

Anes Team



ANES20XE : Пакет для численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена

Версия 2.24

Визуализация результатов расчетов. Программы - постпроцессоры

Руководство пользователя

Москва 2019 г.

Оглавление.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОСТПРОЦЕССОРА.....	3
1.1. Входные файлы постпроцессора.....	3
1.2. Расчетная область, геометрия, сетки КО.....	3
1.3. Ф-переменные и переменные пользователя.....	4
1.4. Общий интерфейс постпроцессора.....	5
1.5. Сцена расчетной области.....	5
1.6. Сечение изображения и выбор точки Probe.....	7
1.7. Отображение патчей.....	7
1.8. Сохранение изображения.....	8
1.9. Настройка цветовой схемы сцены.....	9
2. РАБОТА С ПОСТПРОЦЕССОРОМ.....	10
2.1. Просмотр геометрии расчетной области.....	11
2.2. Просмотр векторных полей.....	12
2.3. Просмотр полей Ф - переменных.....	15
2.4. Просмотр скалярных переменных пользователя.....	20
2.5. Работа с нестационарными задачами.....	21
2.6. Просмотр траекторий частиц LDP-модели.....	21
3. ПАКЕТНЫЙ ПОСТПРОЦЕССОР.....	23
3.1. Файл скрипта.....	24
3.2. Построение одномерных полей.....	24
3.3. Построение полей в сечении.....	25
3.4. Построение полей на поверхностном патче.....	26
3.5. Пример скрипта.....	28
3.6. Утилита просмотра DAT-файлов.....	29

1. Общие сведения об использовании постпроцессора

В данном документе описана программа-постпроцессор пакета laPost20.exe, которая позволяет наиболее полно использовать визуальные средства для анализа результатов расчета. Программа вызывается из оболочки кода из меню и кнопки «Инструменты».

1.1. Входные файлы постпроцессора.

По окончании работы Решатель Anes создает для Постпроцессора пять типов файлов результатов:

- 1) <Имя>.agr - файл с описанием геометрии расчетной области;
- 2) <Имя>.ageo - файл с описанием геометрических объектов проекта;
- 3) <Имя>.aphi - файл с характеристиками Ф-переменных;
- 4) <Имя>XXX.ars - файлы с полями Ф- переменных и полями пользователя;
- 5) <Имя>XXX.a2l - файл с полями микроуровня зон L2Porous.
- 6) <Имя>0.aprs - файл с траекториями частиц LDP-модели двухфазного дисперсного потока.

Здесь <Имя> - имя варианта расчета, XXX - номер шага по времени для нестационарной задачи, для стационарной задачи XXX = 0.

При открытии файлов результатов необходимо выбрать первый файл с описанием геометрии (*.agr). При независимом вызове постпроцессора путь к этому файлу можно указать в командной строке

```
aPost20.exe <путь к файлу Имя.agr>
```

Именно таким образом вызывается постпроцессор из оболочки Anes.

1.2. Расчетная область, геометрия, сетки КО

Расчет полей зависимых переменных (Ф-переменных в терминологии пакета) производится в области пространства, которая называется *расчетной областью (РО)*. Расчетная область - это «параллелепипед» *базовой расчетной области (БРО)* в одной из двух систем координат:

- 1) декартовой системе координат - (x_c, y_c, z_c) ,
- 2) цилиндрической системе координат (r, θ, z)

за вычетом всех геометрических объектов типа Block.

Отметим, что при использовании цилиндрической системы координат ее «параллелепипед» БРО в системе координат (r, θ, z) в декартовой системе представляет собой в общем случае как часть полого цилиндра. Постпроцессор осуществляет визуализацию результатов расчетов, выполненных в цилиндрической системе координат, в декартовой системе, что наиболее естественно.

Вся расчетная область разбивается на контрольные объемы (КО); узловые точки, в которых рассчитываются значения Ф-полей помещаются в геометрические центры КО.

В коде используются два типа сеток контрольных объемов [1,2]:

- 1) структурные прямоугольные сетки в декартовой или цилиндрической системах координат;
- 2) неструктурные сетки с локальным дроблением в декартовой или цилиндрической системах координат.

Постпроцессор позволяет однотипно проанализировать результаты расчетов для обоих типов сеток. Для этого используется понятие «структурных» индексов КО (ix, iy, iz) .

При использовании структурной сетки все Φ -поля сохраняются в виде трехмерных массивов $\Phi(ix,iy,iz)$ и структурные индексы совпадают с индексами КО.

При работе с неструктурными сетками Φ -поля хранятся в виде одномерных списков и для их нумерации в Решателе используется одномерный индекс – CellID. При построении неструктурной сетки А-компилятор связывает с КО структурные индексы (ifx,ify,ifz). Эти индексы связаны с так называемой fine-сеткой. Fine-сетка – это структурная сетка, соответствующая случаю, когда все КО исходной сетки базовой расчетной области «раздроблены» до максимального уровня дробления [2].

При описании прикладной задачи в расчетную область помещаются различные геометрические объекты, служащие для описания:

- 1) границ расчетной области (Block и BS объекты),
- 2) распределения непроницаемых и проницаемых структур (Struct и Porous объекты),
- 3) распределения источников членов (Volume,Point и Surface объекты).

Такой геометрический объект в совокупности с дополнительной информацией называется *патчем*. Исходные патчи, описанные в файле проекта, в постпроцессоре называются патчами Проекта. А-компилятор использует эти патчи для построения сетки РО и составления списков КО и граней, связанные с этими патчами. Эти списки называются патчами Решателя. Отметим, что их число может не совпадать с числом патчей Проекта (компилятор создает дополнительные патчи).

Информация о патчах Проекта и Решателя сохраняются в файлах <Имя>.agr и <Имя>.ageo и может быть проанализирована в постпроцессоре.


1.3. Φ -переменные и переменные пользователя

При численном решении непрерывные трехмерные поля Φ -переменных в расчетной области, таких как давление P_f , компоненты скорости U_{gx} , U_{gy} , U_{gz} , температура потока T_g и другие, преобразуются либо в трехмерные массивы (для структурной сетки), либо в списки (для неструктурных сеток), привязанные к сетке КО. Пользователь может добавить в проект любое число своих полей - сеточных User-переменных. Эти поля пользователя добавляются к полям Φ -переменных и их массивы сохраняются в файлах <Имя>XXX.ars.

Наряду с полями, пользователь может создать свои собственные скалярные действительные переменные (скалярные User-переменные пользователя), которые используются обычно для расчета различных интегральных характеристик. Значение этих переменных также сохраняются в файлах результатов, и эти значения также могут быть проанализированы в постпроцессоре.

При использовании специальных двухуровневых пористых зон (L2POROUS) наряду с вычислениями Φ -переменных на основной сетке КО (структурной или неструктурной), проводятся расчеты на других сетках, которые называются сетками микроуровня. Структура таких сеток зависит от модели микроуровня. Для всех моделей поля на сетках микроуровня сохраняются в файлах <Имя>XXX.a2l. Поля переменных микроуровня также могут быть проанализированы в постпроцессоре.

При использовании LDP-модели двухфазного дисперсного потока траектории частиц сохраняются в файле <Имя>0.aprs.

 **Замечание.** При использовании структурных сеток поля в ARS-файл записываются так же, как они хранятся в Решателе (скорости на гранях КО, все остальные поля в центрах КО). При использовании неструктурных сеток поля по умолчанию сохраняются в вершинах ячеек. Это позволяет построить гладкие контуры полей, однако это приводит к тому, что поля в центрах ячеек вычисляются приближенно (как среднеарифметическое значение

в вершинах ячейки). Если необходимо проанализировать точные значения полей необходимо использовать оператор секции [Special Data] файла проекта:

```
L("ARS.OUTCELL") = .True.
```

Аналогичный оператор нужно использовать для вывода значений полей в файл результатов расчета для постпроцессора ParaView:

```
L("VTK.OUTCELL") = .True.
```

1.4. Общий интерфейс постпроцессора.

Постпроцессор laPost20.exe является Windows-приложением и использует стандартный одно документальный интерфейс:

- 1) работа осуществляется через набор окон-диалогов, при этом активным является самый последний диалог,
- 2) размеры окон могут быть произвольно изменены, при этом наиболее удобным является вариант максимизации окна (для этого необходимо нажать системную кнопку максимизации),
- 3) для получения подсказки по кнопке диалога необходимо подвести к ней курсор мыши и подождать 1 сек,
- 4) там, где возможно, реализован режим контекстного меню; для вызова меню необходимо подвести курсор мыши к элементу и щелкнуть правой клавишей мыши.

Постпроцессор позволяет проанализировать:

- 1) геометрию расчетной области и ее патчи,
- 2) поля векторных переменных,
- 3) поля Ф-переменных и полей пользователя,
- 4) значения скалярных переменных пользователя,
- 5) поля микроуровня зон L2POROUS..

Работа с этими объектами осуществляется через специальные диалоги, вызываемые из головного окна программы. Эти диалоги, называемые ниже *диалогами визуализации*, имеют ряд общих элементов управления. Поэтому прежде чем переходить к описанию конкретных диалогов, рассмотрим общие принципы представления изображений, лежащие в основе работы постпроцессора.

