

Обзор программы ParaView для визуализации результатов вычислений на примере задач из OpenFOAM

1 Введение

Программа ParaView предназначена для визуализации результатов вычислений. Её разработкой занимается компания «Kitware» совместно с национальной лабораторией Лос-Аламоса (США) уже более 20 лет. Эта программа достаточно популярна, например, она используется для визуализации данных в библиотеке OpenFOAM. Но интерфейс ParaView, а также большинство пособий, посвященных этой программе написаны на английском языке. Для русскоязычных пользователей это обстоятельство может стать проблемой.

Этот документ можно считать кратким руководством по использованию программы ParaView. Здесь написано, как с помощью ParaView выполнять основные действия, которые важны при визуализации результатов вычислений. Несмотря на количество страниц, текстовые описания здесь используются в максимально сжатой форме, в основном тут много изображений. С помощью содержания можно легко найти описание нужной функции.

Среди руководств по использованию ParaView можно порекомендовать инструкцию от разработчиков [1], она не большая, но содержит все важные сведения для пользователя. Также на сайте ParaView есть раздел с документацией [2]. Специально для пользователей OpenFOAM есть раздел в документации [3], посвященный обработке данных в ParaView.

Содержание

1	Введение	2
2	Графический интерфейс ParaView	4
2.1	Основной принцип работы в ParaView	4
2.2	Первые действия при запуске	4
2.3	Главные элементы управления в графическом режиме	5
2.4	Изменение отображения с помощью мыши	5
3	Одномерная стационарная задача.	6
3.1	Фильтр plot over line	7
3.2	Фильтр calculator	9
3.3	Фильтр thersold	11
4	Двумерная стационарная задача	12
4.1	Фильтры stream tracer и tube	12
4.2	Фильтр glyth	14
5	Трёхмерная стационарная задача.	16
5.1	Фильтры clip и slice	16
5.2	Фильтр contour	18
6	Внешняя нестационарная задача	20
6.1	Выделение части области	20
6.2	Переход между временными слоями	21
7	Задача о смешивающихся жидкостях	23
7.1	Настройки анимации в ParaView	24
7.2	Сохранение данных (изображение, анимация, состояние программы)	25

2 Графический интерфейс ParaView

2.1 Основной принцип работы в ParaView

Один из основных принципов организации работы в ParaView состоит в следующем. Пользователь загружает расчётные данные. Кроме непосредственного графического отображения этих данных из них можно извлечь дополнительную информацию. Например, если загружены значения температуры в некоторой области, то из этой информации можно построить поверхности уровня поля температуры. Для дополнительных преобразований данных и получения новой информации в ParaView предусмотрены так называемые **фильтры**. Идея в том, что фильтр применяется к набору данных и даёт новый набор данных. Его можно визуализировать, либо применить к нему другой фильтр. Таким образом, технология применения фильтров позволяет по исходным данным получать новые, а это даёт возможность получить больше информации о ходе смоделированного процесса.

2.2 Первые действия при запуске

После запуска программы пользователь видит «свободную рабочую область». Первое действие перед началом работы это загрузка данных. На рис. 1 схематично показаны действия, которые нужно выполнить, чтобы загрузить данные.

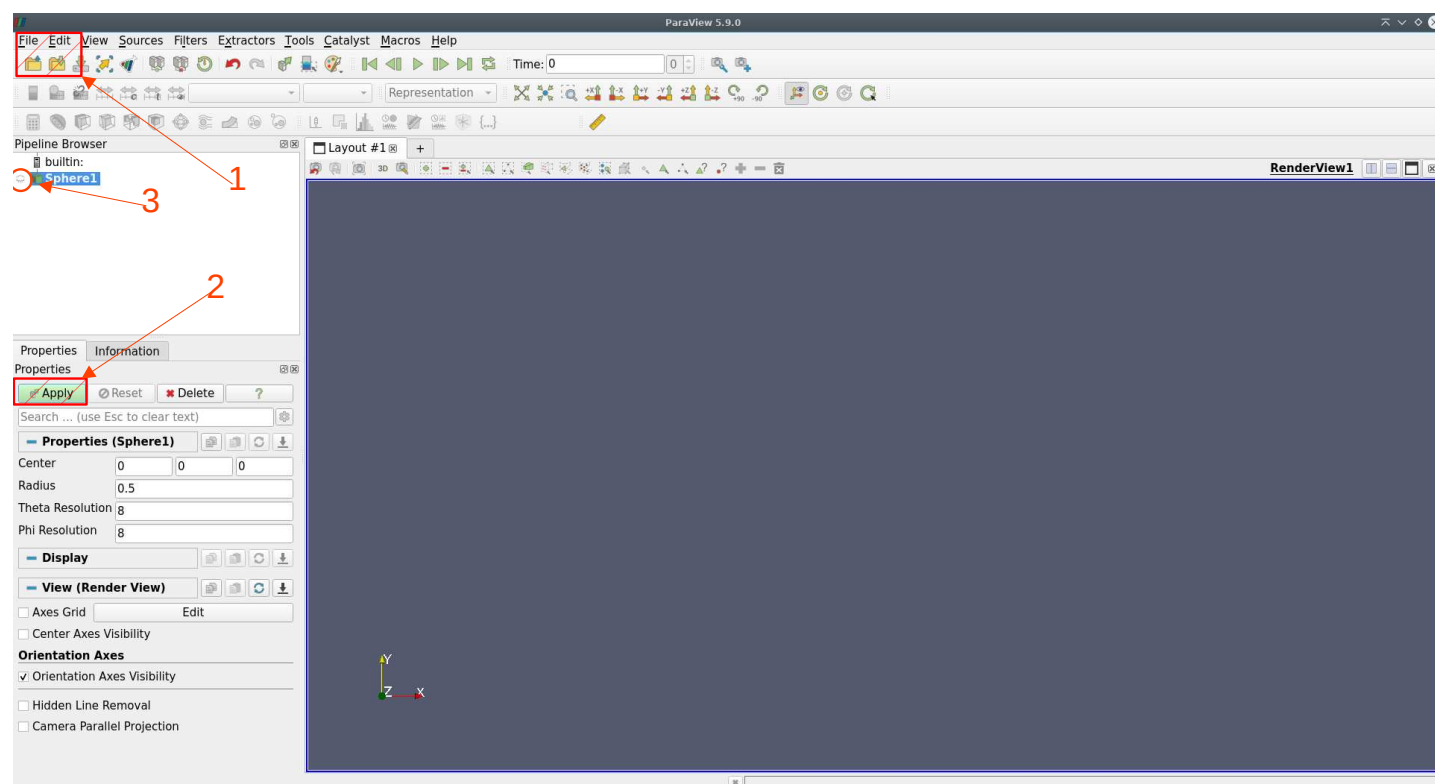


Рис. 1. Начальный экран после запуска ParaView

- 1 — загрузка данных
- 2 — подключение данных
- 3 — показать/скрыть данные

Подробнее последовательность действий для загрузки данных можно описать так.

1. Нажать на кнопку **file** или на соответствующий значок для того, чтобы открыть файловый менеджер и выбрать нужные файлы.
2. После загрузки данных нужно в разделе **properties** **обязательно** нажать кнопку **Apply**.
3. Если рабочая область по-прежнему пуста, то нужно сделать данные видимыми. Для показа/скрытия данных используется кнопка, которая выделена красным кружком.

*Чтобы визуализировать данные из OpenFOAM нужно из директории с «задачей» запустить команду **paraFoam** в терминале.*

2.3 Главные элементы управления в графическом режиме

На самом деле графический интерфейс ParaView разработан таким образом, чтобы быть интуитивно понятным, изображения большинства кнопок «говорят сами за себя». Часто можно получить краткое описание того или иного элемента, если навести на него курсор мыши. Тем не менее полезно подробнее описать основные элементы интерфейса ParaView. Они показаны на рисунке 2.

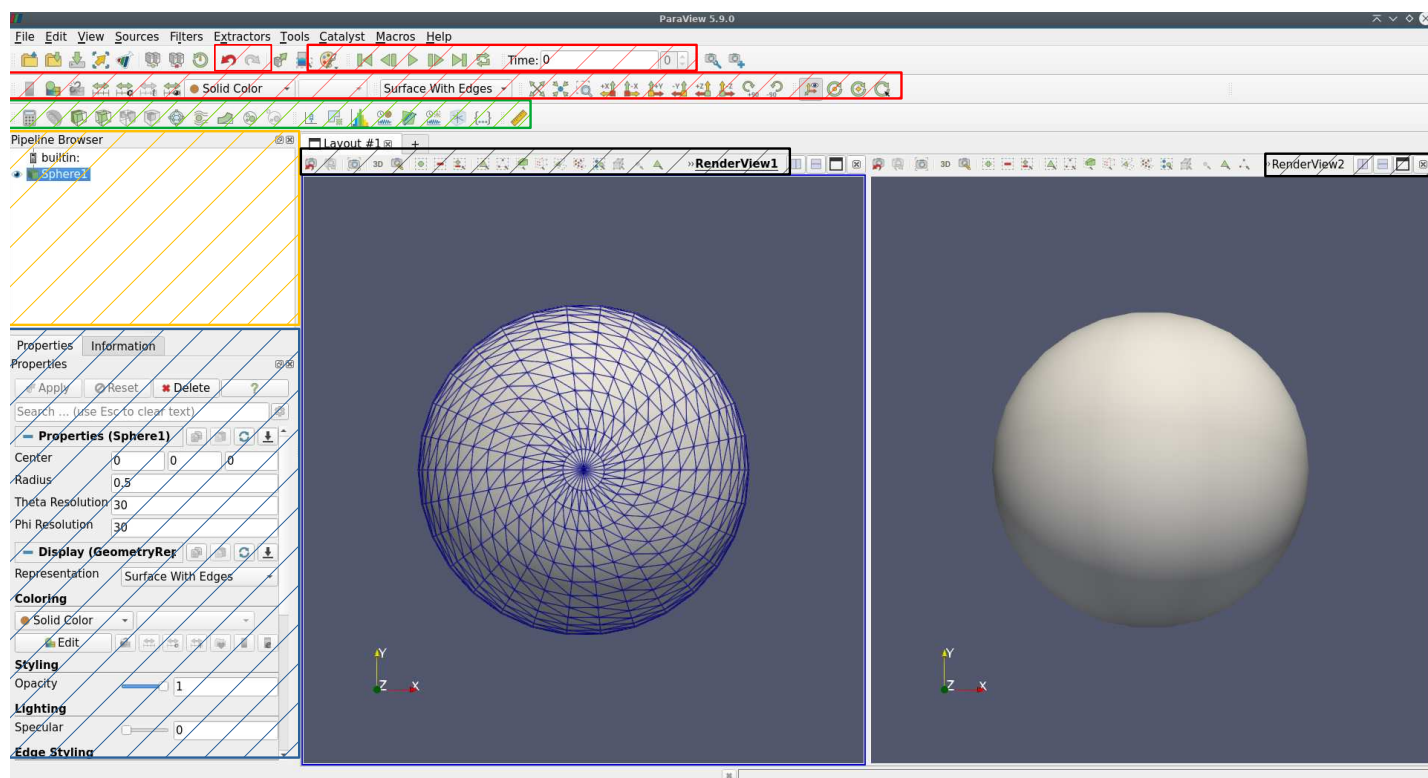


Рис. 2. Основные элементы интерфейса в ParaView
группы кнопок выделены цветами

Условно кнопки в ParaView можно разделить на группы, каждая из которых выделена отдельным цветом.

Рабочая область занимает большую часть экрана, в ней отображаются результаты визуализации данных. В данном случае область разделена вертикальной чертой на две части. В них разными способами отображается стандартный геометрический объект — сфера¹.

Красная группа отвечает за манипуляцию над данными в пространстве и времени. Там есть кнопки, позволяющие переходить между временными слоями и вращать объект в пространстве. Также в эту группу входят: отмена/возврата действия (красная/серая стрелки), выбор цвета фона (палитра), способ отображения (Solid Color, Surface With Edges). Можно разными способами отображать данные, некоторые примеры будут показаны далее.

Зелёная группа это наиболее распространённые фильтры. Весь список фильтров можно найти в разделе **Filters**.

Желтым выделена область «менеджера данных». В данном случае там представлен только один объект — сфера (Sphere1). Результат работы любого фильтра это новый набор данных, все данные отображаются в этом поле. Переключение между ними делается с помощью мыши.

Синим выделена область, в которой обычно отображаются либо *параметры/настройки* фильтра, либо там можно найти *информацию* об объекте.

Чёрным выделены кнопки, предназначенные для настройки графического отображения данных. В частности, с их помощью можно переключать режимы 2D/3D, разделять экран по вертикали/горизонтали, выделять нужную область объекта.

2.4 Изменение отображения с помощью мыши

При обработке данных бывает нужно рассмотреть объект с разных сторон, какие-то его части «приблизить» и так далее. Такие действия выполняются с помощью мыши.

Чтобы вращать объект произвольным образом нужно **зажать левую** кнопку мыши и двигать мышь, пока не будет получен желаемый результат.

Приближать или отдалять точку обзора можно двумя способами. Во-первых **вращением колесика** мыши, вращение от себя приближает, а на себя отдаляет. Во-вторых **удерживанием правой** кнопки мыши. Когда эта кнопка зажата изменять масштаб можно движением мыши.

