

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
«СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
«ГИПЕРКУБ» ВЕРСИИ 2-ГРАФ»

г. Москва

2026 год

## АННОТАЦИЯ

Документ содержит руководство по применению и эксплуатации Специализированного программного комплекса «ГиперКуб» версии 2-ГРАФ.

В документе приведена информация, достаточная для понимания функций СПК «ГиперКуб» и его эксплуатационных особенностей. Дано описание последовательности действий оператора, обеспечивающих загрузку, запуск, выполнение и завершение работы СПК «ГиперКуб». Приведены описания функций команд, с помощью которых, оператор осуществляет работу с программным обеспечением (далее - ПО), а также ответы программы на эти команды.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1. Назначение СПК «ГиперКуб» .....	4
2. Условия запуска и состав программы.....	7
2.1. Аппаратная платформа.....	7
2.2. Программная платформа .....	7
2.3. Состав программы.....	8
3. Выполнение программы.....	9
3.1. Подготовка расчетной задачи «Препроцессор».....	9
3.2. «Монитор» .....	72
3.3. Визуализация результатов расчета «Постпроцессор» .....	76
4. Сообщения оператору.....	105
4.1. Сообщение при создании проекта.....	105
4.2. Сообщение при открытии существующего проекта .....	105
4.3. Сообщения при закрытии проекта .....	105
4.4. Сообщения при сохранении проекта .....	106
4.5. Сообщения при открытии YAML-файлов.....	106
4.6. Сообщения при работе с расчетной сеткой.....	108
4.7. Сообщения при работе с компонентами.....	109
4.8. Сообщения при работе с материалами .....	110
4.9. Сообщения при работе с граничными условиями .....	111
4.10. Сообщения при работе с дисперсной фазой .....	111
4.11. Сообщения при работе с разделами сетки .....	112
4.12. Сообщения при работе с регионами .....	113
4.13. Сообщения при трансляции проекта.....	114
4.14. Сообщения при работе с настройками.....	114
4.15. Сообщения при работе с постпроцессором.....	116
Заключение .....	117

## 1. НАЗНАЧЕНИЕ СПК «ГИПЕРКУБ»

Специализированный программный комплекс «ГиперКуб» версии 2-ГРАФ (далее - СПК «ГиперКуб») оптимизирован для суперкомпьютерного моделирования на высокопроизводительных вычислительных кластерах рабочих процессов в сложных технических объектах. Использование СПК «ГиперКуб» возможно также и на персональных компьютерах и рабочих станциях.

Функциональные возможности СПК «ГиперКуб»:

- трехмерное моделирование сжимаемых нестационарных турбулентных многокомпонентных реагирующих течений;
- трехмерное моделирование двухфазных полифракционных течений (газ – частицы, газ – капли) с горением капель/частиц;
- использование различных моделей турбулентности (LES, RANS/URANS);
- проведение расчетов с использованием неструктурированных смешанных расчетных сеток с тетра-, гекса- и призматическими объемными элементами (сеткопостроители ANSYS, ЛОГОС);
- моделирование сопряженного теплообмена и расчет теплового состояния элементов конструкции исследуемых объектов;
- использование на гибридных ЭВМ с графическими процессорами (ГП) и многоядерными центральными процессорами (ЦП) (включая «Эльбрус»);
- интеграция с пакетом программ «ЛОГОС» (сопряжения в части использования расчетных сеток и постпроцессора).

Графический интерфейс (далее - Программа) СПК «ГиперКуб», обеспечивает автоматизацию подготовки расчетной задачи, запуск расчета и визуализацию результатов расчета.

Программа имеет следующие функциональные возможности:

- 1) загрузка расчетной сетки в формате CGNS;
- 2) визуализация расчетной сетки: выбор точки обзора (камеры), настройка положения, направления и углов камеры, вращение геометрической модели;
- 3) задание базовых параметров;
- 4) задание параметров численных методов;
- 5) задание параметров компонентов;
- 6) задание параметров газообразных материалов, твердых материалов;
- 7) задание граничных условий;
- 8) задание химических реакций;
- 9) задание параметров перезапуска;
- 10) задание параметров модели турбулентности;
- 11) задание параметров дисперсной фазы, задание параметров источников;
- 12) визуализация источников дисперсной фазы;
- 13) задание параметров разделов расчетной сетки;
- 14) визуализация разделов расчетной сетки;
- 15) сохранение задачи;
- 16) трансляция задачи в формат решателя;
- 17) задание настроек решателя;
- 18) запуск решателя с необходимыми параметрами;
- 19) визуализация журнала работы решателя;
- 20) визуализация евклидовой нормы полей переменных;
- 21) визуализация выходных файлов решателя;
- 22) загрузка файлов в формате SILO;
- 23) визуализация трехмерной модели сетки, загруженной из SILO файла;

- 24) построение сечений выходного файла, с возможностью выбора отображаемого поля переменных, координат точки, нормали плоскости;
- 25) построение линий тока с возможностью выбора компонентов векторного поля, параметров линий тока;
- 26) построение векторного поля с возможностью выбора компонентов векторного поля, свойств векторов, плотности векторов;
- 27) вычисление интегральных параметров;
- 28) визуализация сечения интегральных параметров, вывод расчетных значений интегральных параметров в отдельном окне;
- 29) отображение цветовой шкалы.

## 2. УСЛОВИЯ ЗАПУСКА И СОСТАВ ПРОГРАММЫ

### 2.1. Аппаратная платформа

СПК «ГиперКуб» может быть запущен на любом современном компьютере или вычислительном кластере.

Для запуска на ГП необходимы одна или более графических карт NVIDIA с поддержкой технологии CUDA и версии compute capability не ниже 6.1.

### 2.2. Программная платформа

Для сборки и запуска СПК «ГиперКуб» необходимо следующее системное и инструментальное ПО:

- операционная система GNU/Linux;
- пакет gcc версии не ниже 5.0.0;
- пакет автоматической сборки cmake не ниже 3.1.0;
- библиотека, поддерживающая стандарт MPI 3.0 (желательно openmpi);
- для сборки и запуска на кластерах с графическими процессорами нужен CUDA Toolkit не ниже 11.0.

СПК «ГиперКуб» устанавливает автоматически и использует следующие дополнительные библиотеки:

- CGNS-4.1.2;
- HDF5-1.10.7;
- SILO-4.10.2;
- YAML-cpp-0.6.3;
- SCOTCH-6.1.0;
- Qubiq-lib3-0.2.6.

CGNS (<https://cgns.github.io/>) – стандарт и библиотека для хранения данных и результатов численного моделирования;

HDF5 (<https://www.hdfgroup.org/>) – формат данных и название библиотеки с открытым исходным кодом, который обеспечивает возможность эффективного доступа и хранения сложных разнородных данных, полученных в процессе численного моделирования;

SILO (<https://software.llnl.gov/Silo/>) — формат данных и библиотека, предназначенная для чтения и записи расчетных сеток и результатов расчетов;

YAML (<https://yaml.org>) – название библиотеки и формат сериализации данных, близкий к языкам разметки, но ориентированный на удобство ввода-вывода типичных структур данных многих языков программирования;

SCOTCH (<https://www.labri.fr/perso/pelegrin/scotch/>) – библиотека, используемая для построения разбиения графов (расчетных сеток), при организации параллельных вычислений.

Qubiq-lib3 - библиотека из состава СПК «ГиперКуб», предназначенная для работы с расчетными сетками.

### **2.3. Состав программы**

Программа включает в себя строку меню, панель инструментов, кнопки, вкладки «Препроцессор», «Монитор» и «Постпроцессор», дерево проекта, область настройки параметров секций, окно 3D визуализации и окно лога.

Основное функциональное назначение вкладок:

- «Препроцессор» – подготовка расчетной задачи;
- «Монитор» – текстовое отображение (лог) процесса расчетов и визуализация невязок;
- «Постпроцессор» – визуализация результатов расчетов.

### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОГРАММЫ

#### 3.1. Подготовка расчетной задачи «Преппроцессор»

##### 3.1.1. Меню

Меню включает следующие вкладки: «Файл», «Правка», «Запуск», «Настройки» и «Помощь».

##### 3.1.1.1. Вкладка «Файл»

Вкладка «Файл» активирует процедуры создания, открытия, сохранения, закрытия проекта и выхода из Программы (рис. 3.1).

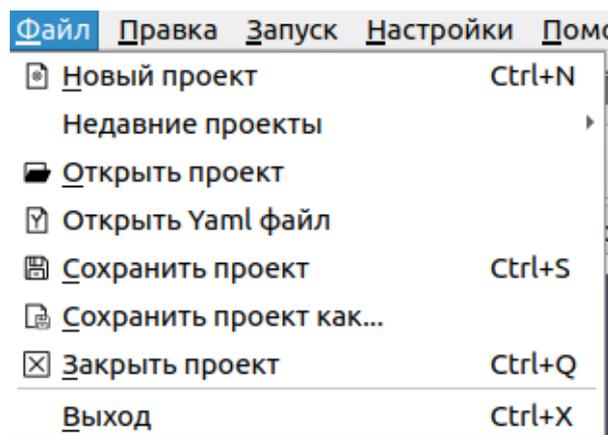


Рисунок 3.1– Пункт меню «Файл»

##### 3.1.1.2 Вкладка «Правка»

Вкладка «Правка» активирует процедуры: «Лог виджет», «Режим отладки» и «Тулбары» (рис. 3.2).

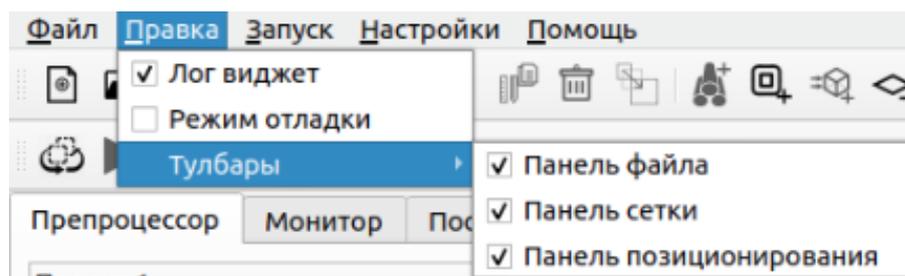


Рисунок 3.2 – Пункт меню «Правка»

### 3.1.1.3 Вкладка «Запуск»

Вкладка «Запуск» активирует процедуры: «Транслировать проект», «Выполнить проект», «Приостановить исполнение» и «Остановить исполнение», причем при работе в данном режиме активна только кнопка «Транслировать проект», остальные кнопки отключены (рис. 3.3).

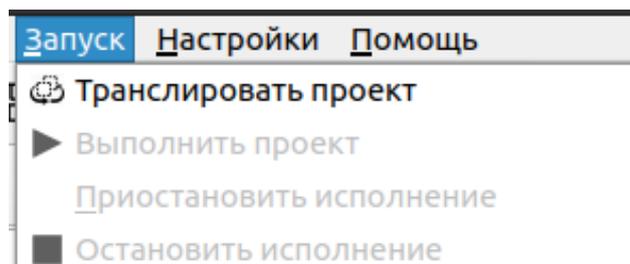


Рисунок 3.3 – Пункт меню «Запуск»

### 3.1.1.4 Вкладка «Настройки»

Вкладка «Настройки» активирует процедуры «Изменить цвет фона», «Настроить границы масштабирования», «Изменить диапазон шкалы», «Ориентация цветовой шкалы», «Уровень прозрачности границ», «Скрыть сетку с рамкой», «Показать водяной знак в постпроцессоре», и «Настройки решателя», причем кнопки «Изменить диапазон шкалы» и «Ориентация цветовой шкалы» не активны в текущем режиме и доступны при работе в постпроцессоре (рис. 3.4).

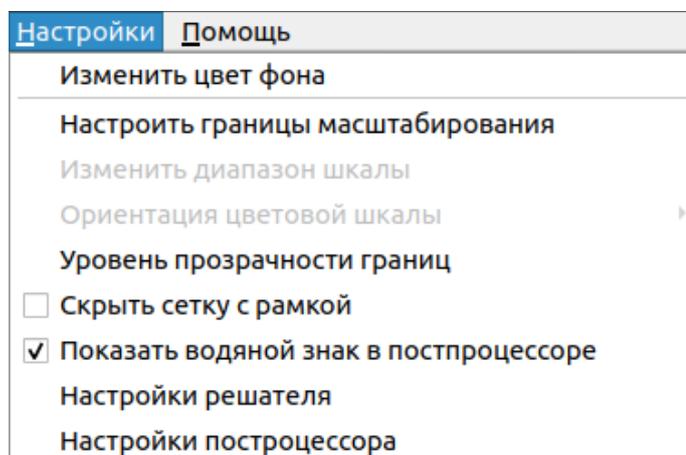


Рисунок 3.4 – Пункт меню «Настройки»

Для изменения цвета фона нажмите на кнопку «Изменить цвет фона» и задайте желаемый цвет в открывшемся окне (рис. 3.5).

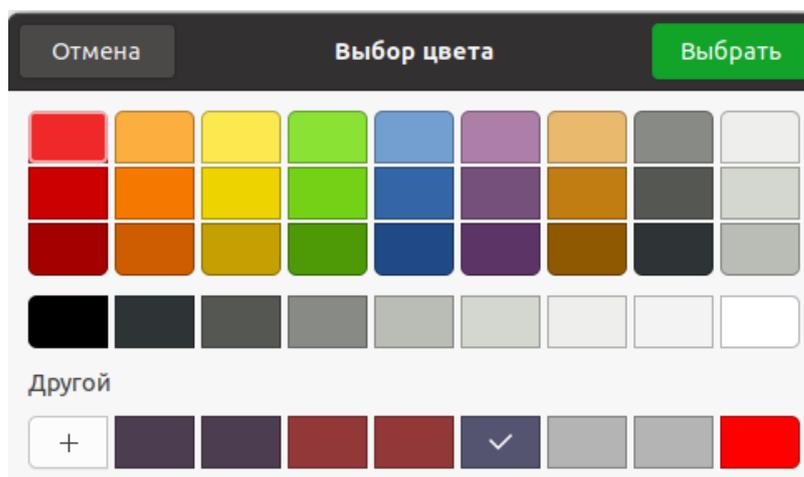


Рисунок 3.5 – Выбор цвета фона

Для активации окна с отображением текущего масштаба расчетной сетки и формы редактирования диапазона масштабирования нажмите на кнопку «Настроить границы масштабирования» (рис. 3.6).

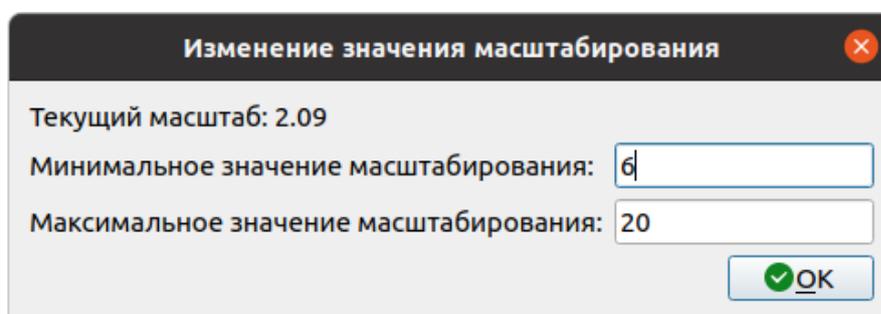


Рисунок 3.6 – Настройки масштабирования

Действие кнопок «Изменить диапазон шкалы», «Ориентация цветовой шкалы», «Показать водяной знак в постпроцессоре» описано в пункте п. 3.3.1 «Меню» данной инструкции.

Для изменения прозрачности границ нажмите на кнопку «Уровень прозрачности границ» и используйте слайдер (рис. 3.7, 3.8).

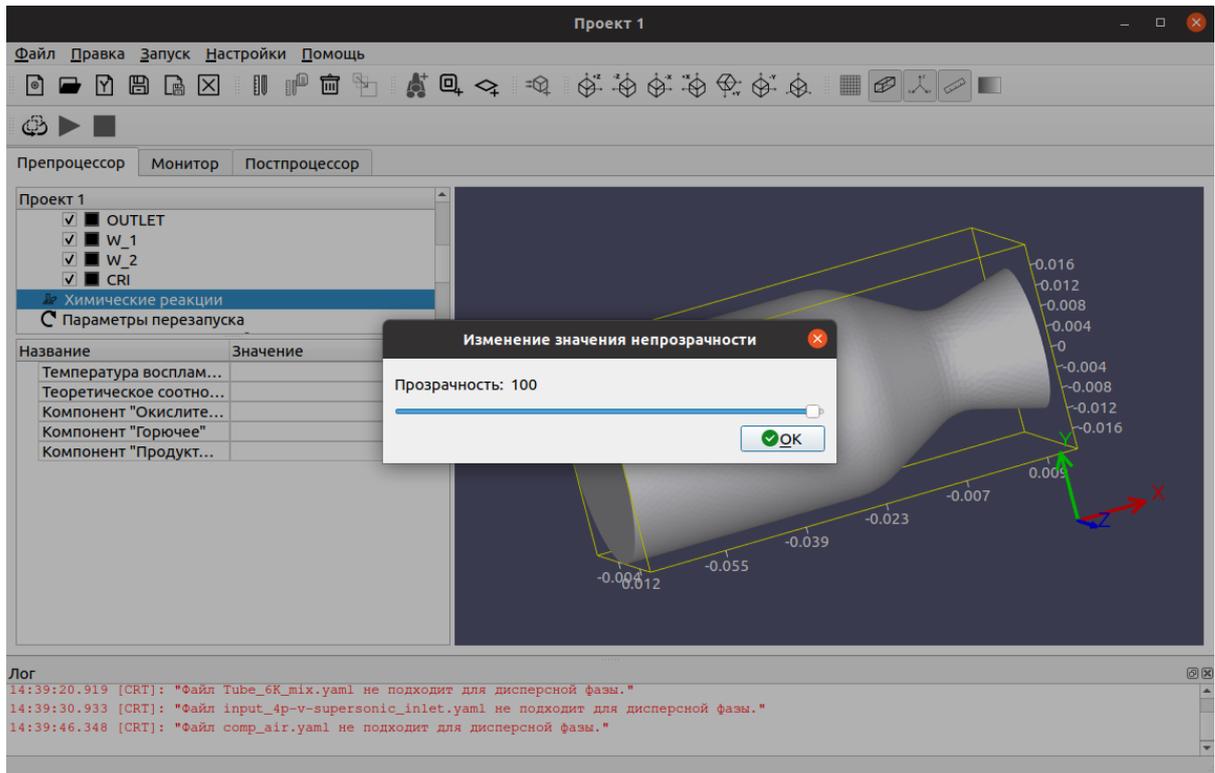


Рисунок 3.7 – Прозрачность 100%

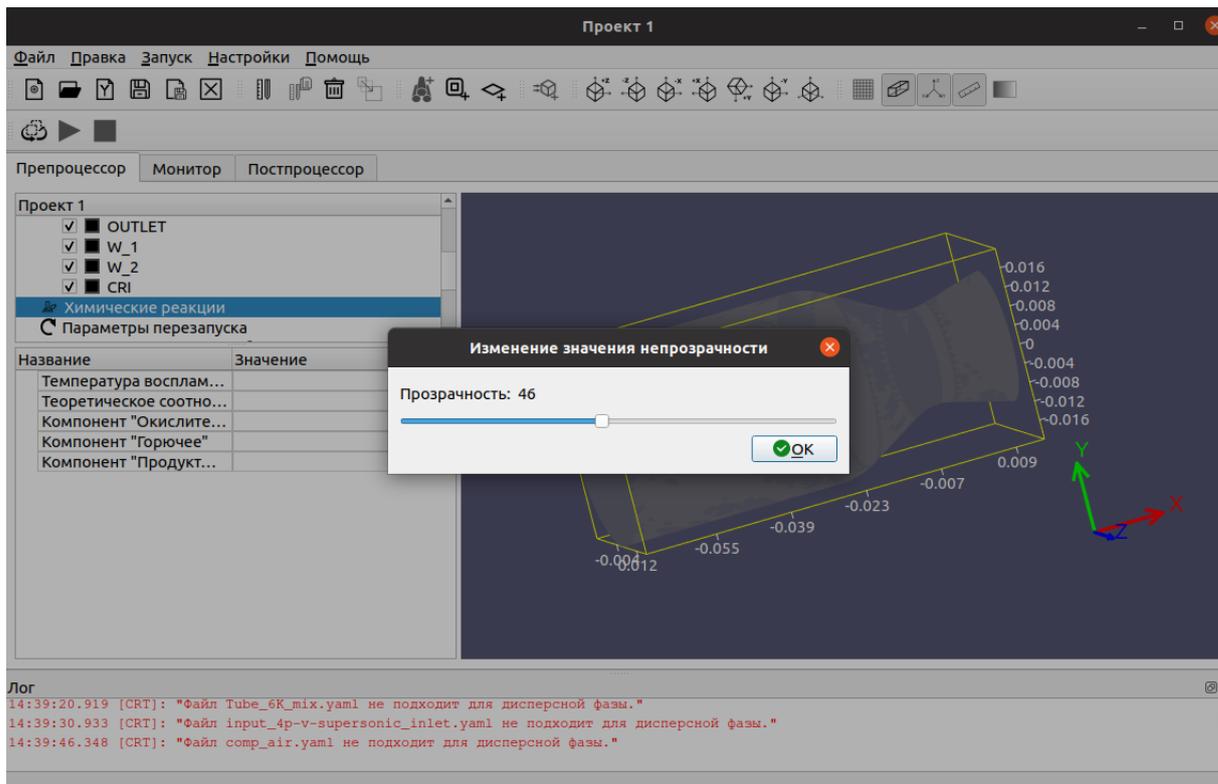


Рисунок 3.8 – Прозрачность 47%

Действие кнопок «Уровень прозрачности границ» и «Скрыть сетку с рамкой» дополнительно описано в пункте п. 3.1.2.4 «Панель инструментов «Регион».

Для открытия окна с настройками решателя нажмите на кнопку «Настройки решателя» (рис. 3.9).

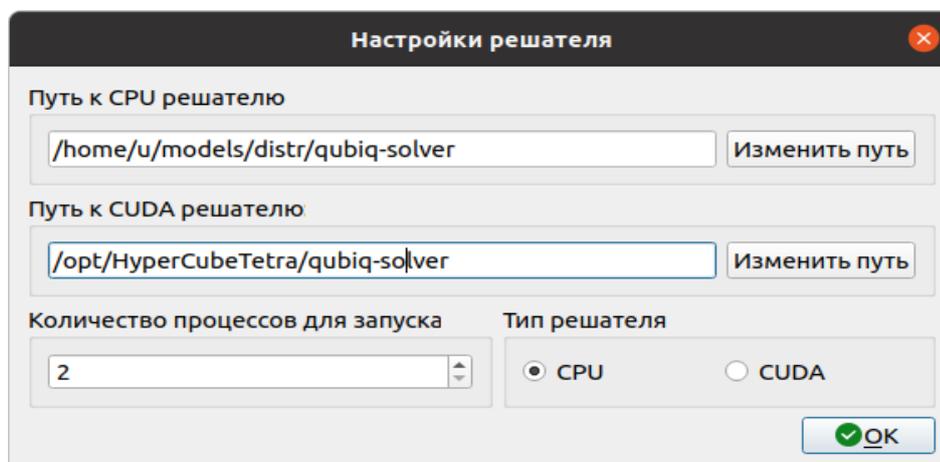


Рисунок 3.9 – Настройки решателя

В окне «Настройки решателя» доступны следующие настройки:

- «Путь к ЦП (CPU) решателю»,
- «Путь к ГП (CUDA) решателю»,
- «Количество процессов для запуска»,
- «Тип решателя ЦП/ГП (CPU/ CUDA)».

Для получения доступа к бинарному файлу решателя нажмите на кнопку «Изменить путь». После чего откроется файловый проводник с соответствующим каталогом (рис. 3.10).

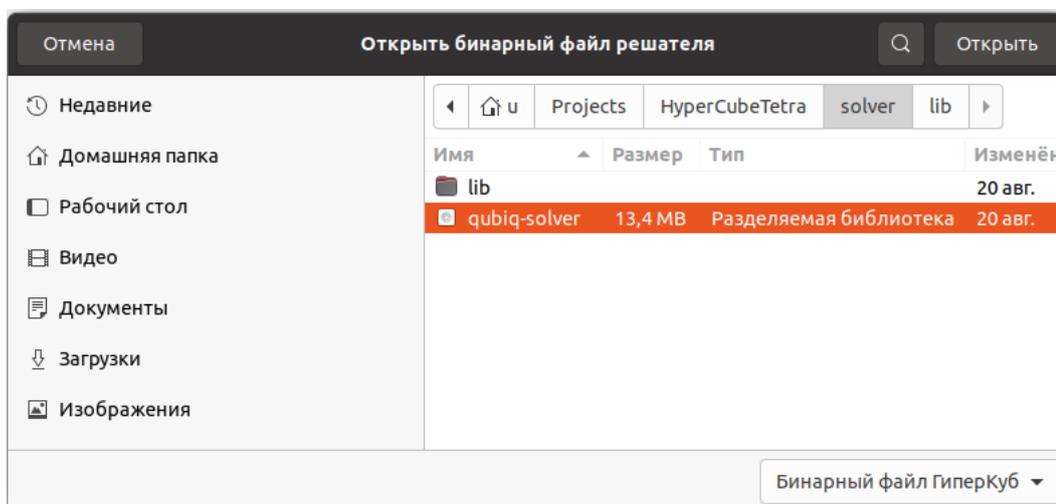


Рисунок 3.10 – Выбор бинарного файла решателя

### 3.1.1.5. Вкладка «Помощь»

Вкладка включает кнопки «Руководство оператора» и «О программе» (рис. 3.11).

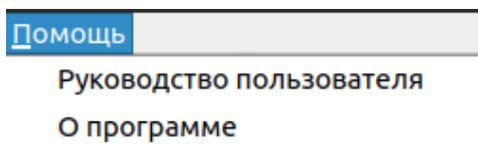


Рисунок 3.11 – Вкладка «Помощь»

Для вызова окна с инструкцией по работе с СПК «ГиперКуб» нажмите на кнопку «Руководство оператора» (рис. 3.12).

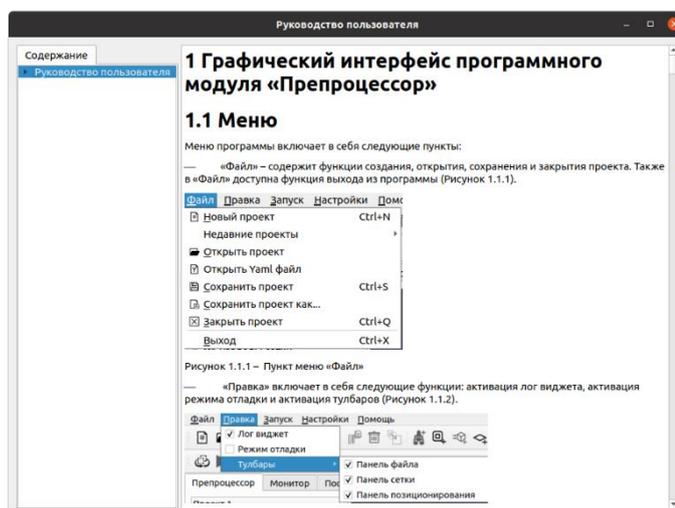


Рисунок 3.12 – «Руководство оператора»

Для вызова окна с информацией о текущей версии ПО нажмите на кнопку «О программе».

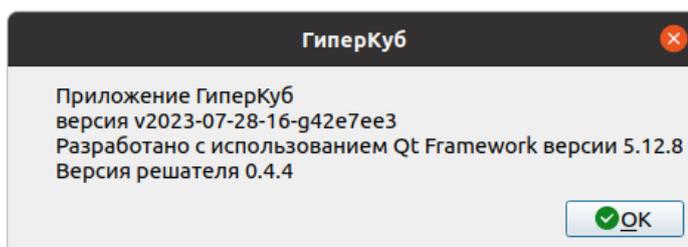


Рисунок 3.13 – Информация о текущей версии ПО

### 3.1.2. Панель управления

Панель управления расположена ниже строки «Меню» и включает в себя: главную панель инструментов и панели инструментов «Сетка», «Рабочая среда», «Регион», «Камера», «Отображения» и «Запуск» (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Панель управления

Для вызова контекстного меню включения/выключения отображения любой из панелей инструментов подведите курсор к панели управления и нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.15).

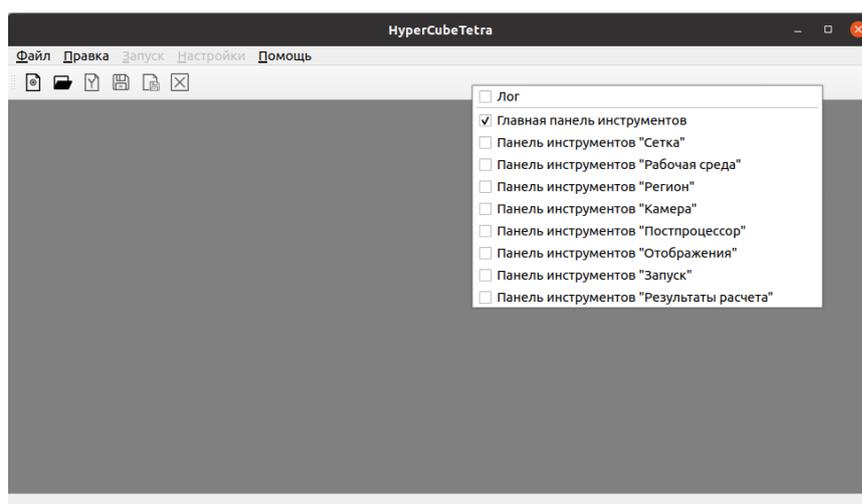


Рисунок 3.15 – Контекстное меню панели управления

#### 3.1.2.1. Главная панель инструментов

На главной панели инструментов расположены кнопки для создания, открытия, сохранения, закрытия проекта и открытия YAML-файла (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Главная панель инструментов

При нажатии на кнопку «Новый проект» создается новый проект с названием по умолчанию. Как изменить название проекта указано ниже в описании кнопки «Сохранить проект как».

Для открытия проекта нажмите на кнопку «Открыть проект», после чего откроется файловый проводник, где необходимо выбрать файл проекта в формате .cube (рис. 3.17).

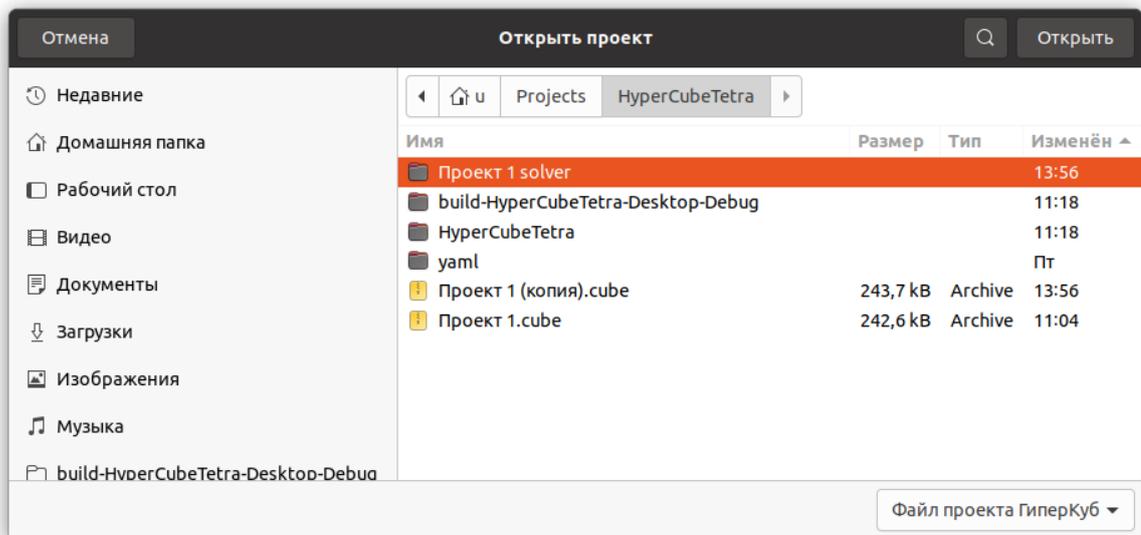


Рисунок 3.17 – Файловый проводник (открытие проекта)

Для переименования проекта подведите курсор к его названию (вверху дерева проекта), нажмите на левую кнопку мыши и задайте новое название в открывшемся окне (рис. 3.18).

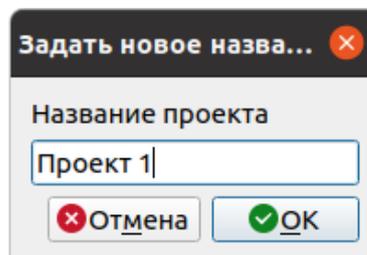


Рисунок 3.18 – Окно задания нового названия проекта

Кнопка «Открыть YAML файл» (рис. 3.19) открывает файловый проводник, позволяя загрузить конфигурационный файл проекта (при его наличии) в формате YAML.



Рисунок 3.19 – Кнопка «Открыть YAML файл»

Для сохранения проекта нажмите на кнопку «Сохранить проект» на панели инструментов, после чего в окне лога появится сообщение о сохранении файла проекта (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 – Кнопка «Сохранить проект»

При нажатии на кнопку «Сохранить проект как» открывается файловый проводник с возможностью задать название проекта и соответствующий путь (рис. 3.21, 3.22).



Рисунок 3.21 – Кнопка «Сохранить проект как»

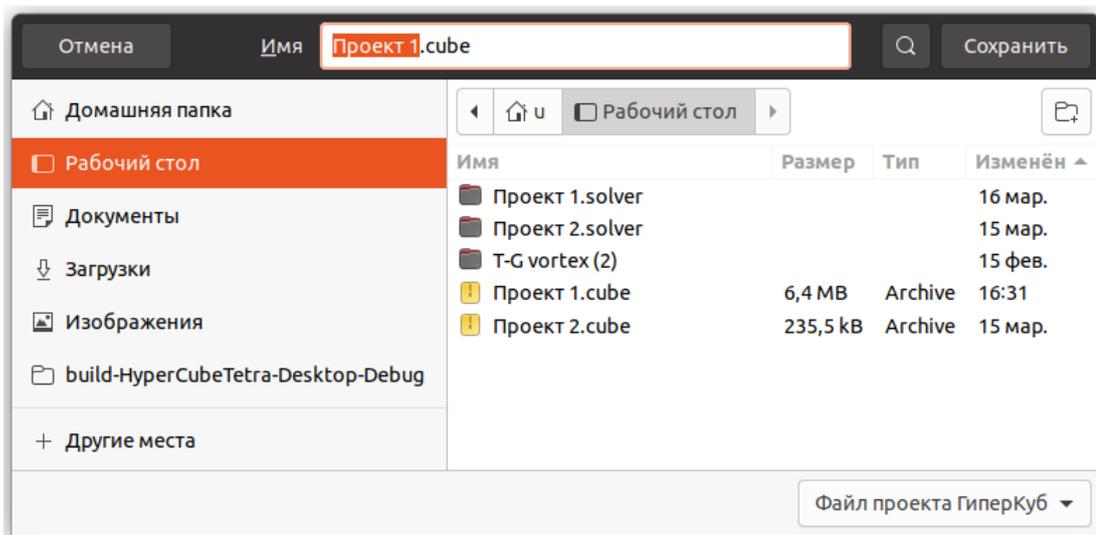


Рисунок 3.22 – Сохранение проекта в каталоге

### 3.1.2.2. Панель инструментов «Сетка»

На панели инструментов «Сетка» доступны кнопки: «Загрузить сетку», «Копировать параметры из», «Удалить сетку» и «Масштаб сетки» (рис. 3.23).



Рисунок 3.23 – Панель инструментов «Сетка»

Кнопка «Загрузить сетку» открывает файловый проводник для загрузки сетки проекта в формате CGNS (при наличии) (рис. 3.24).

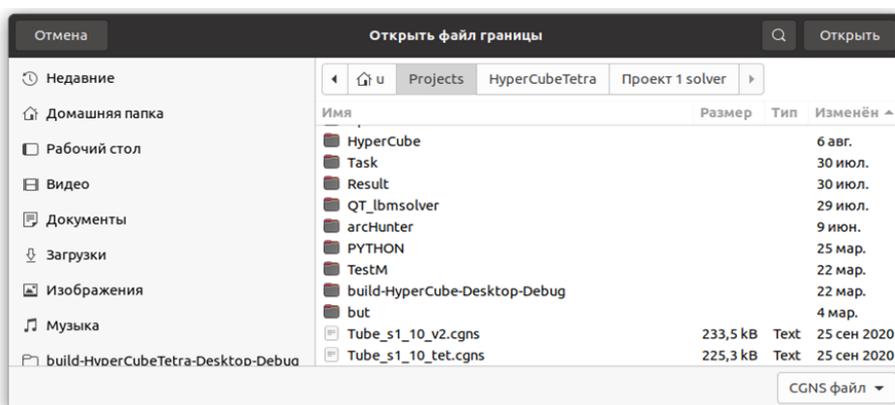


Рисунок 3.24 – Файловый проводник с файлами сеток

Кнопка «Копировать параметры из» позволяет копировать параметры одной границы на другую. Альтернативный способ – подвести курсор к

соответствующей границе в секции «Граничные условия» дерева проекта, нажать на правую кнопку мыши и выбрать «Копировать параметры из» в контекстном меню (рис. 3.25).

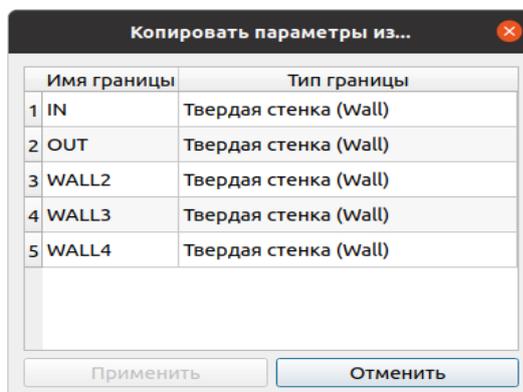


Рисунок 3.25 – Таблица параметров границ

### 3.1.2.3. Панель инструментов «Рабочая среда»

На панели инструментов «Рабочая среда» доступны кнопки: «Добавить материал», «Добавить компонент» и «Добавить источник» (рис. 3.26).



Рисунок 3.26 – Панель инструментов «Рабочая среда»

Для задания материала нажмите на кнопку «Добавить материал» (рис. 3.27) и задайте параметры материала в дереве проекта (рис. 3.28).



Рисунок 3.27 – Кнопка «Добавить материал»

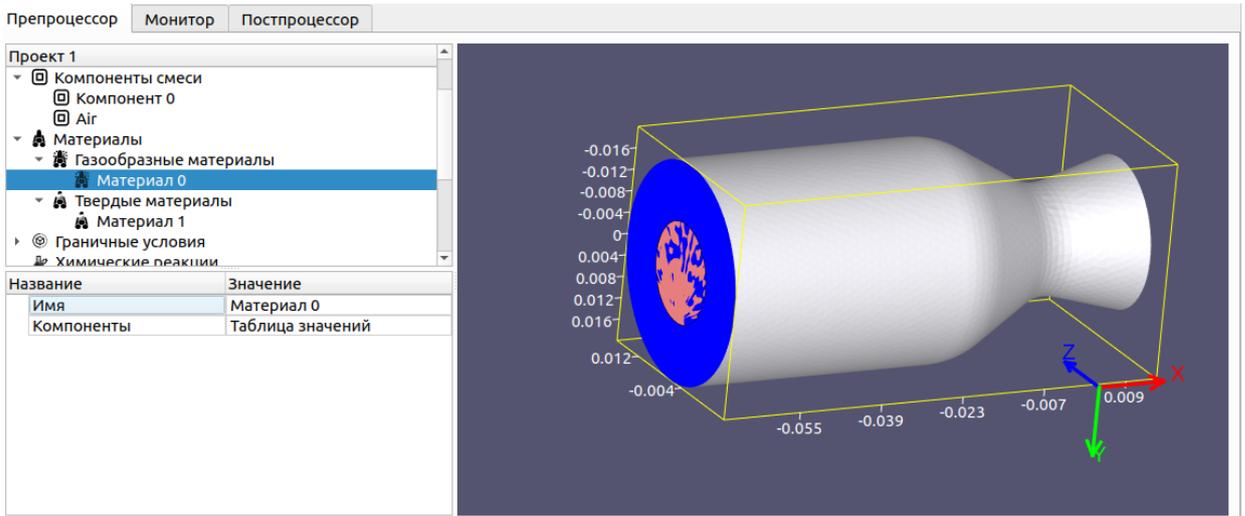


Рисунок 3.28 – Добавление материала (дерево проекта с параметрами материала)

Для задания компонента нажмите на кнопку «Добавить компонент» (рис. 3.29) и задайте параметры компонента в дереве проекта (рис. 3.30).

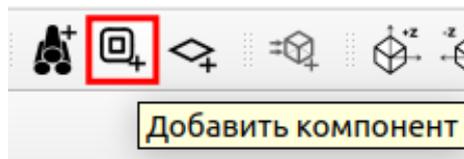


Рисунок 3.29 – Кнопка «Добавить компонент»

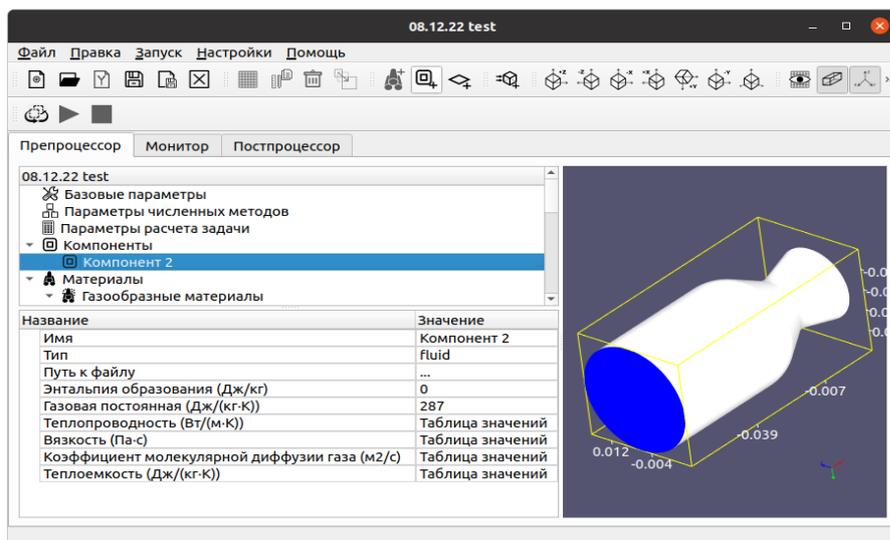


Рисунок 3.30 – Добавление компонента (дерево проекта с параметрами компонента)

Для задания источника нажмите на кнопку «Добавить источник» (рис. 3.31) и задайте параметры источника в дереве проекта (рис. 3.32).

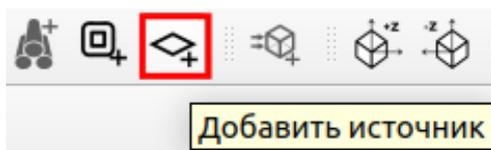


Рисунок 3.31 – Кнопка «Добавить источник»

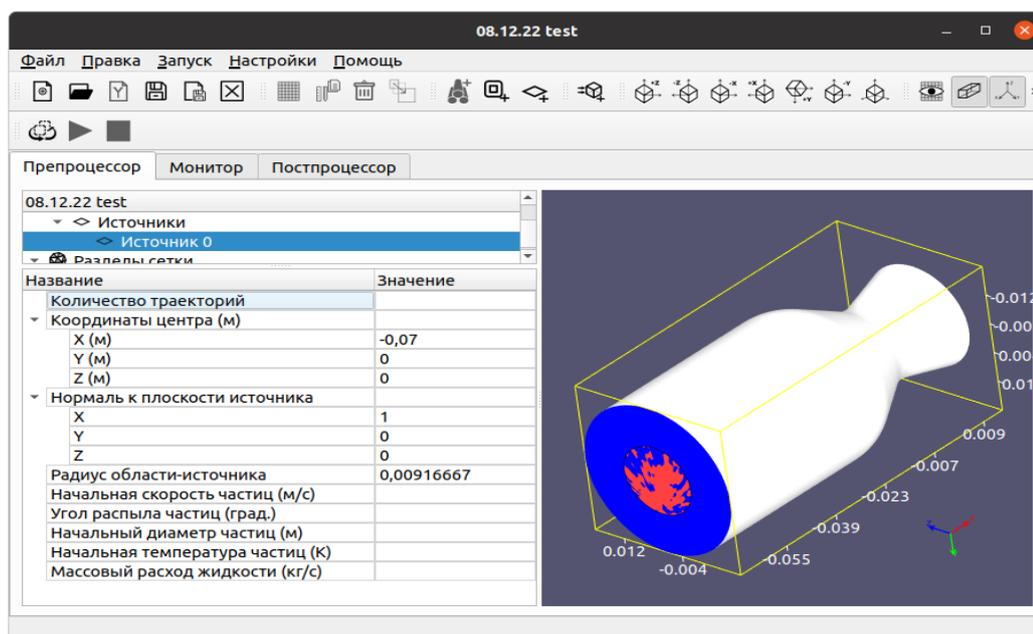


Рисунок 3.32– Добавление источника (дерево проекта с параметрами источника)

#### 3.1.2.4. Панель инструментов «Регион»

В регионе, являющемся частью расчетной области, задаются соответствующие физические модели, свойства среды и граничные условия. На границах между регионами задаются условия согласованности, обеспечивающие непрерывность полей расчетных параметров. В приведенном на рис. 3.33 случае в секции «Регион» дерева проекта задаются параметры инициализации расчета для соответствующей части расчетной области.