1.5. Сцена расчетной области

Для просмотра результатов расчета в постпроцессоре используется модель *сцены расчетной области*, суть которой заключается в следующем:

1. Базовая расчетная область расположена на невидимой *сцене* в трехмерном пространстве.
2. На определенном расстоянии от сцены расположена *видеокамера наблюдения*, которая может перемещаться в пространстве.
3. В программе-постпроцессоре в двумерном *окне просмотра* диалога визуализации, как на экране телевизора, показывается изображение, снятое этой видеокамерой.
4. Камера направлена в точку 3D сцены, которая называется *центром взгляда*. В окне просмотра центр взгляда всегда располагается в его центре.
5. Для выбора точки расчетной области на сцене располагается объект в виде желто-красного карандаша, который называется «Проба». Для его перемещения используются специальные кнопки в диалогах визуализации или мышь.

Для перемещения видеокамеры используется специальный всплывающий диалог - «Камера», изображенный на рисунке 1.1. Он активизируется или скрывается нажатием кнопки «Настройка камеры» в диалогах визуализации «Геометрия расчетной области», «Векторные поля» и «Поля Φ -переменных».

Функции этого диалога:

- 1) Для перемещения камеры в пространстве вправо-влево, вниз-вверх используются кнопки перемещения камеры.
- 2) Своеобразный способ перемещения (точнее поворота) камеры дают радио-кнопки блока «UP ось». Кнопки определяют, какая из декартовых осей направлена вертикально вверх в пространстве.
- 3) Для фиксации камеры «перпендикулярно» одной из трех граней расчетной области можно использовать радио-кнопки блока «2D».
- 4) Для приближения / отдаления камеры к центру взгляда (для увеличения / уменьшения коэффициента увеличения объектива камеры) используются кнопки с «увеличительными стеклами». Сам коэффициент усиления камеры показывается в окне коэффициента увеличения. Пользователь может самостоятельно изменить это значение, чтобы быстрее увеличить или уменьшить изображение (заметим, что для вступления в силу введенного значения необходимо нажать клавишу TAB).
- 5) При просмотре задач, в которых один из размеров расчетной области существенно отличается от других (например, каналы с большой длиной), удобнее использовать *неизотропное* представление. В этом случае размеры расчетной области по декартовым координатам (x_c, y_c, z_c) масштабируются путем умножения координат на коэффициенты растяжения (масштабирования) «SX:», «SY:», «SZ:». Для перехода в неизотропное представление необходимо погасить флажок «Изотропность XYZ» установить коэффициенты масштабирования и нажать кнопку «Масштабирование».
- 6) По умолчанию центр взгляда располагается в центре декартового параллелепипеда расчетной области. Для смены центра взгляда необходимо использовать следующий путь: вначале необходимо переместить Probe в нужную точку, а затем нажать кнопку «Центр взгляда в Probe».
- 7) Для отмены всех перемещений и настроек камеры необходимо нажать кнопку «Reset».

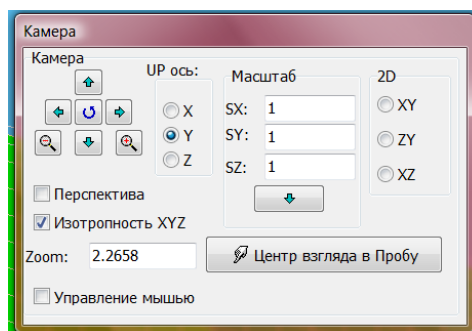


Рисунок 1.1 - Диалог управления камерой.

Для управления камерой можно использовать курсор мыши. При этом отключается перемещение «карандаша Пробы» с помощью мыши. Для управления используются следующие комбинации клавиш:

- *Поворот сцены* – нажатие левой клавиши мыши + перемещение мыши.
- *Приближение/Удаление* - нажатие правой клавиши мыши + перемещение мыши.

- *Перенос центра взгляда* - нажатие обеих клавиш мыши + перемещение мыши.

1.6. Сечение изображения и выбор точки Probe

Все построения полей на сцене строятся на поверхностях, представляющих одно из трех двумерных *сечений* трехмерной расчетной области - XY (x,y), XZ (x,z), YZ (y,z) для декартовой системы координат или FiZ (θ, z), RZ (r, z), Rfi (r, θ) для цилиндрической системы координат. Сечение всегда проводится через точку, в которой расположен объект «Проба». Для перемещения «Пробы» и выбора сечения используются диалоговые элементы окон визуализации, изображенные на рис. 1.2.

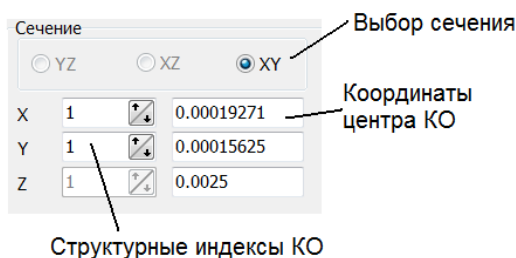


Рисунок 1.2 - Элементы управления объектом «Проба».

Объект «Проба» всегда перемещается дискретно - по центрам контрольных объемов. Существует три способа его перемещения:

- 1) С помощью спин-кнопок, изображенных на рисунке 1.2; при этом в окошке слева высвечивается структурный индекс КО по данной оси, а в окошке справа - координата центра КО. Если «Проба» перемещается в направлении, перпендикулярном сечению, вместе с ним перемещается и само сечение.
- 2) Путем непосредственного ввода индекса КО и нажатия клавиши TAB. Этот вариант особенно удобен при работе с неструктурными сетками, когда нужно перейти к удаленному КО.
- 3) С помощью курсора мыши. Для этого нужно переместить курсор мыши в нужную точку сечения и щелкнуть левой клавишей.

Для смены самого сечения используются радио-кнопки блока «Сечение».

1.7. Отображение патчей

Все патчи, используемые в расчете высвечиваются в виде двух списков, изображенных на рисунке 1.3.

Первый список, расположенный на закладке «Решатель», позволяет отобразить патчи Решателя, сформированные после обработки компилятором проекта, т.е. патчи, используемые непосредственно Решателя. Второй список (закладка «Проект») содержит исходные патчи, непосредственно описанные в проекте задачи.

Для рисования/скрытия патча на сцене необходимо включить/погасить флажок, расположенный слева от имени патча.

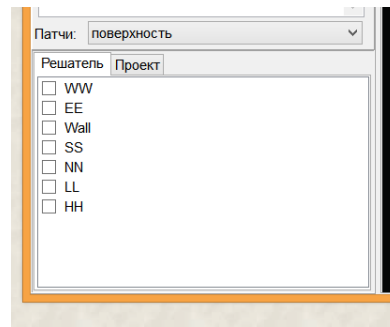


Рис. 1.3 - Списки патчей.

В постпроцессоре предусмотрено несколько форматов построения патчей:

- 1) «поверхность» - рисуется только поверхность патча,
- 2) «ребра» - рисуются только ребра фасетов патчей,
- 3) «поверхность и ребра» - рисуются поверхность и ребра,
- 4) «поле Ф-переменной» - рисуется поверхность, раскрашенная цветным контуром поля Ф-переменной.

Для выбора формата используется выпадающий список «Патчи:».

1.8. Сохранение изображения

Постпроцессор позволяет сохранить изображение окна просмотра в графическом файле типа PNG. Для сохранения необходимо нажать кнопку «Сохранить изображение» (кнопка с синей дискеткой) в окне визуализации и настроить диалог, изображенный на рисунке 1.4:

- 1) Выбрать каталог и имя файла для сохранения, для чего необходимо нажать кнопку выбора файла,
- 2) Указать размер изображения в файле (ширину и высоту) либо в пикселях, либо в сантиметрах. Для наглядности размер изображения показывается справа на листе формата A4. Для наиболее точной передачи изображения с экрана компьютера в файл рекомендуется использовать режим пропорциональности изображения. В этом случае необходимо включить флажок «Сохранять пропорции» и указывать либо высоту, либо ширину изображения.

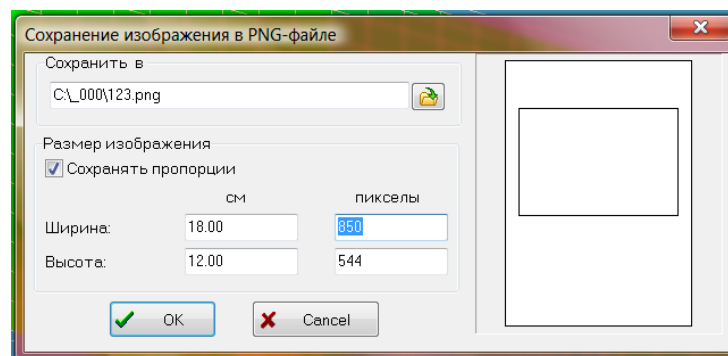


Рисунок 1.4 - Диалог сохранения изображения.

1.9. Настройка цветовой схемы сцены

Постпроцессор позволяет настроить цвета практически всех объектов, использующихся при построении сцены. Для настройки необходимо выбрать диалог «Настройка цветов GL объектов», изображенный на рисунке 1.5.

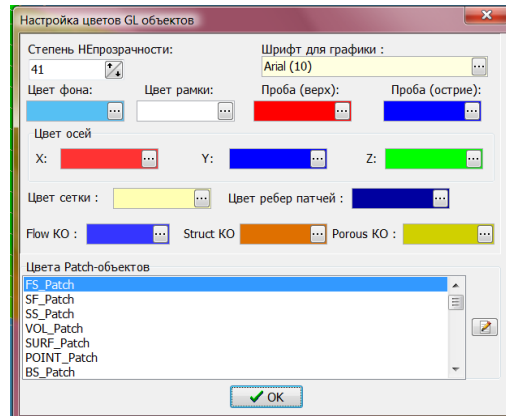


Рисунок 1.5 - Диалог настройки цветов.

