

М.В. Крапошин  
(НИЦ «Курчатовский Институт»)

## СРЕДА MSF ДЛЯ РЕШЕНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ЗАДАЧ

**МСF ЭТО:**

- результат решения практических задач в области реакторного строения
- набор решателей и утилит не вошедших в OpenFOAM, с помощью которых можно выполнять расчетные исследования ЯЭУ (гидродинамика, гидроупругость)
- попытка введения более высокого уровня абстракции данных
- открытый исходный код

**МСF ЭТО НЕ:**

- самостоятельная расчетная программа — все расчеты проводятся в сторонних модулях
- полностью реализованная, со сформировавшейся концепцией библиотека — по мере написания кода, меняется и представление о средствах достижения конечной цели

С самого начала делалась ставка на открытые программы. Это позволило:

- не изобретая велосипед приступить к практическим расчетам практически через месяц после установки ПО
- освоить ключевые численные методы, используемые в современных расчетных кодах
- приступить к разработке собственных программ

В процессе освоения были приняты на вооружение:  
**OpenFOAM**, CalculiX, GraphiX, SALOME, ParaView

Позднее выяснилось, что:

- уровень абстракции данных в OpenFOAM может быть существенно повышен (разработка нового исполняемого модуля для каждого конкретного класса задачи может быть как плюсом, так и минусом)
- в процессе развития OpenFOAM, пакет претерпевал изменения, иногда настолько серьезные, что уже невозможно было использовать старые расчетные модели с новым обеспечением
- к тому же, на сегодня известны по крайней мере две различные версии OpenFOAM (официальная и dev)
- замыкающие соотношения стали влиять на численную модель

# Пример влияния замыкающего соотношения на основную систему уравнений

По умолчанию в OpenFOAM использовались модели течения идеального газа (или реального со схожими свойствами)

$$pV = RT \quad \rho = \psi p \rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \psi p}{\partial t}$$

Для воды это, конечно, не так. Но хочется сохранить и дерево классов программы

$$\Phi(p, V, T) = 0 \quad \rho(p, T) = \rho_0(T) + \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T dp$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \rho_0}{\partial t} + \frac{\partial \psi dp}{\partial t}$$

Интегрировать наработанный код в общее дерево оказалось неудобным — с каждым выпуском новой версии приходилось изменять все написанные модули

Тогда же и сформировалась окончательная цель:

*Разработать программу, которая бы позволяла комбинировать модели на уровне пользовательских исходных данных*

Пример — модели турбулентности в OpenFOAM

## OpenFOAM:

- 1) Время
- 2) Пространство
- 3) Величина (поле)
- 4) Матрица (ДУ в ЧП)
- 5) Метод решения СЛАУ
- 6) Алгоритм интегрирования
- 7) Решатель

Каждая проблема — свой решатель

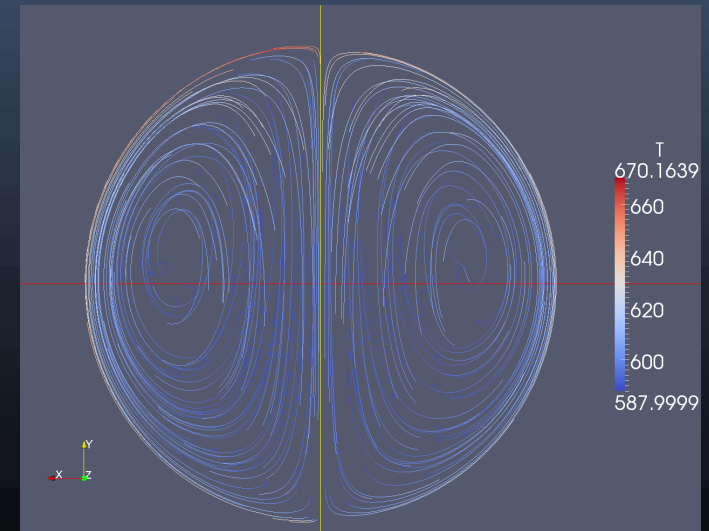
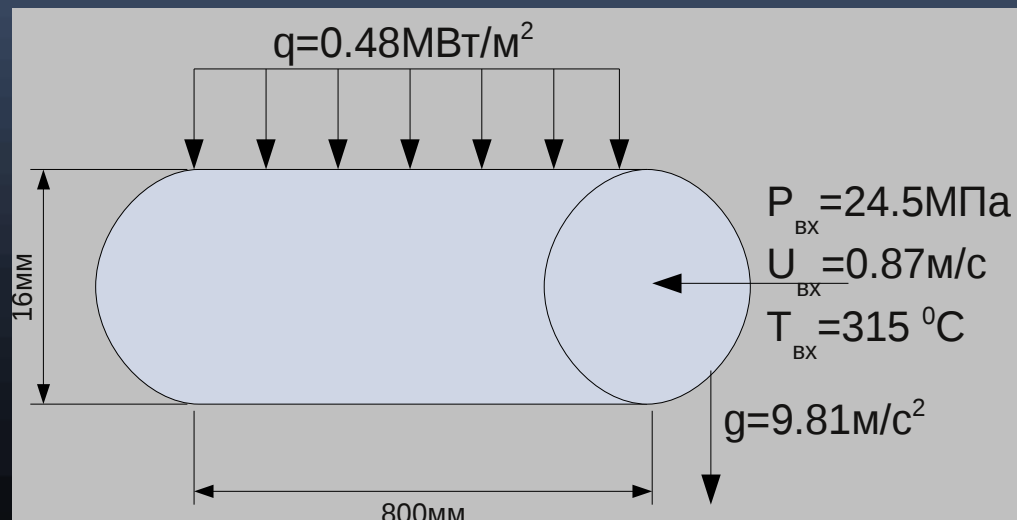
## MCF:

