МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КЕМЕРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Математический факультет
Кафедра ЮНЕСКО по ИВТ

«Моделирование течений вязкой несжимаемой жидкости в системах конечно-элементного анализа»

Выполнил:
студент 4 курса группы М-132
специальность 01.03.02 – «Прикладная математика и информатика»
Гаринов В.В.

Научный руководитель:
к.ф.-м.н., старший преподаватель
Иванов К.С.

Кемерово 2017 г.

Место прохождения производственной практики

- Центр Новых Информационных Технологий, Кемеровский Государственный Университет

Цель прохождения производственной практики

- Ознакомление с пакетом для конечно-элементного анализа Elmer FEM на примере решения различных задач по моделированию движения вязкой несжимаемой жидкости для системы уравнений Навье-Стокса.

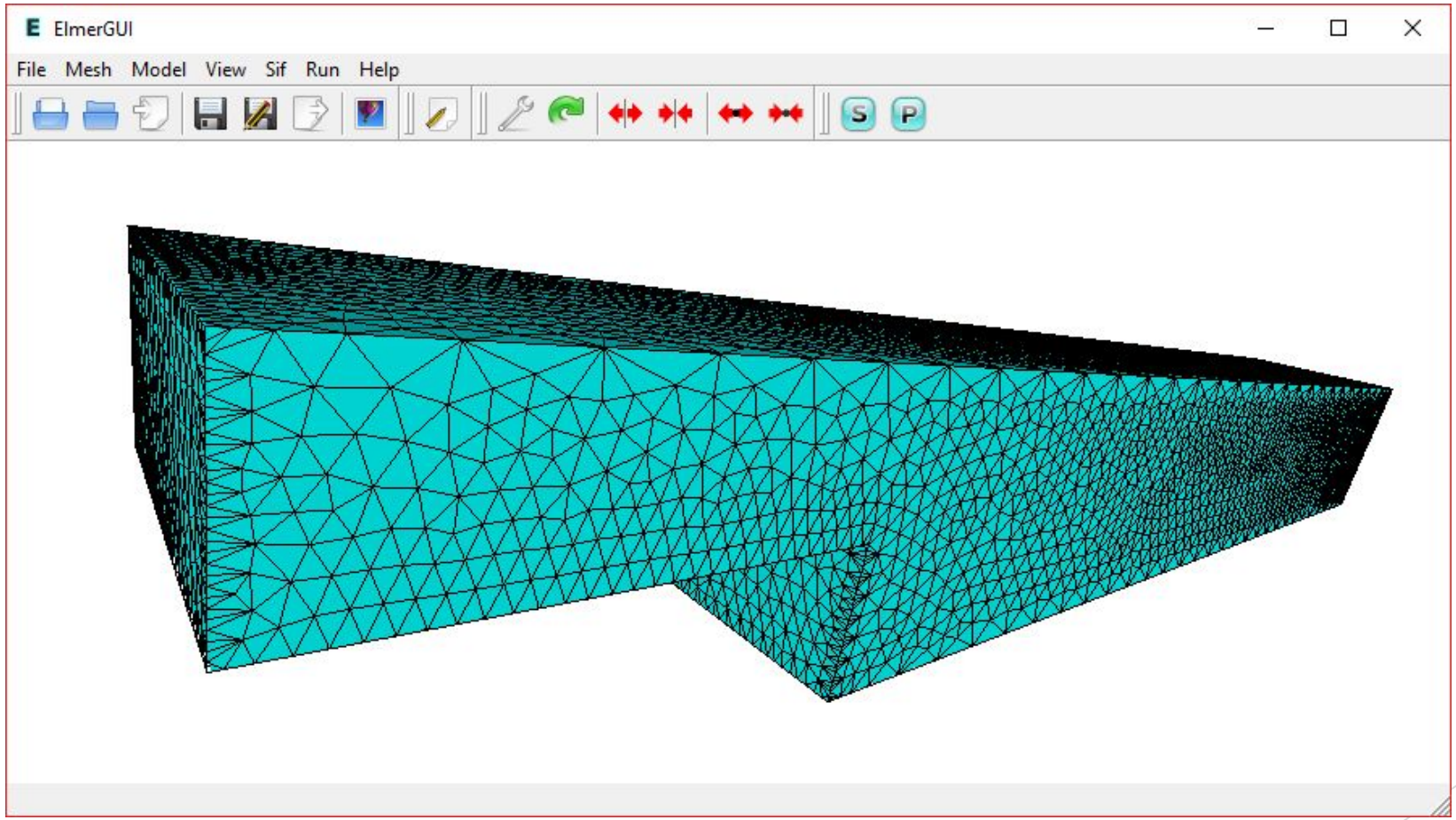
Задачи прохождения производственной практики

- Ознакомление с программными комплексами Elmer FEM и OpenFOAM
- Ознакомление с инструментами для построения сеток
- Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов
- Изучение дополнительных возможностей комплекса Elmer FEM

Ознакомление с программными комплексами Elmer FEM и OpenFOAM

- **Elmer FEM** — полнофункциональный математический пакет, ориентированный на математическое моделирование физических процессов и расчет конструкций при помощи метода конечных элементов. Пакет позволяет строить физические модели для решения задач гидродинамики, строительной механики, электродинамики, теплопереноса, акустики и т. д. Является универсальной системой конечно-элементного анализа и распространяется на условиях Open Source.

