

# Введение в методологию CFD



Fluid Dynamics

Structural Mechanics

Electromagnetics

Systems and Multiphysics

# Что такое CFD?

Вычислительная гидродинамика (CFD) – это наука о моделировании течения жидкости, процессов тепло- и массообмена, химических реакций и сопутствующих явлений путем численного решения системы определяющих уравнений

- Сохранения массы
- Сохранения импульса
- Сохранения энергии
- Переноса компонентов/фаз
- Эффекты массовых сил
- и т.д.

Результаты CFD анализа применяются для:

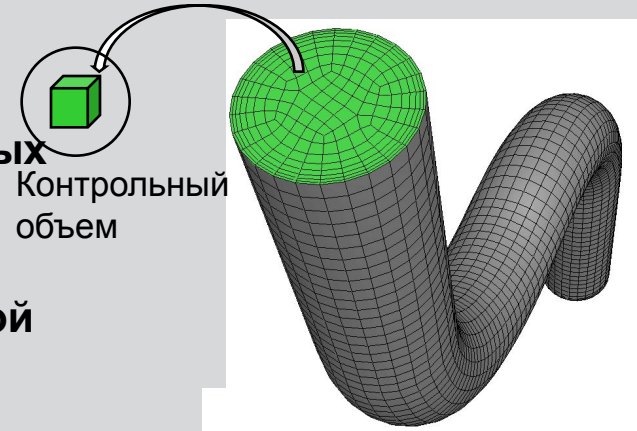
- Выбора концепций в новых проектах
- Подробной проработки изделий
- Поиска неисправностей
- Модернизации

Результаты CFD-расчетов дополняют испытания и эксперименты, снижая общую трудоемкость и стоимость проведения экспериментов, а также получения необходимых данных.

# Как работает CFD?

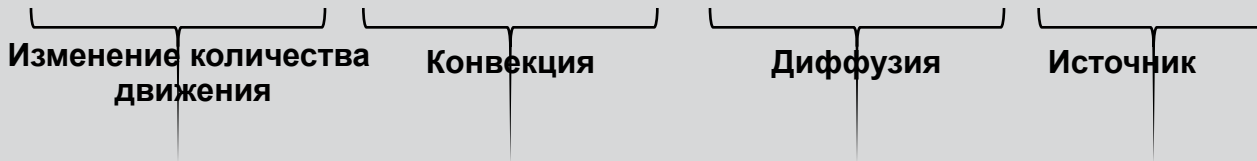
Решатели ANSYS CFD основаны на методе конечных объемов

- Домен дискретизируется конечным числом контрольных объемов
- Общие уравнения сохранения (переноса) массы, импульса, энергии, компонента и т.д. решаются для этой совокупности контрольных объемов.



Область потока жидкости в трубе дискретизируется конечным числом контрольных объемов.

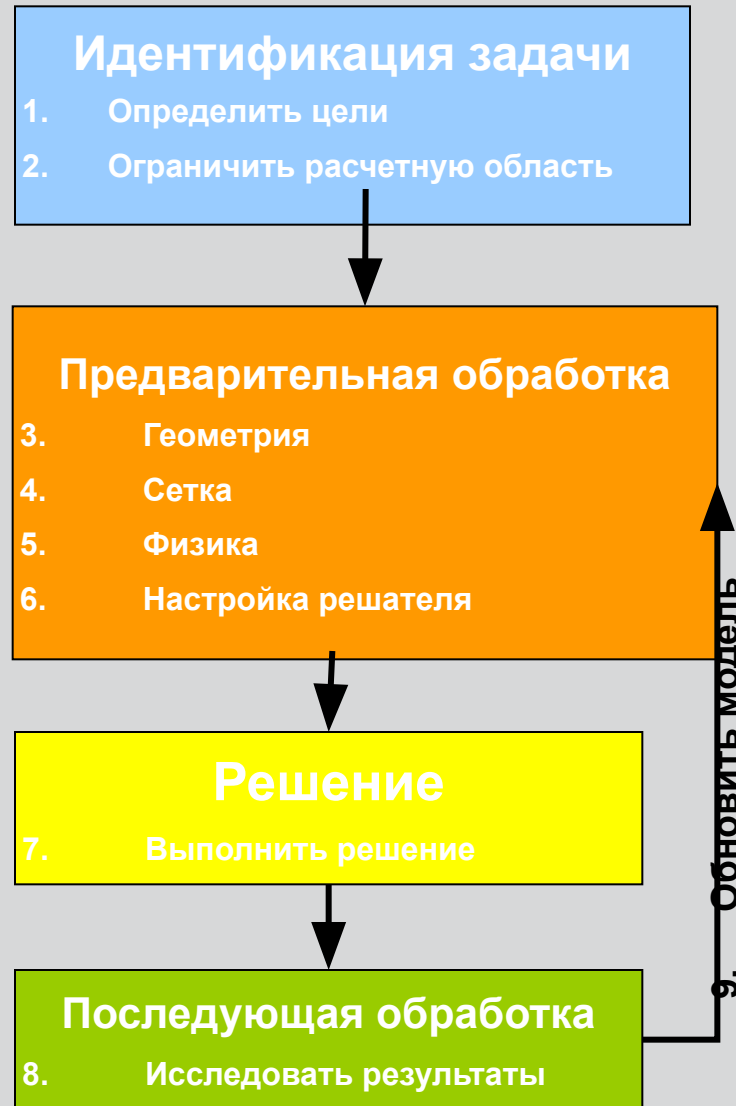
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi dV$$