- 1) Общее пространство (время + физическое пространство)
- 2) Величина
- 3) Уравнение любого типа (алгебраическое, ОДУ, ДУЧП)
- 4) Система уравнений
- 5) Модель
- 6) Связи между моделями
- 7) Решатель

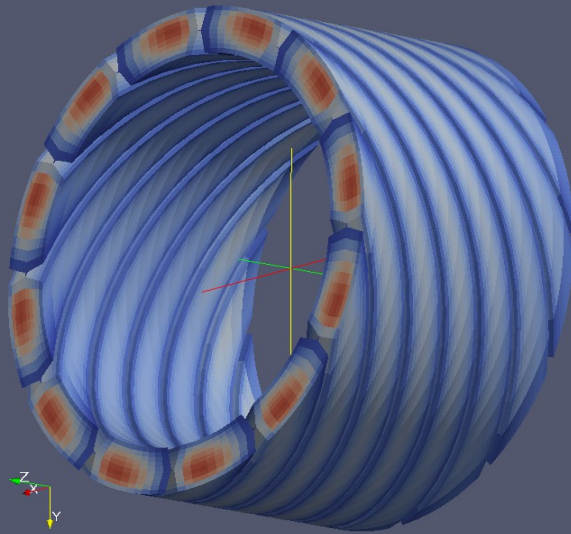
Один решатель — широкий класс проблем

Развитие идет по пути написания тех частей кода, которые необходимы при решении текущих практических задач.

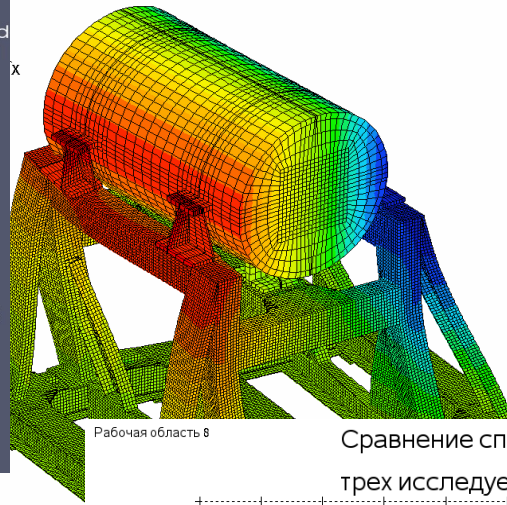
- 1) Продублированы основные классы уравнений, заложенных в OpenFOAM
- 2) Интегрированы свойства воды (в том числе при СКД) — библиотека FreeSteam, натрия, расплава висмут-свинец



