

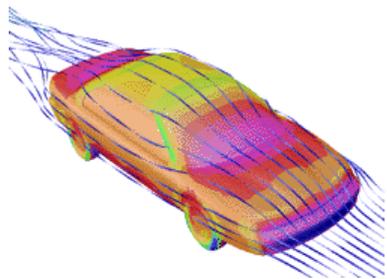
## Возможности открытых пакетов для решения задач механики сплошной среды

М.В.Крапошин, О.И. Самоваров, С.В. Стрижак

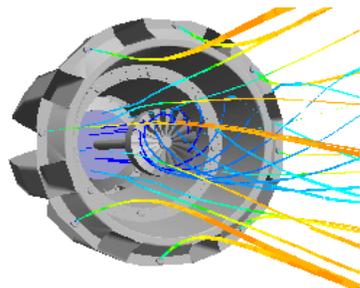
Конференция «Облачные вычисления.  
Образование. Исследования. Разработка».

15-16 апреля 2010 года г. Москва

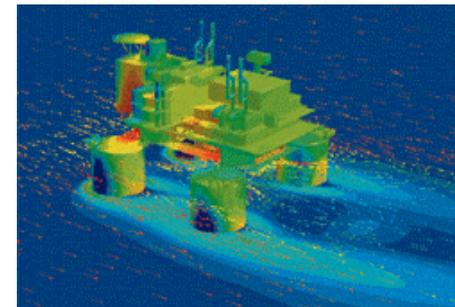
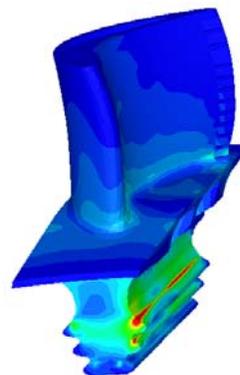
# Задачи МСС



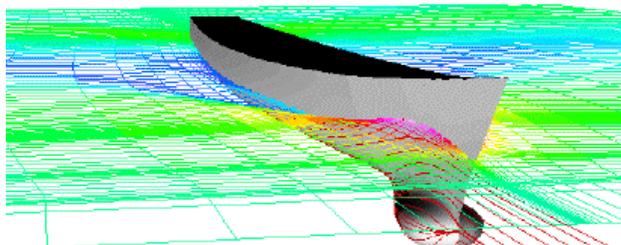
Автомобилестроение



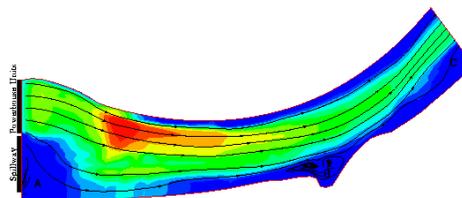
Энергомашиностроение



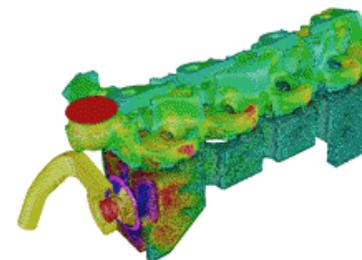
Нефтегазовая промышленность



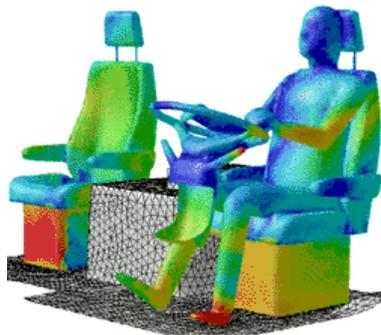
Гидродинамика судна



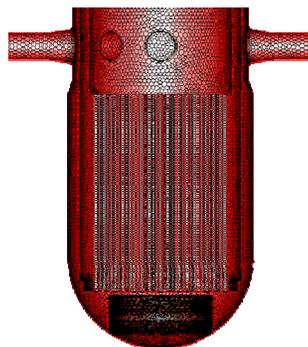
Гидравлика русла



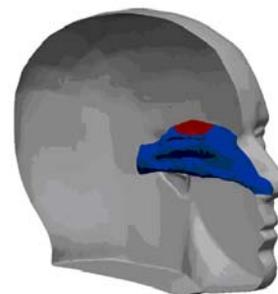
Двигателестроение



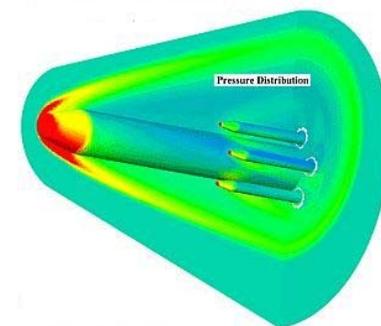
Климат контроль



Ядерная энергетика



Биомеханика



Космонавтика



# Пакетизация идет с конца 80-х гг.



**Универсальные пакеты** – PHOENICS, ANSYS, Nastran, FIDAP, StarCD, FIRE, FLUENT, CFX и др.

- Монополизация – слияние FLUENT и CFX на базе ANSYS
- **Ansys CFD** : Полная стоимость одного профессионального рабочего места в год составляет
- **55236 евро** с возможностью распараллеливания кода всего на 4 ядра, и далее:
- 3-32 ядра за каждые 4: **1600 евро**; 33-128 ядра за каждые 4: **540 евро**;
- Стоимость распараллеливания кода на 128 ядер составляет около 100 000 евро.