Ознакомление с программными комплексами Elmer FEM и OpenFOAM



- Рис. 1 — пользовательский интерфейс комплекса Elmer FEM

Ознакомление с программными комплексами Elmer FEM и OpenFOAM

- **OpenFOAM** — свободно распространяемый инструментарий вычислительной гидродинамики для операций с полями (скалярными, векторными и тензорными). На сегодня является одним из «законченных» и известных приложений, предназначенных для вычислений методом конечных объёмов. В представленной работе OpenFOAM используется только для сравнения с Elmer FEM в модельных задачах.

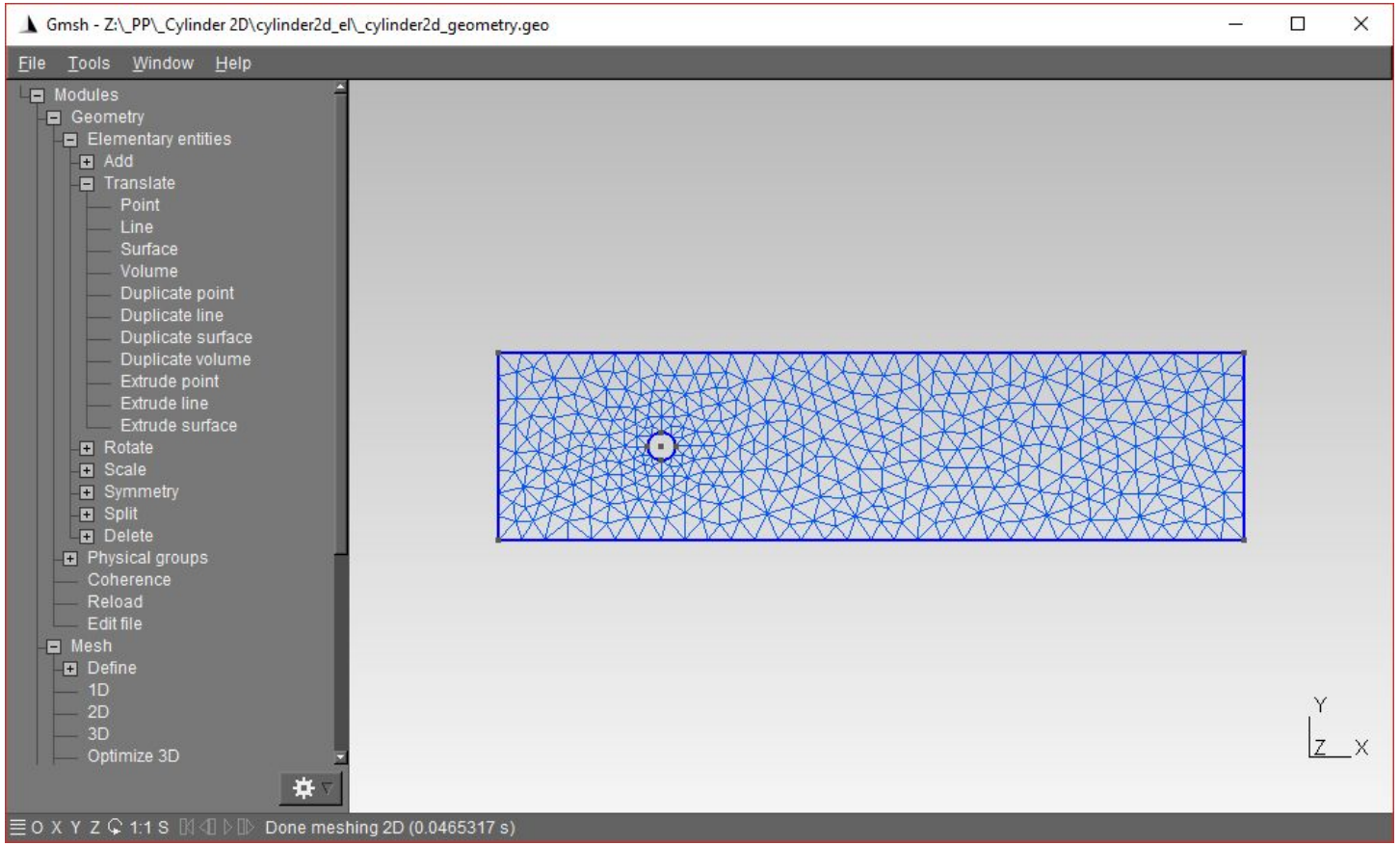
Ознакомление с инструментами для построения сеток

- Самый первый этап при проведении численного расчёта какой-либо задачи это построение сетки. Но уже на этом этапе можно столкнуться с трудностями, связанными с поиском инструмента (или инструментов), пригодных для построения сеток, форматы которых будут поддерживаться всеми используемыми для расчёта комплексами и которые будут парситься ими без ошибок.