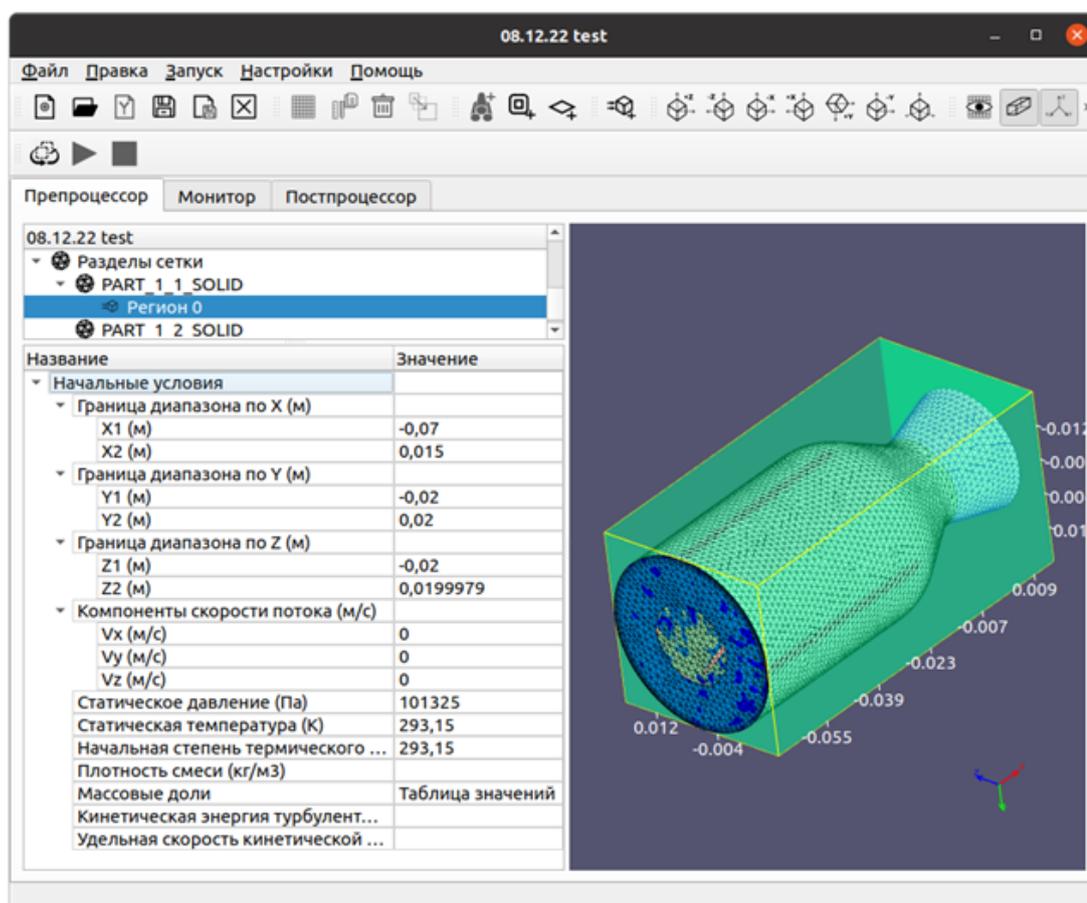


Рисунок 3.33 – Дерево проекта с параметрами региона

Начальные условия задаются в секции «Разделы сетки» дерева проекта. Для задания начальных условий нажмите на кнопку «Добавить регион» на панели инструментов «Регион» (рис. 3.34). После чего на экране появится окно выбора разделов сетки и для добавления региона следует выбрать раздел сетки и нажать кнопку «ОК» (рис. 3.35).

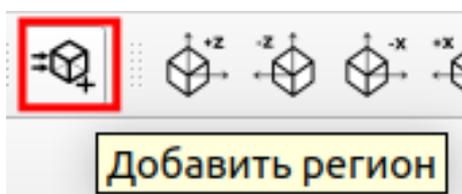


Рисунок 3.34 – Панель инструментов «Добавить регион»

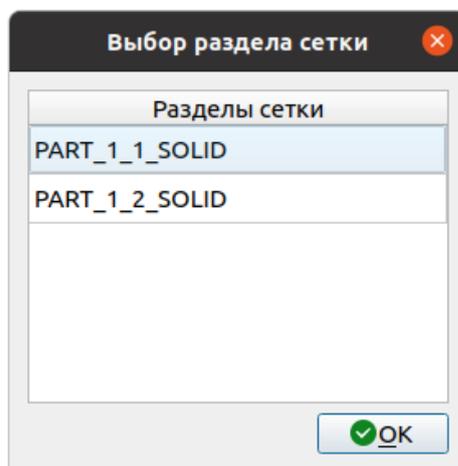


Рисунок 3.35 – Окно выбора раздела сетки

Окно задания параметров в дереве проекта отображает таблицу начальных условий (рис. 3.36).

Название	Значение
Разделы сетки	
PART_1_1_SOLID	
Регион 0	
PART_1_2_SOLID	
Начальные условия	
Граница диапазона по X (м)	
X1 (м)	-0,07
X2 (м)	0,015
Граница диапазона по Y (м)	
Y1 (м)	-0,02
Y2 (м)	0,02
Граница диапазона по Z (м)	
Z1 (м)	-0,02
Z2 (м)	0,0199979
Компоненты скорости потока (м/с)	
Vx (м/с)	0
Vy (м/с)	0
Vz (м/с)	0
Статическое давление (Па)	101325
Статическая температура (К)	293,15
Начальная степень термического разложения	293,15
Плотность смеси (кг/м <sup>3</sup> )	
Массовые доли	Таблица значений
Кинетическая энергия турбулентности (м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> )	
Удельная скорость кинетической энергии (1/с)	

Рисунок 3.36 – Визуализация окна задания начальных условий

После добавления региона становится доступным редактирование начальных условий для расчета, которые включают в себя:

- граница диапазона по X (м) – массив чисел с плав. точкой;
- граница диапазона по Y (м) – массив чисел с плав. точкой;

- граница диапазона по  $Z$  (м) – массив чисел с плав. точкой;
- компоненты скорости потока (м/с) – значения трех компонент скорости потока, массив чисел с плав. точкой;
- статическое давление (Па) – число с плав. точкой;
- статическая температура (К) – число с плав. точкой;
- плотность смеси (кг/м<sup>3</sup>) – число с плав. точкой;
- относительные массовые концентрации (массовые доли); размер массива должен соответствовать количеству компонентов в секции «Компоненты смеси», а сумма элементов должна быть равна 1. (рис 3.37);
- кинетическая энергия турбулентности (м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>) – число с плав. точкой;
- удельная скорость кинетической энергии (1/с) – число с плав. точкой.

Компонент	Массовая доля
Компонент 2	0
Компонент 3	0

Рисунок 3.37 – Окно с массовыми долями (относительными массовыми концентрациями) компонентов

Добавление регионов выполняется аналогично процедуре в описанном выше примере (рис. 3.38).

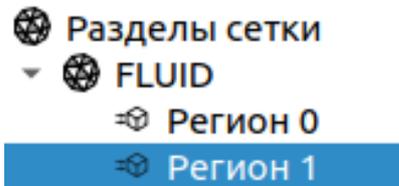


Рисунок 3.38 – Визуализация процедуры добавления региона

Для вызова контекстного меню «Удалить регион» подведите курсор к строке соответствующего региона в дереве проекта и нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.39).

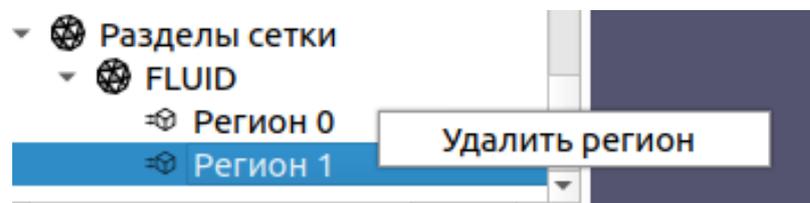


Рисунок 3.39 – Визуализация процедуры «Удалить регион»

Для активации процедуры «скрыть/показать сетку» региона нажмите на флаг «Скрыть сетку с рамкой» (рис. 3.40).

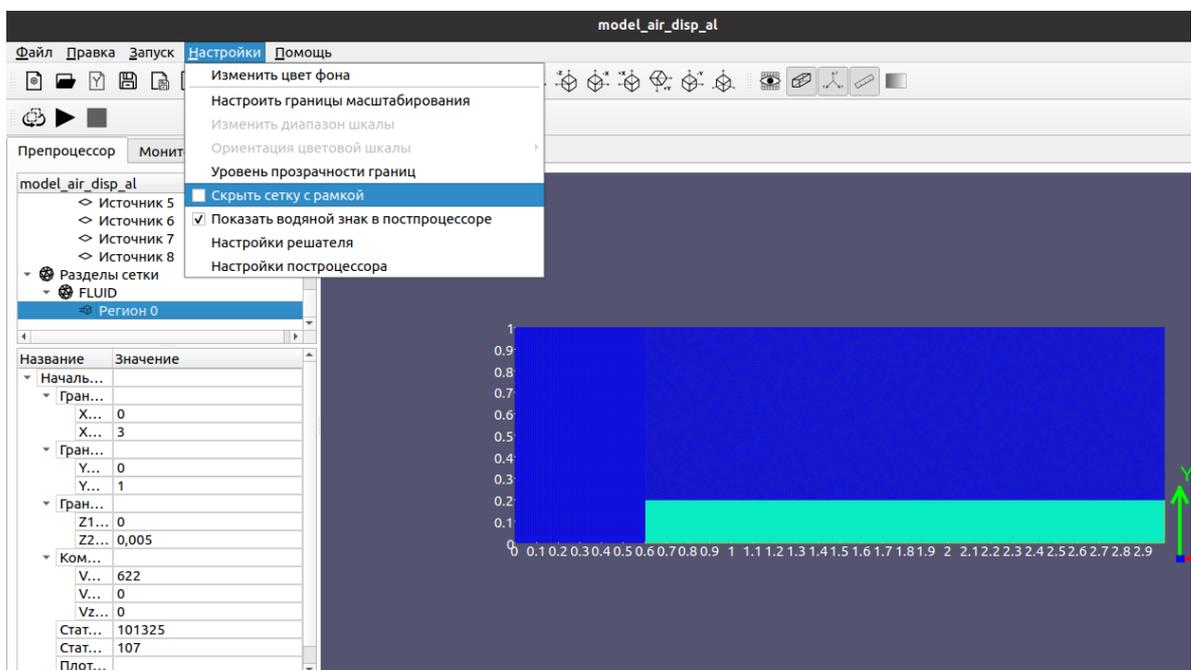


Рисунок 3.40 – Визуализация процедуры «Скрыть сетку с рамкой»

Визуально регион начальных условий в секции «Разделы сетки» дерева проекта имеет вид параллелепипеда зеленого оттенка. Для полного отображения в окне 3D визуализации добавленного региона, необходимо в секции «Граничные условия» дерева проектов убрать маркеры с отображаемых границ (рис. 3.41).

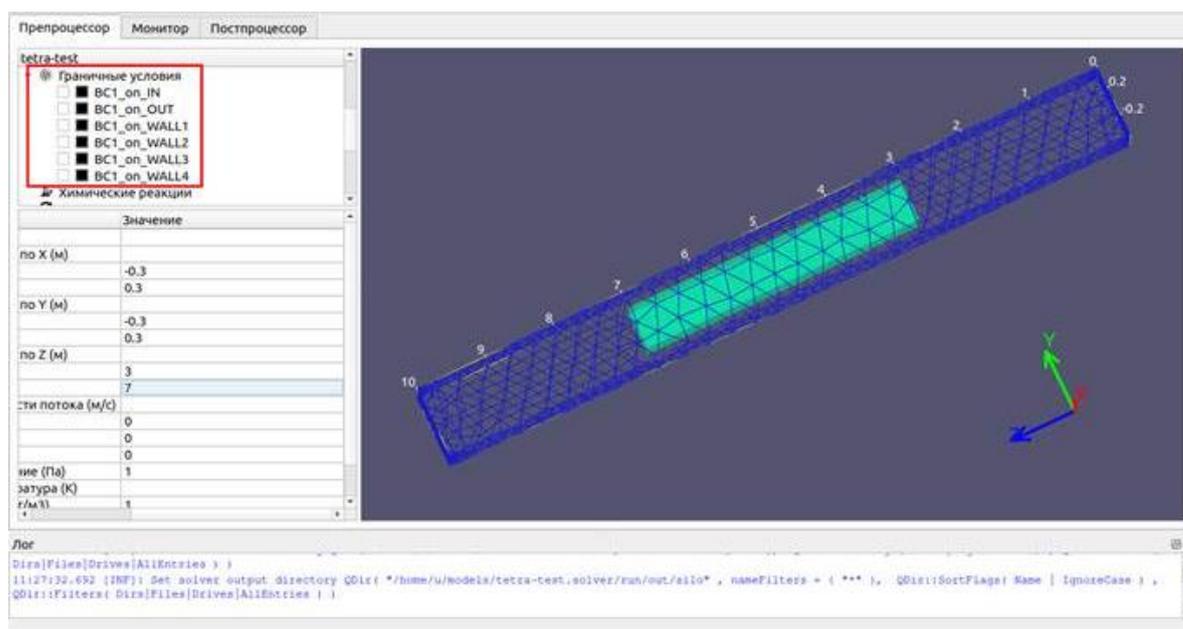


Рисунок 3.41 – Отображение региона

Перемещать, изменять размеры региона можно только в пределах расчетной сетки. Для изменения границ диапазонов по X, Y, Z необходимо задать значения соответствующих параметров (рис. 3.42).

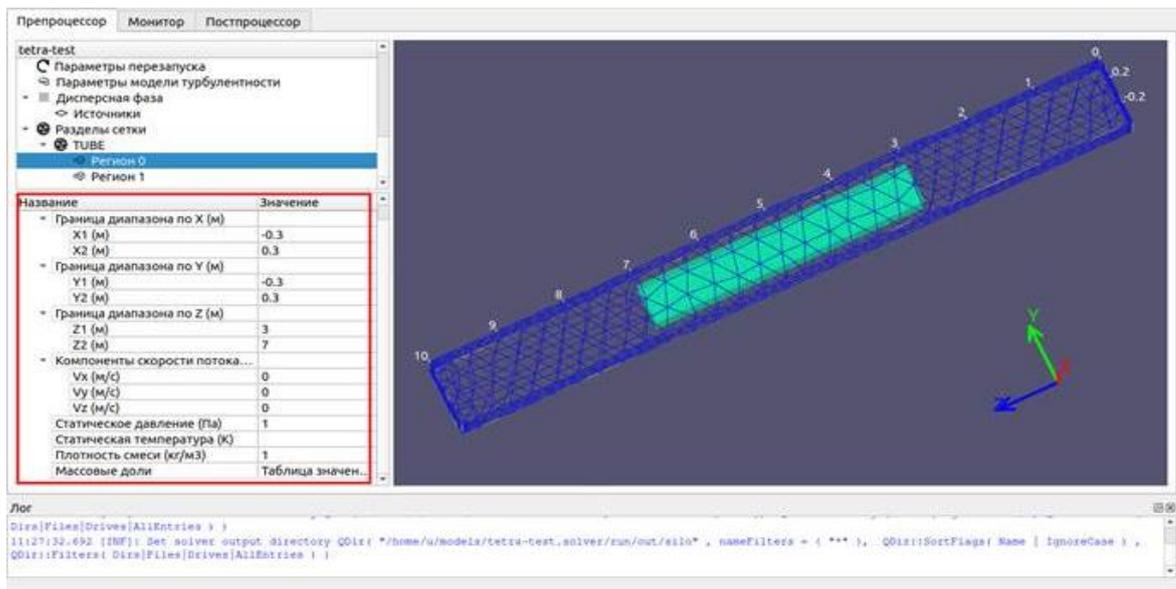


Рисунок 3.42 – Отображение границ диапазонов региона

Для изменения прозрачности региона нажмите на кнопку «Уровень прозрачности границ» в пункте меню «Настройки» (рис. 3.43).

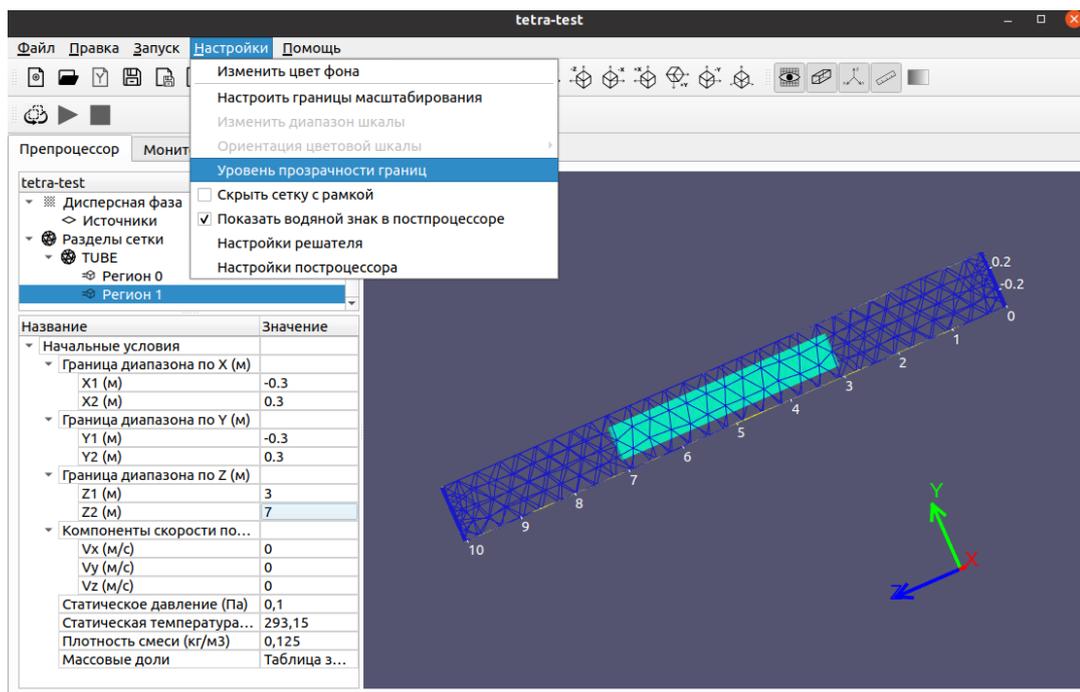


Рисунок 3.43 – Настройка прозрачности границ региона

В окне 3D визуализации отображается только выбранный в дереве проекта регион. Для переключения на отображение другого региона нажмите на соответствующий регион в дереве проекта (рис. 3.44).

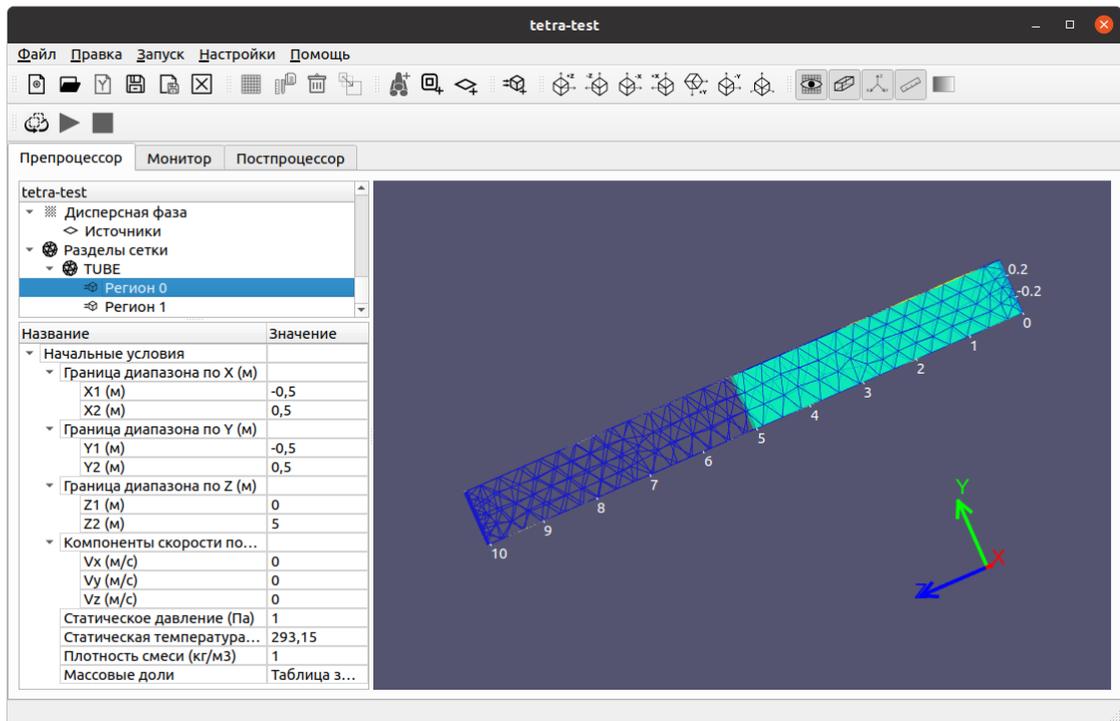


Рисунок 3.44 – Отображение региона

Если регион не выбран в дереве проекта, то он не отображается в окне 3D визуализации (рис. 3.45).

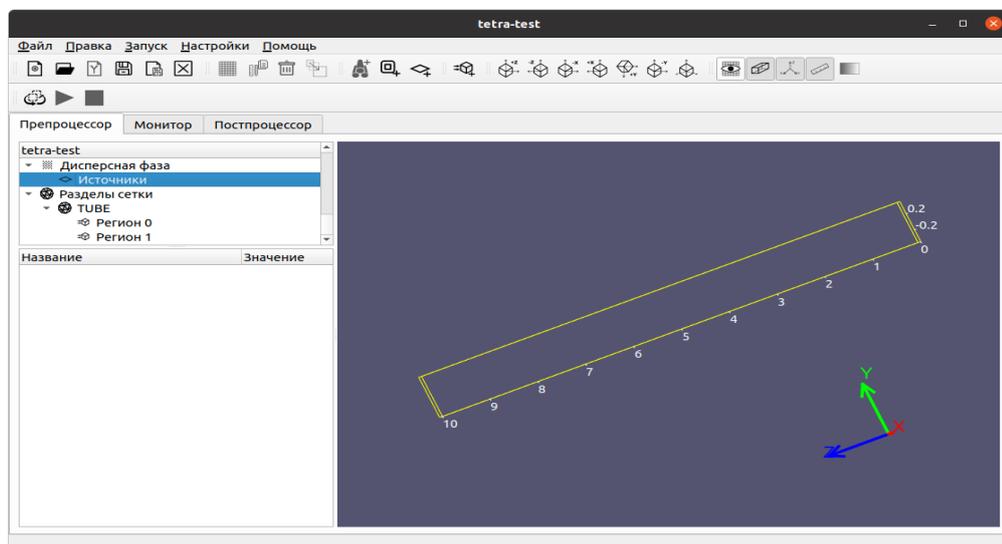


Рисунок 3.45 – Вид окна 3D визуализации, когда регион не выбран

Для удаления региона необходимо подвести курсор к выбранному в дереве проекта региону и нажать на правую кнопку мыши (рис. 3.46).

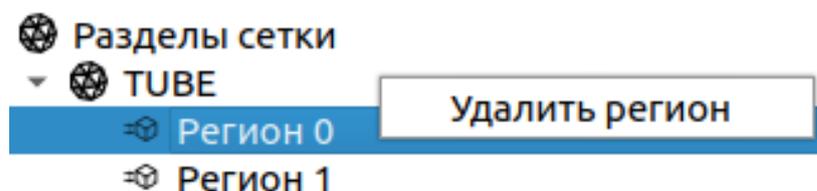


Рисунок 3.46 – Визуализация процедуры «Удалить регион»

При добавлении в проект содержащей несколько разделов расчетной сетки каждому из соответствующих разделов можно назначить свои регионы (рис. 3.47).

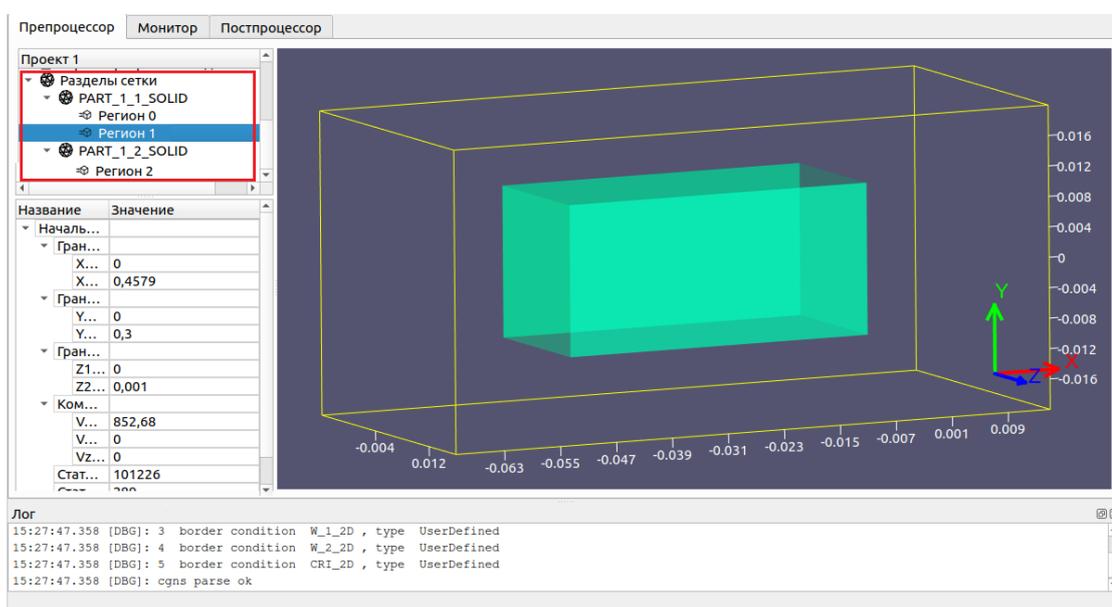


Рисунок 3.47 – Регион первого раздела сетки

Каждому из регионов можно задать собственные границы диапазонов по осям. При переключении между регионами они автоматически обновляются. В окне 3D визуализации одновременно отображается только один регион (рис. 3.48).

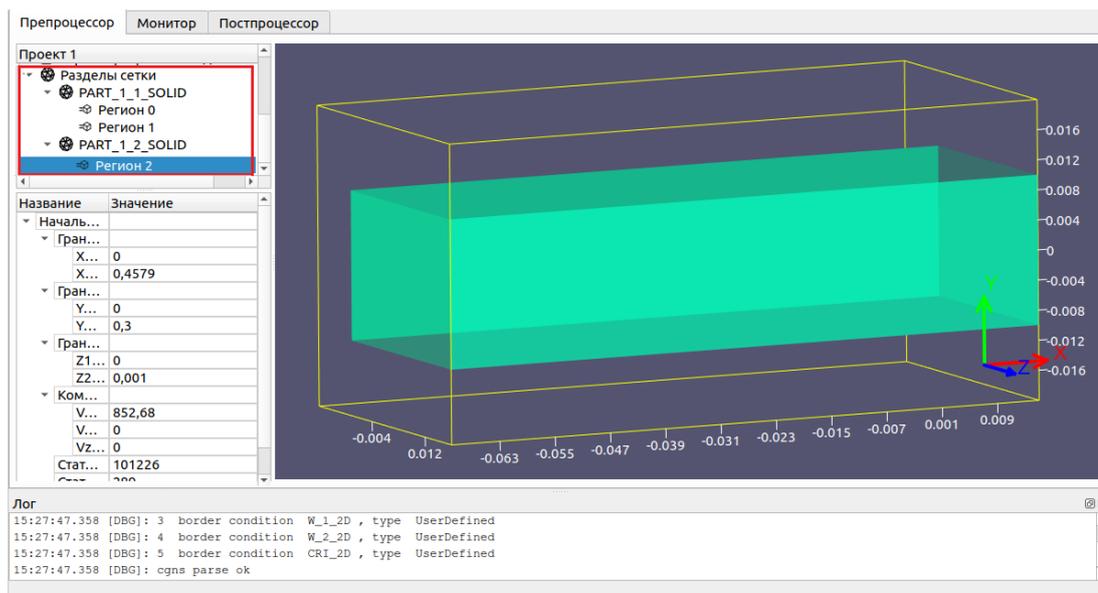


Рисунок 3.48 – Регион второго раздела сетки

### 3.1.2.5. Панель инструментов «Камера»

Для изменения позиционирования сетки необходимо использовать соответствующие кнопки на панели инструментов «Камера» (рис. 3.49).



Рисунок 3.49 – Панель инструментов «Камера»

При нажатии на одну из кнопок модель отображается в соответствии с указанными осями координат. Пример отображения фронтального вида расчетной области (рис. 3.50).

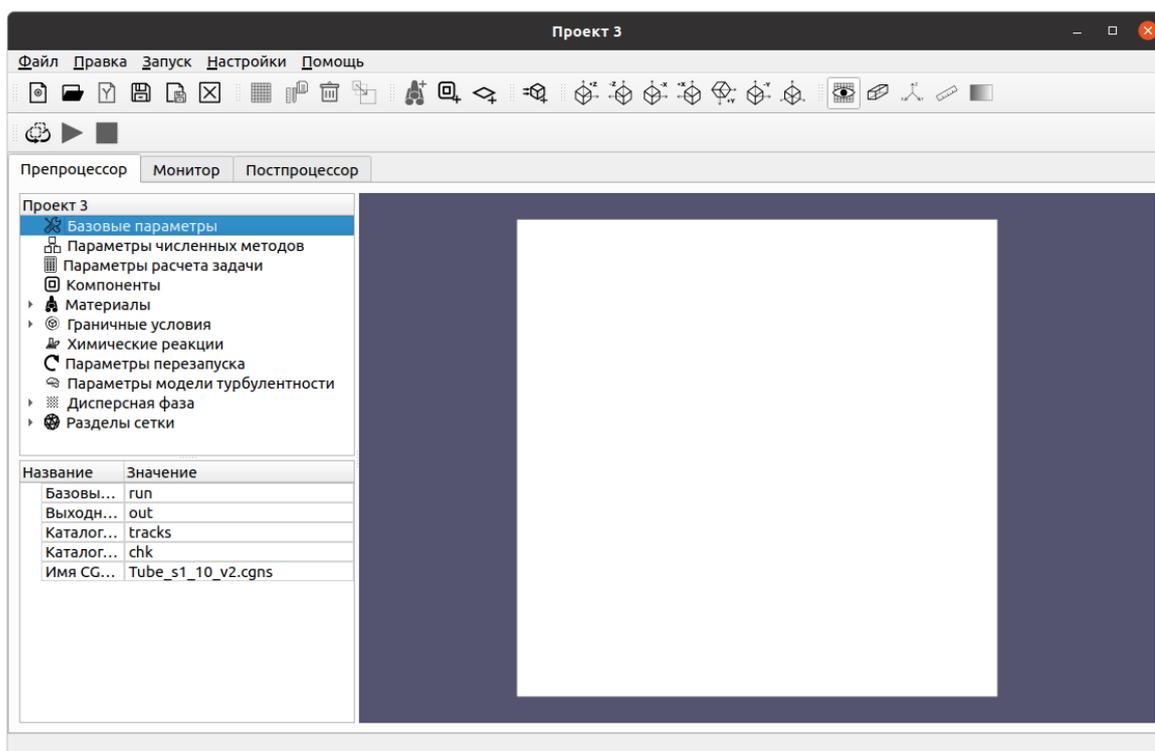


Рисунок 3.50 – Расчетная область (вид спереди)

### 3.1.2.6 Панель инструментов «Отображения»

Панель инструментов «Отображения» активирует процедуры включения и отключения информации об объекте в окне 3D визуализации путем нажатия на следующие кнопки: «Показать расчетную сетку», «Показать границы области», «Показать оси», «Показать размеры» и «Показать цветовую шкалу» (рис. 3.51).



Рисунок 3.51 – Панель инструментов «Отображения»

Кнопка «Показать расчетную сетку» включает/отключает отображение расчетной сетки (рис. 3.52).

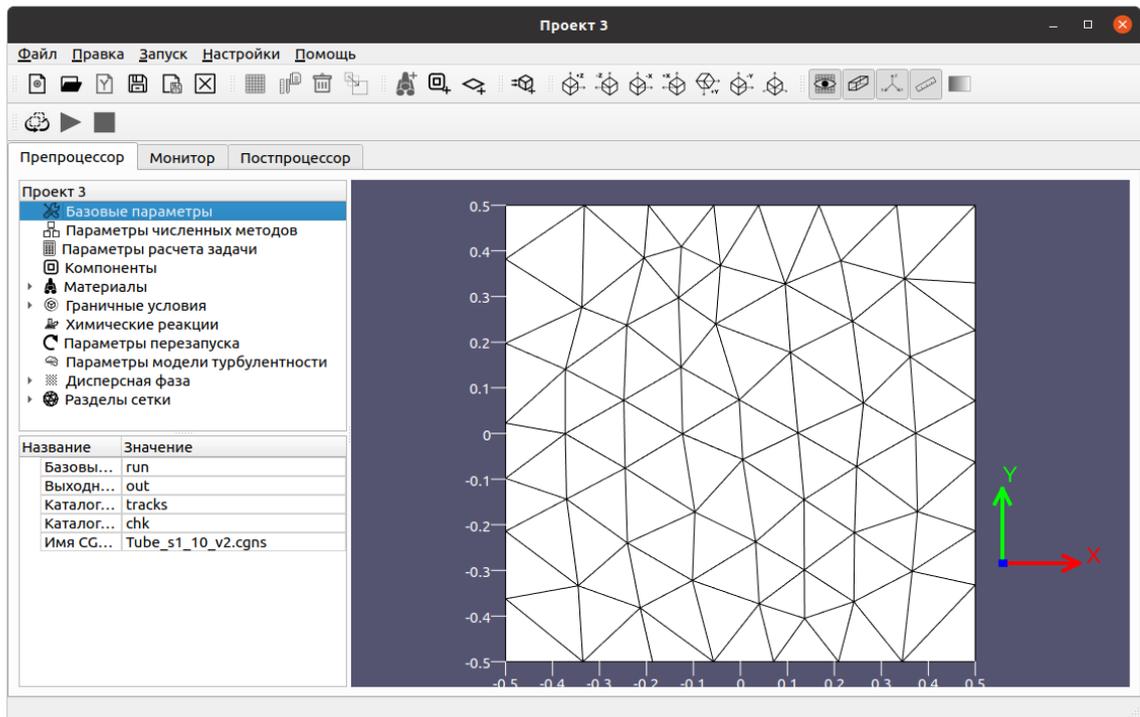


Рисунок 3.52 – Визуализация расчетной сетки

Кнопка «Показать границы области» включает/отключает отображение границ расчетной области на сетке (рис. 3.53).

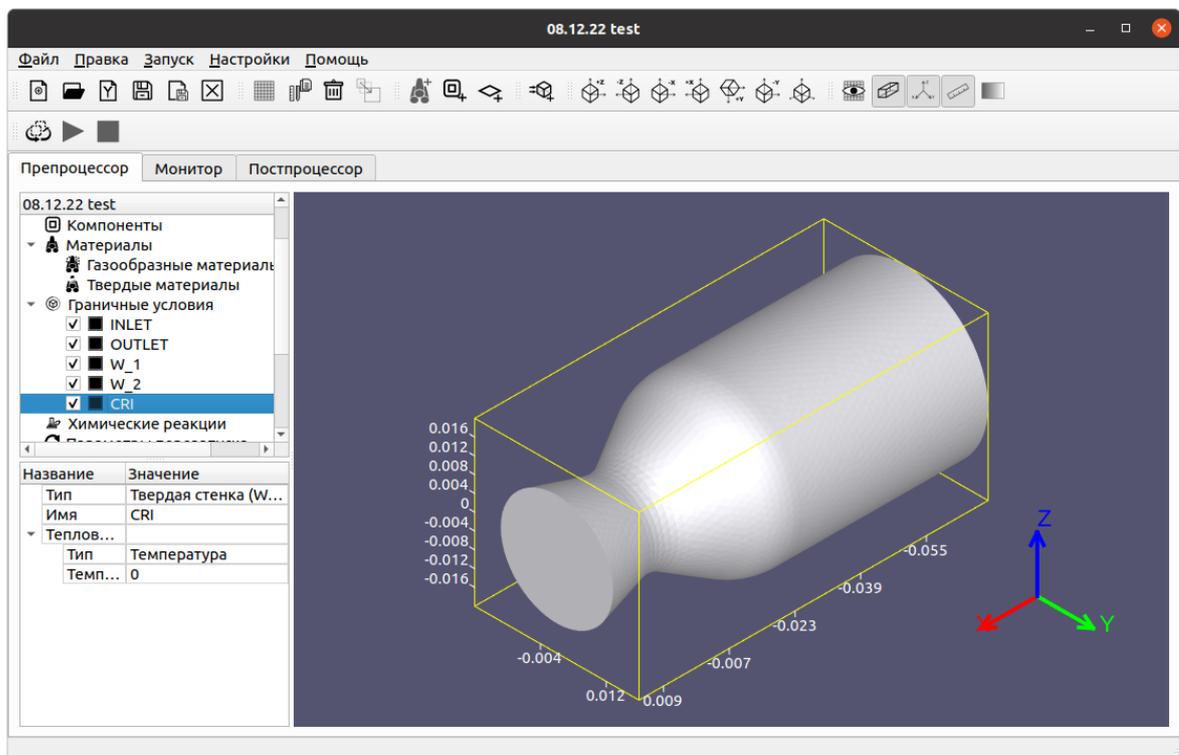


Рисунок 3.53 – Визуализация границ расчетной области

Кнопка «Показать оси» включает/отключает отображение осей в окне 3D визуализации (рис. 3.54).

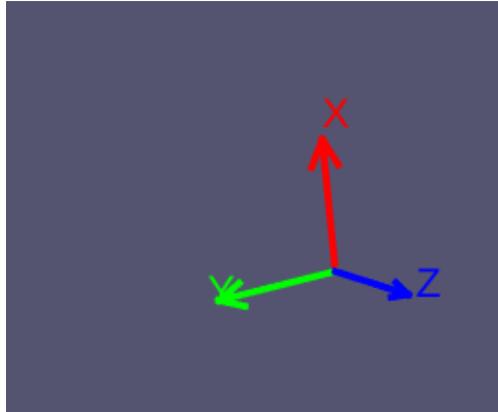


Рисунок 3.54 – Визуализация осей

Кнопка «Показать размеры» включает/отключает отображение размерной шкалы на сетке (рис. 3.55).

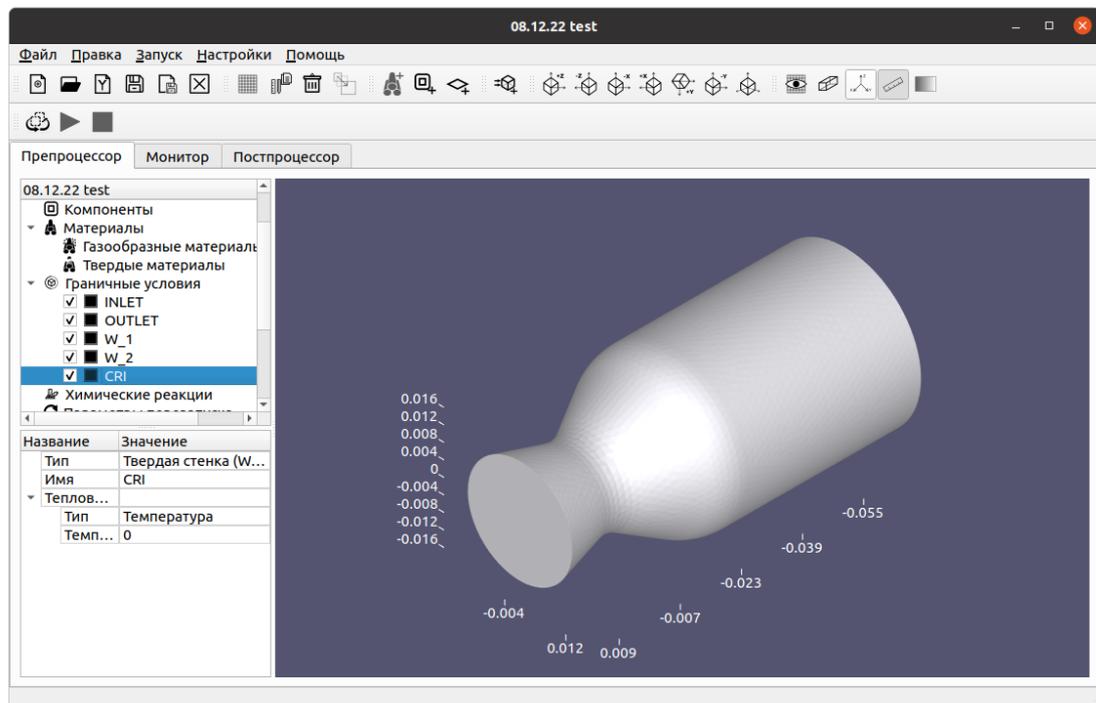


Рисунок 3.55 – Визуализация размерной шкалы

### 3.1.2.7. Панель инструментов «Запуск»

На панели инструментов «Запуск» доступны кнопки: «Транслировать проект», «Выполнить проект» и «Остановить исполнение» (рис. 3.56, 3.57).



Рисунок 3.56 – Панель инструментов «Запуск»



Рисунок 3.57 – Кнопка «Транслировать проект»

В случае успешной трансляции появится соответствующее сообщение (рис. 3.58).

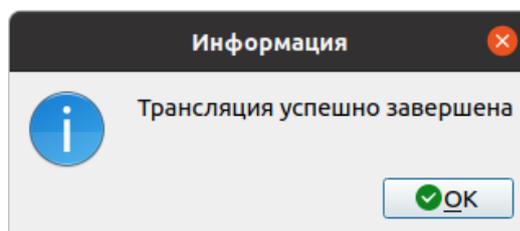


Рисунок 3.58 – Информационное окно

Если трансляция выполнена успешно, откроется файловый проводник, в котором необходимо выбрать каталог для сохранения файлов трансляции. Файлы сохраняются в подкаталогах «RUN» и «YAML» в общем каталоге. В подкаталоге «RUN» находится расчетная сетка в формате CGNS, подкаталог «OUT», подкаталоги «CHK», «TRACKS». В подкаталоге «YAML» находится расчетная сетка и подкаталог файлов компонентов газовой среды или свойств жидкости в формате YAML.

В случае ошибки трансляции появится соответствующее сообщение (рис. 3.59).

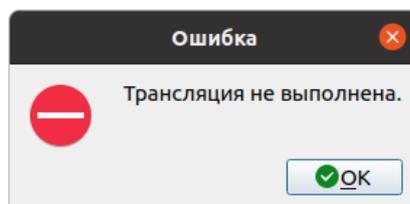


Рисунок 3.59 – Вид окна при ошибке трансляции

После успешного выполнения трансляции проект можно запустить на выполнение, для этого необходимо в меню «Запуск» выбрать пункт «Выполнить проект» или нажать на кнопку «Выполнить проект» на панели инструментов «Запуск».