## • **Российские пакеты: FlowVision, SINF, GDT**



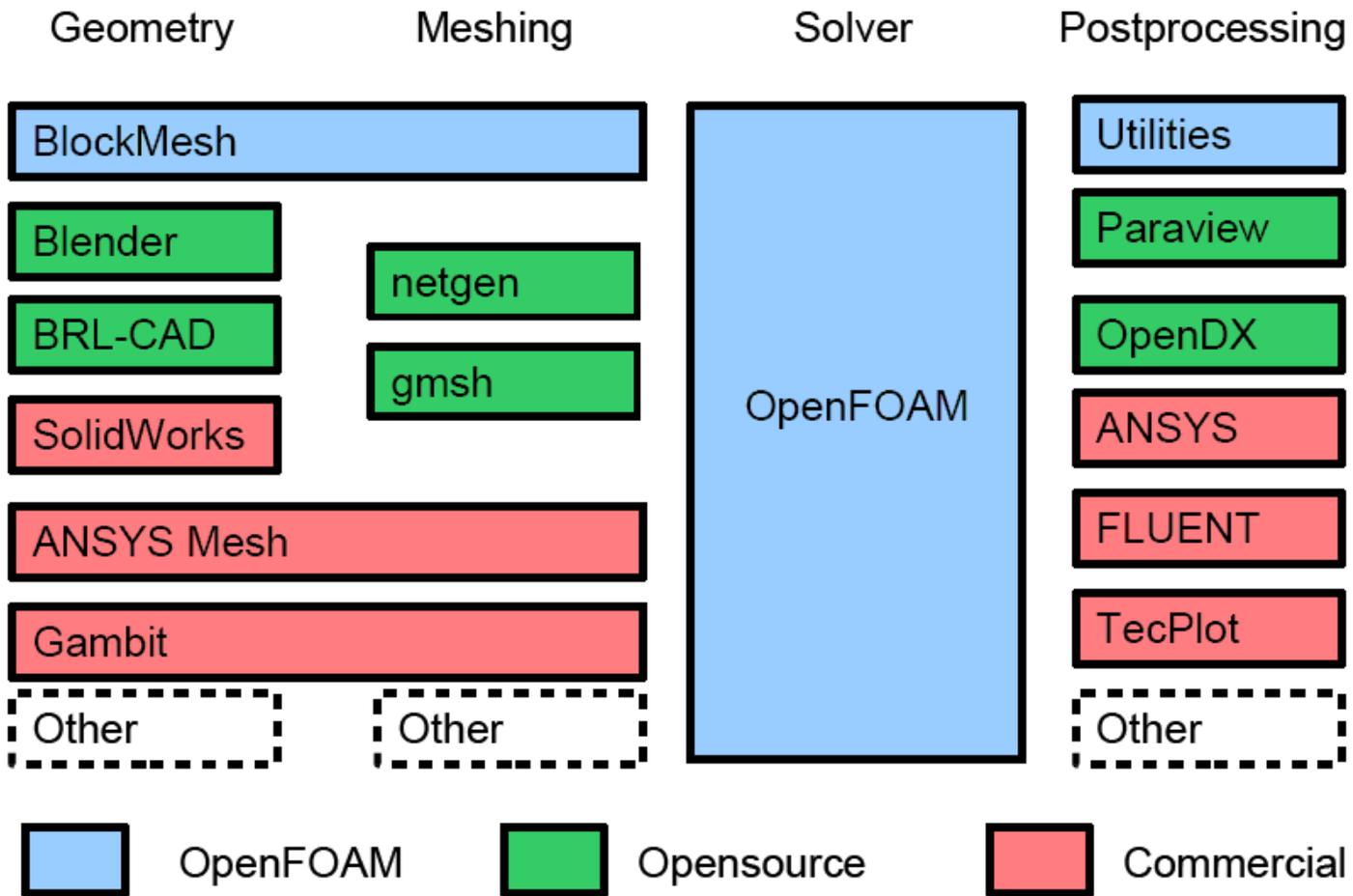
- FlowVision - Коммерческая лицензия в год
- Рабочее место 297000 руб.
- Параллельный счет: 128 ядер= 3.2 млн руб.
- Академическая лицензия: только бессрочная
- Стоимость рабочего места 124000 руб.
- Стоимость распараллеливания кода на 128 ядер составляет 795 000 руб.
- **Кризис – Д. Б. Сполдинг (2007): «Коммерческий пакет – тормоз развития»!!!**

# Свободное Программное Обеспечение

## open-source „process chain“

- **geometry modelling**
  - Blender
  - Salome
- **geometry import and surface meshing**
  - Gmsh
  - NETGEN
- **isotropic volume meshing (tetras)**
  - NETGEN
  - Tetgen → ATTENTION: not allowed for commercial applications, NOT OPEN-SOURCE
- **an-isotropic boundary layer grids**
  - ... → Engrid
- **solver**
  - OpenFOAM
  - Code Saturne
  - Elmer
- **visualisation**
  - ParaView
  - Open Data Explorer

# Основные этапы и модули при решении задач МСС



# Проект в рамках программы УК



**Название:** Интеграция МСС пакетов в инфраструктуру программы  
Университетский кластер

**Анотация:** Цели проекта - интеграция открытых пакетов (Salome, OpenFOAM, Paraview) обеспечивающих решение задач МСС в инфраструктуру программы "Университетский кластер". Разработка и реализация интерфейсов всех уровней, позволяющих пользователю через стандартные средства (Web-браузер) получить доступ к пакетам, обеспечивающий полный цикл решения задач такого класса как к сервисам уровня приложений.

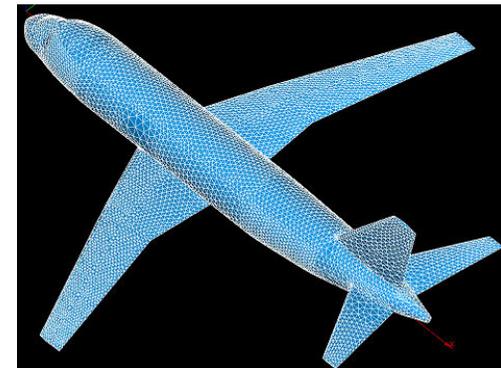
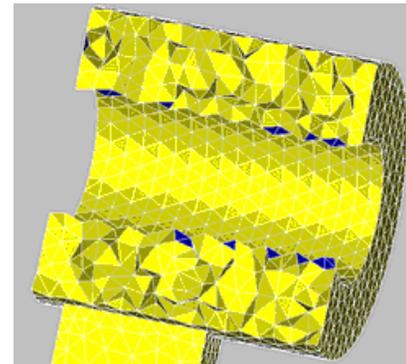
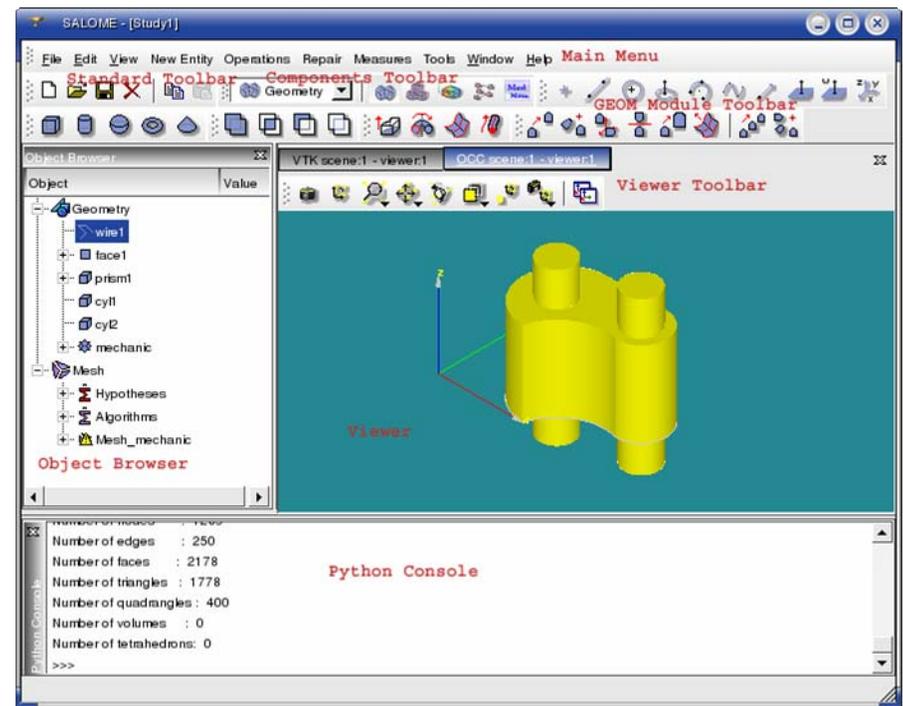
**Руководитель проекта:** А.И. Аветисян, Ученый секретарь ИСП РАН