Настройка основных цветов осуществляется нажатием кнопки с тремя точками и выбором цвета из стандартного диалога. Для настройки цветов рисования патчей различных типов необходимо либо дважды щелкнуть по имени типа патча в списке «Цвета Patch Объектов» либо нажать кнопку справа от списка.

Существующий набор цветов (цветовую схему) можно сохранить в файле на диске. Для этого необходимо воспользоваться пунктом меню главного окна «Файл/Сохранить цветовую схему...» головного окна программы. Схема сохраняется в файле с расширением “.CGL”. Для загрузки цветовой схемы нужно воспользоваться пунктом меню «Файл/Загрузить цветовую схему...».

2. Работа с постпроцессором

Для работы с постпроцессором необходимо запустить программу <Anes>/bin/aPost20.exe, либо вручную, либо из оболочки Anes. После запуска программы появится ее головное окно, изображенное на рисунке 2.1, с заблокированными кнопками просмотра.

Для открытия файлов результатов необходимо нажать кнопку открытия файлов или выбрать соответствующий пункт меню «Файл». В диалоговом окне открытия файлов необходимо выбрать из нужного каталога файл с расширением “.AGR” и нажать ОК.

Если загрузка прошла удачно, кнопки просмотра разблокируются и головное окно примет вид, изображенный на рисунке 2.1.

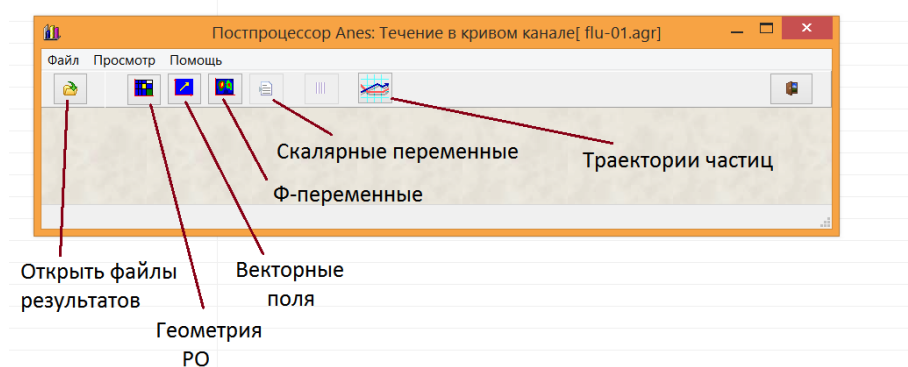


Рисунок 2.1 - Головное окно постпроцессора.

Для анализа результатов расчета можно воспользоваться следующими режимами работы постпроцессора:

- 1) анализ геометрии расчетной области,
- 2) анализ полей векторных переменных,
- 3) анализ полей Φ - переменных,
- 4) просмотр значений скалярных переменных пользователя,
- 5) анализ полей микроуровня зон L2POROUS.,
- 6) анализ траекторий частиц LDP-модели.

Замечания:

- 1) Для удобства работы разверните окно на весь экран, используя системную кнопку максимизации.
- 2) Постпроцессор сохраняет текущие размеры и положения своих окон. Если данные расчетов и сам постпроцессор расположен на жестком диске, дополнительно сохраняются настройки текущих цветов и положение камеры. Если данные и постпроцессор расположены на CD, последнего сохранения не производится. Поэтому при длительной работе с результатами расчета рекомендуется скопировать их и саму программу постпроцессор с CD в произвольный каталог на диске и снять с этих файлов защиту от записи. Это можно сделать в любой программе-командере (например, Windows Commander), либо ввести DOS-команду

```
ATTRIB -R C:\TEMP01\*.* /S
```

где C:\TEMP01 - это каталог, куда были скопированы данные с CD.

2.1. Просмотр геометрии расчетной области

Для просмотра геометрии сетки КО и патчей используется окно визуализации «Геометрия расчетной области», изображенное на рисунке 2.2.

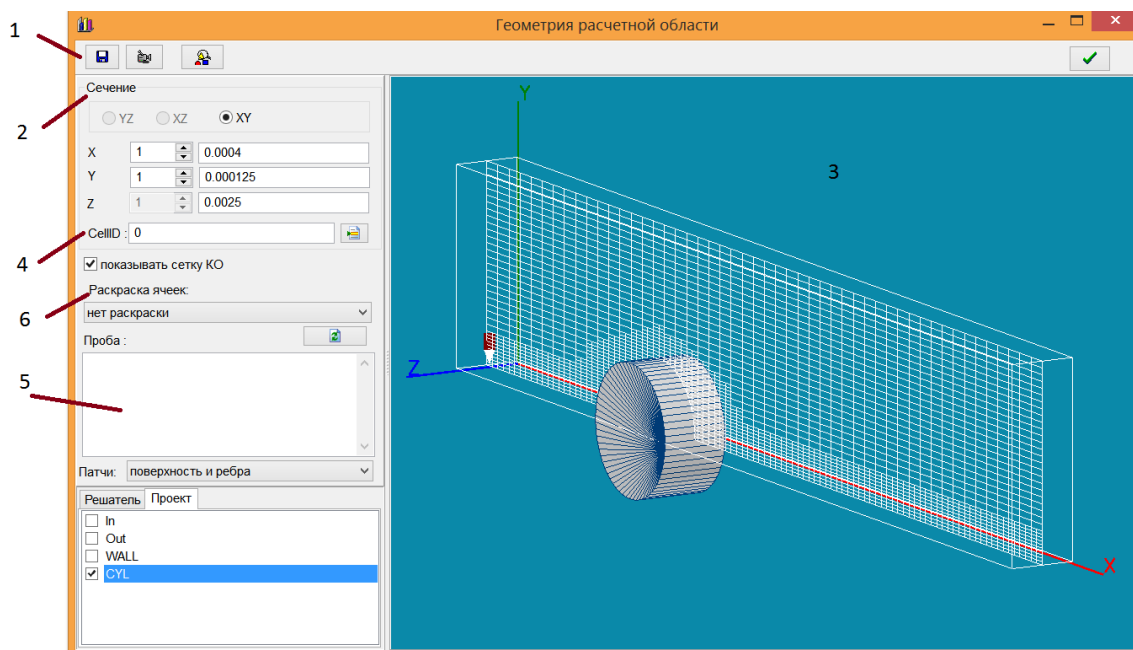


Рисунок 2.2 - Окно визуализации «Геометрия расчетной области».

Окно состоит из горизонтальной инструментальной панели (1), вертикальной панели управления (2) и окна просмотра (3).

На инструментальной панели расположены кнопки (слева направо):

- 1) сохранения изображения окна просмотра в PNG-файле;
- 2) управления камерой;
- 3) настройки цветов сцены.
- 4) окончания работы.

На вертикальной панели управления, кроме рассмотренных выше общих элементов (управление пером «Сечение» и патчами), расположено информационное окно «Проба» (5). В этом окне высвечивается информация, связанная с КО, в котором расположено перо Пробы. При работе со структурными сетками содержимое этого окна автоматически обновляется при перемещении пера Пробы. При работе с неструктурными сетками для обновления содержимого этого окна необходимо использовать кнопку обновления (справа от текста «Проба:»).

На вертикальной панели расположены флажок «Показывать сетку КО» и выпадающий список «Раскраска ячеек».

- 1) раскрасить КО.

При включенном флажке производится построение сетки КО в выбранном сечении.

Раскраска ячеек позволяет «залить» различными цветами КО в зависимости от его типа: Block, Flow, Struct или Porous и просмотреть «плохие» ячейки при работе со структурной сеткой (см. пункт 2.12 документа [2]). Цвета заливки настраиваются в диалоге настройки цветов сцены. Для закраски «плохих» ячеек используется красный цвет.

2.2. Просмотр векторных полей

Для просмотра векторных полей используется окно визуализации «Просмотр векторных полей», изображенное на рисунке 2.3. В этом диалоге в окне просмотра в выбранном сечении в виде цветных стрелок изображается поле выбранной векторной переменной.

Длина стрелок и ее цвет «пропорционален» модулю вектора в КО. Текущее векторное поле выбирается из выпадающего списка (1). Следует отметить, что при построении стрелки используются все три компоненты вектора, а не два, лежащие в плоскости сечения построения.

В окне «Проба» выводятся значения компонент вектора в КО, где расположено перо Пробы. Если вместе с векторами необходимо построить сетку КО, нужно включить флажок «показывать сетку КО».

Максимальное значение скорости, соответствующее «красному» цвету стрелки отображается в окне (4).

Для настройки параметров рисования векторов используется диалог «Параметры вектора», который активизируется по нажатию кнопки (2) и выбору пункта меню «Параметры векторов» (рисунок 2.4). Диалог позволяет:

- 1) Настроить характерный размер стрелки, указав максимальную длину стрелки (в единицах измерения координат расчетной области).
- 2) Выбрать шаг по КО построения векторов, что бывает особенно удобно для сильно сгущенных структурных сеток или неструктурных сеток.
- 3) Выбрать цвета стрелок. При этом существует три варианта выбора:
 - интервал изменения модуля скорости разбивается на 16 цветных зон (синий цвет - 0, красный - максимальное значение),
 - используются вместо цветов 16 оттенков серого цвета,
 - используются 16 непрерывных цветов, при этом «минимальный» и «максимальный» цвет выбирается пользователем.

