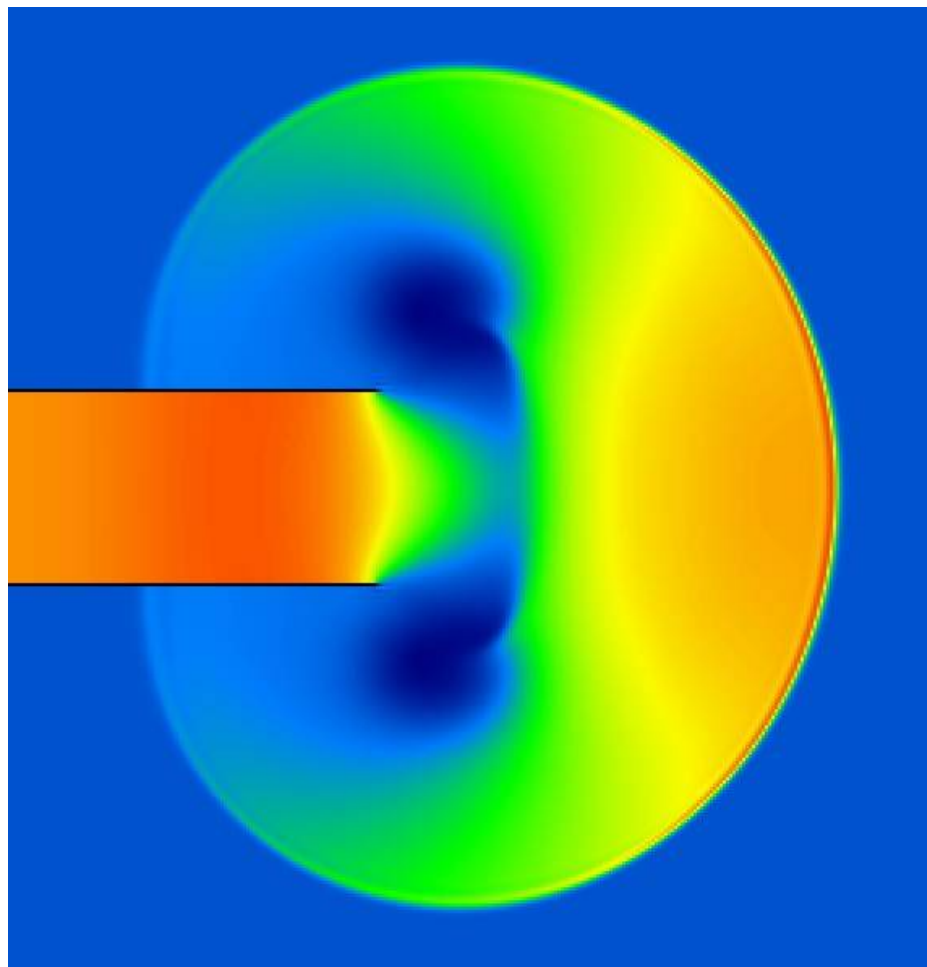


Учебное пособие. Теоретический курс



**Учебная программа для
газодинамических расчетов**

StartFlow

Версия 1.03

VisualMathStart, 2015

Содержание

1 Введение.....	5
1.1 Что такое программный комплекс StartFlow?.....	5
1.2 Программы расчетного комплекса.....	7
1.3 Типы расчетных ячеек.....	7
1.4 Отображение расчетной области.....	9
2 SF Editor.....	11
2.1 Общий вид программы.....	11
2.2 Создание расчетной области.....	13
2.3 Функции кнопок.....	15
2.3.1 Кнопки выбора режима функционирования курсора мыши.....	16
2.3.2 Командные кнопки.....	19
2.3.3 Кнопки выбора режимов рисования геометрических фигур.....	21
2.4 Редактирование границ.....	25
2.4.1 Рисование фигур.....	25
2.4.2 Глубина и интервал выдавливания трехмерных фигур.....	25
2.4.3 Графический способ установки глубины и интервала выдавливания.....	29
2.4.4 Операции с выделенной областью.....	30
2.5 Редактирование граничных условий.....	32
2.5.1 Включение режима редактирования граничных условий.....	32
2.5.2 Использование графических примитивов для задания граничных условий.....	32
2.5.3 Задание параметров входящего и выходящего потоков.....	33
2.5.4 Задание открытой границы.....	35
2.5.5 Задание температуры твердых границ.....	35
2.5.6 Задание параметров для расчетных ячеек типа Gas.....	35
2.5.7 Изменение именованных граничных условий.....	37

2.6 Фиксирование ячеек.....	37
2.7 Маркировка ячеек.....	39
2.8 Просмотр геометрии газодинамической задачи.....	42
2.8.1 Просмотр трехмерной расчетной области по сечениям.....	42
2.8.2 Просмотр в режиме «тип ячеек».....	43
2.8.3 Просмотр в режиме «Ячейки без ГУ».....	44
2.8.4 Просмотр расчетной области в трехмерном виде.....	46
2.9 Задание дополнительных параметров газодинамической задачи.....	47
2.9.1 Начальные условия.....	47
2.9.2 Тепловые константы.....	47
2.9.3 Смена шагов интегрирования.....	48
2.9.4 Изменение размеров расчетной области.....	49
2.10 Работа с файлами.....	51
3 StartFlow Solver.....	53
3.1 Общий вид программы.....	53
3.2 Функции кнопок.....	54
3.2.1 Кнопки режимов курсора мыши.....	54
3.2.2 Командные кнопки.....	63
3.3 Проведение газодинамических расчетов.....	64
3.3.1 Запуск и остановка расчетов.....	64
3.3.2 Настройка расчетного процесса.....	65
3.3.3 Задание параметров расчетов.....	66
3.4 Работа с файлами.....	67
3.4.1 Автозагрузка и автосохранение.....	67
3.4.2 Сохранение отдельных полей газодинамических параметров и их замена.....	69
3.4.3 Сохранение отдельных сечений газодинамических параметров...	70
4 Просмотр результатов расчетов.....	71

4.1 Настройка отображения результатов расчета.....	71
4.1.1 Общие настройки отображения.....	71
4.1.2 Настройка отображения векторов скорости.....	73
4.1.3 Скалярные величины.....	76
4.1.4 Дополнительно накладываемые параметры.....	81
4.2 Построение графиков по линиям.....	83
4.3 Построение трехмерных графиков.....	87
4.4 Трехмерное изображение результатов расчетов.....	93
4.5 Трехмерное изображение плоскости с векторами.....	95
5. Использование параметров установления.....	98
5.1 Статистики.....	98
5.1.1 Задание параметров статистики.....	98
5.1.2 Задание координат статистик с помощью буфера.....	101
5.1.3 Визуализация координат статистик.....	103
5.1.4 Просмотр результатов статистической регистрации.....	104
5.1.5 Пример использования статистики для изучения эволюции полей газодинамических параметров.....	106
5.1.6 Пример использования статистики для отслеживания установления стационарного течения.....	108
5.2 Графики установления.....	110
5.2.1 Задание параметров установления.....	110
5.2.2 Просмотр графиков установления.....	111

1 Введение

1.1 Что такое программный комплекс StartFlow?

Физика газа изучает сложные, нетривиальные по своей природе процессы. К таким процессам можно отнести распространение в пространстве ударных волн, процессы, происходящие при взрывах, в том числе и выстрелах из огнестрельного оружия, распространение звуковых колебаний, сверхзвуковые течения.

В наиболее простом случае процессы газовой динамики описываются системой дифференциальных уравнений Эйлера.

StartFlow – это наилучшее программное средство для тех, кто начинает знакомство с физикой газа, газовой динамикой, механикой жидкости и газа. **StartFlow** представляет собой

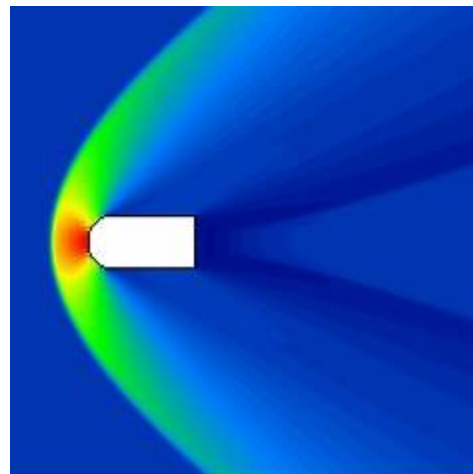


Рисунок 1.1 Обтекание
снаряда сверхзвуковым
поток

программный комплекс для проведения нестационарных газодинамических расчетов, основанный на численном решении системы уравнений Эйлера. Он



Рисунок 1.2 Выброс
горячих газов

позволяет в реальном времени моделировать двухмерные и трехмерные процессы газовой динамики, отображать эволюцию полей скорости, температуры, давления, плотности и других параметров. Удобство, легкость использования и интуитивно понятный интерфейс **StartFlow** позволяют буквально несколькими движениями мыши запустить

моделирование интересующего газодинамического процесса.

Например, на рисунке 1.3 показан расчет распространения плоской ударной волны в пространстве.

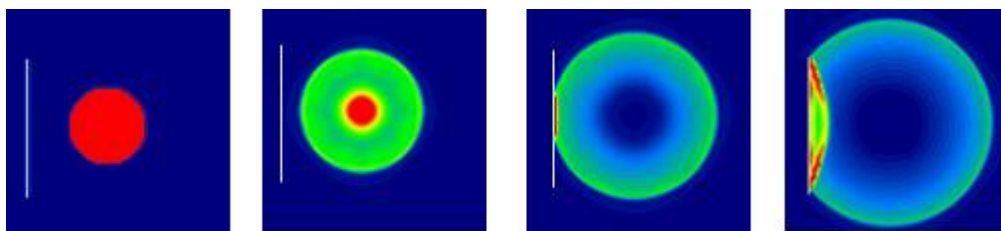


Рисунок 1.3 Распространение плоской ударной волны в пространстве со стенкой

StartFlow может быть использован в обучающих целях в старших классах средней школы, а также на первых курсах высших учебных заведений. Охват довольно широкого спектра газодинамических задач позволяет StartFlow проводить качественное моделирование наиболее интересных газодинамических процессов с минимальными трудовыми затратами, что делает StartFlow очень удобным средством для проведения лабораторных и учебно-исследовательских работ. С помощью данного программного продукта можно проводить самостоятельные исследования в области оптимизации конструкции технических устройств. Несомненно, работа с StartFlow будет способствовать возникновению у школьников и студентов интереса к изучению газовой динамики, и в дальнейшем к решению сложных инженерных задач

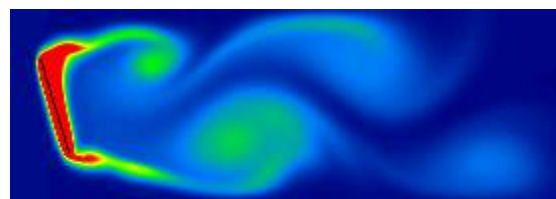


Рисунок 1.4 Обтекание нагретой пластины

StartFlow имеет развитый графический интерфейс, который, с одной стороны делает процесс работы над расчетной геометрией максимально простым, с другой стороны позволяет проводить подробный анализ полученных результатов газодинамического моделирования. Настройка визуализации может проводиться одним движением мыши. Легкость получения одномерных и двумерных профилей параметров, простота настройки трехмерной визуализации и большие возможности настройки отображения двумерных сечений делают процесс работы в StartFlow приятным и увлекательным.

1.2 Программы расчетного комплекса

Расчетный комплекс StartFlow предназначен для проведения газодинамических расчетов. StartFlow решает как двумерные, так и трехмерные задачи газовой динамики. Он содержит две программы:

SF Editor - программа для задания расчетной области (задается расчетная сетка и геометрия расчетной области, начальные и граничные условия);

SF Solver - программа для проведения расчетов и просмотра результатов;

При создании расчетной области программа SF Editor открывает и сохраняет расчетную область в файлы с расширением .rgm. Файл rgm занимает мало места на диске, его можно редактировать, работать с расчетной геометрией. По окончании задания расчетной области SF Editor создает расчетный файл с расширением .lpd. Файл lpd занимает гораздо большее место на диске. Он открывается программой SF Solver, в которой проводятся расчеты.

Все процессы в программе SF Solver решаются как нестационарные, стационарные решения находятся путем установления. Критерий установления выбирает пользователь. Останавливает расчеты тоже пользователь, когда сочтет, что установление произошло. Результаты расчета можно просмотреть непосредственно в программе SF Solver. Все вопросы задания расчетной области, проведения расчетов, задания критериев установления, просмотра результатов расчетов освещены ниже.

1.3 Типы расчетных ячеек

Расчетный комплекс STARTFLOW использует однородную кубическую сетку. Вся расчетная область помещается в объем в форме параллелепипеда, который поделен однородной ортогональной сеткой на одинаковые кубические ячейки. Пространство, заполненное газом, в котором протекают газодинамические процессы, аппроксимируется, то есть заполняется, так называемыми расчетными ячейками. Границы этого пространства

представляются слоем, так называемых, граничных ячеек. Граничные ячейки могут соответствовать входу и выходу

газового потока из расчетной области, а также твердым границам этой области. Остальные ячейки, которые не являются расчетными и граничными, являются пустыми и не участвуют в расчетах.

Все типы ячеек в StartFlow имеют свои названия, приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Типы ячеек

Название типа ячеек	Физический смысл типа ячеек
Gas	Расчетные ячейки, соответствующие пространству, где протекают газодинамические процессы, то есть газу
Wall	Граничные ячейки, соответствующие твердым границам газодинамической задачи, на которых задается непроницаемость теплового потока.
ThermalWall	Граничные ячейки, соответствующие твердым границам газодинамической задачи, на которых задается температура (граничное условие третьего рода).
Inlet	Граничные ячейки, соответствующие открытым границам газодинамической задачи, на которых задается только вход газового потока.
Outlet	Граничные ячейки, соответствующие открытым границам газодинамической задачи, на которых задается только выход газового потока.
Opening	Граничные ячейки, соответствующие открытым границам газодинамической задачи, на которых может осуществляться как вход, так и выход газового потока.
None	Пустые ячейки

1.4 Отображение расчетной области

Основным способом просмотра расчетной области является просмотр двумерных плоскостей. Для случая двумерной газодинамической задачи эта плоскость будет единственной. В случае трехмерной задачи двумерные плоскости являются плоскостями сечений. Управление просмотром расчетной области по сечениям осуществляется кнопками на специальной панели, которая присутствует во всех программах комплекса (отмечена на рисунке 2.1 цифрой 3). На кнопках этой панели указаны названия осей (X, Y, Z), перпендикулярно которым строится сечение (рисунок 1.1). Напротив каждой кнопки расположено поле для введения номера ячейки по соответствующей оси, через которую пройдет сечение.

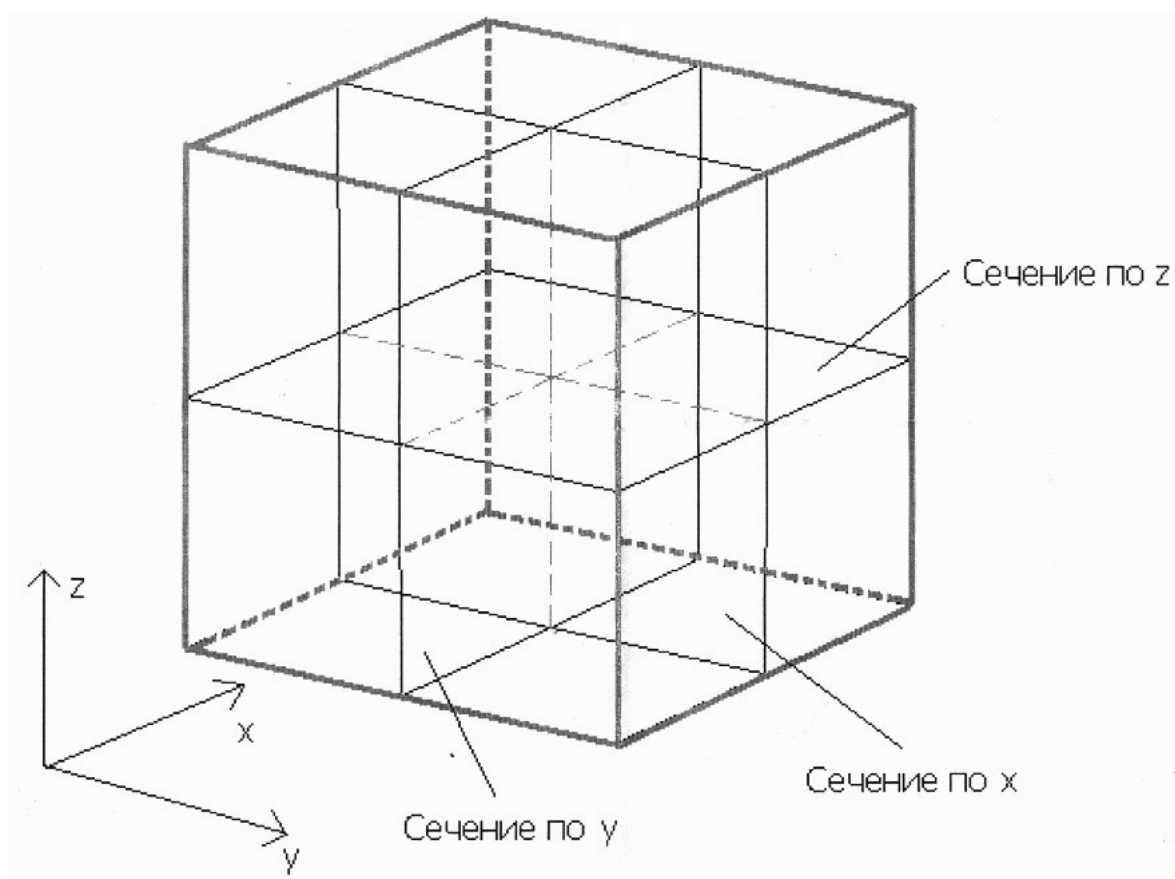


Рисунок 1.5

Также процесс навигации по сечениям расчетной области можно осуществлять с помощью, кнопок , , , , детальное описание которых приведено в разделах 2.3 и 2.8.

На панели «Тип отрисовки», обозначенной на рисунке 1.3 цифрой 4, можно выбрать для отображения в сечении тот или иной газодинамический параметр (поле проекций векторов скоростей на сечение, поле температуры, поле давления, поле плотности, поле абсолютных значений скоростей). Чтобы вызвать окно настройки отображения выбранного поля газодинамического параметра, следует нажать правую кнопку мыши. Настройке отображения векторных и скалярных параметров посвящен раздел 4.

При отображении типов ячеек в сечении каждому типу соответствует свой цвет: Gas -белый цвет, Wall - синий цвет, ThermalWall - розовый цвет, пустые ячейки - серый цвет, Inlet -темно-зеленый цвет, Outlet - светло-зеленый цвет, Opening - голубой цвет.

2 SF Editor

2.1 Общий вид программы

На рисунке 2.1 представлен общий вид программы SF Editor

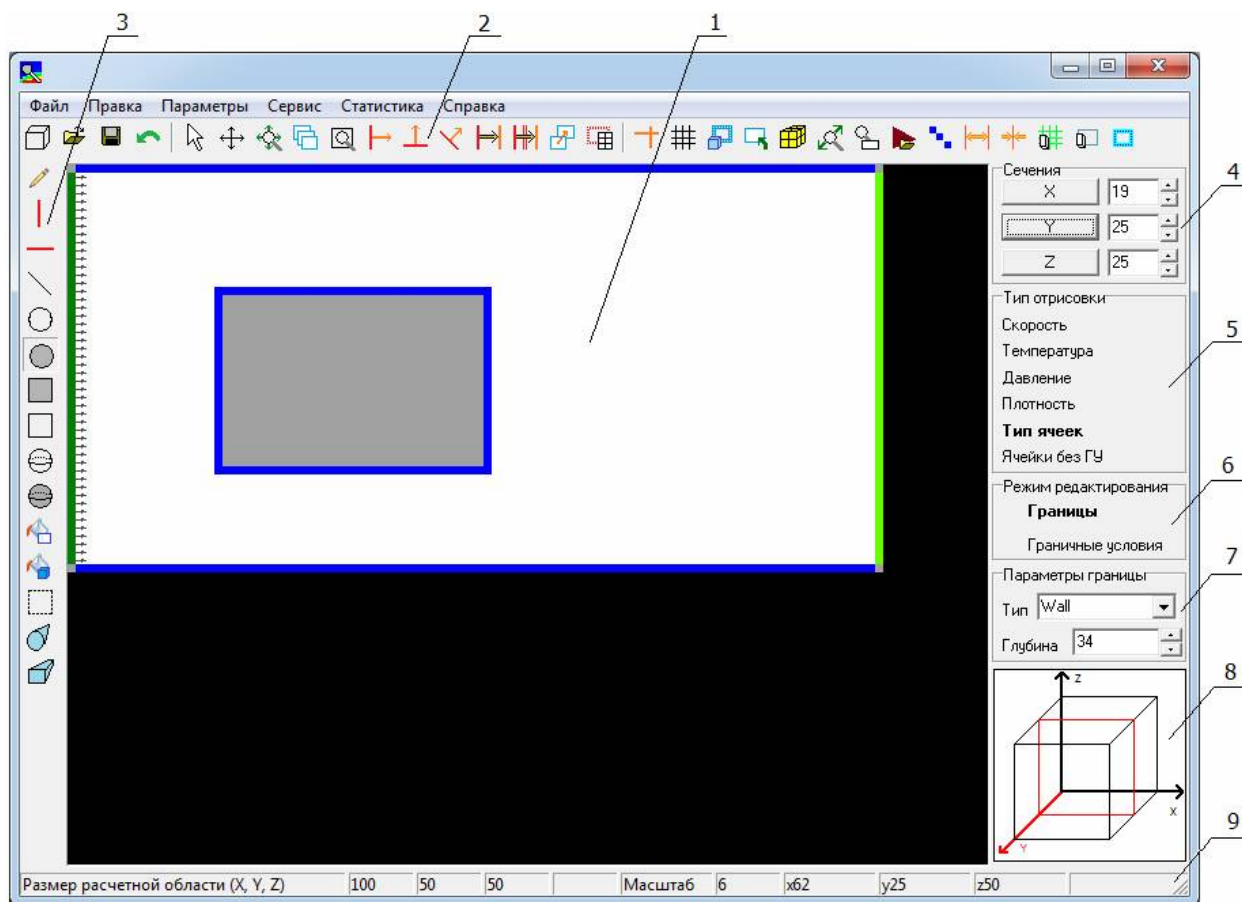


Рисунок 2.1

На рисунке обозначены следующие элементы интерфейса:

- 1 - поле отображения сечения расчетной области;
- 2- панель кнопок выбора режима функционирования курсора мыши, кнопок выбора настроек изображения и различных командных кнопок
- 3- панель кнопок выбора режимов рисования геометрических фигур;
- 4- панель управления просмотра расчетной области по сечениям в случае трехмерной расчетной области. Кнопки «X», «Y», «Z» выбирают ось, перпендикулярно которой производится сечение расчетной области. В поле, соответствующему кнопке выбора оси задается номер сечения, то есть номер двумерного слоя ячеек.

5- панель выбора полей газодинамических параметров, отображаемых на выбранном сечении расчетной области. Здесь можно выбрать отображение векторов поля скорости, поля температуры, давления, плотности, отображение типов ячеек, а также ячеек, в которых не заданы начальные или граничные условия. При рисовании геометрии обычно используется режим отображения типов ячеек.

6- панель переключения режимов редактирования. Здесь возможен выбор трех режимов редактирования: «Границы» - режим редактирования границ, то есть рисование расчетной геометрии; «Граничные условия» - режим редактирования граничных условий; третий режим - режим одновременного редактирования границ и граничных условий на них, включается при нажатии знака скругленной скобки

7- панель задания типа ячеек, а в случае трехмерной расчетной области еще и задания глубины или интервала выдавливания рисуемой фигуры. В режиме редактирования границ выбирается тип ячеек, который будет использоваться при рисовании фигур. В случае трехмерной расчетной области задается или глубина выдавливания рисуемых фигур или интервал. В случае задания глубины фигура начнет выдавливаться с текущего сечения на указанное количество слоев вглубь, то есть в сторону роста номеров слоев по выбранной оси. В случае задания интервала выдавливания, фигура будет выдавливаться в интервале указанных номеров слоев.

Тип ячеек выбирается из списка в низпадающем меню. В списке присутствуют все названия типов ячеек (таблица 1), а также названия операций фиксирования и маркировки: fix -фиксирование ячеек (в фиксированных ячеек не может быть изменен их тип и их начальные и граничные условия), unfix - снятие фиксирования, mark - маркировка ячеек, unmark - снятие маркировки с ячеек.

8- навигатор плоскостей сечений. Он показывает, какое сечение отображается в данный момент.

9- строка состояния (размеры расчетной области, масштаб, координата ячейки, на которую показывает курсор).

2.2 Создание расчетной области

Под заданием геометрии газодинамической задачи понимается создание расчетной сетки, аппроксимирующей геометрию исследуемого пространства и постановку всех начальных и граничных условий...