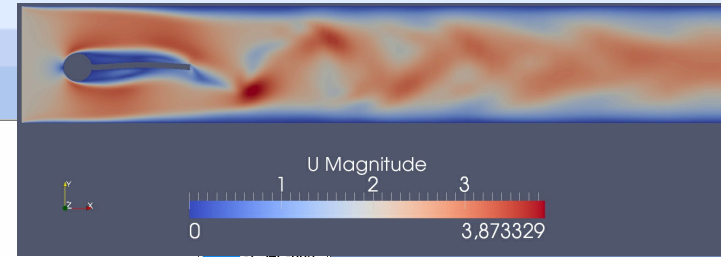




U Magnitude  
0.028391  
0.02  
0.01  
8.51e-05



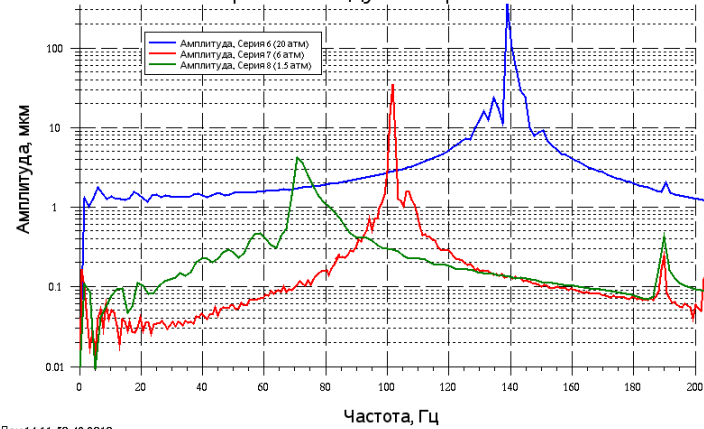
Рабочая область 8



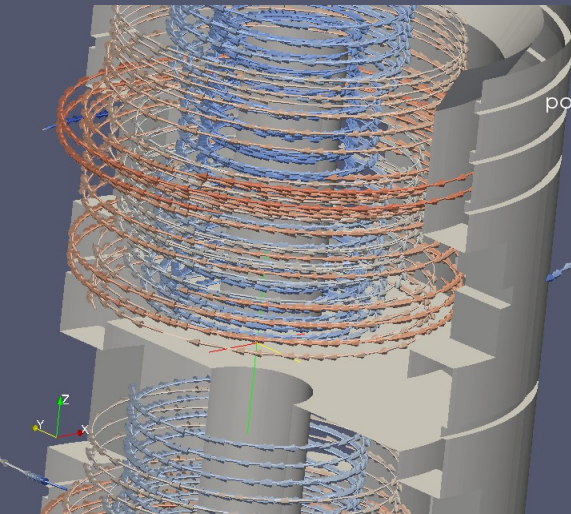
U Magnitude  
1 2 3  
0 3.873329

-2.49E-003  
-2.04E-003  
-1.59E-003  
-1.13E-003  
-6.83E-004  
-2.31E-004  
+2.22E-004  
+6.74E-004  
+1.13E-003  
+1.58E-003  
+2.03E-003  
+2.48E-003  
+2.93E-003  
+3.39E-003  
+3.84E-003  
+4.29E-003  
MAX = 4.57E-003

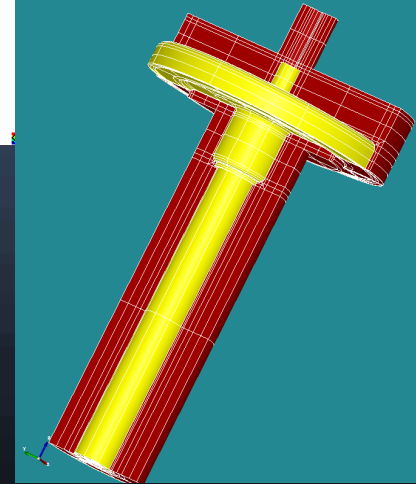
Сравнение спектров частот  
трех исследуемых режимов