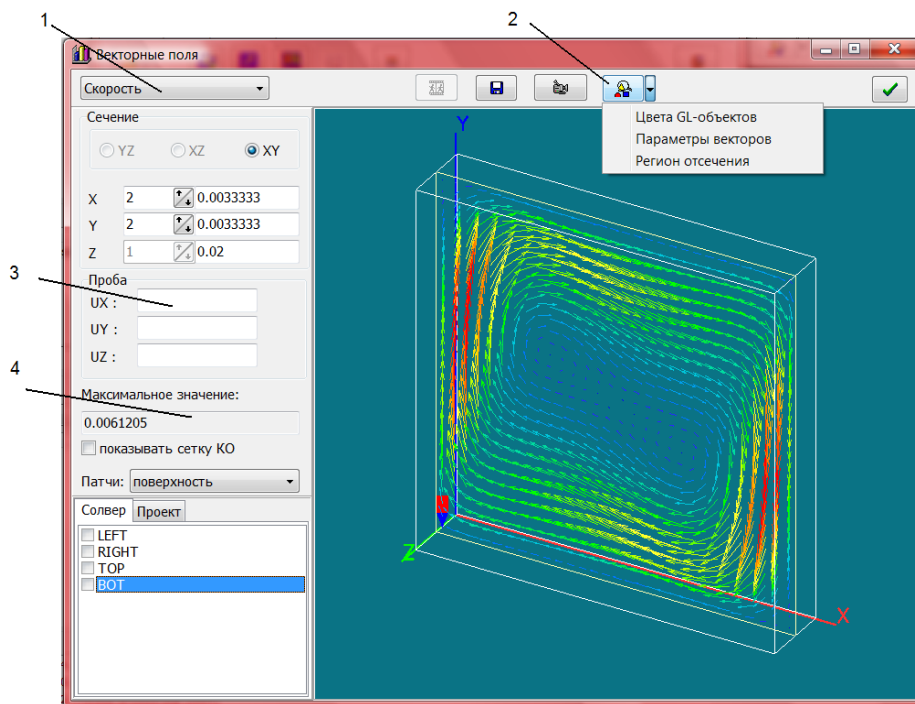


Рисунок 2.3 - Окно визуализации «Просмотр векторных полей».

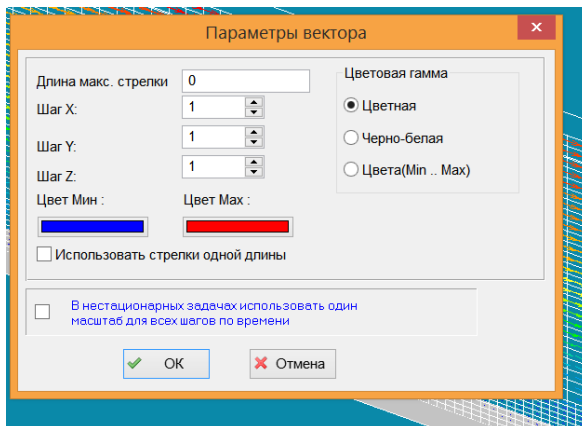


Рисунок 2.4 - Настройка параметров построения векторов.

Можно построить вектора скоростей в виде стрелок одной фиксированной длины (для этого необходимо включить соответствующий флажок). В этом случае фактически будут построены линии тока из последовательности стрелок.

Очень часто возникает потребность построить векторы не во всей расчетной области, а в некоторой прямоугольной подобласти КО. Для этого необходимо использовать регион отсечения построения. Для его задания служит диалог «Регион построения», показанный на рисунке 2.5. Для его активизации необходимо нажать кнопку (2) и выбрать пункт меню «Регион отсечения». Замечание: Алгоритм региона отсечения не работает для неструктурных сеток.

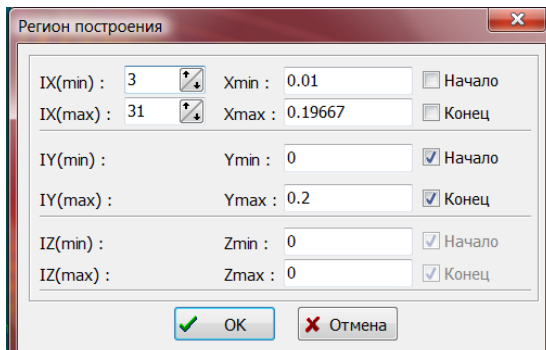


Рисунок 2.5 - Настройка параметров региона отсечения построения.

Для того чтобы по выбранному направлению построение производилось во всей расчетной области, необходимо включить соответствующие флажки слева. Если необходимо изменить область построения в начале или в конце расчетной области, нужно погасить нужный флажок и выбрать с помощью спин-кнопок нужный КО начала или конца построения. Для информации в окошках слева высвечиваются значения координат региона отсечения.

Отметим, что регион отсечения построения действует как на построение полей векторов, так и на построение полей зависимых переменных.

Типичный алгоритм работы с векторными полями:

- 1) Выбирается нужное векторное поле из списка (1).
- 2) Настраиваются нужные параметры векторов.

- 3) Выбирается нужное сечение.
- 4) С помощью панели управления «Проба» и кнопок перемещения в перпендикулярном направлении к сечению (например, для сечения RZ - это спин-кнопка FI) производится построение в различных положениях сечения.
- 5) Для получения значения компонент вектора в конкретных КО сечения используется другие кнопки перемещения «Пробы» и его информационное окно (3). Напомним, что при использовании неструктурных сеток, не производится автоматическое обновление информационного окна. Для обновления необходимо воспользоваться кнопкой обновления (справа от окон с компонентами скорости).

В последней версии постпроцессора добавлена возможность изменения максимального значения вектора, который используется для выбора цветов построения стрелок (см. раздел 2.3 ниже). И, самое главное, для наглядности в окне построения векторов выводится цветовая шкала.

2.3. Просмотр полей Φ - переменных

Для просмотра полей Φ -переменных необходимо использовать окно визуализации «3D поля Φ -переменных». Эта форма выглядит по-разному для структурной и неструктурной сеток. Главные отличия:

1. При работе со *структурными* сетками наряду с контуром в сечении можно посмотреть таблицу значений Φ -переменной в КО.
2. При работе с *неструктурными* сетками посмотреть таблицу нельзя, но можно посмотреть контур Φ -переменной на поверхности патча Решателя.

Окно формы для структурной сетки показано на рисунках 2.6 и 2.7. В этом диалоге в окне просмотра в выбранном сечении изображается поле выбранной зависимой переменной.

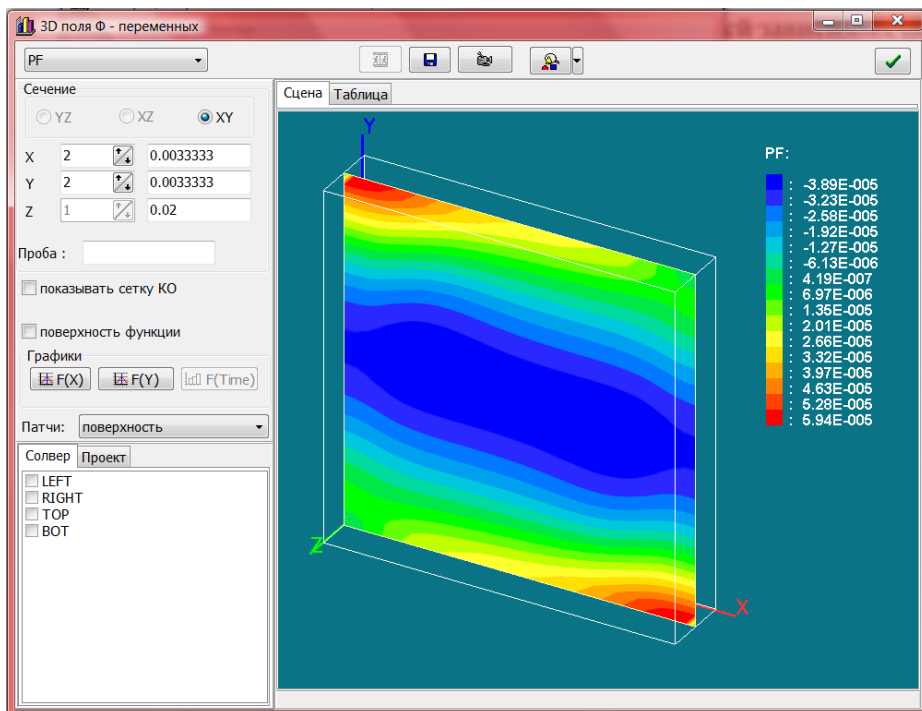


Рисунок 2.7 - Окно визуализации «Просмотр полей зависимых переменных» с контуром Φ -переменной.

На рисунке 2.9 показано представление Φ -переменной неструктурной сетки. Показан контур температуры в сечении и на поверхности патча.