Иногда объект бывает слишком большим и поэтому не помещается целиком на экране. Чтобы перейти в режим

¹Элементарные геометрические примитивы встроены в ParaView. Их можно найти во вкладке **Sources**, расположенной в самой верхней части экрана.

смещения «точки обзора» относительно неподвижного отображаемого объекта, нужно **зажать колесико** мыши, само перемещение делается движением мыши с зажатым колесиком.

3 Одномерная стационарная задача.

Для первого примера выбрана задача о стационарном распространении тепла в тонком стержне. Создание сетки и расчёт скалярного поля температуры были сделаны с помощью OpenFOAM. Получен набор числовых значений в центральных точках контрольных ячеек. Основной расчётной величиной было поле температур.

Скалярные поля удобно изображать с помощью разных цветов. На рисунке ниже показан результат отображения поля температуры в «стержне». Понять соответствие между цветом и значением можно из легенды.

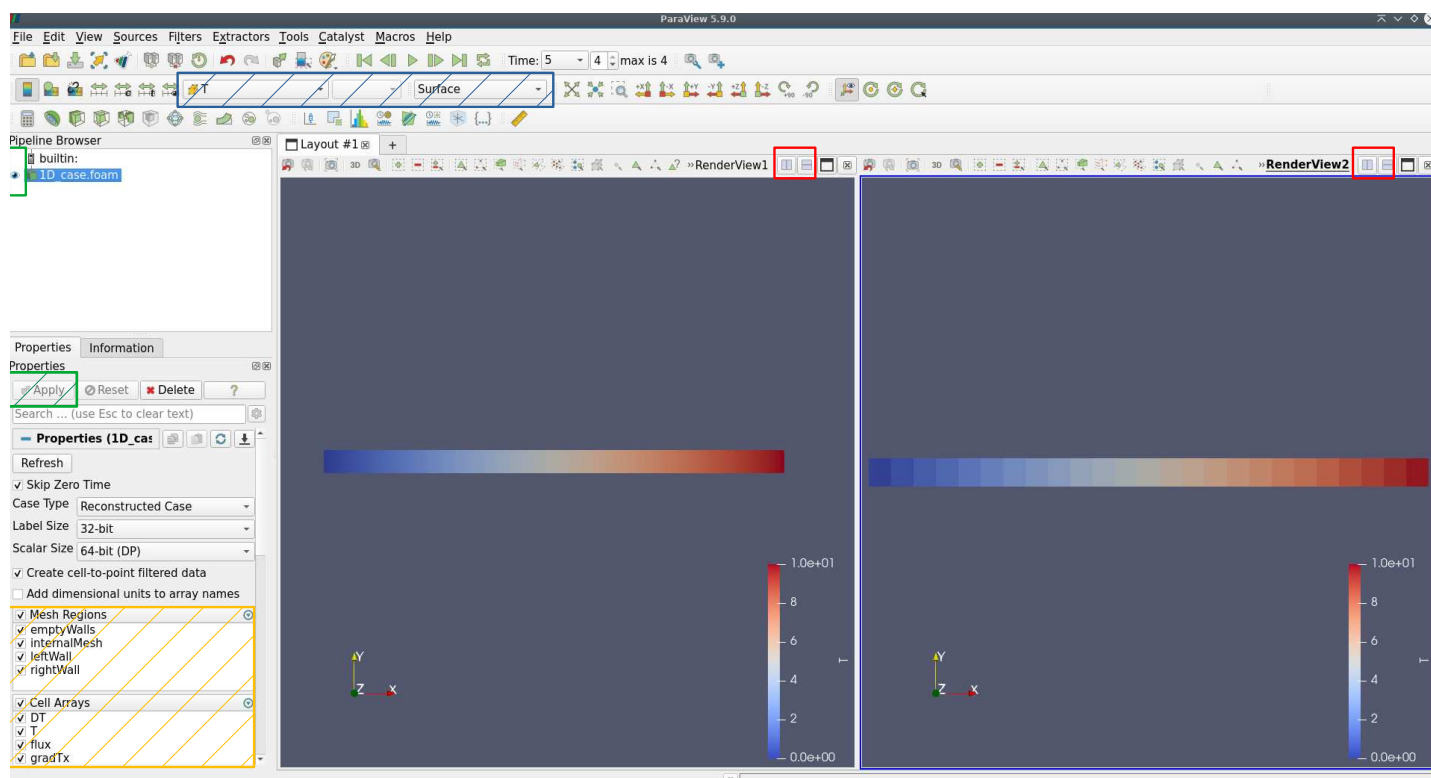


Рис. 3. Визуализация одномерного скалярного поля двумя способами

На рис.3 **желтым** цветом выделен раздел, в котором нужно выбрать области сетки и какие данные загрузить. **Зелёные** кнопки нужно нажимать всегда, чтобы данные стали видимыми. Рабочая область разделена на две части. Разделение вертикальное/горизонтальное можно сделать кнопками, которые выделены **красным**. Здесь показана разность между двумя режимами отображения скалярного поля: *точечным (слева)* и *объёмным (справа)*. На самом деле значения есть только для центров ячеек, поэтому справа для каждой ячейки выбран цвет в соответствии со значением температуры в центре. Слева же картинка более «гладкая», потому что для отображения используется аппроксимация между соседними значениями. Выбрать режим отображения можно в области, которая выделена **синей** рамкой.

3.1 Фильтр plot over line

Даже на примере этой задачи удобно показать некоторые фильтры. Первый из них это **plot over line**. Он позволяет отображать значения заданной величины вдоль направленного отрезка. Получается двумерный график, причём «независимой» переменной можно выбрать другую величину. Здесь показано, как построить график зависимости температуры T от координаты x .



Рис. 4. Кнопка для фильтра **plot over line**, находится в зелёной области на рис.2

Настройка любого фильтра выполняется в разделе «**properties**» (желтая область на рис.2). В данном случае сначала нужно задать расположение отрезка рис.5. Потом нужно выбрать переменные для построения графика, там же можно выбрать цвета линий, эта настройка показана на рис.6. Параметр «**X Array Name**» отвечает за выбор *независимой* переменной. На графике отображаются значения выбранных величин (раздел «**Series Parameters**») соответственно каждому значению параметра, указанного в «**X Array Name**» вдоль проведённого отрезка.

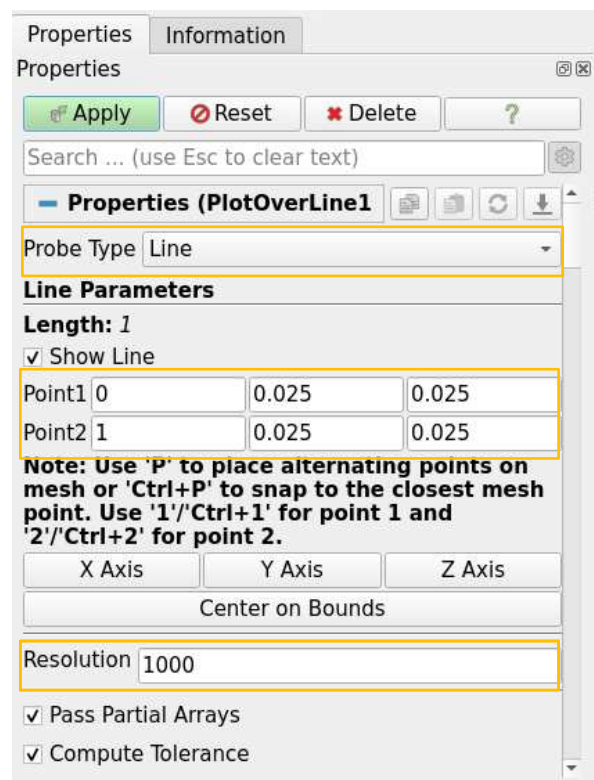


Рис. 5. Выбор расположения отрезка

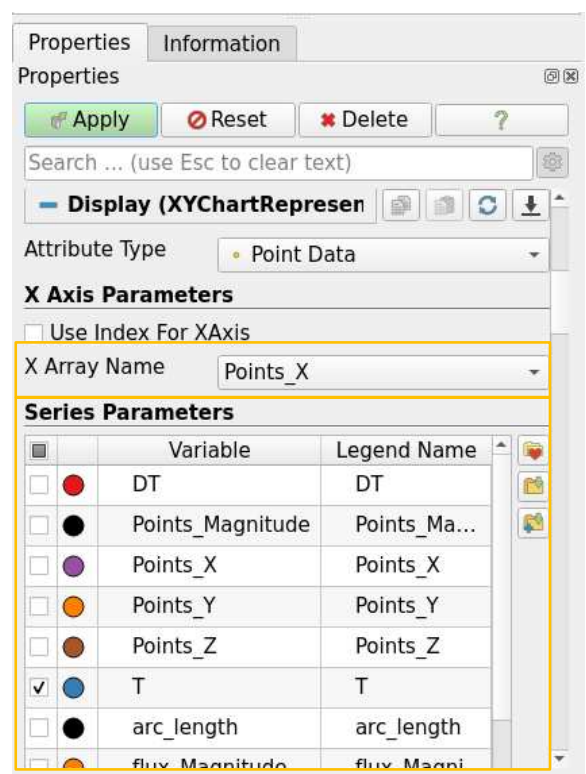


Рис. 6. Настройка построения графика

Далее об этом не будет сказано явно, но **всегда** нужно нажимать кнопку «**Apply**», чтобы действие **вступило в силу**.

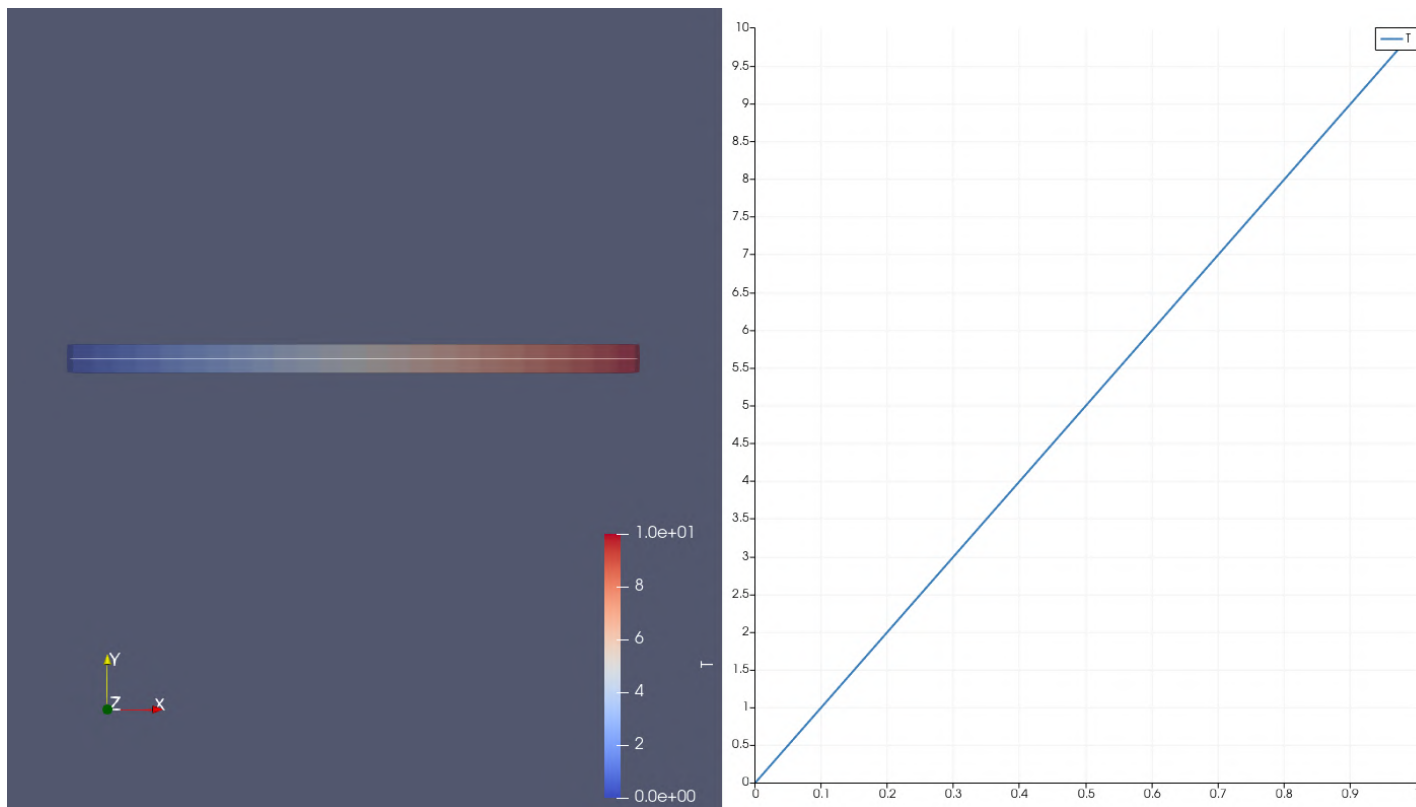


Рис. 7. Результат применения фильтра `plot over line`.
Получена зависимость температуры T от координаты x .