Ознакомление с инструментами для построения сеток

- В результате анализа возможностей комплексов Elmer и OpenFoam для построения двумерных сеток был выбран инструмент **Gmsh** — очень удобный и простой в использовании генератор плоских сеток для Elmer. А при помощи функции Extrude Surface любую двумерную геометрию в нём можно перевести в трёхмерную, которую поддерживает OpenFOAM.

Ознакомление с инструментами для построения сеток

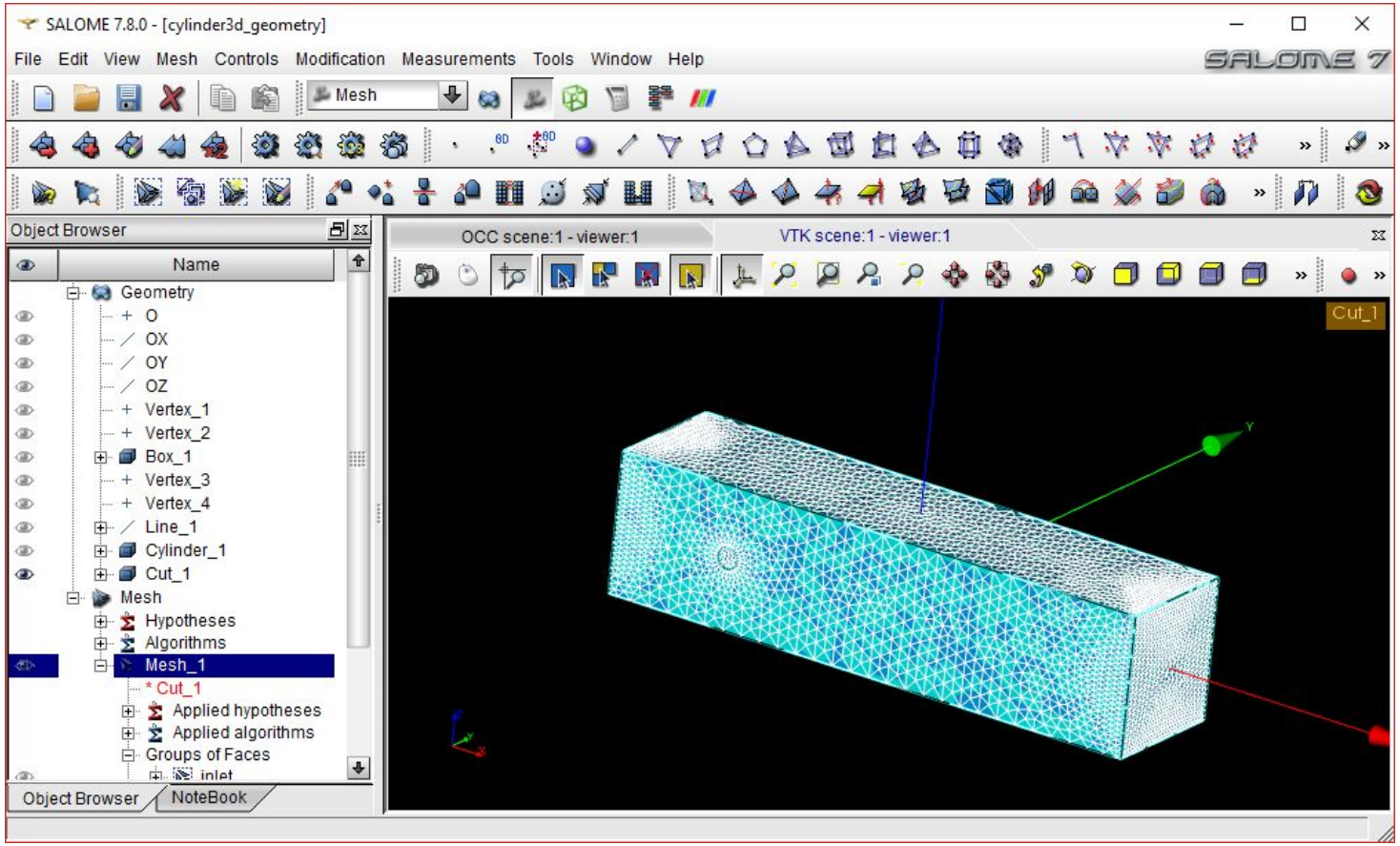


- Рис. 2 — генератор сеток Gmsh

Ознакомление с инструментами для построения сеток

- Но Gmsh не подходит для построения трёхмерных сеток, так как они неверно распознаются парсером, заложенным в пакет OpenFOAM. В связи с этим, для построения трёхмерных сеток использовался инструмент **Salome**. Его, в свою очередь, не получилось использовать для построения двумерных сеток, поскольку все расчёты с ними в комплексе Elmer разваливаются по непонятной причине.