- Дифференциальные уравнения в частных производных дискретизируются в систему алгебраических уравнений
- После этого все алгебраические уравнения решаются численно для получения поля решения

Во FLUENT контрольные объемы совпадают с элементами сетки, в то время как контрольные объемы CFX – полиэдрические ячейки с центрами в узлах сетки.

	<u>Уравнение</u>
	<u>Переменная</u>
	Сплошности
1	Импульса X
u	Импульса Y
v	Импульса Z
w	Энергии
h	



# 1. Определить цели моделирования

## Идентификация задачи

1. Определить цели
2. Ограничить расчетную область

**Какие результаты Вы хотите получить (напр. перепад давления, массовый расход), и как они будут использоваться?**

- Какими вы видите возможные варианты моделирования?
  - Какие физические модели должны будут включены в Ваш анализ (напр. турбулентность, сжимаемость, излучение)?
  - Какие допущения Вы должны сделать?
  - Какие упрощения Вы можете сделать (т.е. симметрия, периодичность)?
  - Достаточен ли функционал выбранной программы?
    - Определенные пользователем функции (UDF) на C во FLUENT или пользовательские процедуры FORTRAN в CFX

**Какая степень точности требуется?**

**Насколько быстро Вы хотите получить результаты?**

**Действительно ли CFD – подходящий инструмент?**

## 2. Определить область моделирования

### Идентификация задачи

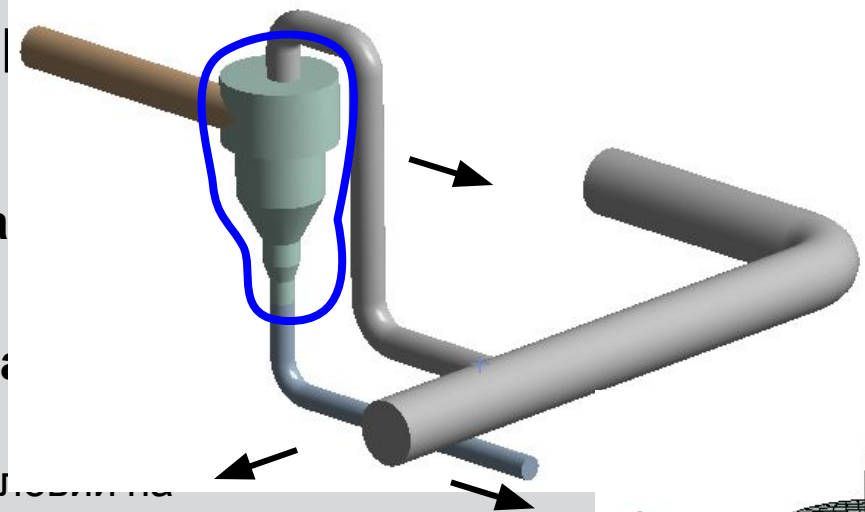
1. Определить цели
2. Ограничить расчетную область

Как Вы вычленили расчетную область физического пространства?

Где начнется и закончится расчетная область?

- У Вас есть информация о граничном условии в данных границах?
- Могут ли типы граничного условия принять такую информацию?
- Можете ли Вы расширить домен до зоны, где существуют корректные данные?