При успешном запуске проекта в подкаталоге «OUT» создается каталог «SILO» файлы выполнения проекта в форматах SILO и ROOT (рис. 3.60).



Рисунок 3.60 – Каталог «silos»

Кнопка «Остановить исполнение» принудительно останавливает расчет без сохранения дополнительной контрольной точки.

### 3.1.3. Параметры

К результатам моделирования относится массив данных, содержащий информацию о полученных значениях базовых параметров в каждой точке расчетной области. Под базовыми параметрами понимаются основные параметры рабочего процесса в моделируемом объекте.

В окне входных параметров представлен список расчетных параметров.

#### 3.1.3.1. Секция «Базовые параметры»

Секция «Базовые параметры» содержит общие настройки, которые сохраняются в каталоге проекта (рис. 3.61):

- Базовый каталог для проведения расчета (путь относительно каталога, из которого проводится запуск расчета);

- Выходной каталог - имя каталога для записи выходных файлов с результатами расчета относительно базового каталога;
- Каталог для траектории частиц - имя каталога для записи выходных файлов траекторий частиц относительно выходного каталога (может отсутствовать, в этом случае используется значение по умолчанию «tracks»);
- Каталог для контрольных точек - имя каталога для записи файлов контрольных точек результатов расчета относительно выходного каталога;
- Имя CGNS-файла с расчетной сеткой относительно базового каталога.

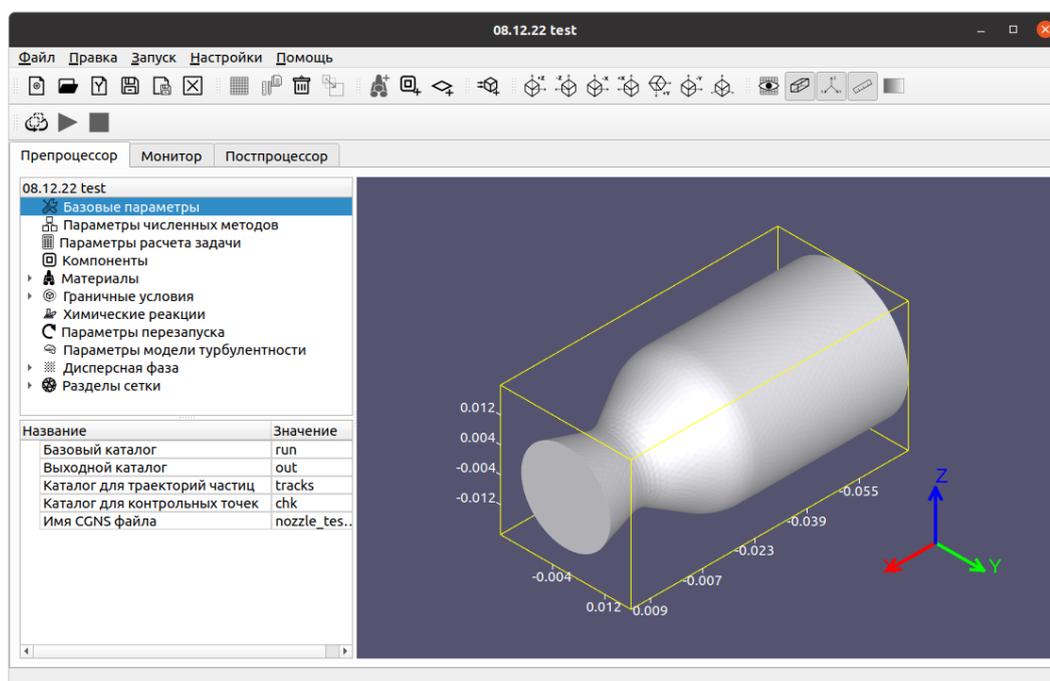


Рисунок 3.61 – Секция «Базовые параметры» дерева проекта

### 3.1.3.2. Секция «Параметры численных методов»

Секция «Параметры численных методов» содержит следующие параметры (рис. 3.62):

- «Число Куранта-Фридрихса-Леви (CFL)» параметр используется для определения шага интегрирования по времени и может быть задан в виде одного числа или таблицы значений как функции от времени;

- «Абсолютная невязка точности решения метода Ньютона» при восстановлении значений примитивных (неконсервативных) из консервативных переменных (рис. 3.63);
- «Максимальное количество итераций метода Ньютона» при восстановлении значений примитивных (неконсервативных) из консервативных переменных;
- «Порядок дискретизации по пространству потоков консервативных переменных на гранях ячеек», параметр может принимать значения 0 и 1 (рис. 3.64);
- «Схема интегрирования по времени», реализованные варианты: Euler (схема Эйлера 1-го порядка), RK2 (схема Рунге-Кутты 2-го порядка) (рис. 3.65);
- «Использование модифицированной схемы расчета градиентов на гранях SymPlane», параметр может принимать значения «true» и «false» (рис. 3.66).

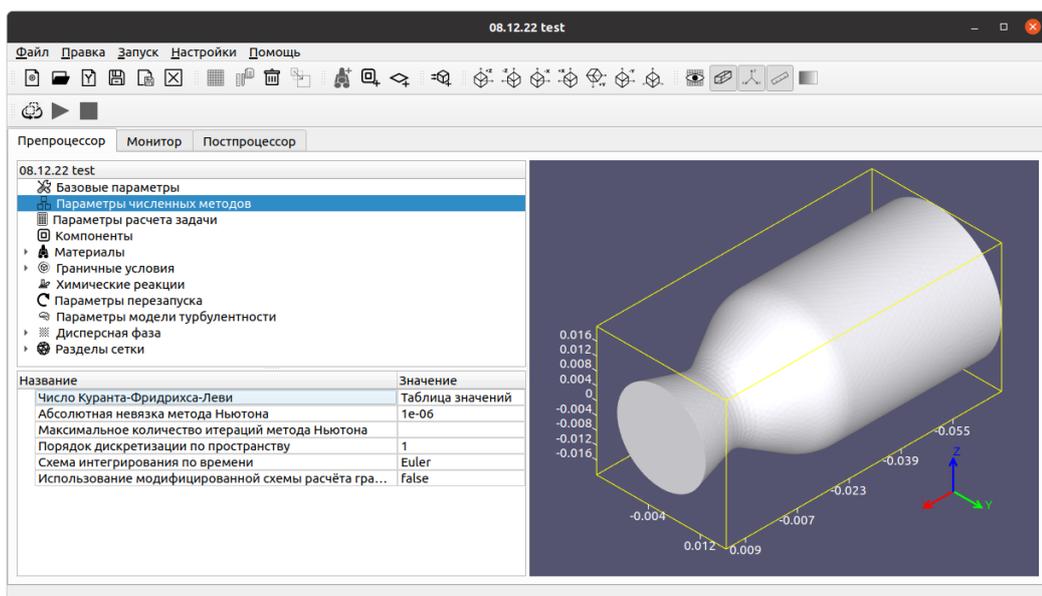


Рисунок 3.62 – Секция «Параметры численных методов» дерева проекта

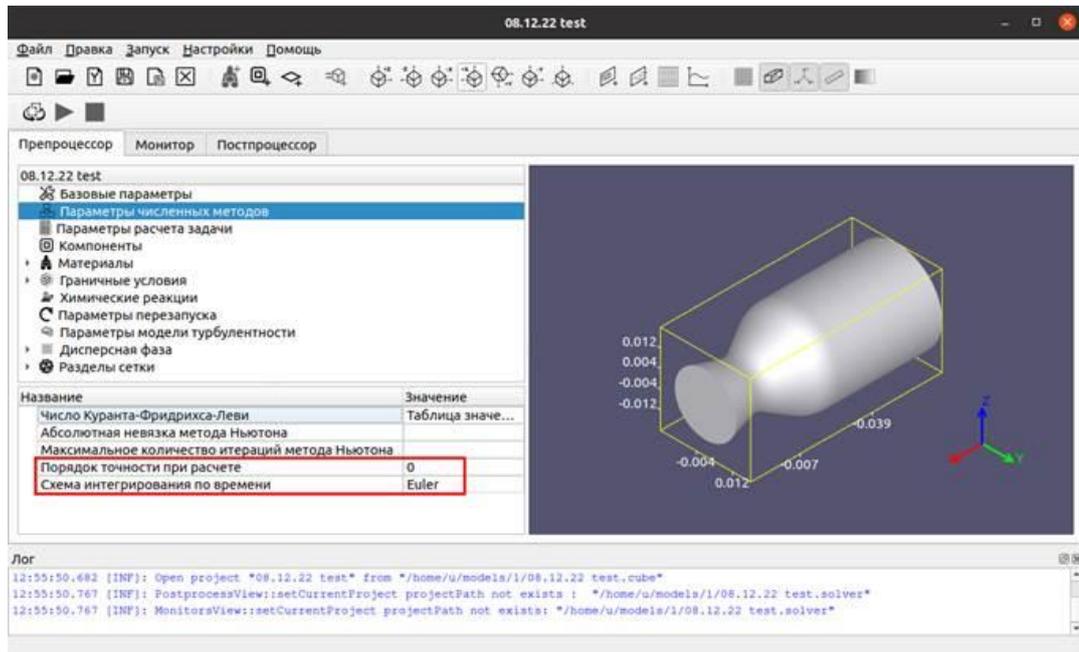


Рисунок 3.63 – Добавленные параметры

Максимальное количество итераций метода Ньютона	0
Порядок дискретизации по пространству	1

Рисунок 3.64 – Визуализация процедуры выбора значения параметра «Порядок точности при расчете»

Схема интегрирования по времени	Euler
	RK2

Рисунок 3.65 – Визуализация процедуры выбора значения параметра «Схема интегрирования по времени»

Схема интегрирования по времени	true
Использование модифицированной схемы расчёта г...	false

Рисунок 3.66 – Визуализация процедуры выбора значения параметра «Использование модифицированной схемы расчета градиентов на гранях SymPlane»

### 3.1.3.3. Секция «Параметры расчета задачи»

Секция «Параметры расчета задачи» содержит следующие параметры (рис. 3.67):

- «Физическое время расчета»;

- «Частота (в шагах) сохранения контрольных точек расчета»; значение, равное 0, отключает запись контрольных точек;
- «Частота (в шагах) вывода протокола расчета»; значение, равное 0, отключает вывод на экран;
- «Частота (в шагах) сохранения результатов» в выходные файлы (silo) на диск; значение, равное 0, отключает запись файлов на диск;
- «Частота вывода таблицы времени» - шаг вывода таблицы времени исполнения составных частей решателя; значение, равное 0, отключает вывод таблицы на экран;
- «Использовать усреднение» – флаг активации процедуры осреднения в процессе расчета, может принимать значения «true» или «false»; при задании значения «true» дополнительно считывается переменная «Начальное время усреднения»;
- «Начальное время усреднения» (число с плав. точкой) - время (задается в секундах) начала осреднения полей в ходе нестационарного расчета, используется только в случае активации флага «Использовать усреднение»;
- «Химические реакции» - флаг активации расчета горения, может принимать значения «true» или «false», при задании значения «false» параметры из секции «combustion» игнорируются:
- «Рестарт расчета» - флаг активации рестарта расчета из сохраненной контрольной точки, возможен только с результатов расчета, полученных на идентичном разбиении задачи по процессам, дополнительные параметры задаются в секции «Параметры перезапуска»;
- «Расчет вязких слагаемых» - флаг активации расчета вязких слагаемых в уравнениях Навье-Стокса;

- «Моделирование турбулентности» - флаг активации LES модели турбулентности (модель Смагоринского), требует активации параметра «Расчет вязких слагаемых»;

- «Моделирование дисперсных полей» - флаг моделирования дисперсных полей и траекторий частиц, может принимать значения «true» или «false»; при задании значения «false» параметры из секции «Дисперсионная фаза» игнорируются.

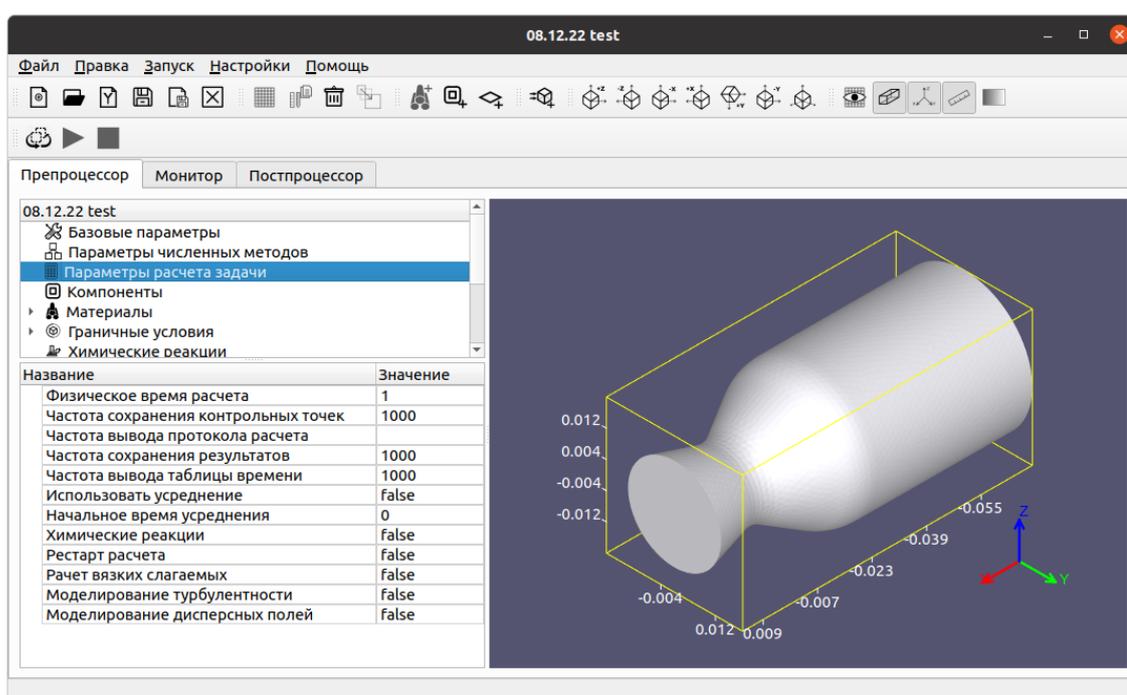


Рисунок 3.67 – Визуализация процедуры выбора значений параметров расчета задачи

### 3.1.3.4. Секция «Компоненты»

Секция «Компоненты» содержит информацию о компонентах смеси, заданных в расчете. Процедура добавления компонента показана на рис. 3.68.

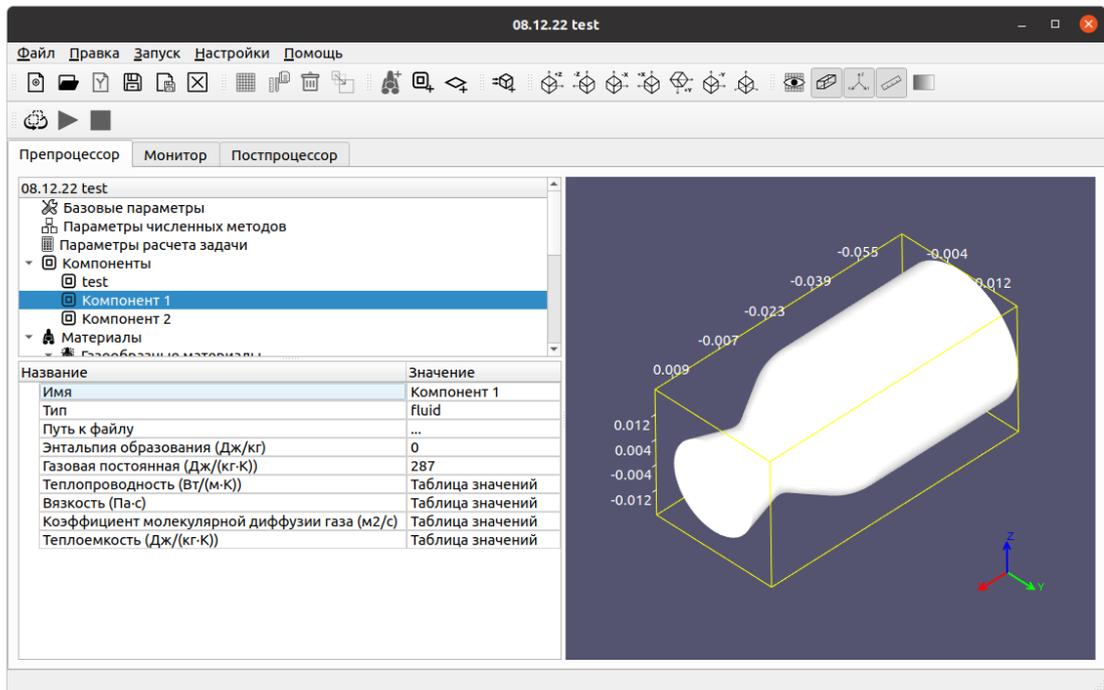


Рисунок 3.68 – Процедура добавления компонента

Тип добавленного компонента может принимать значения «solid» и «fluid» (рис. 3.69).

Название	Значение
Имя	comp
Тип	solid
Путь к файлу	fluid
Вязкость (Па·с)	

Рисунок 3.69 – Выбор типа компонентов

Если задано значение «solid», отображаются следующие параметры (рис. 3.70):

- Теплопроводность (Вт/(м·К));
- Плотность (кг/м<sup>3</sup>);
- Теплоемкость (Дж/(кг·К));
- Температура термического разложения (К);
- Удельная теплота термического разложения (Дж/кг);

- Теплопроводность термически разложившегося материала (Вт/(м·К));
- Теплоемкость термически разложившегося материала (Дж/(кг·К));
- Плотность термически разложившегося материала (кг/м<sup>3</sup>).

Название	Значение
Имя	Al
Тип	solid
Путь к файлу	...
Теплопроводность (Вт/(м·К))	Таблица значений
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Температура термического разложения (К)	2500
Удельная теплота термического разложения (Дж/кг)	3e+06
Теплопроводность термически разложившегося материала (Вт/(м·К))	Таблица значений
Теплоемкость термически разложившегося материала (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Плотность термически разложившегося материала (кг/м <sup>3</sup> )	Таблица значений

Рисунок 3.70 – Параметры компонента типа «solid»

Если задано значение «fluid», то отображаются следующие параметры (рис. 3.71):

- Энтальпия образования (Дж/кг);
- Газовая постоянная (Дж/(кг·К));
- Теплопроводность (Вт/(м·К));
- Вязкость (Па·с);
- Коэффициент молекулярной диффузии газа (м<sup>2</sup>/с);
- Теплоемкость (Дж/(кг·К)).

Название	Значение
Имя	Компонент 0
Тип	fluid
Путь к файлу	yaml/material_properties/gas/c
Энтальпия образования (Дж/кг)	0
Газовая постоянная (Дж/(кг·К))	287
Теплопроводность (Вт/(м·К))	Таблица значений
Вязкость (Па·с)	Таблица значений
Коэффициент молекулярной диффузии газа (м <sup>2</sup> /с)	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений

Рисунок 3.71 – Параметры компонента типа «fluid»

Параметры компонента могут быть заданы вручную или загружены из конфигурационного YAML-файла свойств компонента (при наличии). Для этого необходимо нажать на «Путь к файлу» в секции «Компоненты» дерева проекта и указать путь к нему в открывшемся файловом проводнике.

Для удаления компонента подведите курсор к добавленному в дереве проекта компоненту, нажмите правую кнопку мыши и подтвердите его удаление в появившемся окне (рис. 3.72)

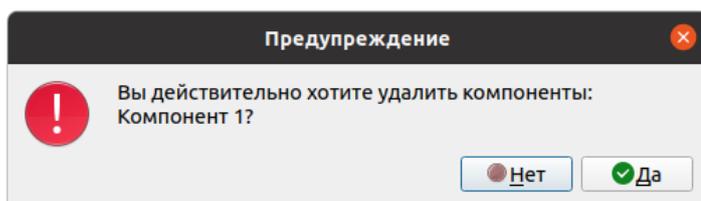


Рисунок 3.72 – Предупреждение об удалении компонента

Для переименования компонента подведите курсор к имени компонента в дереве проекта, нажмите левую кнопку мыши и впишите новое название вместо текущего, выделенного синим цветом (рис. 3.73).

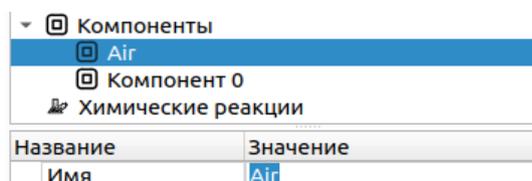


Рисунок 3.73 – Окно с названием компонента

Новое название также отобразится в таблице значений типов границ (рис. 3.74).

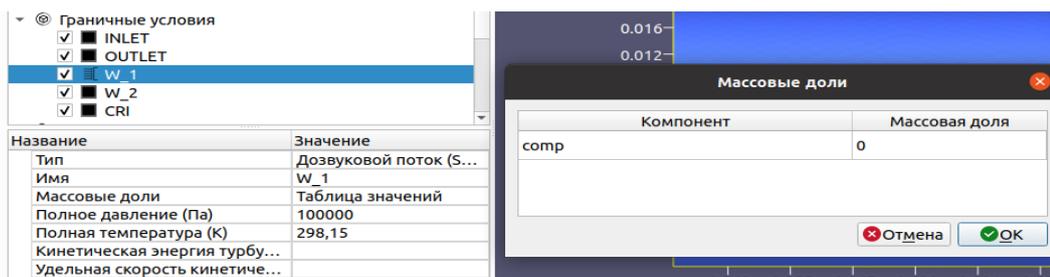


Рисунок 3.74 – Таблица с компонентами

После чего задайте для компонента соответствующие граничные условия:

- Сверхзвуковой поток;
- Дозвуковой поток;
- Свободное вытекание;
- Фиксированный массовый приток.

В таблице «Массовые доли» сумма значений обязательно должна равняться единице, в противном случае выводится следующее предупреждение (рис. 3.75).

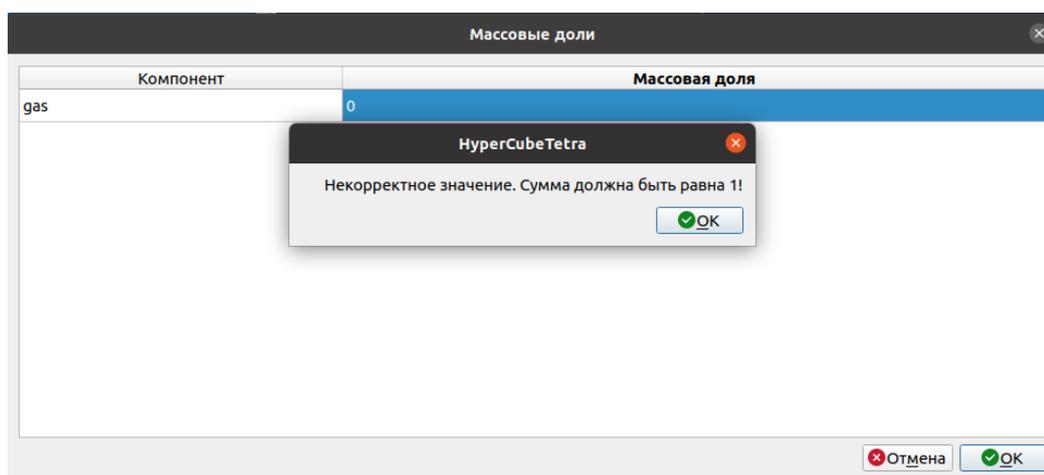


Рисунок 3.75 – Предупреждение в таблице «Массовые доли»

Для сортировки значений в таблицах секции «Компонент смеси» от меньшего к большему и наоборот нажмите на название параметра в таблице (рис. 3.76, 3.77).

Температура, К ↑	Теплоёмкость, Дж/(кг*К)
300	1006
525	1035
750	1089
975	1137
1200	1178
1425	1217
1650	1256
1875	1303
2100	1370
2325	1496
2550	1732
2775	2139
3000	2735

Рисунок 3.76 – Процедура сортировки значений в таблице (от меньшего к большему)

Температура, К ↓	Теплоёмкость, Дж/(кг*К)
3000	2735
2775	2139
2550	1732
2325	1496
2100	1370
1875	1303
1650	1256
1425	1217
1200	1178
975	1137
750	1089
525	1035
300	1006

Рисунок 3.77 – Процедура сортировка значений в таблице (от большего к меньшему)

### 3.1.3.5. Секция «Материалы»

Секция «Материалы» содержит информацию о материалах, используемых в постановке расчетной задачи. Материалы подразделяются на газообразные и твердые. Для добавления материала нажмите кнопку «Добавить материал» на панели инструментов (рис. 3.78), при этом создается соответствующая секция в дереве проекта («Твердые материалы»/«Газообразные материалы»).

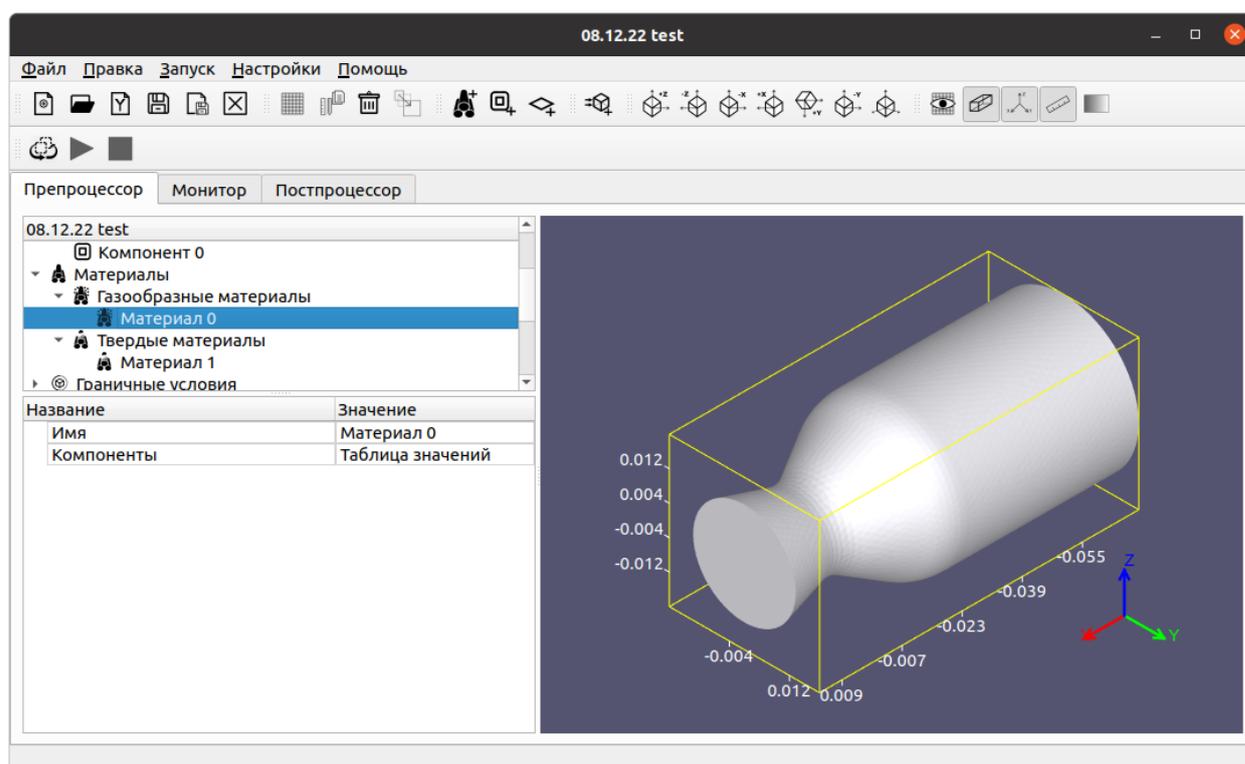


Рисунок 3.78 – Процедура добавления материала

Таблица значений «Компоненты» позволяет активировать компоненты по отдельности. В нижней части окна расположены кнопки «Включить все» и «Выключить все», одновременно включающие или выключающие все компоненты в списке (рис. 3.79).

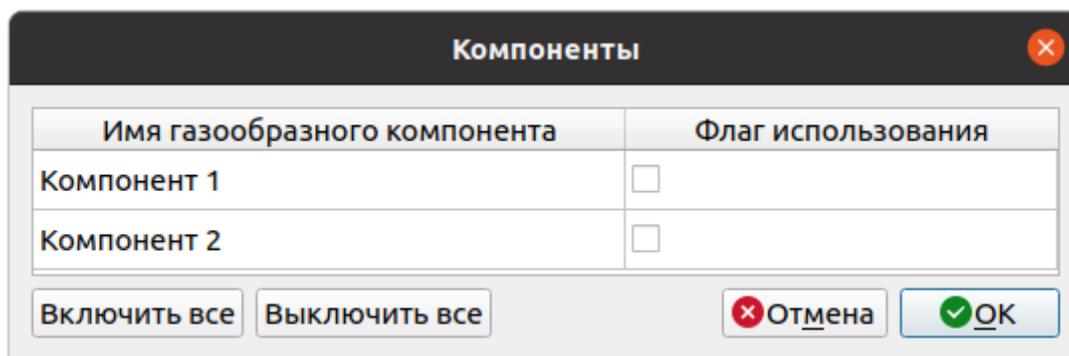


Рисунок 3.79 – Визуализация активации компонента

Для использования в расчете необходимого компонента активируйте флаг в графе «Флаг использования» в соответствующей строке (рис. 3.80).

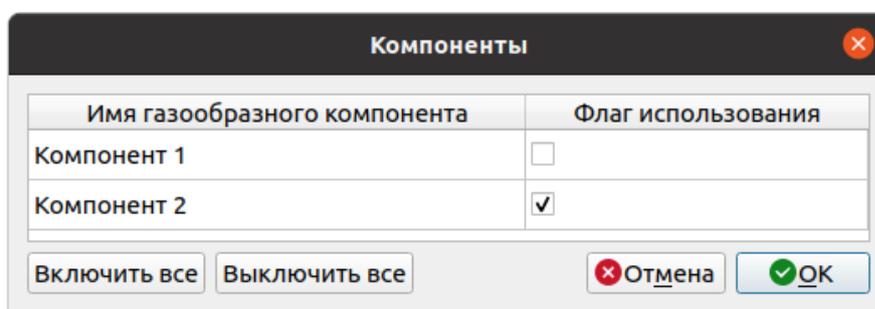


Рисунок 3.80 – Окно таблицы значений «Компоненты» с активным флагом использования

В секции «Твердые материалы» дерева проекта может быть только один активный компонент. Если назначить одновременно активными все компоненты, на экран выводится предупреждение (рис. 3.81).

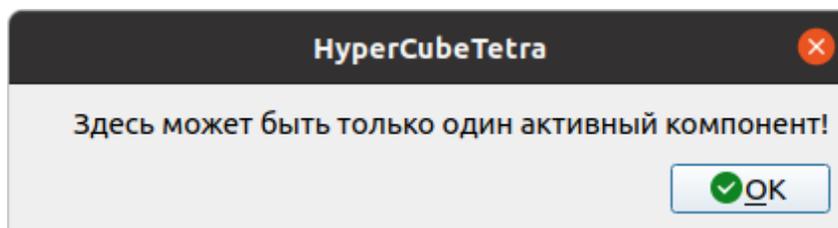


Рисунок 3.81 – Окно с предупреждением

### 3.1.3.6. Секция «Граничные условия»

Для активации контекстного меню, включающего кнопки «Скрыть все границы», «Показать все границы» и «Показать информацию о сетке»

подведите курсор к строке «Граничные условия» в дереве проекта и нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.82).

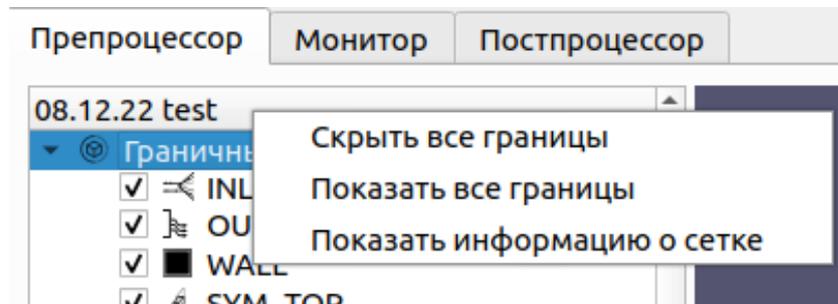


Рисунок 3.82 – Процедура вызова контекстного меню

Для отключения отображения всех границ расчетной области нажмите на кнопку «Скрыть все границы» (рис. 3.83).

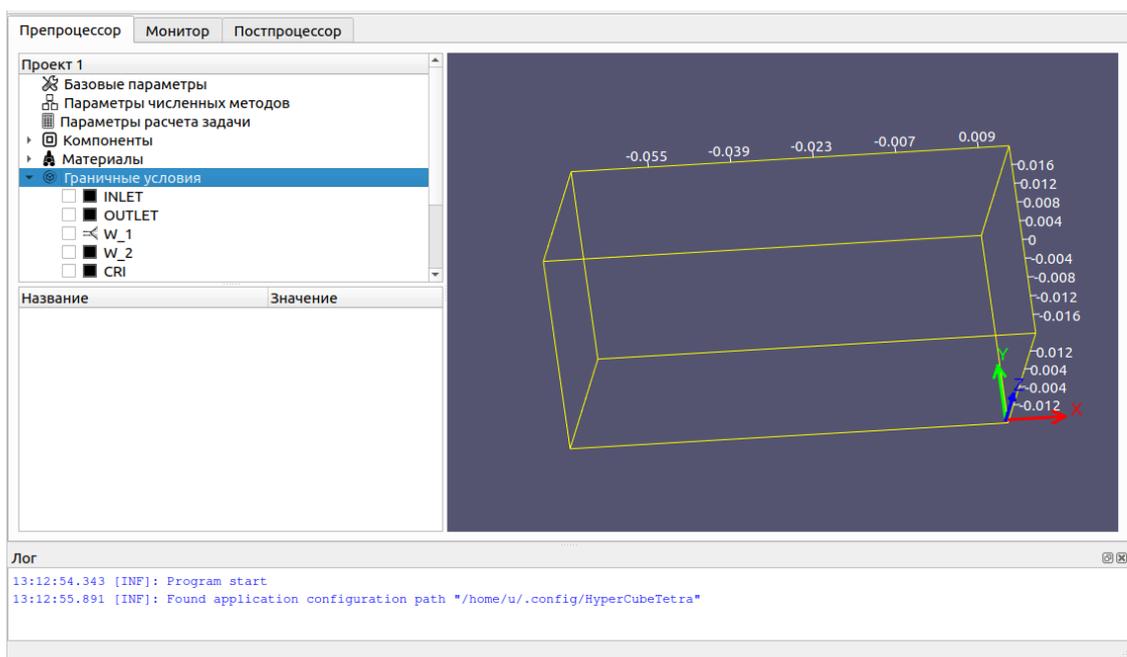


Рисунок 3.83 – Визуализация процедуры «Скрыть все границы»

Для включения отображения всех границ расчетной области нажмите на кнопку «Показать все границы» (рис. 3.84).

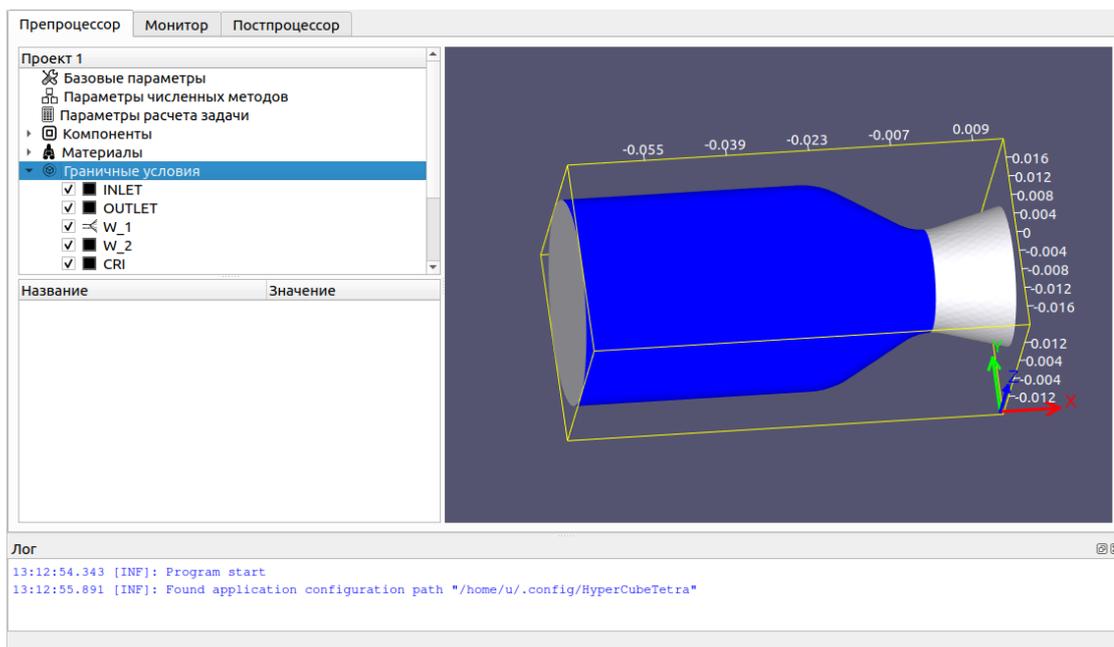


Рисунок 3.84 – Визуализация процедуры «Показать все границы»

Для вызова окна с информацией о сетке нажмите на кнопку «Показать информацию о сетке» (рис. 3.85).

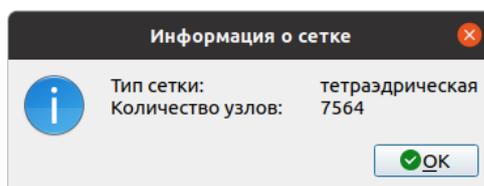


Рисунок 3.85 – Окно с информацией о сетке

Для вызова контекстного меню подведите курсор к границе в дереве проекта и нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.86). Меню состоит из следующих пунктов:

- «Показать границу» для включения/отключения границы;
- «Показать границу сетки» для включения/отключения границы сетки;
- «Копировать параметры из» для таблицы с именами и типами границ доступными для копирования;
- «Копировать параметры на» для вызова таблицы с именами и типами границ доступными для копирования (рис. 3.87).

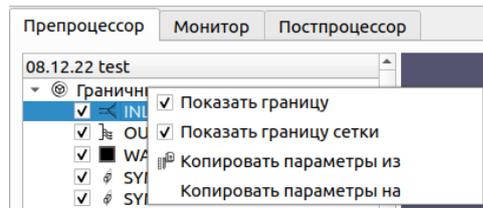


Рисунок 3.86 – Процедура вызова контекстного меню границ

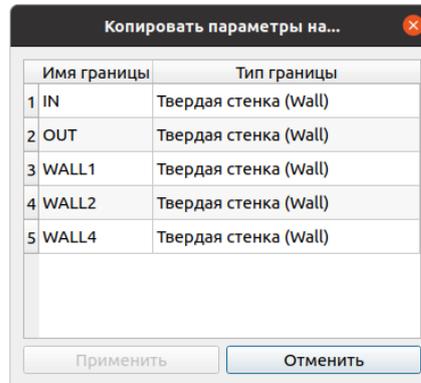


Рисунок 3.87 – Окно с таблицей параметров границ

Для изменения типа границы, нужно назначить необходимое значение в контекстном меню. Тип границы может принимать одно из следующих значений: «Внутренний интерфейс (Internal)», «Плоскость симметрии (SymPlane)», «Твердая стенка (Wall)», «Сверхзвуковой поток (SuperSonicInlet)», «Дозвуковой поток (SubSonicInlet)», «Свободное истечение (SubSonicOutlet)» или «Фиксированный массовый расход (SubSonicMassFlux)» (рис. 3.88).

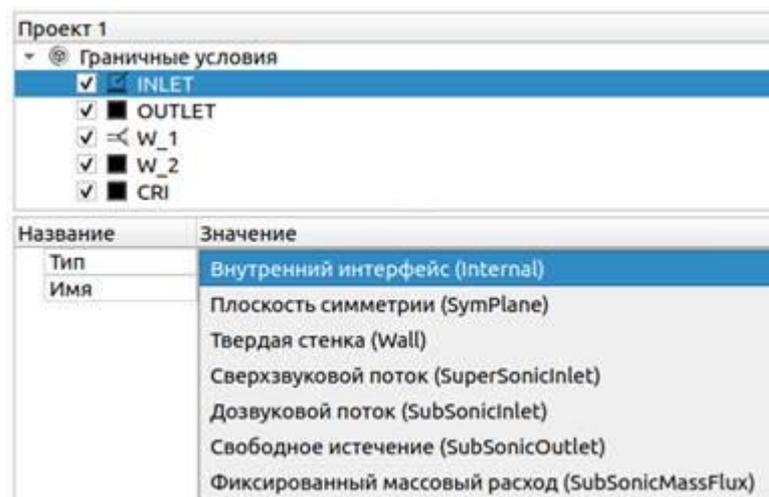


Рисунок 3.88 – Процедура задания типа границы

При изменении типа границы отобразится соответствующая новая иконка (рис. 3.89).



Рисунок 3.89 – Визуализация процедуры задания типа границы

Для типа границы «Твердая стенка (Wall)» могут быть заданы «Тепловые граничные условия» (рис. 3.90), включающие (рис. 3.90 – 3.93):

- «Температура на стенке (К)»,
- «Плотность теплового потока (Вт/м<sup>2</sup>)»,
- «Плотность теплового потока с сопротивлением (Вт/м<sup>2</sup>)»,
- «Температурный коэффициент (Вт/(К·м<sup>2</sup>))»,
- «Сопряжение твердой и газообразной фазы».

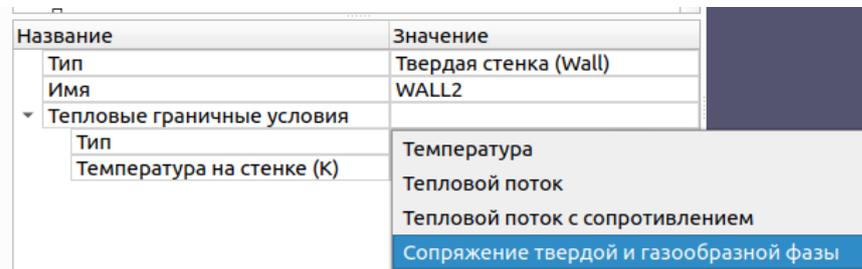


Рисунок 3.90 – Окно дерева проектов с параметрами тепловых граничных условий

Название	Значение
Тип	Твердая стенка (Wall)
Имя	WALL1
Тепловые граничные условия	
Тип	Температура
Температура на стенке (К)	0

Рисунок 3.91 – Процедура задания тепловых граничных условий (температуры)

Название	Значение
Тип	Твердая стенка (Wall)
Имя	WALL1
Тепловые граничные условия	
Тип	Тепловой поток
Плотность теплового потока (Вт/м2)	0

Рисунок 3.92 – Процедура задания тепловых граничных условий (теплового потока)

Название	Значение
Тип	Твердая стенка (Wall)
Имя	WALL1
Тепловые граничные условия	
Тип	Тепловой поток с сопротивлением
Плотность теплового потока (Вт/м2)	0
Температурный коэффициент (Вт/(К*м2))	0

Рисунок 3.93 – Процедура задания тепловых граничных условий (теплового потока с сопротивлением)

Для типа границы «Сверхзвуковой поток (SuperSonicInlet)» могут быть заданы следующие параметры (рис. 3.94): «Давление (Па)», «Вектор скорости (м/с)», «Массовые доли», «Плотность (кг/м<sup>3</sup>)», «Температура (К)», «Кинетическая энергия турбулентности (м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>)» и «Удельная скорость кинетической энергии (1/с)».

Название	Значение
Тип	Сверхзвуковой поток ...
Имя	OUT
Давление (Па)	100000
Вектор скорости	
Vx (м/с)	10
Vy (м/с)	0
Vz (м/с)	0
Массовые доли	Таблица значений
Плотность (кг/м3)	
Температура (К)	298,15
Кинетическая энергия турбулентности (м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup> )	
Удельная скорость кинетической энергии (1/с)	

Рисунок 3.94 – Процедура задания параметров для типа границы «Сверхзвуковой поток» (SuperSonicInlet)

Для типа границы «Дозвуковой поток» (SubSonicInlet)» могут быть заданы следующие параметры: «Массовые доли», «Полное давление (Па)»,

«Полная температура (К)», «Кинетическая энергия турбулентности ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ )» и «Удельная скорость кинетической энергии (1/с)» (рис. 3.95).