**Исполнители:** Олег Самоваров (ИСП РАН), Сергей Стрижак (НР, МГТУ им.Н.Э.Баумана), Матвей Крапошин (РНЦ "Курчатовский институт"), Олег Андреев (ИСП РАН), Андрей Рыжов (ИСП РАН)

**Ресурсы:** Управляющий сервер сети программы УК,  
НРС кластера МСЦ РАН (г. Москва) и ТТИ ЮФУ (г. Таганрог) (2048 ядер)

# Salome (EDF, CEA, OpenCASCADE)

- **Salome** - является бесплатным программным обеспечением, которое предоставляет платформу для Пре и Пост-обработки числового моделирования.
- Основано на открытой и гибкой архитектуре, сделанной из компонентов многократного использования.
- **Salome** - CAD/CAE интегрированная платформа. С помощью программы возможно:
  - Трехмерное моделирование;
  - Визуализация;
  - Управление вычислительными схемами;
  - Постобработка
- **Salome** разработана для интеграции отдельных компонентов:
  - Интерфейсы автоматизированного проектирования;
  - Генераторы ячеек сетки модели;
  - Средства для решения задач с использованием конечных элементов;
  - Платформа Salome – это продукт с открытым кодом.





**OpenFOAM** — свободно распространяемое программное обеспечение для проведения численных расчетов.

**OpenFOAM** — объектно-ориентированная платформа, реализованная на языке программирования C++.

**OpenFOAM** – перспективное и динамично развивающееся открытое программное обеспечение для моделирования задач механики сплошных сред. В его разработке и развитии принимают участие десятки организаций и сотни разработчиков по всему миру.

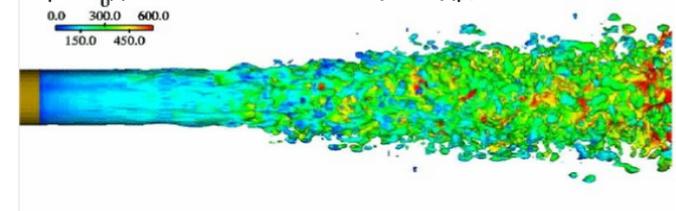
**OpenFOAM** – обладает большой функциональностью и удовлетворяет всем основным требованиям, предъявляемым к современному программному обеспечению для расчета промышленных задач

Разработан в Imperial College of Science. London. UK. 1991-2003

Открытие кода Open Foam в 2004 г.  
на условиях GPL

Разработчик OpenCFD. Ltd. UK.  
Open Source Conferences - 2007,2008, 2009,2010  
Около 3000 пользователей в мире.

Впрыск дизельного топлива в цилиндр. LES



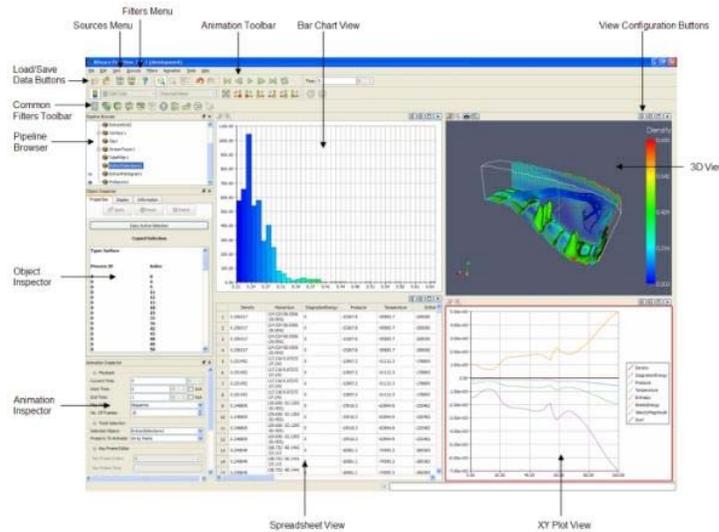
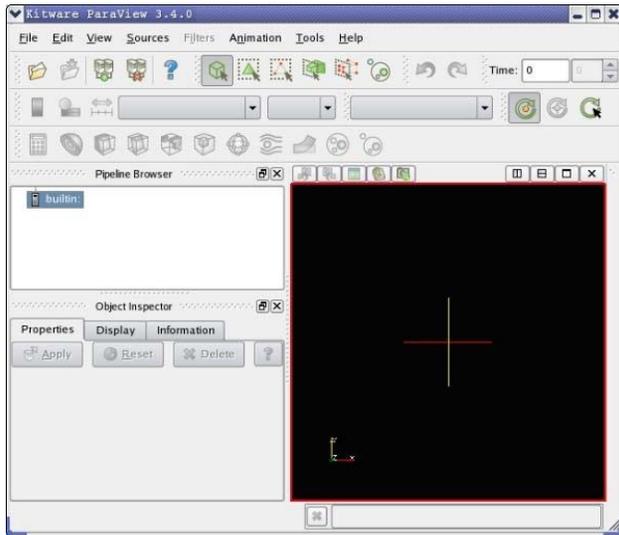
# OpenFoam (Field Operation and Manipulation)