Перед заданием конкретной геометрии расчетной области задается расчетное пространство, поделенное на однородные ортогональные ячейки. Для ориентации в пространстве задаются оси координат (рисунок 2.3). Под размерами расчетного пространства X , Y , Z понимается количество ячеек в каждом из трех направлений.

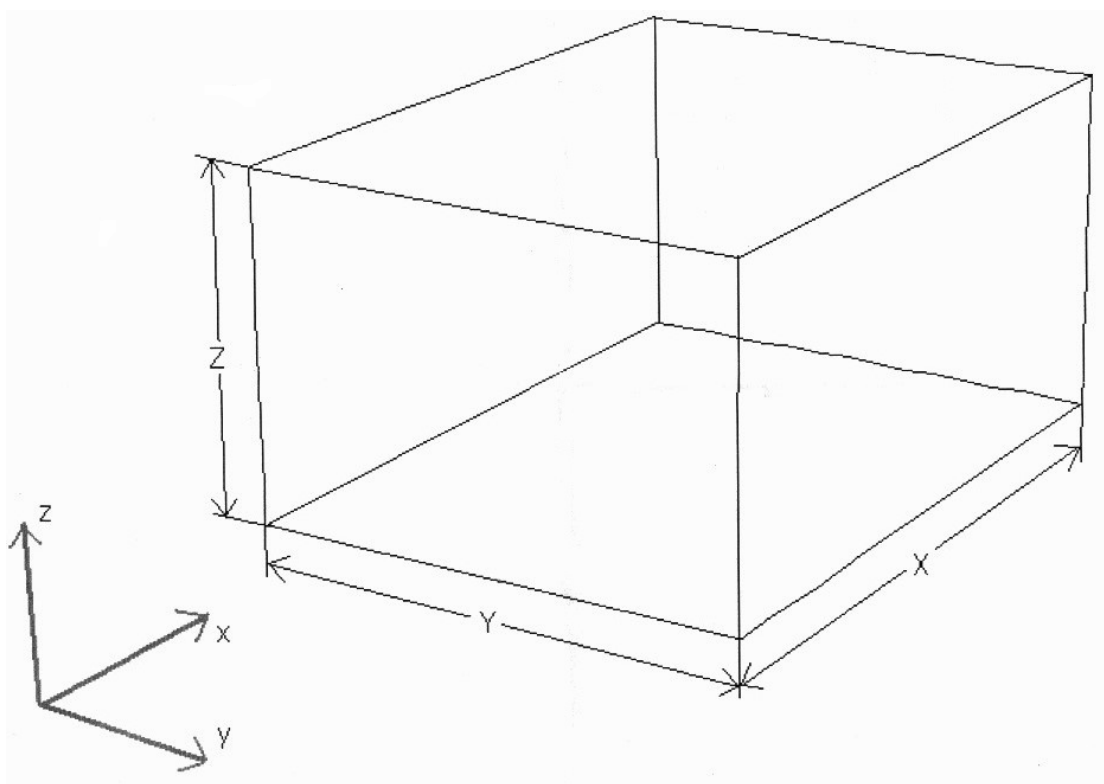


Рисунок 2.2

Чтобы задать расчетное пространство необходимо выбрать пункт меню «Файл» -> «Создать область» или на главной панели нажать на кнопку , появится окно для задания параметров расчетного пространства и сетки (рисунок 2.4).

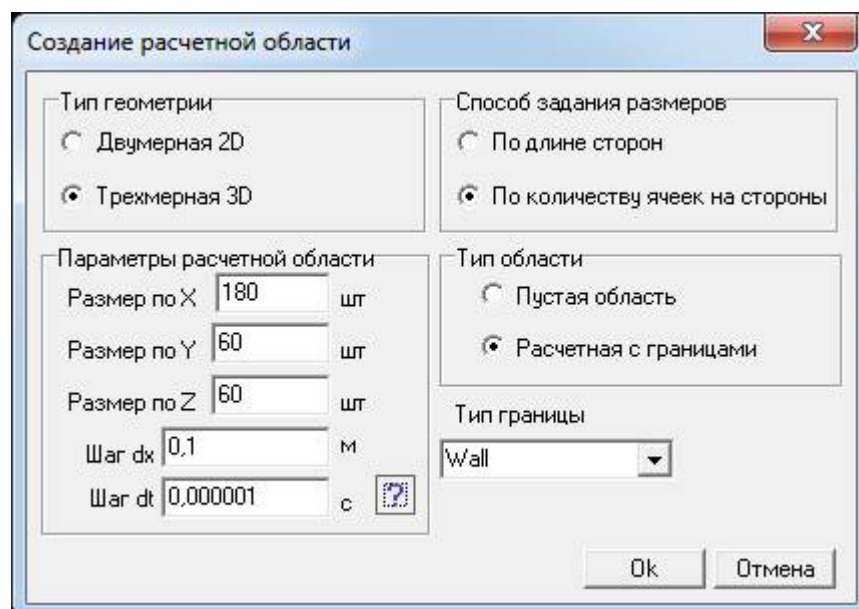


Рисунок 2.3

В этом окне задаются размерность задачи (двумерная или трехмерная) размеры расчетного пространства, количество ячеек по всем осям, шаг времени dt , по которому вычисляются новые поля скорости и температуры газа. Размеры ребер расчетных кубических ячеек dx определяются либо прямым заданием, либо по количеству ячеек и размерам расчетного пространства.

При задании размера ребер кубических ячеек и шага по времени необходимо учитывать условие устойчивости численного метода, решающего уравнения Эйлера. Для того, чтобы правильно задать шаг времени dt можно воспользоваться автоматическим его определением. Для этого нужно нажать на кнопку , которая располагается напротив поля шага по времени. Появится окно (рисунок 2.4), в котором нужно выбрать предполагаемый тип течения, который будет моделироваться в программе.

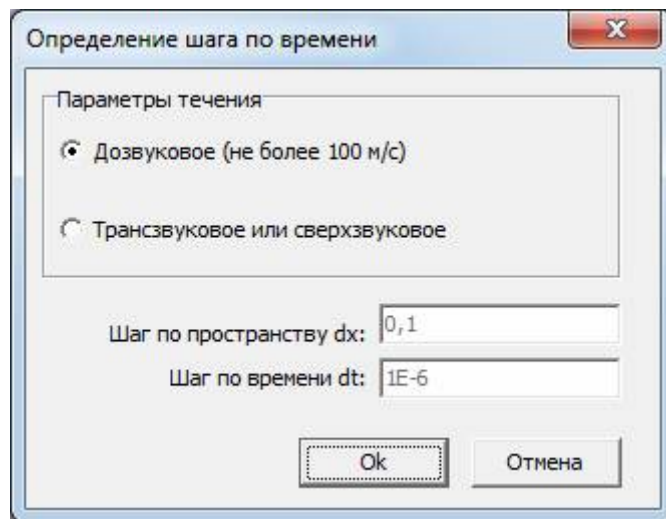


Рисунок 2.4

Если предполагается моделировать различные взрывы, истечения из резервуаров с высоким давлением (в несколько атмосфер), то в этом случае будет реализовываться сверхзвуковое и трансзвуковое течение. Для такого течения надо выбрать второй пункт («Трансзвуковое или сверхзвуковое»). Если предполагается моделировать течения со скоростями менее 100 м/с (обтекания тел, течения в различных каналах), то нужно выбрать первый пункт («Дозвуковое (не более 100 м/с)»).

Кроме того, задается тип расчетной области. Если задается «пустая область», то все ячейки расчетного пространства задаются пустыми, если задается «расчетная с границами», то все ячейки кроме крайних становятся расчетными. В этом случае необходимо указать тип ячеек, которые будут ограничивать расчетные ячейки.

2.3 Функции кнопок

На панелях 2 и 3 располагаются кнопки выбора режима функционирования курсора мыши, различные командные кнопки и кнопки выбора режимов рисования геометрических фигур. Далее приведены описания этих кнопок.

2.3.1 Кнопки выбора режима функционирования курсора мыши

 - просмотр значений в ячейках и измерения расстояний и площадей: при нажатии левой кнопкой мыши на ячейку в специальном окне (рисунок 2.5) отобразятся значения газодинамических параметров в данной ячейке.

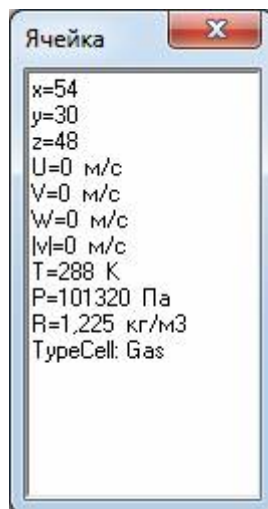


Рисунок 2.5

В данном окне отображаются координаты выбранной ячейки (x , y , z), значения компонент скорости по осям x , y , z (U , V , W), модуль скорости $|v|$, температура T , давление P , плотность R и тип ячейки. Если тип ячейки ThermalWall и для этой ячейки задан фиксированный коэффициент теплоотдачи, то будет отображаться значения коэффициента теплоотдачи.

Перемещением мыши при нажатой левой кнопке измеряется расстояние между ячейками: появляется надпись типа: «X:10 Z:20 L=0.5 м» (рисунок 2.6 а). Это означает, что по оси x расстояние в десять ячеек, по оси z расстояние - 20 ячеек, длина этого расстояния 0,5 м. При вычислении длины в метрах используются значения размеров ребер ячеек расчетной сетки.

Перемещением мыши при нажатой правой кнопке измеряется площадь выделяемого участка (рисунок 2.6 б).

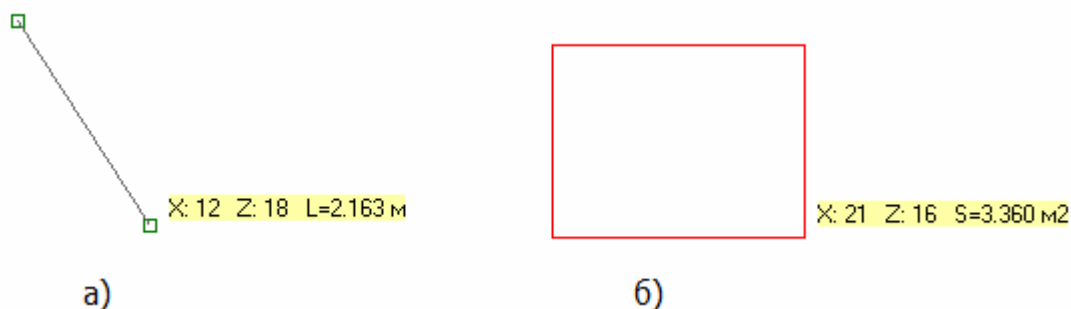


Рисунок 2.6

 - режим перемещения изображения сечения: перемещением мыши при нажатой левой кнопке перетаскивается изображение.

 - режим пролистывания сечений: при нажатой левой кнопки мыши и перемещении курсора вверх номер текущего сечения увеличивается, при перемещении курсора вниз - номер уменьшается.

 - режим увеличения изображения: при нажатой левой кнопки мыши и перемещении курсора вверх изображение увеличивается, при перемещении курсора вниз - изображение уменьшается. При этом центром увеличения является место нажатия левой кнопки.

 - режим рисования прямоугольника увеличения: область, попавшая в прямоугольник, растягивается на все окно.

 - режим вертикального сечения: при перемещении курсора мыши отображается линия вертикального сечения, при нажатии левой кнопки мыши отображается сечение, соответствующее вертикальной линии. При нажатии правой кнопки мыши сечение будет отображено в отдельном окне.

На рисунке 2.7 показан пример использования режима вертикального сечения: из изначального вида на цилиндр с торца переходим к сечению цилиндра вдоль его оси.

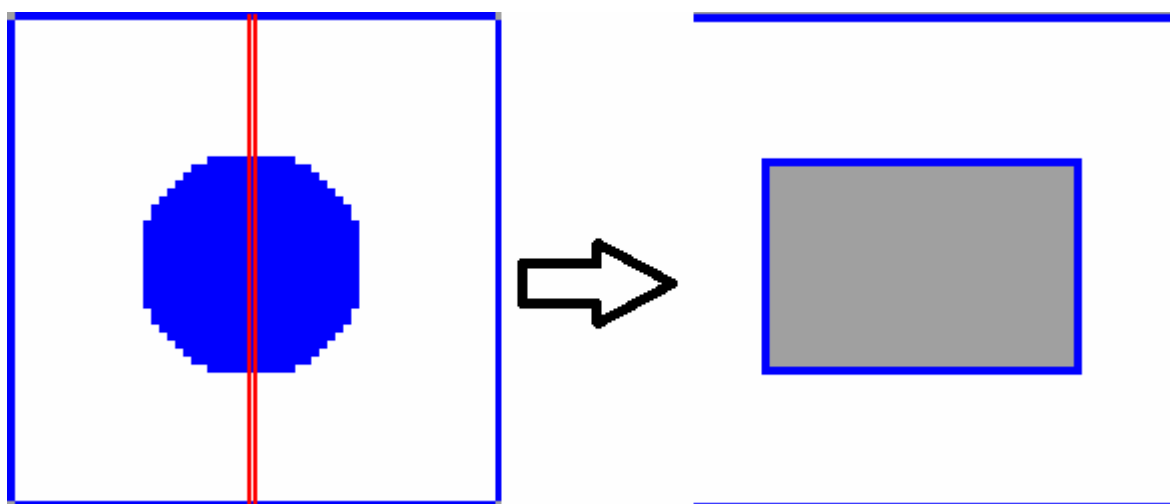


Рисунок 2.7

 - режим горизонтального сечения: при перемещении курсора мыши отображается линия горизонтального сечения, при нажатии левой кнопки мыши отображается сечение, соответствующее горизонтальной линии. При нажатии правой кнопки мыши сечение будет отображено в отдельном окне.

 - режим произвольного сечения: при нажатой левой кнопки мыши рисуется линия, по которой строится сечение.

 - режим установки глубины рисования трехмерных фигур: установка глубины производится в сечении, параллельном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Нажатием левой кнопки мыши производится выбор сечения, в котором будет рисоваться фигура. При нажатой левой кнопке перемещением мыши устанавливается глубина, соответствующая расстоянию между отображаемыми линиями сечений. Стрелочка между линиями сечений показывает глубину, при отпускании левой кнопки мыши отображается сечение, с которого отображалась стрелка. Более подробно об установке глубины рисования написано в разделах 2.4.2, 2.4.3.

 - режим установки интервала рисования трехмерных фигур: установка интервала производится в сечении, параллельном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Интервал ограничивается двумя сечениями, нажатием левой кнопки мыши производится выбор первого сечения, далее перемещением мыши выбирается второе сечение. После отпускания кнопки мыши начинает отображаться линия соответствующая

сечению, в котором будет производиться рисование фигуры. Нажатием левой кнопки мыши производится выбор сечения и последующее его отображение. Более подробно об установке интервала рисования написано в разделах 2.4.2, 2.4.3.

 - режим установки интервала рисования трехмерных фигур путем перелистывания сечений: установка интервала производится в сечении, параллельном тому сечению, в котором будет проводиться рисование фигуры. То есть, в отличие от режима, вызываемого кнопкой , здесь установка интервала будет производиться в сечении перпендикулярном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Для установки интервала в этом режиме, сначала, до нажатия кнопки !, выбирается сечение, которое соответствует одному из концов интервала рисования. Затем нажимается кнопка  и путем перемещения курсора мыши вверх или вниз выбирается то сечение, которое будет соответствовать другому концу интервала рисования. Более подробно об установке интервала рисования написано в разделах 2.4.2, 2.4.3.

 - режим выбора точек и объемов для статистик: при выборе данного режима появляется окно выбора буфера координат статистик, о котором говорится в разделе 5.1.2. Щелчком левой кнопки мыши по ячейке в окне буфера записывается координата данной ячейки. При нажатой левой перемещением курсора мыши выделяется прямоугольник, при отпускании кнопки мыши его координаты записываются в окно буфера координат статистик. Более подробно о задании статистик и об использовании буфера координат статистик написано в разделе 5.1.

2.3.2 Командные кнопки



- создает расчетную область.



- открывает файл с геометрией расчетной области.



- сохраняет файл с геометрией расчетной области.

-  - отменяет операцию редактирования границ и граничных условий.
-  - включает и отключает рисование линий сетки.
-  - включает и отключает рисование линий координат курсора мыши.

На рисунке 2.8 показано одно и то же сечение с отключенной сеткой и линиями курсора (рисунок 2.8 а) и с включенными (рисунок 2.8 б)

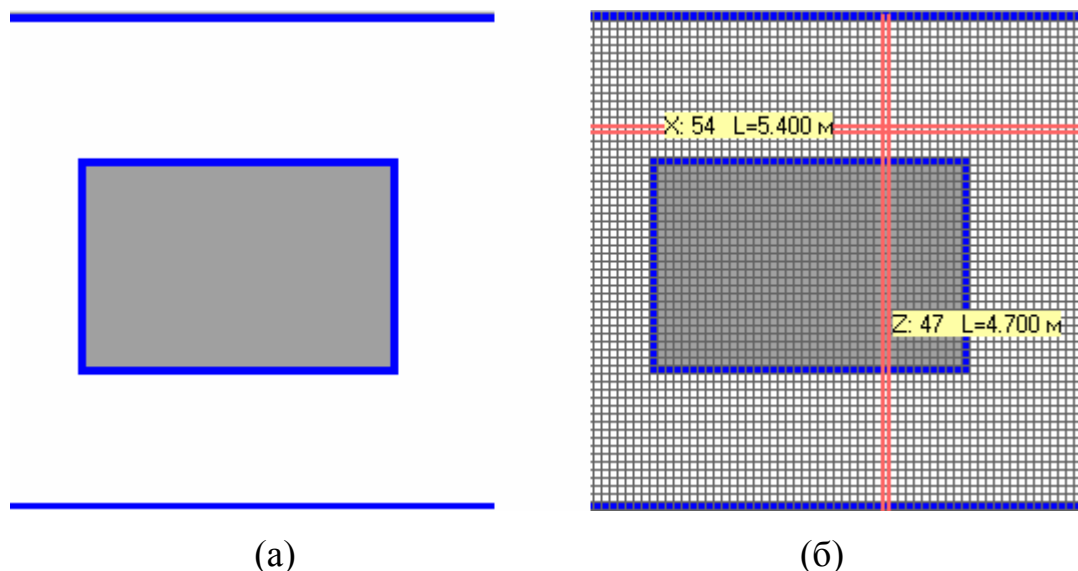


Рисунок 2.8

Режим включенной сетки удобно использовать в тех случаях, когда необходимо нарисовать фигуру с особой точностью. Отображающиеся линии курсора мыши помогают выравнивать границы рисуемой фигуры относительно других фигур.

-  - включает и выключает режим трехмерного маркирования ячеек.

Подробно о маркировании изложено в разделе 2.7.

-  -показывает предыдущее сечение.
-  - вмещает всю расчетную область в окно программы.
-  - задает конкретное значение масштаба отрисовки.
-  - задает для автоматического открытия в программе SF Solver созданную в программе SF Editor расчетную область. Если на момент запуска решатель расчетная область уже была сохранена в файл .lpd, то Solver загрузит этот файл. Если расчетная область не была сохранена то запуск

решателя и передача ему расчетных данных будет осуществлена без сохранения расчетной области.

 - устанавливает глубину рисования трехмерных геометрических фигур, равной одной ячейке.

 - устанавливает интервал рисования трехмерных геометрических фигур на весь диапазон сечений.

 - убирает лишние граничные ячейки и создает недостающие. Убираются те граничные ячейки, которые не имеют соприкосновения с расчетными. Добавляются граничные ячейки в тех местах, где происходит соприкосновение расчетных ячеек с пустыми.

 - удаляет фиксирование ячеек.

 - удаляет маркирование ячеек.

 – маркирует граничные ячейки. Подробно о маркировании изложено в разделе 2.7.

2.3.3 Кнопки выбора режимов рисования геометрических фигур

 - рисование карандашом: можно рисовать по одной ячейке с помощью щелчка мыши, можно рисовать непрерывно перемещением мыши.

 - рисование вертикальной линией. При нажатой левой кнопке перемещением мыши рисуется прямоугольник высотой, равной высоте сечения, при нажатой правой кнопке мыши производится выделение прямоугольной области.

 - рисование горизонтальной линией. При нажатой левой кнопке перемещением мыши рисуется прямоугольник шириной, равной ширине сечения, при нажатой правой кнопке мыши производится выделение прямоугольной области.

 - рисование линией. При нажатой левой кнопке рисуется линия или плоскость с выдавливанием по глубине или интервалу (если глубина или интервал больше одной ячейки, то рисуется плоскость, если они равны одной

ячейки, то плоскость вырождается в линию на плоскости). При нажатой правой кнопке мыши рисуется всегда пространственная прямая линий. Если глубина или интервал больше единицы, то линия начинается в первом сечении интервала, заканчивается - в последнем.

 - рисование полой окружности, то есть внутри окружности тип ячеек не меняется. При нажатой левой кнопке мыши рисование идет от центра окружности, при нажатой правой кнопке мыши - от точки, лежащей на окружности. Если глубина или интервал больше единицы, то рисуется полый цилиндр с открытыми торцевыми стенками, если они равны одной ячейке, то цилиндр вырождается в окружность.

 - рисование полого прямоугольника, внутри прямоугольника тип ячеек не меняется. Если глубина или интервал больше единицы, то рисуется полый параллелепипед с открытыми торцевыми стенками, если они равны одной ячейке, то параллелепипед вырождается в прямоугольник.

 - рисование полой сферы. При нажатой левой кнопке мыши рисование идет от центра окружности, при нажатой правой кнопке мыши - от точки, лежащей на окружности.

 - рисование окружности с заливкой, то есть все ячейки в окружности меняют свой тип. При нажатой левой кнопке мыши рисование идет от центра окружности, при нажатой правой кнопке мыши - от точки, лежащей на окружности. Если глубина или интервал больше единицы, то рисуется заполненный цилиндр, если они равны одной ячейке, то цилиндр вырождается в окружность.

 - рисование прямоугольника с заливкой. Если глубина или интервал больше единицы, то рисуется заполненный параллелепипед, если они равны одной ячейке, то параллелепипед вырождается в прямоугольник.

 - рисование сферы с заливкой. При нажатой левой кнопке мыши рисование идет от центра окружности, при нажатой правой кнопке мыши - от точки, лежащей на окружности.



- заливка по двумерному контуру. Заливка будет производиться внутри замкнутого контура на плоскости. При этом будет производиться рисование во всех сечениях, которые соответствуют глубине или интервалу рисования трехмерных фигур. Так при заливке полый окружности на плоскости можно получить заполненный цилиндр.



- заливка по трехмерному контуру. Заливка будет производиться в области, ограниченной замкнутой трехмерной поверхностью. Например, с помощью данной заливки можно залить внутреннее пространство внутри полый сферы.



- выделения области. После выделения области над ней можно провести следующие операции:

- Замена типа ячеек
- Установка граничных условий
- Задание типа в маркированных ячейках
- Установка граничных условий в маркированных ячейках
- Фиксирование ячеек определенного типа
- Маркирование граничных ячеек

После того как прямоугольник выделен при отпускании правой кнопки мыши появляется окно, в котором можно вызвать требуемую операцию. Более подробно об операциях над выделенной областью написано в разделе 2.4.4.



-рисование конуса с заливкой. Сначала рисуется торцевая окружность конуса в первой плоскости интервала рисования, затем рисуется торцевая окружность конуса или его вершин, во второй плоскости. Таким способом можно рисовать заполненные конусы со сдвигом. Н рисунке 2.9 показан пример создания конуса со сдвигом.

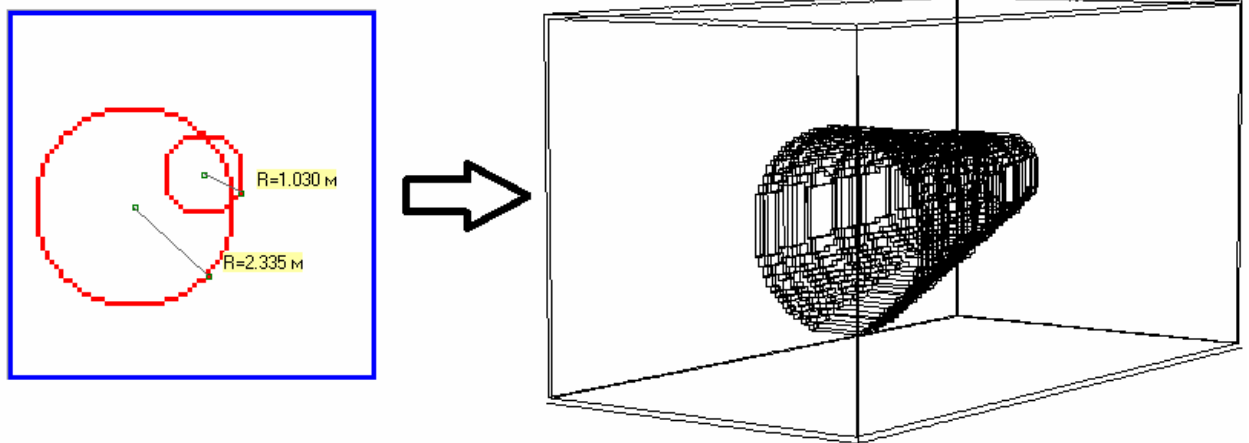


Рисунок 2.9

 - рисование полого конуса. Сначала рисуется торцевая окружность конуса в первой плоскости интервала рисования, затем рисуется торцевая окружность конуса или его вершина во второй плоскости. Таким способом можно рисовать полые конусы со сдвигом. После выбора окружностей нужно выбрать тип полого конуса: с открытыми или закрытыми торцевыми плоскостями, с изменением типов внутренних ячеек или нет.