Ознакомление с инструментами для построения сеток



- Рис. 3 — генератор сеток Salome

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

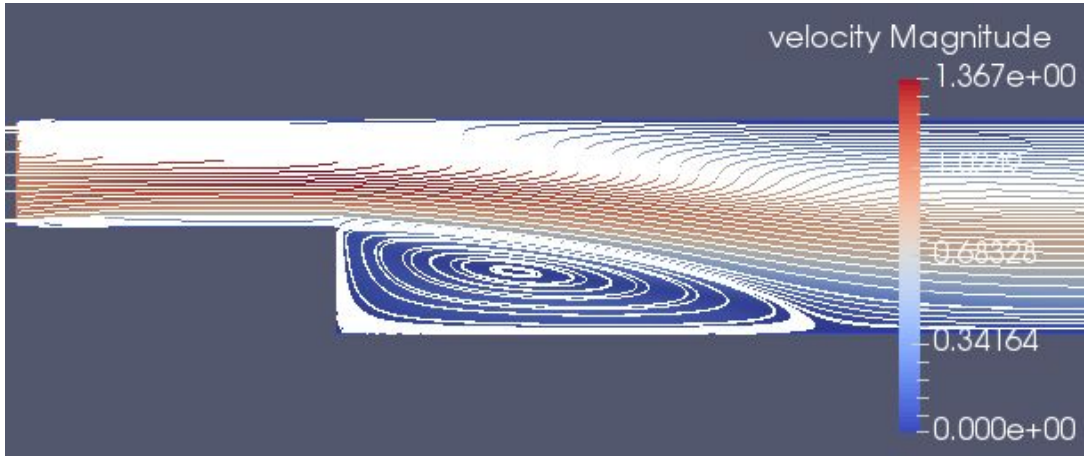
- Целью данной работы было проведение ряда расчётов в двумерных и трёхмерных областях комплексами Elmer FEM и OpenFOAM и наглядное сравнение полученных результатов.

- Для проведения всех перечисленных расчётов была использована постановка в скоростях.

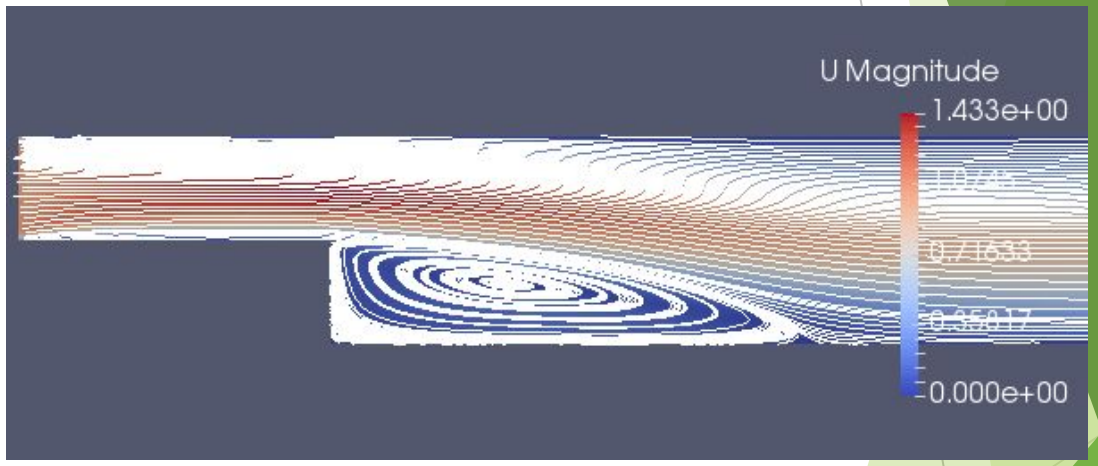
- Расчёты произведены только для ламинарного случая в связи с огромными затратами времени.

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Течение с уступа», двумерное ламинарное течение