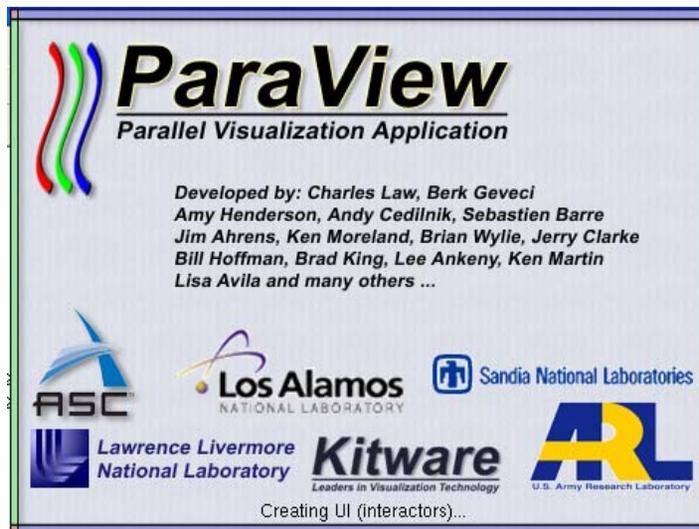
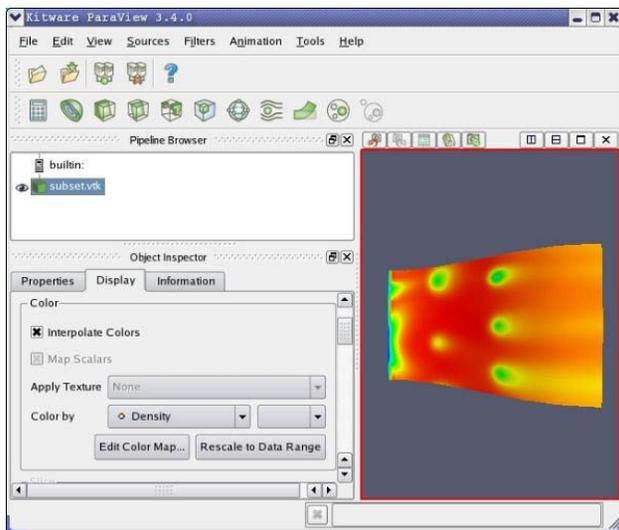
Открытое «ядро» и доступность кода

- Установка на LINUX (RHEL, SUSE, OpenSuse, Debian, Ubuntu, CentOS и др.)
- Использование объектно-ориентированного программирования на C++;
- Основные исследуемые объекты: расчетная область, преобразования в тензорной и линейной алгебре, решатели, математические операции для УРЧП (дискретизация, дифференцирование, интегрирование, интерполяция);
- Базовая единица: класс.
- Представление уравнений МСС с помощью естественного языка программирования;
- Решение уравнений эллиптического, параболического, гиперболического типа
- Разбиение кода на небольшие самостоятельные единицы;
- Проверка по отдельности различных модулей кода;
- Возможность разработки собственных модулей (граничные условия, модели среды, решатели, утилиты).

# Paraview (ARL,ASC, Los Alamos NL, Kitware, Sandia NL,Kitware)



- Multi-view support
- Quantitative analysis
- Undo/redo Python scripting
- Time support
- Plot styles
- Plugins
- Model/View
- Representation/
- Display:
- Stream Lines/Vector Fields
- Contours/iso-surfaces
- XY Plots
- Animation
- Parallel processing
- Documentation

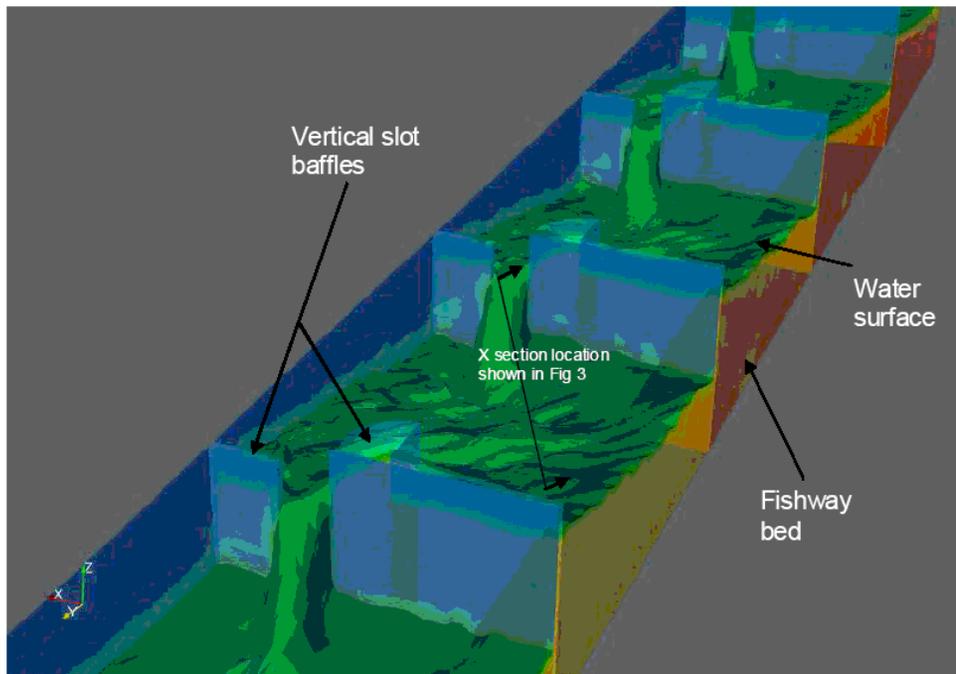


# Salome, OpenFoam, Paraview в промышленности, крупных научных центрах и Университетах

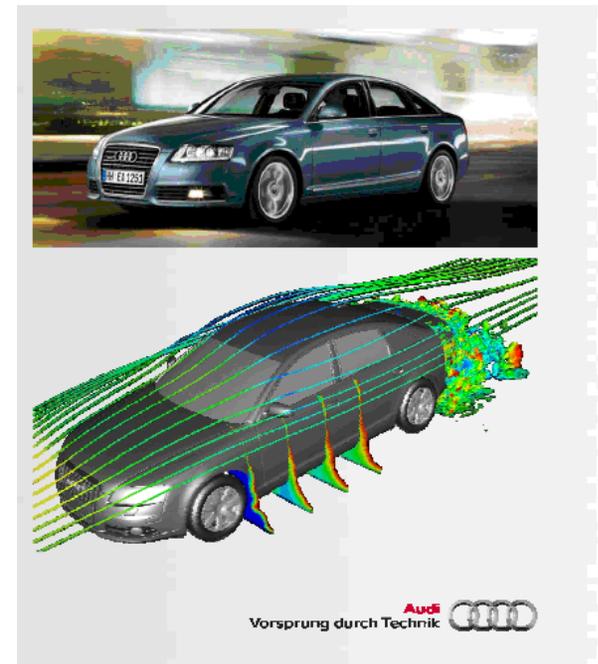
Audi, Volkswagen, Volvo, Seat, ABB Corporate Research, Airbus, BAE Systems, Caldrerys SA, Esteco, Mitsubishi, Shell Oil, Toyota, Scania, IREQ Hydro Quebec, National Energy Technology Lab., US Dept. of Energy, NRC Canada, US Navy, Sweedish Energy Agency, CSC (Finland), Ohio Supercomputer Center, BEinGrid

**Университеты:** MIT, Chalmers University, TU Munchen, Politechnico de Milano, University of A Coruna, FSB University Zagreb, University College Dublin, Universitat Rostock, PennState University. Всего около 200 в мире.