Может ли задача быть сведена к плоской или осесимметричной постановке?



Интересующая область как часть большой системы

Изолированная область с сеткой для моделирования CFD.



# 3. Создать трехмерную модель области

## Предварительная обработка

3. Геометрия
4. Сетка
5. Физика
6. Настройка решателя

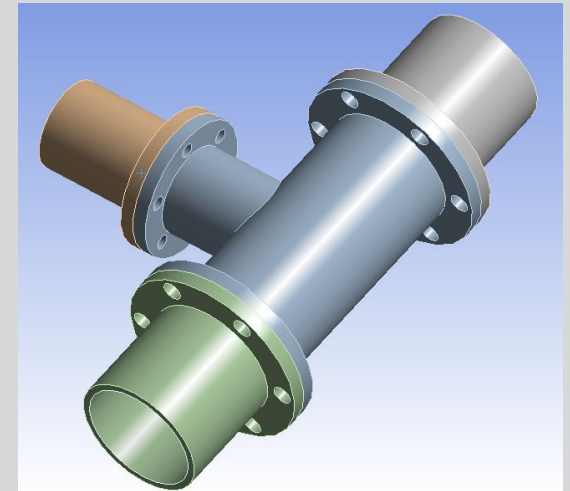
Как вы получите модель *жидкостной* расчетной области?

- Используйте существующие CAD модели?
- Извлечете жидкостную область из твердого тела?
- Создадите геометрию «с нуля»?

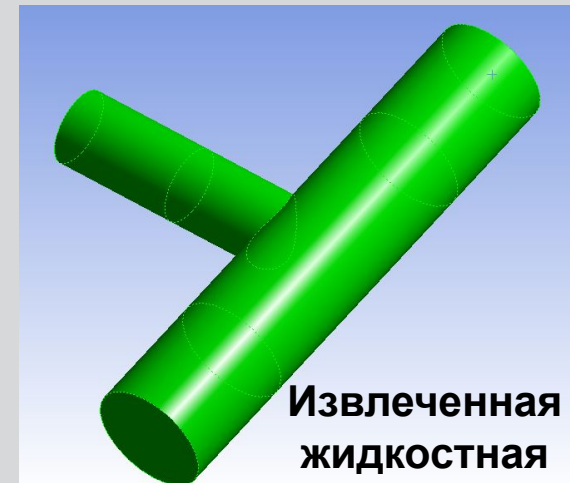
Можете ли вы упростить геометрию?

- Удалить ненужные детали, которые усложнили бы построение сетки (кромки, болты ...)?
- Использовать симметрию или периодичность?
  - Действительно ли и решение, и граничные условия симметричны / периодичны?

Следует ли разбить модель, чтобы создать граничные условия или домены?



Изначальная CAD-модель



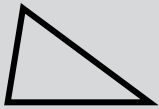
Извлеченная жидкостная область



# 4. Проектирование и создание

## Предварительная обработка

3. Геометрия
4. Сетка
5. Физика
6. Настройка решателя



Треугольник (tri)

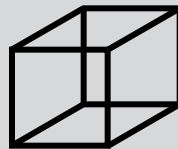


Четырехугольник

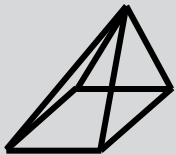
(quad)



Тетраэдр (tet)



Гексаэдр (hex)



Пирамида



Призма/Клин

*Сетка делит геометрию на множество элементов. Они используются в решателе CFD для построения контрольных объемов*

## Какая степень разрешения сетки требуется в каждой области домена?

- Сетки должна отразить необходимые геометрические характеристики и уловить интересующие градиенты, например градиенты скорости, давления, и температуры
- Можете ли вы предугадать области высоких градиентов?
- Будете ли вы использовать адаптацию для увеличения разрешающей способности сетки?

## Какая сетка является наиболее подходящей?

- Насколько сложна геометрическая модель?
- Можете ли вы использовать тетра- / гекса-сетку или сетку, состоящую из треугольников / четырехугольников, или гибридную?
- Необходимы ли несогласованные (non-conformal) интерфейсы?