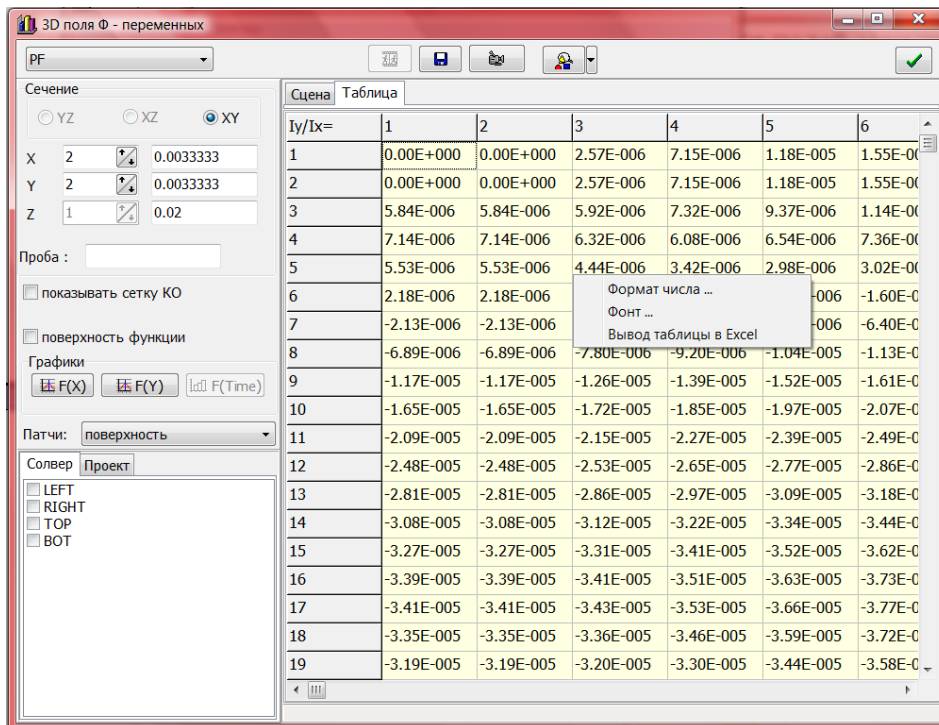


Рисунок 2.8 - Окно визуализации «Просмотр полей зависимых переменных» с таблицей значений Φ-переменной в сечении.

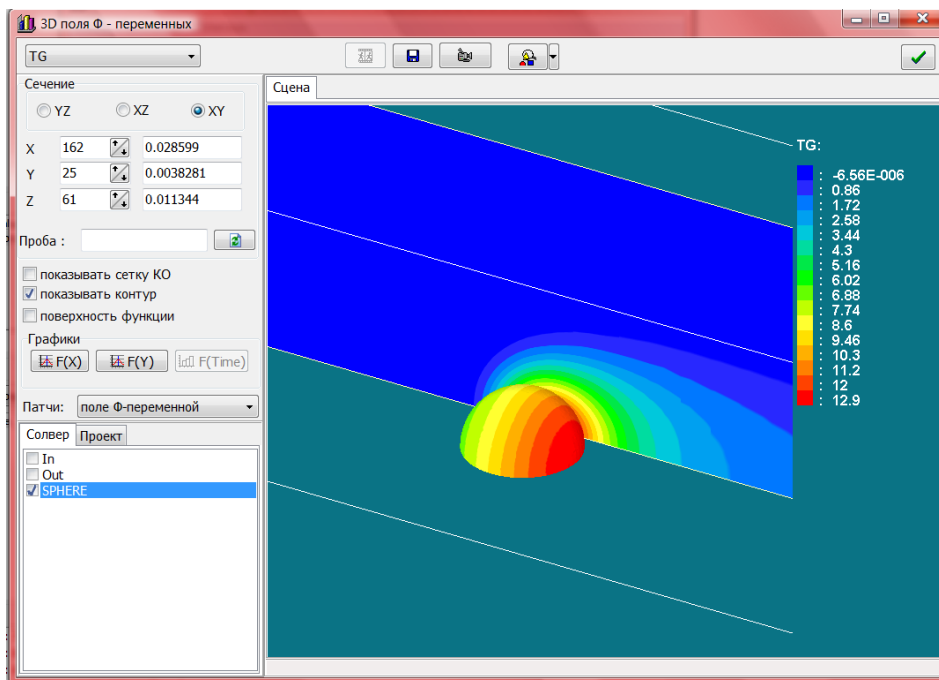


Рисунок 2.9 - Окно визуализации «Просмотр полей зависимых переменных» с контуром Φ-переменной в сечении и на поверхности патча.

Работа с полями Φ-переменной аналогична работе с векторными полями, но есть некоторые отличия.

Для представления поля можно использовать несколько способов:

- 1) Поле представляется в виде цветных контуров (*изообластей*), при этом определенному интервалу изменения поля соответствует свой цвет. Значение середины каждого интервала указывается справа в окне просмотра.
- 2) Цветная поверхность, построенная по первому способу, «поднимается» над сечением построения, причем степень поднятия пропорциональна значению функции. Этот способ аналогичен показу двумерных функций в виде трехмерных поверхностей. Для активизации этого режима необходимо включить флажок «поверхность функции».
- 3) Поле структурной сетки представляется в виде *таблицы значений* в КО. Этот способ показан на рисунке 2.8. Для перехода в этот режим представления, необходимо выбрать закладку «Таблица». Для неструктурной сетки этот режим недоступен.
- 4) Можно построить графики зависимой переменной вдоль одной из осей в сечении построения по линии, проходящей через положение Пробы (рисунок 2.10). Для этого необходимо воспользоваться кнопками «F(X)», «F(Y)» вертикальной панели инструментов.
- 5) Текущее значение зависимой переменной в позиции пера «Пробы» высвечивается в окне «Проба». При работе с неструктурными сетками необходимо для обновления использовать кнопку обновления.

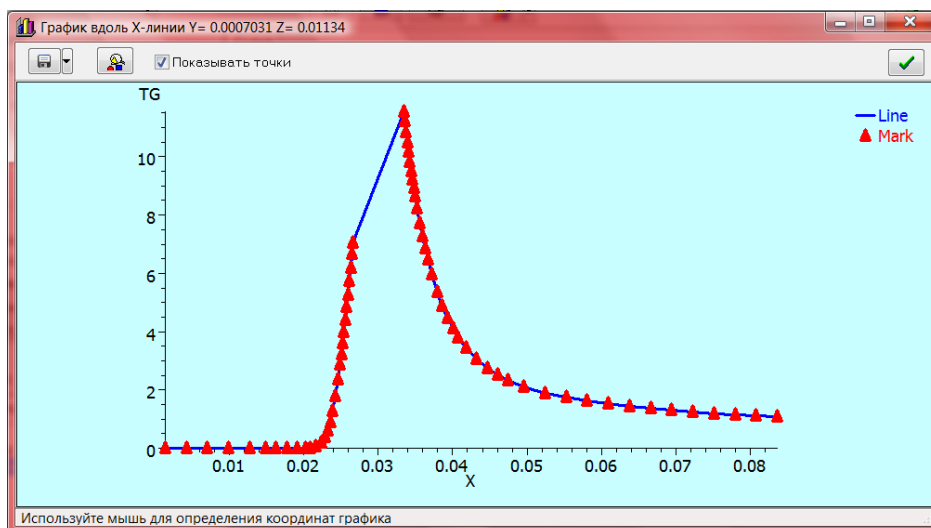


Рисунок 2.10 - График зависимой переменной по оси X.

Рассмотрим особенности построения для различных случаев.

Регион построения

Как и при построении векторных полей можно использовать регион отсечения построения. Его настройка производится с помощью диалога «Регион построения».

Параметры изообласти.

Для настройки параметров изообласти используется диалог «Параметры изообласти», изображенный на рисунке 2.11.

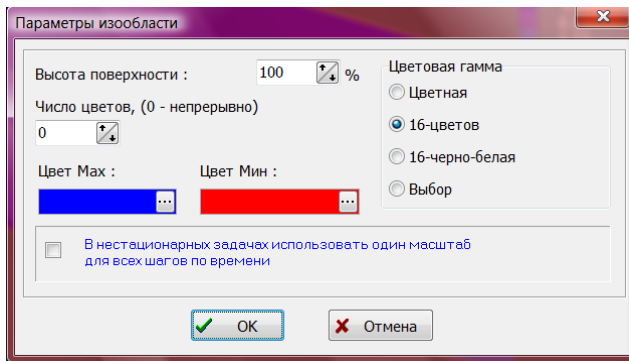


Рисунок 2.11 - Настройка параметров изоповерхности.

В диалоге можно:

- 1) выбрать масштаб высоты изоповерхности при использовании второго способа построения,
- 2) настроить цвета для выдачи изоповерхности:
 - непрерывная цветовая гамма от синего цвета (минимальное значение поля) до красного (максимальное значение),
 - набор из подобранных 16 цветов,
 - набор из 16 оттенков серого,
 - число цветов и их минимальное и максимальное значение устанавливается пользователем.

Таблица значений.

В этом случае сечение представлено в виде двумерной таблицы. Индексы КО указаны в «серых ячейках». Для получения координат выбранной ячейки для данной зависимой переменной, необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши и в статус-строке будут показаны координаты этой ячейки в данном сечении.

Для настройки параметров таблицы нужно использовать контекстное меню, которое активизируется по нажатию правой клавиши мыши над любой ячейкой таблицы. Меню позволяет изменить формат представления чисел в ячейках и шрифт.

Важной особенностью этого представления является возможность передачи таблицы в MS Excel (если этот продукт установлен). Для передачи таблицы в MS Excel нужно выбрать пункт контекстного меню «Вывод таблицы в Excel».

Графики поля

При просмотре графика можно получить значения аргумента и функции, если щелкнуть мышкой по точке графика. В статус строке будут выведены их значения.

Для настройки цветов построения графиков и выбора типа маркера можно воспользоваться диалогом «Параметры функции» (рисунок 2.12), который активизируется по нажатию «Параметры функции» окна просмотра функции.

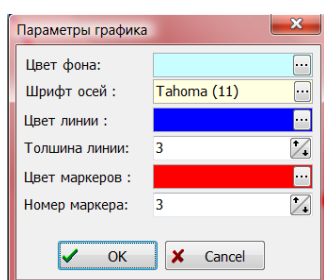


Рисунок 2.12 - Настройка параметров функции.

Диалог позволяет настроить все параметры построения, смысл которых вполне очевиден.