3.2 Фильтр calculator

В ParaView можно создать новые данные для заданной области. Это делается фильтром **calculator**. Такая возможность может быть полезна, например, для расчёта погрешностей, если известно аналитическое выражение для точного решения. Нужно заметить один недостаток этого фильтра, это поле для ввода выражения, оно достаточно маленькое.



Рис. 8. Кнопка для фильтра calculator, находится в зелёной области на 2

Здесь настройка состоит в выборе названия для новой величины и записи выражения в разделе properties, в запись могут входить другие величины. Например, скалярные поля или значения координат точек.

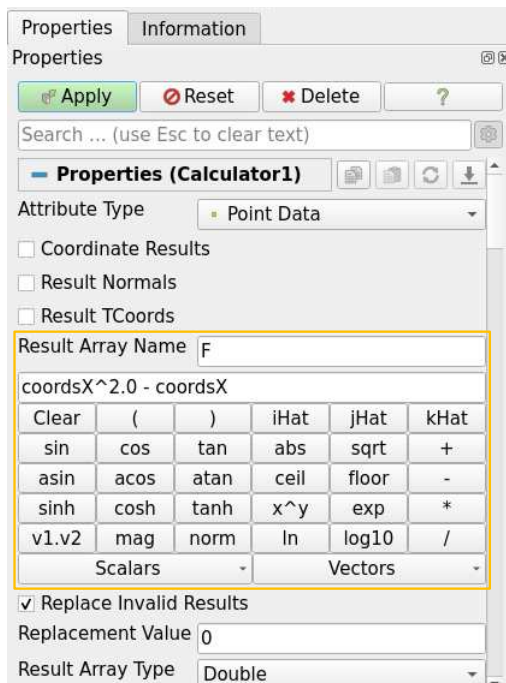


Рис. 9. Параметры фильтра calculator

В пользовательской формуле можно использовать загруженные числовые значения, например параметры сетки (это здесь и использовалось $\text{coordX} \equiv x$), другие скалярные или компоненты векторных полей.

Кроме применения фильтра `calculator` здесь удалось показать «основной принцип» ParaView. Сначала с помощью фильтра `calculator` получились новые данные, а потом для большей наглядности к *этим значениям* был применён фильтр `plot over line`.

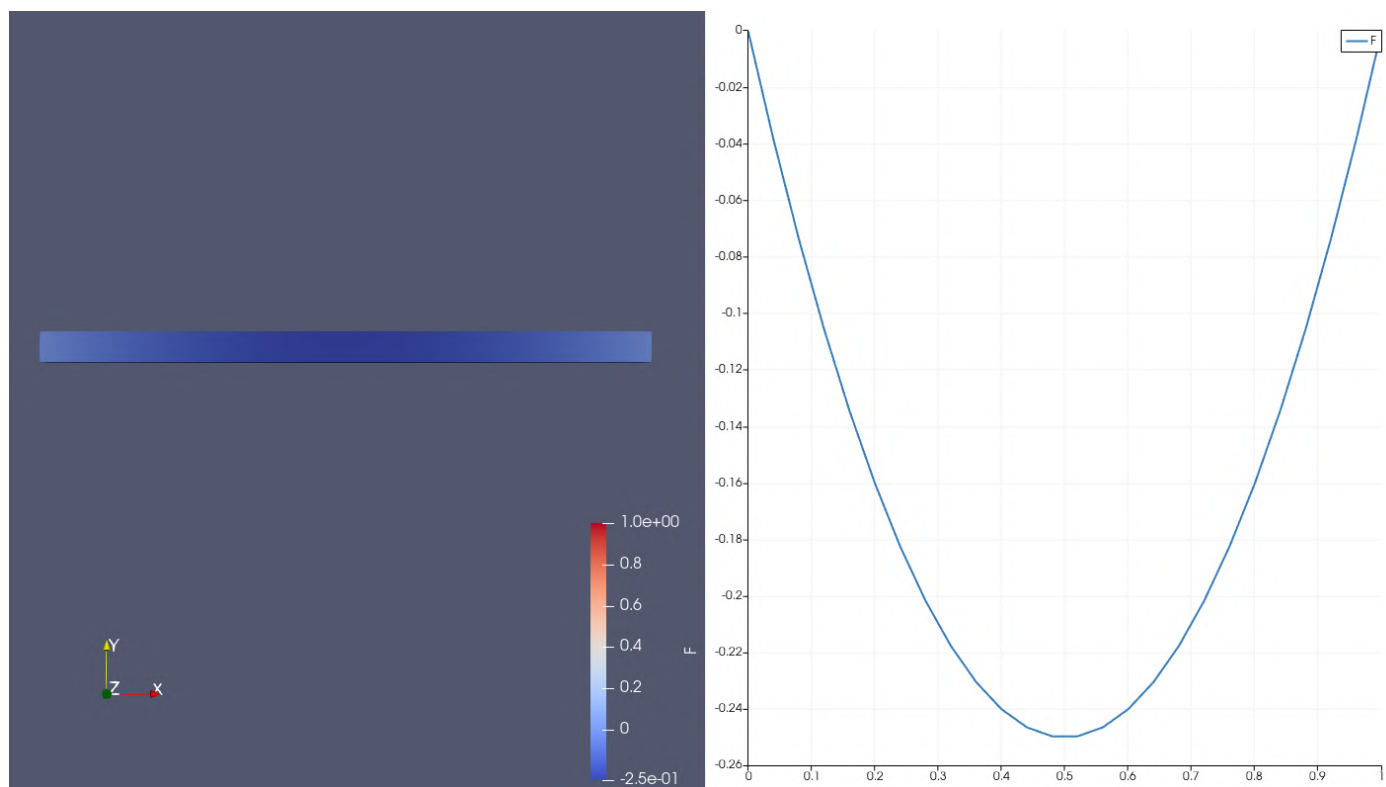


Рис. 10. Результат применения фильтра `calculator`, поле F получено по формуле $F(x) = x^2 - x$

3.3 Фильтр thersold

Используется, когда нужно выделить (оставить) множество ячеек, в котором выбранное скалярное поле лежит в заданных пределах.



Рис. 11. Кнопка для фильтра `thersold`, находится в зелёной области на рис.2

В данном случае главные опции это скалярное поле (здесь T) и границы диапазона значений. На рисунке ниже показан результат применения этого фильтра, рамкой цветами выделены кнопка фильтра и область с настройками.

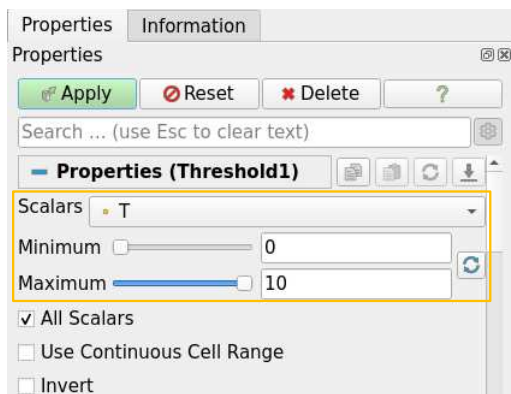


Рис. 12. Главные параметры фильтра `thersold`

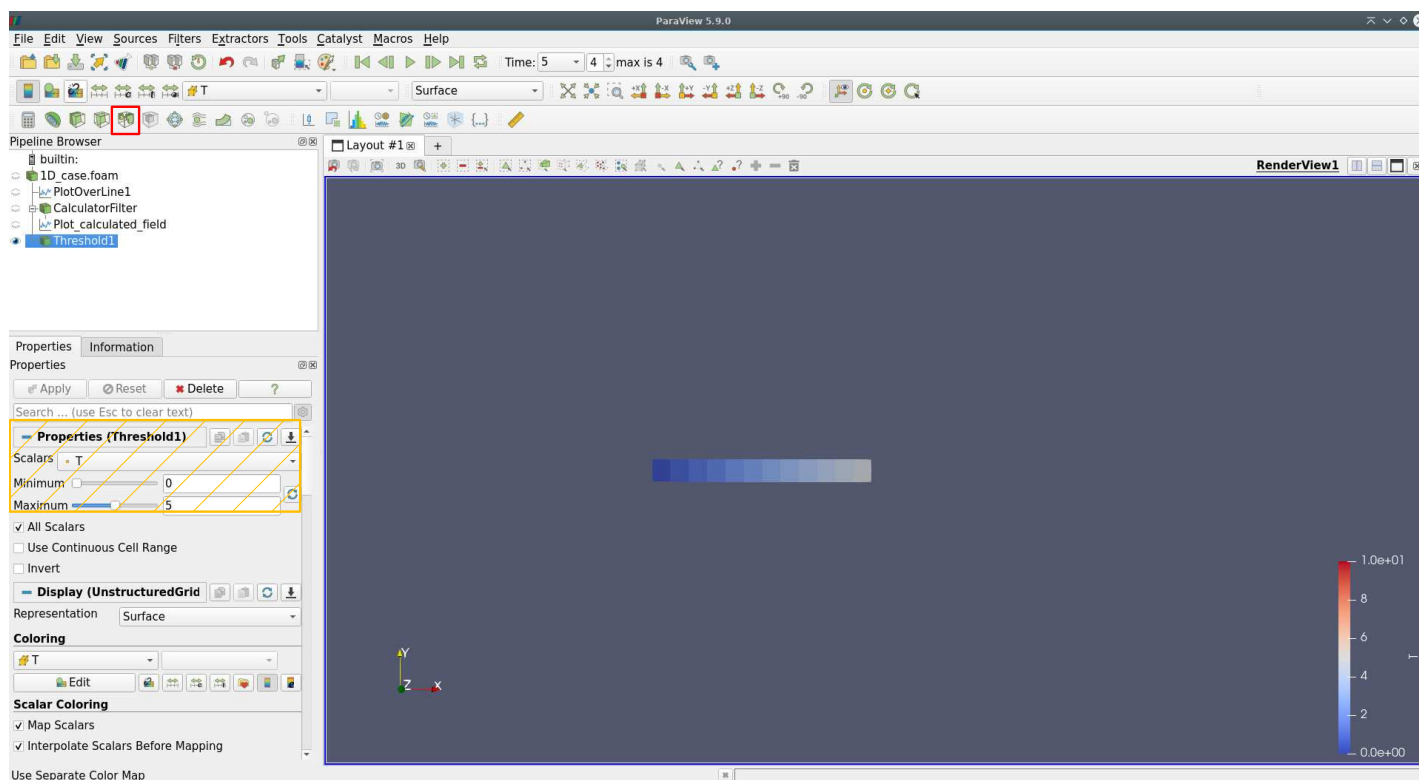


Рис. 13. Результат применения фильтра `thersold`, диапазон для представленных значений T равен $[0; 5]$

4 Двумерная стационарная задача

Другие возможности ParaView можно показать на одной из стандартных демонстрационных задач OpenFOAM². Она двумерная, расчётная область это прямоугольник. Его верхняя сторона движется с постоянной скоростью, чем провоцирует движение жидкости внутри прямоугольника, со временем поле течения и давления выходят на стационарный режим.

4.1 Фильтры stream tracer и tube

Фильтр **stream tracer** применяют для построения *линий тока*. А **tube** используется только для наглядности, т.к. линии от **stream tracer** получаются тонкими, **tube** делает их более заметными. Линии тока строятся для *безмассовых* частиц, находящихся в заданной области (отрезок или шар).



Рис. 14. Кнопка для фильтра **stream tracer**, находится в зелёной области на рис.2

Опции фильтра **stream tracer**. Сначала нужно выбрать ориентирующее векторное поле. Затем указать параметры интегрирования. Направления: «Вперед», «Обратно», «Оба» доступно 3 варианта метода Рунге-Кутты 2-3, 4 и 4-5 порядков точности, макс/мин длина приращения и другие параметры. Наконец, нужно установить область расположения частиц: вдоль отрезка «line» или сферы «sphere» и их плотность «Resolution». Параметры фильтра **tube** сводятся к выбору радиуса трубок и их «гладкости».