Название	Значение
Тип	Дозвуковой поток (
Имя	OUT
Массовые доли	Таблица значений
Полное давление (Па)	100000
Полная температура (К)	298,15
Кинетическая энергия турбулентности ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ )	
Удельная скорость кинетической энергии (1/с)	

Рисунок 3.95 – Процедура задания параметров для типа границы «Дозвуковой поток» (SubSonicInlet)»

Для типа границы «Фиксированный массовый расход (SubSonicMassFlux)» могут быть заданы следующие параметры: «Массовые доли», «Полная температура (К)», «Массовый расход (кг/с)», «Кинетическая энергия турбулентности ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ )» и «Удельная скорость кинетической энергии (1/с)» (рис. 3.96).

Название	Значение
Тип	Фиксированный массов...
Имя	OUT
Массовые доли	Таблица значений
Полная температура (К)	298,15
Массовый расход (кг/с)	
Кинетическая энергия турбулентности ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ )	
Удельная скорость кинетической энергии (1/с)	

Рисунок 3.96 – Процедура задания параметров для типа границы «Фиксированный массовый расход (SubSonicMassFlux)»

### 3.1.3.7. Секция «Химические реакции»

Секция «Химические реакции» содержит перечень и значения параметров для расчета процесса горения (рис. 3.97):

- «Температура воспламенения (К)»;
- «Теоретическое соотношение компонентов» – отношение массовых расходов "Oxygen/Fuel mass ratio:  $K0 = M_{ox}/M_{fuel}$ " (безразмерная величина);

- «Компонент «Окислитель» (строка; один из компонентов газа, заданных в секции Материалы);
- «Компонент «Горючее» (строка; один из компонентов газа, заданных в секции Материалы);
- «Компонент «Продукты сгорания» (строка; один из компонентов газа, заданных в секции Материалы).

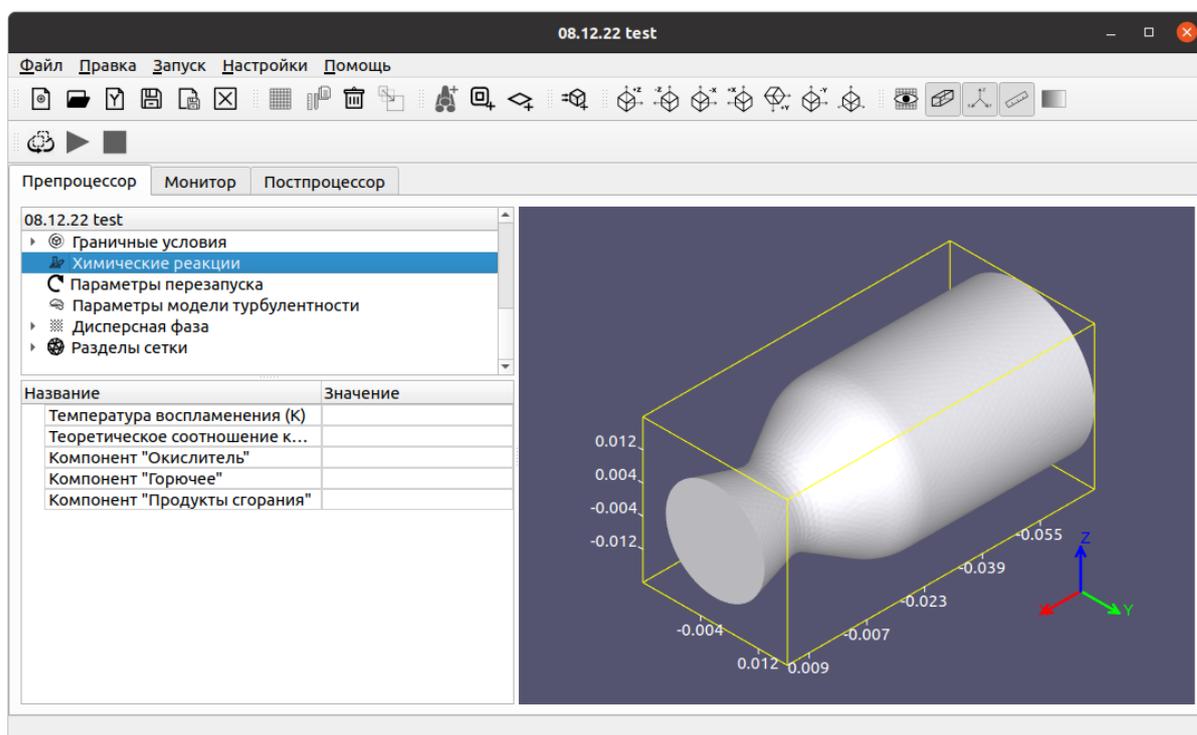


Рисунок 3.97 – Процедура задания параметров секции «Химические реакции»

### 3.1.3.8. Секция «Параметры перезапуска»

Секция «Параметры перезапуска» (рестарта) включает следующие параметры, соответствующие сохранению с заданной контрольной точки (рис. 3.98):

- «Имя файла» - имя файла с параметрами перезапуска расчета;
- «Обнуление распределений источников» - может принимать значение «true» и «false»;

- «Перезапуск расчета для холодной продувки» - флаг может принимать значение «true» и «false» (по умолчанию) и допускает использование различного количества компонентов при перезапуске расчета;

- «Компонент газовой смеси» - компонент, который используется случае рестарта после холодной продувки; активен только для значения «true» флага «Перезапуск расчета с контрольной точки».

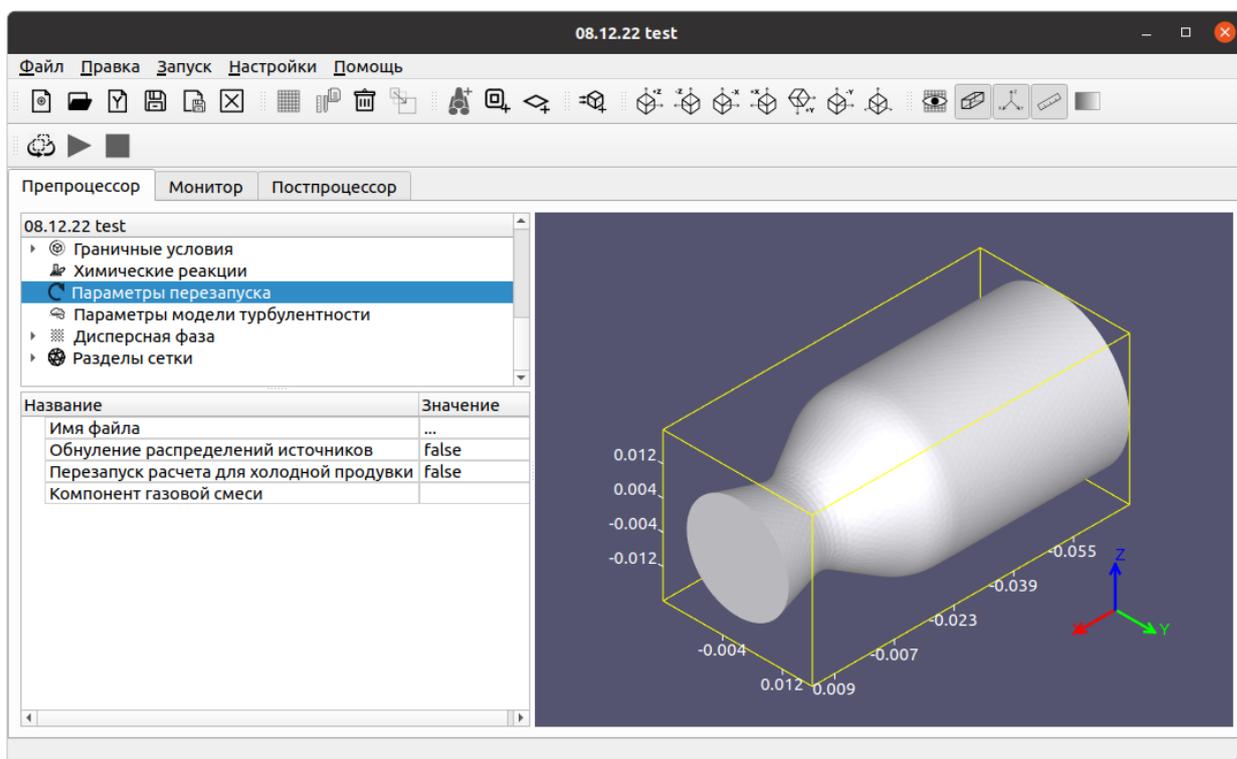


Рисунок 3.98 – Процедура задания параметров перезапуска

Если флаг «Рестарт расчета» в «Параметрах расчета задачи» не активирован, секция «Параметры перезапуска» не отображается в дереве проекта.

### 3.1.3.9. Секция «Параметры модели турбулентности»

Для секции «Параметры модели турбулентности» могут быть заданы следующие значения параметров.

При выборе модели турбулентности «LES» (рис. 3.99):

- «Константа Смагоринского» - рекомендуемое значение 0,1;
- «Турбулентное число Прандтля» - рекомендуемое значение 0,9.

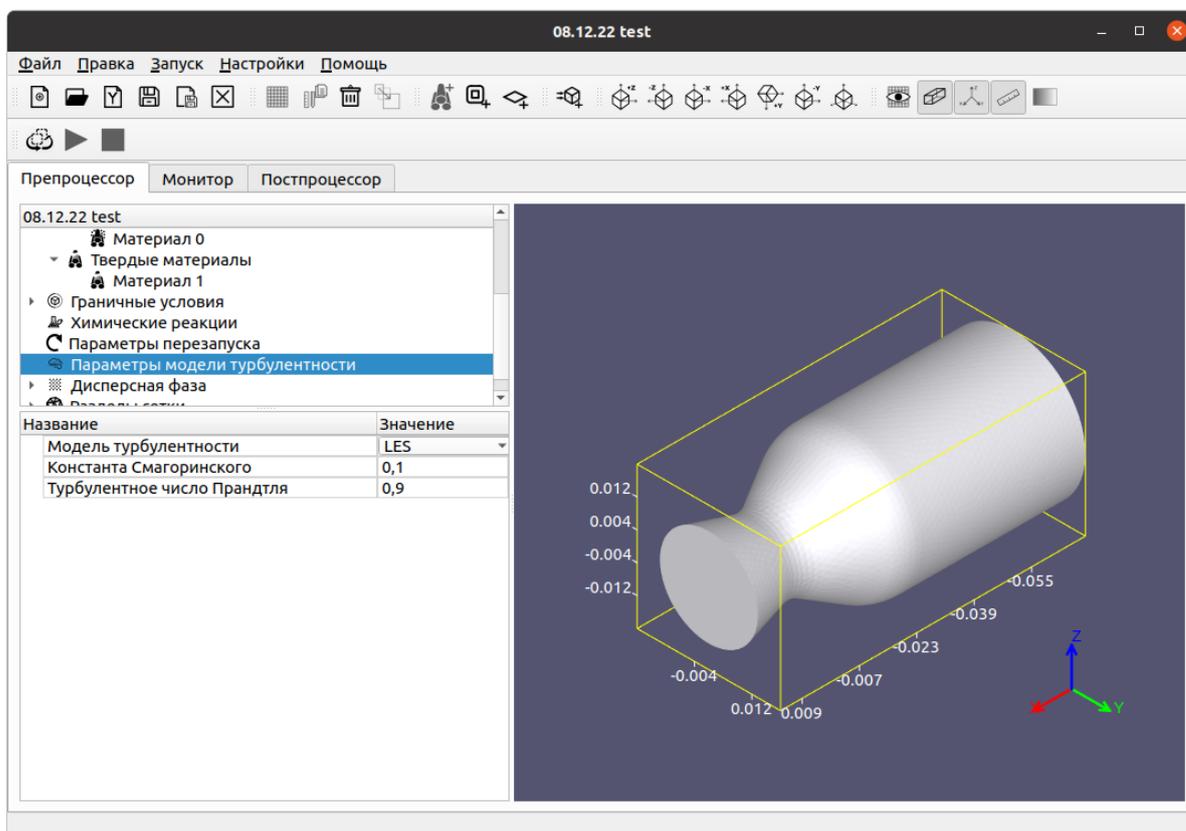


Рисунок 3.99 – Процедура задания параметров для модели турбулентности «LES» (Smagorinsky)

При выборе модели турбулентности «k-omega SST» (значения с индексом 1 соответствуют стандартной модели k-omega, значения с индексом 2 соответствуют стандартной модели k-epsilon) (рис. 3.100):

- «Турбулентное число Прандтля» – значение по умолчанию 0,9;
- «Турбулентное число Шмидта» – значение по умолчанию 0.8;
- «Использование пристеночных функций» – значение по умолчанию «false»;
- «beta\_star» – значение по умолчанию 0,09;
- «beta\_1» – значение по умолчанию 0,075;

- «beta\_2» – значение по умолчанию 0,0828;
- «sigma\_k1» – значение по умолчанию 0,5;
- «sigma\_k2» – значение по умолчанию 1,0;
- «sigma\_om1» – значение по умолчанию 0,5;
- «sigma\_om2» – значение по умолчанию 0,856;
- «gamma\_1» – значение по умолчанию 0,5555;
- «gamma\_2» – значение по умолчанию 0,44;
- «карра» – значение по умолчанию 0,41;
- «a1» – значение по умолчанию 0,31;
- «use\_wall\_functions» - флаг задания использования пристеночных функций (может принимать значения «true» или «false», по умолчанию «true»);
- «Минимальное значение кинетической энергии турбулентности» – значение по умолчанию 1e-08;
- «Минимальное значение отношения турбулентной к молекулярной вязкости» – значение по умолчанию 1e-08.

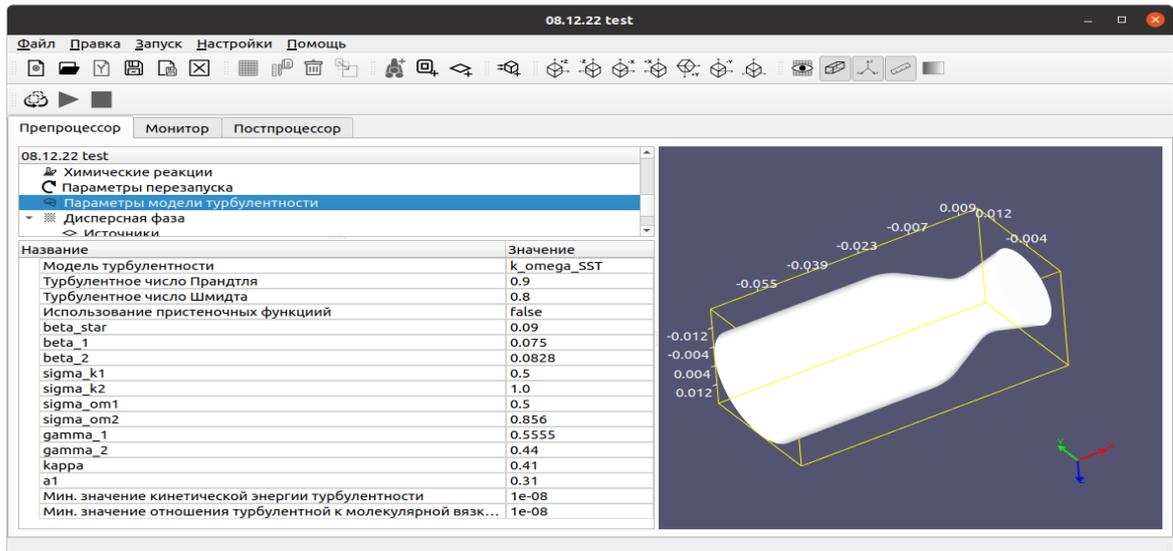


Рисунок 3.100 – Процедура задания параметров модели турбулентности k-omega SST

При использовании модели турбулентности «k-omega SST» необходимо задать параметры «Кинетическая энергия турбулентности ( $\text{м}^2/\text{с}^2$ )» и «Удельная скорость кинетической энергии ( $1/\text{с}$ )» в типах границ «Сверхзвуковой поток (SuperSonicInlet)», «Дозвуковой поток (SubSonicInlet)», «Фиксированный массовый расход (SubSonicMassFlux)» (рис. 3.101).

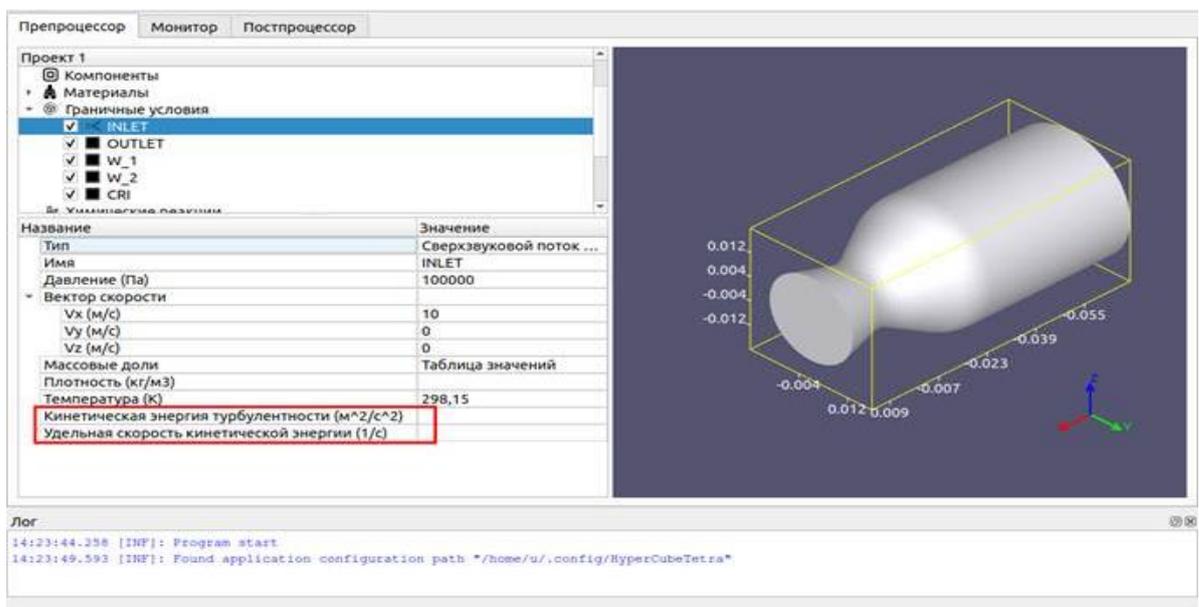


Рисунок 3.101 – Процедура задания параметров для модели турбулентности k-omega SST

### 3.1.3.10. Секция «Дисперсная фаза»

Секция «Дисперсная фаза» содержит параметры для расчета траекторий движения частиц/капель (лагранжевых квазичастиц) и информацию о их свойствах и источниках, из которых капли/частицы вводятся в поток (рис. 3.102).

Дисперсная фаза	
Название	Значение
Имя подаваемого компонента	
Путь к файлу	...
Модель расчета движения частиц	transient
Время начала расчета движения частиц	
Интервал времени до перерасчета движения частиц	
Флаг управления записью трэков	false
Дополнительные проверки	false
Модель испарения (газификации)	basic
Газифицированный компонент	
Use breakup model	true
Модель дробления	TAB
Число квазичастиц для каждого дробления	10
▼ Подаваемый компонент	
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Удельная теплота испарения (Дж/(кг·К))	226000
Температура кипения (К)	0
Поверхностное натяжение (Н/м)	Таблица значений
Вязкость жидкости (Па·с)	Таблица значений

Рисунок 3.102 – Процедура задания параметров дисперсной фазы

Секция содержит общие настройки проекта:

- «Имя подаваемого компонента»;
- «Тип подаваемого компонента» - может принимать значения «fluid» и «solid»;
- «Путь к файлу» – путь до конфигурационного YAML-файла со свойствами компонента (задается относительно расположения исполняемого файла решателя);
  - «Модель расчета движения частиц» - может принимать значение steady (траекторная модель) и transient (нестационарная модель);
- «Время начала расчета движения частиц»;
- «Интервал времени до перерасчета движения частиц»;

- «Флаг управления записью трэков» - может принимать значение «true» и «false» (по умолчанию);
- «Дополнительные проверки» - используется для отладочных и диагностических целей, может приводить к некоторому замедлению расчета;
- «Флаг активации модели дробления частиц», значение «true» требует задания дополнительной подсекции параметров «Модель дробления»: «Модель дробления» (ТАВ) и «Число квазичастиц для каждого дробления»;
- «Флаг активации модели испарения частиц», значение «true» требует задания параметров дополнительной подсекции «Модель испарения»: «Модель испарения (газификации)» и «Газифицированный компонент» (имя компонента газовой смеси, в котором находится частица).

В подсекции «Модель испарения (газификации)» доступны следующие модели:

- basic;
- Spalding - модель испарения Сполдинга;
- solid\_gasification - эмпирический закон газификации твердых частиц.

В зависимости от выбранной модели испарения (газификации) для разных типов материалов доступны дополнительные параметры.

Для материалов типа «solid»:

- Температура газификации (К).

Для материалов типа «fluid»:

- Удельная теплота испарения (Дж/кг);
- Температура кипения (К);
- Давление насыщенного пара (Па);
- Поверхность натяжения (Н/м).

Если в секции «Параметры расчета задачи» для флага «Моделирование дисперсных полей» установлено значение «true», при трансляции и

сохранении проекта в подкаталоге проекта «YAML» каталога «component\_properties» создается конфигурационный YAML-файл компонента дисперсной фазы. В противном случае параметры компонента дисперсной фазы игнорируются, парсинг файла не происходит (рис. 3.103).

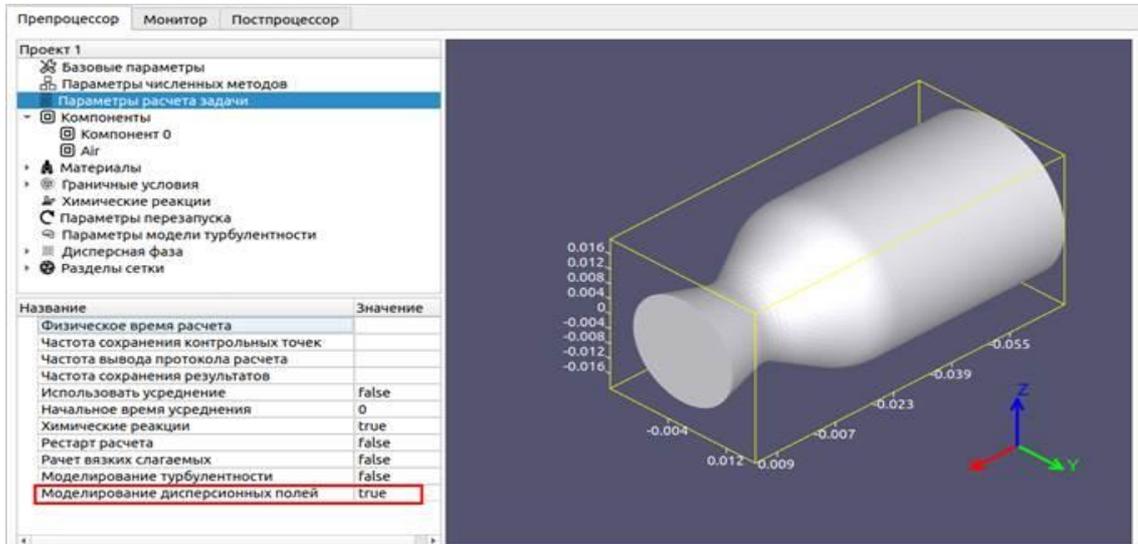


Рисунок 3.103 – Процедура задания параметров при моделировании дисперсных полей

В секции «Дисперсная фаза» имеется возможность загрузить ранее транслированный файл с параметрами компонента (рис. 3.104).

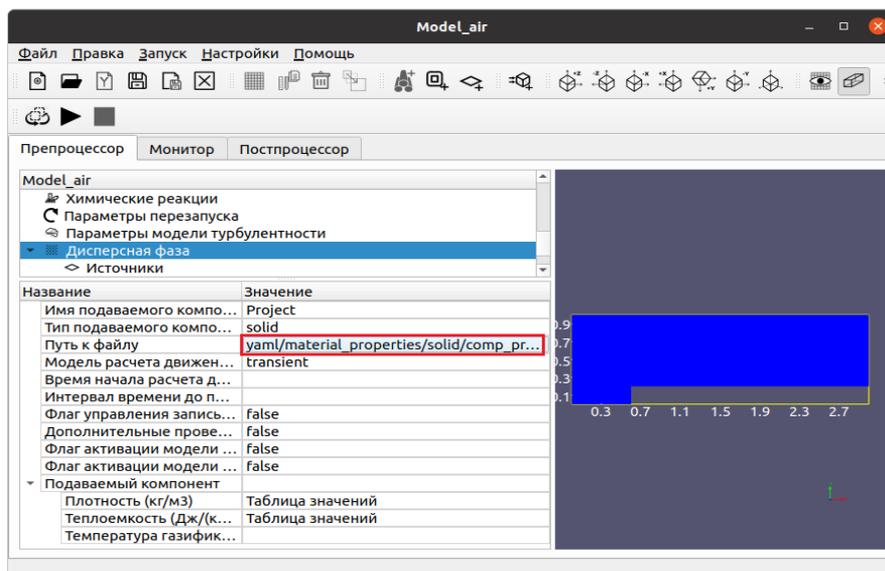


Рисунок 3.104 – Успешный парсинг файла компонента

Для задания зоны источника ввода жидкости нажмите на строку «Источник» в дереве проекта (рис. 3.105).

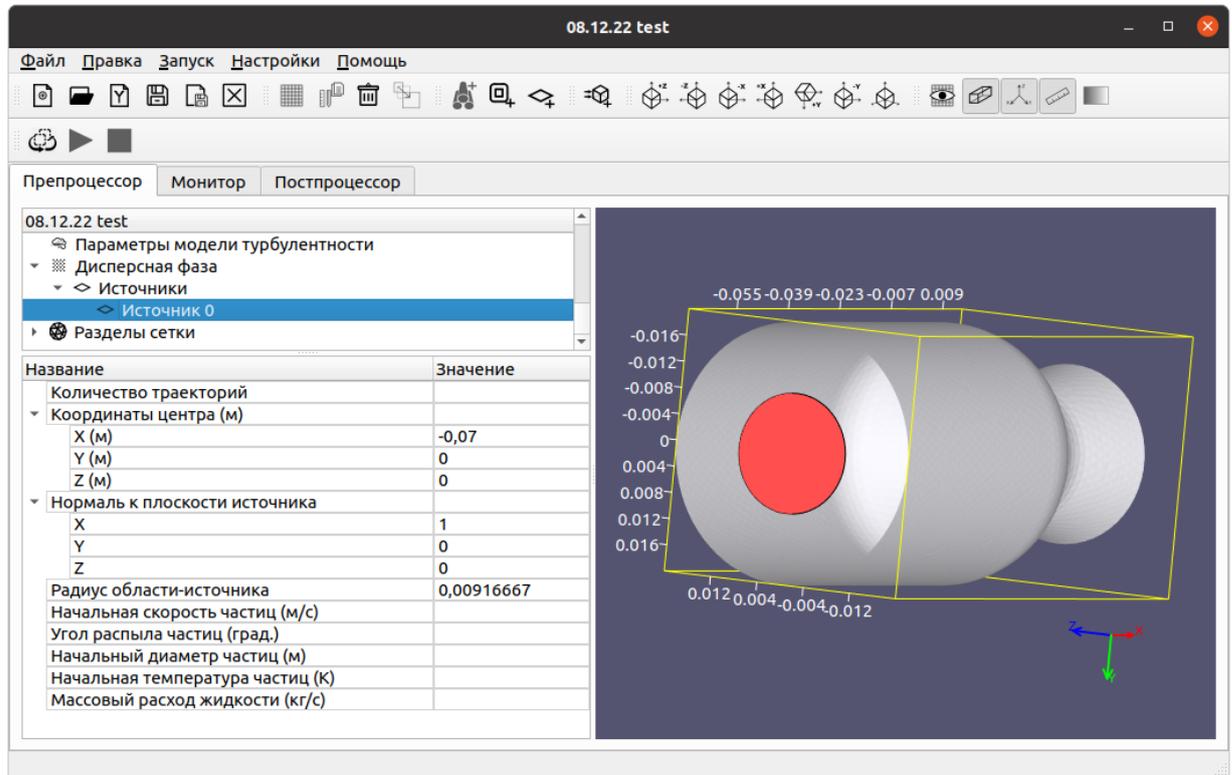


Рисунок 3.105 – Процедура задания источника

Описание каждого источника частиц начинается с названия «ИсточникXX», где XX - номер записи в нумерации начиная с 0. Каждый регион определяет область источника частиц, в пределах которой задаются соответствующие значения параметров. Частицы равномерно распределяются по площади источника, как по углу, так и по радиусу.

К числу задаваемых параметров относятся:

- количество моделируемых траекторий частиц для данного источника;
- координаты центра источника частиц;
- нормаль к плоскости источника частиц;
- радиус области-источника частиц;

- модуль вектора начальной скорости частиц;
- угол распыла частиц относительно нормали к плоскости источника (град);
- начальный диаметр частиц (монодисперсная фаза).;
- начальная температура частиц (К);
- массовый расход жидкости через данный источник (кг/с).

При добавлении компонента и успешной трансляции, конфигурационный YAML-файл этого компонента сохраняется в подкаталоге «COMPONENT\_PROPERTIES», который находится в каталоге текущего проекта с расширением .solver.

При задании начальной температуры капель следует учитывать, что она не может превышать температуру кипения жидкости (рис. 3.106, 3.107).

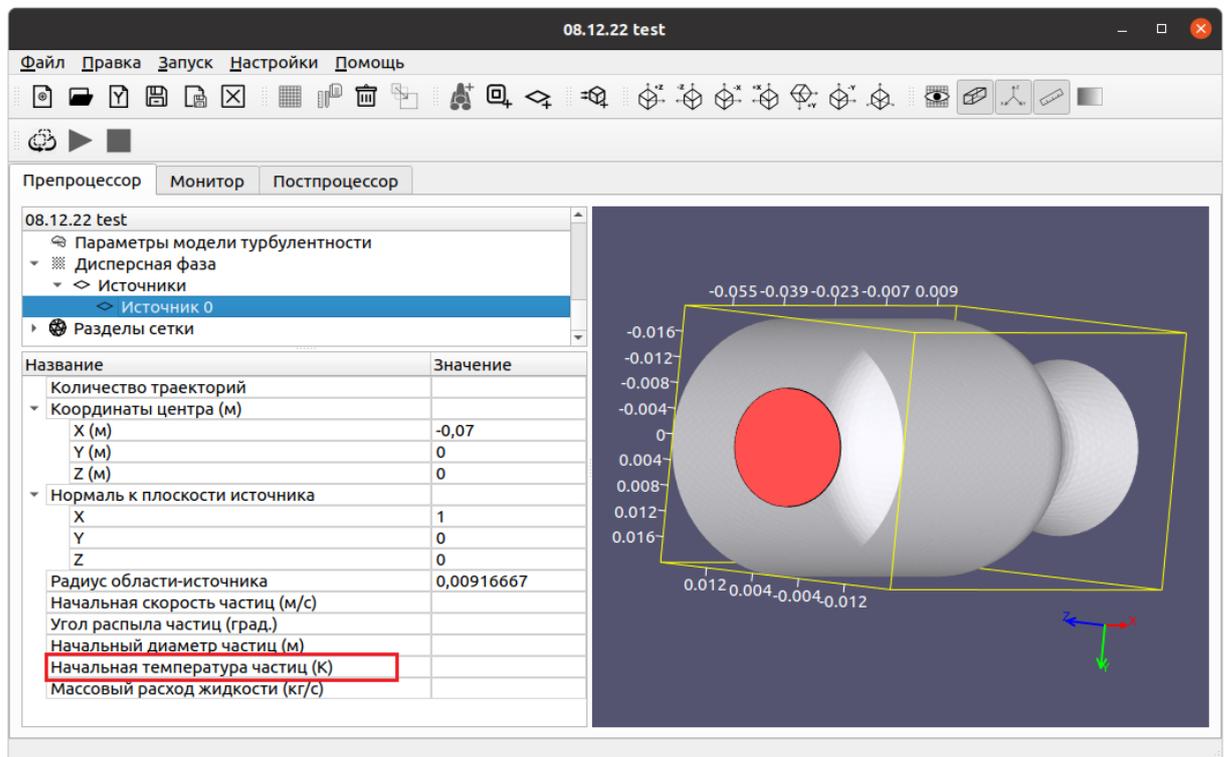


Рисунок 3.106 – Процедура задания начальной температуры капель

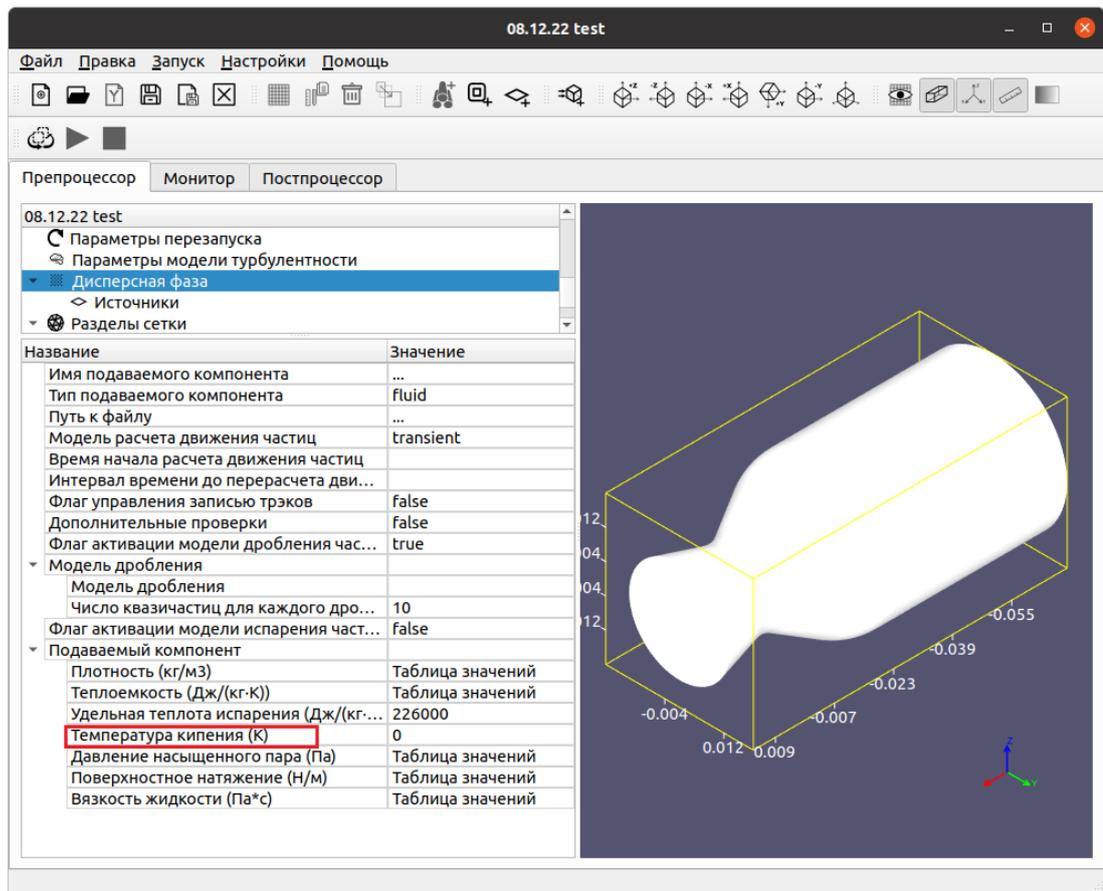


Рисунок 3.107 – Процедура задания температуры кипения жидкости

При выборе модели испарения (газификации) «solid\_gasification» (рис. 3.108) становятся доступными для редактирования следующие параметры (рис. 3.109):

- газифицированный компонент – имя компонента газовой смеси, в который будут поступать пары дисперсных частиц;
- окислительная среда – имя компонента газовой смеси, выступающего в роли окислителя при горении частиц;
- тип модели газификации - basic, extended;
- параметры a, b, n, u – параметры модели газификации твердых частиц;
- nuO2 – параметр модели газификации твердых частиц.

Дисперсная фаза	
Название	Значение
Имя подаваемого компонента	...
Тип подаваемого компонента	fluid
Путь к файлу	...
Модель расчета движения частиц	transient
Время начала расчета движения частиц	
Интервал времени до перерасчета дви...	
Флаг управления записью трэков	false
Дополнительные проверки	false
Флаг активации модели дробления час...	true
Модель дробления	
Модель дробления	TAB
Число квазичастиц для каждого дро...	10
Флаг активации модели испарения част...	true
Модель испарения	
Модель испарения (газификации)	basic
Газифицированный компонент	Spalding
Подаваемый компонент	
Плотность (кг/м3)	solid_gasification
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Удельная теплота испарения (Дж/(кг·...)	226000
Температура кипения (К)	0
Давление насыщенного пара (Па)	Таблица значений
Поверхностное натяжение (Н/м)	Таблица значений
Вязкость жидкости (Па·с)	Таблица значений

Рисунок 3.108 – Процедура выбора модели испарения (газификации) «solid\_gasification»

Дисперсная фаза	
Источники	
Название	Значение
Имя подаваемого компонента	...
Тип подаваемого компонента	fluid
Путь к файлу	...
Модель расчета движения частиц	transient
Время начала расчета движения частиц	
Интервал времени до перерасчета движения частиц	
Флаг управления записью трэков	false
Дополнительные проверки	false
Флаг активации модели дробления частиц	true
Модель дробления	
Модель дробления	TAB
Число квазичастиц для каждого дробления	10
Флаг активации модели испарения частиц	true
Модель испарения	
Модель испарения (газификации)	solid_gasification
Газифицированный компонент	Компонент 0
Окислительная среда	
Тип модели газификации	extended
Параметр A	0
Параметр N	1
Параметр U	1
nuO2	1
Подаваемый компонент	
Плотность (кг/м3)	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Удельная теплота испарения (Дж/(кг·К))	226000
Температура кипения (К)	0
Давление насыщенного пара (Па)	Таблица значений
Поверхностное натяжение (Н/м)	Таблица значений
Вязкость жидкости (Па·с)	Таблица значений

Рисунок 3.109 – Процедура выбора параметров модели испарения (газификации) «solid\_gasification»

Если для модели испарения (газификации) выбрано значение «basic» или «Spalding», параметры горения становятся недоступными (рис. 3.110, 3.111).

Дисперсная фаза	
Источники	
Название	Значение
Имя подаваемого компонента	...
Тип подаваемого компонента	fluid
Путь к файлу	...
Модель расчета движения частиц	transient
Время начала расчета движения частиц	
Интервал времени до перерасчета движения частиц	
Флаг управления записью трэков	false
Дополнительные проверки	false
Флаг активации модели дробления частиц	true
Модель дробления	
Модель дробления	TAB
Число квазичастиц для каждого дробления	10
Флаг активации модели испарения частиц	true
Модель испарения	
Модель испарения (газификации)	basic
Газифицированный компонент	Компонент 0
Подаваемый компонент	
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Удельная теплота испарения (Дж/(кг·К))	226000
Температура кипения (К)	0
Давление насыщенного пара (Па)	Таблица значений
Поверхностное натяжение (Н/м)	Таблица значений
Вязкость жидкости (Па·с)	Таблица значений

Рисунок 3.110 – Процедура выбора параметров модели испарения basic

Дисперсная фаза	
Источники	
Название	Значение
Имя подаваемого компонента	...
Тип подаваемого компонента	fluid
Путь к файлу	...
Модель расчета движения частиц	transient
Время начала расчета движения частиц	
Интервал времени до перерасчета движения частиц	
Флаг управления записью трэков	false
Дополнительные проверки	false
Флаг активации модели дробления частиц	true
Модель дробления	
Модель дробления	TAB
Число квазичастиц для каждого дробления	10
Флаг активации модели испарения частиц	true
Модель испарения	
Модель испарения (газификации)	Spalding
Газифицированный компонент	Компонент 0
Подаваемый компонент	
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Таблица значений
Теплоемкость (Дж/(кг·К))	Таблица значений
Удельная теплота испарения (Дж/(кг·К))	226000
Температура кипения (К)	0
Давление насыщенного пара (Па)	Таблица значений
Поверхностное натяжение (Н/м)	Таблица значений
Вязкость жидкости (Па·с)	Таблица значений

Рисунок 3.111 – Процедура выбора параметров модели испарения Spalding

### 3.1.3.11. Секция «Разделы сетки»

Секция «Разделы сетки» содержит информацию о различных регионах расчетной сетки, для каждого из которых задаются тип и свойства материала и специфические начальные условия (рис. 3.112).

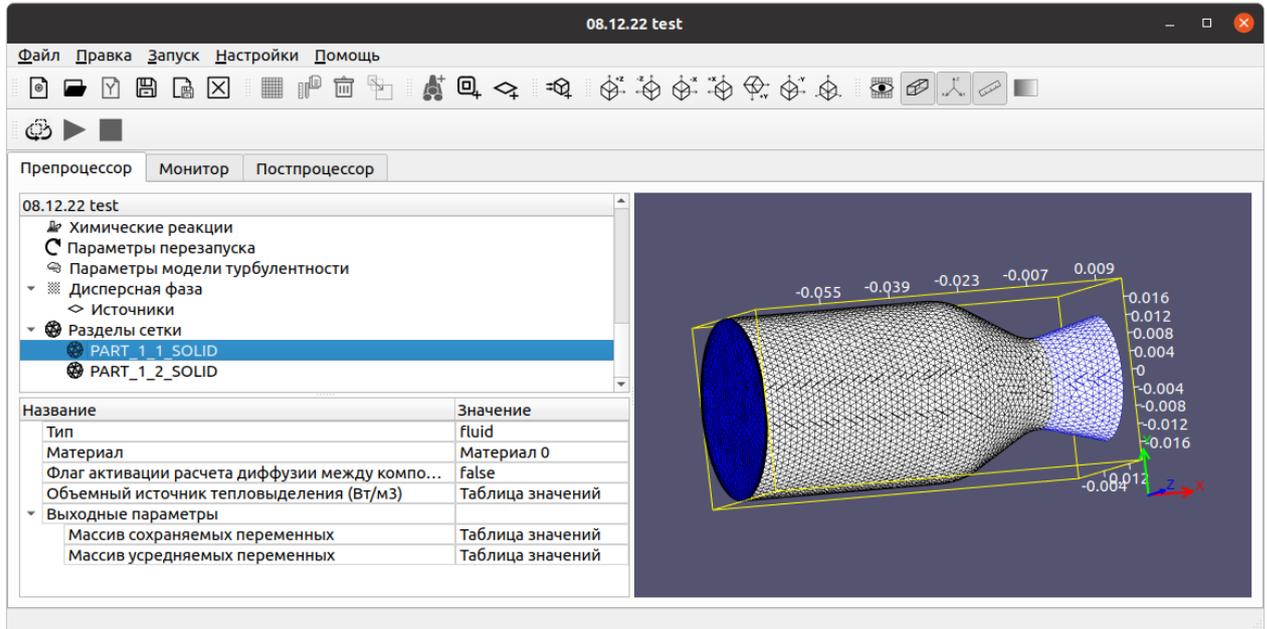


Рисунок 3.112 – Визуализация раздела сетки

В зависимости от выбранного материала меняются два следующих параметра:

- флаг активации расчета диффузии между компонентами газовой смеси в уравнениях Навье-Стокса;
- флаг активации модели термического разложения материала.

При выборе газообразного материала автоматически становится доступен флаг активации расчета диффузии между компонентами газовой смеси в уравнениях Навье-Стокса, а при выборе твердого - флаг активации модели термического разложения материала (рис. 3.113, 3.114).

Название	Значение
Тип	fluid
Материал	gas
Флаг активации расчета диффузии между компонентами газовой смеси в уравнениях Навье-Стокса	false
Объемный источник тепловыделения (Вт/м3)	Таблица значений
Выходные параметры	
Массив сохраняемых переменных	Таблица значений
Массив усредняемых переменных	Таблица значений

Рисунок 3.113 – Флаг активации расчета процесса диффузии между компонентами газовой смеси в уравнениях Навье-Стокса

Название	Значение
Тип	solid
Материал	solid
Флаг активации модели термического разложения материала	false
Объемный источник тепловыделения (Вт/м3)	Таблица значений
Выходные параметры	
Массив сохраняемых переменных	Таблица значений
Массив усредняемых переменных	Таблица значений

Рисунок 3.114 – Флаг активации модели термического разложения материала

Для выбора параметров, сохраняемых в «Массив сохраняемых переменных», нажмите на соответствующие выбранным параметрам флаги или используйте кнопки «Включить все»/ «Выключить все» расположенные внизу окна (рис. 3.115).

