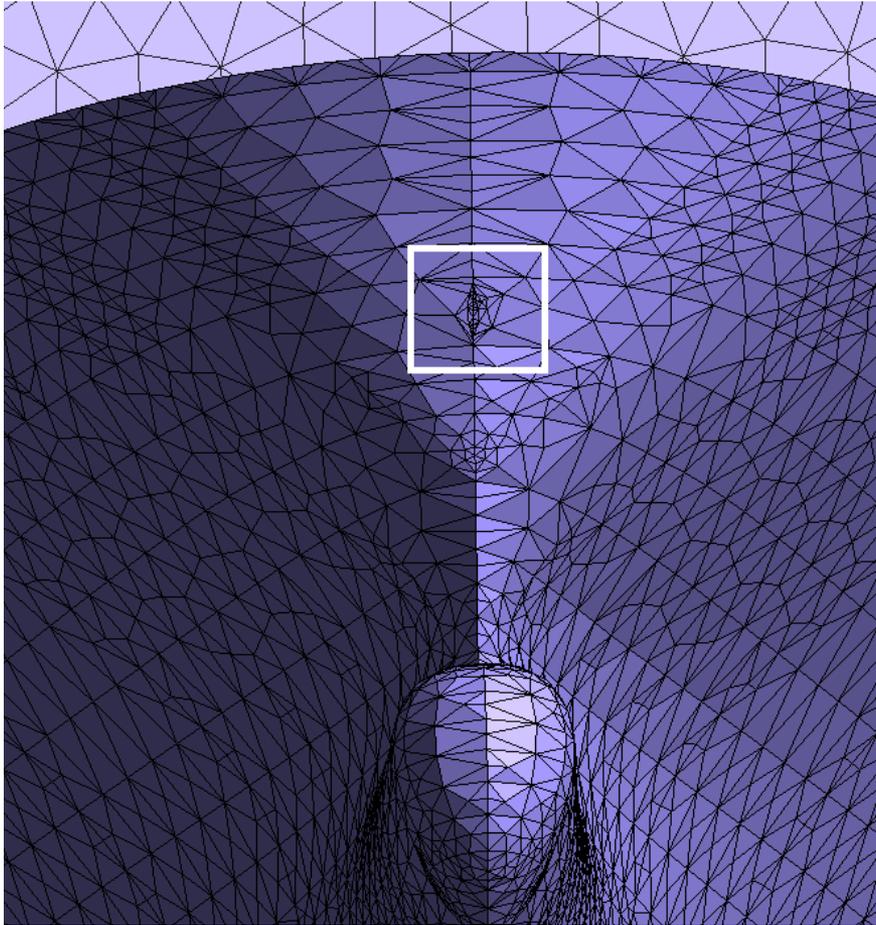


Неструктурированная поверхностная треугольная сетка



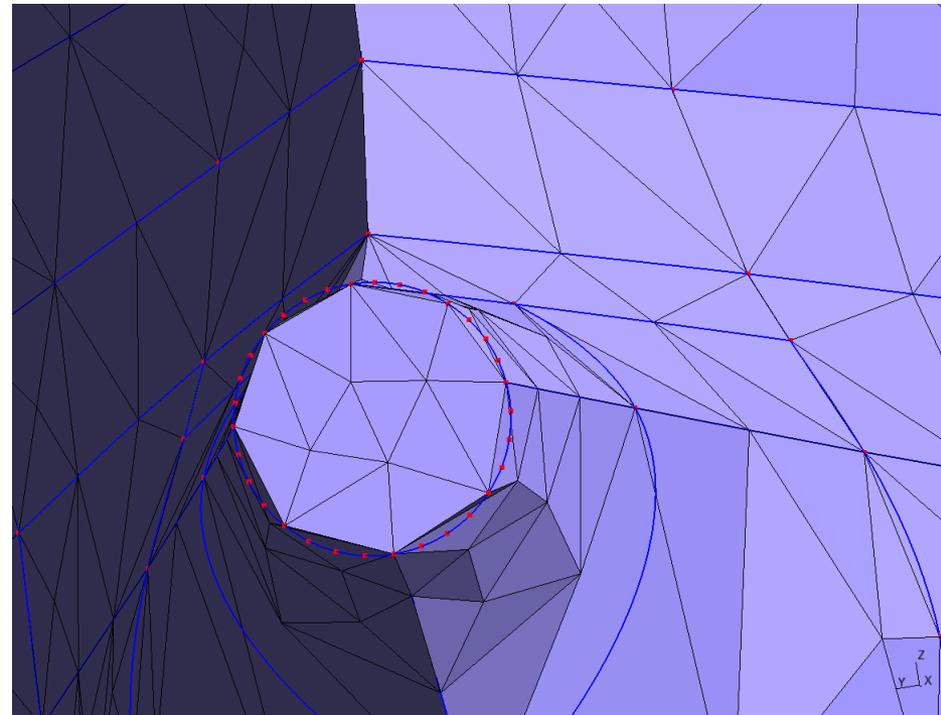