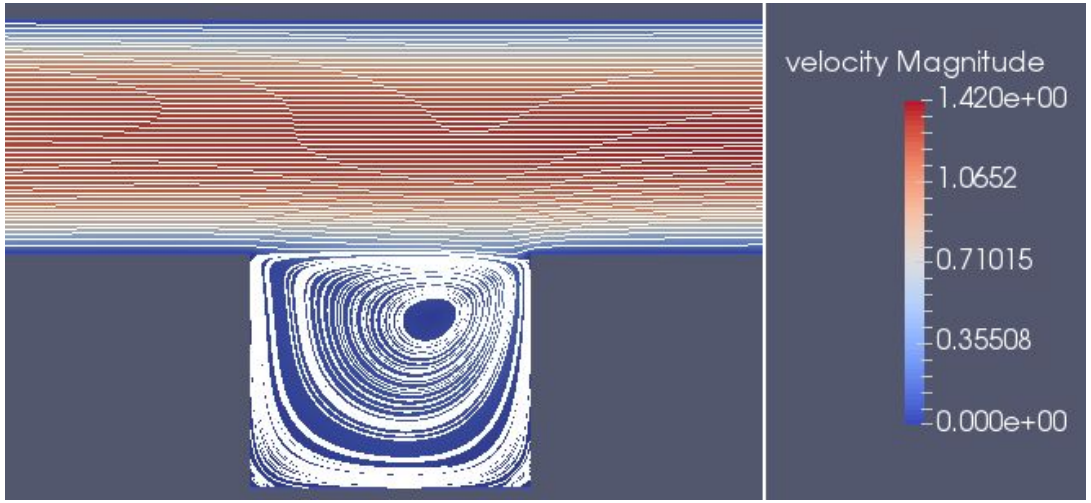
- Рис. 4 – результат в Elmer FEM



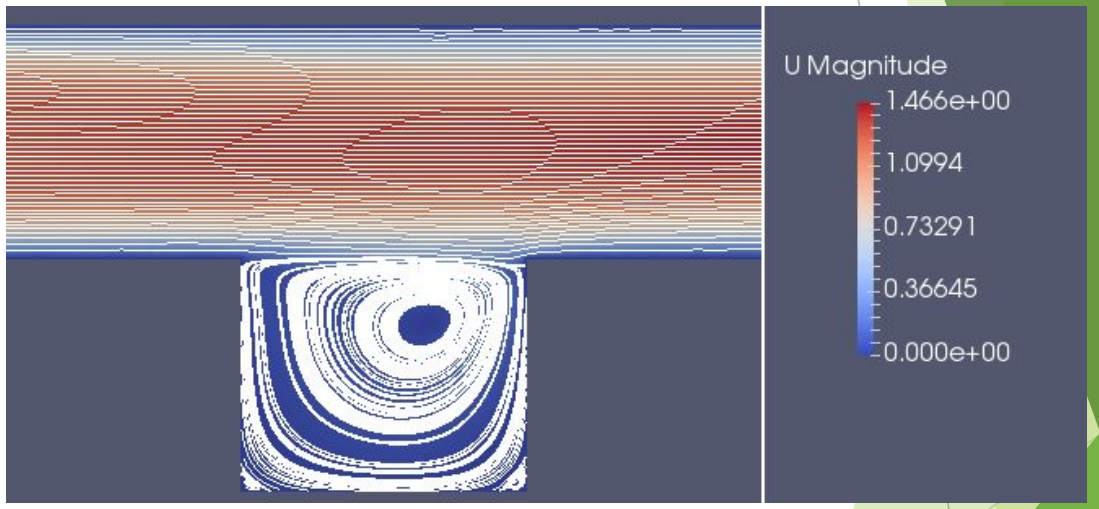
- Рис. 5 – результат в OpenFOAM

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Течение в канаве», двумерное ламинарное течение



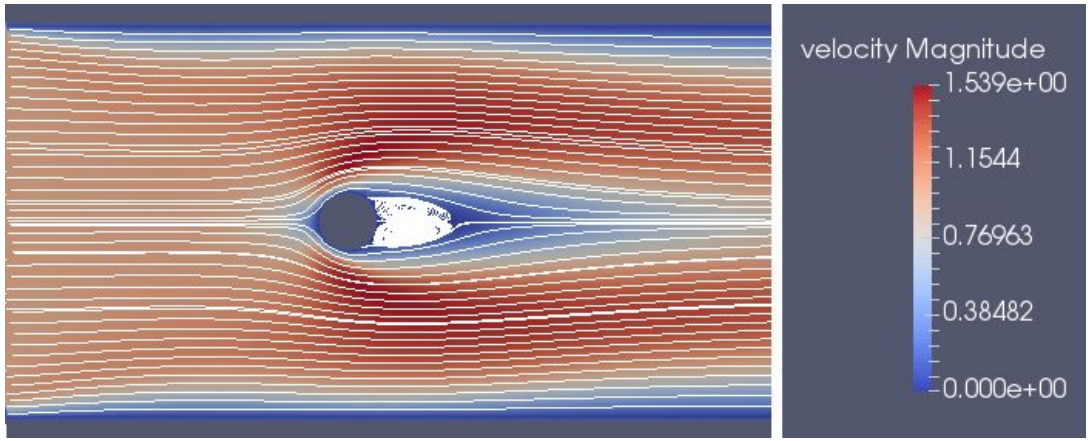
- Рис. 6 – результат в Elmer FEM



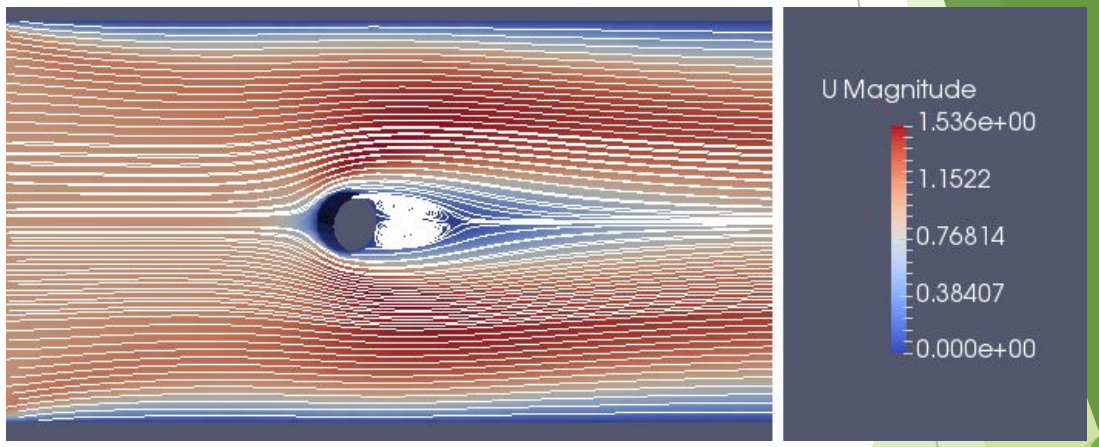
- Рис. 7 – результат в OpenFOAM

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Обтекание цилиндра», двумерное ламинарное течение