Имя переменной	Флаг использования
density	<input checked="" type="checkbox"/>
energy_source	<input type="checkbox"/>
heat_capacity	<input type="checkbox"/>
heat_conductivity	<input type="checkbox"/>
mass_fractions	<input type="checkbox"/>
mass_sources	<input type="checkbox"/>
pressure	<input checked="" type="checkbox"/>
sound_velocity	<input checked="" type="checkbox"/>
specific_dissipation_rate	<input type="checkbox"/>
temperature	<input checked="" type="checkbox"/>
turbulent_kinetic_energy	<input type="checkbox"/>
velocity	<input checked="" type="checkbox"/>
viscosity	<input type="checkbox"/>
wall_distance	<input type="checkbox"/>

Включить все    Выключить все    Отмена    OK

Рисунок 3.115 – Переменные массива сохраняемых переменных

Для выбора параметров, сохраняемых в «Массив усредняемых переменных», нажмите на соответствующие выбранным параметрам флаги или используйте кнопки «Включить все»/ «Выключить все» расположенные внизу окна (рис. 3.116).

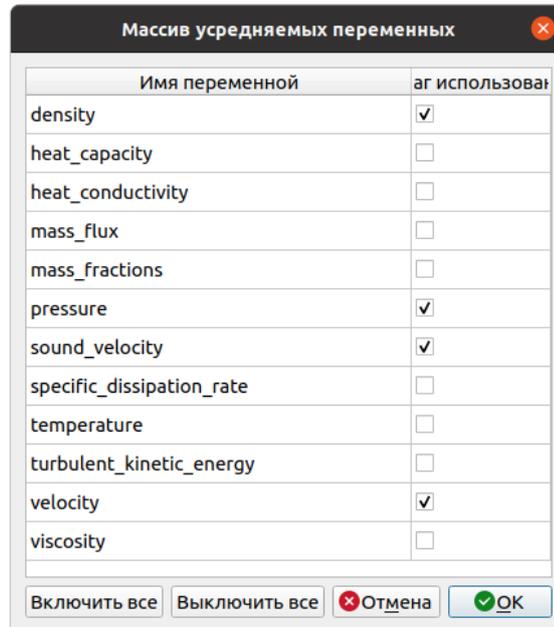


Рисунок 3.116 – Переменные массива усредняемых переменных

При нажатии левой кнопкой мыши на раздел сетки в дереве проекта в окне 3D визуализации отображается и подсвечивается синим цветом соответствующая расчетная сетка (рис. 3.117).

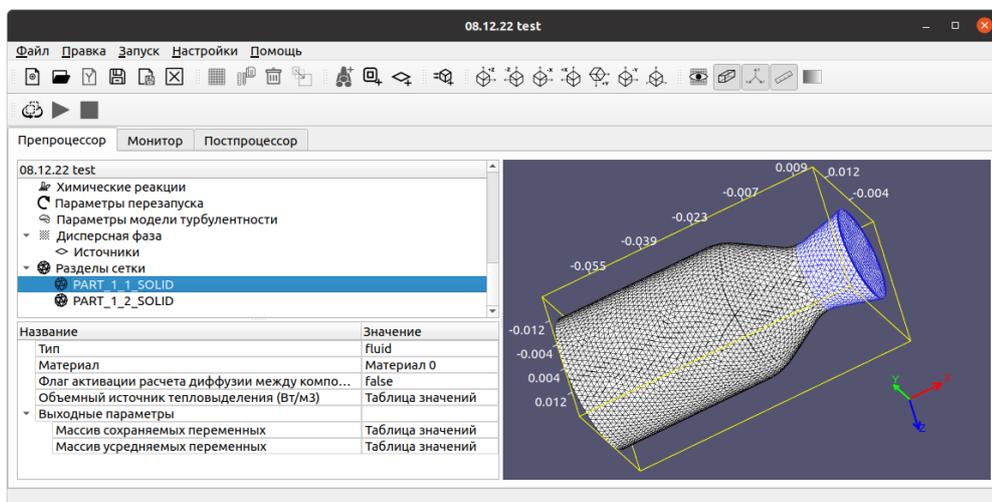


Рисунок 3.117 – Визуализация выделенного раздела сетки

Если отключить визуализацию граничных условий для расчетной сетки и выделить раздел сетки в дереве проекта, то он подсвечивается синим цветом (рис. 3.118, 3.119).

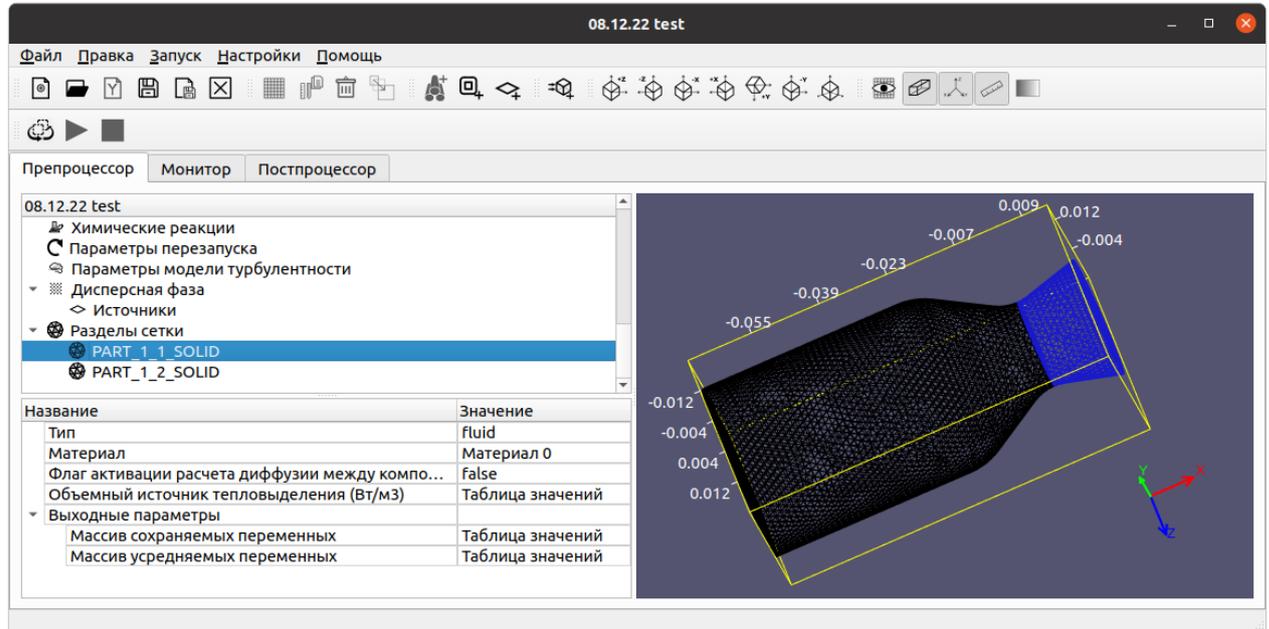


Рисунок 3.118 – Визуализация выделенного раздела сетки без граничных условий

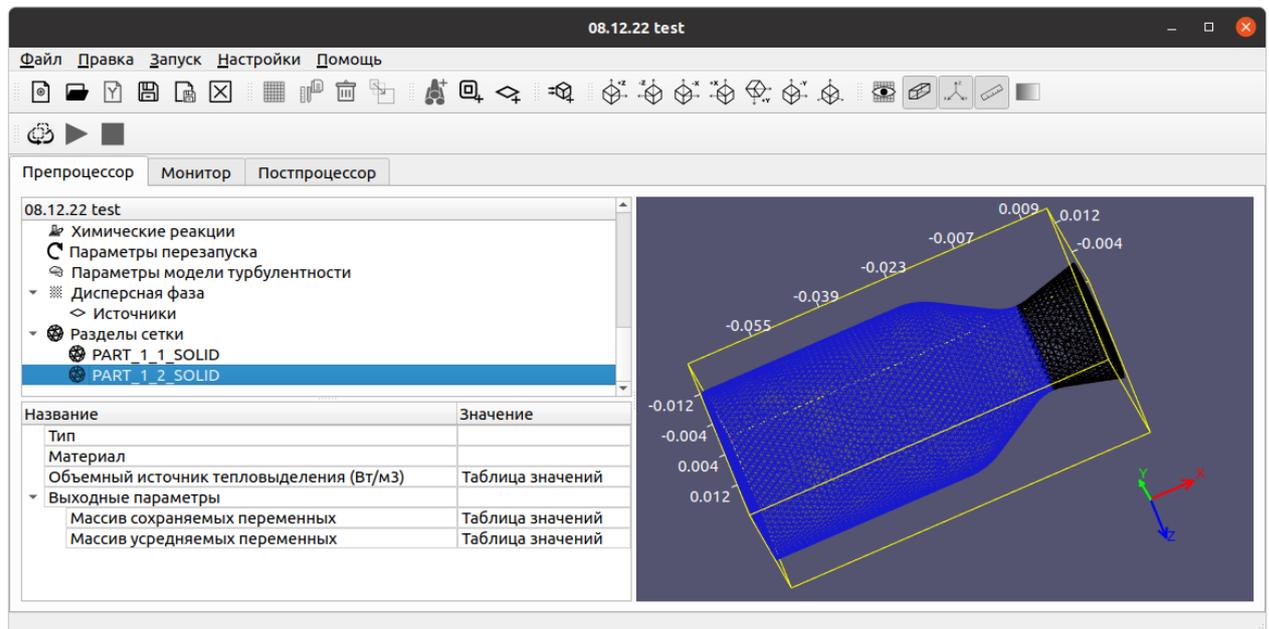


Рисунок 3.119 – Визуализация выделенного раздела сетки без граничных условий

Если нажать кнопку «Показать расчетную сетку» на панели инструментов «Отображение», расчетная сетка отображается в окне 3D визуализации независимо от того, что выбрано в дереве проекта (рис. 3.120).

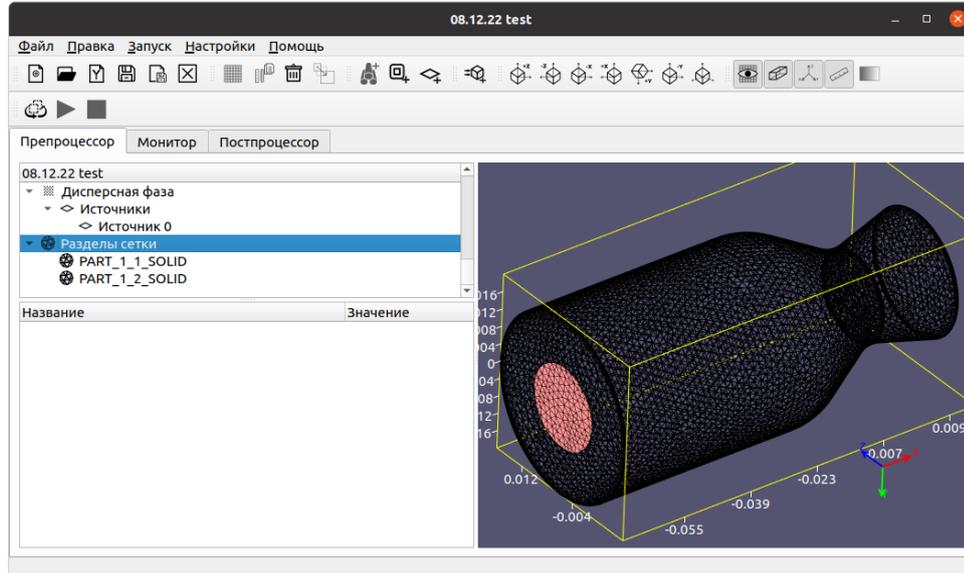


Рисунок 3.120 – Визуализация процедуры «Показать расчетную сетку»

При выборе определенного граничного условия в разделе «Граничные условия» дерева проектов в окне 3D визуализации отображается соответствующая ему граница расчетной области (рис. 3.121).

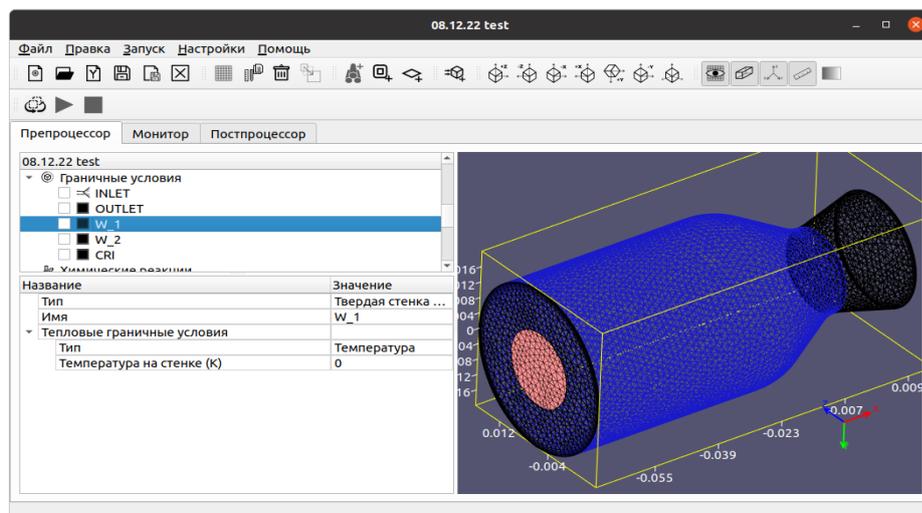


Рисунок 3.121 – Визуализация выделенной части расчетной сетки

### 3.2. «Монитор»

После запуска расчета текстовый лог процесса вычислений выводится на вкладке «Лог решателя» (рис. 3.122).

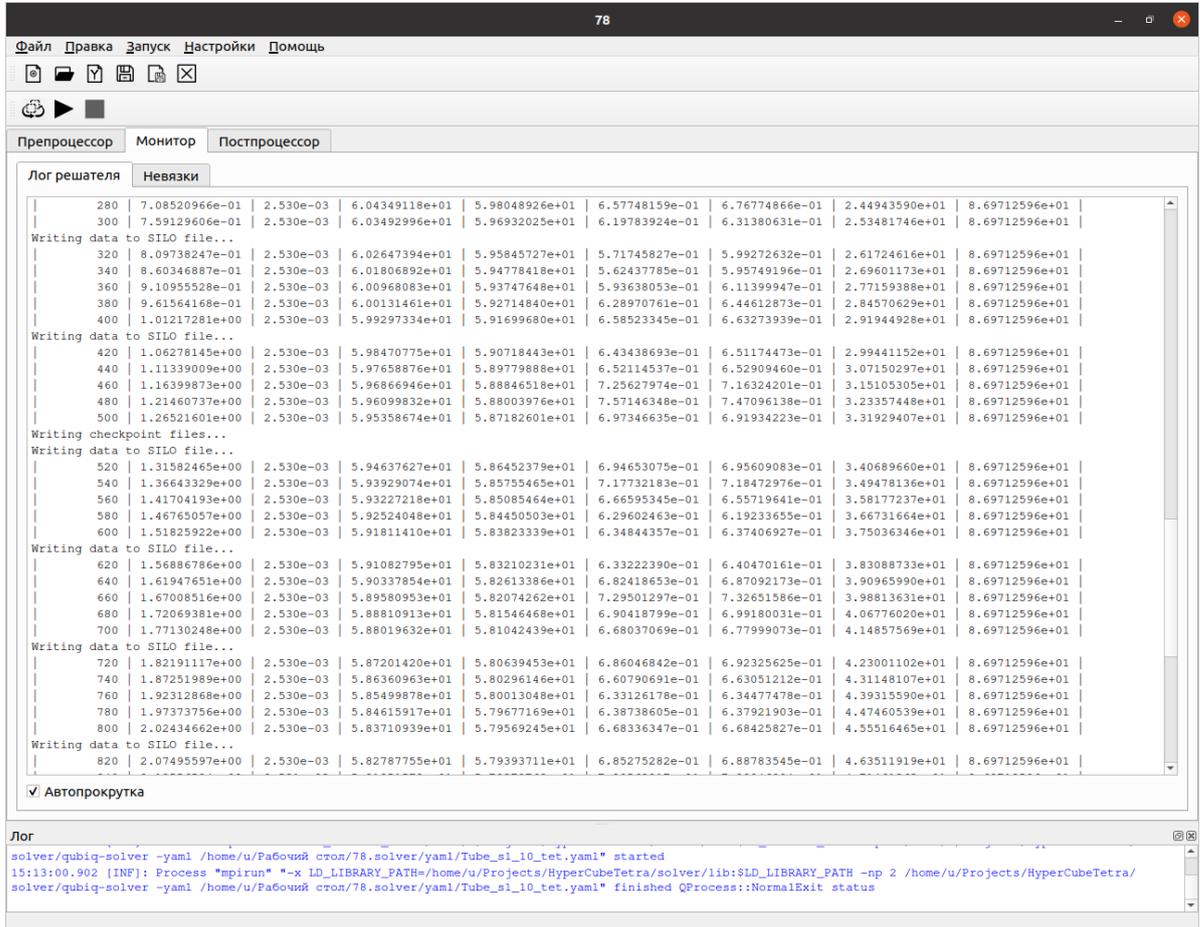


Рисунок 3.122 – Лог решателя

Во вкладке «Невязки» становится доступной визуализация графиков невязок (рис. 3.123). Более подробно см. п. 3.3.3 «Функциональные возможности постпроцессора при работе со смешанными сетками».



Рисунок 3.123 – Визуализация графиков невязок

В графическом поле вкладки «Невязки» доступна легенда с обозначением каждого из графиков, которые можно отобразить или отключить при помощи контекстного меню.

Для изменения цвета графика невязки нажмите кнопку «Изменить цвет невязок» в контекстном меню (рис. 3.124), что делает доступным окно палитры невязок (рис. 3.125), при двойном нажатии на цвет невязки открывается окно выбора цвета с возможностью задать новое значение (рис. 3.126).

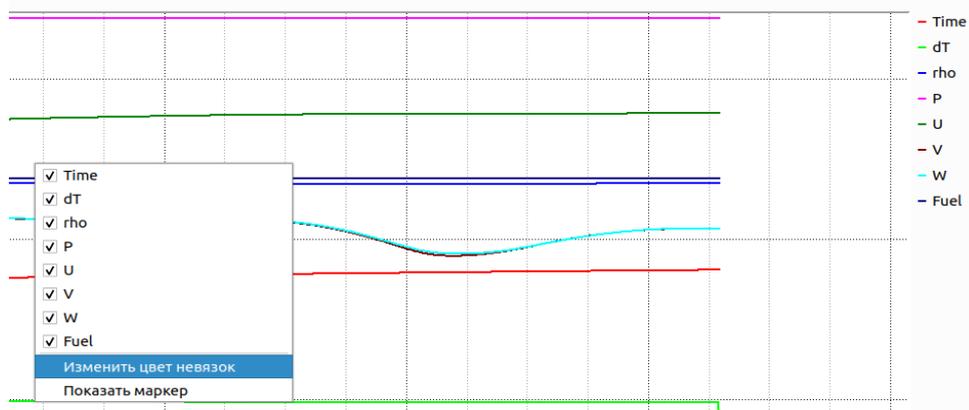


Рисунок 3.124 – Процедура изменения цвета графиков невязок

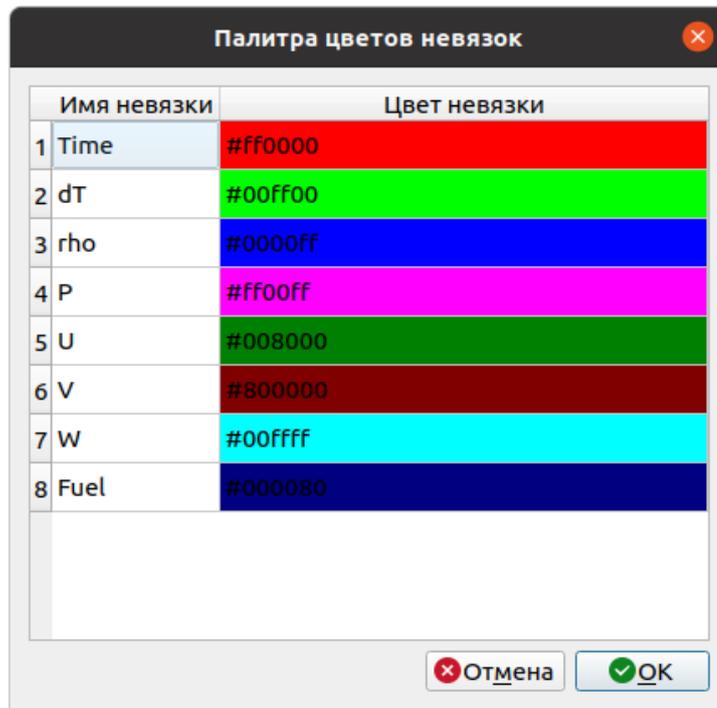


Рисунок 3.125 – Палитра цветов графиков невязок

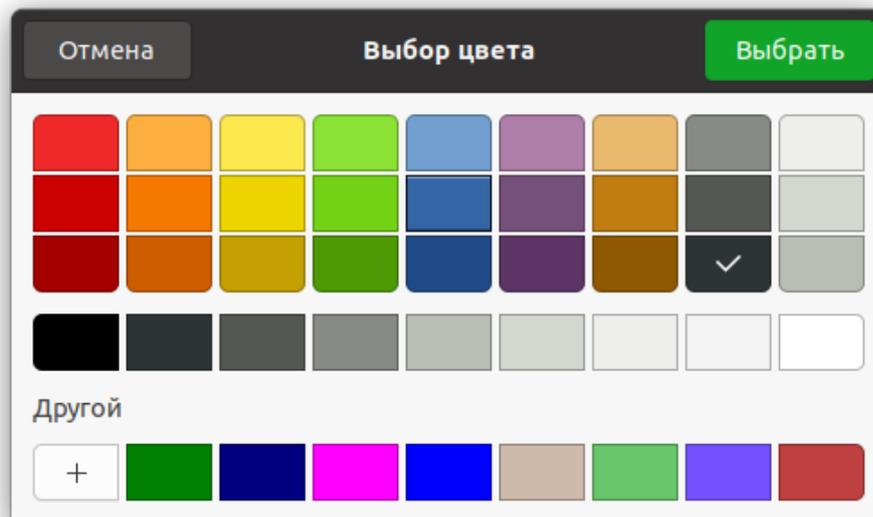


Рисунок 3.126 – Окно выбора цвета для графика невязки

Для отображения маркера графиков невязок нажмите кнопку «Показать маркер», которая также находится в контекстном меню (рис. 3.127, 3.128).

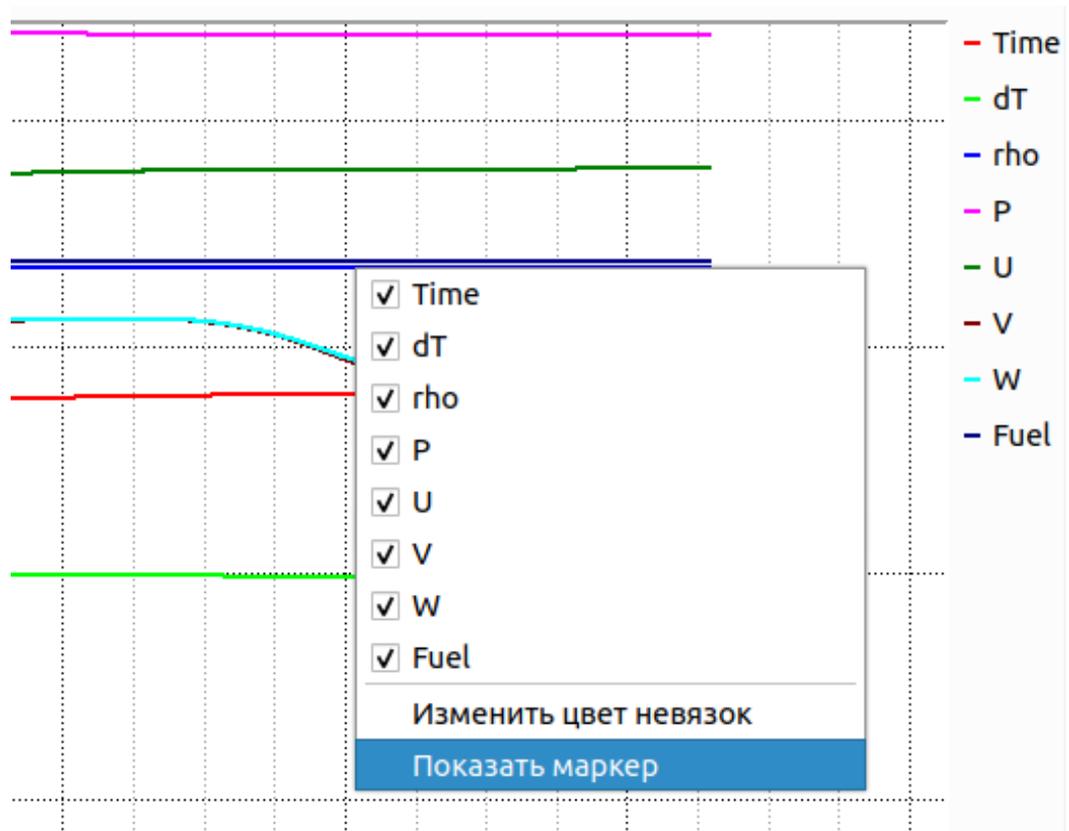


Рисунок 3.127 – Визуализация процедуры «Показать маркер»

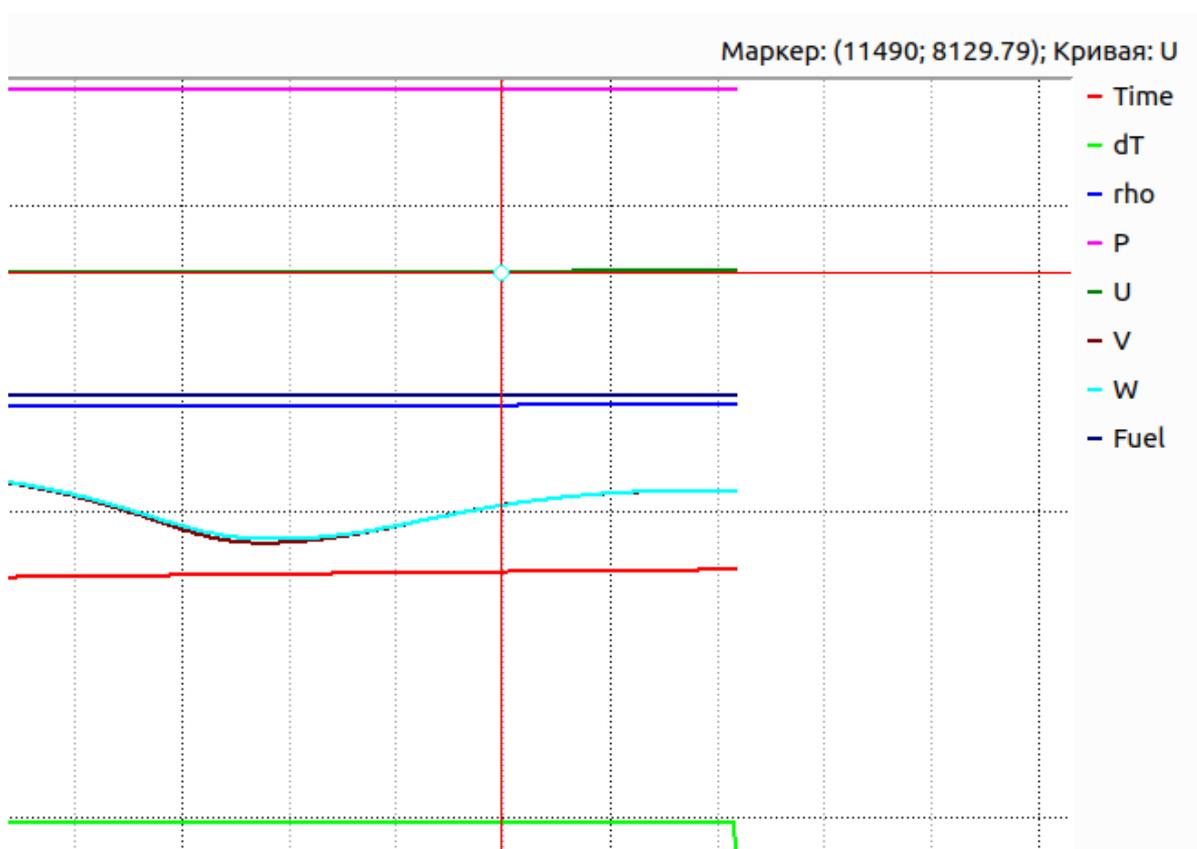


Рисунок 3.128 – Визуализация маркера невязок

### 3.3. Визуализация результатов расчета «Постпроцессор»

#### 3.3.1. Меню

Настройка работы постпроцессора осуществляется с использованием кнопок «Изменить диапазон шкалы», «Ориентация цветовой шкалы», «Настройки постпроцессора» и флага «Показать водяной знак в постпроцессоре» доступных в меню на вкладке «Настройки» (рис. 3.129).

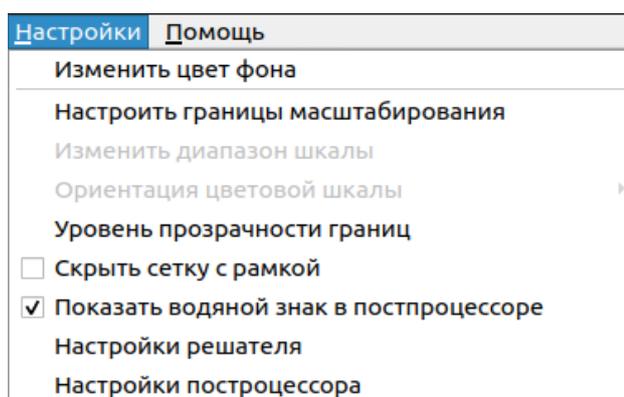


Рисунок 3.129 – Вкладка «Настройки»

Кнопка «Изменить диапазон шкалы» позволяет изменить диапазон цветовой шкалы в постпроцессоре. По умолчанию активирован флаг «Авто», при его деактивации значения для нижнего и верхнего предела диапазона шкалы могут быть заданы вручную (рис. 3.130).

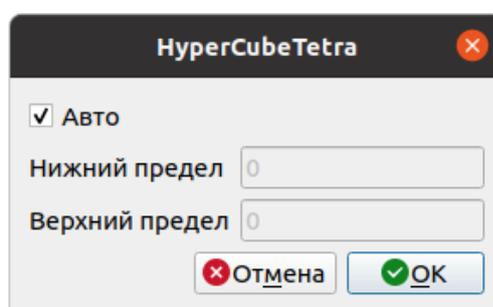


Рисунок 3.130 – Визуализация процедуры задания параметров вручную

Кнопка «Ориентация цветовой шкалы» позволяет задать горизонтальную или вертикальную ориентацию цветовой шкалы (рис. 3.131).

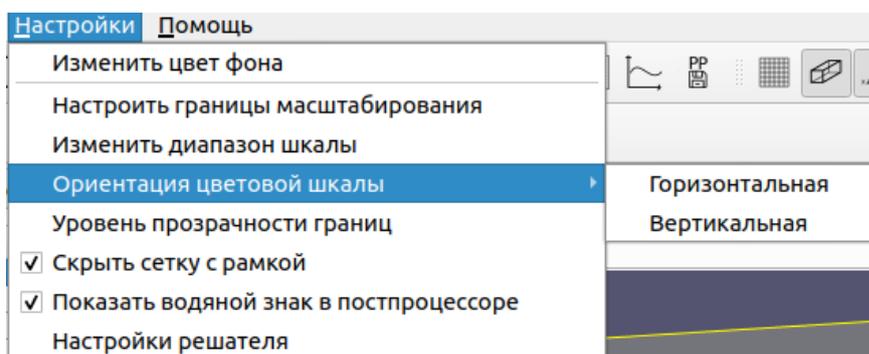


Рисунок 3.131 – Визуализация процедуры ориентации цветовой шкалы

Кнопка «Показать водяной знак в постпроцессоре» включает/отключает отображение водяного знака в окне 3D рендера (рис. 3.122).

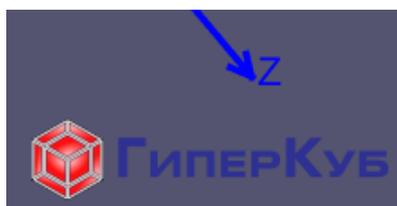


Рисунок 3.132 – Визуализация водяного знака

Кнопка «Настройки постпроцессора» позволяет задать объем занимаемой памяти для загружаемого файла (рис. 3.133).

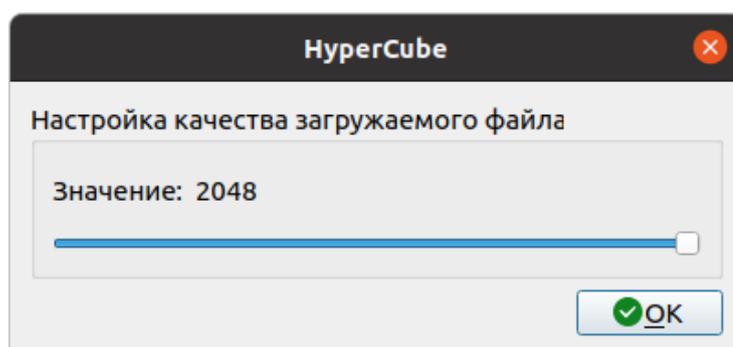


Рисунок 3.133 – Настройки постпроцессора

Для повышения уровня детализации элементов модели в окне 3D рендера необходимо установить максимальное значение параметра и перегрузить файл модели в дереве проекта постпроцессора (рис. 3.134, 3.135)

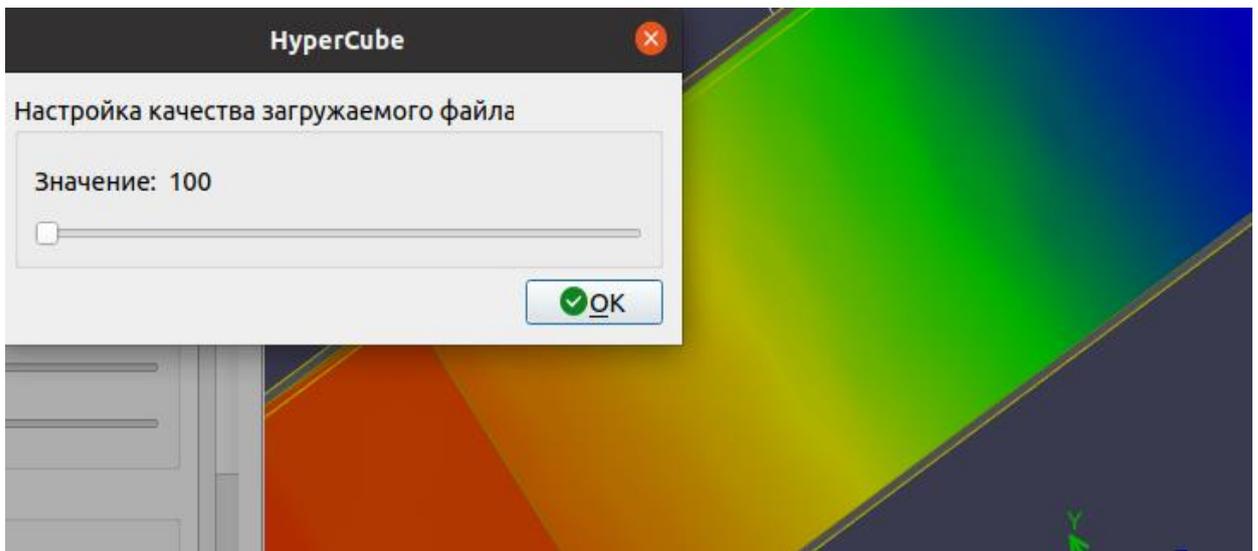


Рисунок 3.134 – Визуализация при минимальном значении уровня детализации загружаемого файла

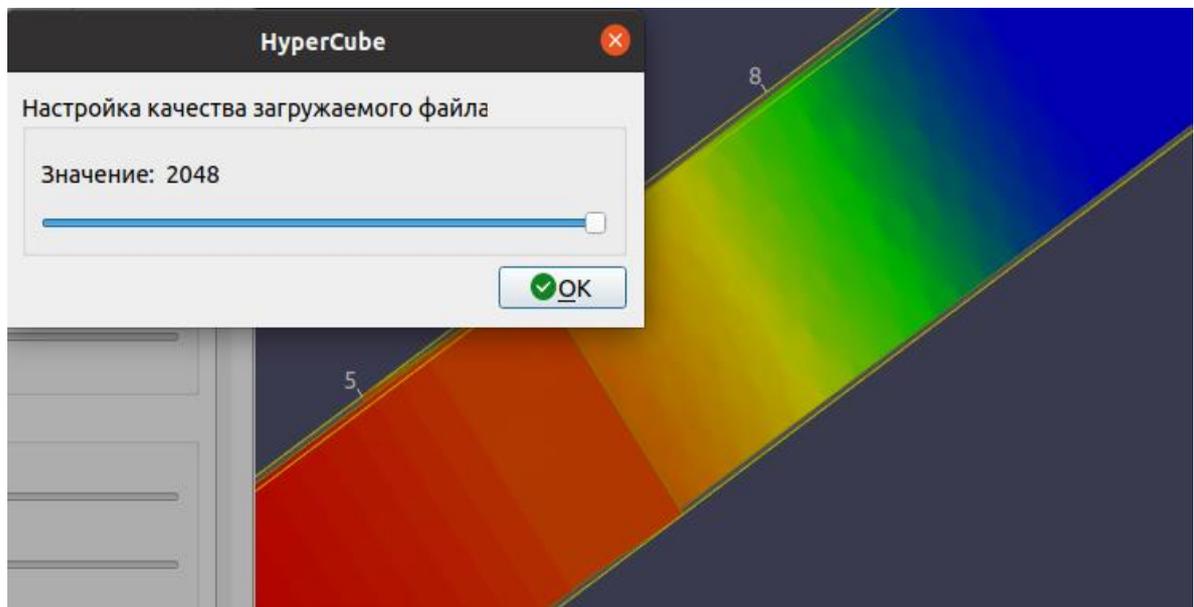


Рисунок 3.135 – Визуализация при максимальном значении уровня детализации загружаемого файла

### 3.3.2. Панель управления

Панель инструментов расположена под строкой меню и включает в себя: панель инструментов «Постпроцессор» и панель инструментов «Результаты расчета» (рис. 3.136).



Рисунок 3.136 – Панель инструментов

При работе с постпроцессором на панели инструментов «Отображения» активируется кнопка «Показать цветовую шкалу» (рис. 3.137).



Рисунок 3.137 – Панель инструментов «Отображения»

Цветовая шкала отображает поля и значения сечений, а также компоненты векторного поля при использовании линий тока (рис. 3.138).

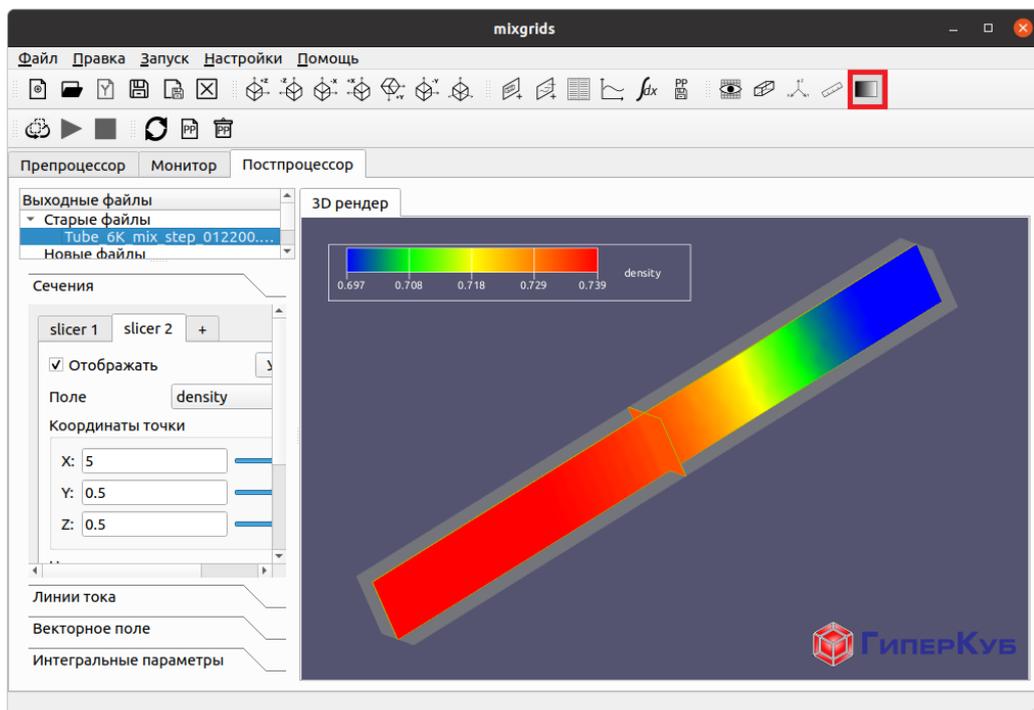


Рисунок 3.138 – Визуализация цветовой шкалы

### 3.3.2.1. Панель инструментов «Результаты расчета»

На панели инструментов «Результаты расчета» доступны следующие кнопки: «Обновить список выходных файлов», «Добавить файл в постпроцессор» и «Удалить файл из постпроцессора» (рис. 3.139).



Рисунок 3.139 – Панель инструментов «Результаты расчета»

В процессе выполнения проекта доступна процедура обновления списка выходных файлов (рис. 3.140).

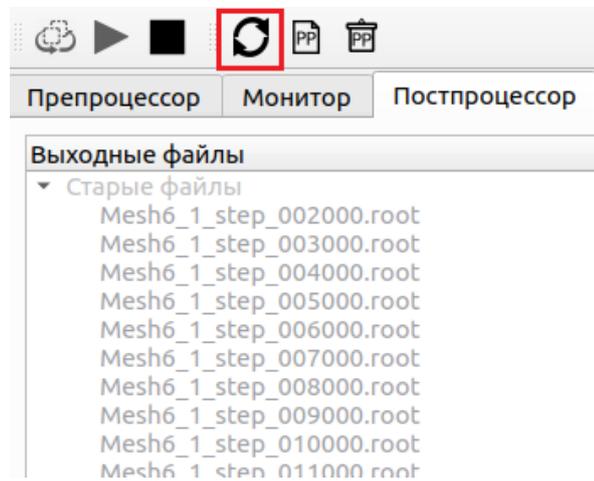


Рисунок 3.140 – Процедура обновления списка выходных файлов

Для загрузки нового файла в постпроцессор нажмите кнопку «Добавить файл в постпроцессор», после чего выберите необходимый файл в открывшемся файловом проводнике и подтвердите выполнение (рис. 3.141, 3.142). При попытке добавить существующий файл в постпроцессор возникнет следующее сообщение, показанное на рис. 3.143.