 - рисование пирамиды с заливкой. Сначала рисуется торцевой прямоугольник пирамиды в первой плоскости интервала рисования, затем рисуется торцевой прямоугольник пирамиды или его вершина во второй плоскости. Таким способом можно рисовать заполненные пирамиды со сдвигом.

 - рисование полой пирамиды. Сначала рисуется торцевой прямоугольник пирамиды в первой плоскости интервала рисования, затем рисуется торцевой прямоугольник пирамиды или его вершина во второй плоскости. Таким способом можно рисовать полые пирамиды со сдвигом. После выбора прямоугольников нужно выбрать тип полой пирамиды: с открытыми или закрытыми торцевыми плоскостями, с изменением типов внутренних ячеек или нет.

2.4 Редактирование границ

2.4.1 Рисование фигур

Под заданием границ понимается смена типа в определенной группе ячеек. Для того, чтобы редактировался тип ячеек необходимо на панели 6 (рисунок 2.1) выбрать режим «Границы». Редактирование границ производится путем рисования геометрических фигур. Режимы рисования выбираются с помощью кнопок панели 3 (рисунок 2.1). Также нужно выбрать тип ячеек, из которых будет нарисована фигура. На рисунке 2.10 приведена панель «Параметры границы».

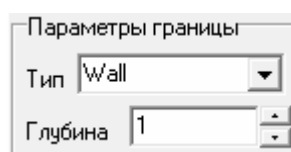


Рисунок 2.10

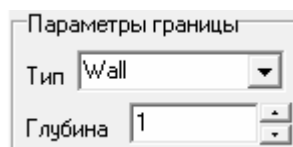
При выборе режима «Границы» появляется строка «Тип», в которой выбирается тип ячеек, которым будут рисоваться фигуры. Тип выбирается из выпадающего списка. Названия типов ячеек и их физический смысл приведены в таблице 1.

При рисовании фигур в большинстве случаев автоматически применяется процедура удаления лишних и создания новых граничных ячеек типа Wall (твердая стенка без температуры). Эта процедура действует по следующему принципу: если фиктивная ячейка не соприкасается ни с одной расчетной, то она превращается в пустую. Каждая расчетная ячейка с каждой своей стороны должна соприкасаться или с расчетной, или с фиктивной. Не допускается соприкосновение расчетной ячейки с пустой или нахождение расчетной ячейки на границе расчетного пространства.

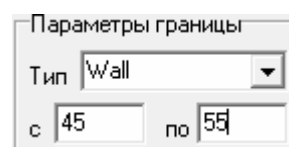
2.4.2 Глубина и интервал выдавливания трехмерных фигур

В SF Editor все графические примитивы, кроме сферы, по умолчанию рисуют плоские фигуры в текущем сечении расчетной области. Объемность фигурам можно придать, задав им размер в направлении, перпендикулярном сечению, в котором они рисуются.

Рисование трехмерных геометрических фигур также осуществляется в плоскостях сечений. Если используется плоский примитив (линия, окружность, прямоугольник), то объемность фигурам (размер в перпендикулярном направлении) придается с помощью глубины выдавливания фигуры, либо с помощью интервала выдавливания.



(а)



(б)

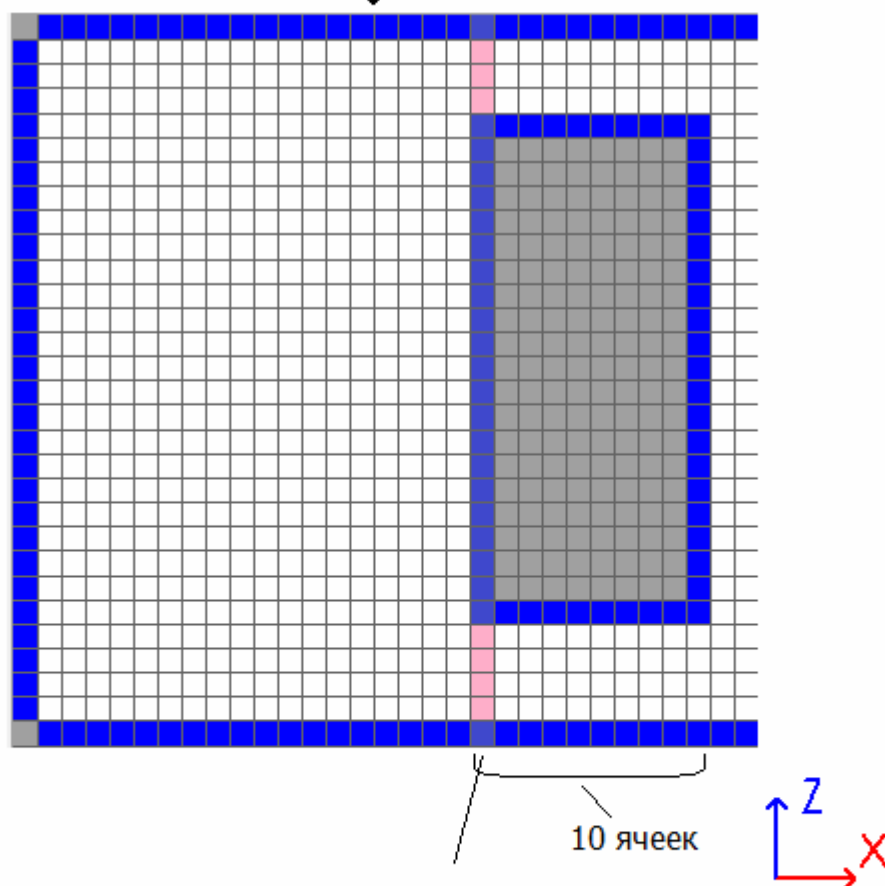
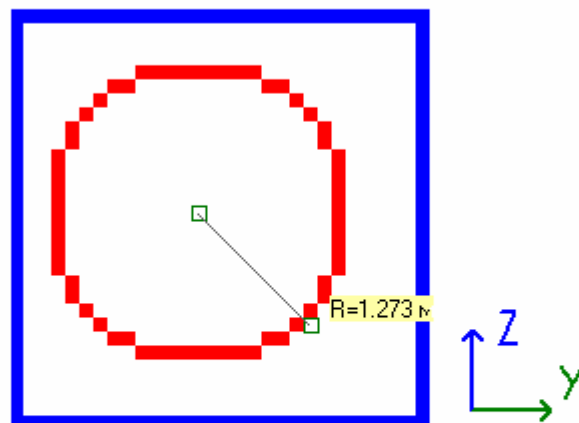
Рисунок 2.11

Если выбран режим рисования по глубине, то на панель «Параметры границы» будет выглядеть как на рисунке 2.11 (а). Если выбран режим рисования по интервалу, то панель «Параметры границы» примет вид как на рисунке 2.11 (б). Переключение режимов осуществляется выбором пункта меню «Сервис» -> «Режим редактирования», либо нажатием кнопки F11. Другой способ переключить режим - это использование кнопок  и , которые предназначены для удобного графического задания глубины и интервала рисования соответственно.

На рисунках 2.12 и 2.13 на примере рисования цилиндра показан принцип рисования трехмерных фигур с использованием глубины или интервала выдавливания. Фигура рисуется в сечении перпендикулярном оси Х.

Режим "выдавливание по глубине"

Рисование цилиндра в 20-м сечении
перпендикулярном оси X



20-ое сечение, перпендикулярное оси X,
в котором производилось рисование.
Цилиндр выдавлен на 10 ячеек в направ-
лении оси X.

Рисунок 2.12

Если выбран режим «редактирование по глубине», то фигура будет также нарисована в том количестве сечений, которое указано в поле «Глубина», начиная с текущего сечения. Например, если номер текущего сечения равен 20, глубина равна 10 ячейкам (как показано на рисунке 2.12), то фигура будет нарисована в сечениях 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 (итого 10 сечений). Отсчет сечений начинается от текущего всегда в сторону возрастания.

Если выбран режим «редактирование по интервалу», то фигура будет нарисована сечениях, номера которых соответствуют интервалу редактирования. Если интервал редактирования задан с 10-го по 20-ое сечение (как показано на рисунке 2.13), то фигура будет нарисована в сечениях 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 независимо от номера текущего сечения. Номер текущего сечения может не лежать в интервале редактирования.

Режим "выдавливания по интервалу"

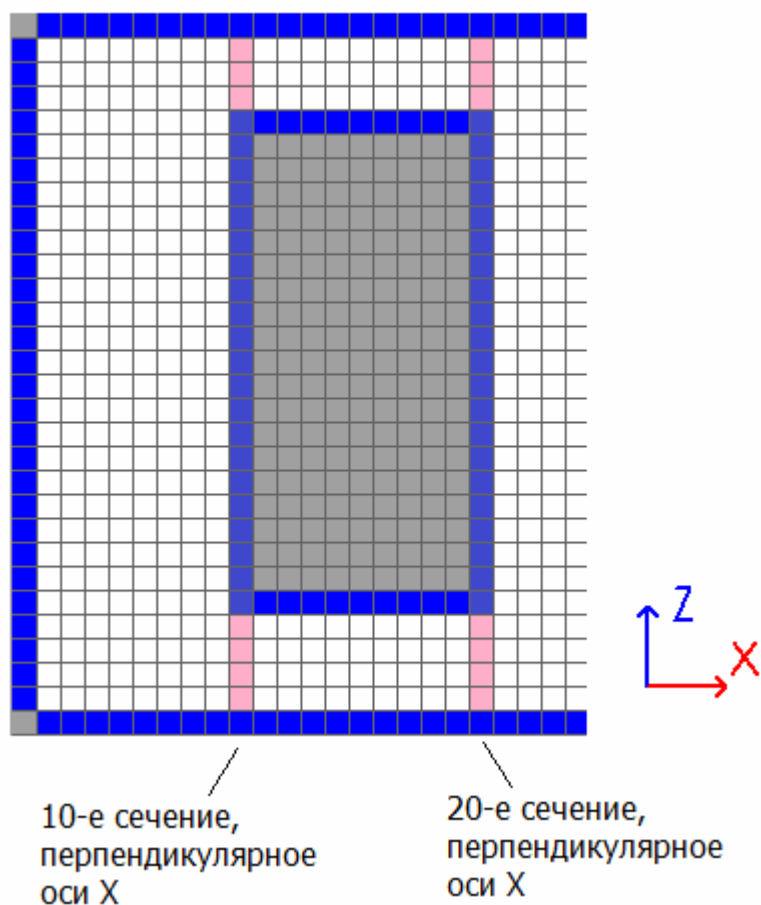
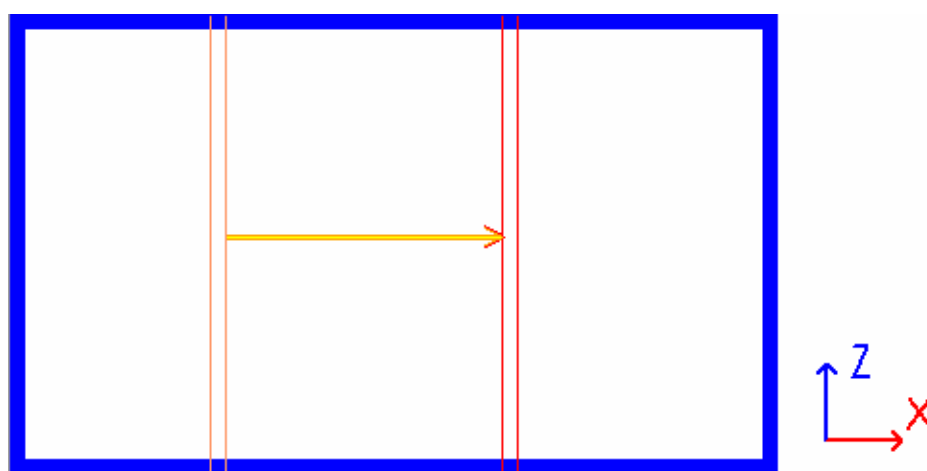


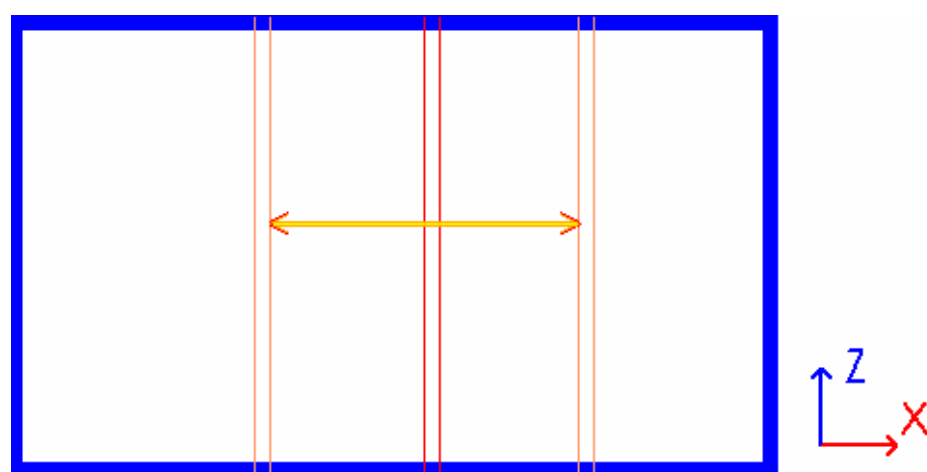
Рисунок 2.13

2.4.3 Графический способ установки глубины и интервала выдавливания

Наиболее удобным способом установки глубины рисования трехмерных фигур является использование кнопки . После нажатия этой кнопки установка глубины производится в сечении, параллельном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Нажатием левой кнопки мыши производится выбор сечения, в котором будет рисоваться фигура. При нажатой левой кнопке перемещением мыши устанавливается глубина, соответствующая расстоянию между отображаемыми линиями сечений. Стрелочка между линиями сечений показывает глубину, при отпуске левой кнопки мыши отображается сечение, с которого начиналась стрелка, (рисунок 2.14 (а)).



(а)



(б)

Рисунок 2.14

Наиболее удобным способом установки интервала рисования трехмерных фигур является использование кнопки . После нажатия этой кнопки установка интервала производится в сечении, параллельном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Интервал ограничивается двумя сечениями, нажатием левой кнопки мыши производится выбор первого сечения, далее перемещением мыши выбирается второе сечение. После отпускания кнопки мыши начинает отображаться линия соответствующая сечению, в котором будет производиться рисование фигуры (рисунок 2.14 (б)). Нажатием левой кнопки мыши производится выбор сечения и последующее его отображение.

Другим удобным способом задания интервала рисования является использование режима установки интервала путем перелистывания сечений, который включается кнопкой . установка интервала производится в сечении, параллельном тому сечению, в котором будет проводиться рисование фигуры. То есть, в отличие от режима, вызываемого кнопкой , здесь установка интервала будет производиться в сечении перпендикулярном направлению выдавливания трехмерной фигуры. Для установки интервала в этом режиме, сначала, до нажатия кнопки !, выбирается сечение, которое соответствует одному из концов интервала рисования. Затем нажимается кнопка  и путем перемещения курсора мыши вверх или вниз выбирается то сечение, которое будет соответствовать другому концу интервала рисования.

2.4.4 Операции с выделенной областью

Режим проведения операций над выделенной областью включается нажатием кнопки . После нажатия кнопки курсором мыши выделяется прямоугольная область. После выделения области над ней можно проводить следующие операции:

- Замена типа ячеек
- Установка граничных условий
- Задание типа в маркированных ячейках

- Установка граничных условий в маркированных ячейках
- Фиксирование ячеек определенного типа
- Маркирование граничных ячеек

После того как прямоугольник выделен при отпускании правой кнопки мыши появляется окно, в котором можно вызвать требуемую операцию, (рисунок 2.15).

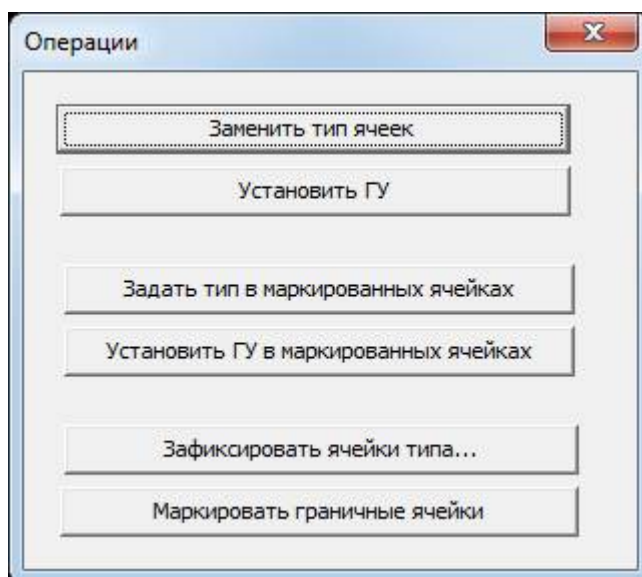


Рисунок 2.15

При замене типа ячеек появляется окно (рисунок 2.16), в котором выбирается тип ячеек, который нужно заменить, и выбирается тип ячеек, на который нужно заменить.

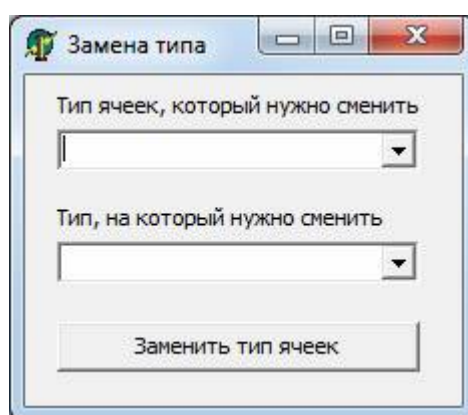


Рисунок 2.16

При установке граничных условий появляется окно выбора типа ячеек, в которых нужно установить граничные условия (рисунок 2.17).

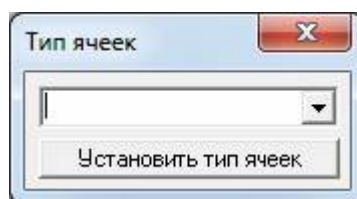


Рисунок 2.17

2.5 Редактирование граничных условий

2.5.1 Включение режима редактирования граничных условий

Для того, чтобы редактировать граничные условия необходимо на панели 6 (рисунок 2.1) выбрать режим «Граничные условия» либо совмещенный режим редактирования границ и граничных условий (нажатие фигурной скобочки, которая объединяет строчки «Границы» и «Граничные условия»). В SF Editor в режиме редактирования граничных условий можно установить параметры входящего и выходящего из расчетной области потока газа, температуры твердых границ, а также можно установить начальные условия.

2.5.2 Использование графических примитивов для задания граничных условий

При переходе в режим редактирования граничных условий в главном окне панель «Параметры границы» заменяется на панель «Параметры ГУ», на которой можно указать только глубину. При нажатии на ячейку в зависимости от ее типа появляется окно задания параметров в этой ячейке. Так как в большинстве случаев необходимо задавать параметры сразу в какой-то области, содержащей большое количество ячеек, то, как правило, для задания граничных условий используются те же графические примитивы, что и для редактирования границ.

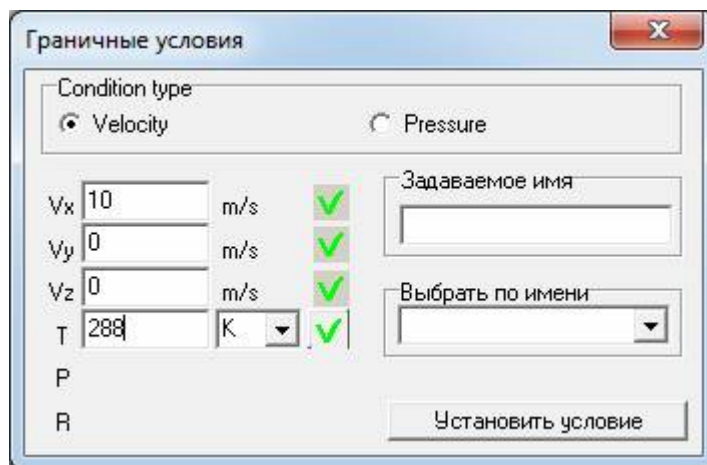
Если в режиме редактирования границ графические примитивы используются для выделения области, ячейки которой меняют свой тип, то в режиме редактирования граничных условий графические примитивы выделяют область однотипных ячеек, в которых задаются граничные условия. Если область границы, на которой нужно задать определенное

условие, имеет сложную форму и ее нельзя обвести одним графическим примитивом, то в этом случае при нажатой кнопке  можно обвести, прямоугольную область, которая будет содержать этот участок границы. После выделения появится окно, изображенное на рисунке 2.17. В нем нужно нажать на кнопку «Установить тип ячеек», для задания типа ячеек, на которых задается граничное условие. После указания типа ячеек появляется окно непосредственно для задания параметров.

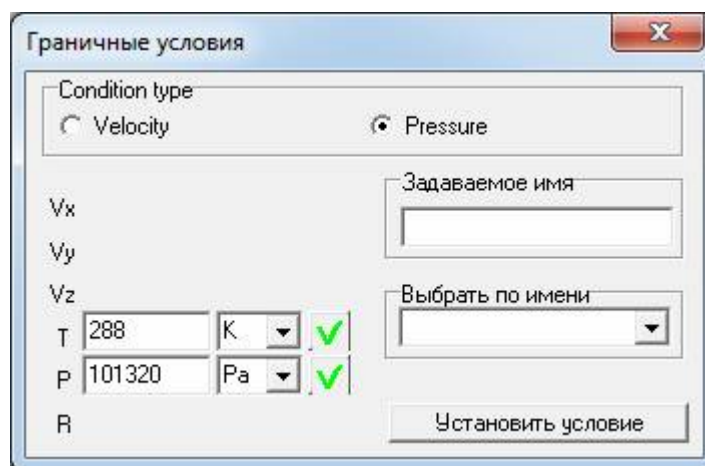
2.5.3 Задание параметров входящего и выходящего потоков

Как сказано выше, входящий поток задается в ячейках типа Inlet, выходящий - в ячейках типа Outlet. Граничные условия в этих ячейках могут быть двух типов: 1) задается скорость и температура потока; 2) задается давление и температура. В первом случае из расчета будет вычисляться давление в граничных ячейках, во втором случае скорость воздушного потока. Важной особенностью ячеек типа Inlet и Outlet является то, что через ячейки типа Inlet воздух может только втекать в расчетную область, а через ячейки типа Outlet - только вытекать. Если эти ГУ заданы по давлению, а давления таковы, что воздух должен течь в противоположную сторону, то ячейки типа Inlet и Outlet становятся эквивалентными твердой стенке.

На рисунке 2.15 показаны виды окна для задания параметров входящего и выходящего потока для обоих типов граничных условий.



(a)



(б)

Рисунок 2.18

Эти величины задаются в следующих единицах измерения: скорость - в м/с, температура - в градусах Кельвина, давление - в паскалях, плотность - в кг/м³. Различные виды окна для задания этих параметров показаны на рисунке 2.15.

Здесь U означает компоненту вектора скорости по оси x , V - по оси y , W - по оси z . При задании температуры, давления и плотности необходимо, чтобы эти величины удовлетворяли уравнению состояния. Поэтому в этом окне предусмотрена специальная процедура автоматического вычисления недостающего значения одного из трех вышеперечисленных параметров (T , P , R). Когда значение параметра не введено, то на кнопке напротив окна ввода параметра нарисован красный крест. Когда вводится один из параметров T , P , R на кнопке появляется троеточие. Это значит, что параметр введен, но уравнение состояния в целом не выполняется. После ввода значений двух известных параметров, например T и P (рисунок 2.15а), можно нажать на кнопку на против окна ввода недостающего параметра (на рисунке 2.15а это плотность R), и значение плотности вычисляется (рисунок 2.15б). Зеленая галочка означает, что уравнение состояния выполняется. Обновить!

Каждому граничному условию можно задать имя (поле «Задаваемое имя»), и в дальнейшем его можно использовать при задании такого же ГУ (поле «Выбрать по имени»).

2.5.4 Задание открытой границы

Открытой границе соответствуют ячейки типа Opening. В этих ячейках задается только давление внешней среды, скорость потока вычисляется из расчета. В отличие от ячеек типа Inlet и Outlet, в которых также может быть задано давление внешней среды, в ячейках типа Opening поток может быть направлен в любую сторону. Окно для задания параметров граничных условий эквивалентно окну, изображенному на рисунке 2.15 (б).