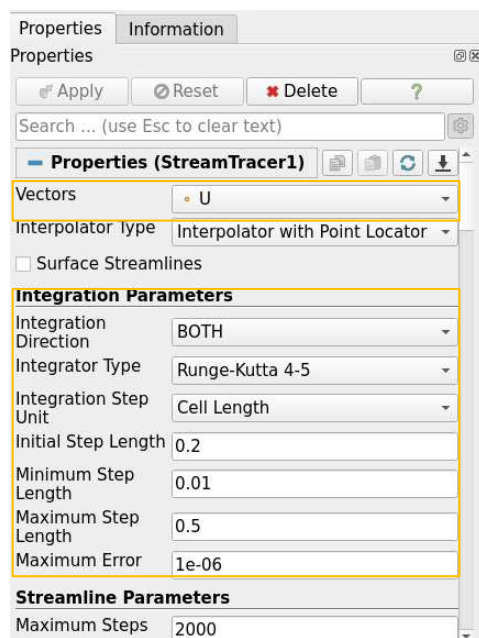


Рис. 15. Настройка фильтра **stream tracer**

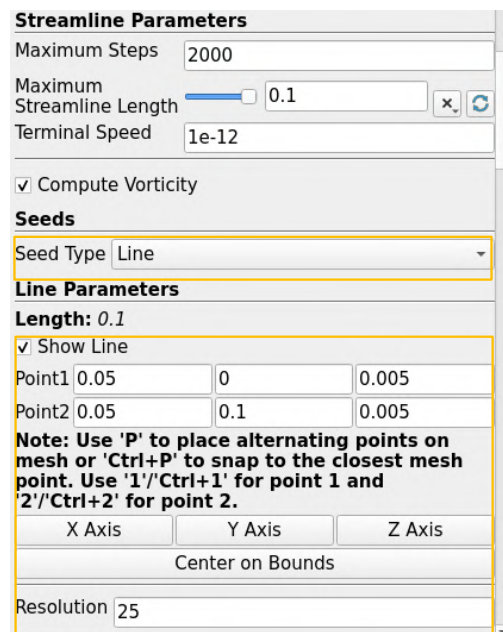


Рис. 16. Настройка фильтра **tube**

²Задача называется «cavity» и расположена в директории \$FOAM_TUTORIALS/incompressible/icoFoam/cavity/cavity

Для параметров: направление в обе стороны, метод Рунге-Кутты 4-5 порядка точности, плотность точек 100 и они расположены вдоль вертикальной оси по середине, получаются линии тока, изображенные на рисунке ниже. Как

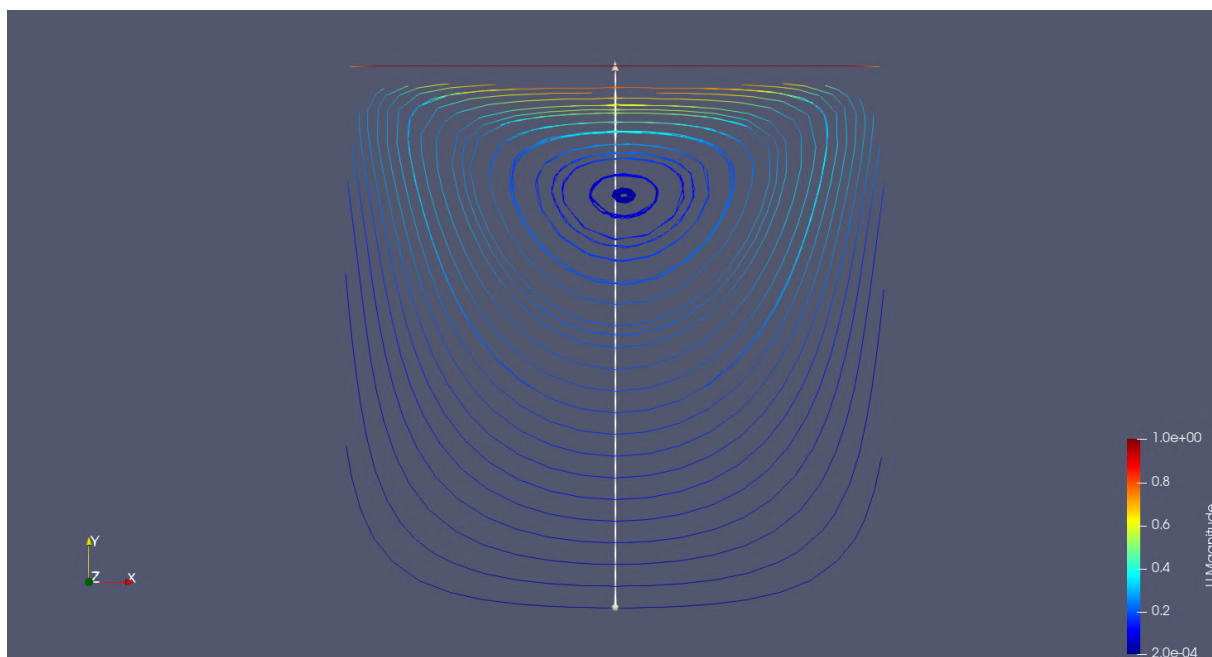


Рис. 17. Результат применения фильтра **stream tracer**

можно видеть линии получаются тонкими. Чтобы их сделать более различными нужно использовать фильтр **tube**. Он не входит в основной список, поэтому нужно использовать поиск во вкладке Filters. Конечно, **tube** применяется данным сгенерированным фильтром **stream tracer**.

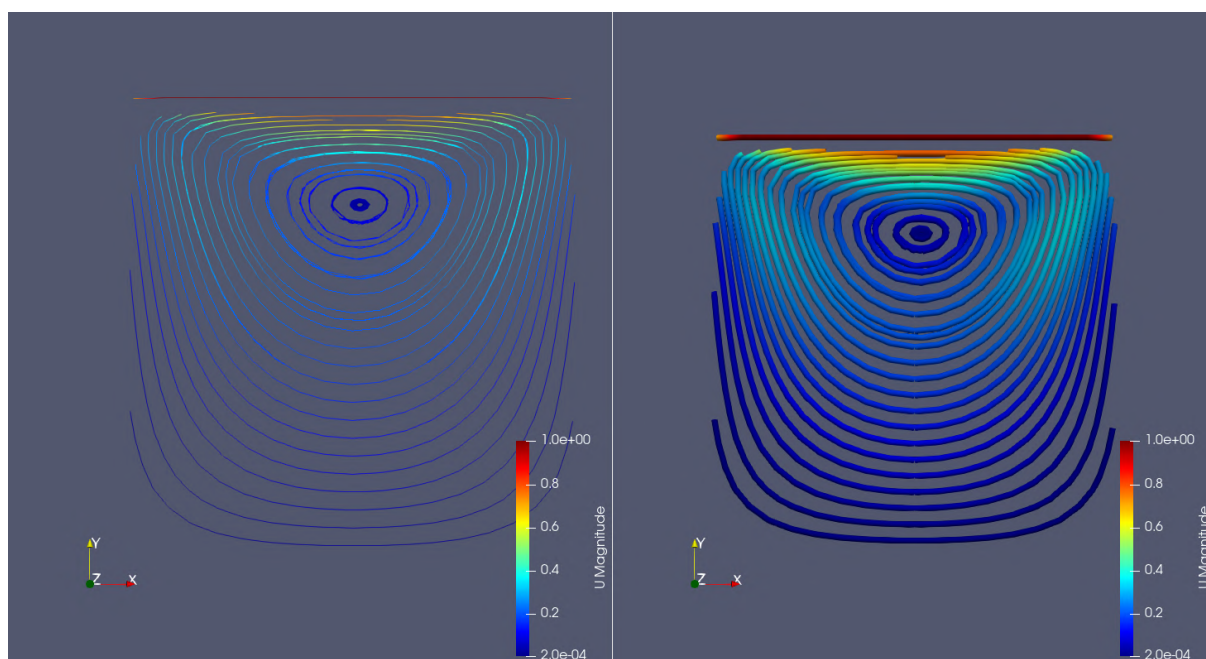


Рис. 18. Результат применения фильтра **tube** (справа) к результату **stream tracer** (слева)

4.2 Фильтр glyph

Данный фильтр можно использовать для отображения векторных величин в «привычном» виде. По умолчанию векторные величины отображаются в «скалярной форме», то есть можно в виде цвета видеть одно из четырёх скалярных полей: модуль, или одну из компонент. Фильтр **glyph** на самом деле строит некоторое геометрическое тело из каждой точки расчётной области³. Этим телом может быть «ориентированная стрелочка». В настройках можно задать ориентирующее векторное и масштабирующее скалярное поле. В результате получится визуализация векторного поля.



Рис. 19. Кнопка для фильтра **glyph**, находится в зелёной области на рис.2

В настройках нужно выбрать ориентирующее векторное поле, масштабирующее векторное поле, а также распределение точек начала векторов, для распределения есть 4 варианта, здесь выбрано «каждая 2 точка».

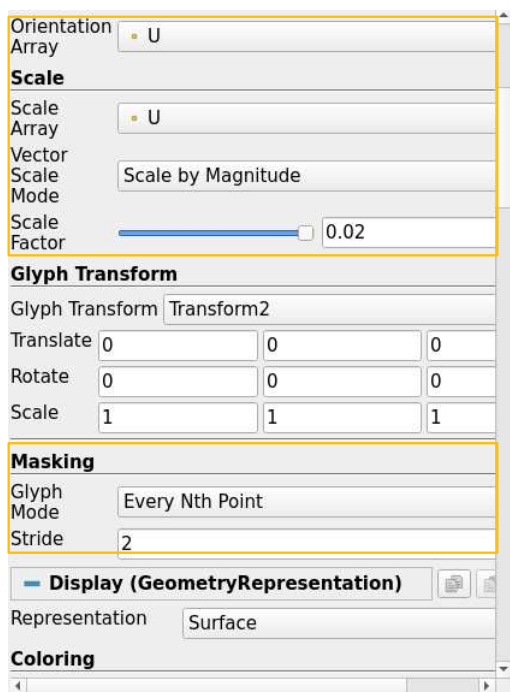


Рис. 20. Настройки фильтра **glyph**

³Здесь подразумеваются центры контрольных ячеек.

В данном случае ориентирующим полем было выбрано поле \mathbf{U} скорости течения жидкости, а масштабирующим был модуль скорости. Результат показан на рис.21

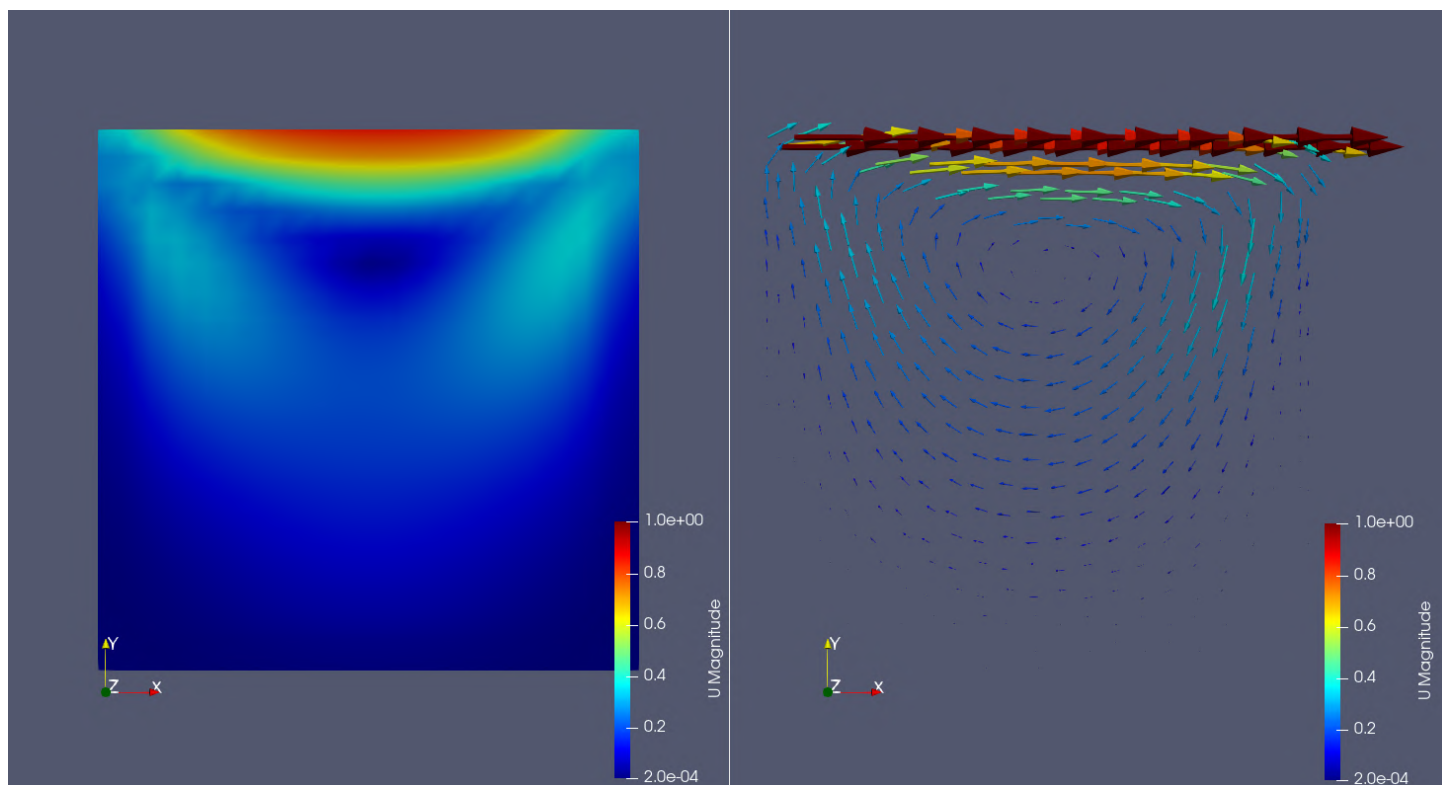


Рис. 21. Результат применения фильтра `glyph`

Таким образом, данный фильтр может быть использован для визуализации векторных полей. На рис. (17, 18, 21) изменена стандартная цветовая палитра. Это делается изменением параметра «**choose preset**» его можно найти в разделе «**properties**» секция «**Coloring**» (это раздел с настройками любого фильтра).

5 Трёхмерная стационарная задача.