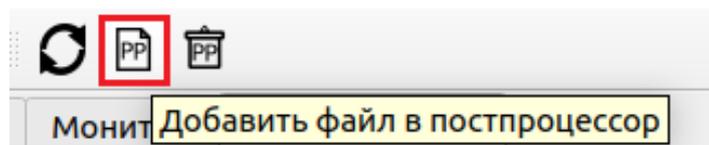


Рисунок 3.141 – Кнопка «Добавить файл в постпроцессор»

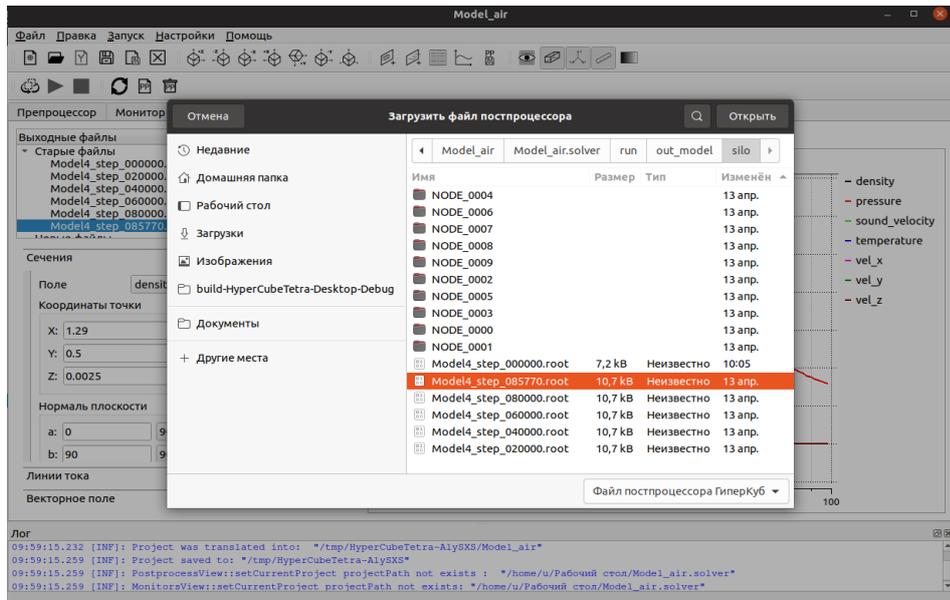


Рисунок 3.142 –Каталог с загружаемыми в постпроцессор файлами

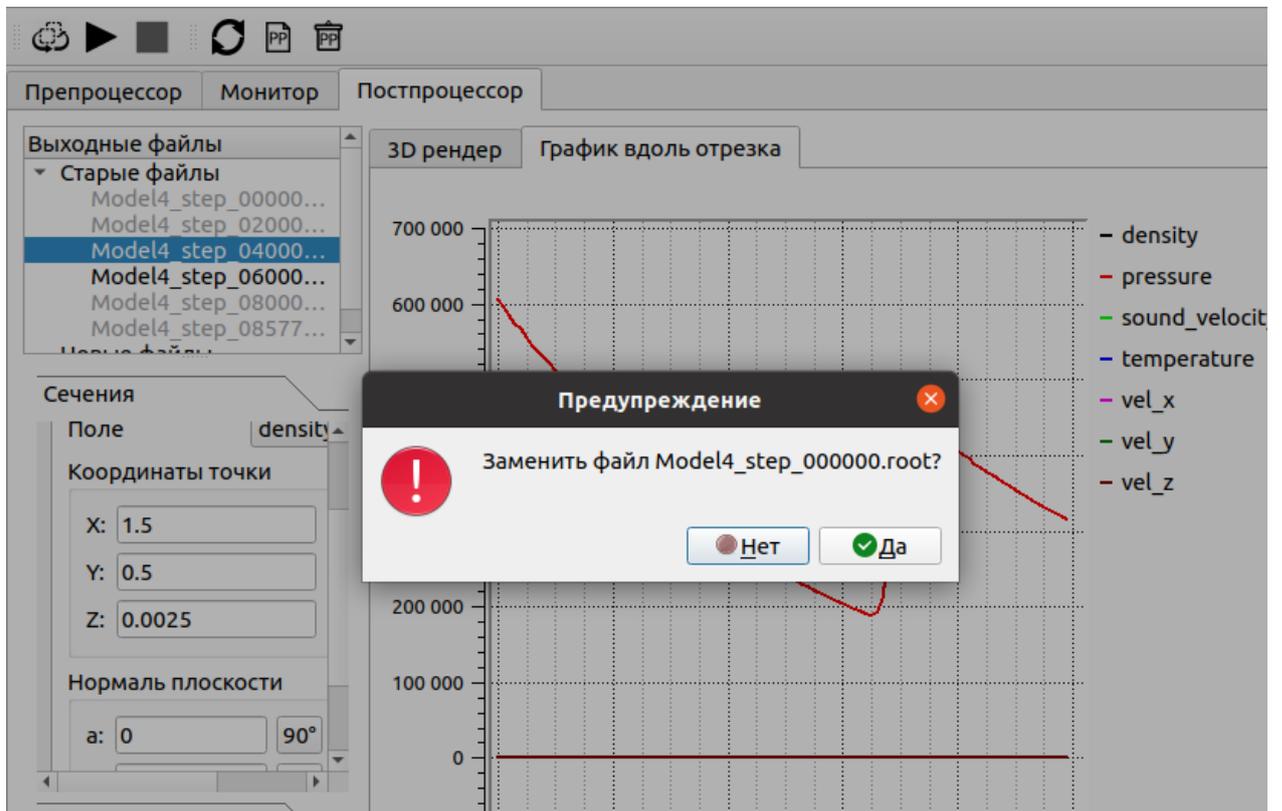


Рисунок 3.143 – Окно с предупреждением о замене файла

Для удаления файла из постпроцессора нажмите на кнопку «Удалить файл из постпроцессора» и выберите одну строку в открывшемся окне удаления файлов (рис. 3.144, 3.145). При выборе элемента, любой выбранный до этого элемент становится неактивным и отменить выделение выбранного элемента становится невозможным (рис. 3.146).

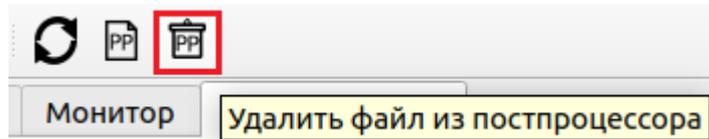


Рисунок 3.144 – Кнопка «Удалить файл из постпроцессора»

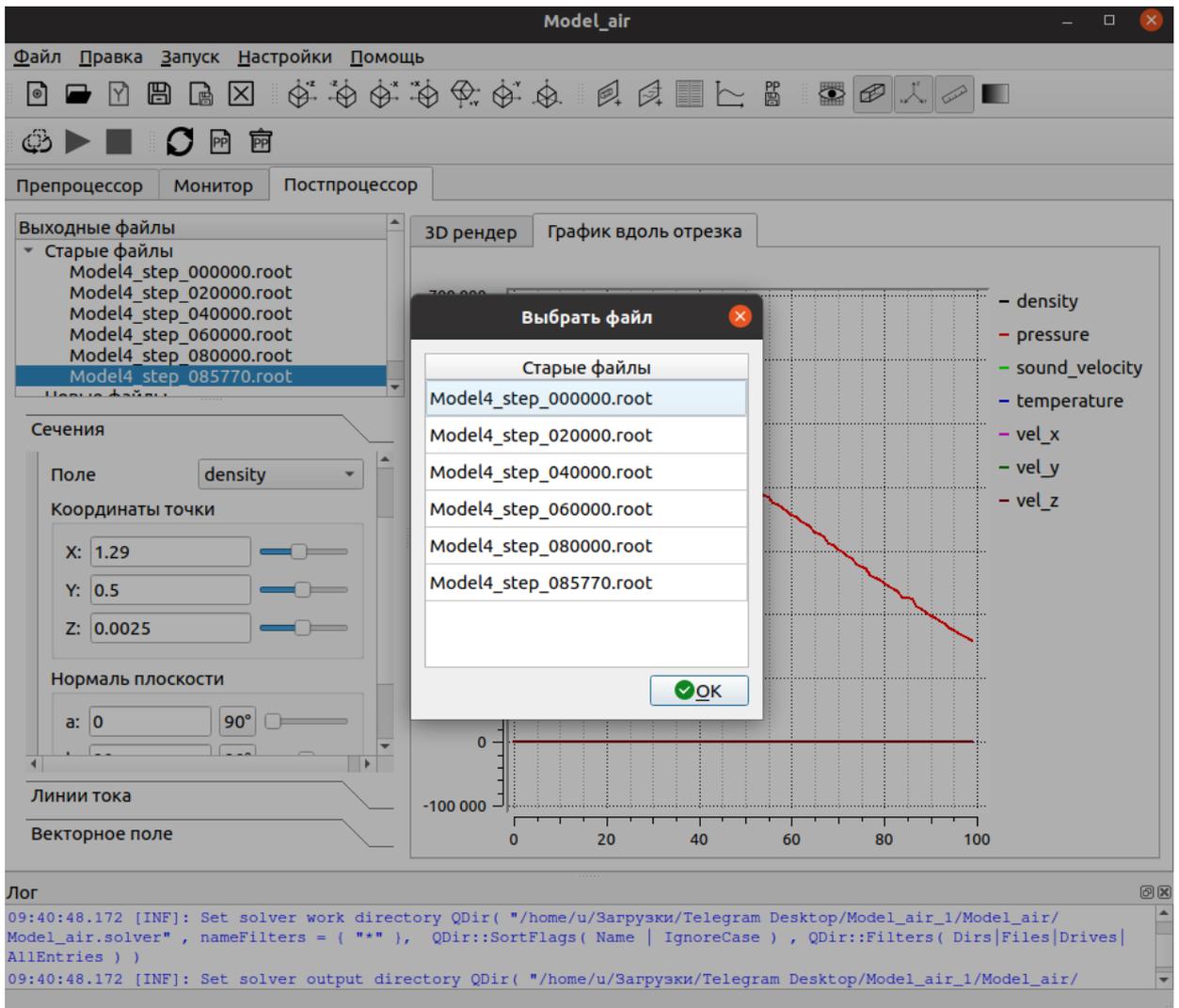


Рисунок 3.145 – Процедура выбора файла

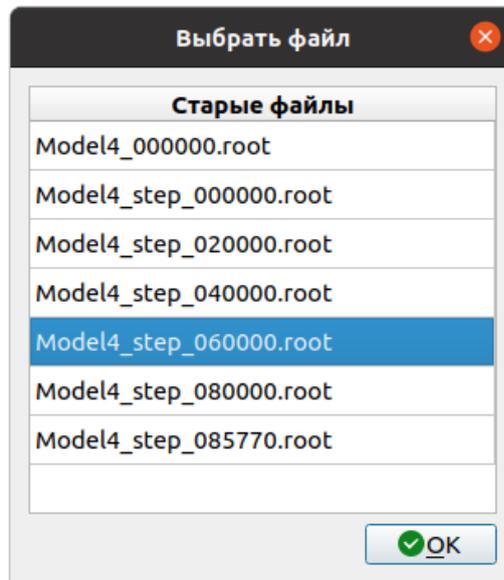


Рисунок 3.146 – Выбранный для удаления файл

### 3.3.2.2. Панель инструментов «Постпроцессор»

На панели инструментов «Постпроцессор» доступны кнопки: «Добавить сечение», «Добавить линии тока», «Показать значения», «График вдоль отрезка», «Создать новый интегральный параметр» и «Сохранить постпроцессор» (рис. 3.147).



Рисунок 3.147 – Панель инструментов «Постпроцессор»

### 3.3.3. Функциональные возможности постпроцессора при работе со смешанными сетками

До окончания загрузки файлов моделей их названия в дереве проекта постпроцессора выделяются серым цветом. При отсутствии загружаемых файлов будут скрыты некоторые элементы интерфейса и очищено окно 3D рендера. В случае ошибки загрузки модели ее название в дереве постпроцессора выделяется красным цветом и в логе появится сообщение об ошибке (рис. 3.148).

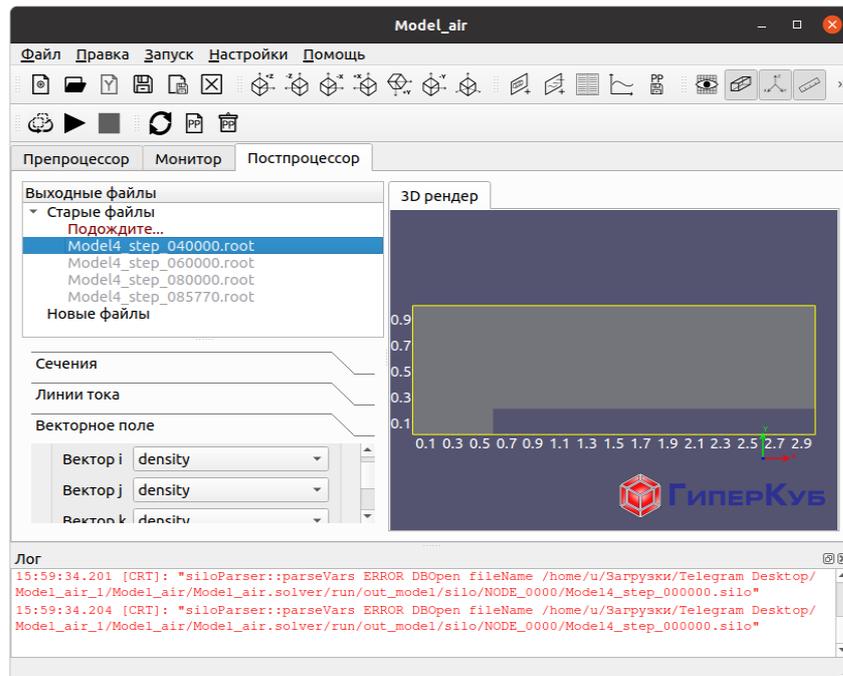


Рисунок 3.148 – Сообщение об ошибке выгрузки файла

Для вызова контекстного меню с кнопками «Перезагрузить файл» и «Выгрузить файл» нажмите на строку с названием файла в дереве проекта постпроцессора (рис. 3.149).

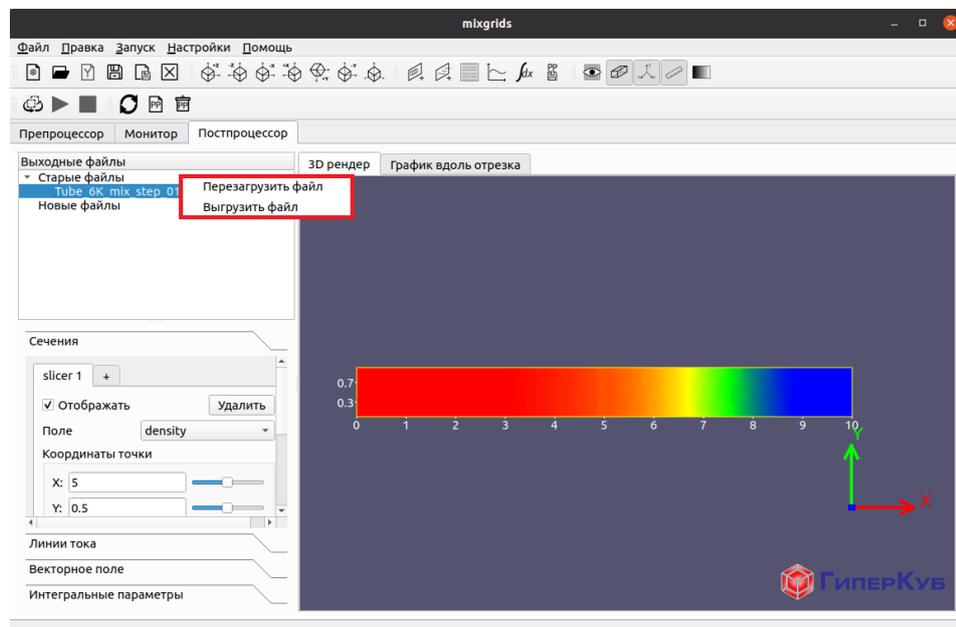


Рисунок 3.149 – Визуализация процедуры перезагрузки и выгрузки файла

### 3.3.3.1 Перезагрузка и выгрузка файлов

Нажатие на кнопку «Перезагрузить файл» сначала выгружает файл и загружает его заново.

Для выгрузки файла из дерева проекта постпроцессора нажмите на кнопку «Выгрузить файл», при этом файл станет неактивным, а модель перестанет отображаться в окне 3D рендера (рис. 3.150).

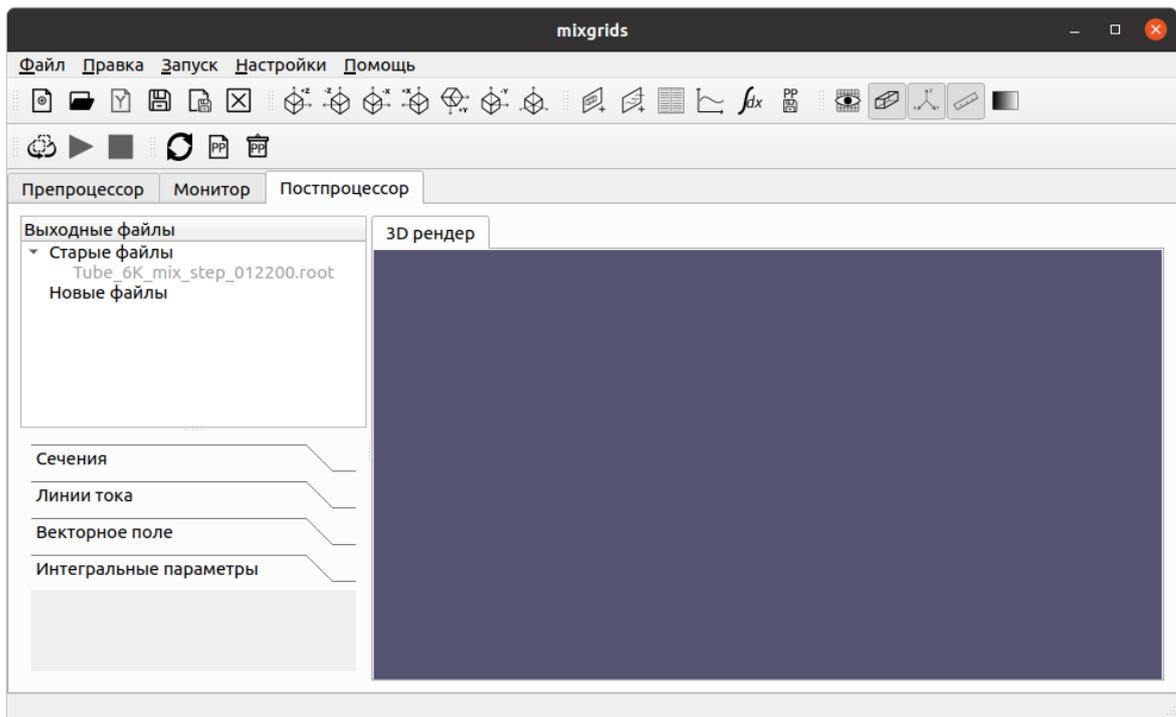


Рисунок 3.150 – Процедура выгрузки файла

### 3.3.3.2 Построение сечений

Для построения сечения при использовании смешанной сетки необходимо выбрать один из выходных файлов, на панели инструментов нажать на кнопку «Добавить сечение» и в открывшейся вкладке в левой части окна настроить параметры.

Пример построенного сечения, где виден переход от одного типа фигур к другому – от квадратов к треугольникам представлен на рис. 3.151.

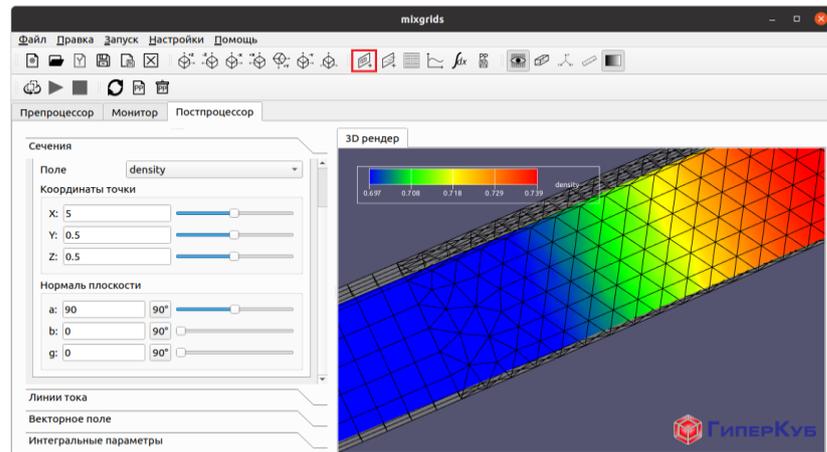


Рисунок 3.151 – Визуализация сечения

### 3.3.3.3 Построение линий тока

Для построения линий тока при использовании смешанной сетки необходимо выбрать один из выходных файлов, на панели инструментов нажать кнопку «Добавить линии тока» и в открывшейся вкладке в левой части окна настроить параметры.

Пример визуализации линий тока приведен на рис. 3.152.

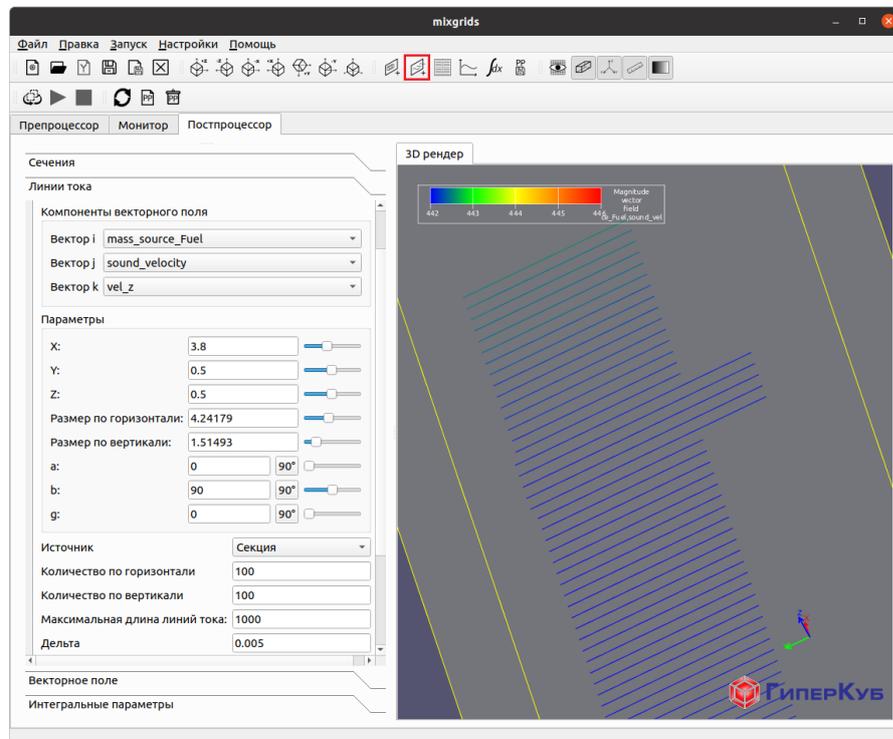


Рисунок 3.152 – Визуализация линий тока

### 3.3.3.4 Построение векторных полей

Для построения векторных полей при использовании смешанной сетки необходимо выбрать один из выходных файлов, открыть вкладку «Векторное поле» в левой части окна и настроить параметры. Пример визуализации векторных полей приведен на рис. 3.153.

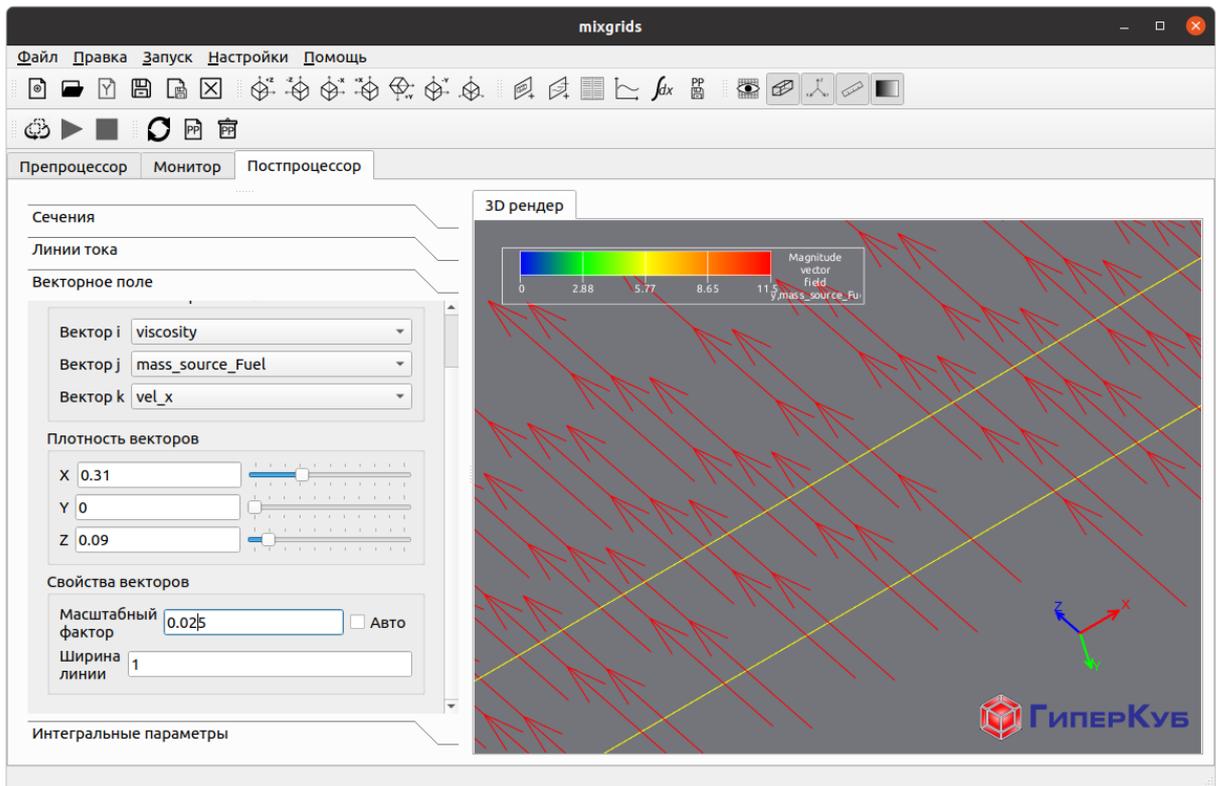


Рисунок 3.153 – Визуализация векторных полей

### 3.3.3.5 Настройка визуализации интегральных параметров

Для настройки процедуры визуализации интегральных параметров при использовании смешанной сетки необходимо выбрать один из выходных файлов, нажать на кнопку «Создать новый интегральный параметр» и в левой части окна настроить интегральные параметры. Пример отображения настройки процедуры визуализации интегральных параметров приведен на рис. 3.154.

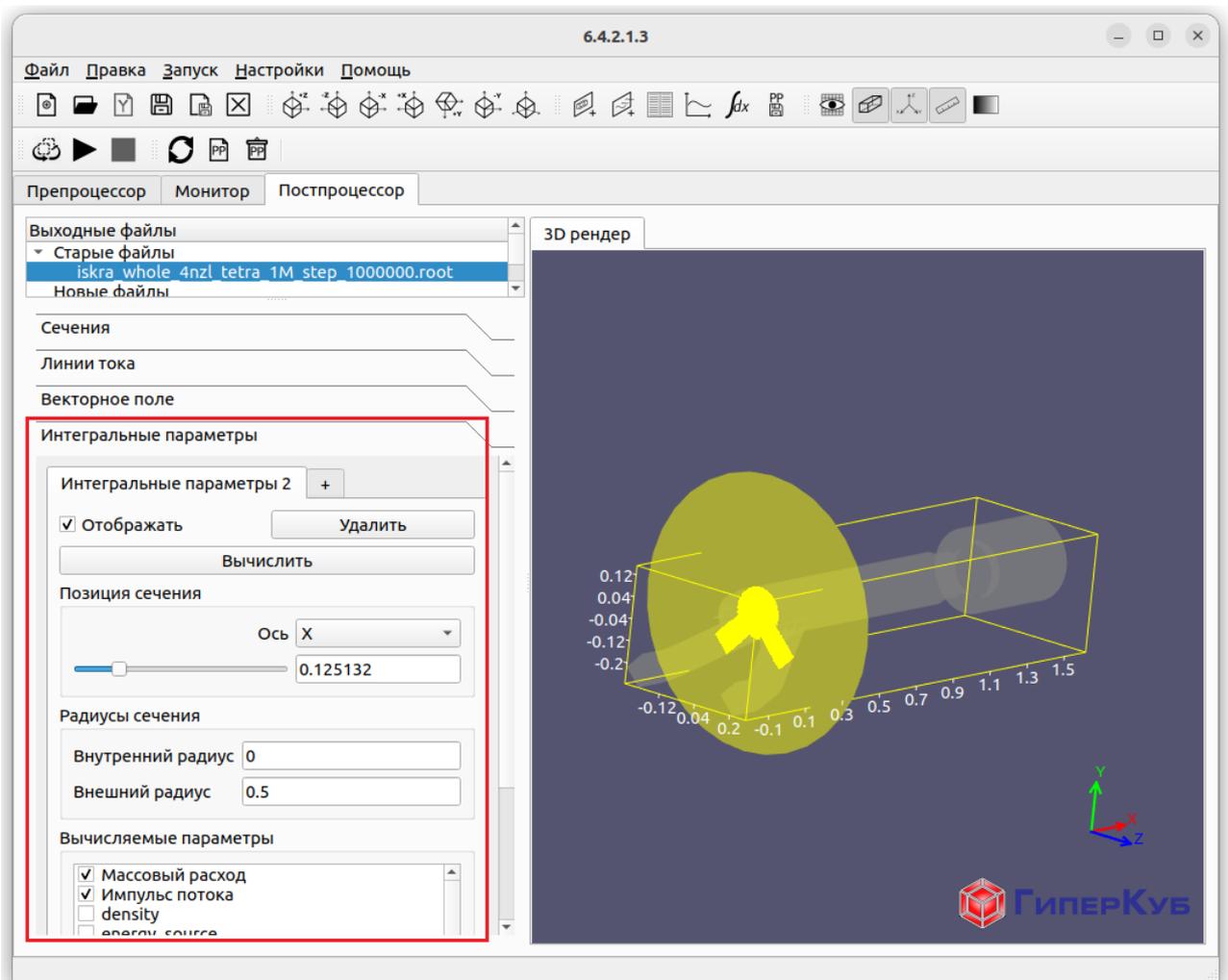


Рисунок 3.154 – Процедура настройки визуализации интегральных параметров

Область настройки визуализации интегральных параметров показана ярко-желтым цветом в окне 3D рендера (рис. 3.154, 3.155). На рис. 3.156 в окне 3D рендера приведена процедура задания внутреннего радиуса сечения расчетной области.

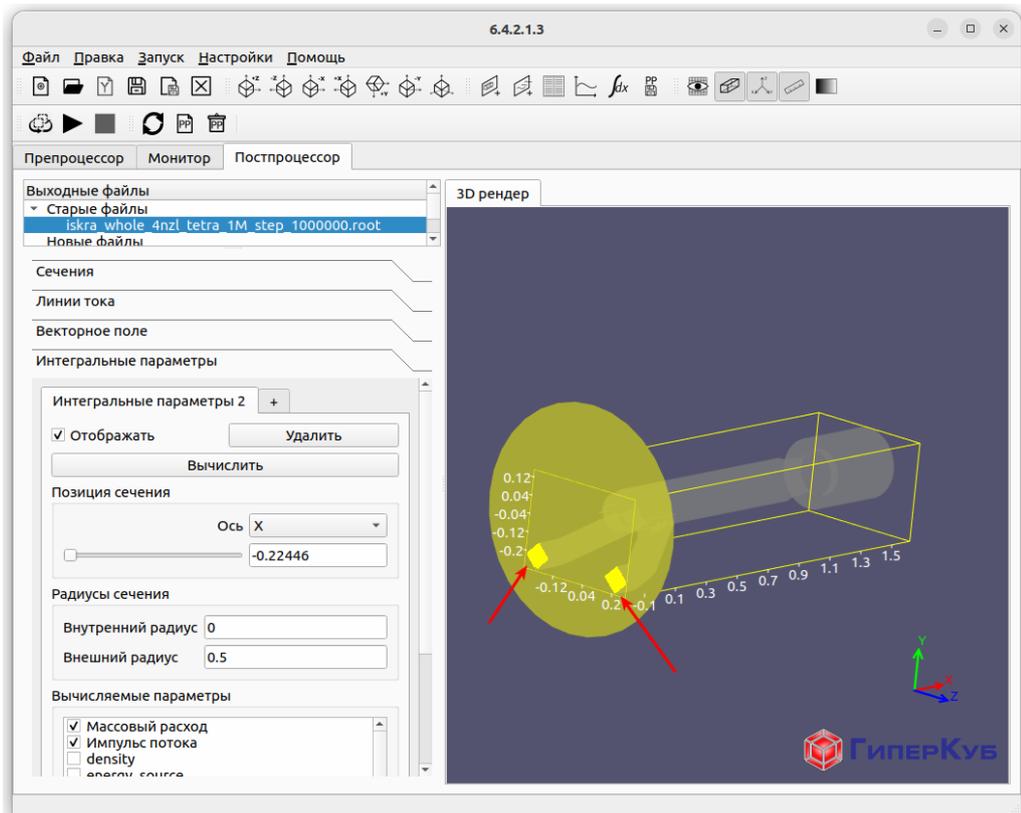


Рисунок 3.155 – Процедура настройки визуализации интегральных параметров

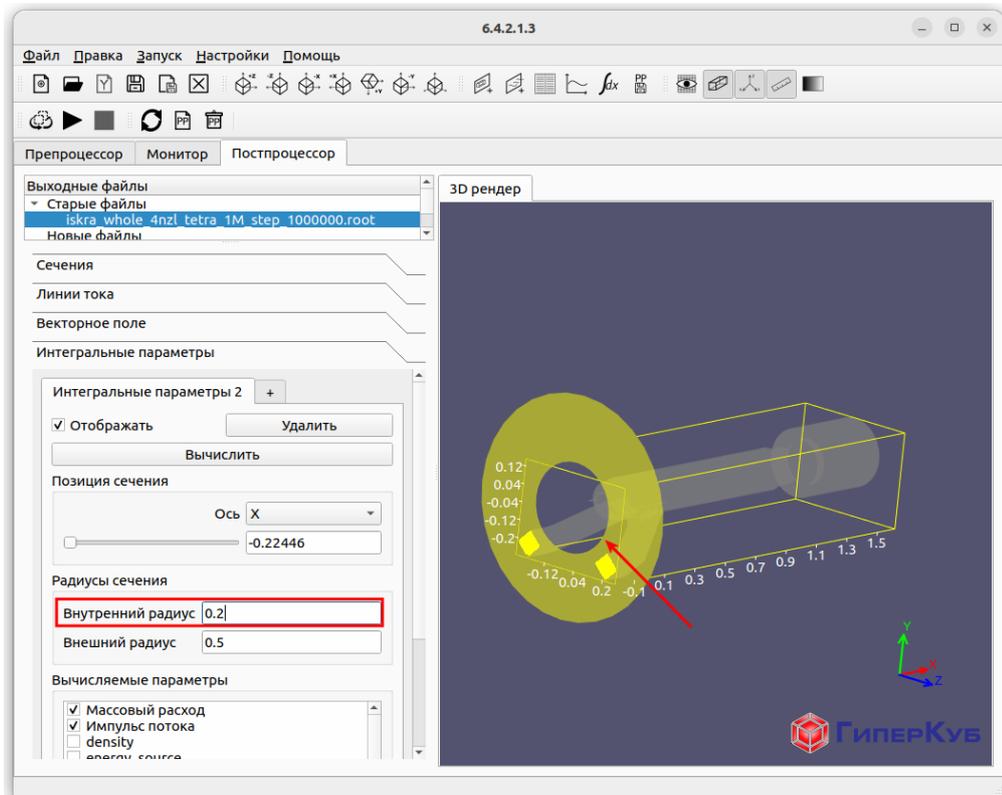


Рисунок 3.156 – Процедура настройки визуализации интегральных параметров

Если часть сечения лежит за пределами расчетной области при нажатии на кнопку «Вычислить» выводится окно с предупреждением (рис. 3.157).

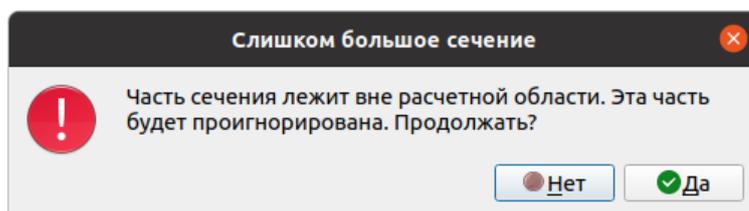


Рисунок 3.157 – Окно с предупреждением

Далее на вкладке «Интегральные параметры» формируется таблица интегральных параметров (рис. 3.158, 3.159).

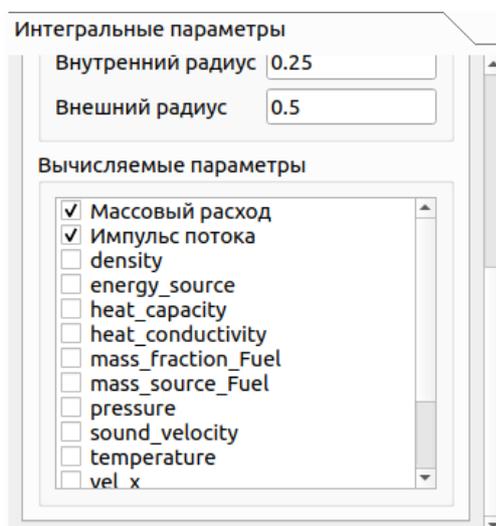


Рисунок 3.158 – Вычисляемые (расчетные) параметры

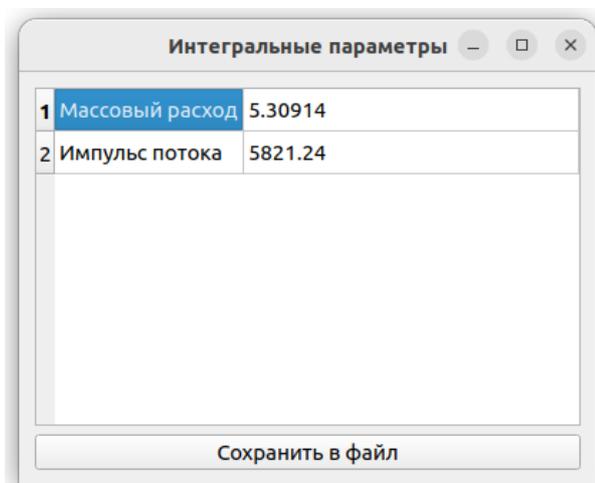


Рисунок 3.159 – Таблица интегральных параметров

При нажатии на кнопку «Сохранить в файл» откроется файловый проводник, где необходимо сохранить файл в формате .csv (рис. 3.160).

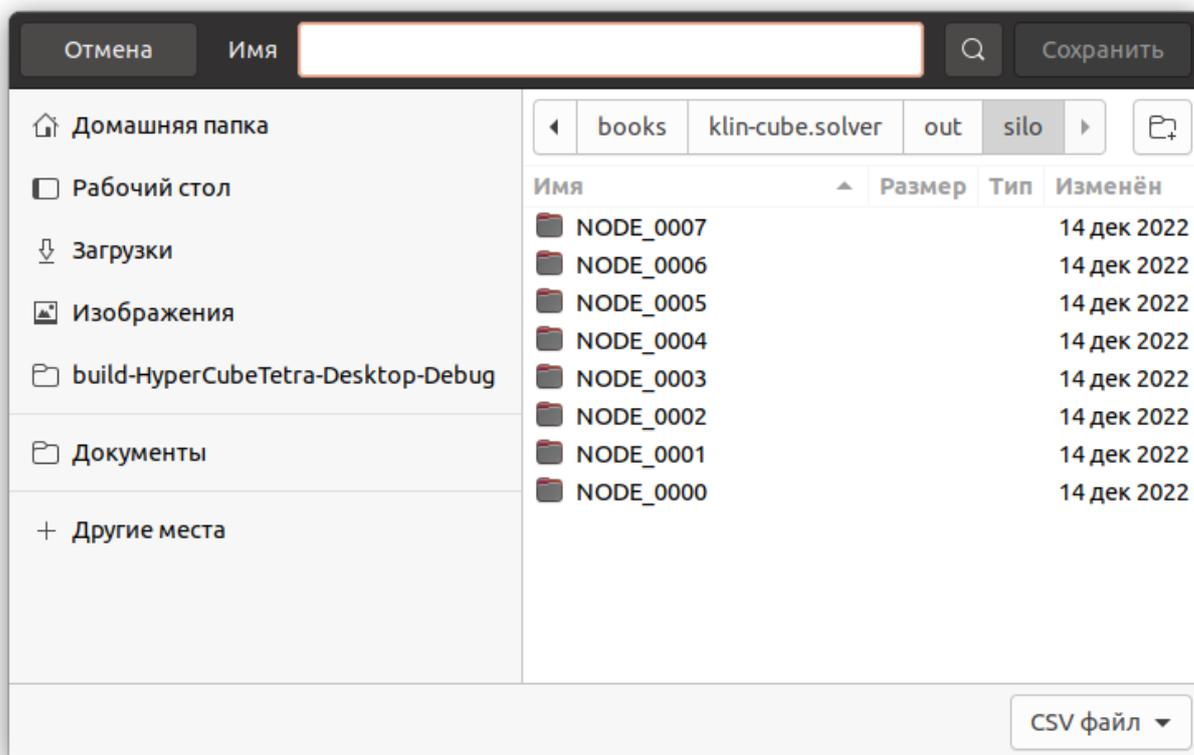


Рисунок 3.160 –Файловый проводник с каталогом для сохранения интегральных параметров

Кнопка «Показать значения» отображает таблицу значений полей и координаты. Координаты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  можно задать самостоятельно, для этого необходимо в соответствующих полях ввести их значения и нажать кнопку «Установить координаты», после чего в окне 3D рендера появится маркер в виде черного крестика, отображающий введенные значения (рис. 3.161).

Для сохранения таблицы значений нажмите на кнопку «Сохранить как» и выберите путь и название файла в файловом проводнике.

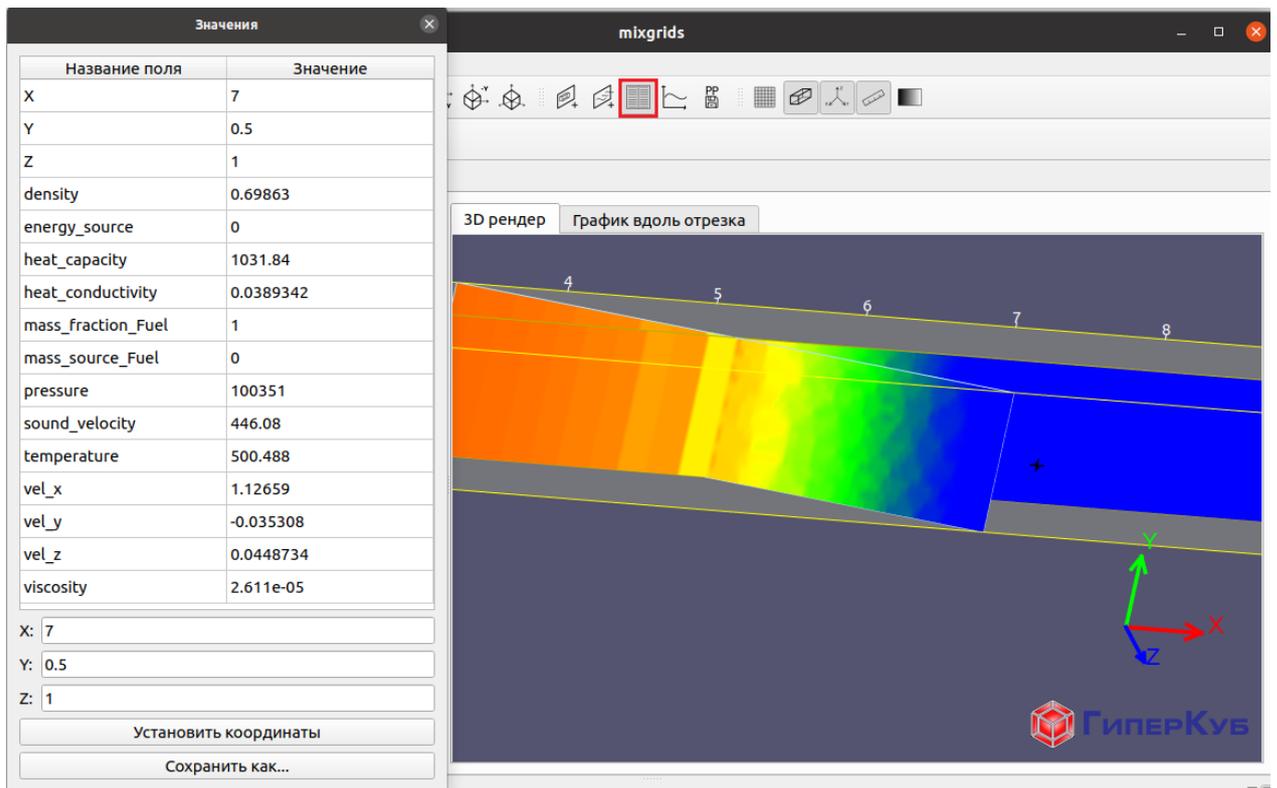


Рисунок 3.161 – Отображение маркера

### 3.3.3.6 Построение графика вдоль отрезка

Кнопка «График вдоль отрезка» становится активной, если загружен выходной файл. Для задания координат первой точки, необходимо нажать на кнопку «График вдоль отрезка», затем, в открывшемся окне ввести координаты точки вручную и нажать кнопку «Установить значения», или нажать кнопку «Задать с помощью курсора» и в окне 3D рендера нажать на сечение. Аналогично для второй точки. В результате, в окне в соответствующих полях появятся значения координат, а выбранные точки и получившаяся прямая будут отображены в окне 3D рендера (рис. 3.162).