Точки графика можно сохранить либо в PNG-файле, либо в текстовом файле для дальнейшего использования в других программах построения. Для этого нужно воспользоваться диалогом, изображенным на рисунке 2.13.

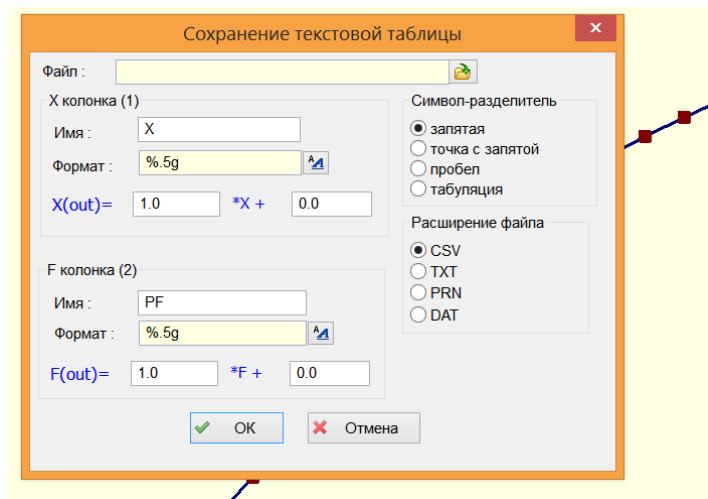


Рисунок 2.13 - Диалог сохранения графика в виде текстовой таблицы.

Текстовый файл представляет собой две колонки значений с заголовками полей. Настройка сводится к:

- 1) выбору каталога и имени файла,
- 2) редактированию названия полей,
- 3) выбору формата вывода значений,
- 4) выбору символа-разделителя колонок.

При выводе можно задать линейные преобразования как для аргумента функции, так и для ее значения.

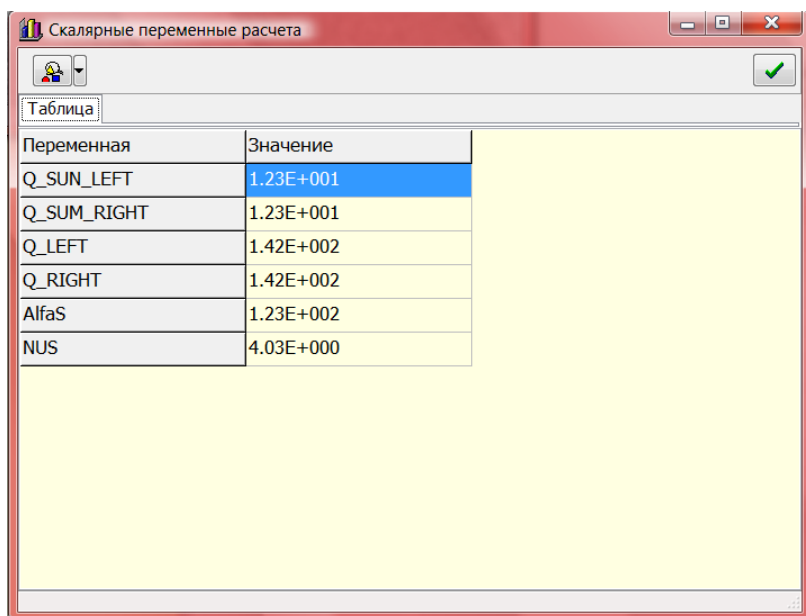
Ручная настройка цветных контуров

Обычно цветовая шкала соотносится с интервалом изменения поля. При решении сложных задач (особенно при наличии Flow и Struct областей) интервал изменения Φ -переменной по умолчанию не позволяет построить информативные картинки.

Для изменения интервала изменения Φ -переменной вручную можно использовать пункт меню, открываемый по нажатию кнопки «Настройки» - «Ручной интервал цветов поля».

2.4. Просмотр скалярных переменных пользователя

Для просмотра переменных пользователя используется окно визуализации, представляющее собой таблицу их значений (рисунок 2.14).



Переменная	Значение
Q_SUN_LEFT	1.23E+001
Q_SUM_RIGHT	1.23E+001
Q_LEFT	1.42E+002
Q_RIGHT	1.42E+002
AlfaS	1.23E+002
NUS	4.03E+000

Рисунок 2.14 - Окно визуализации «Просмотр скалярных переменных пользователя»

2.5. Работа с нестационарными задачами

При решении нестационарной задачи вывод в файлы результатов *.ars осуществляется на выбранных шагах по времени. Список этих шагов высвечивается в виде выпадающего списка в диалогах визуализации векторных полей и Φ -переменных. Просмотр и анализ каждого шага производится аналогично случаю стационарной задачи.

Дополнительно можно просмотреть все поля в режиме анимации. Для этого необходимо воспользоваться кнопкой «Внутренняя анимация», расположенной справа от списка шагов по времени.

В диалоге просмотра Φ -полей можно наряду с графиками по оси X,Y,Z просмотреть графики по времени значения Φ -переменной в точке Проба.

Аналогичные графики по времени можно построить и для переменных пользователя.

2.6. Просмотр траекторий частиц LDP-модели

В версии 2.10 кода Anes реализована лагранжева LDP-модель двухфазного дисперсного потока (см. главу 7 документа [1]). Для анализа результатов расчета дискретной фазы, которые представляют собой набор траекторий частиц используются диалог «Траектории частиц дискретной фазы», который вызывается нажатием кнопки «Траектории частиц» (рисунок 2.15). Сам диалог показан на рисунке 2.16.

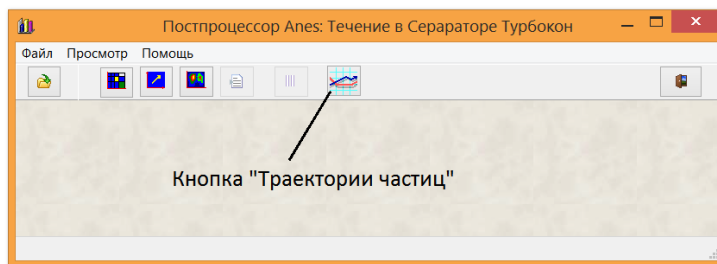


Рисунок 2.15 - Кнопка вызова диалога

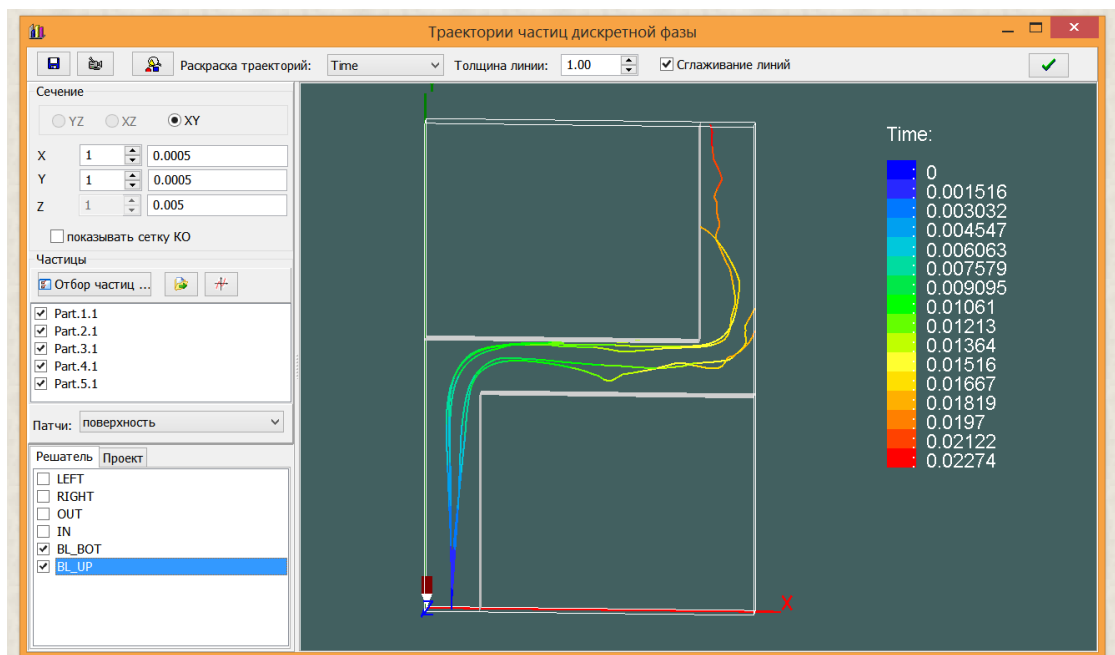


Рисунок 2.16 - Диалог анализа траекторий

Этот диалог аналогичен другим диалогам просмотра. В левом окне - сцене расчетной области производится рисование всех отобранных траекторий частиц. Траектории «раскрашиваются» значениями текущего поля, связанного с траекториями. Имя этого поля выбирается из выпадающего списка «Раскраска траекторий», расположенного на панели инструментов. Для отбора изображаемых частиц используется список частиц с «галочками». Если частиц много, то для отбора можно использовать шаблон имени частиц, который формируется в диалоге «Отбор частиц» (рисунок 2.17).

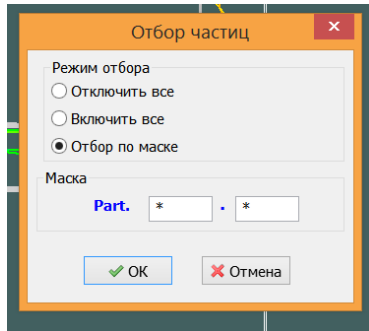


Рисунок 2.17 - Задание маски отбора частиц

В Решателе с каждой частицей связывается имя в формате “Part.XX.YY”, где XX - это номер группы частиц, YY - номер частицы в группе. В маске отбора можно использовать целые числа, символ «*» (любое число любых цифр), «?» (любая одна цифра).