**Россия:** МГТУ им. Н.Э.Баумана, ЮУрГУ, РНЦ КИ, ИБРАЭ РАН, ЭНИМЦ МС, ИАТЭ (Обнинск).

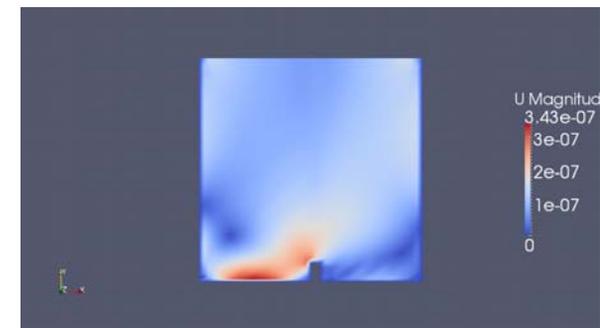
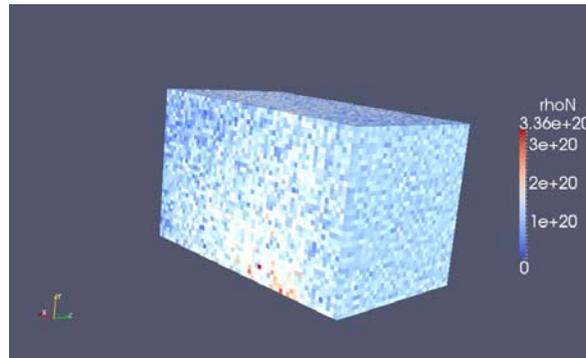
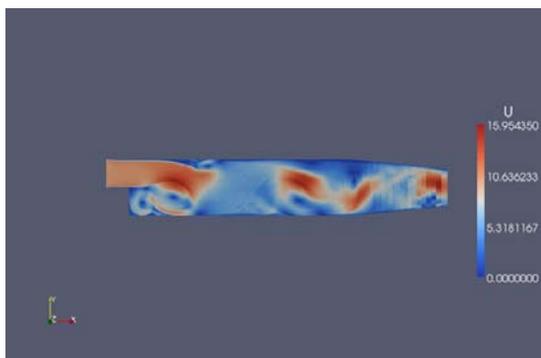
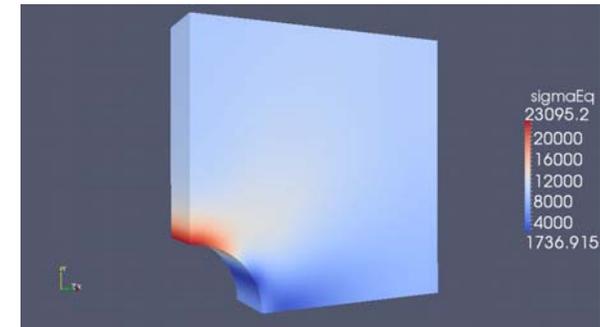
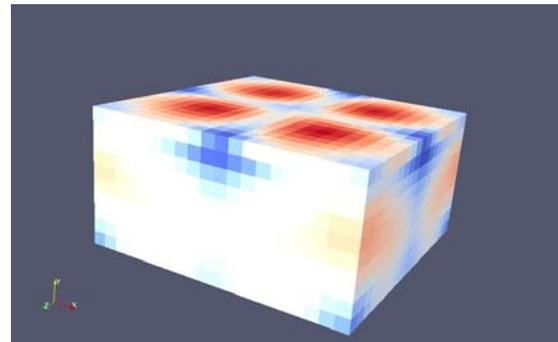
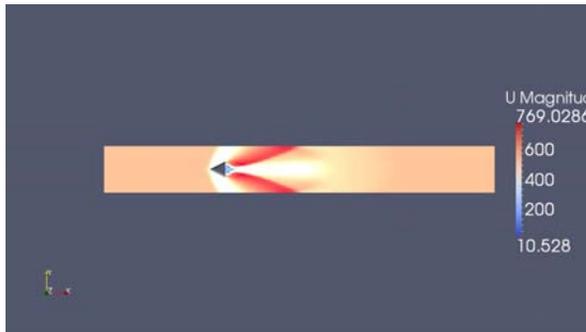
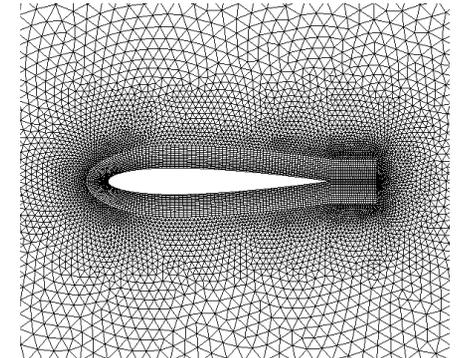
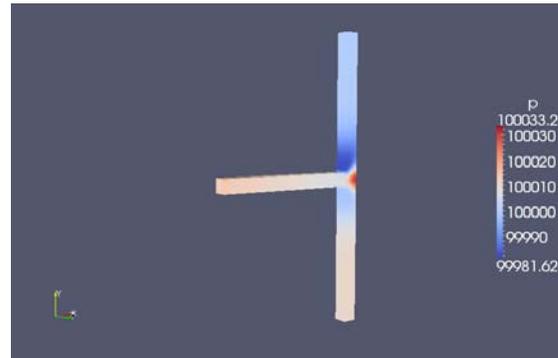
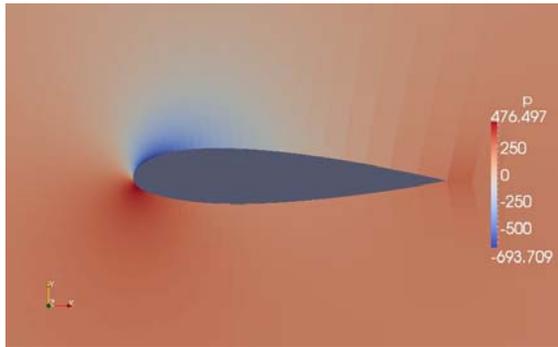


Дамба. Н=80 м. 200 Австралия. 2009. Сетка 200 блоков.

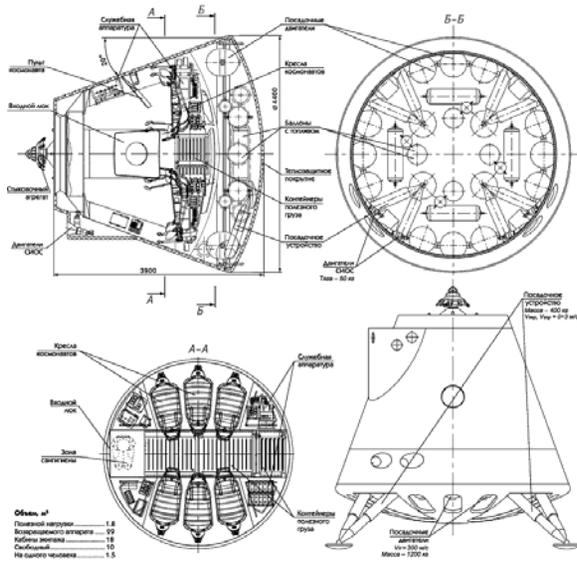


Audi A6. 2009. Сетка 47 М. 128-192 ядер.