Теперь будет рассмотрена трёхмерная задача. Собственно ParaView разработан именно для таких задач. Демонстрационная задача (сетка и данные) получена с помощью OpenFOAM. Снова стационарная теплопроводность, но в этом случае в шаре единичного радиуса.

5.1 Фильтры clip и slice



Рис. 22. Кнопка для фильтра clip, находится в зелёной области на рис.2



Рис. 23. Кнопка для фильтра slice, находится в зелёной области на рис.2

У фильтра clip из них есть 4 геометрических примитива: плоскость («Plane»), прямоугольный параллелепипед («Box»), сфера («Sphere»), цилиндр («Cylinder»). Каждый из них разделяет пространство на две части. Настройка фильтра этого состоит в выборе геометрического примитива и его размеров.

Здесь в качестве примитива выбрана плоскость и показаны настройки для плоскости (точка и нормальный вектор).

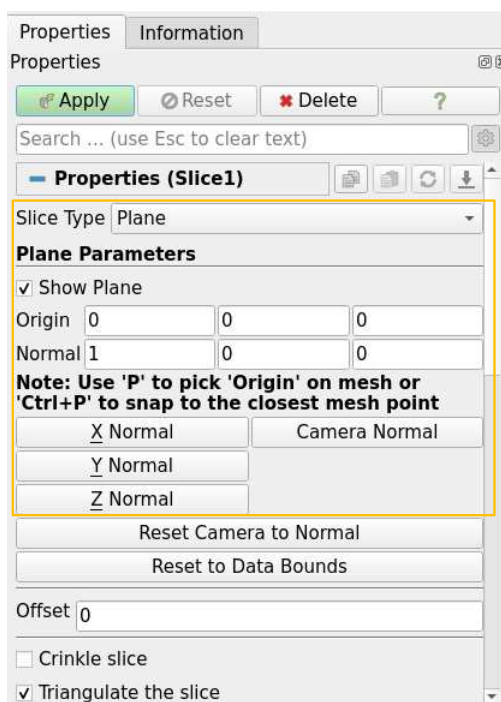


Рис. 24. Настройки фильтра slice

В результате применения фильтра `clip` остаётся только та часть сетки, заключенная в одном из полу пространств, на которые заданная плоскость делит все пространство.

Фильтр `slice` настраивается точно также, но после его применения остаётся часть *пересекающая* с заданным примитивом.

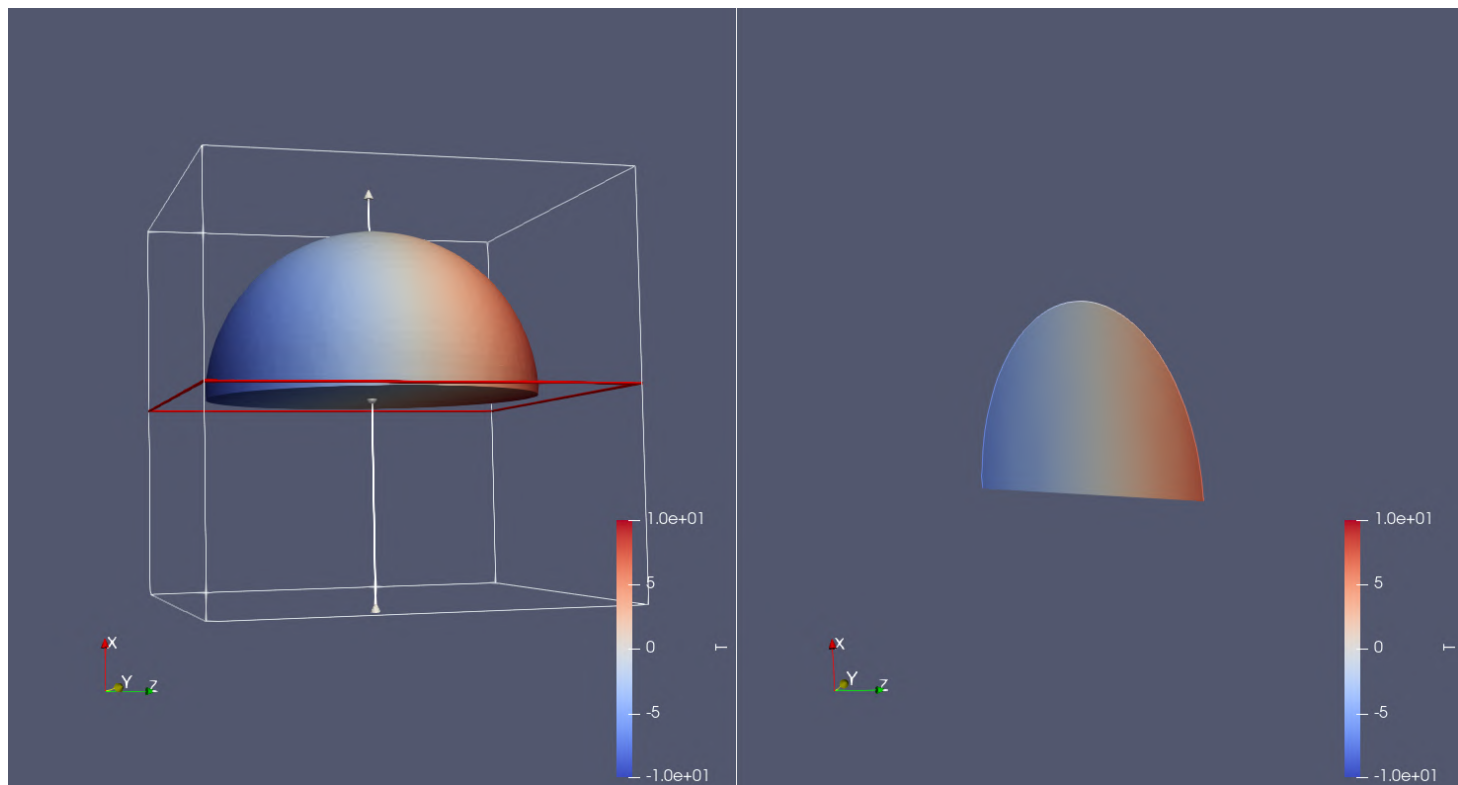


Рис. 25. Результат применения фильтров `clip` (слева), и `slice` повторно к данным от `clip` (справа)

5.2 Фильтр contour

С помощью этого фильтра можно строить поверхности уровня (изо—поверхности).



Рис. 26. Кнопка для фильтра contour, находится в зелёной области на рис.2

Для настройки фильтра contour нужно указать скалярную величину («Contour by»), а также диапазон постоянных значений для построения поверхностей уровня. Значения можно вводить вручную, либо можно использовать «генератор последовательностей» чисел. В генераторе нужно указать верхнюю и нижнюю границы, количество промежуточных значений и метод их распределения (линейный, логарифмический, геометрическая последовательность).

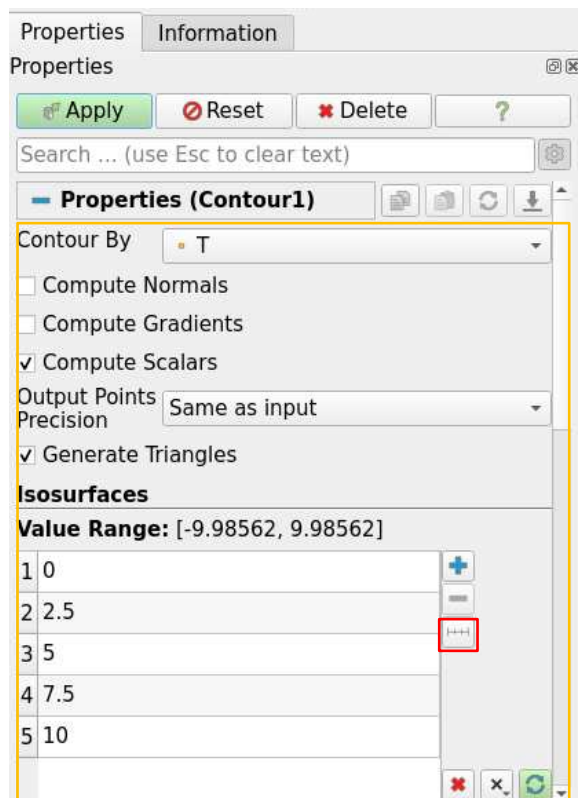


Рис. 27. Настройка фильтра contour

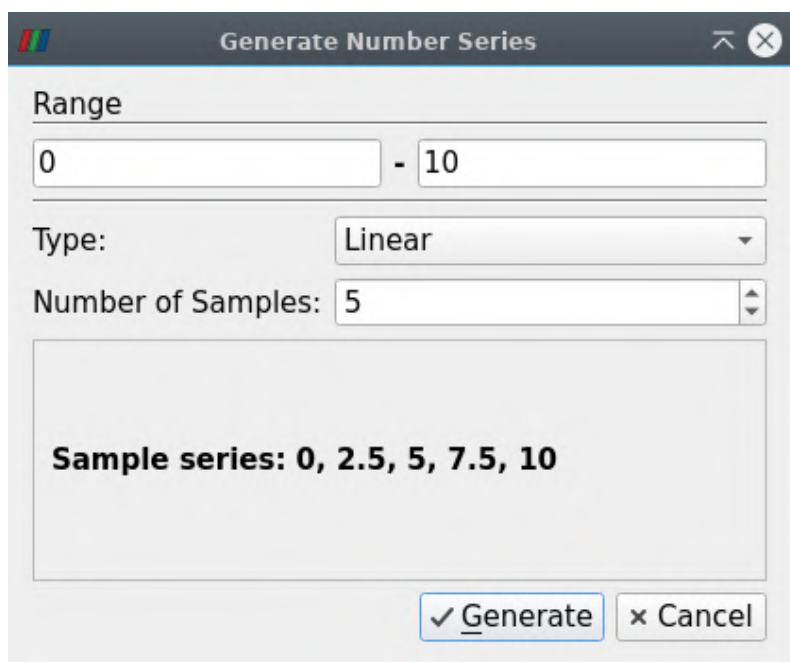


Рис. 28. Настройка генератора последовательностей чисел

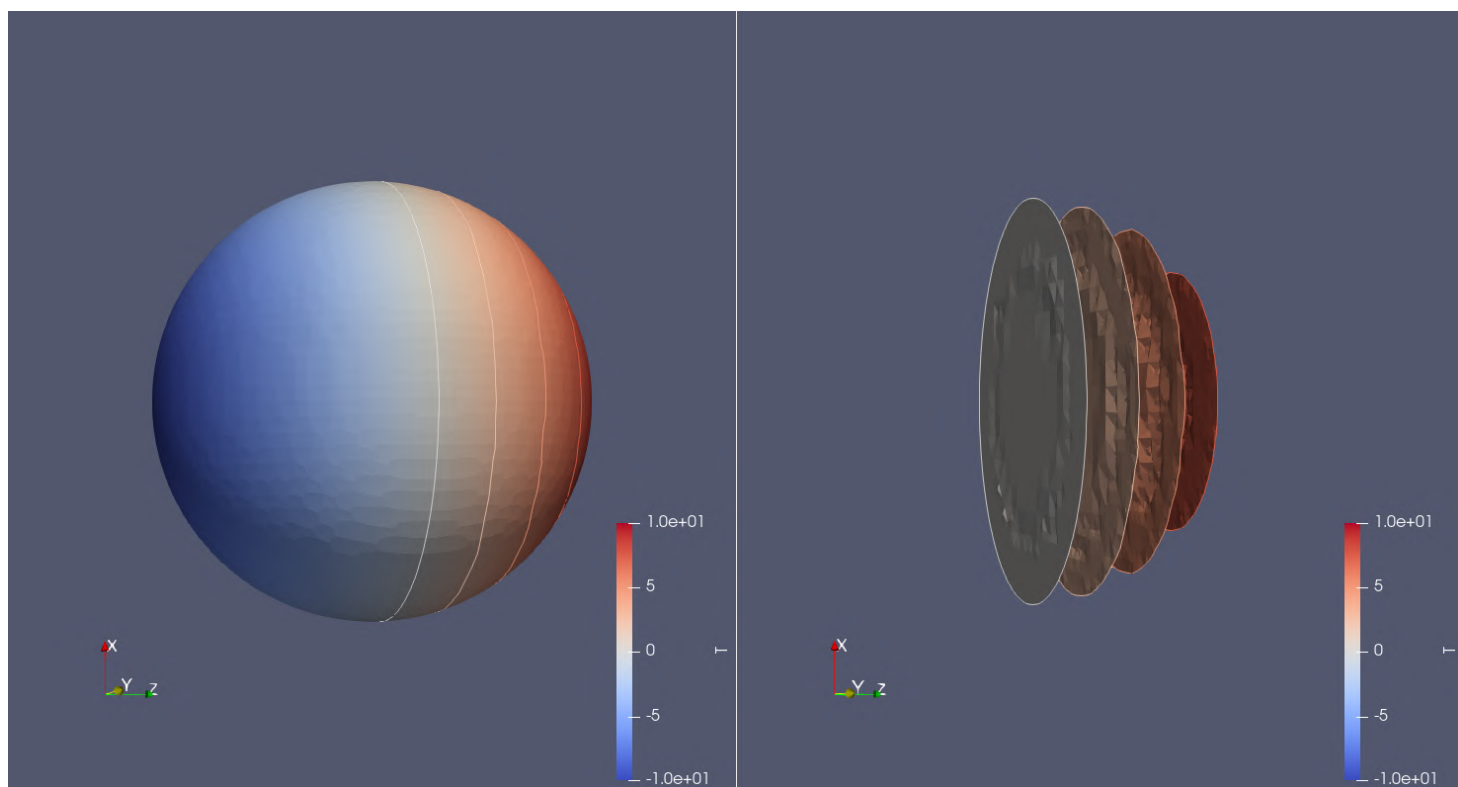


Рис. 29. Результат применения фильтра contour

6 Внешняя нестационарная задача

Рассмотрена *внешняя* задача (двумерная), в которой моделируется обтекание цилиндра жидкостью. Жидкость предполагается несжимаемой, течёт с постоянной скоростью. Основные расчётные величины это скорость \vec{U} и давление p , а расчётная сетка это «достаточно» большая область пространства вне цилиндра (то есть сечение, ведь задача двумерная).