Далее следует задать необходимое количество точек в специальном поле и нажать кнопку «Нарисовать» (рис. 3.162). После чего появится вкладка «График вдоль отрезка», на которой в центральной ее части отобразится график, а справа легенда к графику (рис. 3.163).

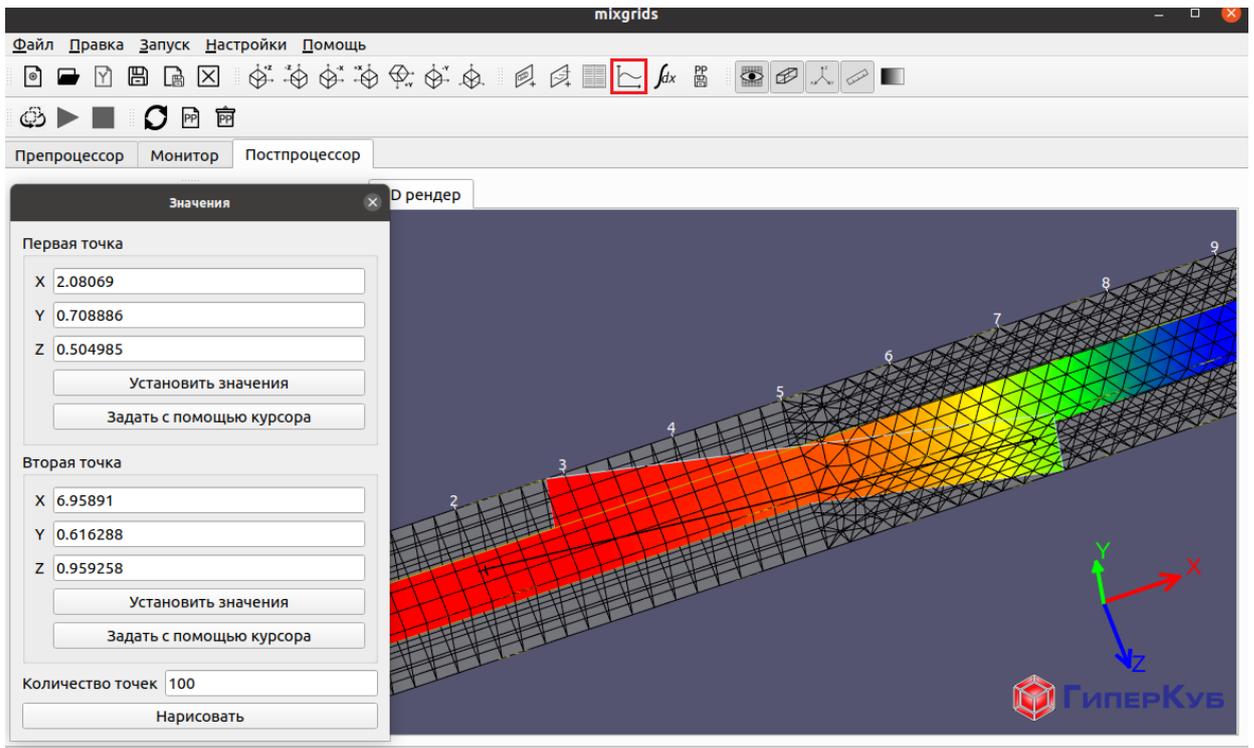


Рисунок 3.162 – Задание координат для построения графика

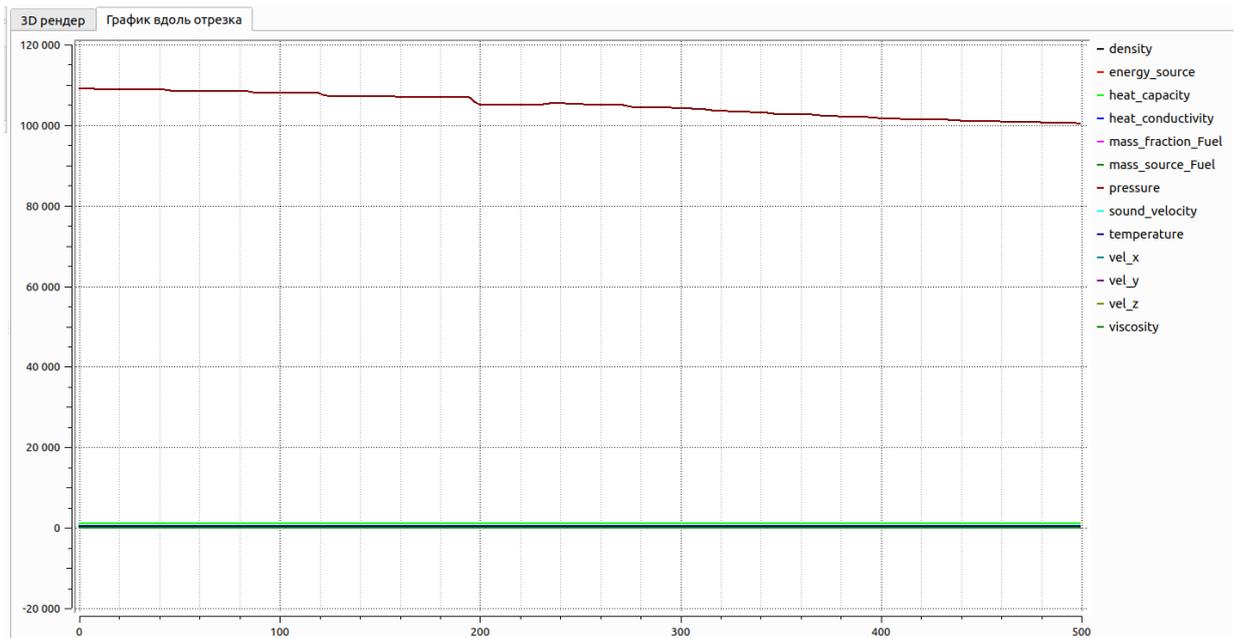


Рисунок 3.163 – Вкладка «График вдоль отрезка»

Для вызова контекстного меню процедуры отключения отображения конкретного графика подведите курсор к полю с графиком и нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.164).

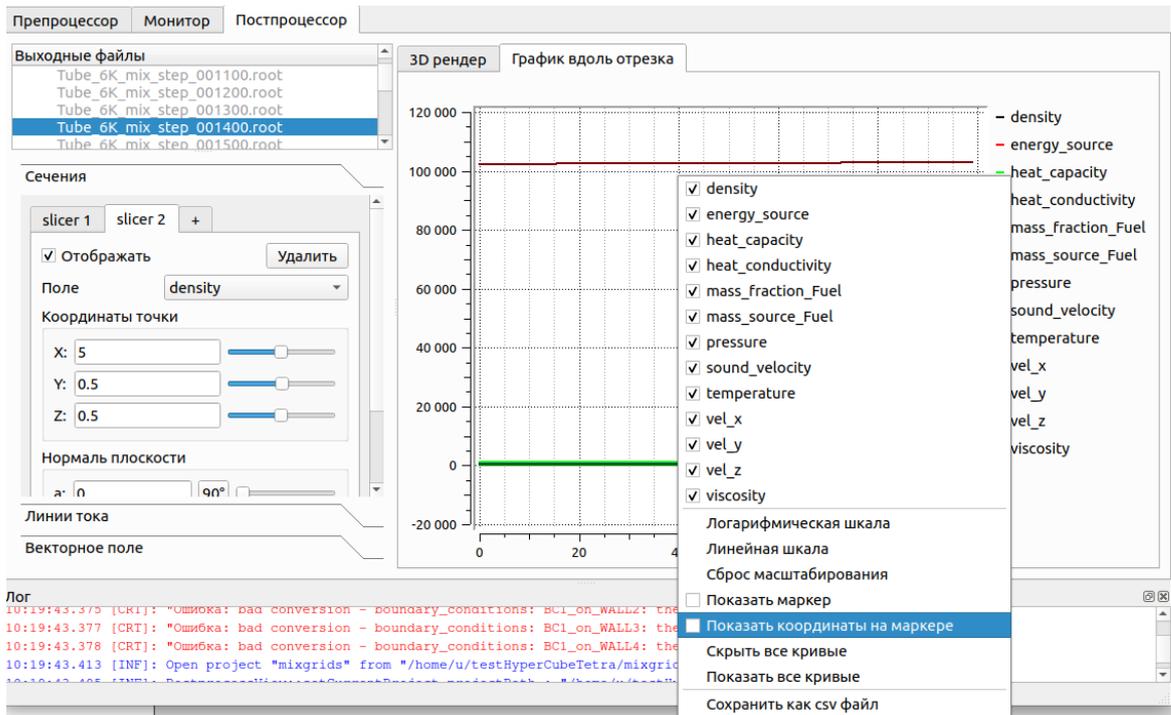


Рисунок 3.164 – Процедура отключения отображения графиков

Для просмотра результатов расчета с использованием логарифмической шкалы нажмите на кнопку «Логарифмическая шкала». После этого отображение графика во вкладке «График вдоль отрезка» обновится. Для вызова контекстного меню отключения графиков нажмите на правую кнопку мыши (рис. 3.165).

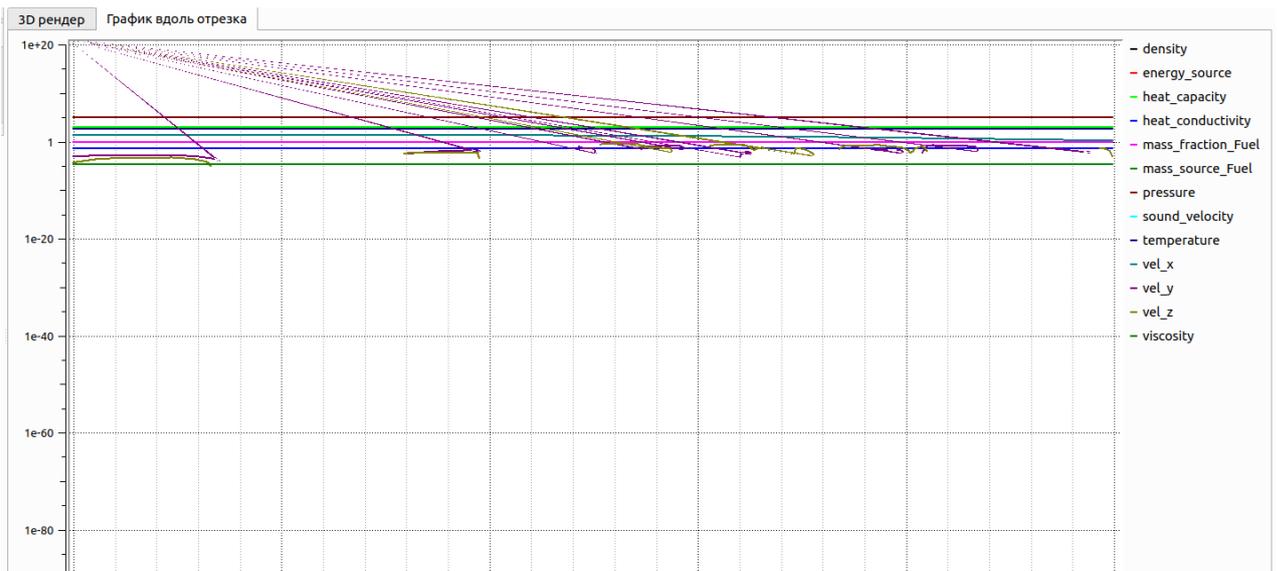


Рисунок 3.165 – Пример отображения логарифмической шкалы

Для масштабирования графика нажмите и удерживайте кнопку «Shift» и одновременно крутите колесико мыши, приближая или удаляя график (рис. 3.166, 3.167).

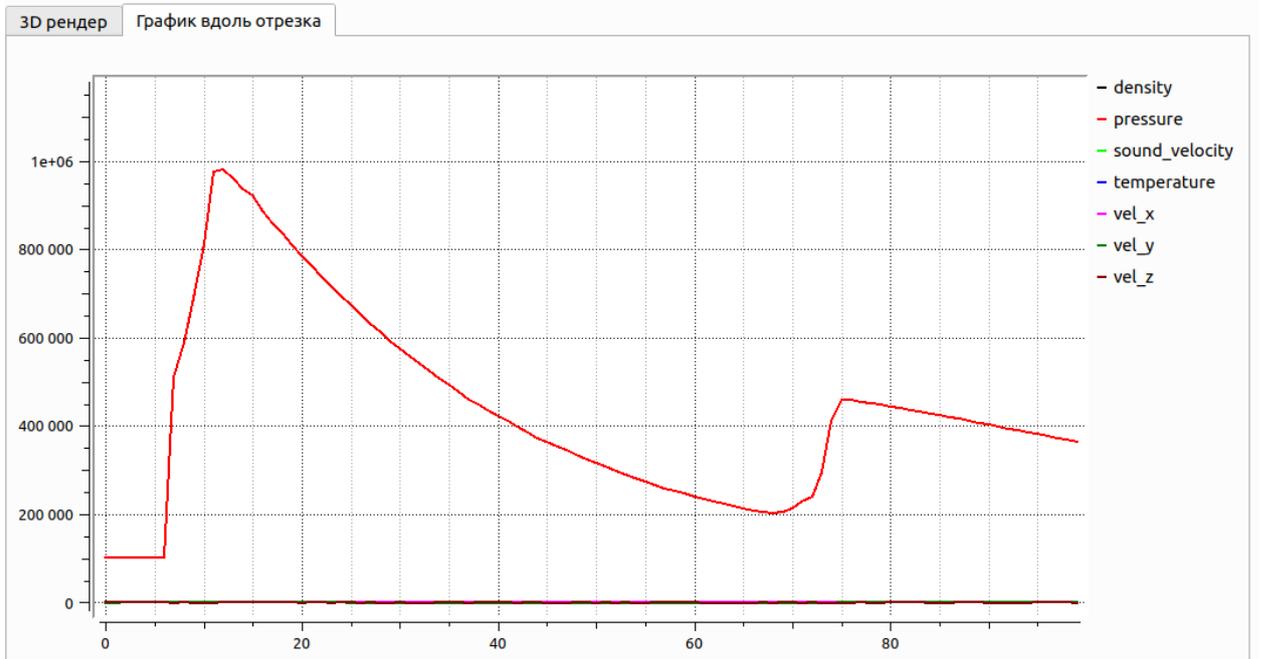


Рисунок 3.166 – Процедура масштабирования графиков

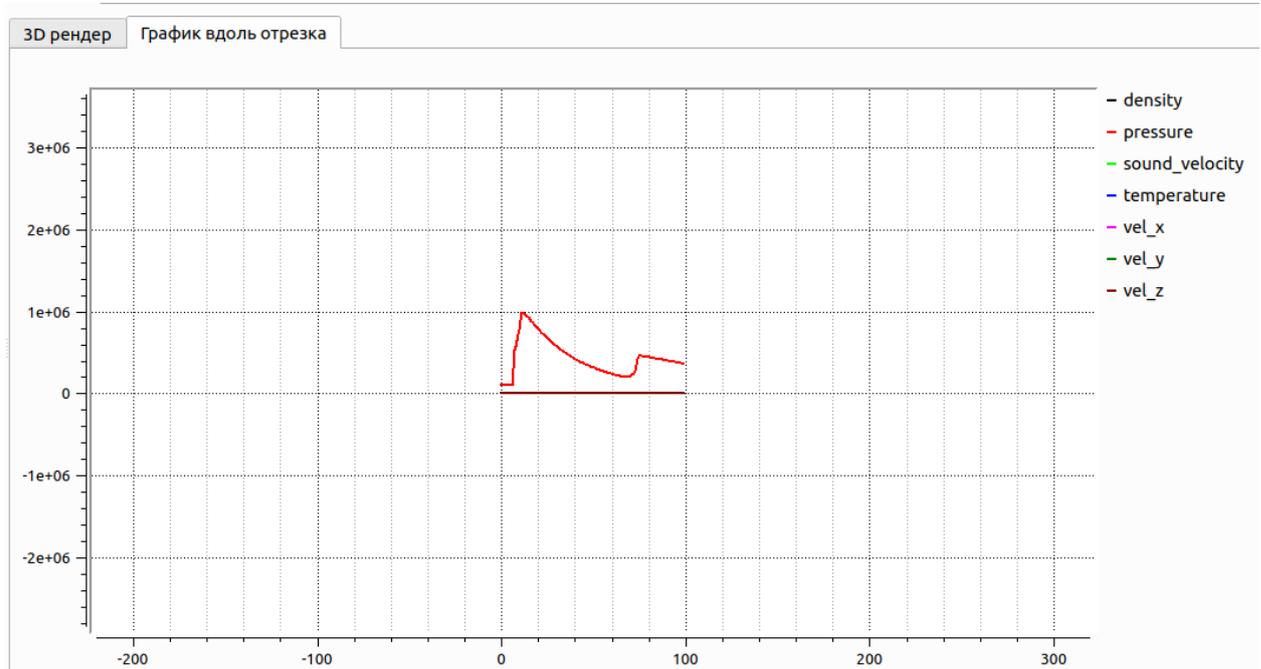


Рисунок 3.167 – Процедура масштабирования графиков

Для возвращения графика в первоначальное положение выберите функцию «Сброс масштабирования» в контекстном меню (рис. 3.168).

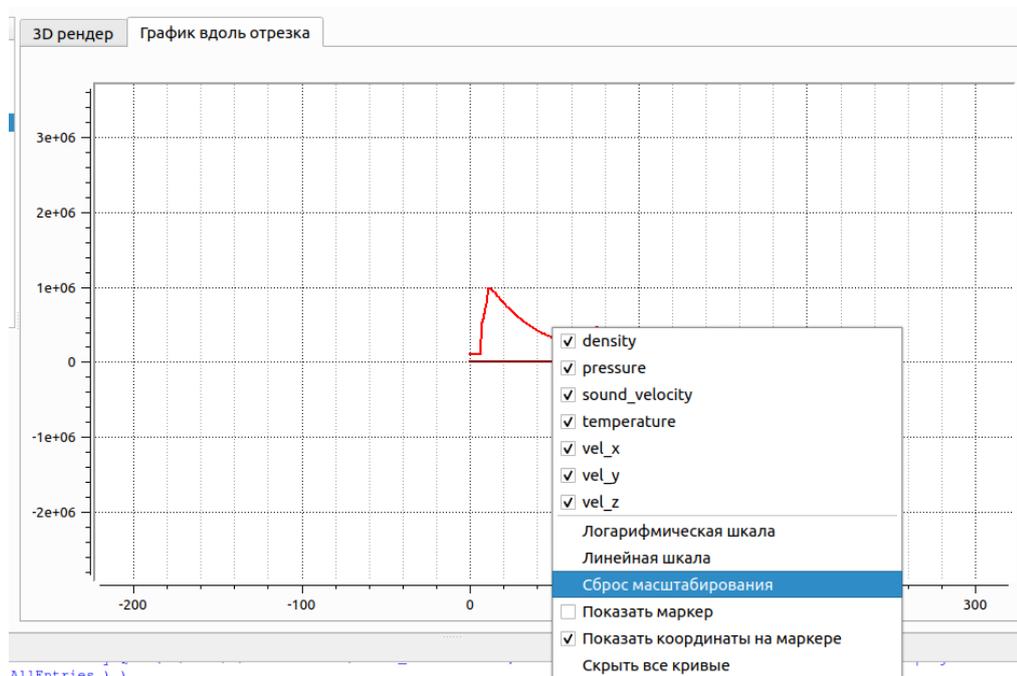


Рисунок 3.168 – Процедура сброса масштабирования в постпроцессоре

Для перемещения графика нажмите и удерживайте левую кнопку мыши на поле с графиком и двигайте курсор по направлениям координатных осей (рис. 3.169, 3.170).

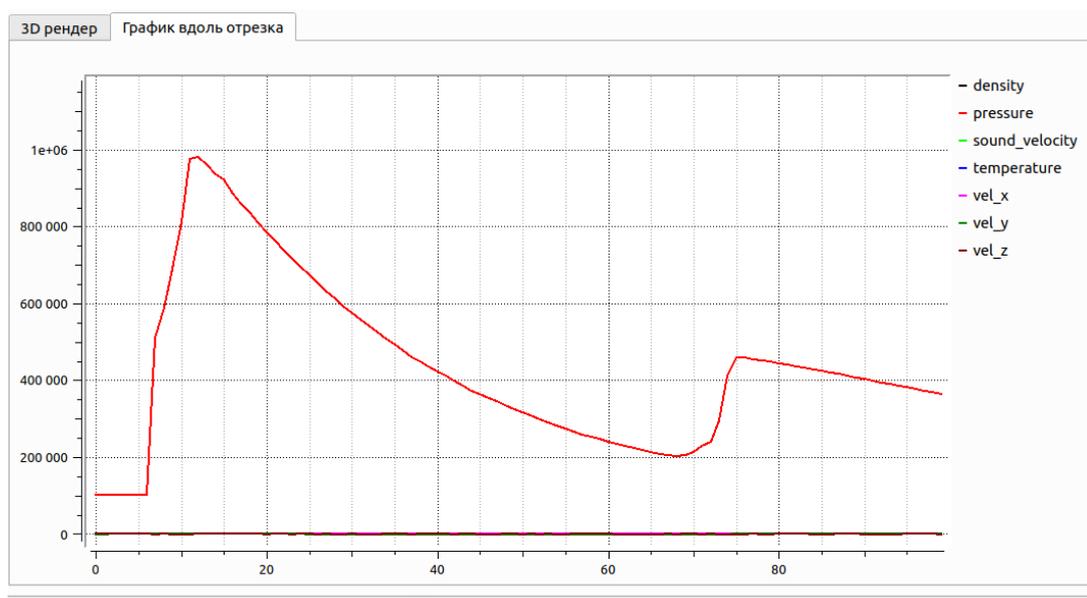


Рисунок 3.169 – Процедура перемещения графика в окне постпроцессора

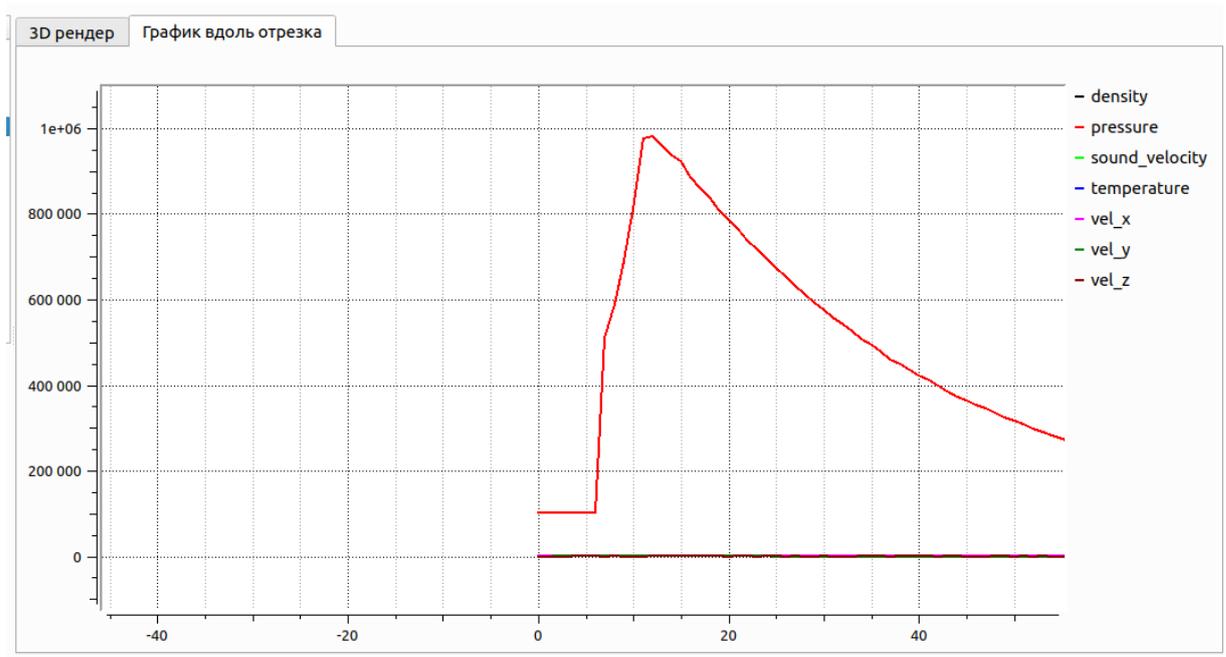


Рисунок 3.170 – Процедура перемещения графика в окне постпроцессора

Если на графике используется маркер, то перемещение графика невозможно. Для передвижения графика необходимо деактивировать флаг «Показать маркер» в контекстном меню (рис. 3.171).

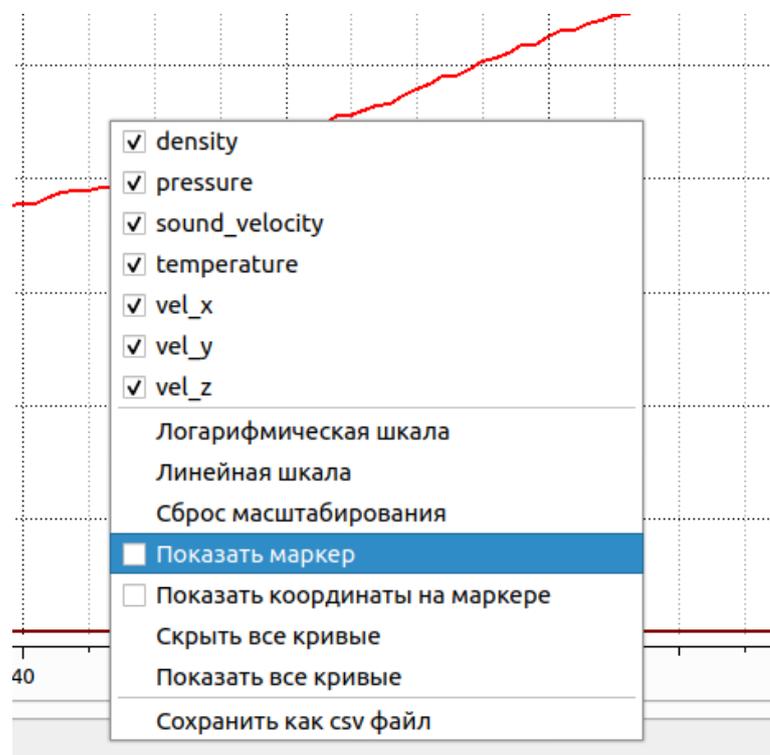


Рисунок 3.171 – Скрыть маркер

При активации флага «Показать маркер» (рис. 3.172) в контекстном меню на графике вдоль отрезка появится маркер координат кривых (рис. 3.173).

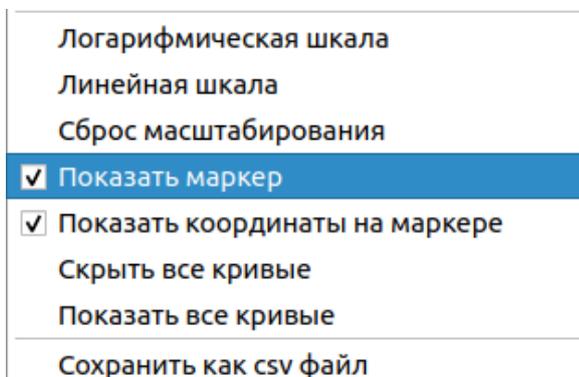


Рисунок 3.172 – Визуализация процедуры «Показать маркер»

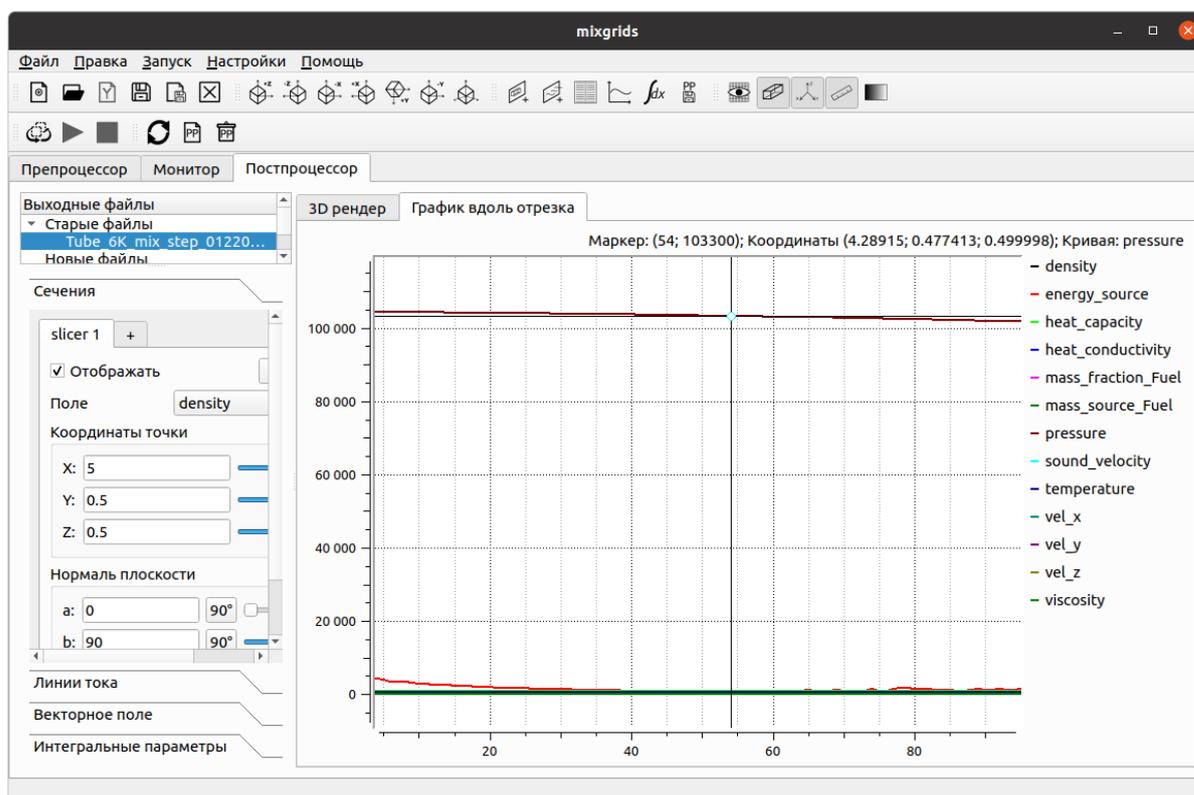


Рисунок 3.173 – Визуализация маркера кривых

При активации флага «Показать координаты на маркере» (рис. 3.174) в контекстном меню на графике около маркера появятся текущие координаты кривых (рис. 3.175).

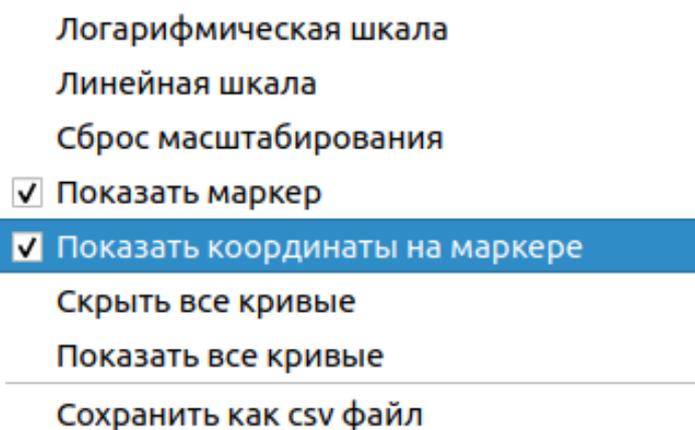


Рисунок 3.174 – Вызов процедуры «Показать координаты на маркере»

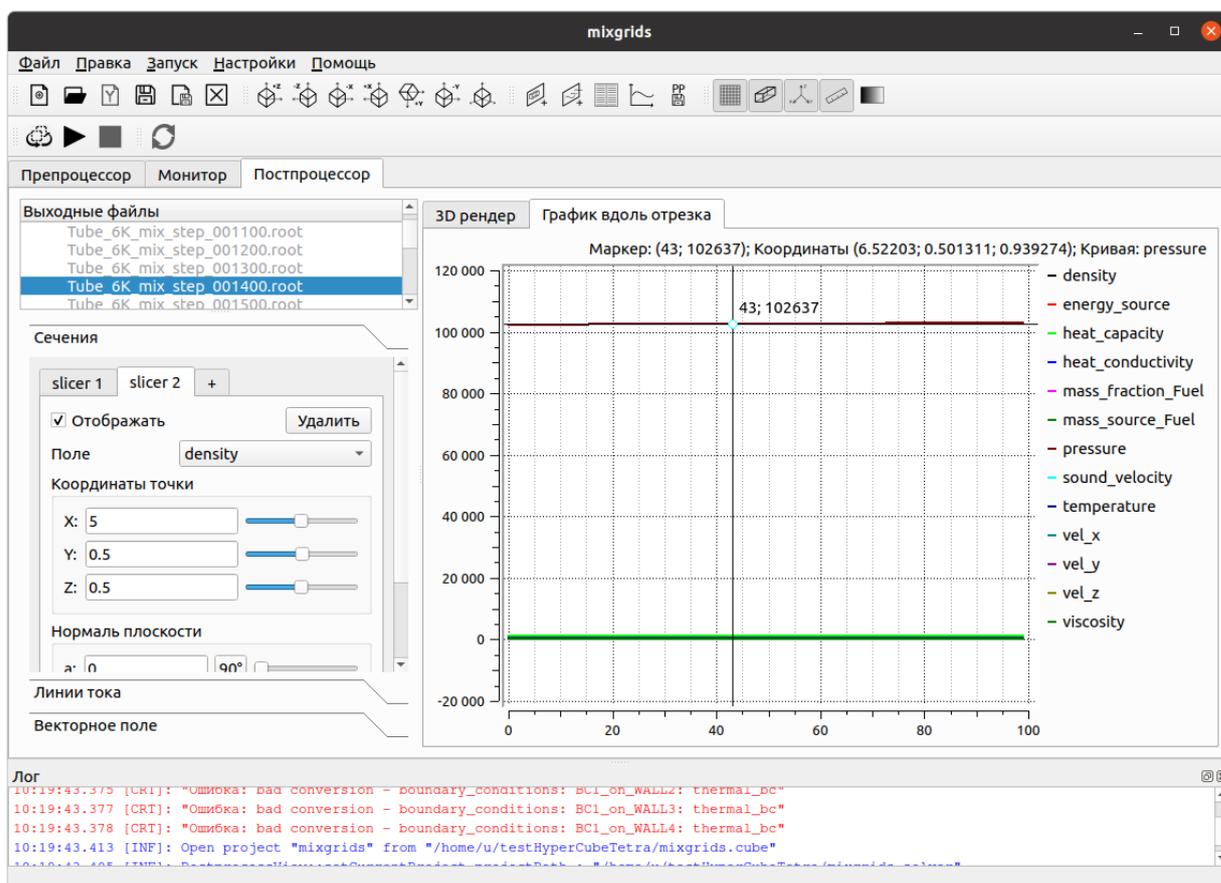


Рисунок 3.175 – Визуализация координат на маркере кривых

Для отображения реальных координат необходимо вызвать контекстное меню и активировать флаг «Показать маркер». В результате в поле с графиками появится маркер, а в верхней части вкладки вместе с именем кривой координаты (рис. 3.176).

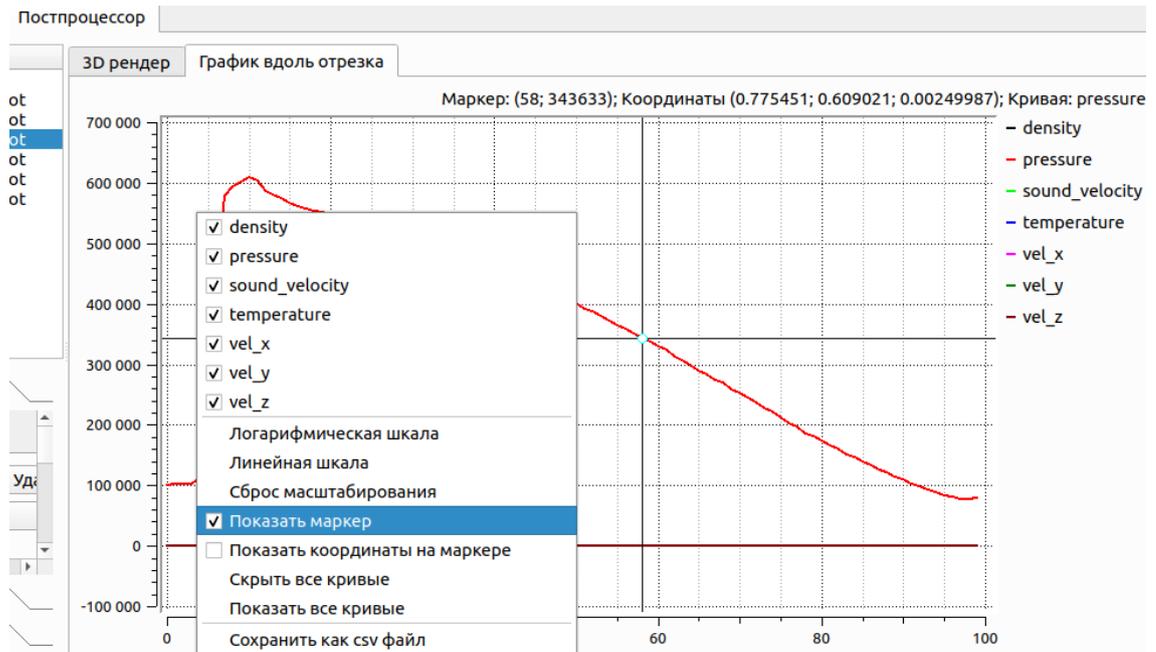


Рисунок 3.176 – Отображение координат на графике

График вдоль отрезка строится по координатам двух задаваемых оператором точек. Для построения графика вдоль отрезка используются точки, соответствующие точкам модели, отображенной в окне 3D рендера.

При переключении между активными выходными файлами в окне «Выходные файлы» во вкладке «График вдоль отрезка» происходит автоматическая перезагрузка соответствующих графиков (рис. 3.177 - 3.180).

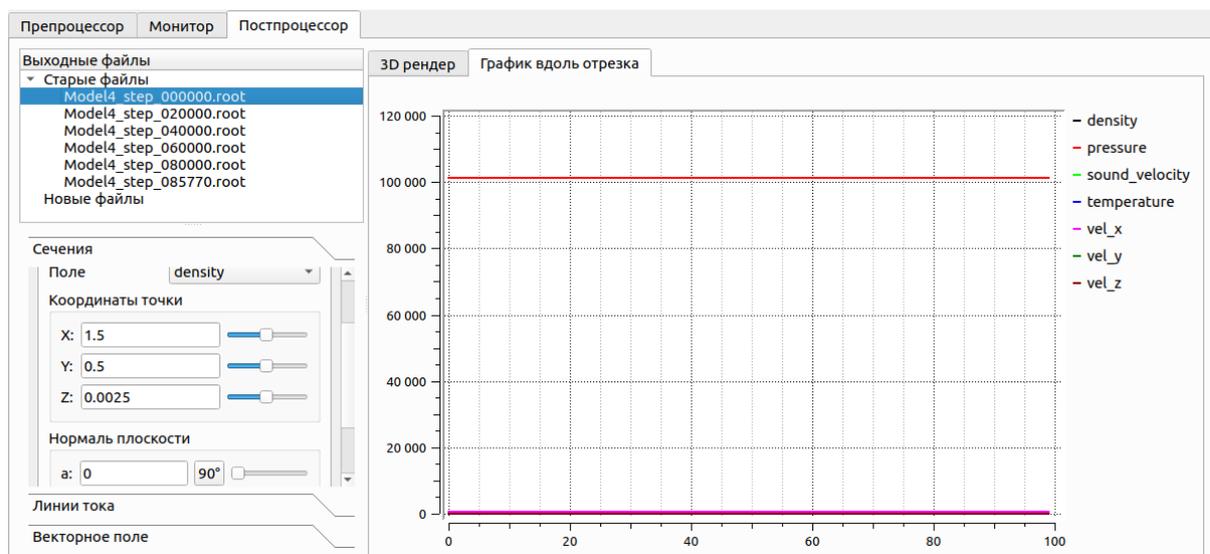


Рисунок 3.177 – Отображение графика вдоль отрезка для тестовой задачи «Model4\_step\_000000.root»

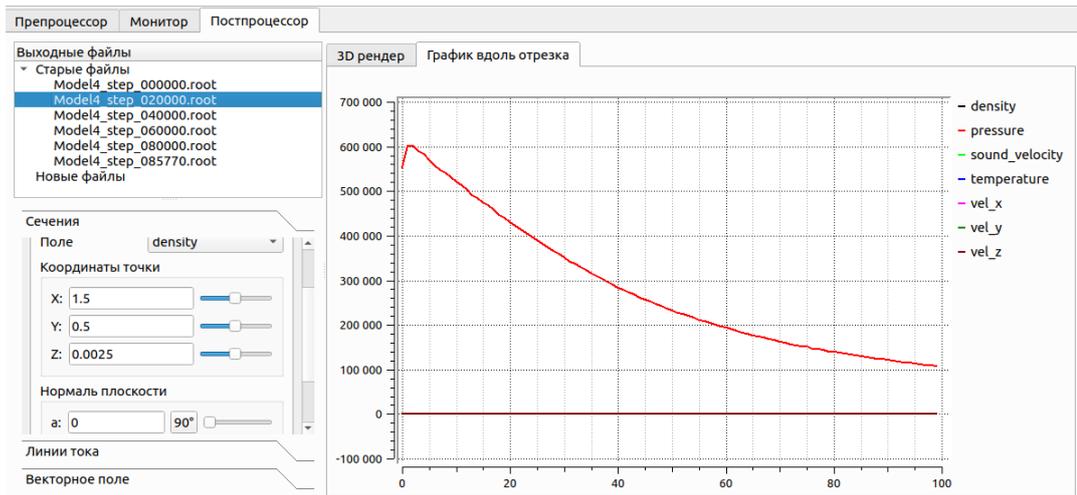


Рисунок 3.178 – Отображение графика вдоль отрезка для тестовой задачи «Model4\_step\_020000.root»

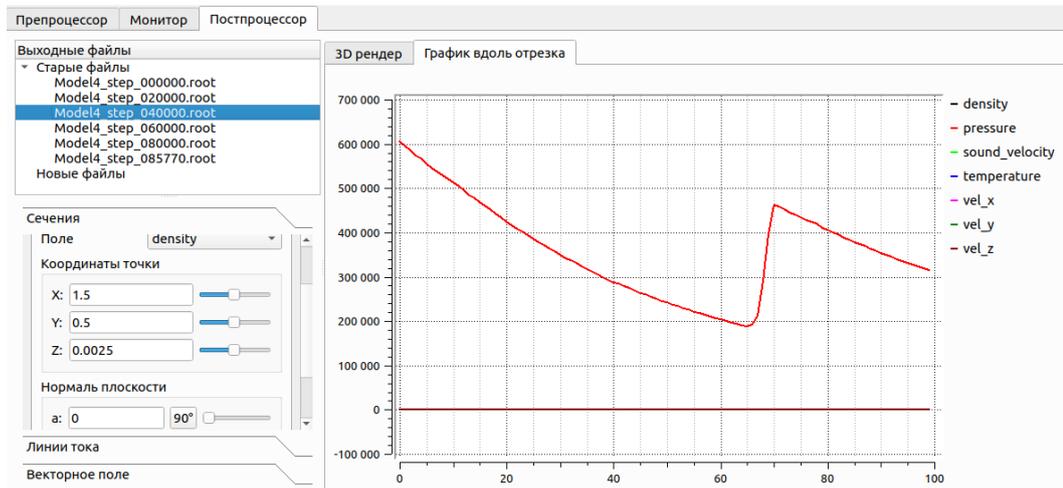


Рисунок 3.179 – Отображение графика вдоль отрезка для тестовой задачи «Model4\_step\_040000.root»

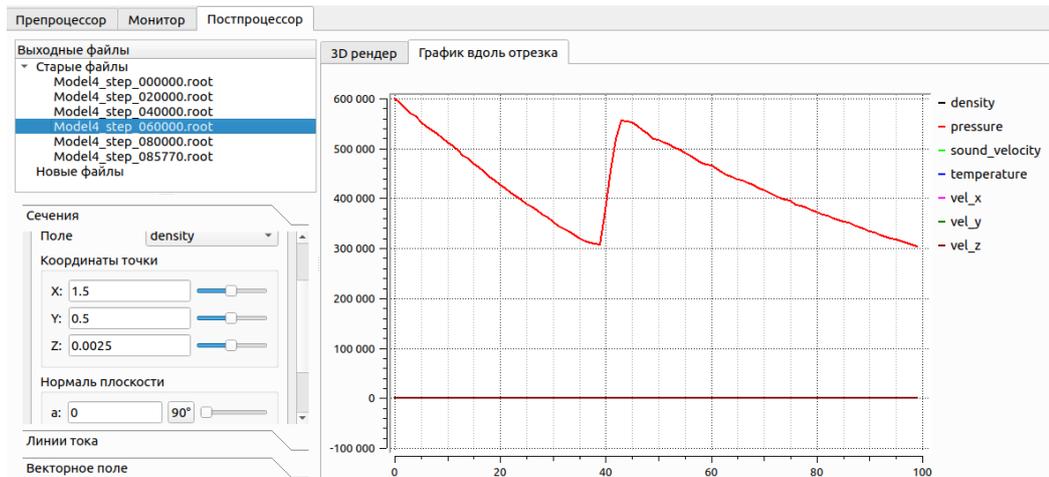


Рисунок 3.180 – Отображение графика вдоль отрезка для тестовой задачи «Model4\_step\_060000.root»

При нажатии на кнопку «Скрыть все кривые» (рис. 3.181) в контекстном меню на графике вдоль отрезка отключится отображение всех кривых (рис. 3.182). Соответственно, для отображения всех кривых, нажмите на кнопку «Показать все кривые» (рис. 3.181).