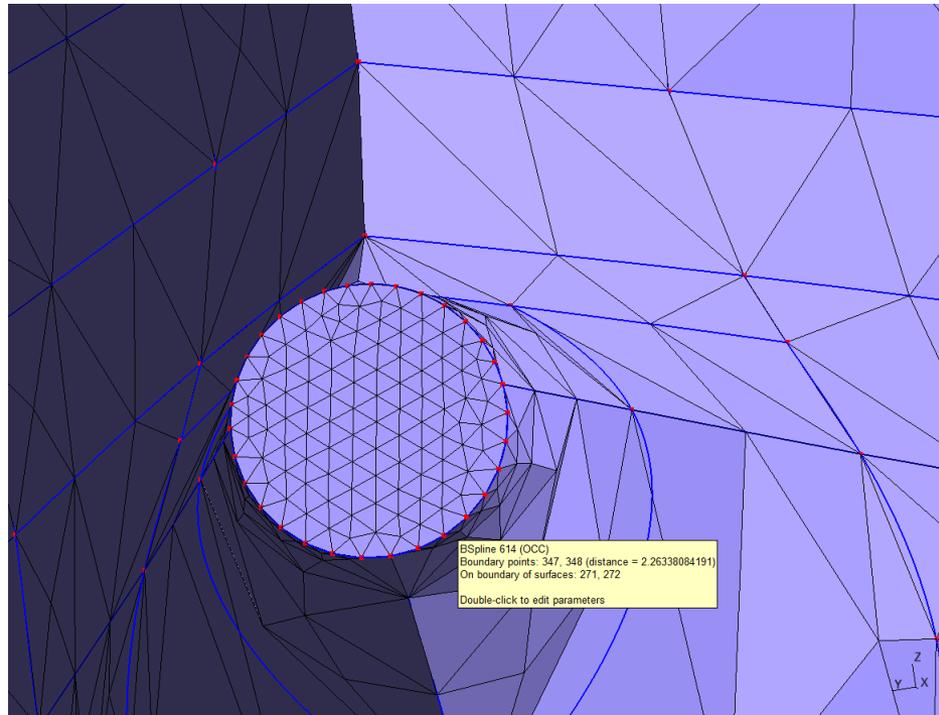
Автоматическая трансфинитная (расширенная) четырехугольная сетка