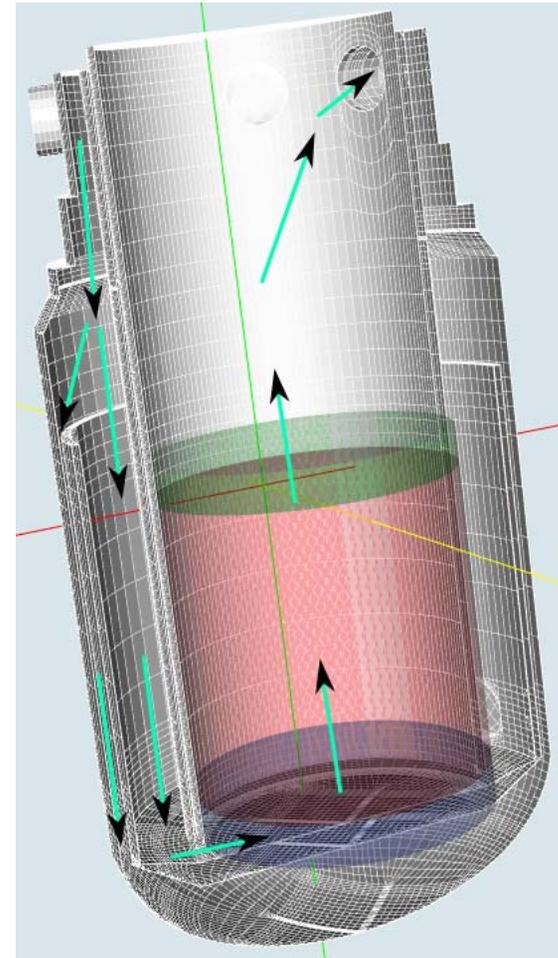
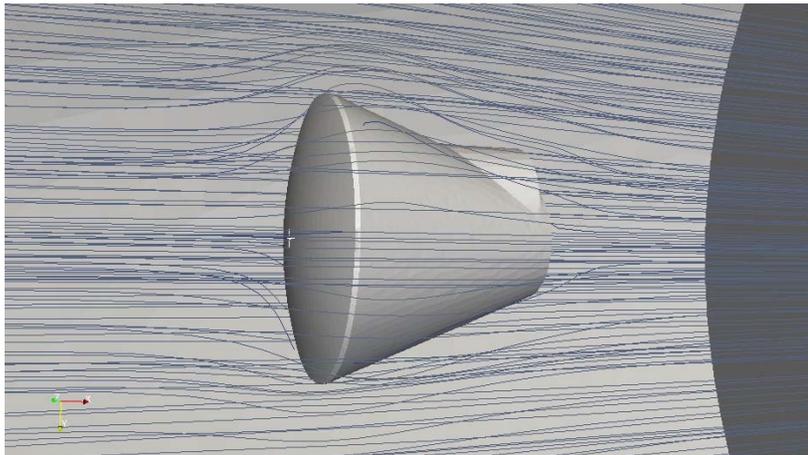
# Учебные примеры