## Обладаете ли Вы достаточными компьютерными ресурсами?

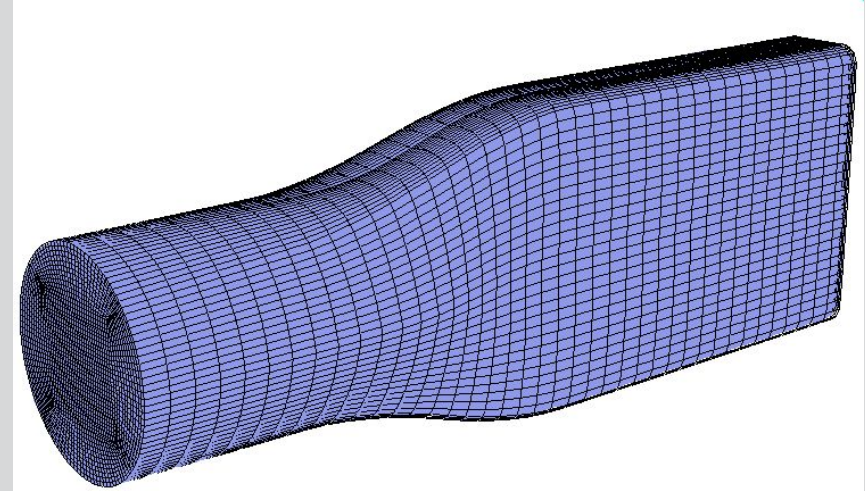
- Как много ячеек/узлов допустимо?
- Сколько физических моделей будет использоваться?



# Tri/Tet или Quad/Hex сетки?

**Течение имеет одно характерное направление:**

- Сетка гексаэдров/четырёхугольников может дать более качественное решение с меньшим количеством ячеек/узлов в сравнении с сеткой из тетраэдров/треугольников.
- Сетка гексаэдров/четырёхугольников даёт меньшую численную диффузию в случае, когда она ориентирована по потоку.
- Такая сетка, как правило, более трудоёмка в построении.



# Tri/Tet или Quad/Hex сетки?

## Для сложной геометрии

- Нерационально создавать структурированные (ориентированные вдоль потока) hex-сетки
- Можно сэкономить время, используя tri/tet или гибридные сетки
- tri/tet и гибридные сетки просты в создании

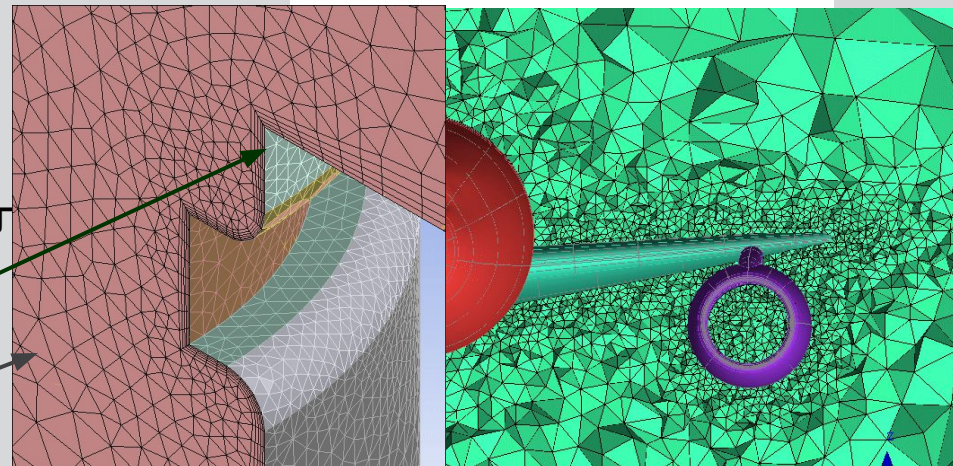
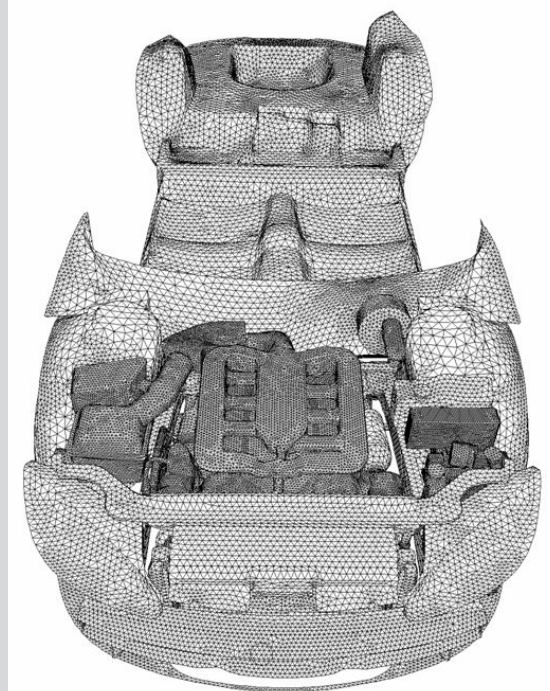
## Гибридные сетки обычно сочетают tri/tet элементы с другими элементами в выбранных областях