Для просмотра полей отдельной частицы, выделенной курсором в списке частиц, можно использовать диалог просмотра графиков, запускаемый по «левой» кнопке бокса «Частицы». При нажатии средней кнопки вместо графика можно сохранить все поля в виде DAT-файла.

3. Пакетный постпроцессор

При решении «тяжелых» задач размеры данных, создаваемые Решателем, могут составлять несколько гигабайт. Поскольку такие задачи обычно решаются на удаленных кластерах под управлением операционной системы Unix/Linux. В этом случае пользователь работает через удаленную консоль, в которой нельзя осуществить графическую обработку результатов расчета. Единственный способ обработки – «забрать» результаты расчетов с кластера на локальный компьютер. При размерах файлов порядка нескольких гигабайт это может занять несколько часов.

Для облегчения обработки результатов можно использовать пакетный постпроцессор, который представляет собой консольное приложение, позволяющее:

- 1) вывести двумерные поля в выбранных сечениях по осям x, y, z ;
- 2) вывести двумерные поля по любому поверхностному патчу;
- 3) вывести одномерные поля вдоль линии, направленной вдоль осей x, y, z .

Двумерные поля выводятся в виде VTK-файлов, которые могут быть проанализированы в постпроцессоре ParaView (или даже на планшете с Андроид с использованием приложения KiwiViewer). Одномерные поля выводятся в виде стандартных текстовых файлов-таблиц. Для их просмотра можно использовать любую программу для построения графиков. В составе Anes имеется простая утилита laViewDat.exe, которая позволяет проанализировать эти файлы.

Для выполнения постпроцессора используется следующая командная строка

```
<anes>\bin\forlarBpost20.exe -i:<Имя скрипта> -r:<Префикс результатов> \
[-od:<Каталог результатов>] [-bin] [-wait] \
[-nt:<Номер шага по времени>]
```

Здесь

<Имя скрипта> - путь к файлу с командами построения (файл с расширением *.apsc),

<Префикс результатов> - путь к файлу AGR результатов расчета
(без расширения AGR),

<Каталог результатов> - каталог для выходных файлов утилиты (если этот ключ не задан, то вывод осуществляется в каталог с файлами результатов),

:<Номер шага по времени> - номер шага по времени, для стационарных задач можно не указывать (он = «0»),

-bin - если ключ указан, то VTK-файл имеет двоичный формат, по умолчанию используется текстовый формат,

-wait – если ключ указан, перед окончанием работы утилиты ожидает нажатия клавиши ENTER.

При работе с Anes в системе Windows пакетный постпроцессор можно вызвать двумя способами:

1. Если в папке с файлом проекта располагается APSC-файл с тем же именем, то постпроцессор будет вызван автоматически после проведения расчета.
2. Постпроцессор можно вызвать из оболочки из меню инструментов.

При работе в системе Linux для вызова пакетного постпроцессора используется скрипт work_lin/ aRUN_BPOST.sh:

```
#!/bin/bash
# =====
# ЭТО рабочий скрипт для выполнения Пакетного Постпроцессора
# =====
```

```

bin_dir=$ANES20XE/bin; export bin_dir
bpost_exe=$ANES20XE/bin/gfor/arBpost20
# =====
AFILE=afiles/scp_freon-utf8
ASCRIPT=$AFILE.apsc
#=====
# получаем префикс файлов результатов
#
set -- $($bin_dir/atest.e $AFILE.a)
AID=$1
if [ "$AID" == "_aerror" ]
then
  echo Error: Файл проекта $AFILE не найден!
  exit 4
fi
#
#=====Запускаем =====
$bpost_exe -i:$ASCRIPT -r:$AID -od:bpost

```

В этом файле пользователь указывает путь к файлу проекта и файлу со командами построения (в данном примере место и имена файлов совпадают).

Для получения имени файлов результатов используется утилита кода Anes – atest.e. В данном примере результаты работы постпроцессора выводятся в подкаталог bpost текущего каталога.

Замечание. В текущей версии пакетный постпроцессор может работать только с неструктурной сеткой.

3.1. Файл скрипта

Файл с командами построения представляет собой обычный текстовый файл с расширением *.apsc. Синтаксис команд построения аналогичен командам утилиты верификации laVerify:

1. Каждый оператор записывается на отдельной строке.
2. Все что расположено правее знака “!” считается комментарием.
3. При записи операторов регистр букв не учитывается.

Файл скрипта разбит на блоки, начало блока определяется оператором Oper = Graph/SectVTK/PatchVTK

Блок, начинающийся с оператора Graph позволяет построить одномерные поля вдоль линии, блок SectVTK – двумерные поля в сечении, PatchVTK – двумерные поля по поверхностному патчу.

3.2. Построение одномерных полей

Для построения одномерных зависимостей Φ -переменных и полей пользователя от координат x, y, z вдоль линии (фактически – это одномерные графики) используется следующий набор операторов скрипта:

```

Oper = Graph
PostFix = <Постфикс файла результата>
Dir = X/Y/Z
Point(x0, y0, z0)
Fields("Ф-Имя1", "Ф-Имя2", ...)
Delim = comma/tab/blank
TransCoord("X/Y/Z", A, B)
TransPHI("Ф-имя1", A, B)
.....

```


Оператор Point определяет точку в расчетной области (РО) через которую проходит линия графика. В текущей версии линия может располагаться только вдоль одной из координатных осей. Направление линии задается оператором Dir.

Список полей, выводимых в файл, определяется оператором Fields. Если оператор не указан, то выводятся все поля из файлов результатов расчета.

Выходной файл имеет следующий вид:

```
"X" "PF" "UGX" "UGY" "TG" "UGZ"
0.00000 -7.825351E-02 0.772000 0.00000 0.00000 0.00000
1.000000E-04 -0.178555 0.775859 -9.720285E-06 -6.567901E-18 1.025177E-06
2.000000E-04 -0.177614 0.779837 -4.462755E-05 -1.620967E-17 -4.372733E-05
3.000000E-04 -0.172460 0.783780 -5.935620E-05 -3.223144E-17 -6.729379E-05
.....
```

В первой строке файла выводятся имена полей, далее выводятся значение координаты и значения полей. В качестве разделителя имен и значений можно использовать три символа. Вид символа-разделителя определяется оператором Delim:

```
blank - пробел,
comma - запятая,
tab - символ табуляции.
```

По умолчанию в качестве разделителя используется символ пробела.

Координату графика (заданную оператором Dir) можно изменить. Для ее масштабирования используется оператор TransCoord. Исходная координата, например x_0 , заменяется на значение

$$x = A * x_0 + B$$

Масштабировать можно и отдельные Ф-переменные. Для этого используются операторы TransPhi:

$$\Phi = A_\Phi * \Phi_0 + B_\Phi$$

В качестве имени выходного файла используется имя файла результатов (заданного ключом -r:) к которому приписывается строка, заданная в операторе PostFix. При этом используются следующие правила:

- 1) если ключ "-od:" не указан, то выходной файл записывается в каталог с файлами результатов;
- 2) если ключ "-od:" указан, то выходной файл записывается в каталог, заданный этим оператором;
- 3) В обоих случаях имя выходного файла получается из имени файлов результатов (без расширения), к которому добавляется строка, заданная оператором PostFix. Если в этой строке отсутствует расширение (оно определяется символом "."), то дополнительно дописывается расширение ".dat".

3.3. Построение полей в сечении

Постпроцессор позволяет построить поля в любом сечении, расположенном перпендикулярно одной из осей координат. В качестве выходного файла создается VTK-файл, в котором сечение описывается набором полигонов. Каждый полигон – это пересечение ячейки РО с заданным сечением.

Для построения используются следующие операторы скрипта:

```
Oper = SectVTK
PostFix = <Постфикс файла результата>
Dir = X/Y/Z
Point(x0, y0, z0)
```

```
Fields("Ф-Имя1","Ф-Имя2",...)
TransCoord("X/Y/Z",A,B)
TransPHI("Ф-Имя1",A,B)
Phase = */G/S
```

Оператор Dir задает направление нормали сечения, оператор Point – точку, через которую проходит плоскость сечения, оператор Fields – список полей для записи в VTK-файл, оператор TransCoord - коэффициенты для преобразования всех координат.

Если оператор Phase не задан, то построение производится во всех ячейках сечения. Если Phase = G, то построение производится только в ячейках с G-фазой, при Phase = G построение производится только в ячейках с S-фазой.

Имя (и каталог) выходного файла формируется так же, как и для графика. Единственное отличие – в качестве расширения файла всегда добавляется “.vtk”.

3.4. Построение полей на поверхностном патче

Постпроцессор позволяет построить двумерные поля не только в плоском сечении, но и по поверхности любого поверхностного патча. Для этого используются операторы, аналогичные оператором SectVTK:

```
Oper = PatchVTK
PostFix = <Постфикс файла результата>
Patch = ИмяПатча
Fields("Ф-Имя1","Ф-Имя2",...)
TransCoord("X/Y/Z",A,B)
TransPHI("Ф-Имя1",A,B)
.....
CylindSystem(Xp,Yp)
SphereSystem(Xp,Yp,Zp)

NoSmoothCycle = 0
```

Операторы аналогичны операторам SectVTK, только вместо операторов Dir и Point используется оператор Patch для задания 2D поверхности.