Моделирование выполнено в OpenFOAM задача взята из обучающего примера от компании «WolfDynamics». Презентация с разбором этой задачи в OpenFOAM [4], саму задачу можно найти в архиве [5]. В общем архиве она расположена по пути `0F9/1010F/vortex_shedding/c1`.

Это *нестационарная* задача. Для получения полноценной визуализации нужно уметь переходить от одного временного слоя к другому. Это будет показано далее, а сейчас будет рассмотрена одна полезная вещь.

6.1 Выделение части области

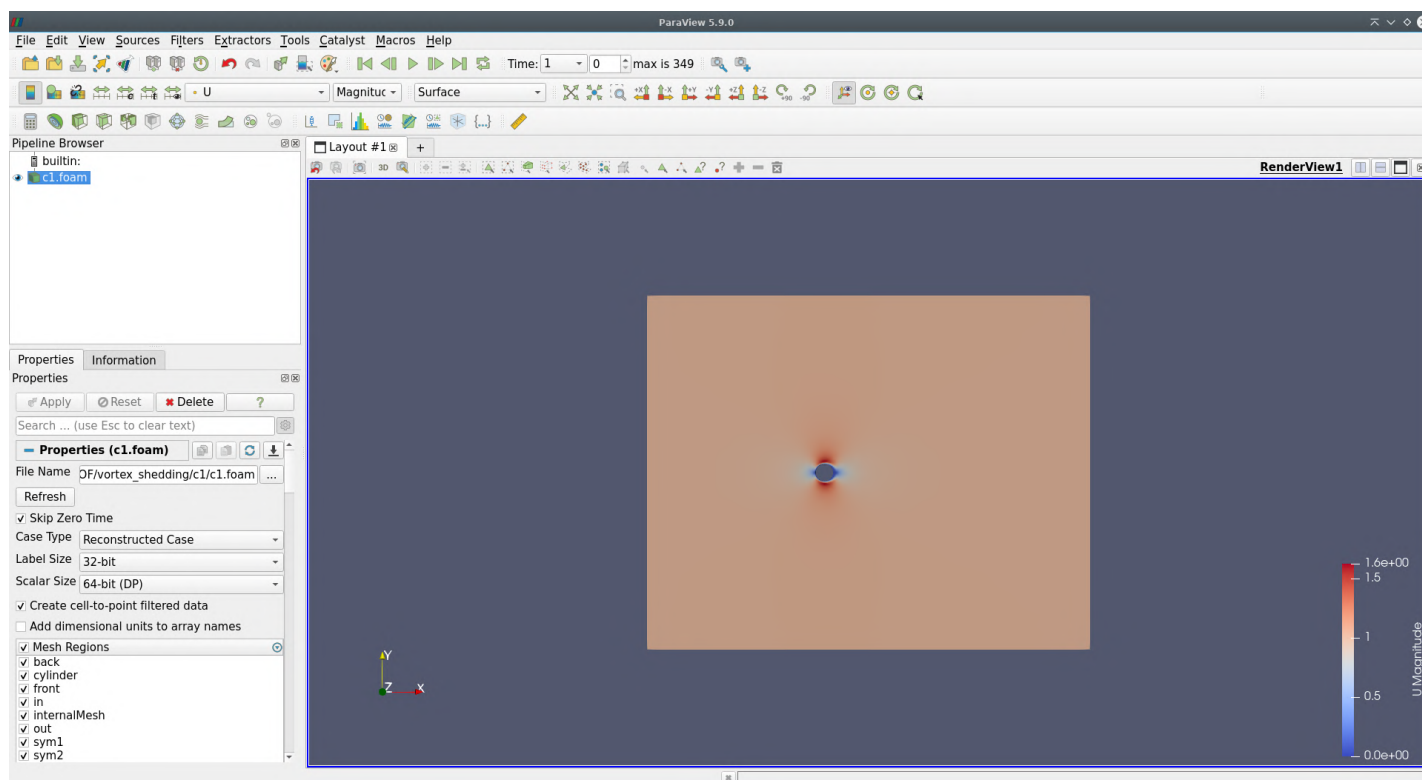


Рис. 30. Пример визуализации внешней задачи, обтекание тела жидкостью, номер временного слоя «1».

Как можно видеть из рис. 30 расчётная область довольно большая. Но, что если в данном случае нужно посмотреть, как происходит процесс не во всей области, а только «рядом» с цилиндром (вырезанная окружность). Это можно сделать в ParaView.

В области кнопок для *графического отображения данных* (чёрный цвет на рис. 2, стр.5) нужно выбрать «средство выделения ячеек» (**Select Cells Through**). Нужная кнопка показана рис.31.



Рис. 31. Красным выделена кнопка **Select Cells Through** для выбора области, а чёрным кнопка для отмены выбора.

После нажатия кнопки «**Select Cells Through**» изменится отображение курсора мыши, это значит, что нужно выбрать область для выделения. Само выделение делается **удерживанием левой** кнопки мыши. Выделенная область будет подсвечена *розовым* цветом, пример на рисунке ниже.

Если выделение произошло не так как было нужно, можно его отменить нажав на кнопку «**Clear Selection**» (соответствующий значок, выделенный чёрным на рис. 31). Чтобы начать работу отдельно с выделенным участком, нужно после выделения области применить фильтр **Extract Selection**. Кнопка этого фильтра показана на рисунке ниже, настройки для него не требуются, главное не забыть нажать на кнопку «**Apply**» в разделе настроек фильтра.

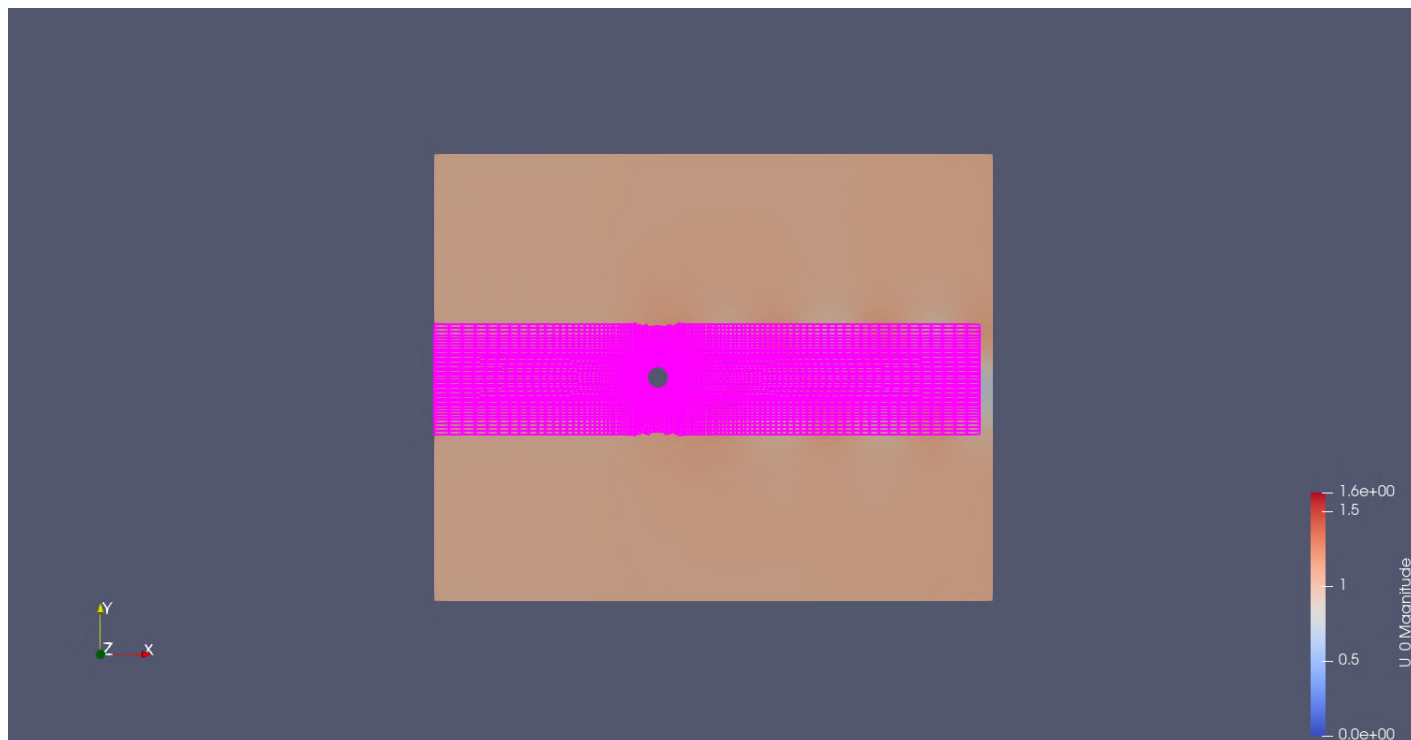


Рис. 32. Выделенная область отображается розовым цветом

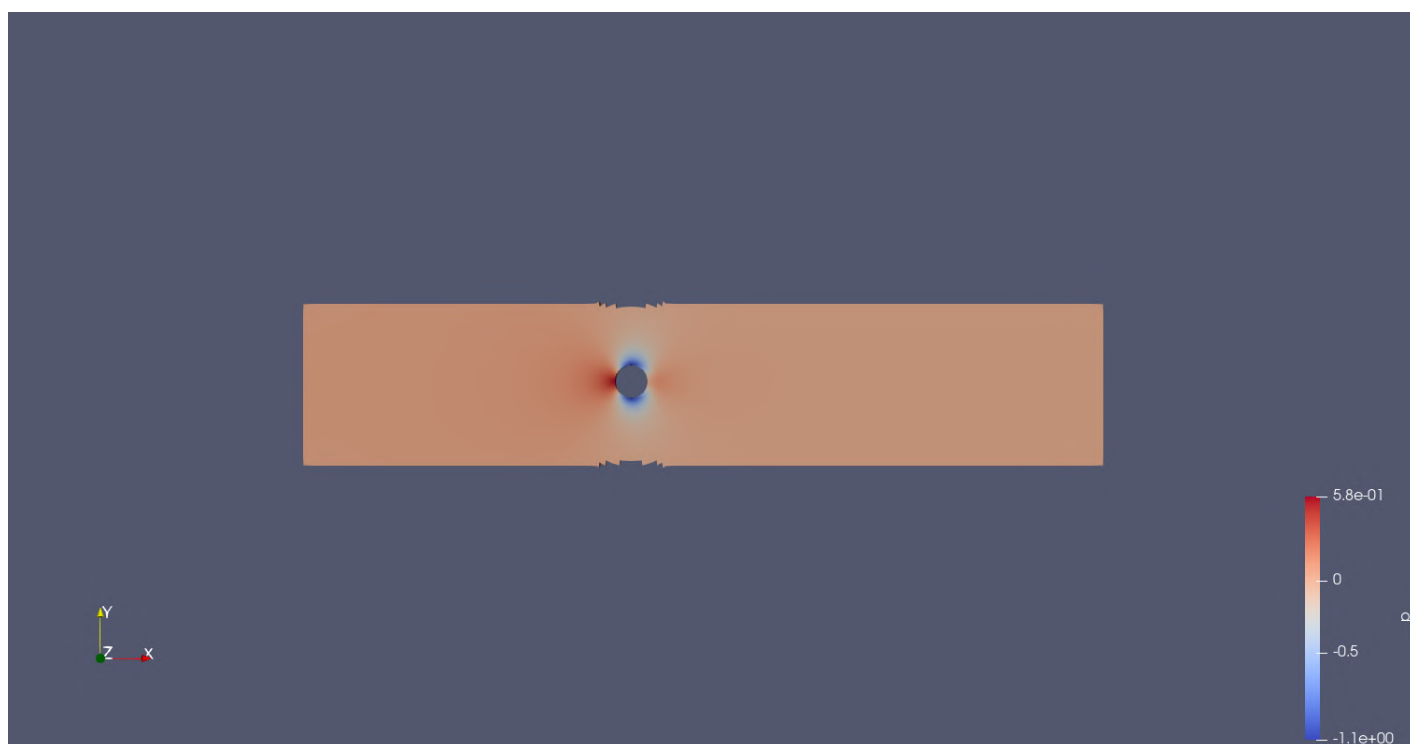


Рис. 33. Результат выделения области (кнопка **Select Cells Region** вместе с фильтром **Extract Selection**)

6.2 Переход между временными слоями

Как было сказано, задача *нестационарная*. Чтобы переходить от одного временного слоя к другому есть специальные кнопки. Они расположены в **красной** группе согласно рис. 2 на стр.5.