2.5.5 Задание температуры твердых границ

Твердым стенкам с температурой соответствуют ячейки типа ThermalWall. Для задания параметров в этих ячейках появляется следующее окно (рисунок 1.9).

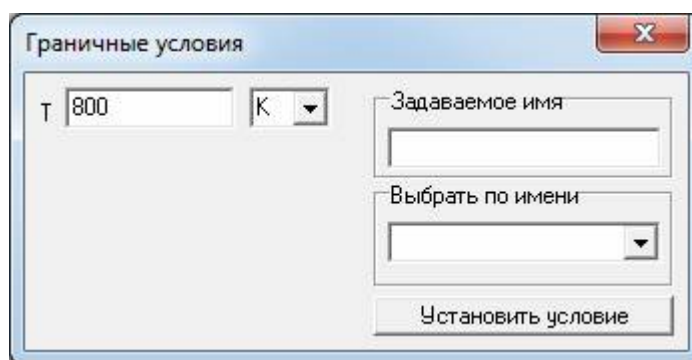


Рисунок 2.19

Для этих ячеек задается значение температуры в градусах Кельвина.

2.5.6 Задание параметров для расчетных ячеек типа Gas

Для ячеек типа Inlet, Outlet, Opening, Thermalwall задание граничных условий обязательно. Для ячеек типа Gas задание граничных условий эквивалентно заданию начальных условий, и это задание не является обязательным. Для тех ячеек типа Gas, для которых условия не будут заданы, начальные условия задаются по умолчанию (задание начальных условий по умолчанию смотри в разделе 2.9.1). Для того чтобы поменять эти условия нужно выбрать пункт в меню «Параметры» -> «Начальные условия». Появится окно задания начальных условий на (рисунке 2.18).

Однако задание начальных условий в меню «Параметры» —> «Начальные условия» предполагает задание однородных параметров во всей

расчетной области. Если же нужно задать неоднородные условия, то нужно воспользоваться графическими примитивами, с помощью которых можно задать необходимые начальные условия на геометрической фигуре. После того, как будет нарисована требуемая геометрическая фигура, появится окно задания параметров, изображенное на рисунке 2.17.

Рисунок 2.20

2.5.7 Изменение именованных граничных условий

В тех случаях, когда на разных участках границ заданы одни и те же граничные условия и возникает необходимость их поменять, то в этом случае намного удобнее воспользоваться именованными граничными условиями. Когда граничное условия на определенном участке границы задается в первый раз, то необходимо задать его имя. При задании этого же граничного условия на других участках границ необходимо выбрать имя этого граничного условия из списка заданных ГУ. Выбирается имя в поле «Выбрать по имени» в окнах задания ГУ.

Для того чтобы изменить именованные граничные условия необходимо вызвать окно редактирования ГУ, показанное на рисунке 2.18, с помощью команды меню «Сервис» —> «Изменение ГУ».

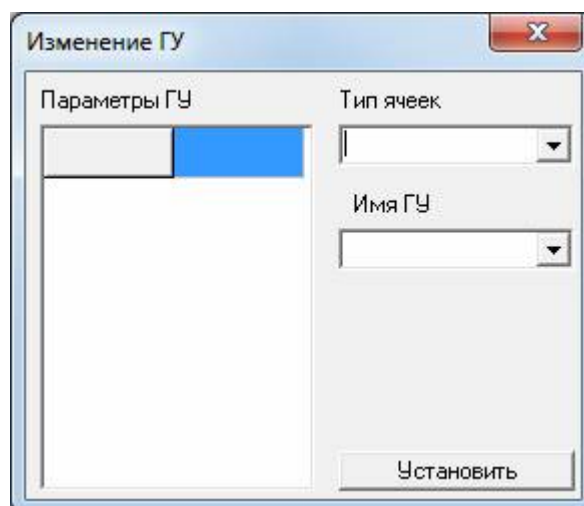


Рисунок 2.21

В поле «Тип ячеек» нужно выбрать тот тип ячеек, граничное условия на которых требуется изменить. После того, как тип будет выбран, появится список имен граничных условия для данного типа ячеек. При выборе конкретного имени отображаются все параметра данного ГУ. После этого появляется возможность указать новые значения параметров выбранного ГУ.

2.5.7 Сохранение и загрузка именованных граничных условий

Если создаваемая расчетная область имеет граничные условия, такие же или схожие с граничными условиями уже ранее созданной расчетной области, то для того чтобы лишний раз не вводить значения параметров граничных условий, можно воспользоваться сохранением и загрузкой именованных ГУ. Открыв в SF Editor расчетную область, содержащую требуемые ГУ, можно их сохранить с помощью команды меню «Сервис» -> «Сохранить именованные ГУ». Значения параметров ГУ и их имена сохраняются в файле с расширением .nbc. Затем, открыв расчетную область, в которую нужно вставить эти ГУ, следует загрузить сохраненные ГУ с помощью команды меню «Сервис» —> «Загрузить именованные ГУ».

2.6 Фиксирование ячеек

При рисовании границ расчетной области часто возникает ситуация, когда некоторые области ячеек, попадающие в область рисования фигуры, не должны менять свой тип. В этом случае применяется фиксирование ячеек. В зафиксированных ячейках не меняется тип и граничные условия. Для того,

чтобы зафиксировать нужную область ячеек сначала на панели 7 (рисунок 2.19) в строке «Тип» выбирается слово «Fix» (для расфиксирования - «Unfix»), как показано на рисунке 2.19. Далее выбирается требуемый графический примитив и рисуется фигура, ячейки которой будут зафиксированы. При фиксировании ячеек их границы начинают отображаться светло-зеленым цветом.

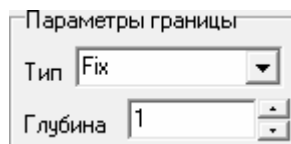


Рисунок 2.22

Приведем пример использования фиксирования ячеек. Допустим в каком-то сечении находится окружность с заданной температурой на твердой стенке. Вокруг нее необходимо нарисовать твердый прямоугольник с вырезом для этой окружности, причем диаметр выреза должен быть больше диаметра окружности. Без фиксирования пришлось бы сначала нарисовать твердый прямоугольник, который стер бы окружность, затем окружность выреза в прямоугольнике, затем снова окружность типа ThermalWall, после чего повторно задать на окружности температуру. Фиксирование ячеек упрощает эту процедуру в несколько раз. Достаточно зафиксировать окружность выреза вокруг твердой окружности с температурой, а затем нарисовать твердый прямоугольник (Рисунок 2.23).

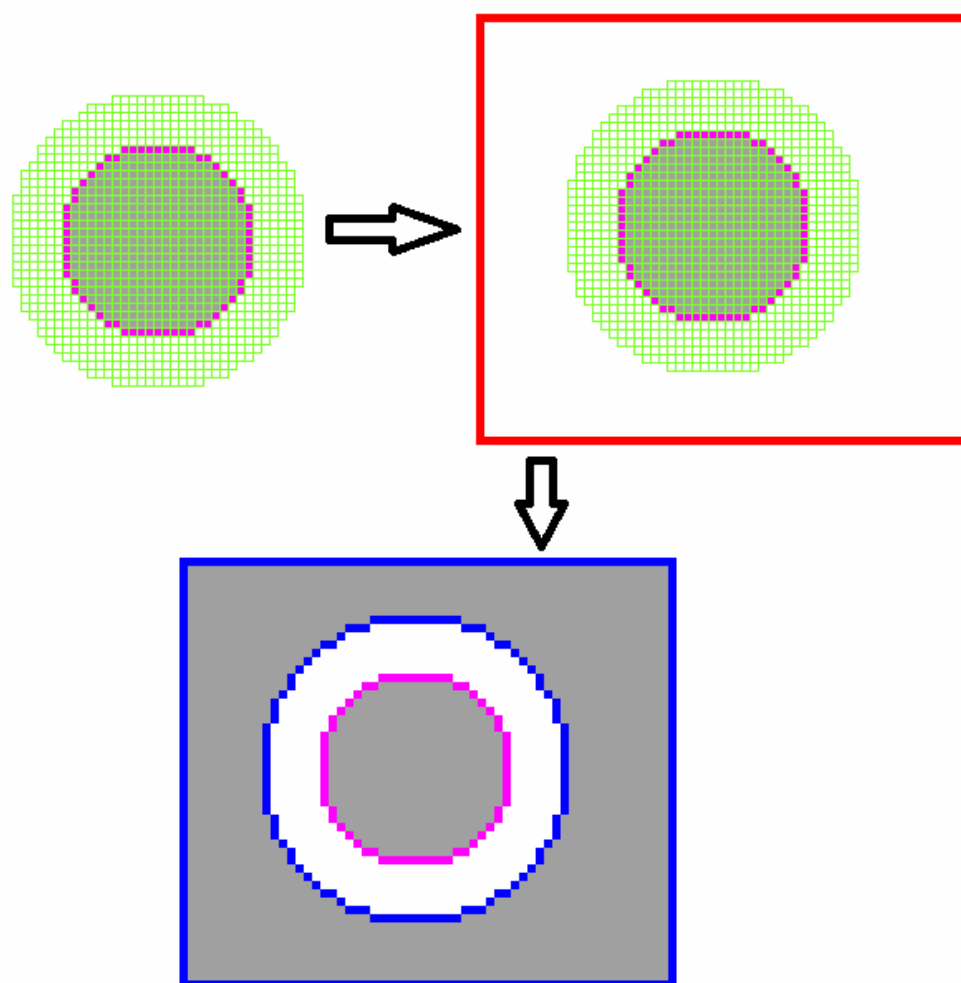


Рисунок 2.23

Расфиксирование ячеек осуществляется двумя способами. Можно выбрать на панели 7 (рисунок 2.1) в строке «Тип» слово «Unfix» и нужным геометрическим примитивом «стереть» фиксирование в требуемой области. Второй способ - нажать на кнопку . Если не произведено выделение никакой области, то при нажатии этой кнопки стирается фиксирование во всей расчетной области, если выделение было сделано, фиксирование ячеек сотрется только в выделенной области.

2.7 Маркировка ячеек

При рисовании расчетных областей, которые имеют строгие размеры, например построение расчетной области по чертежу, удобно делать разметку расчетного пространства. Разметка производится путем маркирования ячеек. Для того, чтобы начать маркировку определенной группы ячеек сначала на панели 7 (рисунок 2.21) в строке «Тип» выбирается слово «Магк», как

показано на рисунке 2.21 После этого нужно выбрать требующийся графический примитив и нарисовать фигуру, ячейки которой будут маркированы. Границы маркированных ячеек начинают отображаться голубым цветом.

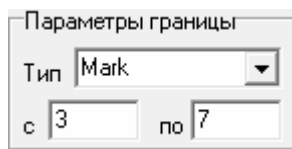


Рисунок 2.24

Кроме непосредственного рисования с помощью графических примитивов маркировать ячейки можно маркировать с помощью кнопки , которая автоматически маркирует все граничные ячейки, находящиеся в текущем сечении. Причем если отключен режим трехмерного маркирования (кнопка  находится в отжатом состоянии), то при смене номеров сечений маркирование ячеек сохраняется.

На рисунке 2.22 показан процесс маркирования граничных ячеек цилиндра в сечении вдоль его оси при отключенном режиме трехмерного маркирования. На рисунке 2.22 а) изображено исходное изображение цилиндра в сечении. На рисунке 2.22 б) изображено маркирование граничных ячеек (типа Wall), которое производится нажатием кнопки . При пролистывании сечений (рисунок 2.22 в) маркирование ячеек сохраняется. Это маркирование ячеек действует только в текущей плоскости сечения, в нашем случае плоскости параллельной осям X, Y и перпендикулярной оси Z. При переходе в другую плоскость маркирование пропадает, при возвращении – снова появляется.

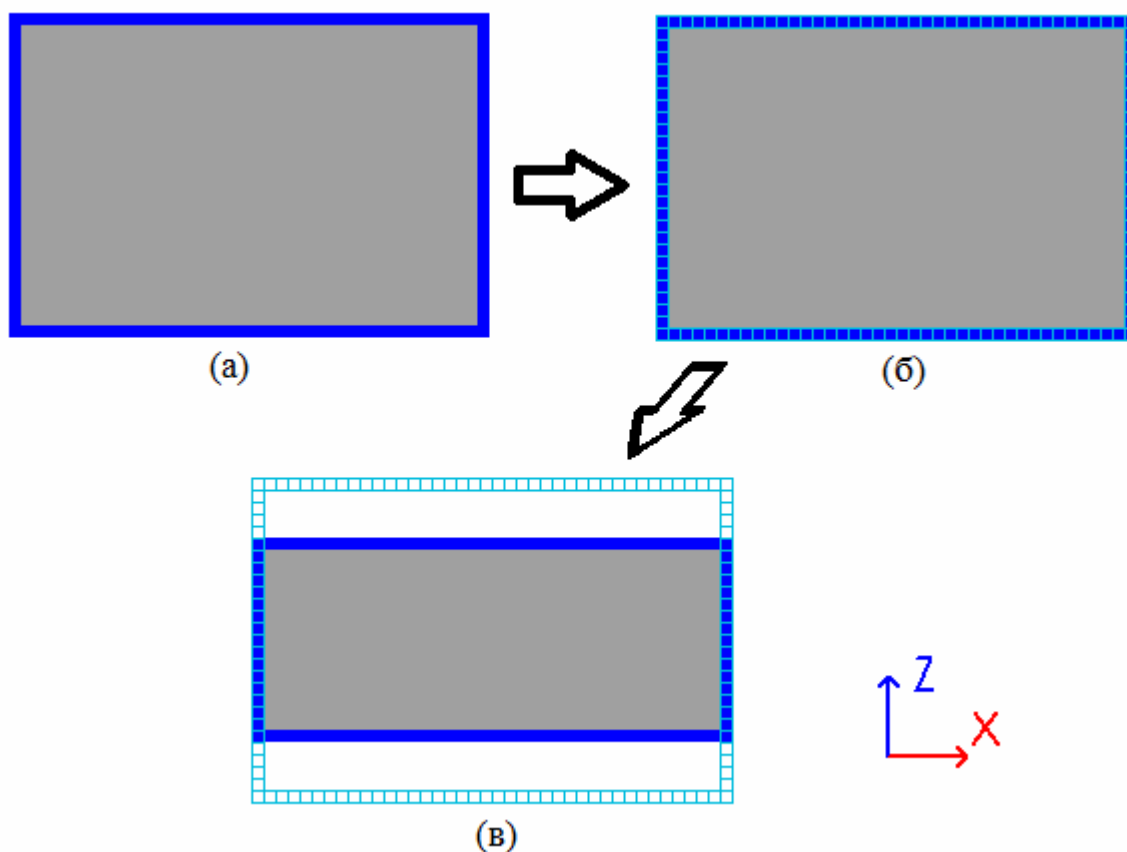


Рисунок 2.25

Такое маркирование, в частности, незаменимо в том случае, если мы рисуем какую-нибудь фигуру в одном сечении и хотим при этом видеть границы фигуры, находящуюся в другом сечении.

Если же включен режим трехмерного маркирования, то ячейки маркируются в трехмерном пространстве также, как рисуются трехмерные фигуры. При изменении сечений и плоскостей меняется и маркировка ячеек вслед за ячейками по тем же правилам, что и тип ячеек.

В этом случае, если мы маркируем граничные ячейки нажатием кнопки , то нам нужно установить глубину или интервал маркирования точно также как это делается при рисовании трехмерных фигур. Например если мы

2.8 Просмотр геометрии газодинамической задачи

2.8.1 Просмотр трехмерной расчетной области по сечениям

Управляет просмотром расчетной области по сечениям панель, отмеченная на рисунке 2.22 цифрой 3. На кнопках этой панели указаны названия осей (X, Y, Z), перпендикулярно которым строится сечение (рисунок 2.22). Напротив каждой кнопки расположено поле для введения номера ячейки по соответствующей оси, через которую пройдет сечение.

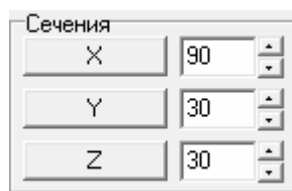
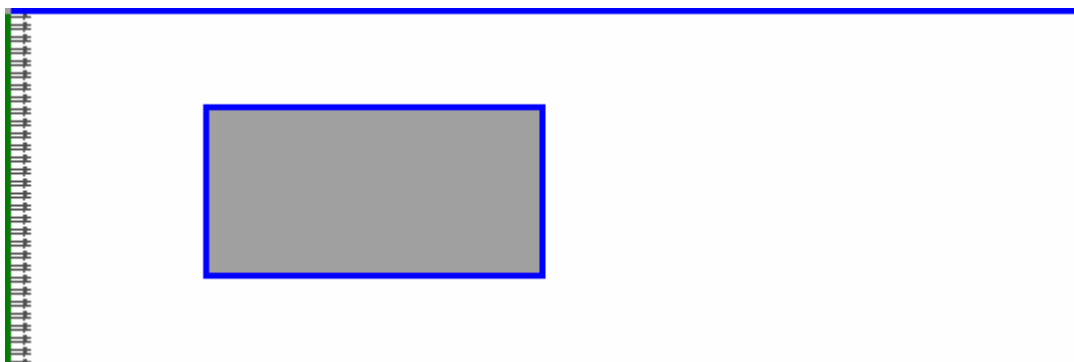
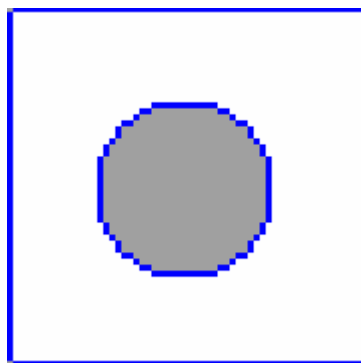


Рисунок 2.26

На рисунке 2.23 приведен пример отображения по сечениям расчетной области, в которой нарисован цилиндр.



(а) сечение вдоль оси цилиндра



(б) сечение перпендикулярно оси цилиндра

Рисунок 2.27

Пролистывать сечения можно нажатиями на стрелочки полей для ввода номеров сечений либо используя режим быстрого пролистывания, который

включается кнопкой . В этом режиме при нажатой левой кнопки мыши и перемещении курсора вверх номер текущего сечения увеличивается, при перемещении курсора вниз - номер уменьшается.

На панели «Тип отрисовки», обозначенной на рисунке 2 цифрой 4, можно выбрать для отображения в сечении тот или иной газодинамический параметр (поле проекций векторов скоростей на сечение, поле температуры, поле давления, поле плотности, поле абсолютных значений скоростей). Чтобы вызвать окно настройки отображения выбранного поля газодинамического параметра, следует нажать правую кнопку мыши. Настройке отображения векторных и скалярных параметров посвящен раздел 4.

2.8.2 Просмотр в режиме «тип ячеек»

При отображении типов ячеек в сечении каждому типу соответствует свой цвет: Gas-белый цвет, Wall- синий цвет, ThermalWall - розовый цвет, пустые ячейки - серый цвет, Inlet -зеленый цвет, Outlet - светло-зеленый цвет, Opening - голубой цвет.

На рисунке 2.28 изображена условная расчетная область.

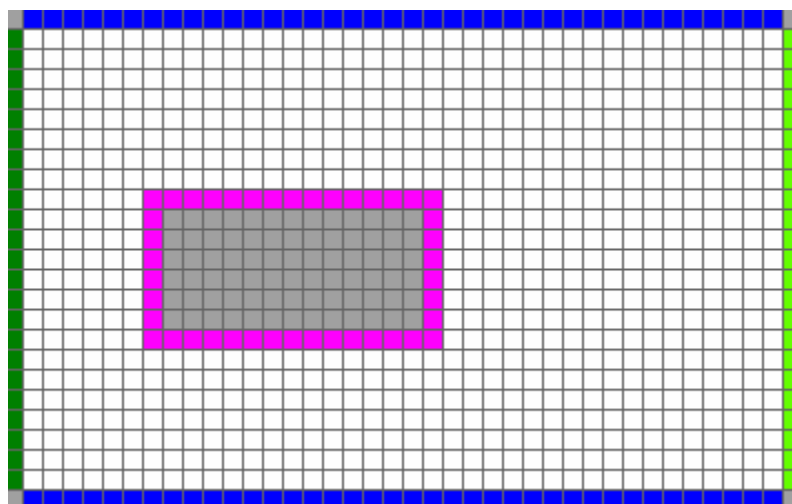


Рисунок 2.28

Здесь мы видим, что сверху и снизу область ограничивают твердые стенки, непроницаемые для тепла, им соответствуют ячейки типа Wall (синий цвет). Слева расположен вход в область, то есть место где задается поток входящего воздуха. Входу соответствуют ячейки типа Inlet (зеленый

цвет). Справа находится выход из области, через который воздух покидает область (ячейки типа Outlet светло-зеленого цвета). Белым цветом изображено пространство, в котором происходит течение воздуха (ячейки типа Gas). Розовым цветом изображены поверхности твердого тела, на которых задается температура (ячейки типа ThermalWall). Серым цветом изображены внутренние ячейки этого твердого тела. Так как эти ячейки не соприкасаются с областью, где течет газ, то они не участвуют в расчетах и поэтому называются пустыми.

2.8.3 Просмотр в режиме «Ячейки без ГУ»

Далее идет пункт «Ячейки без ГУ», он предназначен для поиска ячеек, в которых не заданы граничные условия. Расчетные ячейки (ячейки типа Simple), если в них задано начальное условие, отличное от того, которое задается по умолчанию, будут окрашены в белый цвет, если нет - то в розовый.

Если в окне «Тип ячеек» (рисунок 2.24) выбран пункт «Все типы ячеек», то граничные ячейки с установленными граничными условиями имеют черный цвет, без граничных условий - красный.

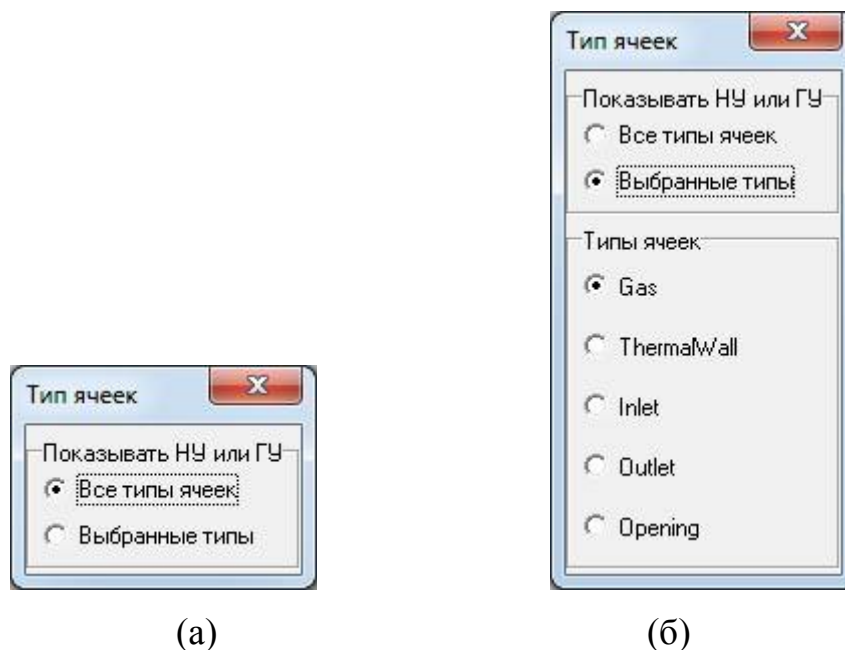


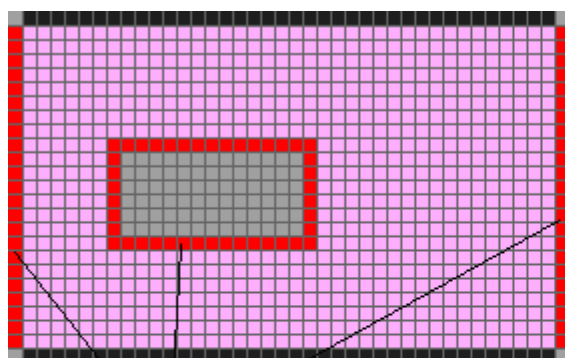
Рисунок 2.29

Если же выбран пункт «Выбранные типы», то граничные ячейки всех типов, кроме выбранного, отображаются своим цветом. Граничные ячейки

выбранного типа отображаются своим цветом, если в них задано граничное условие, и черным - если не задано.

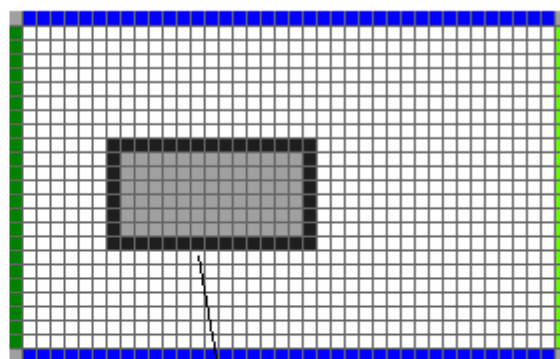
Просматривать расчетную область в режиме «Ячейки без ГУ» удобно на этапе задания сложных граничных условий, когда на разных поверхностях задаются разные температуры и разные свойства твердых материалов (при подключении задачи твердотельной теплопроводности).