При расчете турбулентных течений на «кривой» поверхности могут возникать «пульсации» параметров, связанные с использованием пристенных функций. Для «борьбы» с такими распределениями можно использовать сглаживающий фильтр. Это фильтр использует алгоритм «грань – вершины», суть которого заключается в следующем:

- 1) Если мы знаем значения Φ -переменной в вершинах грани Φ_v (N_v – число вершин), то значение в центре грани Φ_p можно рассчитать по соотношению:

$$\Phi_p = \frac{\sum_{v=1, N_v} \Phi_v}{N_v};$$

- 2) Если известны значения в центрах граней Φ_p (N_p – число граней), имеющих общую вершину Φ_v , то значение в вершине можно рассчитать по соотношению:

$$\Phi_v = \frac{\sum_{p=1, N_p} \Phi_p}{N_p}$$

- 3) Если повторить эти вычисления несколько раз, то происходит сглаживание значений в вершинах.

Число таких парных преобразований и задается оператором NoSmoothCycle .

Если не заданы операторы `CylindSystem` и `SphereSystem`, то производится преобразование исходных координат точек граней патча (x_0, y_0, z_0) в координаты выходного файла (x_v, y_v, z_v) с помощью соотношений:

$$\begin{aligned}x_v &= x_0 * A_x + B_x, \\y_v &= y_0 * A_y + B_y, \\z_v &= z_0 * A_z + B_z\end{aligned}$$

Если задан оператор `CylindSystem`, то производится двухшаговое преобразование исходных координат точек граней патча (x_0, y_0, z_0) в координаты выходного файла (x_v, y_v, z_v) . На первом этапе происходит переход от декартовых координат к цилиндрическим (цилиндрическая координата x_c измеряется в радианах!):

$$\begin{aligned}x_c &= \sqrt{(x_0 - x_p)^2 + (y_0 - y_p)^2}, \\y_c &= a \cos \left[\frac{x_0 - x_p}{x_c} \right], \quad z_c = z_0\end{aligned}$$

На втором этапе производится трансформация

$$\begin{aligned}x_v &= x_c * A_x + B_x, \\y_v &= y_c * A_y + B_y, \\z_v &= z_c * A_z + B_z\end{aligned}$$

Типичный пример использования такого преобразования следующий. Пусть патч представляет собой цилиндрическую поверхность. Если не использовать `CylindSystem`, то в VTK-файл будет выведена цилиндрическая поверхность (или эллиптическая при использовании `TransCoord`). При использовании `CylindSystem` поверхность в VTK-файле станет плоской!

Для использования «сферического» преобразования нужно использовать оператор `SphereCoord`, который задает центр сферической системы координат. В этом двухшаговое преобразование имеет вид («координаты» y_c и z_c измеряются в радианах!):

$$\begin{aligned}x_c &= \sqrt{(x_0 - x_p)^2 + (y_0 - y_p)^2 + (z_0 - z_p)^2}, \\y_c &= a \cos \left[\frac{z_0 - z_p}{x_c} \right], \\z_c &= a \cos \left[\frac{x_0 - z_p}{\sqrt{(x_0 - x_p)^2 + (y_0 - y_p)^2}} \right]\end{aligned}$$

На втором этапе производится стандартная трансформация

$$\begin{aligned}x_v &= x_c * A_x + B_x, \\y_v &= y_c * A_y + B_y, \\z_v &= z_c * A_z + B_z\end{aligned}$$

При использовании этого преобразования поверхность сферического патча превратится в плоскую поверхность.

3.5. Пример скрипта

Рассмотрим типичный пример – расчет течения теплоносителя в сборке твэлов. РО представляет собой ячейку симметрии в которой расположены три твэла цилиндрической формы. Диаметр твэлов – 9 мм, длина канала – 1000 мм.

Файл скрипта:

```
!-----  
Oper = GRAPH  
!-----  
PostFix = y06.dat  
Dir = Y  
Point(0.0182,0,0.06)  
!-----  
Oper = GRAPH  
  
!-----  
Oper = SectVTK  
!-----  
PostFix = z06  
Fields("TG", "UGZ", myNTUR, _CP)  
Dir = Z  
Point(0,0,0.06)  
TransCoord(Z,0.05,0)  
!-----  
Oper = SectVTK  
!-----  
PostFix = z43  
Fields("TG", "UGZ", myNTUR, _CP)  
Dir = Z  
Point(0,0,0.43)  
TransCoord(Z,0.05,0)  
!-----  
Oper = PatchVTK  
!-----  
Patch = ROD0  
Fields("TG")  
TransCoord(Z,0.05,0)  
  
!-----  
Oper = PatchVTK  
!-----  
Patch = ROD1  
Fields("TG")  
TransCoord(Z,0.05,0)  
!-----  
Oper = PatchVTK  
!-----  
Patch = ROD2  
Fields("TG")  
TransCoord(Z,0.05,0)
```

В результате работы постпроцессора будут созданы файлы:

freon-full_y06.dat,
freon-full_ROD0.vtk, freon-full_ROD1.vtk, freon-full_ROD2.vtk,
freon-full_z06.vtk, freon-full_z43.vtk

Построение этих VTK-файлов в постпроцессоре ParaView показано на рисунке 3.1.

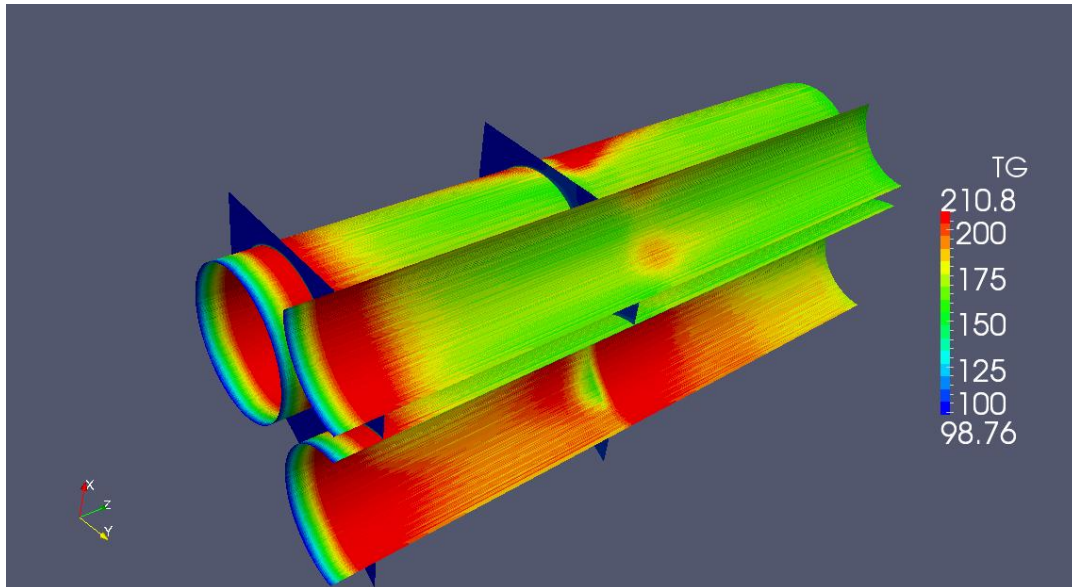


Рисунок 3.1 – Сечения и патчи, построенные в ParaView

3.6. Утилита просмотра DAT-файлов

Как уже отмечалось, для «исследования» файлов dat, созданных оператором Graph, можно использовать любой пакет для анализа графиков (например, Excel или Origin). Для быстрого анализа этих файлов можно использовать утилиту laViewDat.exe, которую можно запустить из оболочки (меню «Инструменты/Утилита просмотра DAT файлов»). Интерфейс этой утилиты тривиальный, вид ее для файла freon-full_y06.dat показан на рисунке 3.2.

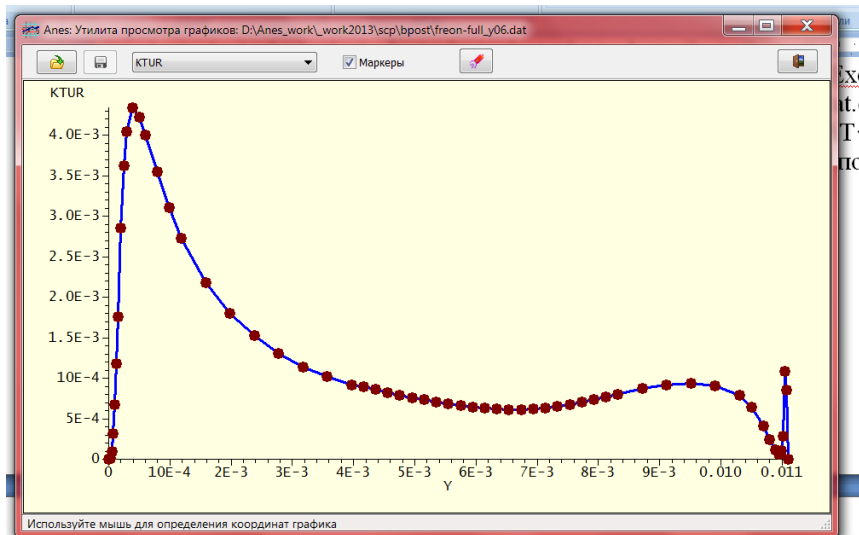


Рисунок 3.2 – Утилита aViewDat

Литература

1. Код Anes20хе. «Описание математических моделей кода», версия 2.24, 2019.
2. Код Anes20хе. «Описание численных алгоритмов кода», версия 2.24, 2019.