Рис. 34. Управление выбором временного слоя

Красным выделены кнопки для перехода между временными слоями, они передвигают на предыдущий/следующий

моменты соответственно. Синим обозначена кнопка для просмотра анимации. Чёрным выделена область, где написано количество временных слоёв, конкретное значение текущего слоя и значение времени. Между слоями можно переключаться с помощью клавиатуры, задавая нужный номер.

Ниже показан результат переключения между временными слоями (большие промежутки). Зелёным выделены векторы скорости, а цвет области означает абсолютную величину векторного поля скоростей.

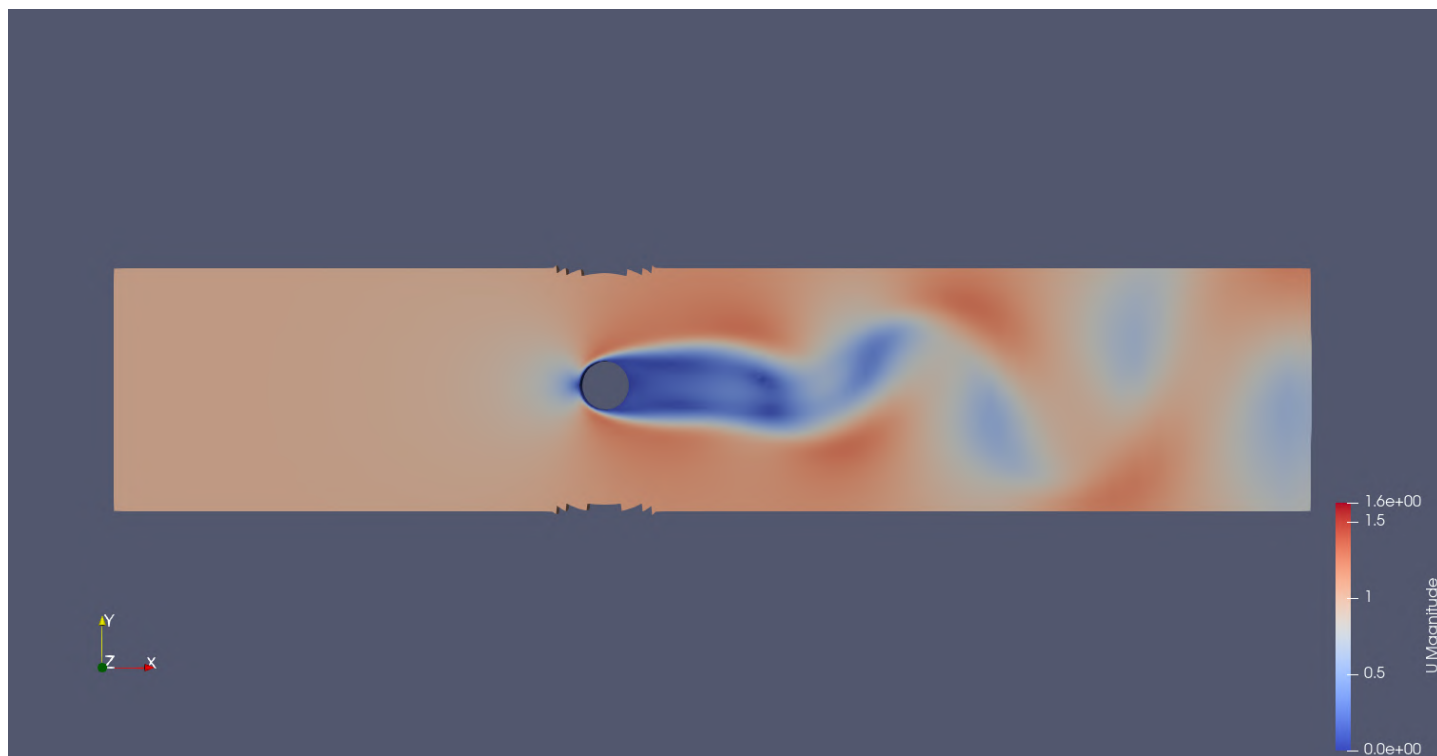


Рис. 35. Состояние системы в середине симуляции, номер временного слоя «175»

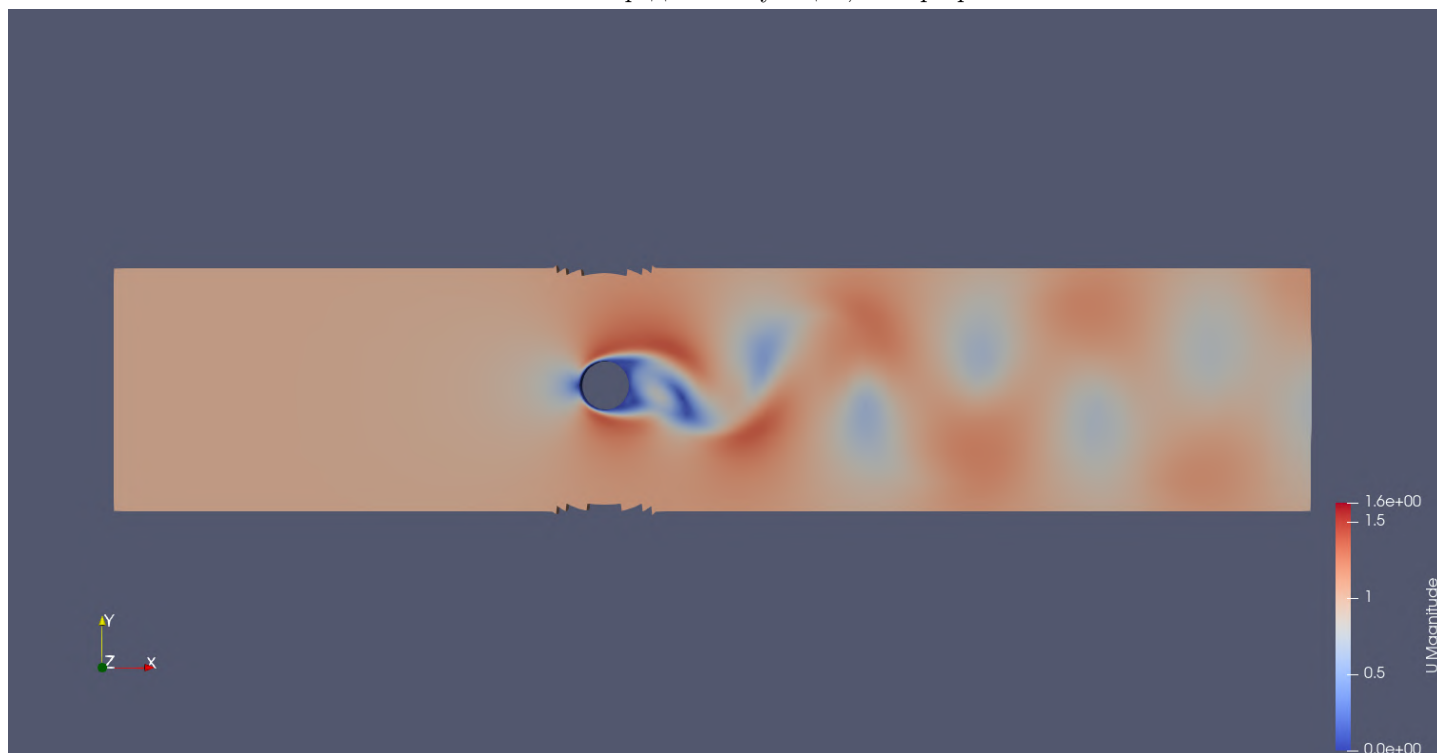


Рис. 36. Состояние системы в конце симуляции, номер временного слоя «349»

7 Задача о смешивающихся жидкостях

Эта задача из числа стандартных обучающих задач в составе OpenFOAM. Она расположена в директории `$FOAM_TUTORIALS/mixing`. В этой задаче в трёхмерной области смешиваются две жидкости. Расчётная область это прямоугольный параллелепипед, жидкости полностью его заполняют. Они приводятся в движение под действием внешней силы в виде вращающегося твёрдого тела по середине области. Начальное состояние системы показано на рисунке ниже. Здесь везде будет самый информативный вид «сбоку». Один из способ рассчитать и визуализировать подобный процесс это использовать



Рис. 37. Задача о смешивающихся жидкостях

скалярное поле. В данном случае это поле представлено на рис.37. Синий цвет означает максимальную концентрацию первого вещества, красный соответственно второго, область их смешивания имеет промежуточные цвета.

7.1 Настройки анимации в ParaView

На примере этой задачи можно показать как сохранить видео с анимацией процесса. Сначала нужно сделать активным специальное окно **Animation view**. Для этого во вкладке **View** (отвечает за отображение и других «частей» ParaView) нужно выбрать поле «**Animation view**», как показано на рис. 38.

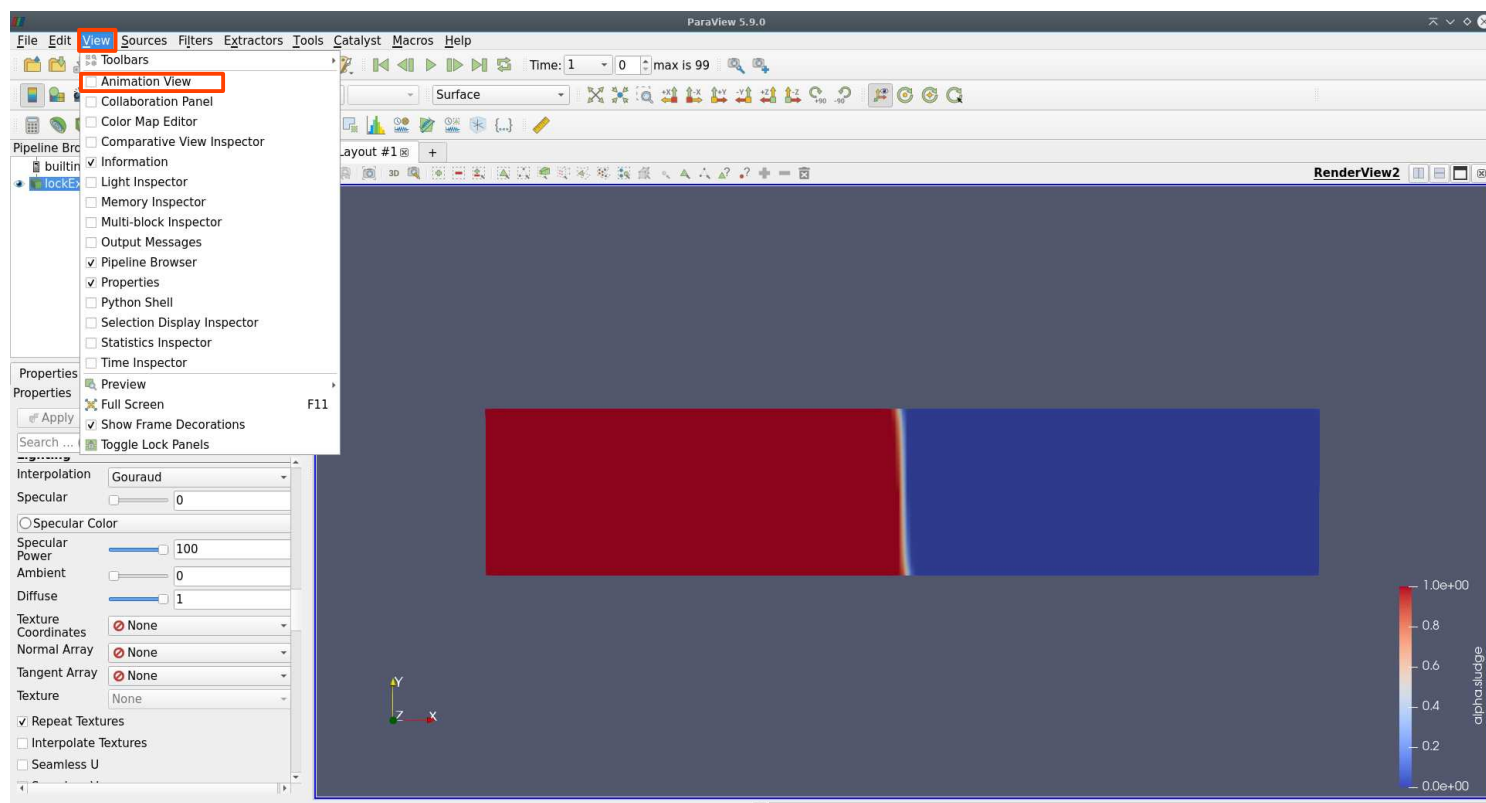


Рис. 38. Открытие окна «**Animation View**» для анимации в ParaView

Далее появится окно «**Animation view**» для работы с анимацией рис. 39.