Проиллюстрируем просмотр расчетной области в режиме «Ячейки без ГУ» на примере условной области, изображенной на рисунке 2.28. Пусть в этой расчетной области не задано ни одного граничного условия. Тогда, если в окне «Тип ячеек» выбран пункт «Все типы ячеек» (рисунок 2.29 а), то область будет выглядеть так, как это показано на рисунке 2.30 а).



Выделяет красным все ячейки, в которых не заданы граничные условия независимо от их типа

(а)



Выделяет черным цветом ячейки, в которых не заданы граничные условия только типа ThermalWall

(б)

Рисунок 2.30

2.8.4 Просмотр расчетной области в трехмерном виде

Для того, чтобы просмотреть расчетную область в трехмерном виде надо нажать на кнопку

На рисунке 2.31 изображено окно для трехмерного просмотра расчетной области.

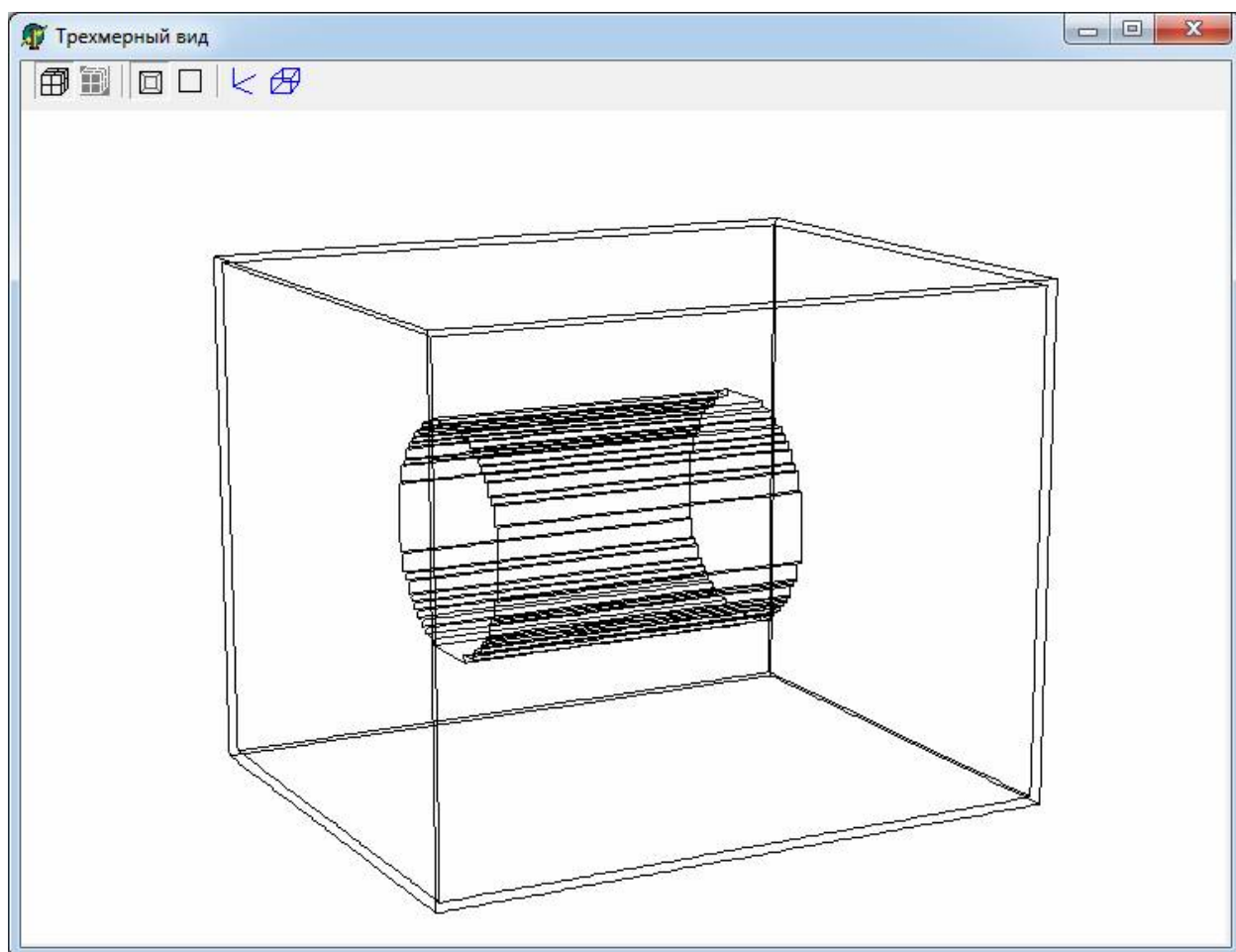


Рисунок 2.31

В окне, изображенном на рисунке 2.31, отображается расчетная область в виде параллелепипеда с твердым цилиндром в центре. Эту область можно поворачивать движением мыши с нажатой левой кнопкой.

Сбоку окна есть панель с кнопками. Эти кнопки выполняют следующие функции:

-  - включает режим белого фона.
-  - включает режим черного фона.
-  - включает перспективу.
-  - отключает перспективу.



- включает и отключает режим отрисовки осей координат.



- включает и отключает режим отрисовки границ объема, в котором находится расчетная область.

2.9 Задание дополнительных параметров газодинамической задачи

2.9.1 Начальные условия

По умолчанию, если специально не задавать начальные условия, то в начальный момент времени во всех ячейках типа Simple задается нулевая скорость, атмосферное давление (101320 Па), температура $T=288\text{ К}$ (+15 °C), плотность $\rho=1,225\text{ кг/м}^3$. Однако, если нужно задать другие начальные условия для всех расчетных ячеек, то следует выбрать пункт меню «Параметры» —> «Начальные условия». Появится окно, изображенное на рисунке 1.8, в нем можно задать требуемые начальные условия.

Если необходимо задать разные начальные условия для различных областей расчетной области, то это делается также, как задаются граничные условия, но только их надо задавать для ячеек типа Gas. Например, для моделирования распространения ударной волны, в начальный момент времени необходимо задать область с большим давлением. Пусть эта область имеет сферическую форму. Тогда в режиме редактирования границ нажимается кнопка , выделяется нужная область, затем, когда появляется окно, изображенное на рисунке 2.31 задается давление в этой области.

2.9.2 Тепловые константы

Математическая модель распространения тепла в пространстве в простейшем случае содержит два коэффициента: это коэффициент турбулентного переноса и коэффициент теплоотдачи твердых поверхностей. В более сложных случаях коэффициент теплоотдачи для границ разной формы и по-разному ориентированных в пространстве задается свой. Для

того, чтобы вызвать окно задания этих коэффициентов (рисунок 1.32), следует выбрать пункт меню «Параметры» —> «Тепловые константы...».

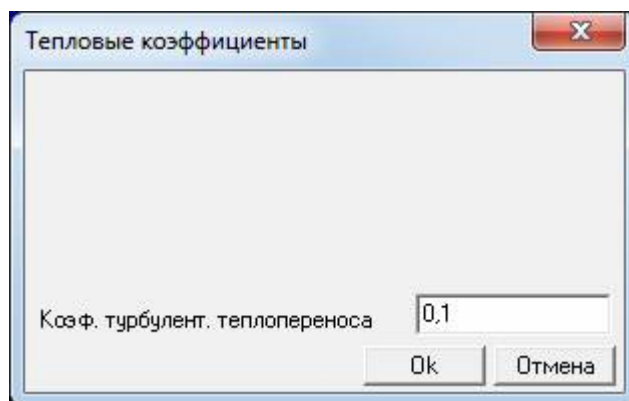


Рисунок 2.32

В этом окне можно задать значение коэффициента турбулентного переноса, по умолчанию оно равно 0,22. Также выбрать одинаковый ли коэффициент теплоотдачи будет на разных границах расчетной области. В том случае, если будет использоваться один коэффициент для всех границ, то можно задать его значение. Если будет выбран пункт «Разные значения на всех границах», то значение коэффициента теплоотдачи будет задаваться как граничное условие.

2.9.3 Смена шагов интегрирования

В программе SF Editor можно изменять значения шагов интегрирования, то есть изменять размеры расчетных ячеек и величину шага по времени. Для просмотра текущих размеров расчетной сетки необходимо выбрать пункт меню «Параметры» -> «Шаги интегрирования», появится окно, изображенное на рисунке 2.33

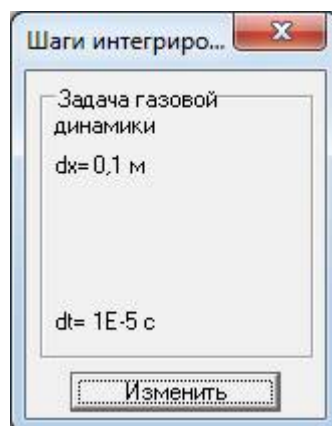


Рисунок 2.33

Если текущие размеры расчетных ячеек не устраивают, то следует нажать на кнопку «Изменить», после чего появится окно, изображенное на рисунке 2.34.

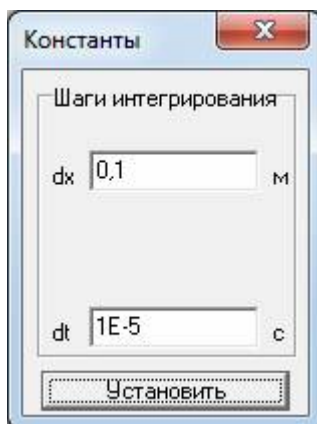


Рисунок 2.34

Здесь можно ввести новые значения шагов интегрирования.

2.9.4 Изменение размеров расчетной области

Чтобы изменить размер расчетной области, то есть размер всего расчетного пространства (количество ячеек по всем трем осям), следует выбрать пункт меню «Сервис» -> «Изменить размер...». Появится окно, изображенное на рисунке 2.35.

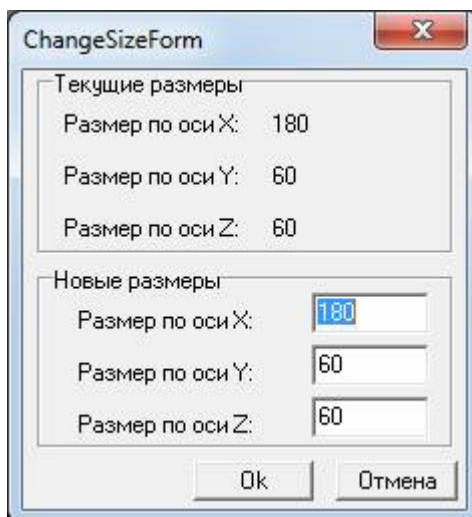


Рисунок 2.35

Здесь сверху указаны текущие размеры расчетного пространства, а снизу можно задать новые размеры.

Можно также добавить ячейки с какой-то стороны или переместить расчетную область. Это осуществляется с помощью пунктов меню, показанных на рисунке 2.36.

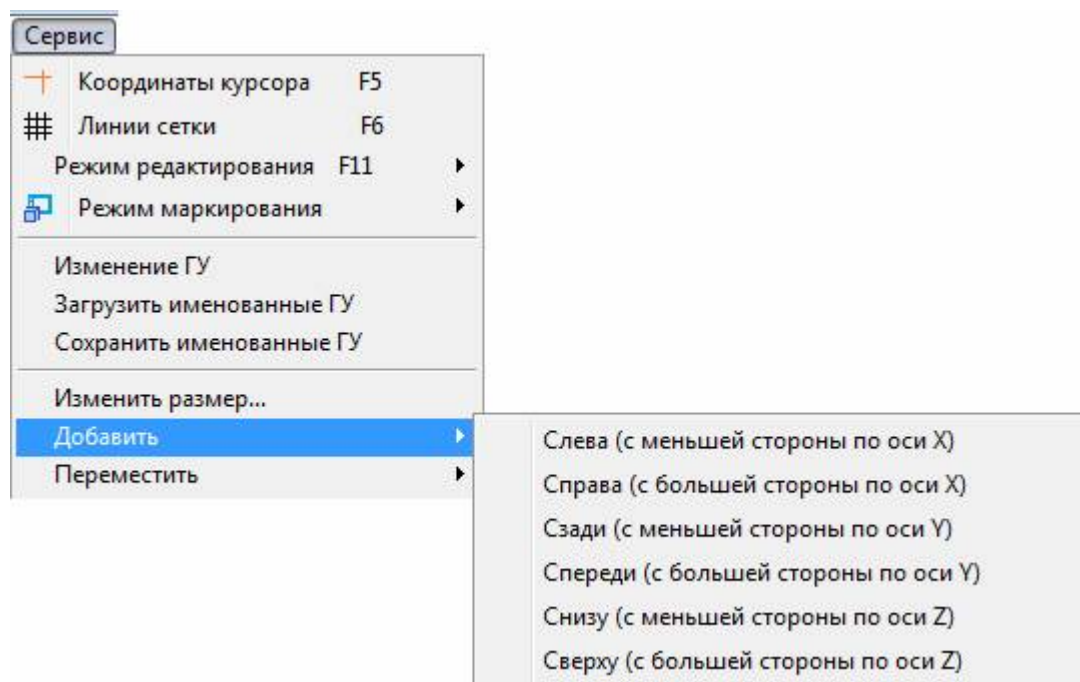


Рисунок 2.36

Ориентация в расчетном пространстве по сторонам относительно осей показана на рисунке 2.37. Выбор одной из этих сторон задает направление перемещения.

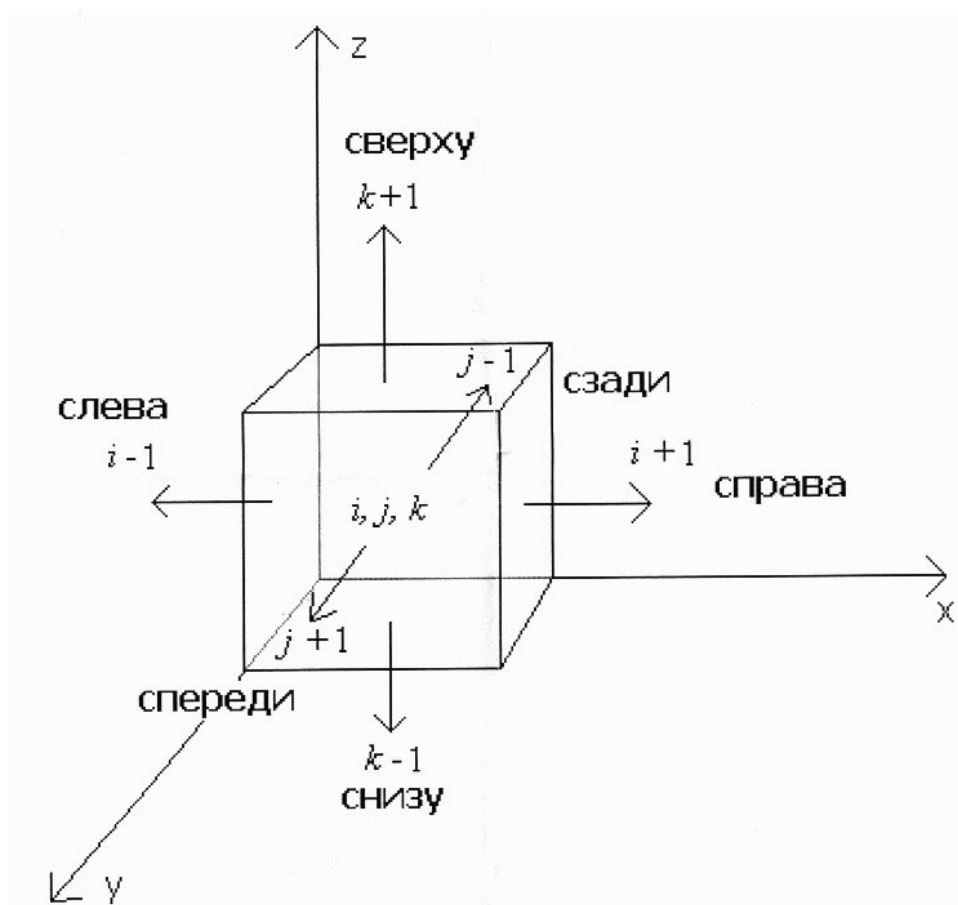


Рисунок 2.37

После того, как задано направление, появляется окно, в котором задается количество ячеек, на которое перемещается вся расчетная область.

2.10 Работа с файлами

Программа SF Editor работает с файлами геометрии расчетной области, которые имеют расширение `.rgm`. Для этого используются стандартные команды меню: «Открыть область», «Сохранить область», «Сохранить область как...» (рисунок 2.38). Файлы с расширением `.rgm` содержат только описание геометрии, граничных и начальных условий. Открывая такой файл в программе SF Editor расчетную область можно редактировать. Эти файлы имеют сравнительно небольшой размер.

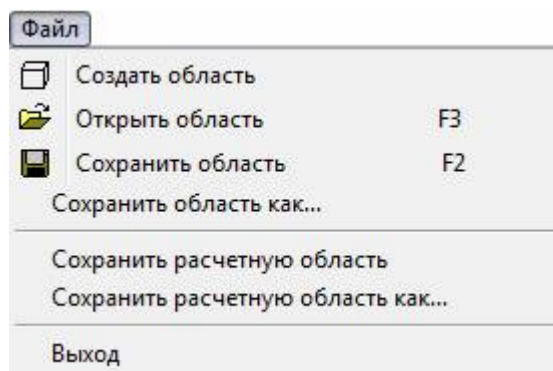


Рисунок 2.38

После окончания создания расчетной области со всеми начальными и граничными условиями необходимо создать файл с расчетными данными, который будет иметь расширение .lrd. Этот файл имеет уже гораздо больший размер и открывается в программе SF Solver. Расчетную область в этом файле редактировать уже нельзя. Для создания расчетных файлов используются команды меню «Сохранить расчетную область» и «Сохранить расчетную область как...» (рисунок 2.38).

3 StartFlow Solver

3.1 Общий вид программы

На рисунке 3.1 представлен общий вид программы SF Solver.

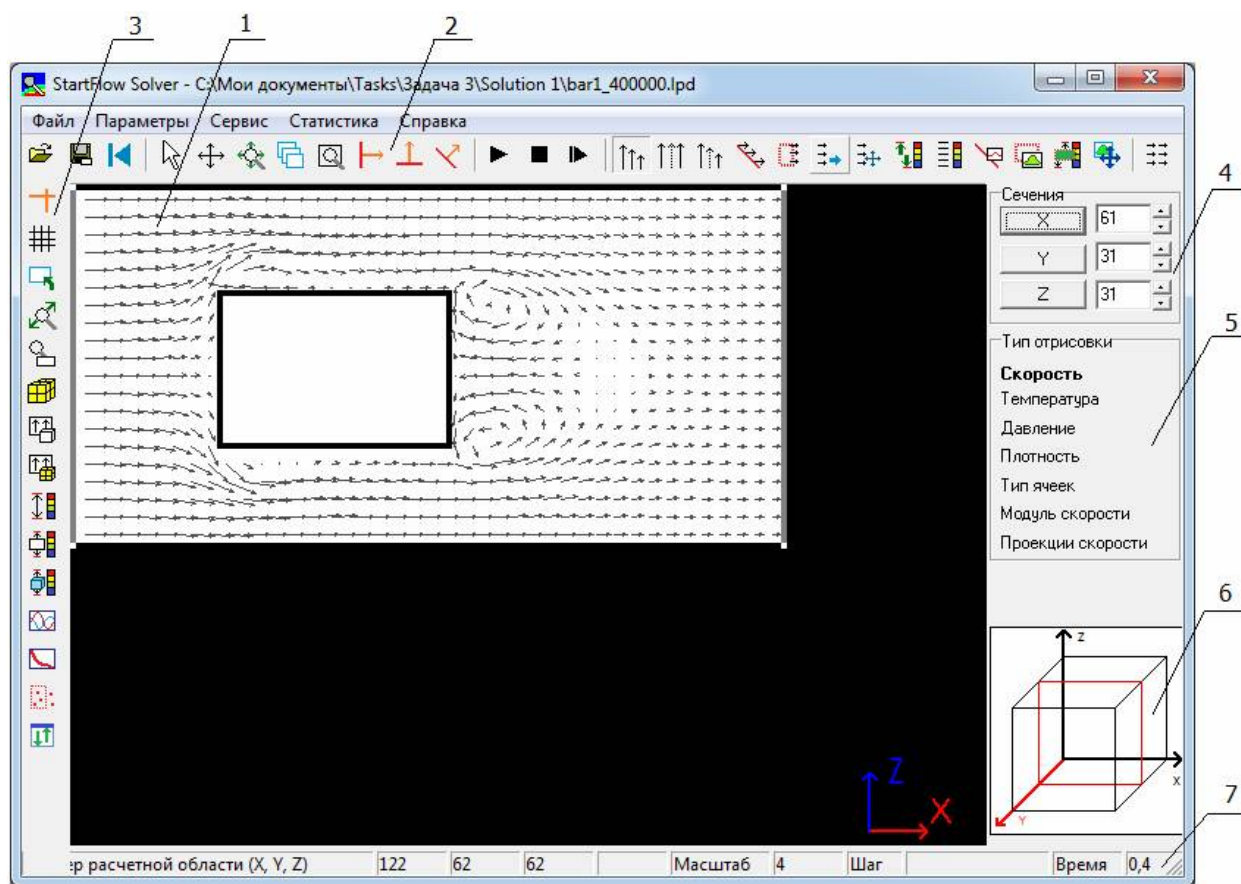


Рисунок 3.1

На рисунке 3.1 обозначены следующие элементы интерфейса:

- 1 - поле отображения сечения расчетной области;
- 2 - панель кнопок выбора режима функционирования курсора мыши и различных командных кнопок;
- 3 - панель командных кнопок;
- 4 - панель управления просмотра расчетной области по сечениям в случае трехмерной расчетной области. Кнопки «X», «Y», «Z» выбирают ось, перпендикулярно которой производится сечение расчетной области. В поле, соответствующему кнопке выбора оси задается номер сечения, то есть номер двумерного слоя ячеек.
- 5 - панель выбора полей газодинамических параметров, отображаемых на выбранном сечении расчетной области. Здесь можно выбрать отображение

векторов поля скорости, поля температуры, давления, плотности, отображение типов ячеек, а также ячеек, в которых не заданы начальные или граничные условия. При рисовании геометрии обычно используется режим отображения типов ячеек.

6- навигатор плоскостей сечений. Он показывает, какое сечение отображается в данный момент.

7- строка состояния (размеры расчетной области, масштаб, координата ячейки, на которую показывает курсор).

3.2 Функции кнопок

3.2.1 Кнопки режимов курсора мыши

На панелях 2 и 3 располагаются кнопки выбора режима функционирования курсора мыши и различные командные кнопки. Далее приведены описания этих кнопок. Кнопки выбора режима функционирования курсора мыши:

 - просмотр значений в ячейках и измерения расстояний и площадей: при нажатии левой кнопкой мыши на ячейку в специальном окне (рисунок 3.2) отобразятся значения газодинамических параметров в данной ячейке.

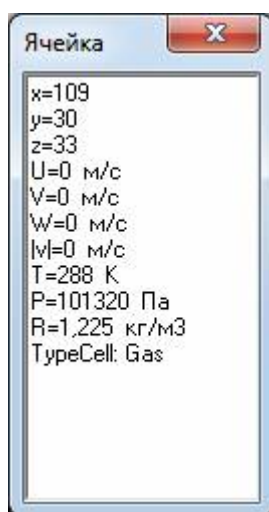


Рисунок 3.2

В данном окне отображаются координаты выбранной ячейки (x , y , z), значения компонент скорости по осям x , y , z (U , V , W), модуль скорости $|v|$,

температура T , давление P , плотность R и тип ячейки. Если тип ячейки ThermalWall и для этой ячейки задан фиксированный коэффициент теплоотдачи, то будет отображаться значения коэффициента теплоотдачи.

Перемещением мыши при нажатой левой кнопке измеряется расстояние между ячейками: появляется надпись типа: «X: 10 Z:20 L=0.5 м». Это означает, что по оси x расстояние в десять ячеек, по оси z расстояние - 20 ячеек, длина этого расстояния 0,5 м. При вычислении длины в метрах используются значения размеров ребер ячеек расчетной сетки.

Перемещением мыши при нажатой правой кнопке измеряется площадь выделяемого участка, среднее, минимальное и максимальное значения отображаемого газодинамического параметра(скорости, температуры и т.д.). На рисунке 3.3 показано как измеряются параметры по выделенной площади.