# 6750-TEU : сетка



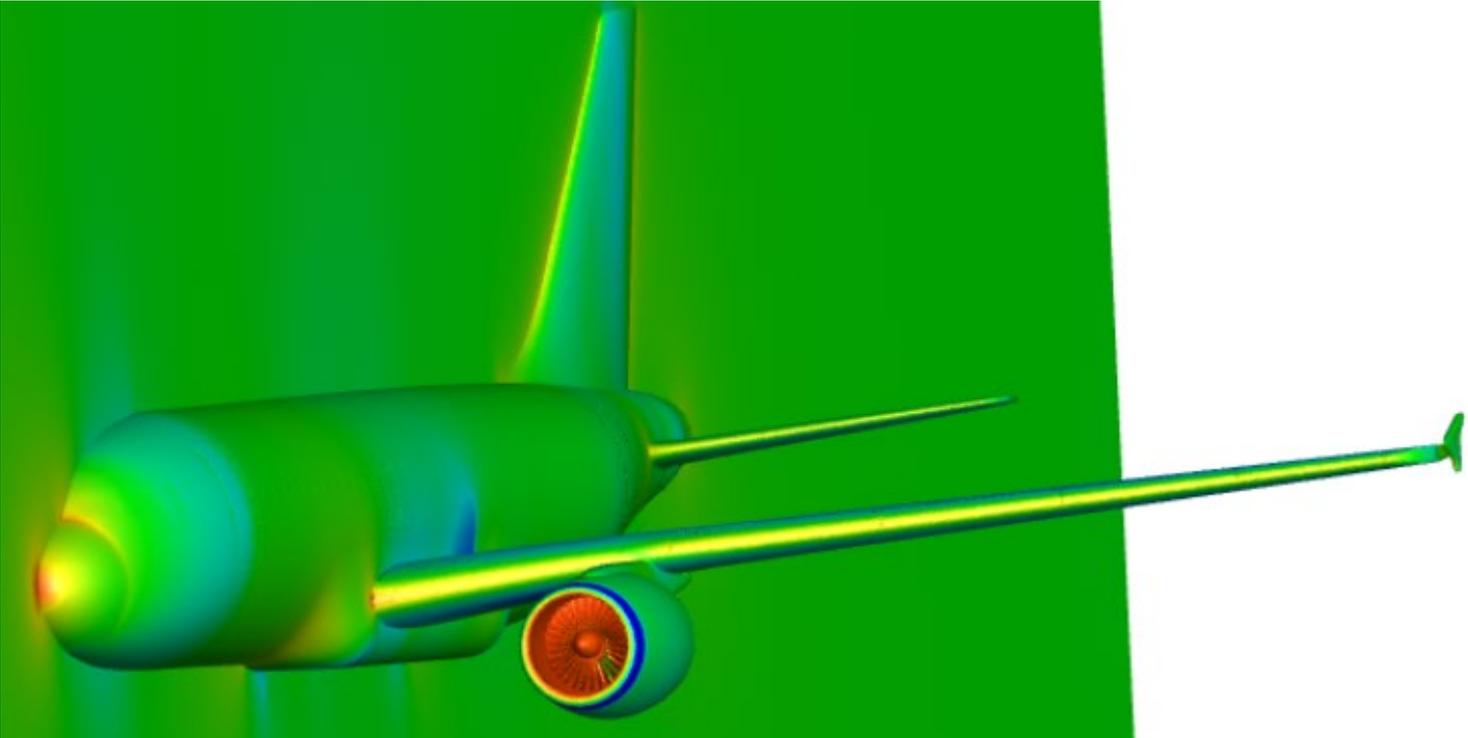
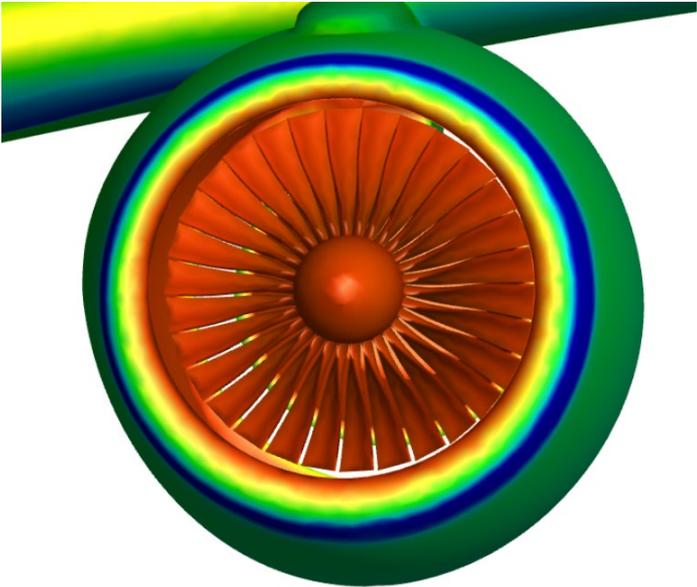
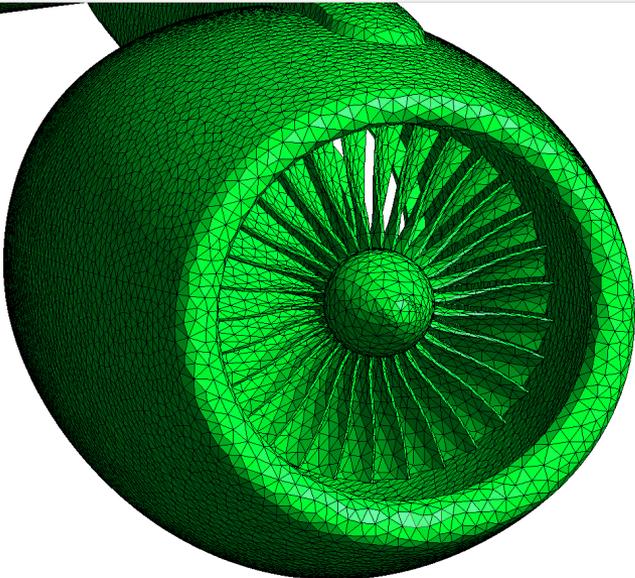
Compound / Соединение