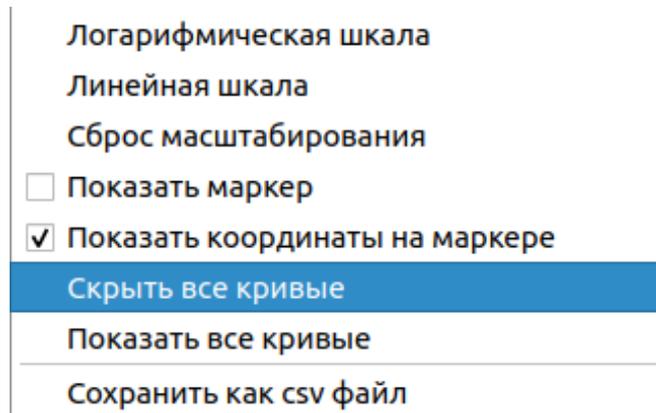


Рисунок 3.181 – Кнопка «Скрыть все кривые»

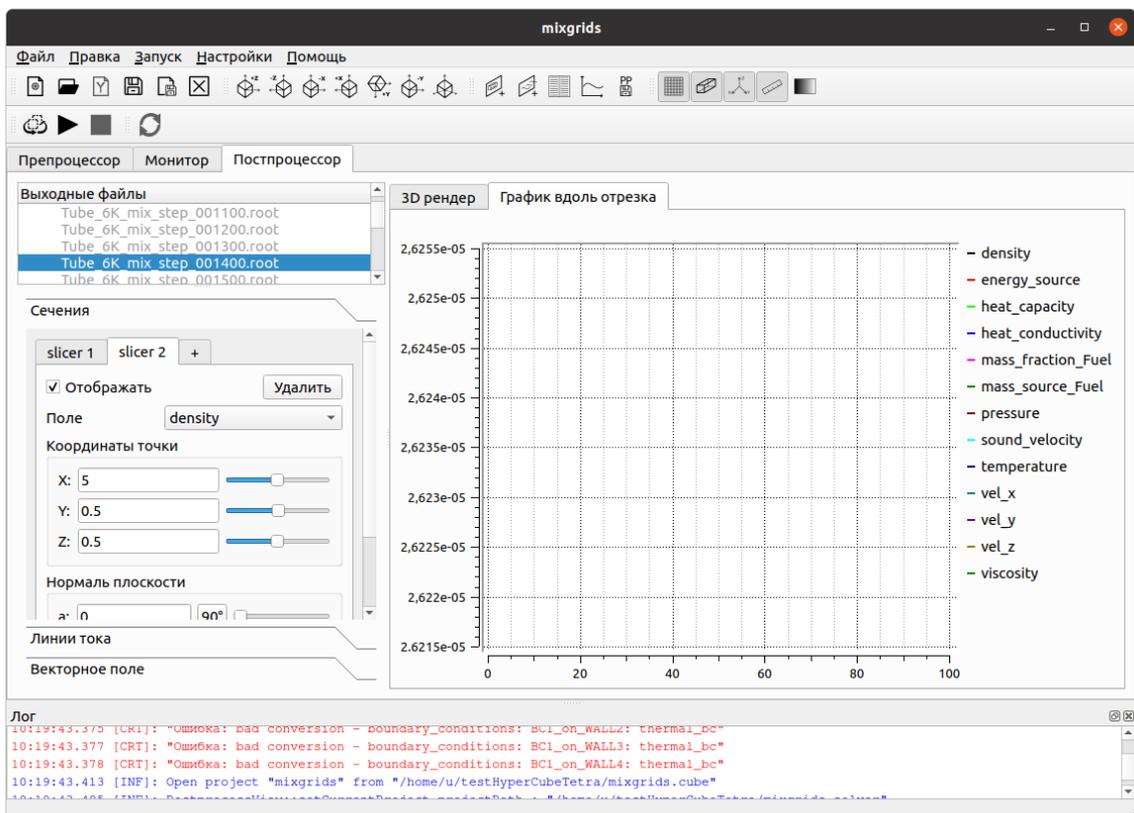


Рисунок 3.182 – Визуализация графика вдоль отрезка со скрытыми кривыми

При нажатии на кнопку «Сохранить как csv файл» (рис. 3.183) в контекстном меню, откроется файловый проводник, где необходимо выбрать путь и название файла (рис. 3.184).

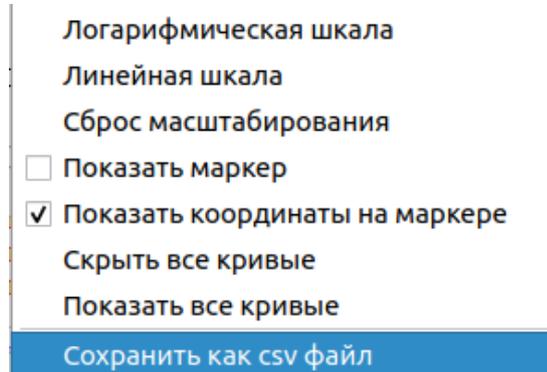


Рисунок 3.183 – Кнопка «Сохранить как csv файл»

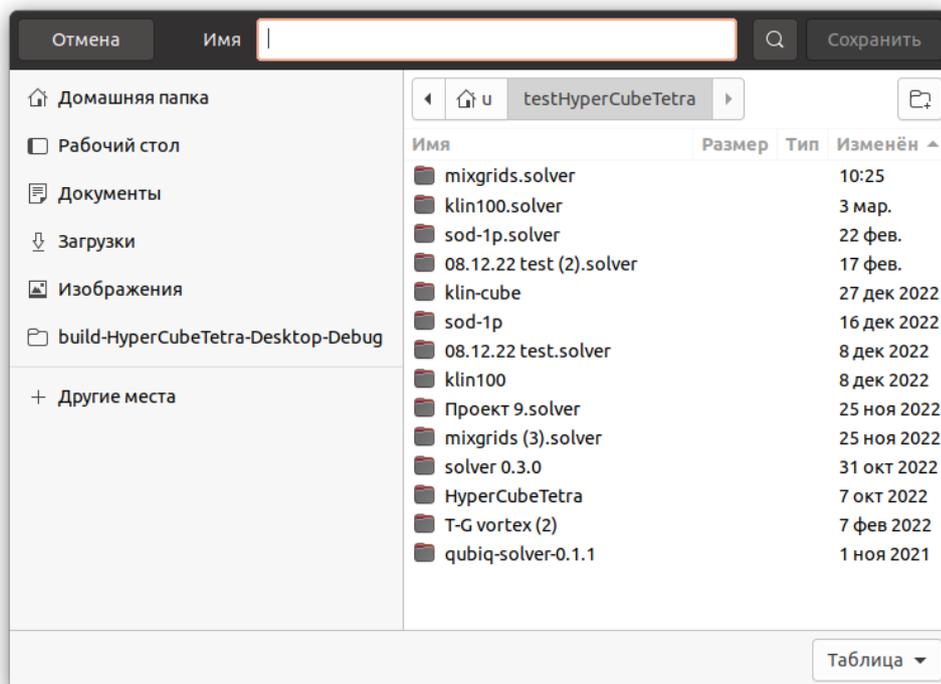


Рисунок 3.184 – Файловый проводник с каталогом для сохранения CSV файла

### 3.3.3.7 Сохранение текущих настроек постпроцессора

Для сохранения текущих настроек постпроцессора нажмите на кнопку «Сохранить постпроцессор» (рис. 3.185).

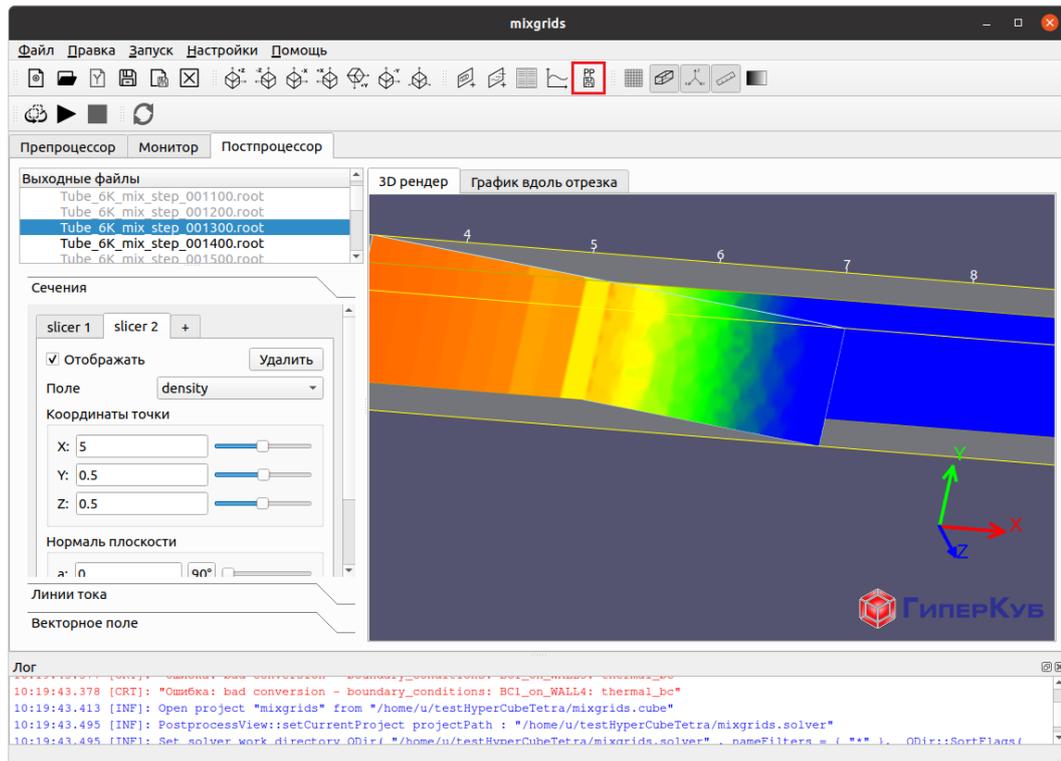


Рисунок 3.185 – Процедура сохранения настроек постпроцессора

## 4. СООБЩЕНИЯ ОПЕРАТОРУ

Раздел содержит сообщения, выдаваемые операторе при совершении им определенных действий.

### 4.1. Сообщение при создании проекта

```
Лог
10:14:54.872 [INF]: Program start
10:14:57.077 [INF]: Found application configuration path "/home/u/.config/HyperCubeTetra"
```

Рисунок 4.1 – Сообщения при создании проекта

### 4.2. Сообщение при открытии существующего проекта

```
Лог
10:20:48.515 [INF]: Open project "sod-1" from "/home/u/Рабочий стол/sod-1.cube"
10:20:48.688 [INF]: PostprocessView:setCurrentProject projectPath : "/home/u/Рабочий стол/sod-1.solver"
10:20:48.688 [INF]: Set solver work directory QDir( "/home/u/Рабочий стол/sod-1.solver", nameFilters = ( "*" ), QDir::SortFlags( Name | IgnoreCase ), QDir::Filters( Dirs|Files|Drives|AllEntries ) )
10:20:48.688 [INF]: Set solver output directory QDir( "/home/u/Рабочий стол/sod-1.solver/run/out/silo", nameFilters = ( "*" ), QDir::SortFlags( Name | IgnoreCase ), QDir::Filters( Dirs|Files|Drives|AllEntries ) )
```

Рисунок 4.2 – Сообщение при открытии существующего проекта

### 4.3. Сообщения при закрытии проекта

Сообщения при закрытии проекта с внесенными изменениями (рис. 4.3, 4.4).

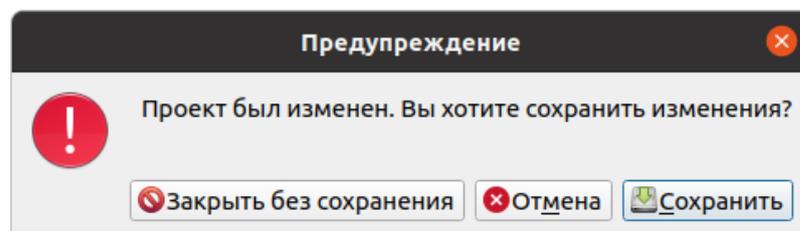


Рисунок 4.3 – Сообщение при закрытии измененного проекта

```

Лог
10:25:50.082 [INF]: Project was translated into: "/tmp/HyperCubeTetra-RxWtqa/sod-1"
10:25:50.085 [INF]: Project saved to: "/tmp/HyperCubeTetra-RxWtqa"

```

Рисунок 4.4 – Сообщение при закрытии измененного проекта

#### 4.4. Сообщения при сохранении проекта

Сообщение при успешном сохранении проекта (рис. 4.5).

```

Лог
10:28:42.120 [INF]: Project was translated into: "/tmp/HyperCubeTetra-mnHAzz/Проект 4"
10:28:42.146 [INF]: Project saved to: "/tmp/HyperCubeTetra-mnHAzz"

```

Рисунок 4.5 – Сообщение при сохранении проекта

Сообщение при наличии ошибки в сохраняемом проекте (рис. 4.6).

```

Лог
10:27:35.080 [CRT]: Edit mass fractons in "Блок 0"
10:27:35.081 [CRT]: "Ошибка сохранения проекта"

```

Рисунок 4.6 – Ошибка при сохранении проекта

#### 4.5. Сообщения при открытии YAML-файлов

При открытом YAML-файле, после нажатии на кнопку «Открыть YAML файл» появляется следующее сообщение (рис. 4.7).

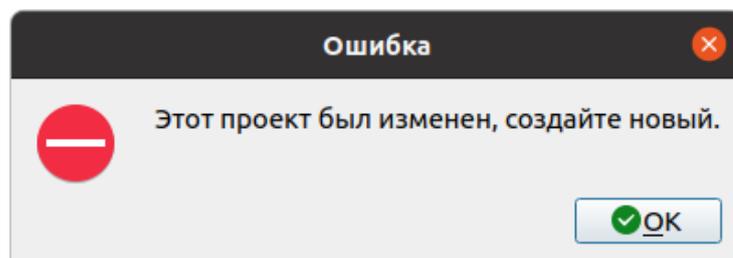


Рисунок 4.7 – Предупреждение при открытом YAML-файле

После нажатия на кнопку «Открыть YAML файл» появляется окно с предупреждением (рис. 4.8).

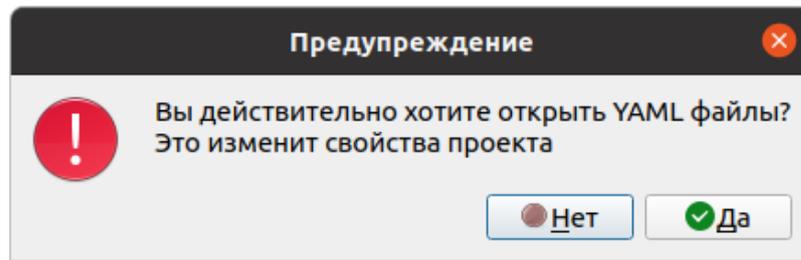


Рисунок 4.8 – Предупреждение об открытии YAML-файла

Следующее окно предупреждения появляется после нажатия на дубликат компонента (рис. 4.9).

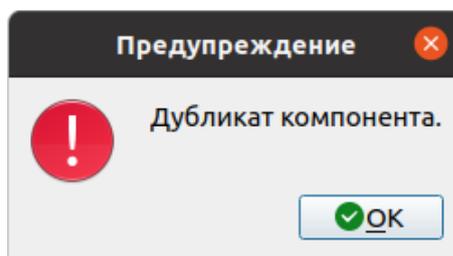


Рисунок 4.9 – Предупреждение о дубликате компонента

При попытке загрузить YAML-файл, который содержит ошибки в синтаксисе, появляются следующие окна с сообщениями (рис. 4.10, 4.11).

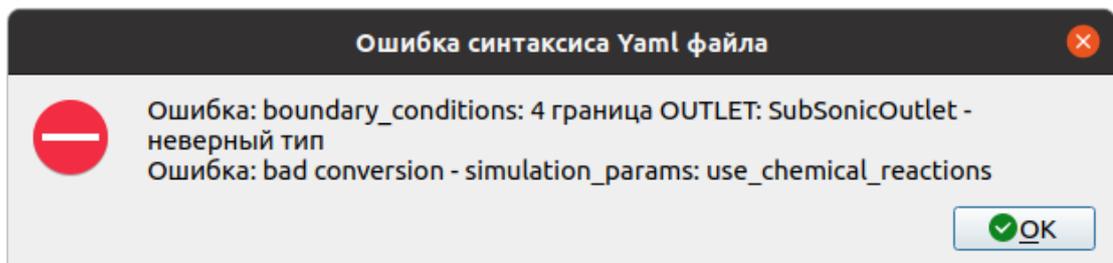


Рисунок 4.10 – Ошибка синтаксиса YAML-файла

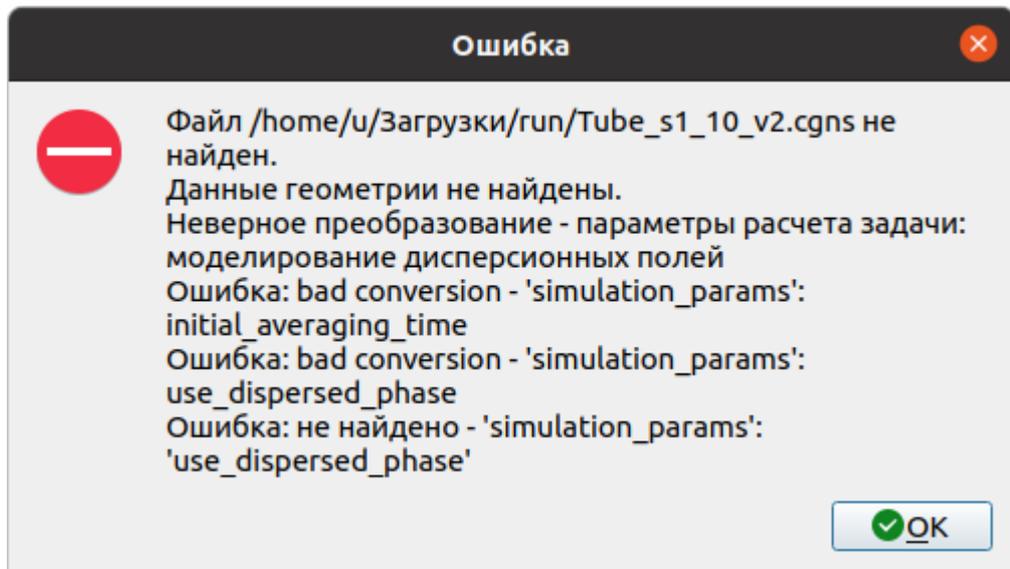


Рисунок 4.11 – Ошибка синтаксиса YAML-файла

#### 4.6. Сообщения при работе с расчетной сеткой

При добавлении новой расчетной сетки в проект, где уже присутствует другая сетка появляется следующее окно с сообщением (рис. 4.12).

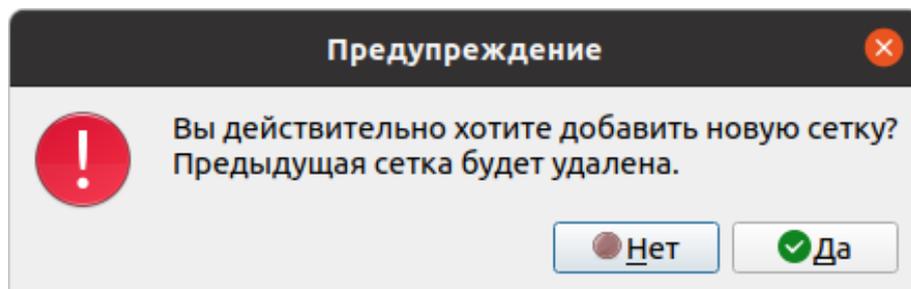


Рисунок 4.12 – Сообщение при добавлении расчетной сетки

При наличии в YAML-файле ошибок, возникает следующее сообщение (рис. 4.13).

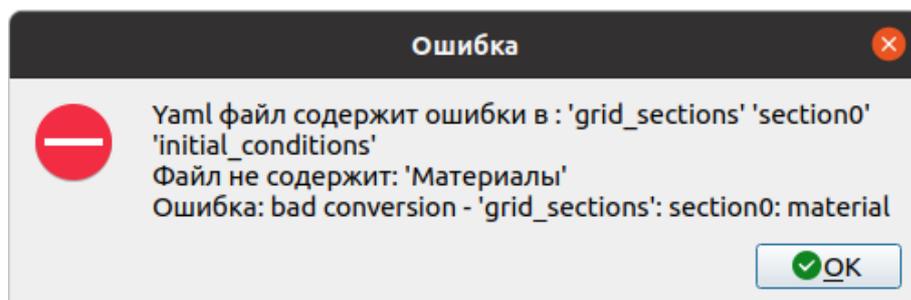


Рисунок 4.13 – Сообщение при наличии в YAML-файле ошибок

При нажатии на кнопку «Удалить сетку» возникает следующее сообщение (рис. 4.14).

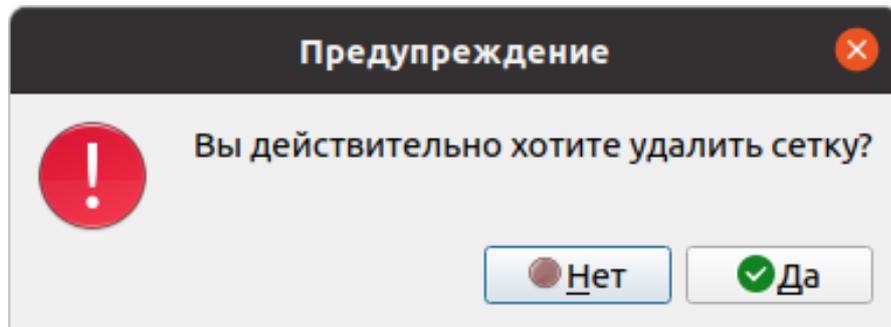


Рисунок 4.14 – Сообщение при удалении расчетной сетки

#### 4.7. Сообщения при работе с компонентами

При вводе недопустимых символов во время переименования компонента, возникает следующее сообщение об ошибке (рис. 4.15).

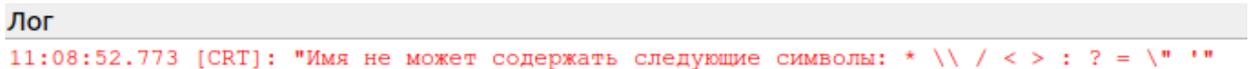


Рисунок 4.15 – Сообщение о недопустимом имени компонента

При удалении компонента появится следующее окно с предупреждением (рис. 4.16).

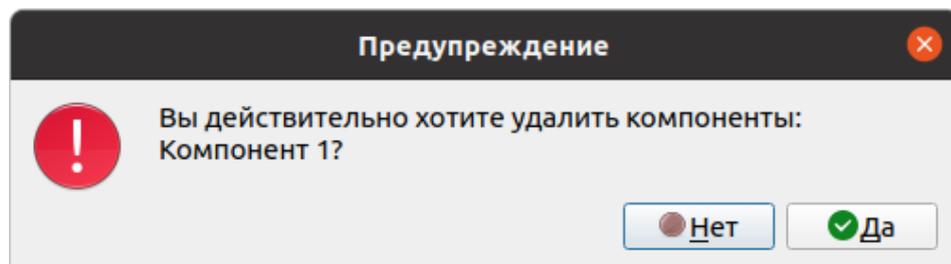


Рисунок 4.16 – Предупреждение об удалении компонента

В таблице «Массовые доли» сумма значений обязательно должна равняться единице, иначе появляется следующее предупреждение (рис. 4.17).

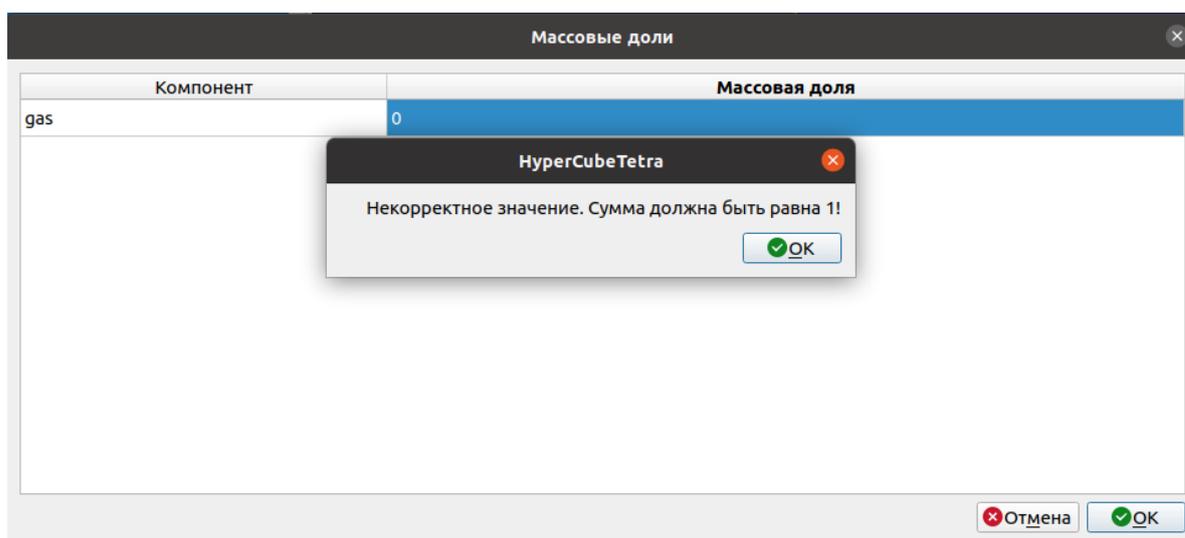


Рисунок 4.17 – Предупреждение в таблице «Массовые доли»

#### 4.8. Сообщения при работе с материалами

При попытке создания материала с именем уже существующего материала, появится следующее сообщение (рис. 4.18).

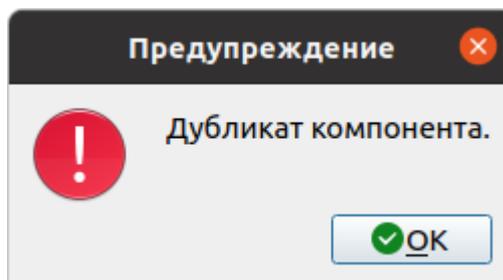


Рисунок 4.18 – Предупреждение о создании дубликата компонента

При удалении материала появляется следующее сообщение (рис. 4.19).

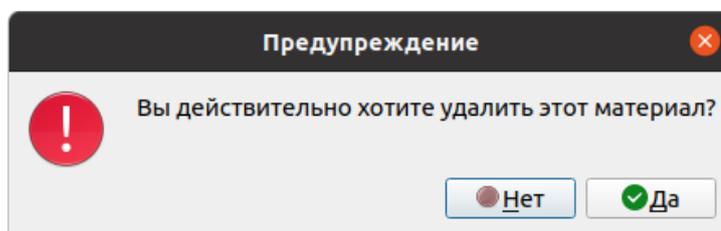


Рисунок 4.19 – Сообщение при удалении материала

В секции «Твердые материалы» может быть только один активный компонент. Если попытаться сделать все компоненты активными, появится соответствующее сообщение (рис. 4.20).

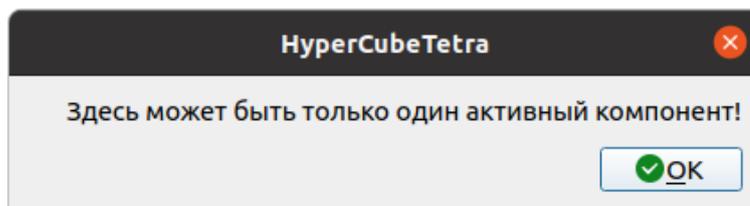


Рисунок 4.20 – Сообщение об активации нескольких компонент

#### 4.9. Сообщения при работе с граничными условиями

При нажатии на контекстное меню «Показать информацию о сетке» появится окно с информацией о сетке (рис. 4.21).

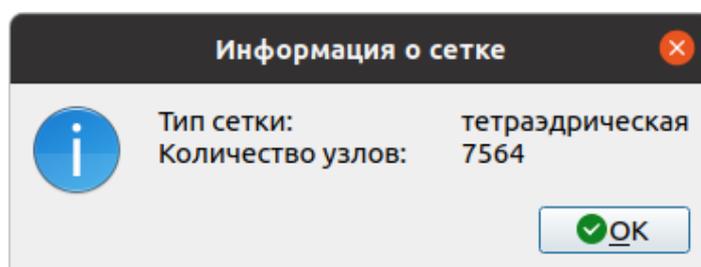


Рисунок 4.21 – Сообщение с информацией о сетке

#### 4.10. Сообщения при работе с дисперсной фазой

Ошибка парсинга при открытии YAML-файла в дисперсной фазе (рис. 4.22).

14:05:49.896 [CRT]: "Ошибка: bad conversion - model-s-19m-cold-run.yaml не был загружен"

Рисунок 4.22 – Ошибка парсинга YAML-файла

Если начальная температура капель выше температуры кипения, в логе проекта возникает сообщение (рис. 4.23).

Ошибка: yaml err: error at line 19, column 5: bad conversion at:yaml  
"Начальная температура частиц не может превышать температуру кипения!"

Рисунок 4.23 – Сообщение о недопустимом значении начальной температуры капель

При вводе недопустимых символов во время переименования, возникает следующее окно с ошибкой (рис. 4.24).

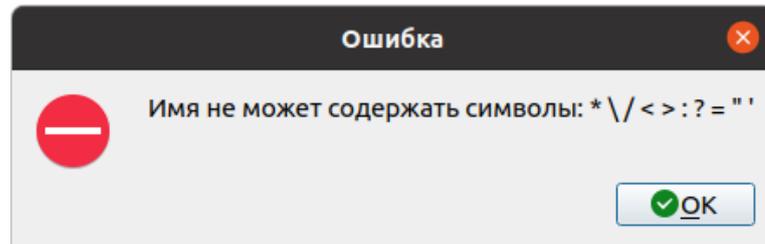


Рисунок 4.24 – Ошибка при использовании недопустимых символов

При попытке удалить компонент, появляется следующее предупреждение (рис. 4.25).

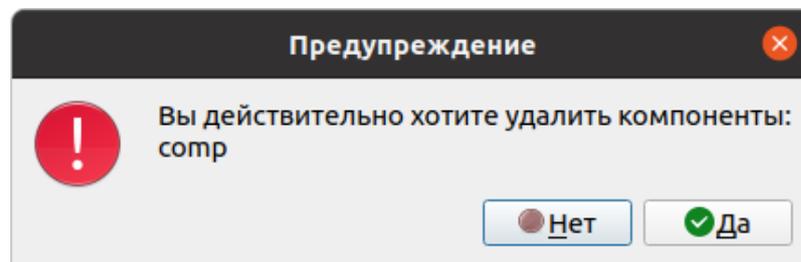


Рисунок 4.25 – Предупреждение о удалении компонента

#### 4.11. Сообщения при работе с разделами сетки

При задании числовых значений массовых долей, в сумме не дающих 1, появляется следующее предупреждение (рис. 4.26).

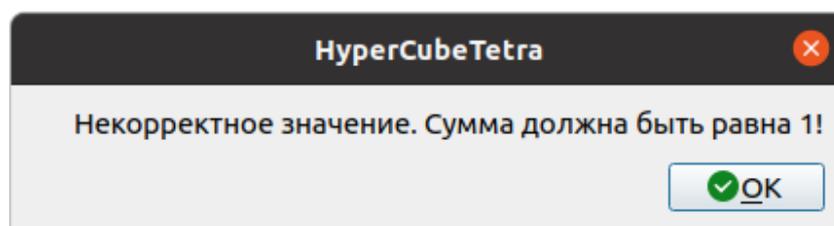


Рисунок 4.26 – Сообщение при неверном задании значения массовых долей

При задании незаполненных строк с значениями массовых долей, появляется следующее сообщение об ошибке (рис. 4.27).

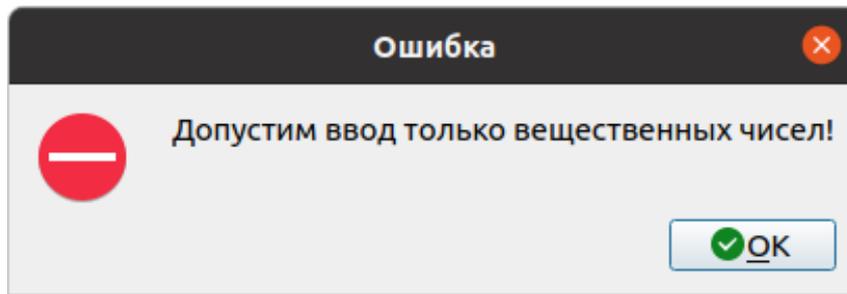


Рисунок 4.27 – Сообщение при задании незаполненных строк с значениями массовых долей

#### 4.12. Сообщения при работе с регионами

При задании числовых значений массовых долей, в сумме не дающих 1, появляется следующее предупреждение (рис. 4.28).

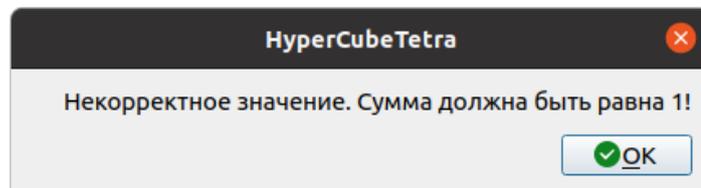


Рисунок 4.28 – Предупреждение о некорректном значении суммы массовых долей

При задании незаполненных строк с значениями массовых долей, появляется следующая ошибка (рис. 4.29).

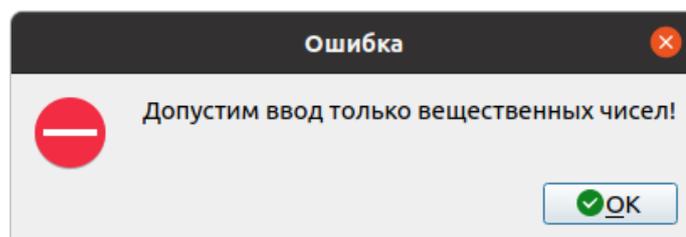


Рисунок 4.29 – Сообщение при задании незаполненных строк с значениями массовых долей

Если выбрана незаполненная строка и нажата кнопка «ОК» появляется следующее сообщение (рис. 4.30).

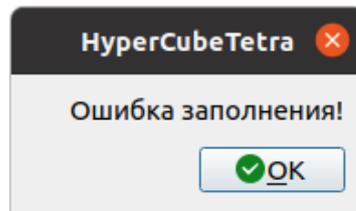


Рисунок 4.30 – Сообщение об ошибке заполнения

### 4.13. Сообщения при трансляции проекта

При успешной трансляции проекта появляется следующие сообщения (рис. 4.31, 4.32).

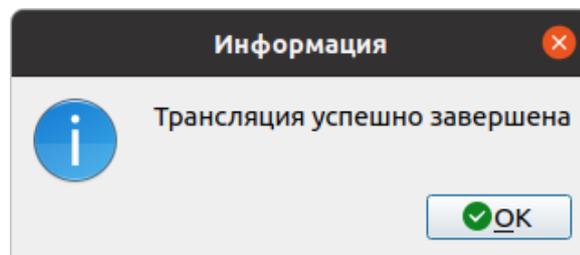


Рисунок 4.31 – Сообщение при успешной трансляции проекта

```
11:17:22.129 [INF]: Project was translated into: "/home/u/Рабочий стол/sod-1.solver"
11:17:23.295 [INF]: PostprocessView::setCurrentProject projectPath : "/home/u/Рабочий стол/sod-1.solver"
```

Рисунок 4.32 – Сообщение при успешной трансляции проекта

В случае ошибки трансляции проекта появится следующее сообщение (рис. 4.33).

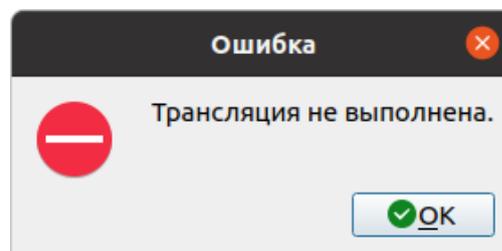


Рисунок 4.33 – Сообщение о невыполнении трансляции проекта

### 4.14. Сообщения при работе с настройками

При возникновении неисправностей с бинарным файлом возникает ошибка «Файл решателя не найден» (рис. 4.34).

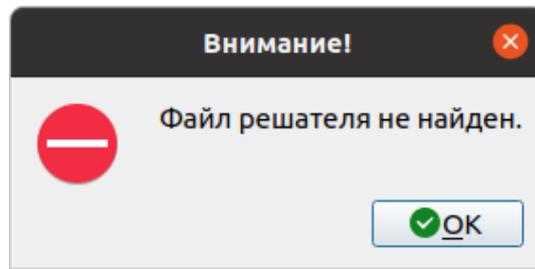


Рисунок 4.34 – Ошибка «Файл решателя не найден»

При вводе в строке минимального значения масштабирования, превышающего максимальное, возникает предупреждение «Минимальное значение не может превышать максимальное» (рис. 4.35).

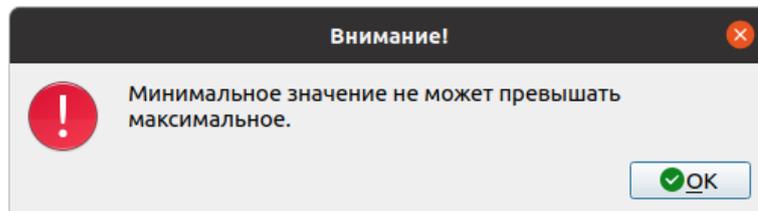


Рисунок 4.35 – Предупреждение «Минимальное значение не может превышать максимальное»

При достижении минимального или максимального масштаба возникает предупреждение «Достигнут минимальный масштаб» или «Достигнут максимальный масштаб» (рис. 4.36, 4.37).

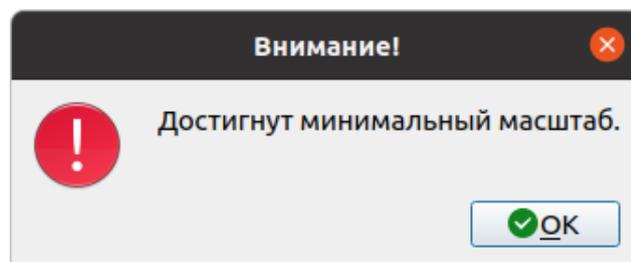


Рисунок 4.36 – Предупреждение «Достигнут минимальный масштаб»

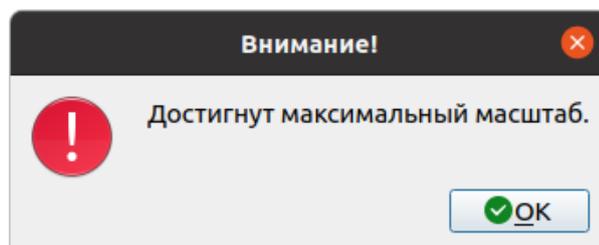


Рисунок 4.37 – Предупреждение «Достигнут максимальный масштаб»

При активации режима отладки, в окне лога отображаются дополнительные сообщения по работе программы (рис. 4.38).

```

Лог
10:52:32.931 [INF]: Set solver output directory QDir( "/ho
12:25:02.229 [INF]: Debug mode: true
12:25:04.421 [INF]: Debug mode: false
12:25:11.910 [INF]: Debug mode: true
12:27:53.847 [DBG]: Current scale: 1.04444
12:27:53.967 [DBG]: Current scale: 1.09086
12:27:54.327 [DBG]: Current scale: 1.13935
12:27:57.860 [DBG]: Current scale: 1.18908

```

Рисунок 4.38 – Сообщения при активном режиме отладки

#### 4.15. Сообщения при работе с постпроцессором

При попытке добавить существующий файл в постпроцессор возникнет следующее сообщение (рис. 4.39).

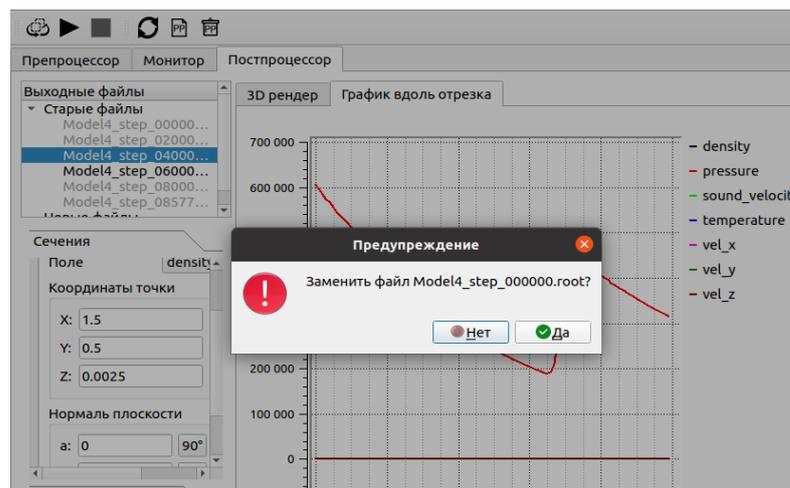


Рисунок 4.39 – Предупреждение при добавлении файла в постпроцессор

Если часть сечения лежит за пределами расчетной области при нажатии на кнопку «Вычислить», возможно появление следующего предупреждения (рис. 4.40).

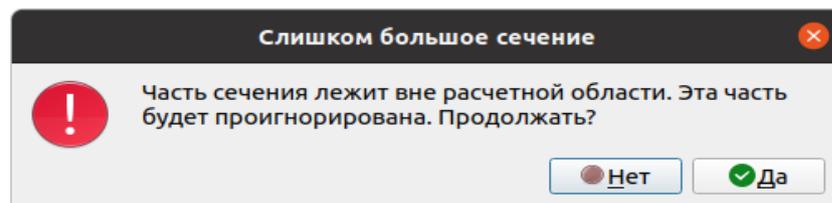


Рисунок 4.40 – Предупреждение о выходе сечения за границы расчетной области

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В «Руководстве пользователя» представлено подробное описание действий пользователя в процессе применения и эксплуатации СПК «ГиперКуб».

Приведена информация, достаточная для понимания функций СПК «ГиперКуб» и его эксплуатационных особенностей. Дано описание последовательности действий Пользователя, обеспечивающих загрузку, запуск, выполнение и завершение работы СПК «ГиперКуб». Приведены описания функций команд, с помощью которых, Пользователь осуществляет работу с программным обеспечением, а также ответы программы на эти команды.