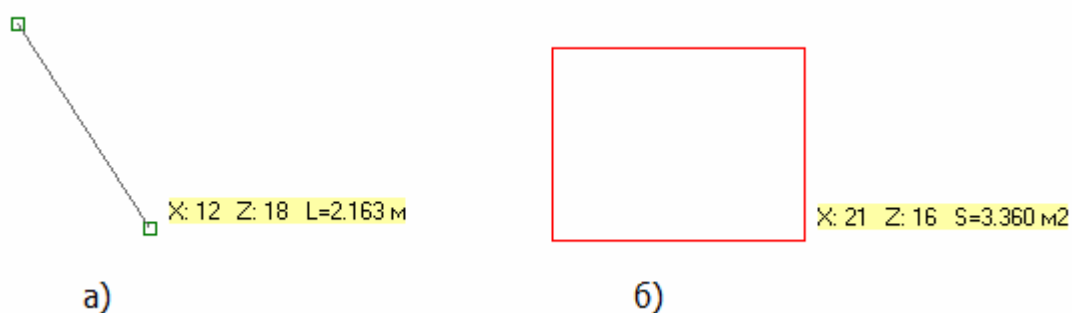


Рисунок 3.3

 - режим перемещения изображения сечения: перемещением мыши при нажатой левой кнопке перетаскивается изображение.

 - режим пролистывания сечений: при нажатой левой кнопки мыши и перемещении курсора вверх номер текущего сечения увеличивается, при перемещении курсора вниз - номер уменьшается.

 - режим увеличения изображения: при нажатой левой кнопки мыши и перемещении курсора вверх изображение увеличивается, при перемещении курсора вниз - изображение уменьшается. При этом центром увеличения является место нажатия левой кнопки.

 - режим рисования прямоугольника увеличения: область, попавшая в прямоугольник, растягивается на все окно.

 - режим вертикального сечения: при перемещении курсора мыши отображается линия вертикального сечения, при нажатии левой кнопки мыши отображается сечение, соответствующее вертикальной линии. При нажатии правой кнопки мыши сечение будет отображено в отдельном окне.

 - режим горизонтального сечения: при перемещении курсора мыши отображается линия горизонтального сечения, при нажатии левой кнопки мыши отображается сечение, соответствующее горизонтальной линии. При нажатии правой кнопки мыши сечение будет отображено в отдельном окне.

 - режим произвольного сечения: при нажатой левой кнопки мыши рисуется линия, по которой строится сечение.

 - режим рисования линии сечения: в плоскости сечения рисуется линия, по которой строится график величин отображаемого в данный момент газодинамического параметра. Подробно об этом говорится в пункте 4.2.

 - режим выделения участка расчетной области для построения трехмерного графика: выделяется прямоугольная область, по которой строится трехмерный график величин отображаемого в данный момент газодинамического параметра. Подробно об этом говорится в пункте 4.3.

 - режим выделения участка расчетной области, по которой производится калибровка шкалы: выделяется прямоугольная область, максимальное значение шкалы приравнивается максимальному значению величины отображаемого газодинамического параметра в этой области в этой области, минимальное значение шкалы - минимальному значению величины отображаемого газодинамического параметра. На рисунке 3.4 приведен пример использования этого режима.

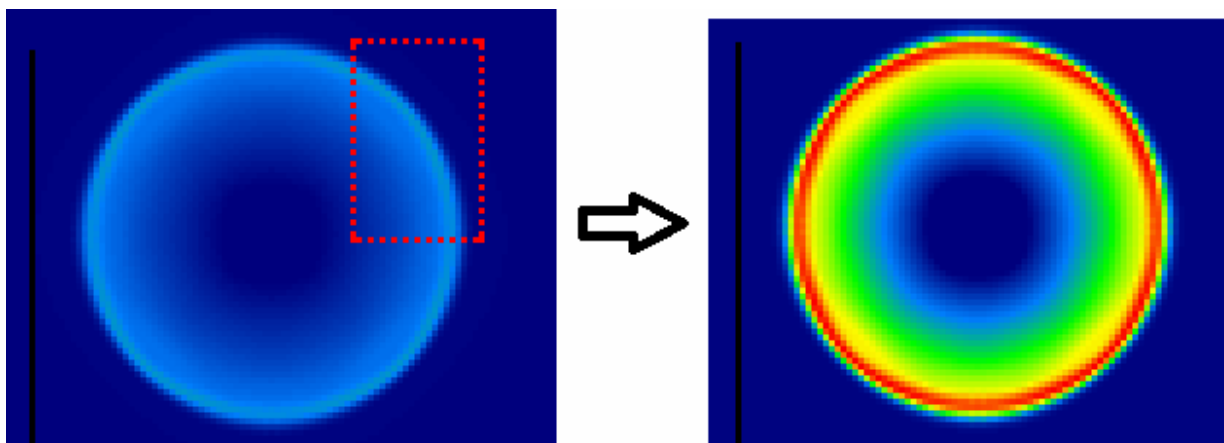


Рисунок 3.4

Из рисунка 3.4 видно, фронт ударной волны стал более выраженным за счет соответствующей калибровки шкалы.

 - режим рисования линии векторов скорости: рисуется линия, на которой отображаются вектора скорости. Если в данный момент включен режим отображения векторного поля, то вектора начинают отображаться только на этой нарисованной линии. Если в данный момент отображается скалярное поле - то на него накладывается линия векторов. На рисунке 3.5 приведен пример использования этого режима.

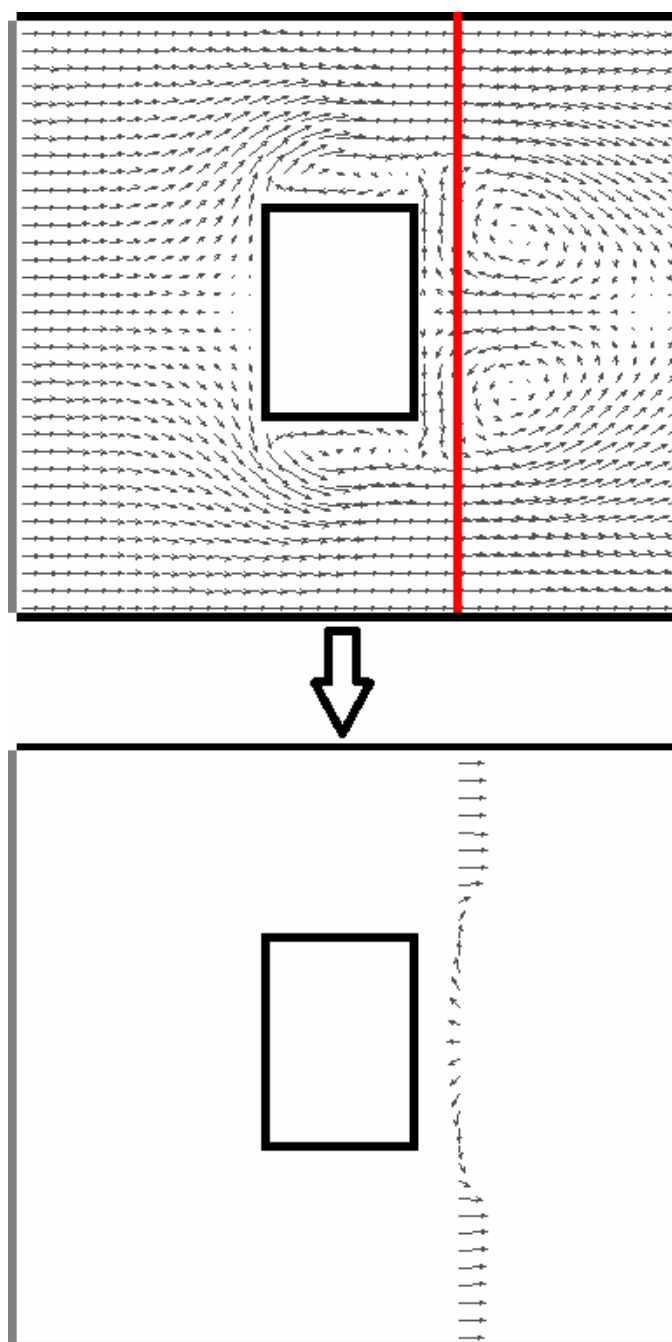


Рисунок 3.5

С помощью данного режима можно строить профили скоростей в различных проточных каналах или других расчетных областях

 - режим выделения области векторов скорости: выделяется прямоугольный участок расчетной области, на котором отображаются вектора скорости. Если в данный момент включен режим отображения векторного поля, то вектора начинают отображаться только на этом выделенном участке расчетной области. На рисунке 3.6 приведен пример использования этого режима.

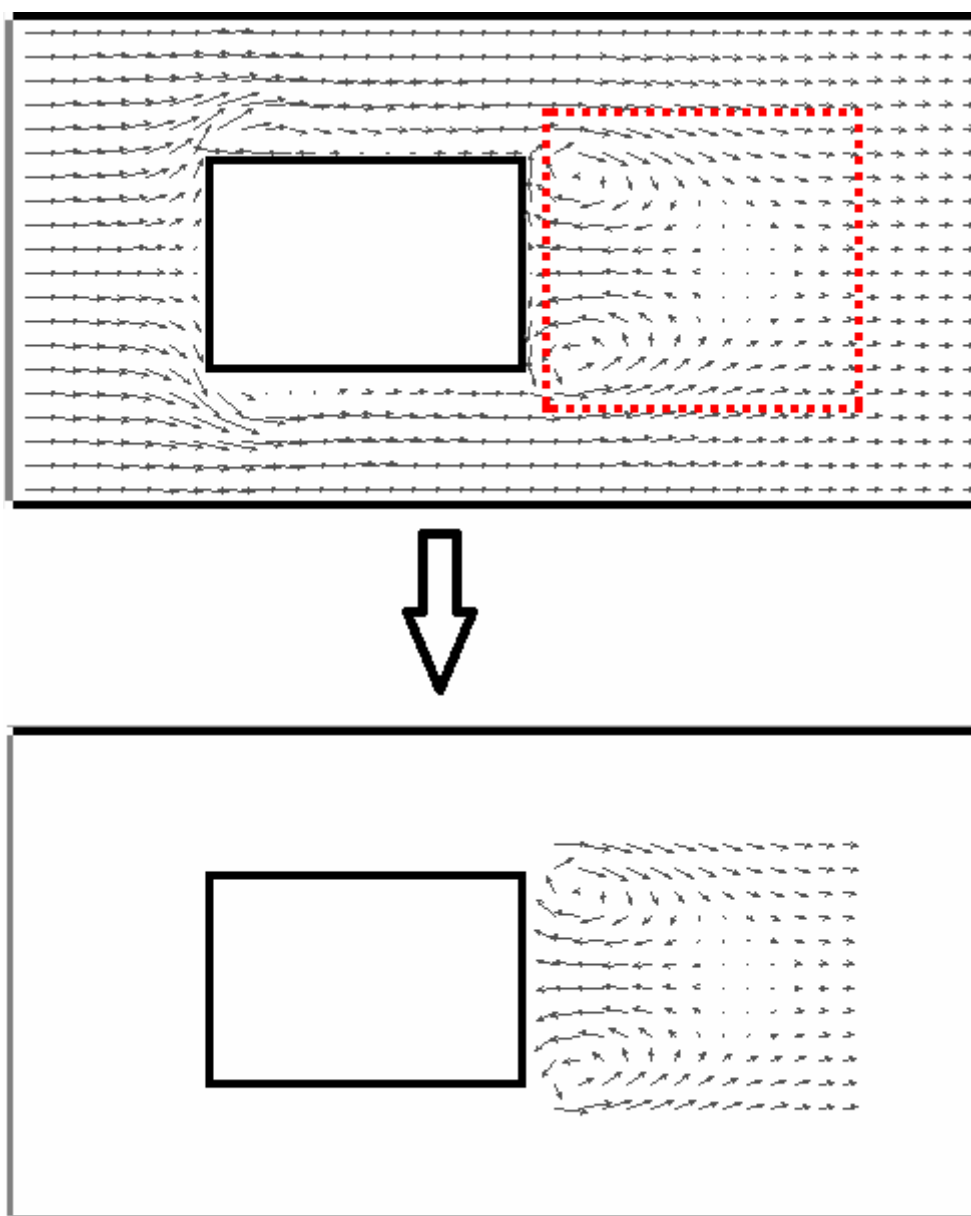


Рисунок 3.6

↑↑↑ -режим настройки отображения длины векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора вверх длины векторов увеличиваются, перемещением курсора вниз - уменьшаются. При нажатой правой кнопке мыши перемещением курсора вверх увеличивается значение минимальной скорости, вектор которой отображается, перемещением курсора вниз значение минимальной скорости уменьшается. На рисунке 3.7 приведен пример использования этого режима.

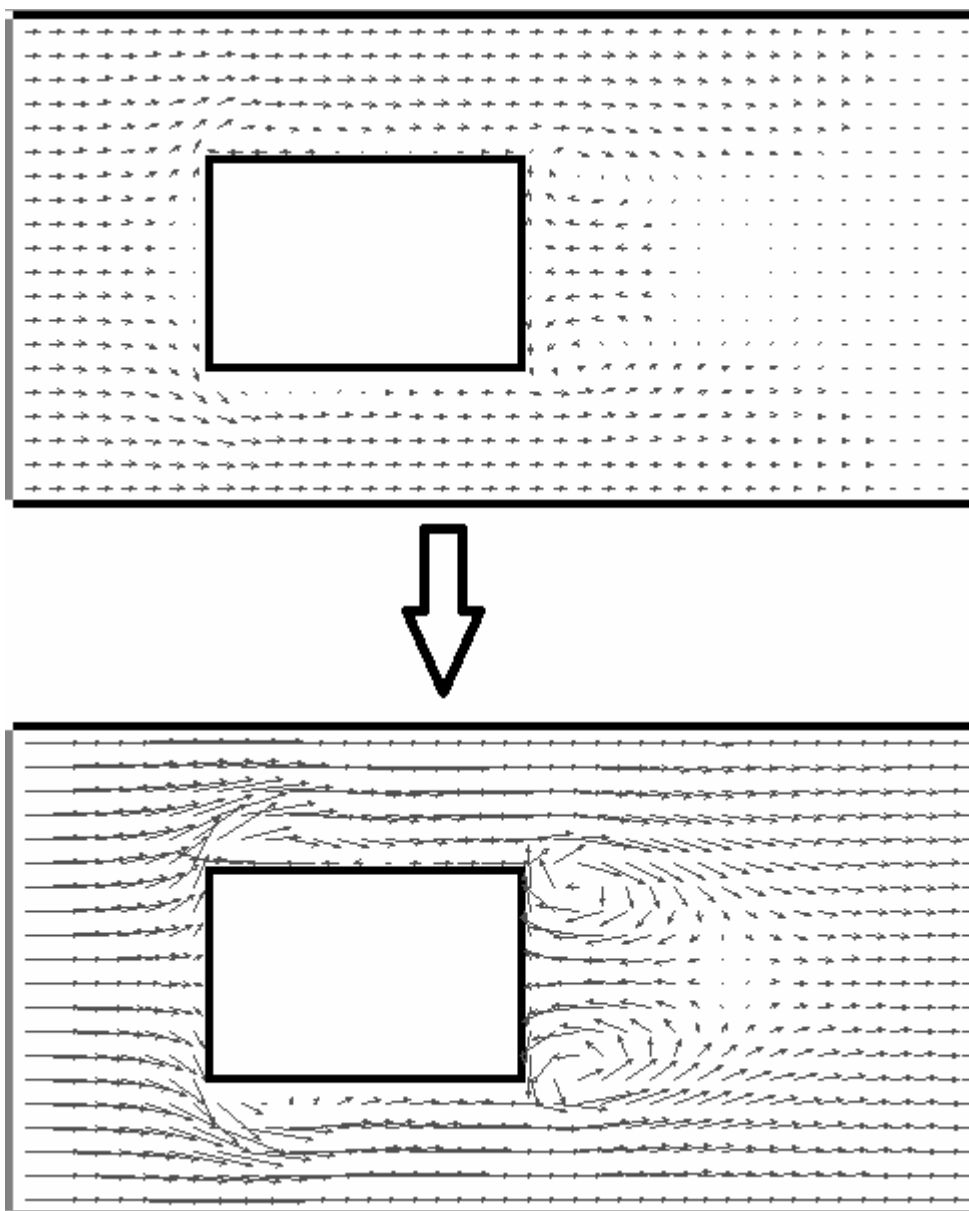


Рисунок 3.7

 -режим настройки частоты отображения векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора мыши вверх общее разрежение отрисовки векторов (то есть разрежение по обоим осям) увеличивается, при перемещении курсора мыши вниз -уменьшается. При нажатой правой кнопке мыши регулируется разрежение по осям сечения. Движение вдоль горизонтальной оси приводит к регулировке разрежения векторов по горизонтальной оси, движение вдоль вертикальной оси регулирует соответственно разрежение векторов по вертикальной оси. На рисунке 3.8 приведен пример использования этого режима.

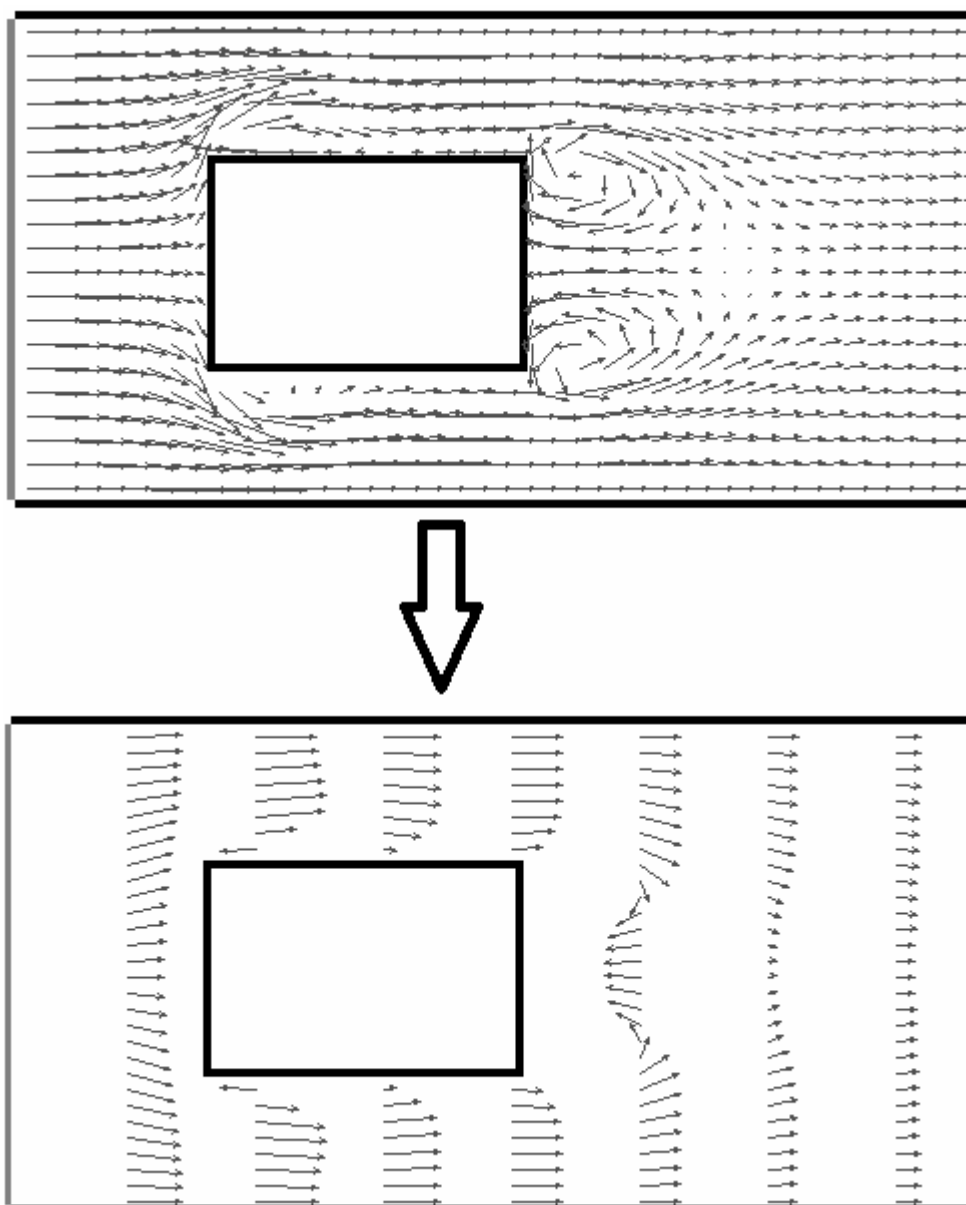


Рисунок 3.8

 -режим настройки длины и разрежения векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора регулируется длина векторов скорости, при нажатой правой кнопке мыши - разрежение.

 -режим смещения фазы разрежения: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора мыши регулируется смещение фазы разрежения по осям. Например разрежение по оси равно пяти, то есть только один из пяти векторов отображается, четыре ячейки между векторами остаются пустыми. Под фазой разрежения понимается: какой по счету из пяти векторов будет отображаться. Регулировка может переместить, например отображения с первого вектора на четвертый.

 -режим смещения области с отображением векторов. Работает только для режима отрисовки линии или области векторов.

 – включает отображение всего поля векторов.

 - режим настройки интервала шкалы: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора регулируется максимальное значение шкалы, при нажатой правой кнопке -минимальное значение шкалы. На рисунке 3.9 приведен пример использования этого режима.

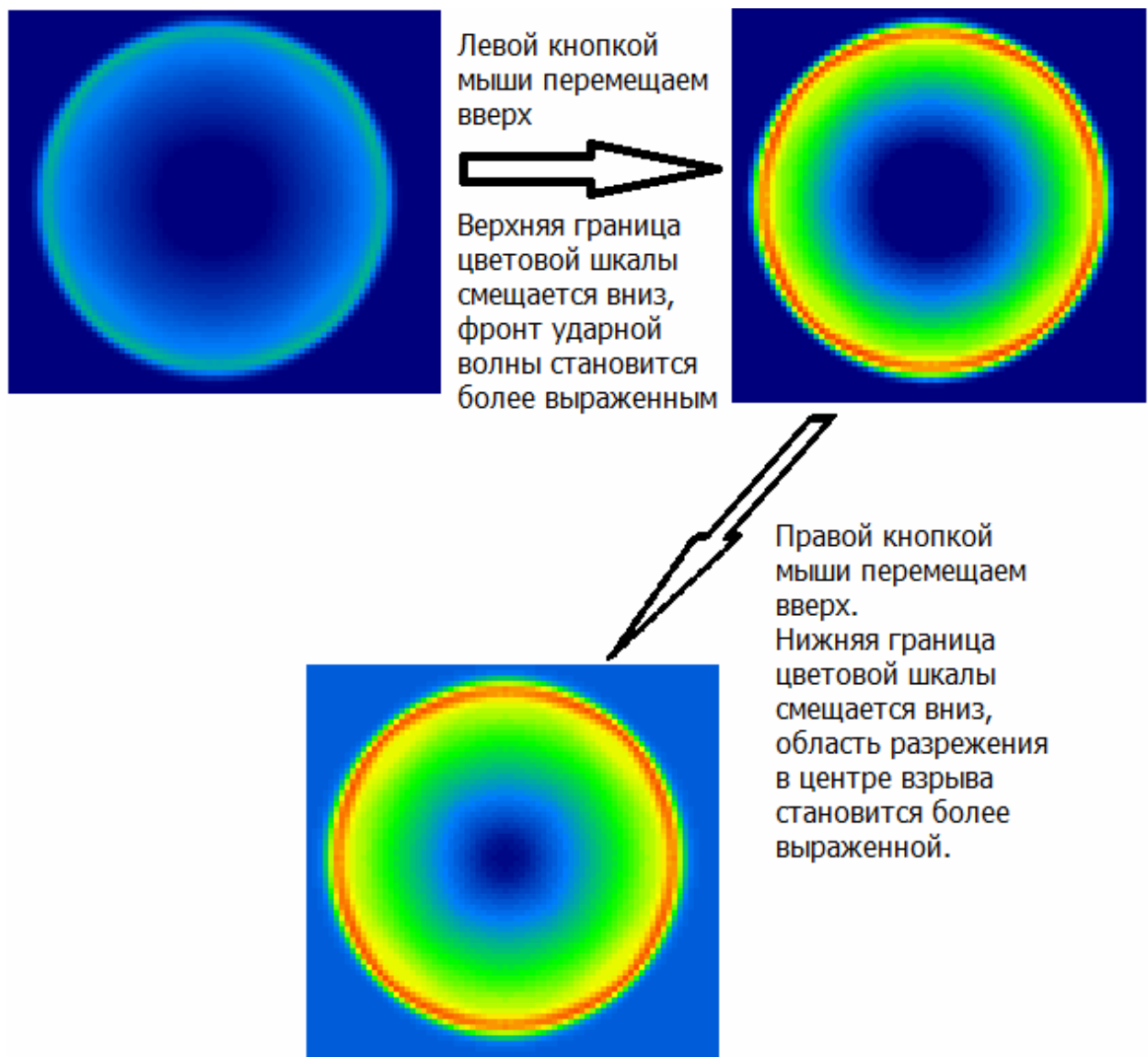
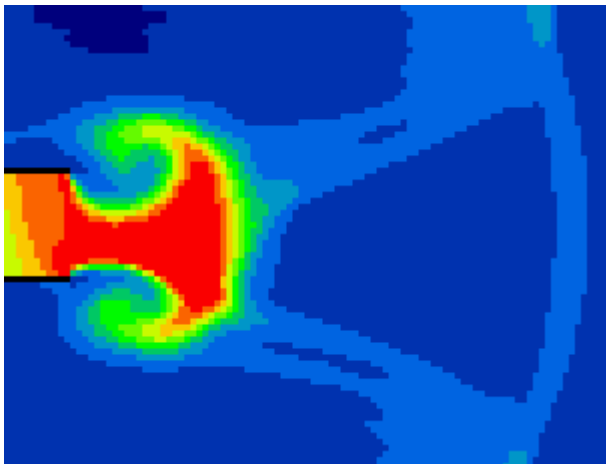
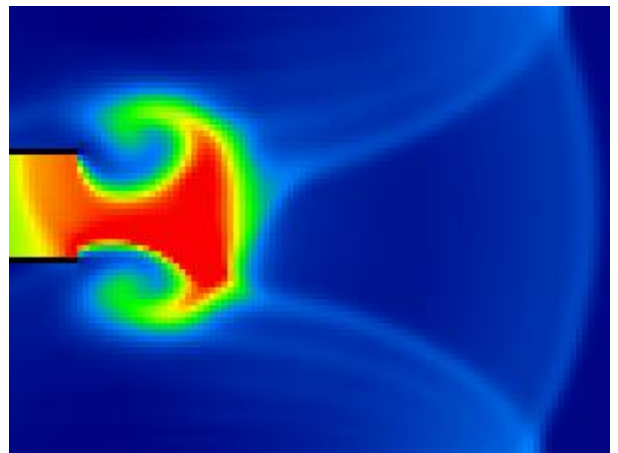


Рисунок 3.9

 -регулируется настройка количества цветовых шагов шкалы. На рисунке 3.10 приведен пример использования этого режима.