- Например, можно использовать элемент типа призма/клин для разрешения пристеночных слоев.
- Более эффективны и точны, чем элементы.

Сетка типа призма/клин

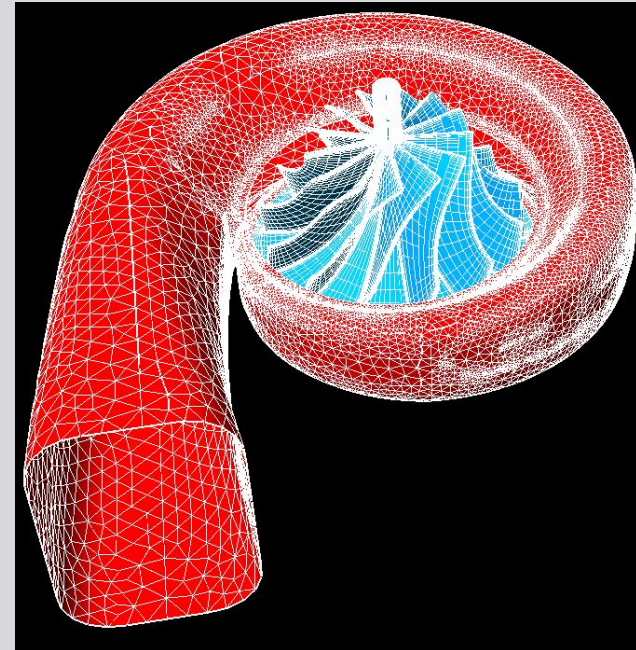
Тетраэдрическая сетка

тол



## Несогласованные сетки:

- Обычно при построении сетки в местах стыковки различных областей требуется точное совпадение сетки узел-в-узел (согласованные сетки).
- Например, это будет иметь место в случае, когда в ANSYS DesignModeler все тела объединены в одну деталь (**part**).
- Если имеется несколько деталей, сетка не будет совпадать, и во FLUENT будет необходимо создать несогласованный интерфейс для соединения этих поверхностей.
- Типичным случаем применения несогласованных сеток являются сложные геометрии и задачи со скользящими сетками.



Крыльчатка и улитка соединены через несогласованный интерфейс. Он служит для соединения hex и tet сеток, а также позволяет сменять систему координат

# Установка физических параметров и настройка решателя

## Предварительная обработка

3. Геометрия
4. Сетка
5. Физика
6. Настройки решателя

*Упрощая сложную задачу или сводя ее к 2-D постановке, можно получить ценный опыт моделирования и настройки решателя за короткий промежуток времени.*

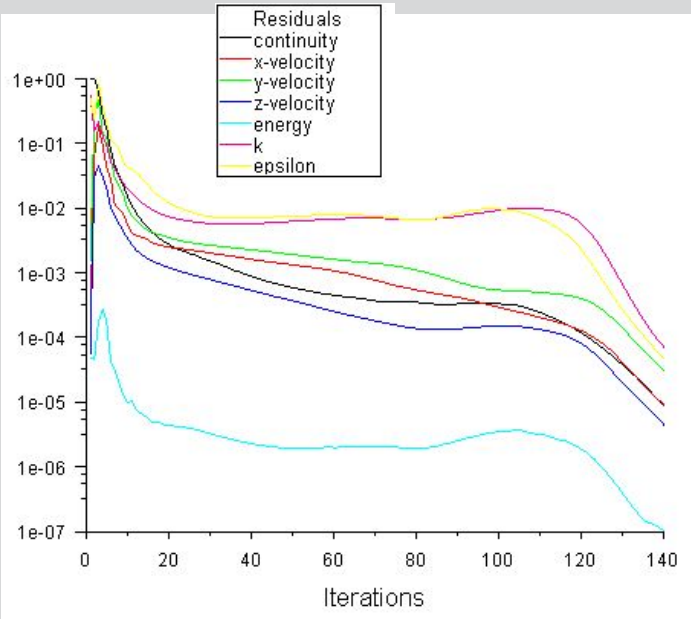
**Для данной задачи Вам необходимо:**

- Определить свойства материала
  - Жидкость
  - Твердое тело
  - Смесь
- Выбрать соответствующие физические модели
  - Турбулентность, горение, многофазное течение и т.д.
- Указать физические условия
- Указать граничные условия по всем краевым поверхностям
- Задать начальные условия или использовать результаты предыдущего решения
- Установить средства управления решателем
- Настроить средства контроля сходимости