# 6750-TEU : сетка

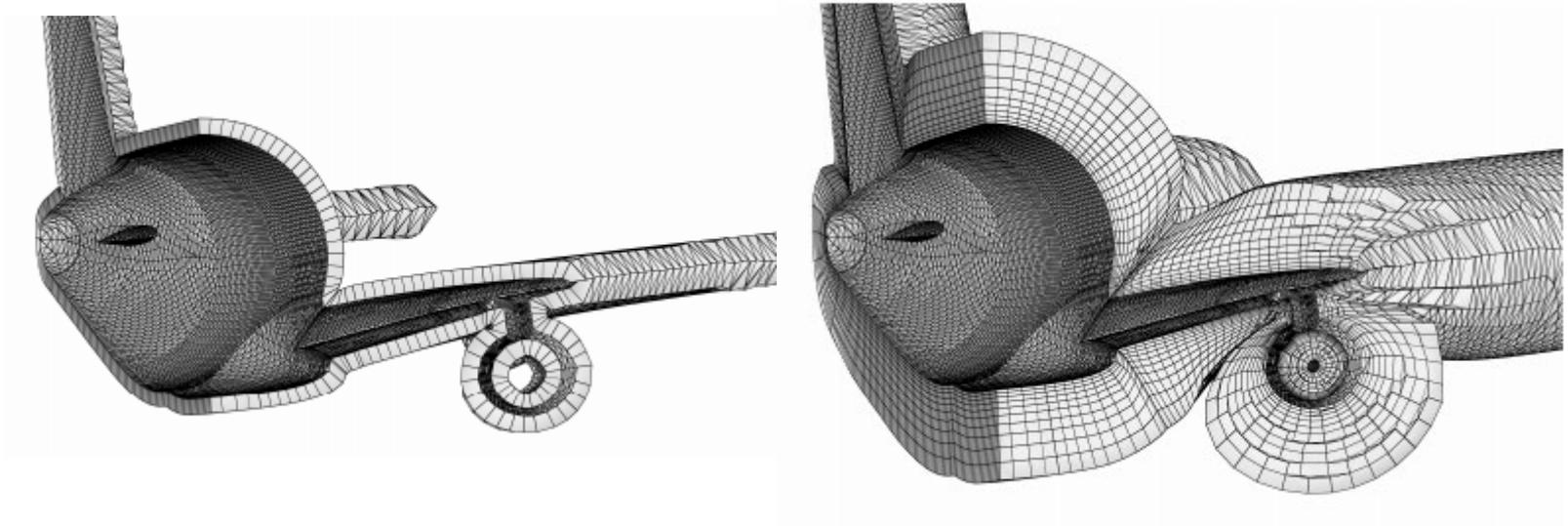


Compound / Соединение

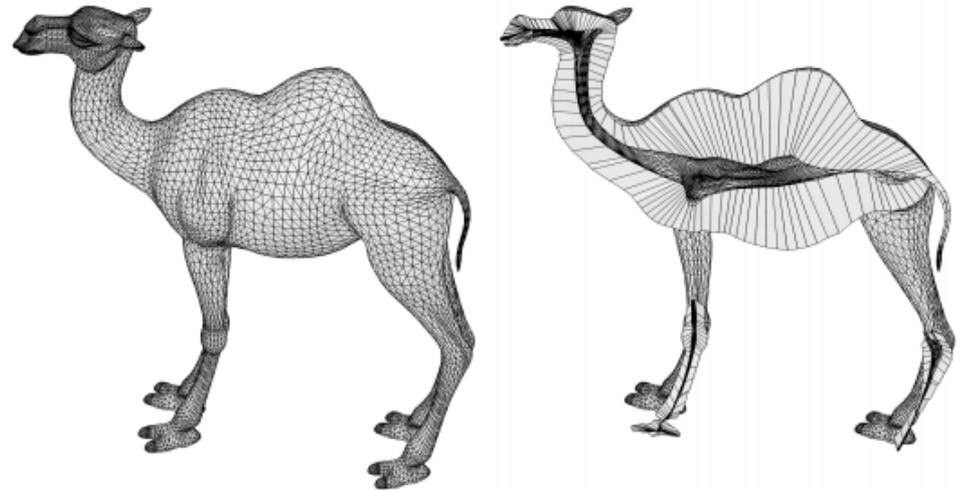
Боинг А319



## Перспективы (планы)



Garanzha, Kudryavtseva. Hyperelastic springback technique for construction of prismatic mesh layers. 2017.



## Перспективы (планы)

Зеркало Gmsh.info:

[www.ipmnet.ru/~ermakov/gmsh](http://www.ipmnet.ru/~ermakov/gmsh)