# Примеры решения промышленных задач



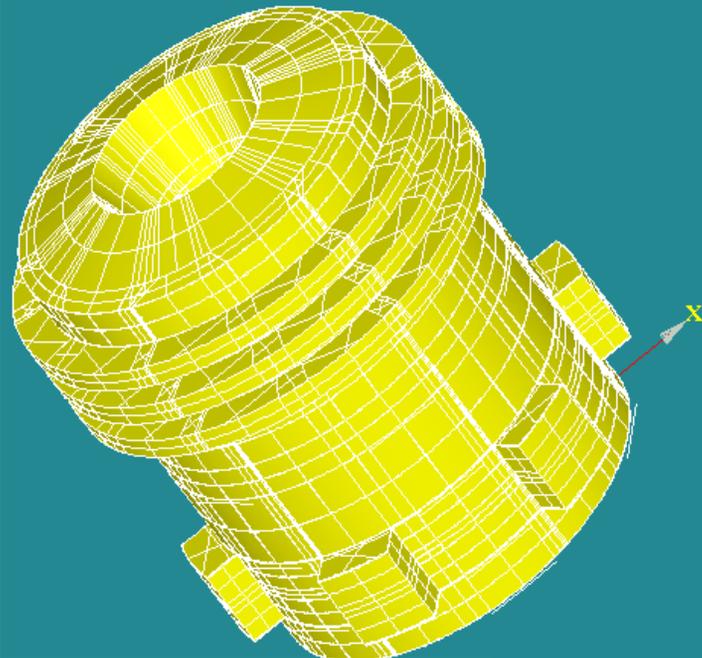
Возвращаемый космический аппарат



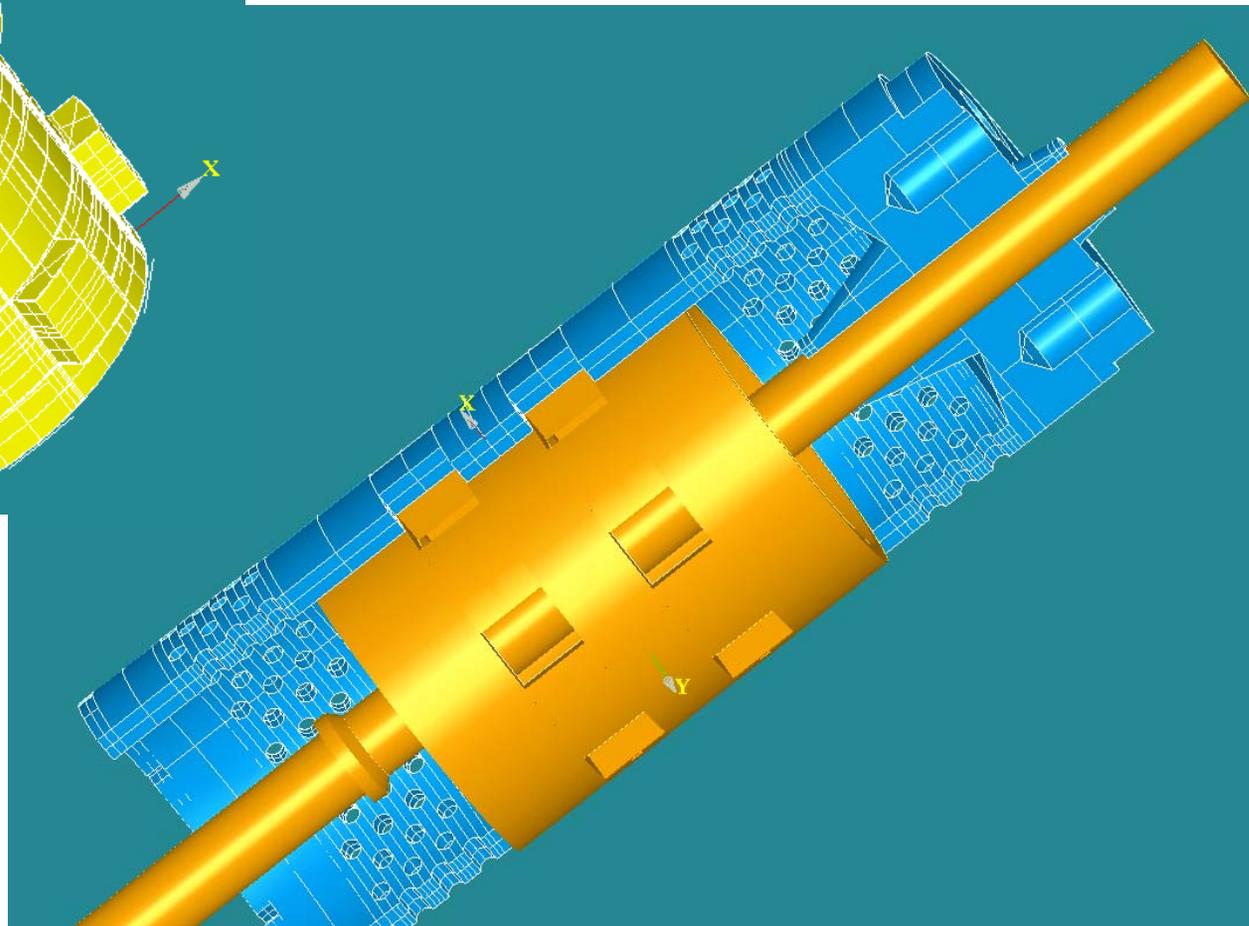
Объем реакторной установки КЛТ-40

# Примеры решения промышленных задач: продолжение

Совместное решение задач ВГД и структурного анализа



Поворотно-регулирующий клапан



# Тестирование эффективности кластера

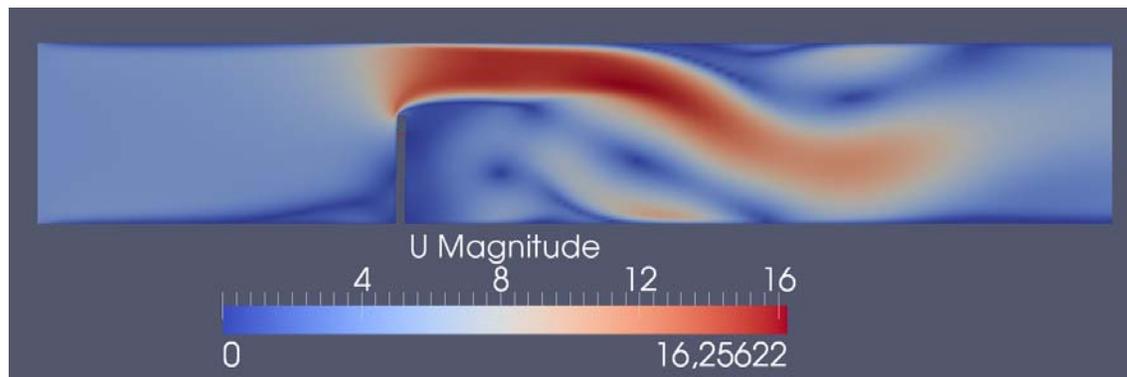
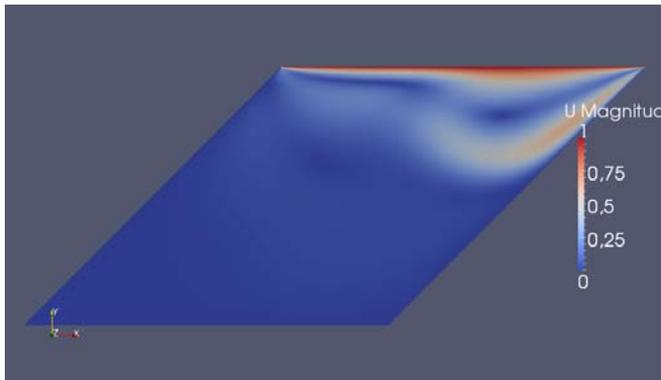
Стационарные задачи — проблема сходимости

Нестационарные задачи — проблема быстрого набора статистики

Эффективность = Масштабируемость + Производительность

- Быстродействие CPU
- Латентность шины
- Скорость передачи данных
  
- Эффективность алгоритма (метод решения СЛАУ)
- Параметры модели (геометрия, способ декомпозиции)

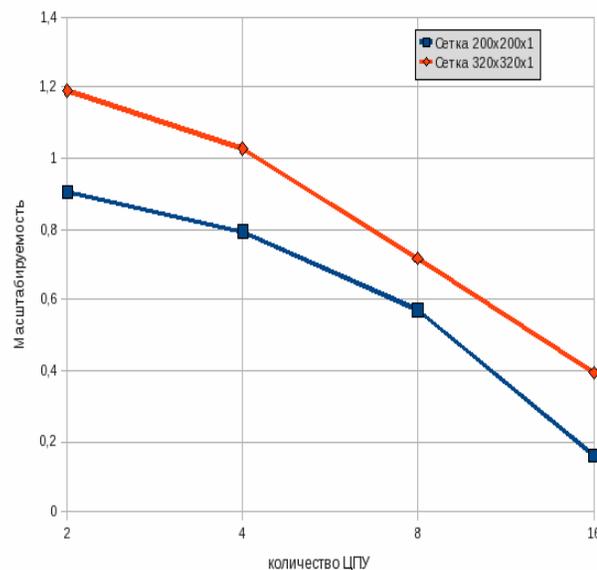
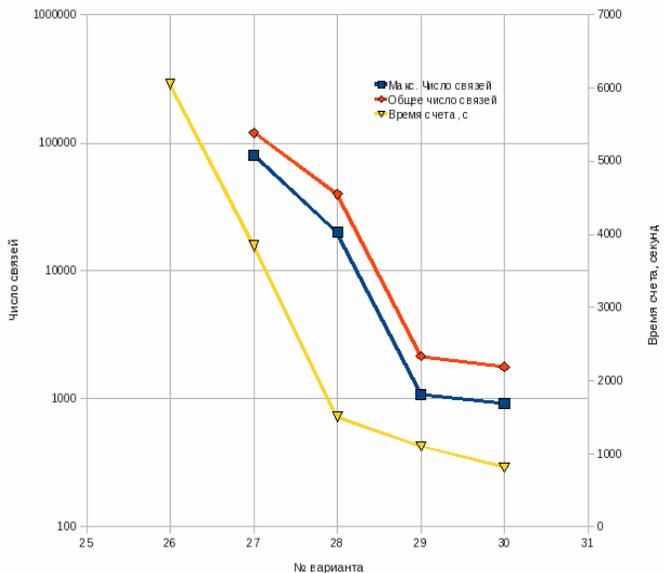
Тестовые задачи: косоугольная каверна, взаимодействие 3d пластины с потоком (LES)