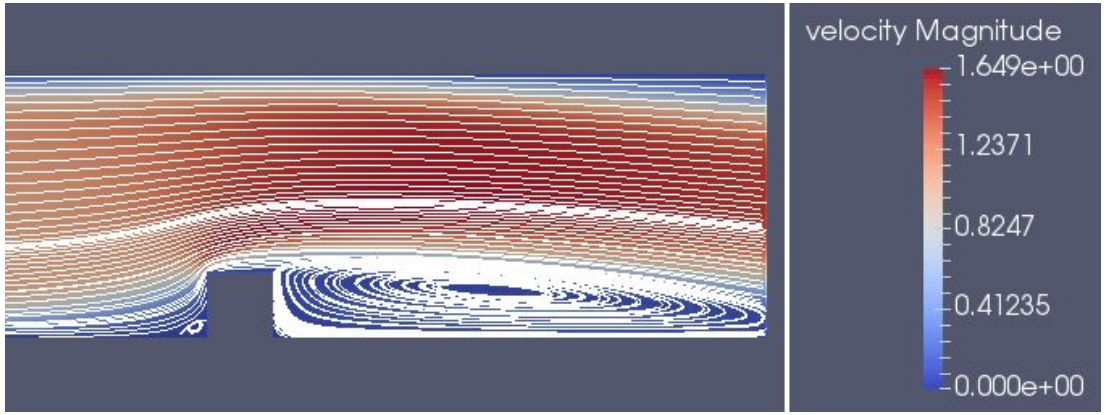
- Рис. 8 – результат в Elmer FEM



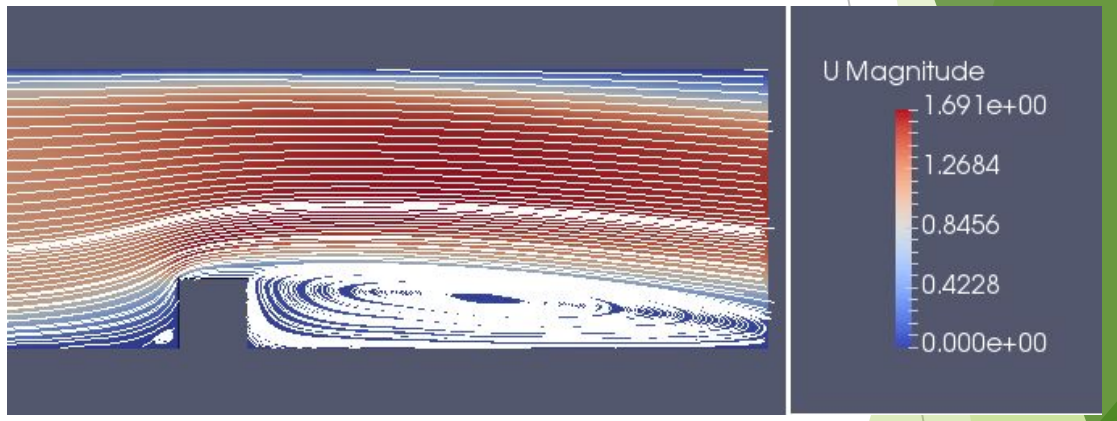
- Рис. 9 – результат в OpenFOAM

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Обтекание квадрата», двумерное ламинарное течение