(a)



(б)

Рисунок 3.10

На рисунке 3.10 одно и то же поле температуры истекающего из резервуара горячего газа представлено с помощью интервально цветовой шкалы (рисунок 3.10 а) и сплошной шкалы (рисунок 3.10 б).

3.2.2 Командные кнопки

 – открывает файл с расчетной областью.

 - сохраняет файл с расчетной областью.

 - приводит поля газодинамических параметров в начальное состояние, то есть возвращает к изначальному загруженному файлу.

 - запускает расчет.

 -останавливает расчет.

 - запускает расчет на один шаг.

 - включает и отключает рисование линий сетки.

 - включает и отключает рисование линий координат курсора мыши.

 -показывает предыдущее сечение.

 -вмещает всю расчетную область в окно программы.

 -задает конкретное значение масштаба отрисовки.

 - выбирает режим выделения прямоугольного участка на плоскости с последующим отображением векторов скорости на этом участке в окне трехмерного изображения плоскости.

 - выбирает режим выделения прямоугольного участка на плоскости с последующим отображением векторов скорости на этом участке в окне трехмерного изображения расчетной области.

 -открывает окно трехмерного изображения расчетной области

 -калибрует шкалу по максимальному и минимальному значению текущего газодинамического параметра видимого участка расчетной области.

 -калибрует шкалу по максимальному и минимальному значению текущего газодинамического параметра во всем текущем сечении.

 -калибрует шкалу по максимальному и минимальному значению текущего газодинамического параметра во всей трехмерной расчетной области.

 -открывает окно вызова графиков статистик (о статистиках написано в разделе 6.1).

 -открывает окно вызова графиков установления (о графиках установления написано в разделе 6.2).

 -открывает окно визуализации координат статистик

 – обновляет поле газодинамического параметра.

3.3 Проведение газодинамических расчетов

3.3.1 Запуск и остановка расчетов

Все газодинамические процессы в программе SF Solver рассчитываются как нестационарные. То есть с момента запуска расчета начинается моделирование эволюции полей газодинамических параметров (скорости, температуры, давления, плотности) с течением времени. Так, например, можно смоделировать процесс распространения ударных волн в пространстве.

Расчет нестационарного газодинамического процесса можно продолжать сколь угодно долго. Остановить расчет также можно в любой момент.

Если нужно стационарное решение краевой газодинамической задачи, то нужно продолжать расчет нестационарного процесса, пока тот не установится. Для того, чтобы определить момент выхода на стационарный режим, обычно используют критерии установления. Следует отметить, что не все газодинамические процессы выходят на стационарный режим, в таких случаях под установлением понимают установление по какому-то одному специально заданному параметру. Способы задания критериев установления описаны в разделе 5.

Для того, чтобы запустить расчет газодинамического процесса, следует нажать кнопку . Кнопка  запускает один шаг вычислений, после чего они останавливаются. Для остановки вычислений следует нажать кнопку .

3.3.2 Настройка расчетного процесса

Иногда бывает нужно провести расчеты до определенного момента времени или определенное количество шагов. По истечении указанного интервала расчет должен автоматически остановиться. Программа SF Solver дает такую возможность. Для этого нужно вызвать окно соответствующих настроек (рисунок 3.11), выбрав пункт меню «Параметры» —> «Расчетный цикл...».

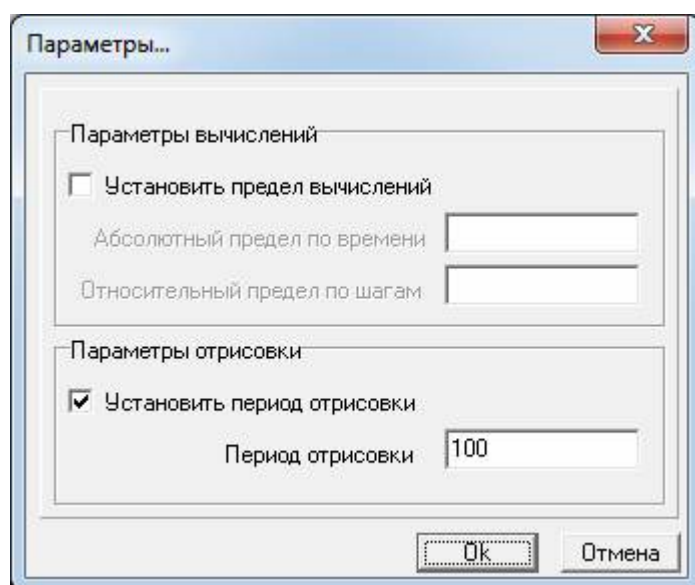


Рисунок 3.11

Абсолютный предел по времени означает, что по достижении расчетного времени предельной величины расчет останавливается и больше не может быть запущен до изменения этой предельной величины или до отключения предела по времени. Относительный предел по шагам в свою очередь означает, что, когда количество шагов интегрирования доходит до указанного предела расчет останавливается, но может быть снова запущен нажатием кнопки.

Расчет снова остановится, когда количество шагов интегрирования с момента предыдущей остановки достигнет предельной величины.

Также в этом окне указывается период отрисовки, то есть отображения поля выбранного газодинамического параметра.

3.3.3 Задание параметров расчетов

Окно задания параметров расчетов вызывается пунктом меню «Параметры» —> «Параметры вычислений...» (рисунок 3.12).

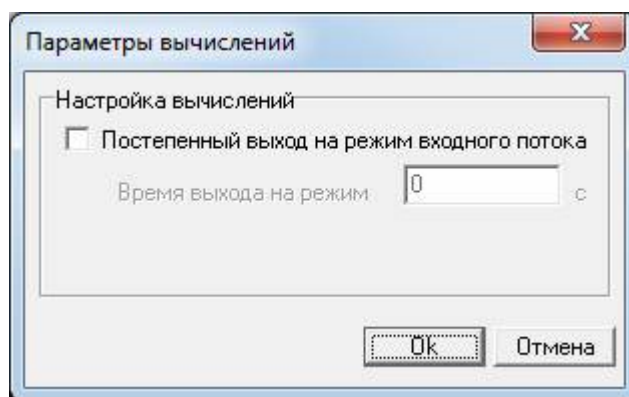


Рисунок 3.12

Окно содержит следующие настройки вычислений:

- «Постепенный выход на режим входного потока» - скорости входного потока в течении начального указанного промежутка времени линейно меняются от нуля до своей номинальной величины, заданной в программе SF Editor. Без этого невозможно обойтись в тех случаях, когда поле давления трудно устанавливается и надо минимизировать начальные возмущения давления, которые происходят вследствие резкого появления скоростного напора на входе, когда в самом пространстве еще отсутствует поле скорости.

Здесь же можно задать и время выхода на режим, в течение которого скорость примет номинальное значение.

3.4 Работа с файлами

3.4.1 Автозагрузка и автосохранение

Загрузка и сохранение расчетных файлов производится с помощью стандартных команд меню: «Открыть», «Сохранить», «Сохранить как...».

Кроме того, есть возможность настройки автозагрузки и автосохранения расчетных файлов. Автозагрузка подразумевает автоматическую загрузку указанного файла и начало расчета при запуске программы. В этом случае, поместив программу в автозагрузку Windows, можно запускать расчеты простым включением компьютера. На рисунке 3.13 показана форма задания автозагрузки (вызывается командой меню «Файл» —> «Автозагрузка...»).

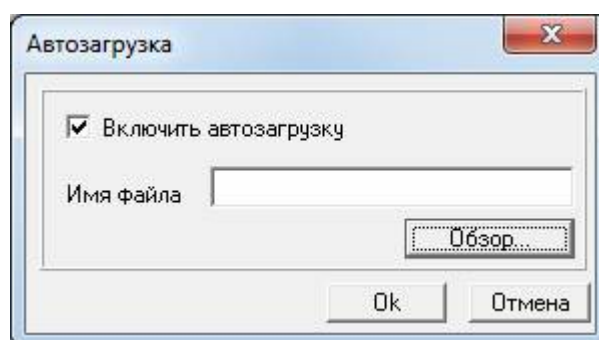


Рисунок 3.13

На рисунке 3.14 показано окно настройки автосохранения (вызывается командой меню «Файл» —> «Автосохранение...»).

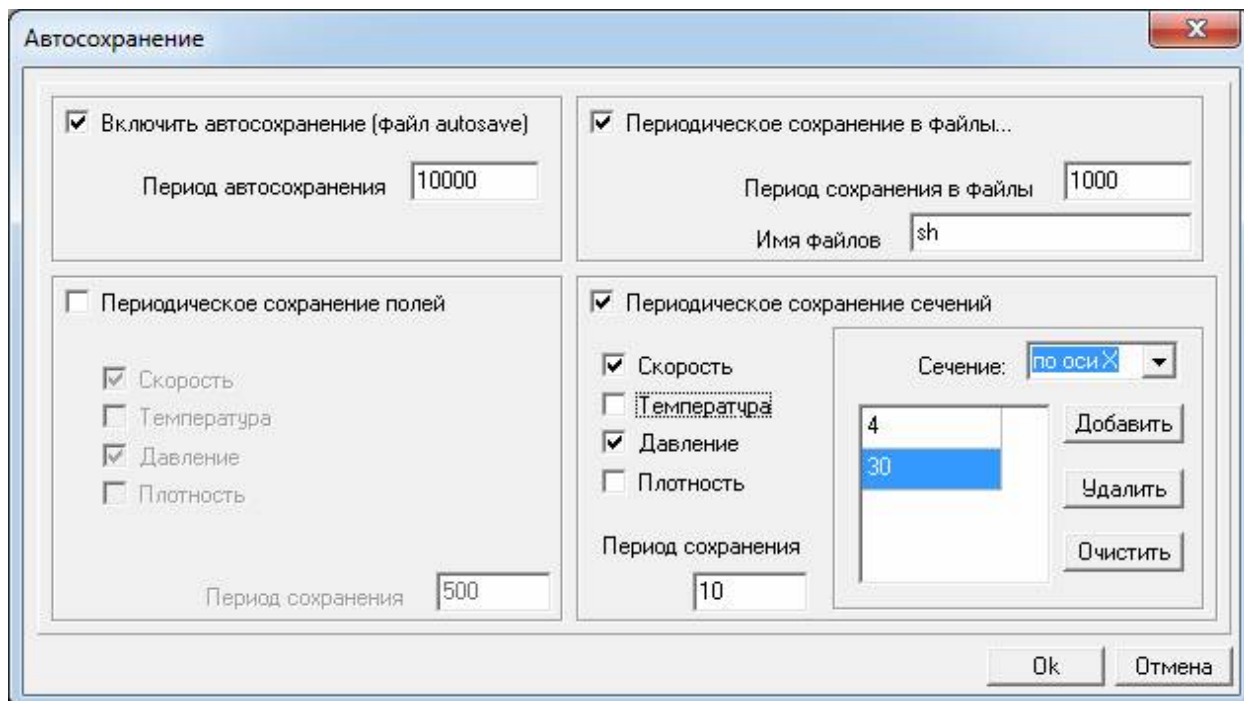


Рисунок 3.14

Здесь можно настроить различные виды автосохранения с их периодами. Под периодом понимается количество шагов интегрирования по времени, через которые происходит сохранение в файл.

Виды автосохранения:

- пункт «Включить автосохранение (файл autosave)»: данные периодически сохраняются в один и тот же файл с именем autosave, используется для предупреждения потери данных при аварийном сбое электропитания компьютера;

- пункт «Периодическое сохранение в файлы...»: данные периодически сохраняются в файл, при каждом сохранении создается новый файл, к его основному названию прибавляется время сохранения, используется для того, чтобы можно было проследить эволюцию полей газодинамических параметров с течением времени;

- пункт «Периодическое сохранение полей»: периодически сохраняются поля выбранных газодинамических параметров, используется для сохранения эволюции полей наиболее важных газодинамических параметров.

- пункт «Периодическое сохранение сечений»: периодически сохраняются данные в выбранных сечениях, используется для сохранения эволюции полей наиболее важных газодинамических параметров в наиболее показательных сечениях.

Поля сохраняются в файлы с расширением .fid, а сечения - в файлы с расширением .sen. Просматривать сохраненные поля и сечения можно в программе SF Solver.

3.4.2 Сохранение отдельных полей газодинамических параметров и их замена

В программе SF Solver можно сохранять и загружать не только поля газодинамических параметров целиком, но и отдельные поля, например, только поле температуры или только поле скоростей. Также можно сохранять данные в сечениях. Сохранения полей отдельных газодинамических параметров и твердотельной температуры, а также данных в отдельных сечениях можно осуществить с помощью следующих команд в меню «Файл»: «Сохранить поле», «сохранить сечение». Загрузка полей производится с помощью команды «Файл» —> «Загрузить поле».

При сохранении поля или сечения появляется окно, в котором нужно указать какие именно газодинамические параметры нужно сохранить (рисунок 3.15).

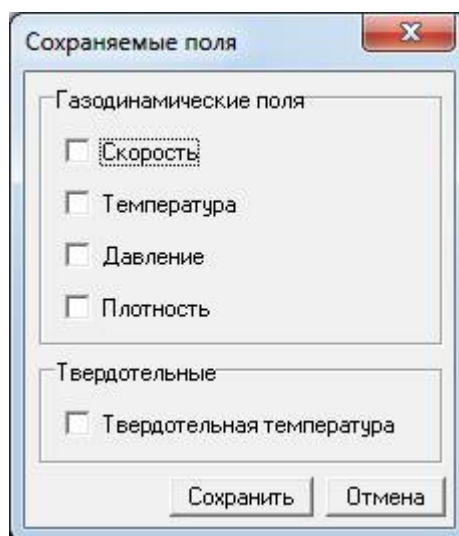


Рисунок 3.15

Иногда бывает необходимо загрузить поле, смещенное относительно текущей расчетной области на несколько ячеек. Часто такая ситуация возникает при добавлении к задаче газовой динамики задачи твердотельной теплопроводности, которая часто требует введения дополнительного слоя ячеек, вследствие чего происходит смещение геометрии расчетной области.

3.4.3 Сохранение отдельных сечений газодинамических параметров

В SF Solver предусмотрено не только автоматическое сохранение сечений во время вычисления, но и ручное. В ручную сечение сохраняется с помощью команды меню «Файл» —> «Сохранить сечение...». При этом также как и при сохранении поля появится окно выбора газодинамических параметров, подлежащих сохранению, показанное на рисунке 3.15.

4 Просмотр результатов расчетов

4.1 Настройка отображения результатов расчета

Настройка отображения применяется не только для просмотра результатов расчета в программе SF Solver, но и для просмотра граничных и начальных условий в программе SF Editor. Поэтому процедура настройки этого отображения в целом одинакова для всех вышеперечисленных трех программ, за исключением некоторых деталей.

4.1.1 Общие настройки отображения

Окно общих настроек отображения вызывается выбором пункта меню «Параметры»—>«Общие параметры отображения» или нажатием кнопки F8 (Рисунок 4.1).

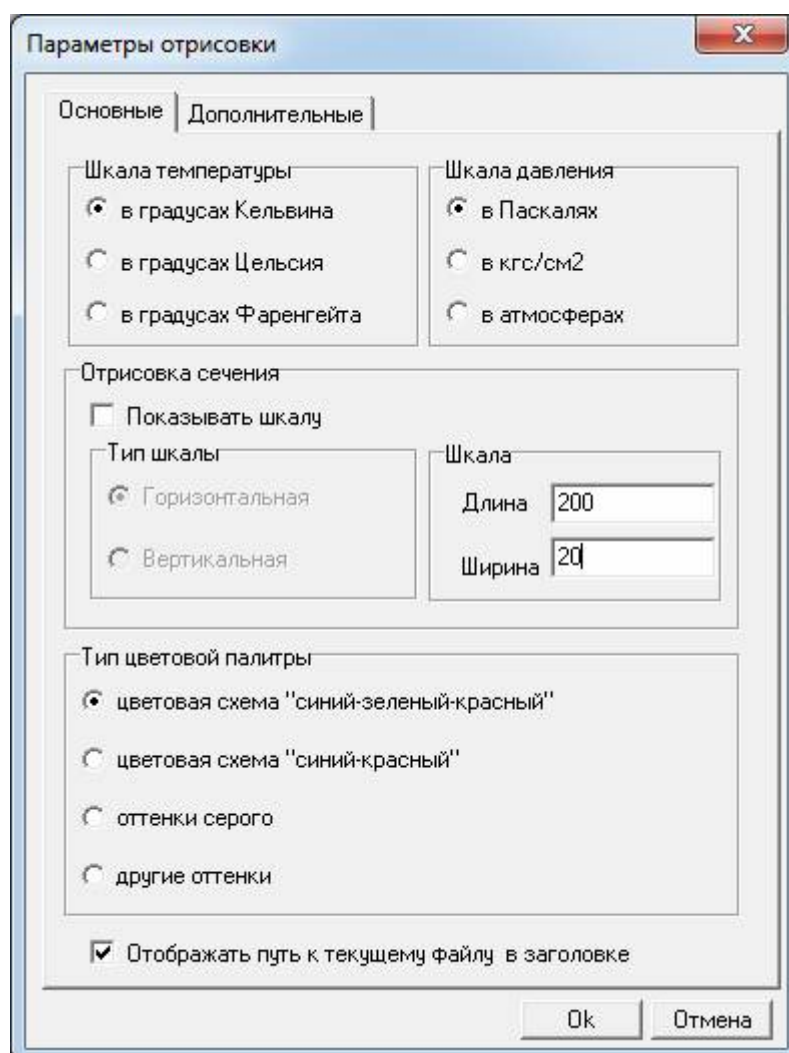
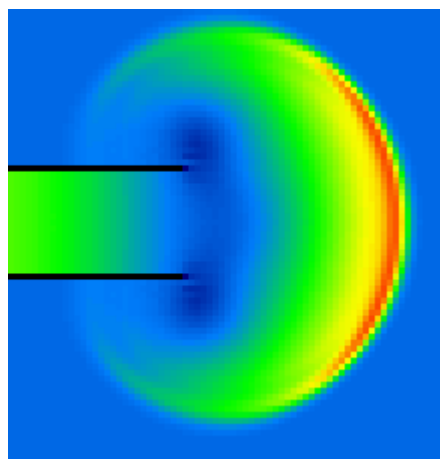
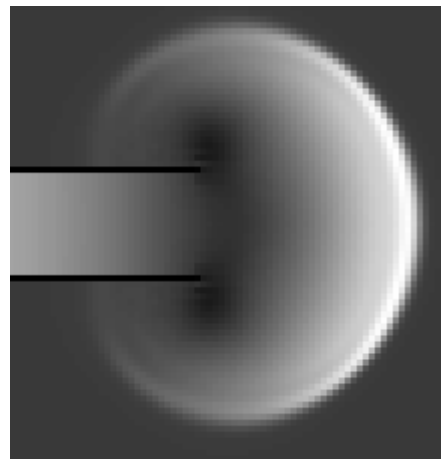


Рисунок 4.1

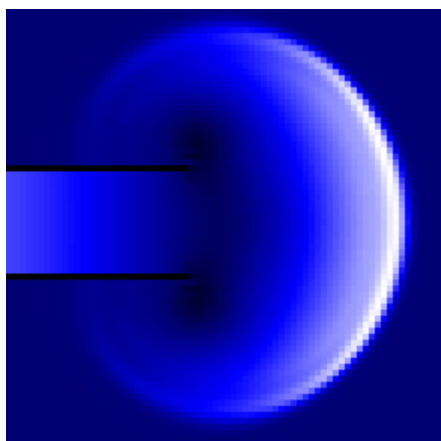
В этом окне можно настроить единицы измерения температуры и давления, тип и размеры шкалы, цветовую палитру шкалы. По умолчанию стоит цветовая схема «синий-зеленый-красный». На рисунке 4.2 проведены примеры отображения одного и того же поля (поля давления) с использованием разных палитр.



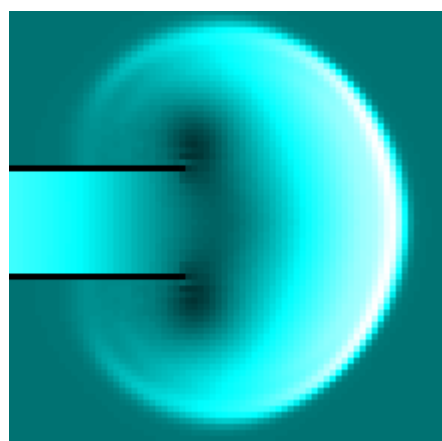
(a)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 4.2

Однако при отображении полей значений компонент скоростей часто возникают отрицательные величины. При отображении полей с положительными и отрицательными значениями удобно использовать цветовую схему «синий-красный» (рисунок 4.3).

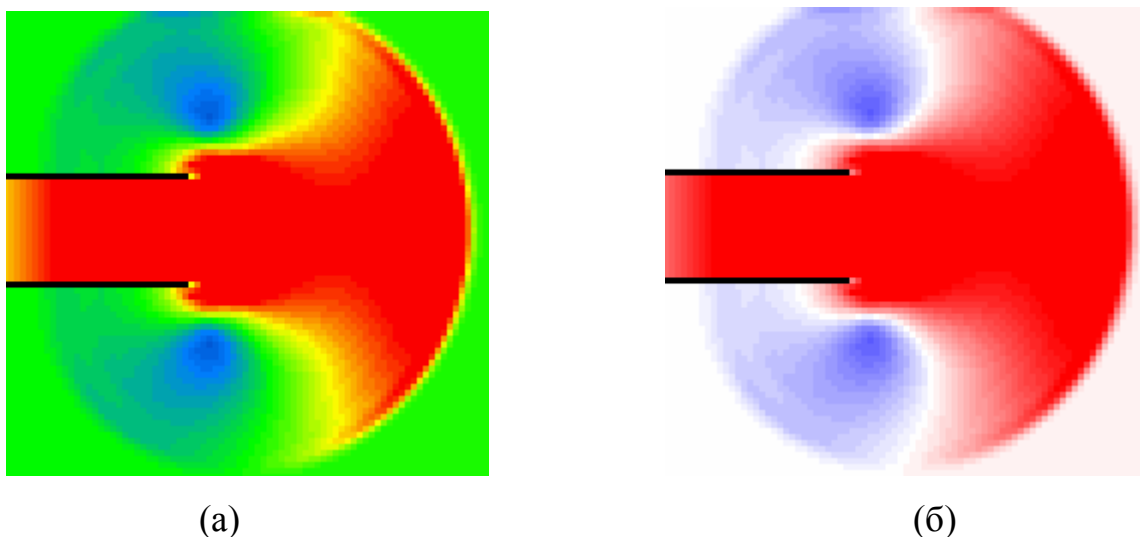


Рисунок 4.3

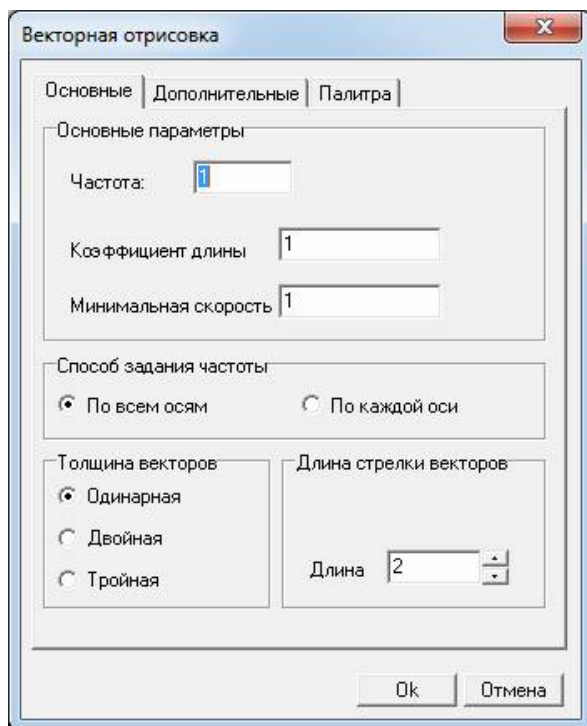
На рисунке 4.3 изображены значения проекции скорости на ось X . Шкала «синий-красный» (рисунок 4.3 б) дает наглядное представление о том, в каком месте газ течет вдоль оси X (красный цвет), а в каком – в обратном направлении (синий цвет). Области с нулевой скоростью в направлении оси X обозначены белым цветом.