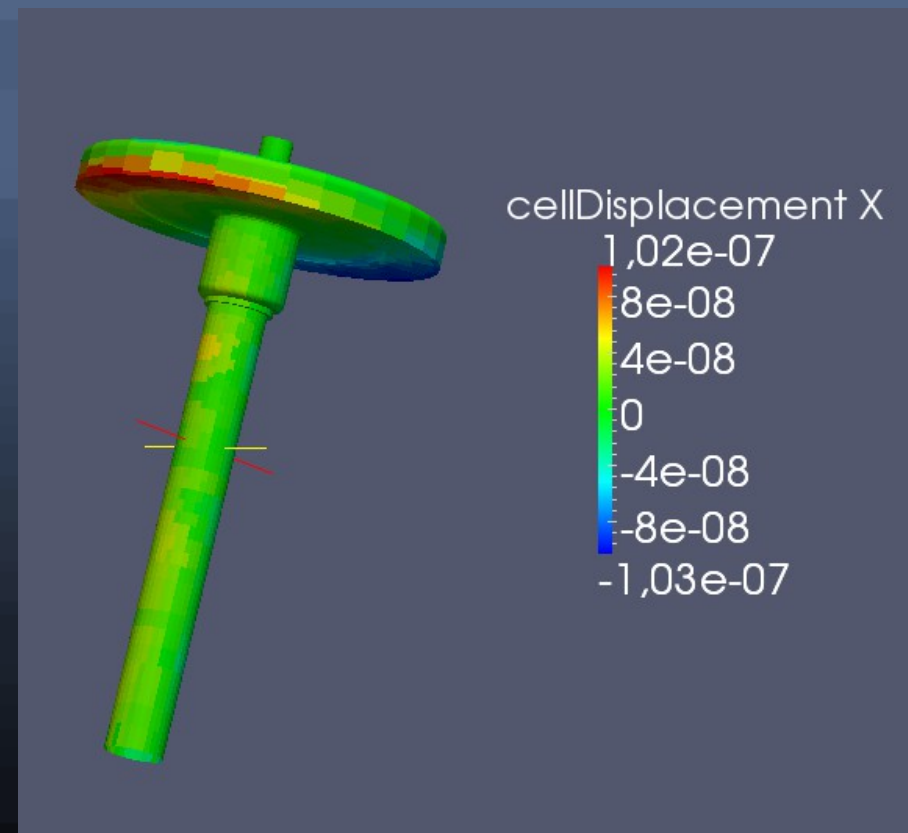
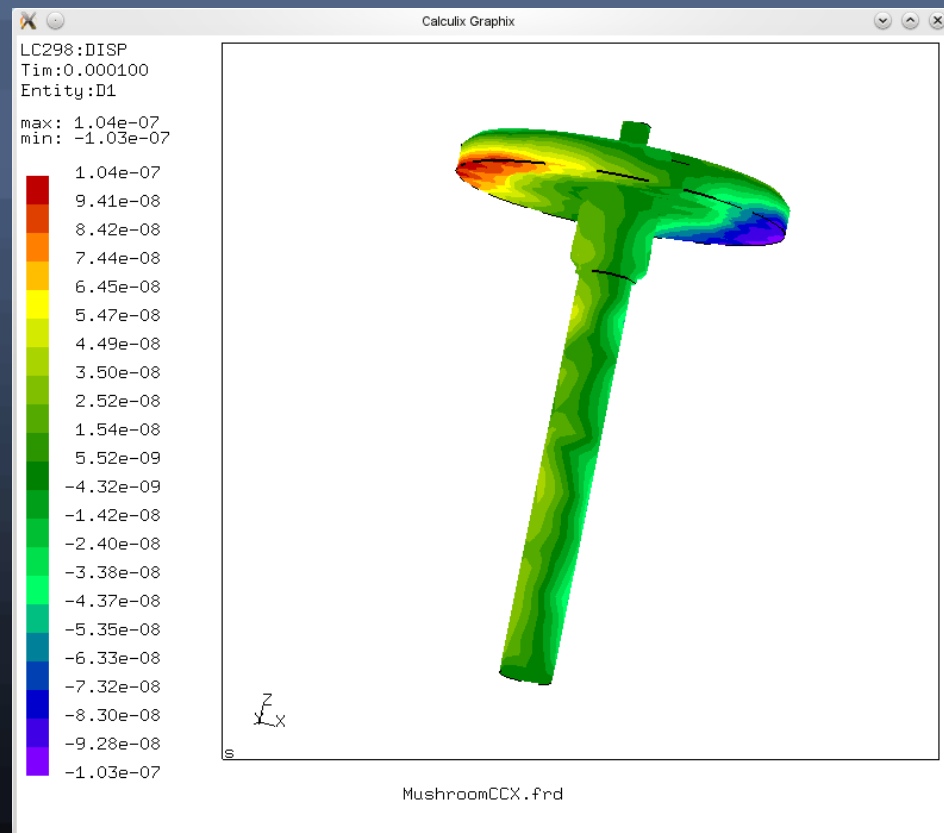
Втр Дек 14 11:53:42 2010



pointDisp  
4.7e-05  
4e-05  
3e-05  
2e-05  
1e-05  
5.49e-08



Ведётся разработка модуля FSI OpenFOAM — CalculiX



Разрабатываются модули для пре- и пост- процессинга данных:

- автоматическое построение эпюры нагрузок по поверхности лопастей винтовых насосов
- вывод динамики основных интегральных характеристик насосов (напор, подача, мощность)
- отслеживание траектории перемещения контрольных объемов сетки при деформациях расчетной области
- разбиение расчетной области вдоль выбранного направления на срезы (особенно важно при решении задач с GGI в параллельном режиме)

## Спасибо за внимание

Работники, конечно, умеют ценить выгоды, доставляемые им практическими приспособлениями механической науки, но о прежней старине они вспоминают с гордостью и любовью. Это их эпос, и притом с очень "человечкиной душой"

*Николай Семёнович Лесков, «Левша»*