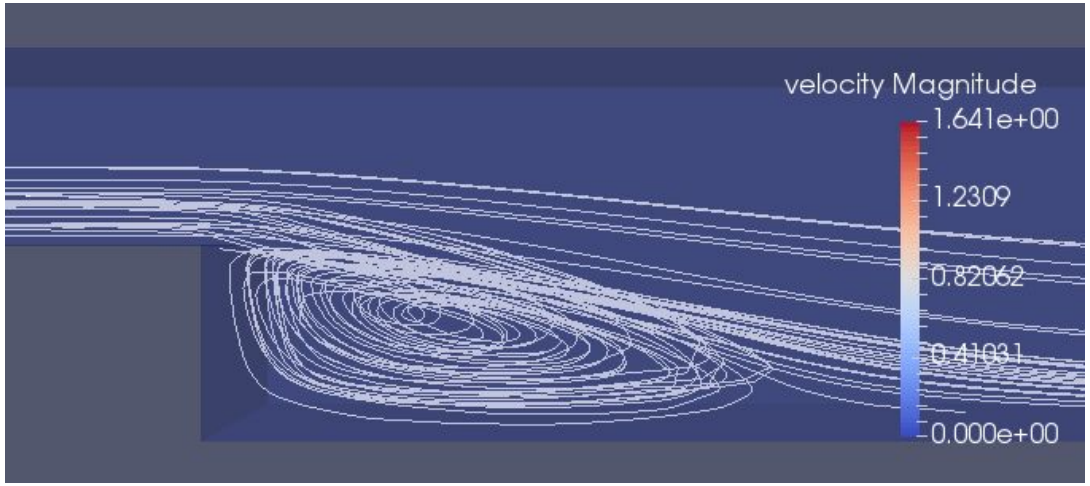
- Рис. 10 – результат в Elmer FEM



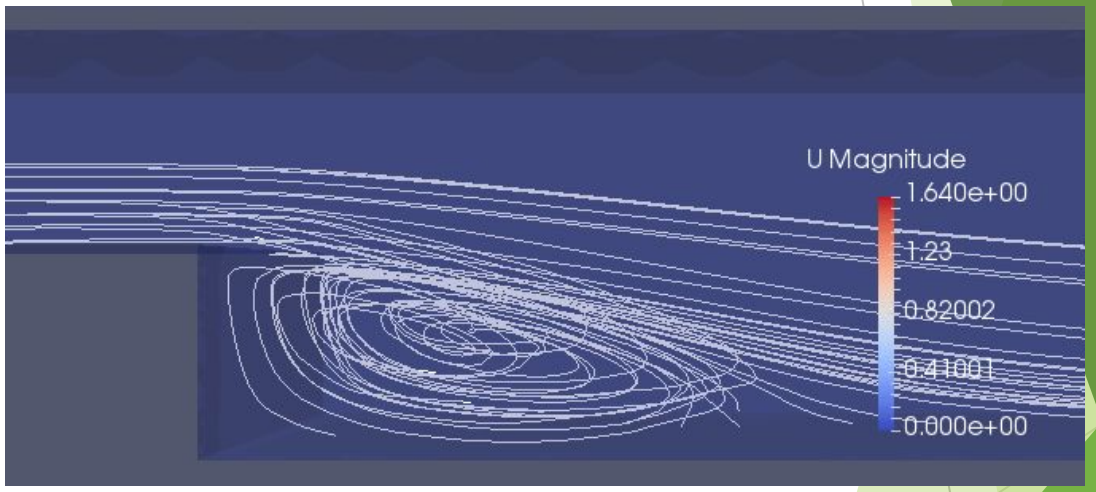
- Рис. 11 – результат в OpenFOAM

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Течение с уступа», трёхмерное ламинарное течение