# Тестирование кластера: Gigabit Ethernet (МСЦ)

*Высокая задержка — неэффективно при решении*

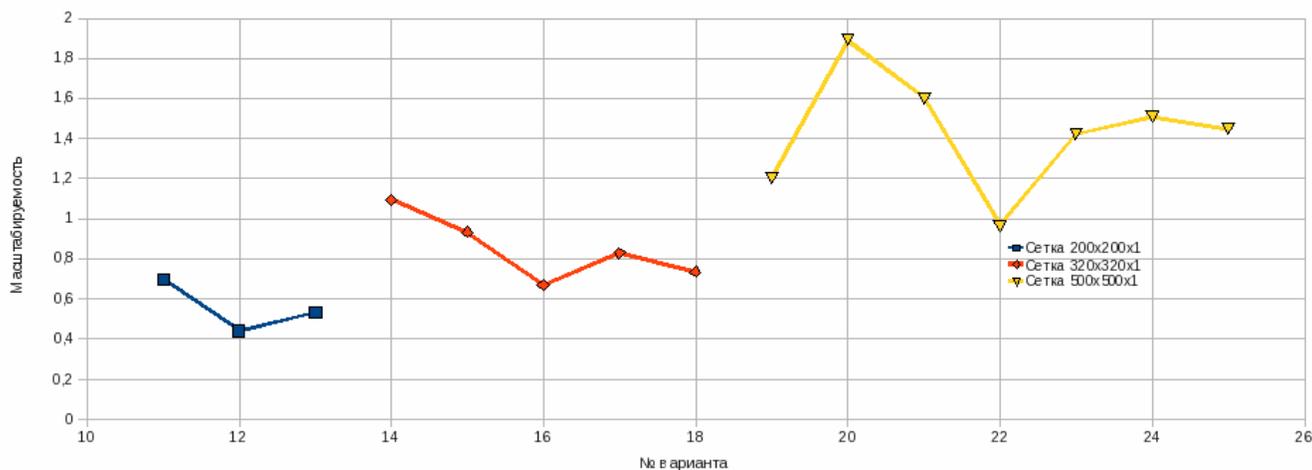
*сильносвязанных задач.*



8 ядер Intel Xeon на узел (3.0ГГц)  
Интерконнект — Gigabit Ethernet (латентность 30-140мкс), OpenMPI, NFS

$$M = \frac{T_{\text{послед}}}{N_{\text{ядер}} T_{\text{паралл}}} = \frac{1}{N} Y$$

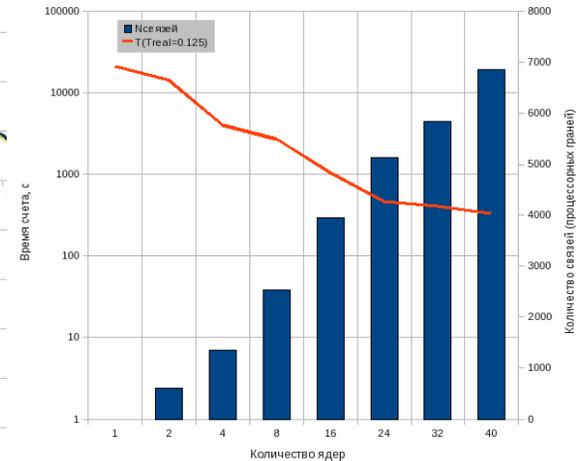
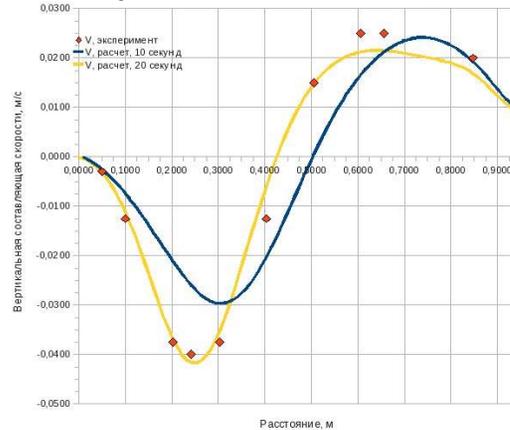
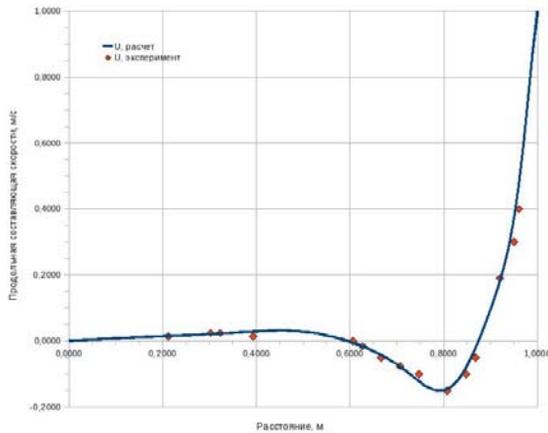
$$Y = \frac{T_{\text{послед}}}{T_{\text{паралл}}}$$



# Тестирование кластера: Infiniband (ТТИ ЮФУ)

16 ядер AMD Opteron (2,3ГГц) на узел, интерконнект — Infiniband DRR (латентность от 2 до 7 мкс), HP MPI, OpenMPI\*(№№6-10), SFS — можно решать объёмные, сильно связанные задачи

## Косоугольная каверна



## Тестирование связанной задачи (3d балка, LES, 536 000 КО)

№№	N ядер	T счета	№№	N ядер	T счета
1	1	12049	6	24	1286
2	2	7971	7	32	1023
3	4	4072	8	40	988
4	8	2945	9	48	856
5	16	1921	10	56	709

# Заключение

В узком (специальном) смысле программа УК — это практическая реализация междисциплинарного (синергетического) подхода в научном методе.

Выполненный обзор СПО и анализ его возможностей показывает, что открытые технологии зачастую являются катализатором и стимулятором исследовательской деятельности.

Проведенное исследование показывает, что использование СПО при проведении НРС расчетов задач МСС возможно не только для узких модельных задач, но и для широкого круга академических и промышленных случаев.

Проведено тестирование НРС кластеров МСЦ РАН и ТТИ ЮФУ  
Определены параметры, влияющие на производительность вычислений.  
Проанализировано их влияние на масштабируемость систем.

Планируется интеграция СПО с Globus Toolkit для проведения облачных вычислений.

Внедренное СПО будет доступно заинтересованным участникам программы УК.