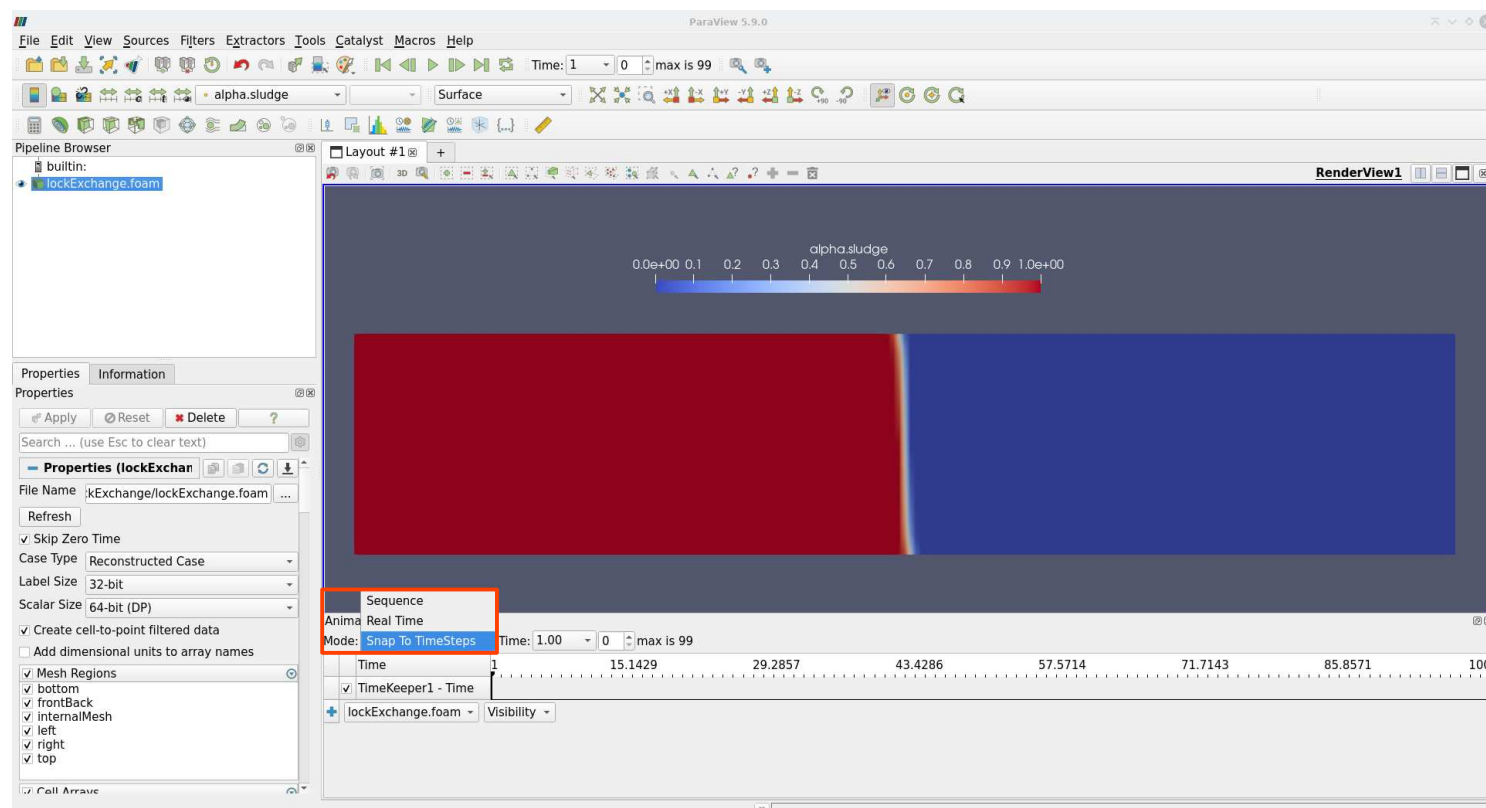


Рис. 39. Окно «**Animation view**» и выбор режима анимации

Для запуска анимации в ParaView нужно использовать кнопку пуска, которая показана на рис.39. В поле «**Mode**»

есть 3 возможных режима для представления анимации.

1. Режим **Snap to time steps** показывает анимацию покадрово, проходя **каждый** временной слой из доступных, настроить продолжительность для отображения отдельного кадра нельзя.
2. Режим **Real time** во-первых, можно выбрать количество временных слоёв. Например не все, а только половину. Во-вторых продолжительность анимации регулируется пользователем, значение задаётся в *секундах* (параметр **Duration (s)**).
3. В режиме **Sequence** аналогично **Real time** можно выбрать нужный диапазон времени (из всех расчётных слоёв), а также указать сколько *кадров* (параметр **No. Frames**) в анимации должно быть. ParaView автоматически выбирает подходящие временные слои из заданного диапазона согласно указанному числу кадров.

7.2 Сохранение данных (изображение, анимация, состояние программы)

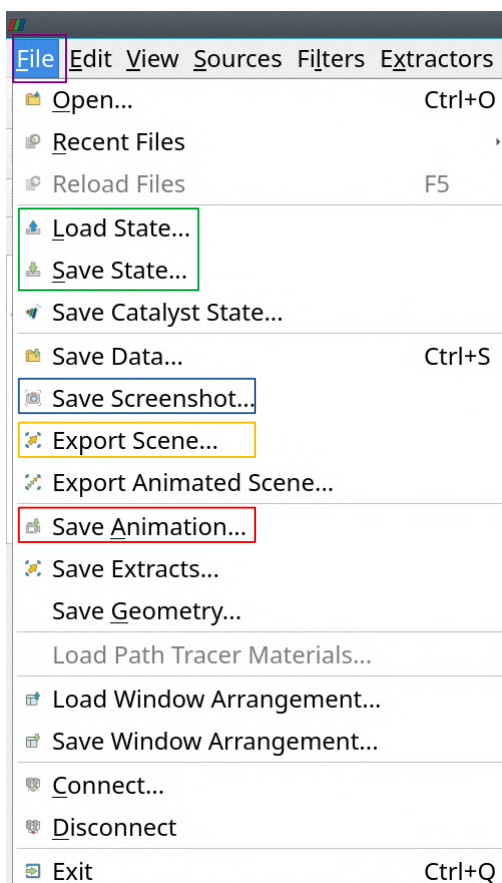


Рис. 40. Сохранение данных в ParaView

В ParaView можно сохранить «состояние» программы. Например, в ходе работы над проектом было использовано много фильтров, они были настроены как нужно и прочее. И в дальнейшем нужно продолжить работу «с этого же места», чтобы сделать это нужно сохранить состояние текущего сеанса. Всё, что относится к сохранению данных расположено во вкладке **File** (в самом верху окна с ParaView, выделено фиолетовым на рис. 40). Для сохранения состояния нужно выбрать действие «**Save State**» и формат **.pvsm**. В дальнейшем для продолжения работы загрузить состояние можно действием «**Load State**». Эти действия выделены зелёным цветом на рис. 40.

Чтобы сохранить изображение «рабочей области» нужно перейти во вкладку **File** и там выбрать действие «**Save Screenshot**» (синий цвет на рис. 40. После этого откроется стандартное диалоговое окно. Там нужно указать: формат изображения (по умолчанию *растровые*: **.bmp**, **.jpg**, **.png**), имя файла и директорию для его сохранения. Так там есть параметр «**Compression**», он отвечает за сжатие картинки. Чем больше сжатие, тем меньше вес файла, но хуже качество.

Если нужно сохранить изображение в *векторном* формате, то нужно во вкладке **File** выбрать другое действие, а именно «**Export Scene**» (желтый цвет на рис. 40). Потом откроется другое диалоговое окно для сохранения изображения. Среди доступных форматов есть: **.eps**, **.pdf**, **.svg**.

При сохранении анимации, после выбора нужных настроек (см. раздел 7.1), можно получить видео в одном из форматов **.avi** или **.ogv**. Для этого нужно перейти во вкладку **File** и выбрать действие «**Save Animation**» (красный цвет на рис. 40). После этого в диалоговом окне нужно будет выбрать желаемую директорию для сохранения видео и указать имя файла, а также величину сжатия (параметр **Compression**).

В том же диалоговом окне вместо видео форматов можно выбрать формат изображения **.png**, **.bmp**, **.jpg**. При выборе одного из них анимация сохраняется в виде *набора кадров*, имя которое указано для сохранения используется

как шаблон, к шаблону дописывается номер кадра и расширение. На ОС Linux можно получить анимацию в формате **.gif** из набора кадров с помощью сторонней программы ImageMagick. Для этого нужно в директории с картинками вызвать команду

```
convert -delay 100 -loop 0 *.png animation.gif
```

В результате будет создана анимация с переключением между кадрами в 100 мс, здесь картинки имеют формат **.png**, итоговый файл будет иметь имя **animation.gif**.

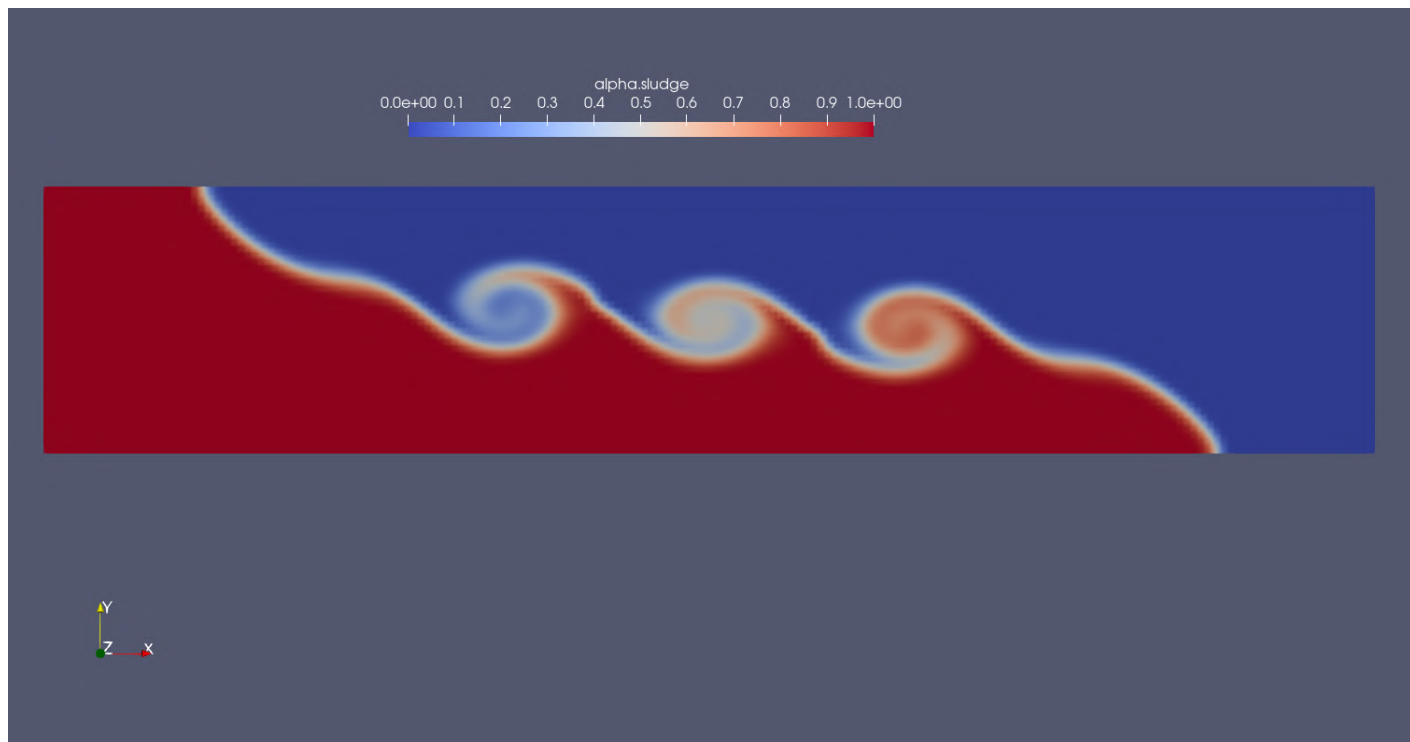


Рис. 41. Один из кадров анимации смешивания жидкостей

Список литературы

- [1] Руководство пользователя ParaView (англ.). — Режим доступа: <https://docs.paraview.org/en/latest/Tutorials/SelfDirectedTutorial/index.html>.
- [2] Раздел с документацией на сайте ParaView (англ.). — Режим доступа: <https://docs.paraview.org/en/latest/>.
- [3] Обработка результатов расчётов в OpenFOAM с помощью ParaView (англ.). — Режим доступа: <https://www.openfoam.com/documentation/user-guide/7-post-processing/7.1-parafoam#x27-1070007.1>.
- [4] Презентация от компании «WoldDynamics», где рассмотрена внешняя задача об обтекании тела жидкостью (англ.). — Режим доступа: http://www.wolfdynamics.com/wiki/advanced_turbulence1.pdf.
- [5] Ссылка для загрузки архива с задачами по OpenFOAM от компании «WoldDynamics», там есть задача об обтекании тела жидкостью. — Режим доступа: https://figshare.com/articles/media/OpenFOAM_Introductory_Training/16783657?file=31049290.