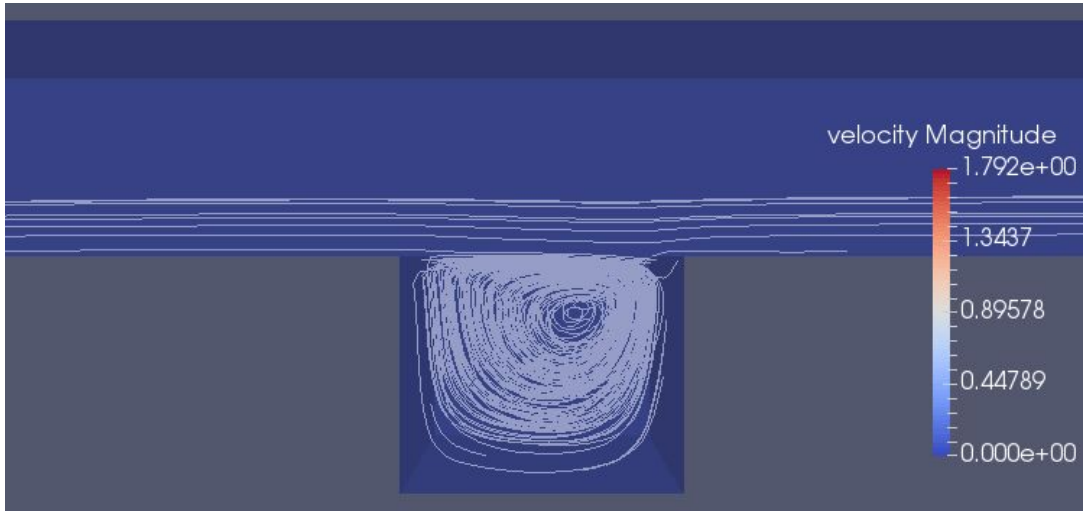
- Рис. 12 – результат в Elmer FEM



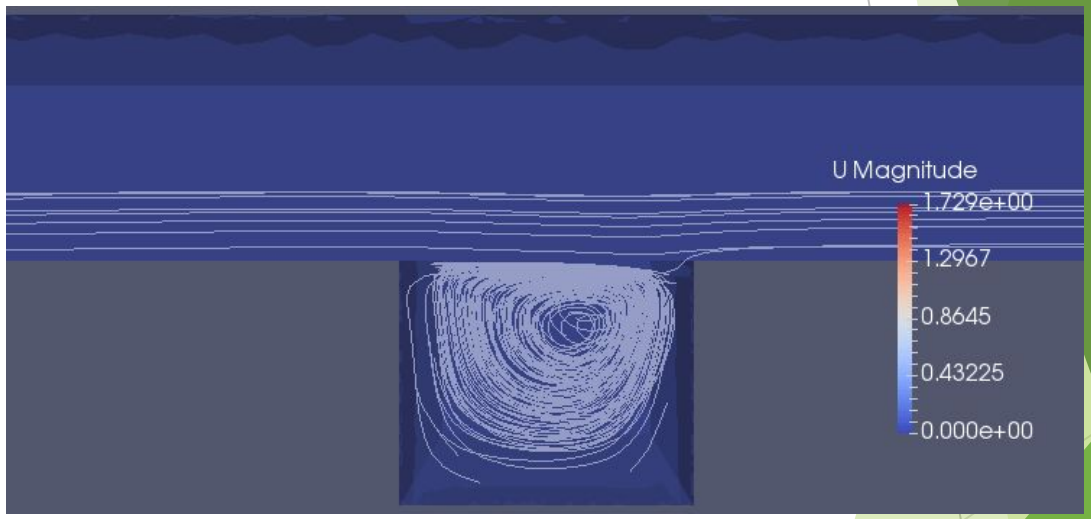
- Рис. 13 – результат в OpenFOAM

Решение двумерных и трёхмерных модельных задач и сравнение результатов

- «Течение в канаве», трёхмерное ламинарное течение



- Рис. 14 – результат в Elmer FEM



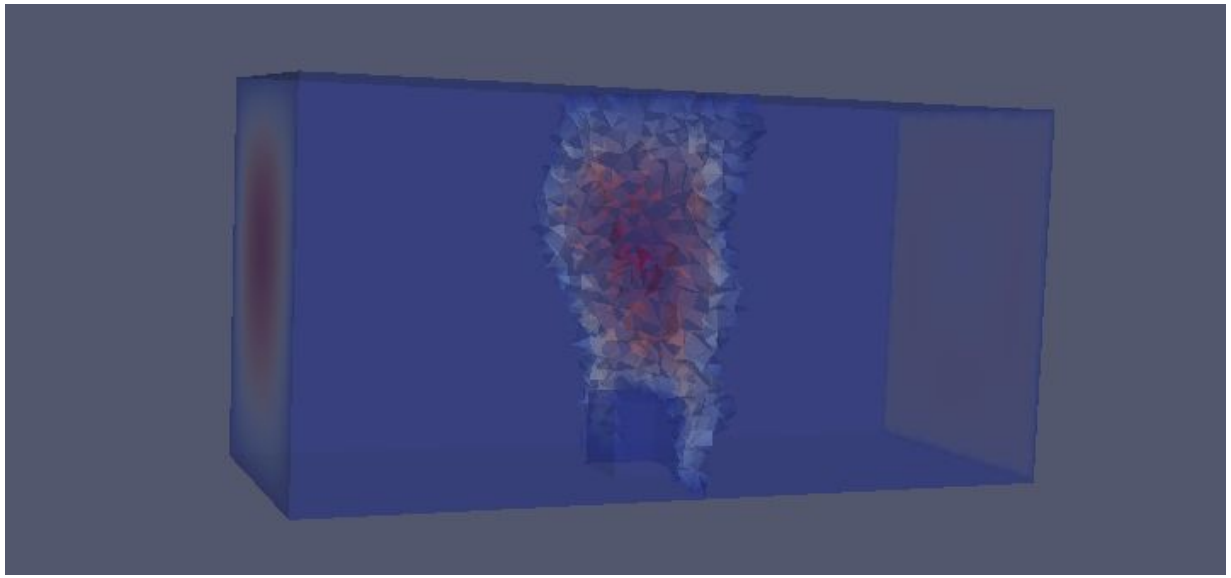
- Рис. 15 – результат в OpenFOAM

Изучение дополнительных возможностей комплекса Elmer FEM

- Был проведён ряд расчётов модельных задач в двумерном и трёхмерном случаях, но исследование комплекса на этом не закончилось. Так, например, в Elmer FEM зашита поддержка параллельной технологии MPI. Она задействуется для разделения сетки и распараллеливания расчёта с целью экономии времени, когда расчётная область довольно большая, а сетка слишком мелкая.

Изучение дополнительных возможностей комплекса Elmer FEM

- При визуализации расчёта в ParaView будет заметно склеивание расчётной области, т.к. при параллельном решении задачи каждая отдельная часть сетки считается независимо от остальных, а при визуализации все они объединяются, что и показывает ParaView.



- Рис. 16 – склеивание расчётной области в ParaView

Изучение дополнительных возможностей комплекса Elmer FEM

- Ниже приведены замеры времени при последовательном и параллельном (на 2 процессорах) решении задач:

Тип задачи	Количество узлов	T(последовательно)	T(параллельно)
«Течение с уступа», трёхмерное ламинарное течение	2326	1 час 22 мин	25 мин
«Течение в канаве», трёхмерное ламинарное течение	8816	9 час 23 мин	8 час 53 мин
«Обтекание куба», трёхмерное ламинарное течение	22770	10 час 16 мин	6 час 45 мин

- На основе таблицы можно с уверенностью сказать, что при распараллеливании задач появляется выигрыш по времени, однако не всегда значительный.

Результаты работы

- Произведено ознакомление с комплексами Elmer FEM и OpenFOAM
- Сгенерированы двумерные и трёхмерные сетки для этих комплексов
- Произведён ряд вычислений модельных задач в двухмерном и трёхмерном случаях в обоих комплексах и сравнил результаты
- Опробована технология распараллеливания расчётов и приведены результаты в виде замеров времени

Спасибо за внимание!