## Решение

## 7. Вычислите решение



*Устойчивое к изменению шага сетки сошедшееся решение даст для корректно поставленной задачи ценные инженерные результаты!*

Дискретизированные уравнения сохранения решаются итерационно, пока не достигается требуемый уровень сходимости.

**Решение считается сошедшимся, когда:**

- Изменения в искомым переменных от итерации к итерации незначительны.
  - Невязки позволяют судить о тенденции сходимости.
- Общие условия сохранения достигнуты.
  - Об этом можно судить по дисбалансам.
- Интересующие величины (например, сопротивление, перепад давления) достигли постоянных значений.
  - Контрольные точки позволяют отслеживать интересующие величины.

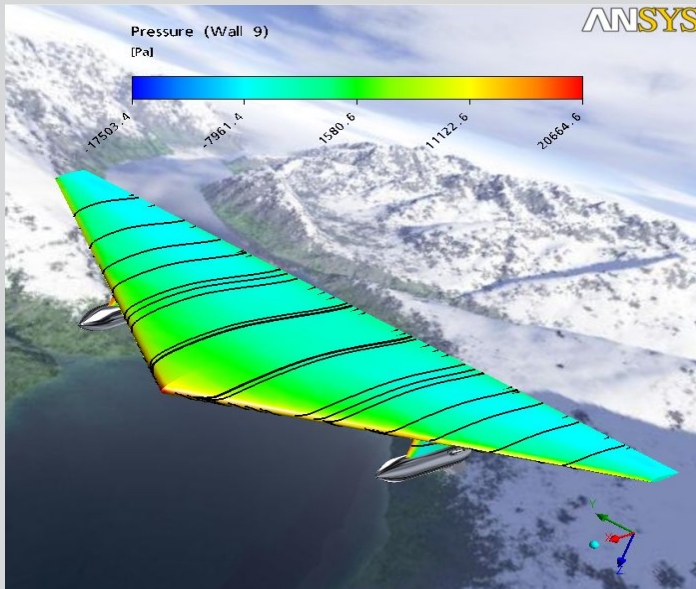
**Точность сошедшегося решения зависит от:**

- Адекватности и точности физических моделей
- Подробности сетки и устойчивости решения к изменению ее шага
- Численных погрешностей

## Постобработка

### 8. Исследовать результаты

9. Обновить модель



Исследуйте результаты чтобы убедиться в корректности физического поведения модели. Большие невязки могут быть вызваны лишь несколькими ячейками низкого качества.

## Исследовать результаты, для анализа решения и извлечения необходимых данных

- Инструменты визуализации могут дать ответы на такие вопросы как:
  - Какова общая картина течения?
  - Имеется ли отрыв потока?
  - Где формируются скачки уплотнения, пограничные слои?
  - Разрешены ли ключевые особенности течения?

## Инструменты работы с численными данными позволяют получить количественные результаты:

- Силы и моменты
- Средние коэффициенты теплоотдачи
- Поверхностные и объемные интегральные характеристики
- Балансы потоков

8. Постобработка  
Исследуйте результаты



## 9. Обновить модель

### Адекватны ли физические модели?

- Действительно ли поток турбулентный?
- Действительно ли поток является нестационарным?
- Присутствуют ли эффекты сжимаемости?
- Трехмерные эффекты?

### Корректны ли граничные условия?

- Достаточны ли размеры расчетной области?
- Подходят ли граничные условия?
- Обоснованы ли значения на границах?

### Отвечает ли сетка требованиям?

- Может ли сетка быть усовершенствована для получения лучших результатов?
- Значительно ли изменяется решение с ячейкой меньшего размера или решение не зависит от сетки?
- Нужно ли разбить геометрическую область более подробной сеткой?