Если требуется в дальнейшем печатать изображения поля какого-либо скалярного параметра на черно-белом принтере, то лучше всего использовать цветовую схему «оттенки серого».

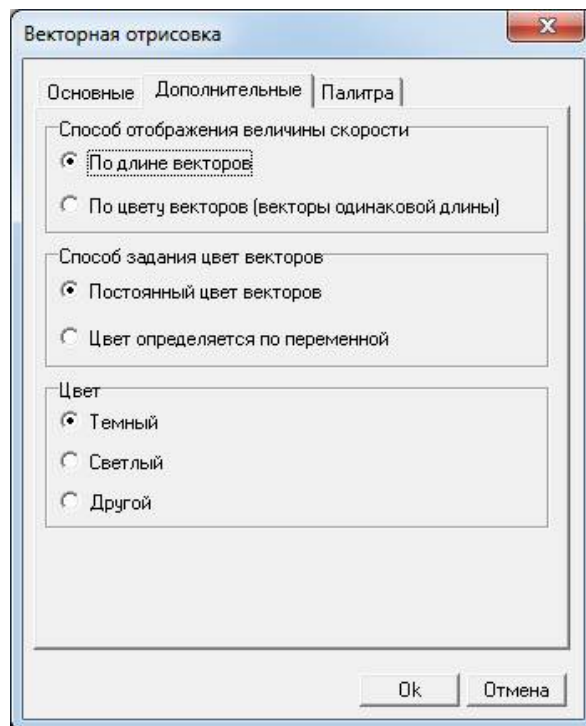
Во вкладке «Дополнительно» можно настроить цветовые параметры отображения твердых границ и пустых ячеек.

4.1.2 Настройка отображения векторов скорости

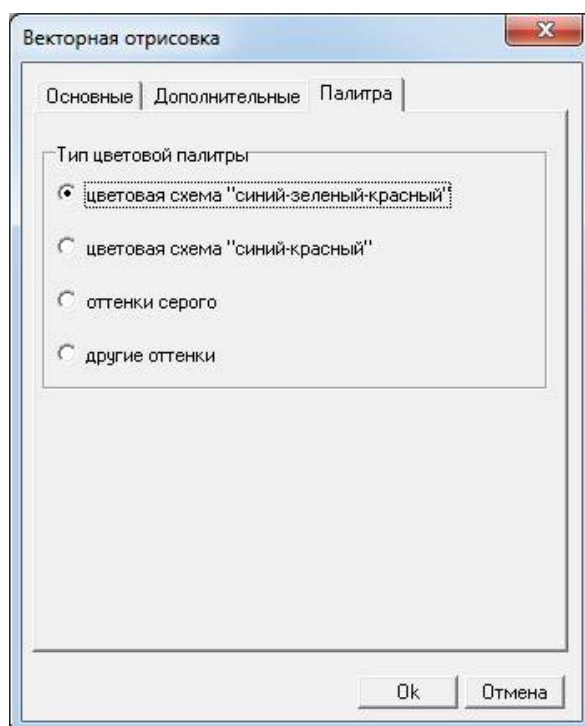
Если на панели главного окна «Тип отрисовки» выбрать пункт «Скорость», то отобразятся проекции векторов поля скорости на выбранное сечение расчетной области. На рисунке 4.3 показан пример такого поля. Для удобства восприятия векторного представления в зависимости от задачи, имеющей свои характерные величины модулей скорости, и от расчетной сетки необходимо задать частоту отображения векторов в расчетных ячейках и длину этих векторов. Для этого нажатием правой кнопки мыши вызывается специальное окно (рисунок 4.4).



(а)



(б)



(в)

Рисунок 4.4

На вкладке «Основные» (рисунок 4.4 а) задаются такие параметры векторного поля, как частота отображения векторов (по одной или по двум осям), коэффициент длины векторов, значение минимально отображаемой скорости, толщина векторов и длина стрелки векторов.

На вкладке «Дополнительные» (рисунок 4.4 б) задаются цветовые свойства векторов. На панели «Способ отображения величины скорости» можно выбрать два способа отображения величины скорости

- по длине векторов, этот способ предусматривает, что более большой по модулю скорости соответствует более длинный вектор, а более маленькой - более короткий вектор;

- по цвету векторов, данный способ предусматривает, что все вектора отображаются одинаковой длиной, их геометрия иллюстрирует только направления скорости. Величина скорости отображается цветом векторов. Цвет выбирается по соответствующей цветовой шкале.

На рисунке 4.5 показано одно и тоже поле скорости, изображенное двумя этими способами.

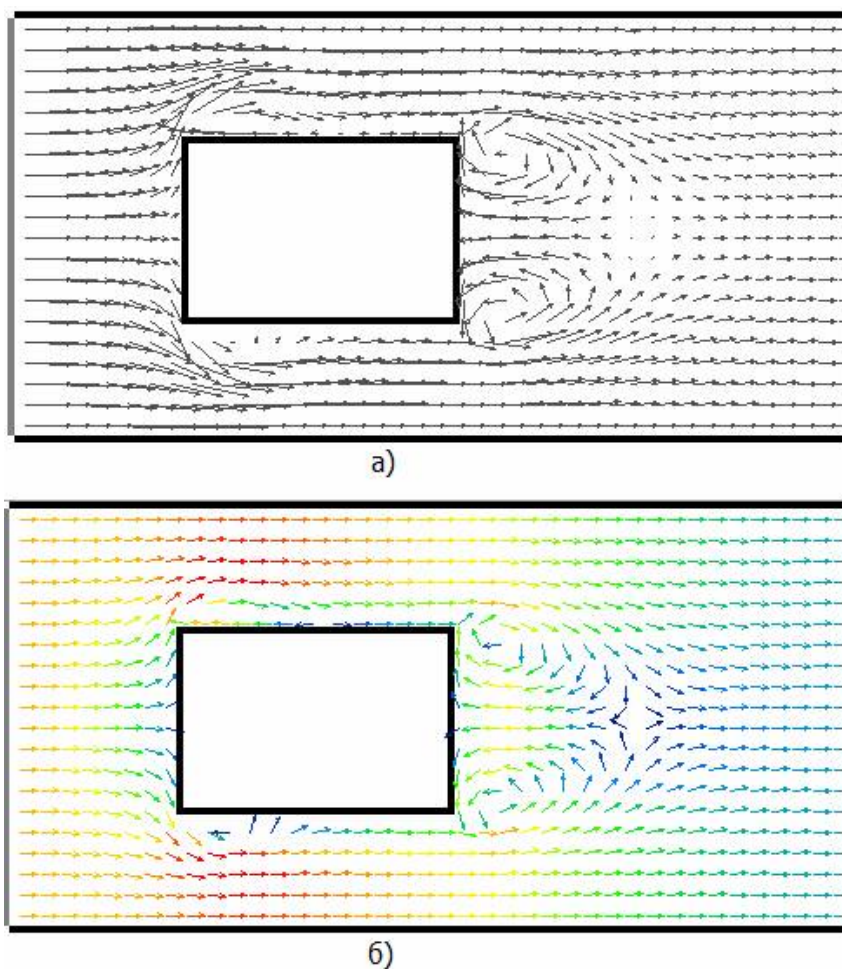


Рисунок 4.5

На рисунке 4.5 а) модуль скорости в в каждой точке изображен с помощью длины векторов, а на рисунке 4.5. б) – с помощью цвета.

Если выбран способ отображения величины скорости по длине векторов, то можно произвести дополнительные настройки цвета векторов. Можно задать конкретный цвет векторов. Можно задать определение цвета каждого вектора по величине соответствующего ему газодинамического параметра (например по температуре). На рисунке 4.6 показано изображение поля температуры и изображение векторов скорости, цвет которых определяется по величине температуры.

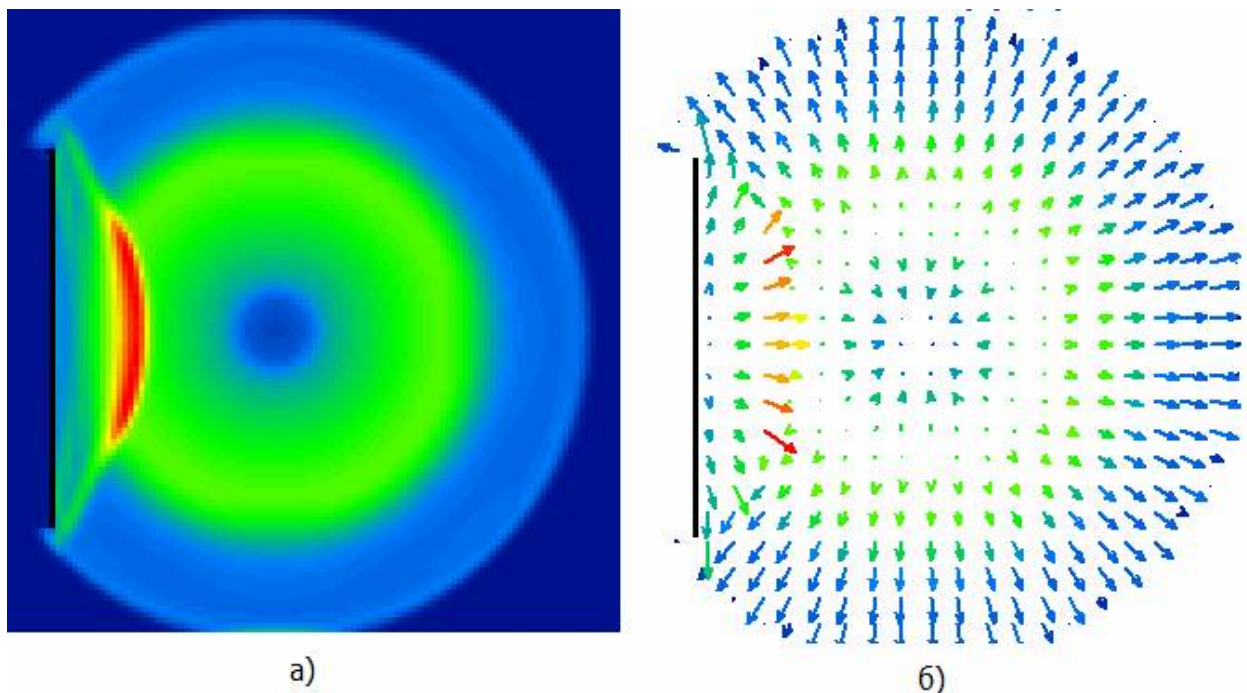


Рисунок 4.6

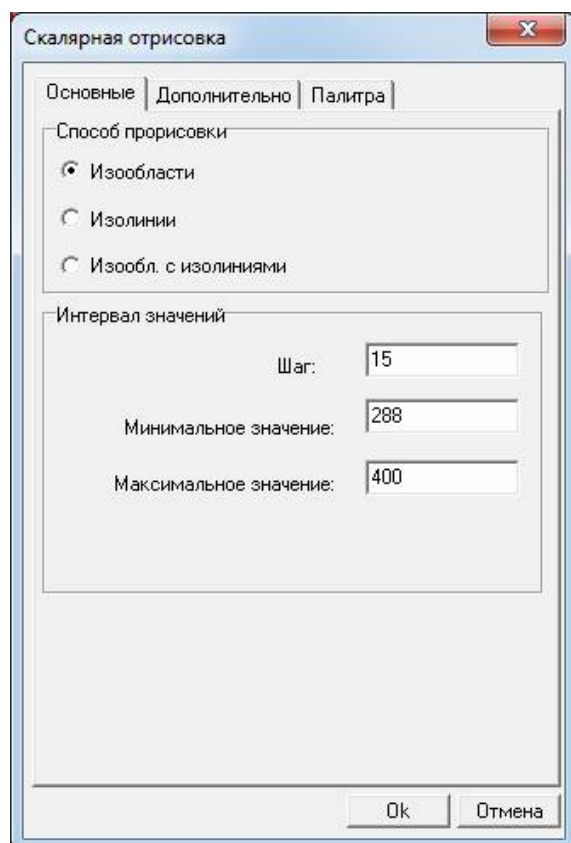
На вкладке «Палитра» (рисунок 4.4 в) можно задать тип палитры векторов скорости, который будет отличаться от общего типа палитры, заданного в окне общей настройки отображения.

Для удобства настройки отображения векторного поля в Solvere и Viewere существуют специальные режимы курсора мыши, которые включаются кнопками: , , , , описание которых приведено в разделе 3.2.

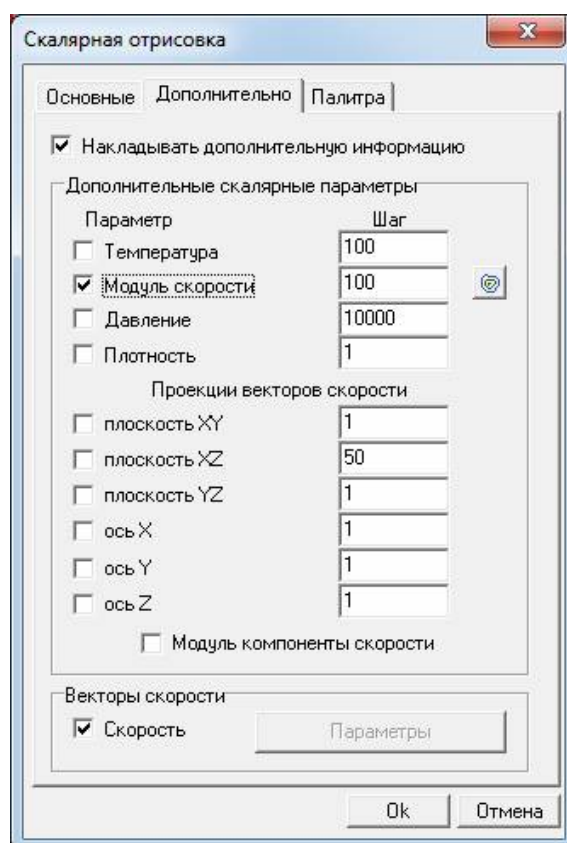
4.1.3 Скалярные величины

Под скалярными величинами понимаются не только температура, плотность и давление, но и модули скоростей и модули проекций скоростей. Поле скалярных величин в STARTFLOW отображается тремя способами: с

помощью изообластей, с помощью изолиний и одновременно с помощью изообластей и изолиний. Настройка способа отображения и параметров изообластей и изолиний осуществляется в специальном окне. Окно настройки скалярной отрисовки вызывается нажатием правой кнопки мыши при отображении какого-нибудь скалярного газодинамического параметра (например температуры). Окно настройки изображено на рисунке 4.7.

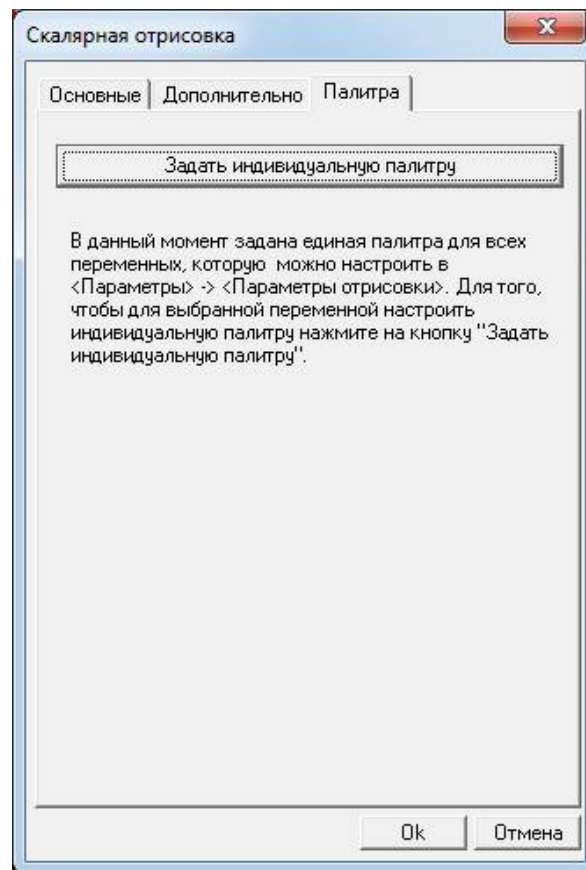


(а)



(б)

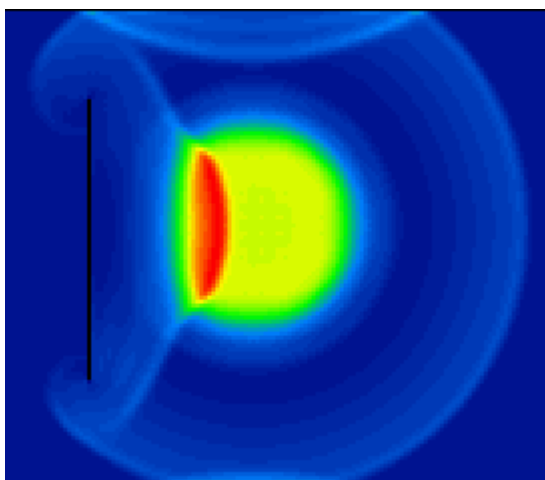
Рисунок 4.7 (а), (б)



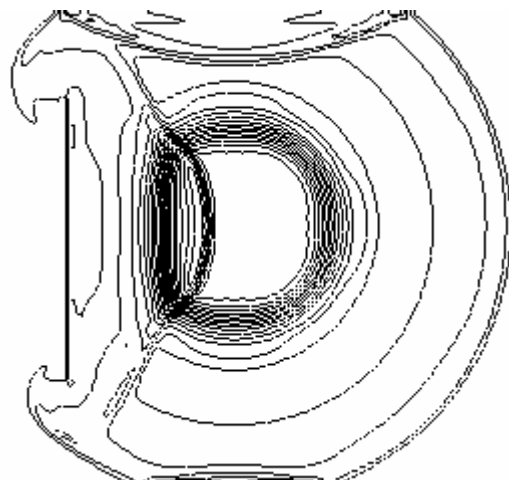
(в)

Рисунок 4.7 (в)

На вкладке «Основные» (рисунок 4.7 а) задаются параметры основного отображаемого параметра (в нашем случае температуры). На панели «Способ отрисовки» выбирается способ отображения скалярного поля. На рисунке 4.8 приведено одно и тоже поле температур, изображенной разными способами (изообластями и изолиниями).



(а)



(б)

Рисунок 4.8

Для задания цветовой шкалы изообластей нужно обязательно указать минимальное и максимальное значения параметра, которым будут соответствовать крайние цвета цветовой шкалы. Цветовая раскраска может быть как сплошной (на панели «Задание шага шкалы» выбирается пункт «без шага») так и цветовыми интервалами. На рисунке 4.9 показана одна и та же область в сплошной цветовой раскраске (рисунке 4.9 а) и в интервальной (рисунке 4.9 б).

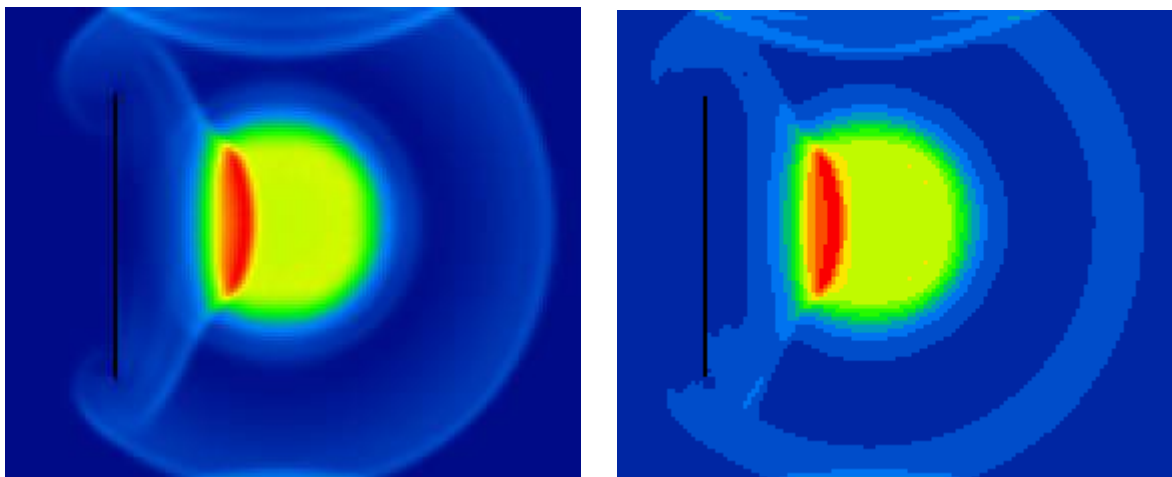


Рисунок 4.9

Шаг цветового интервала может быть задан двумя способами: можно задать интервал значений параметра, которому будет соответствовать один цветовой интервал (на панели «Задание шага шкалы» выбирается пункт «по шагу»). Например при задании шага отображения температуры в 25 °С (при минимальном значении 0 °С) температурам от 0 до 25 °С будет соответствовать один цвет, температурам от 25 до 50 °С - другой, и т.д. Второй способ - это задание количества интервалов (на панели «Задание шага шкалы» выбирается пункт «по количеству»).

На вкладке «Палитра» (рисунк 4.7 в) можно задать тип палитры для выбранной переменной. При выборе своего типа палитры для какого-нибудь газодинамического параметра (например для температуры) это будет означать, что при просмотре других газодинамических параметров будет использоваться стандартная цветовая палитра, которая настраивается в окне общих настроек (рисунк 4.1), а при просмотре параметра со своей палитрой

(в нашем случае температуры) будет использоваться выбранная цветовая палитра.

Для изолиний всегда указывается лишь интервал значений параметра. При выборе типа отображения в виде изолиний появляется кнопка «Параметры изолиний», при нажатии на которую вызывается окно настройки параметров изолиний (рисунок 4.10).

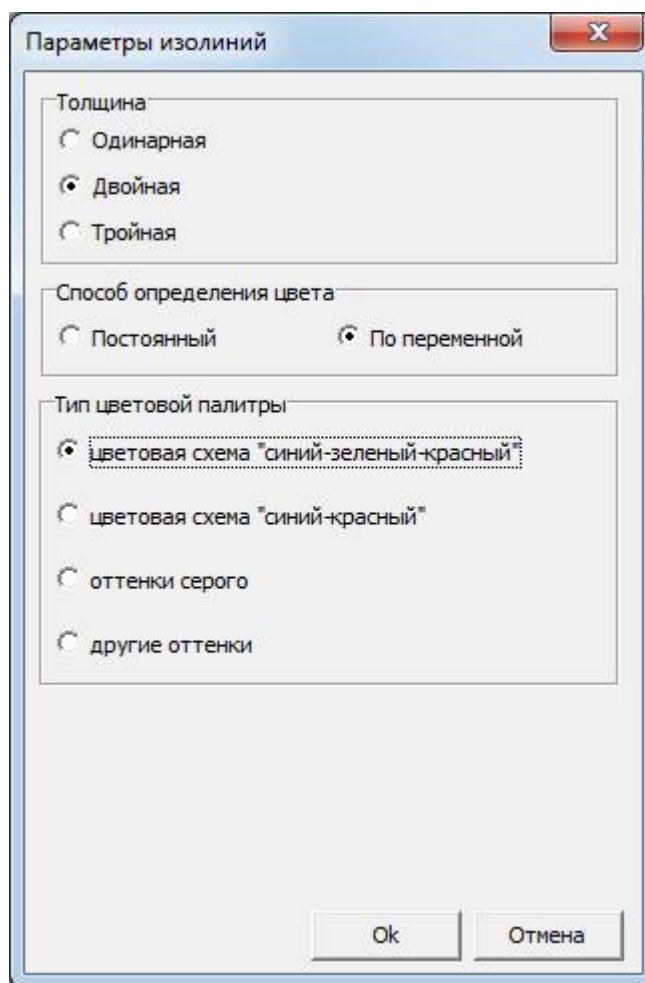


Рисунок 4.10

В этом окне можно задать толщину изолиний, их цвет. Цвет можно задать постоянный, либо определяемый по той величине отображаемого газодинамического параметра, которая соответствует изолинии. Если цвет изолиний определяется по переменной, то можно выбрать тип цветовой палитры. На рисунке 4.11 показаны различные настройки изолиний одного и того же поля.

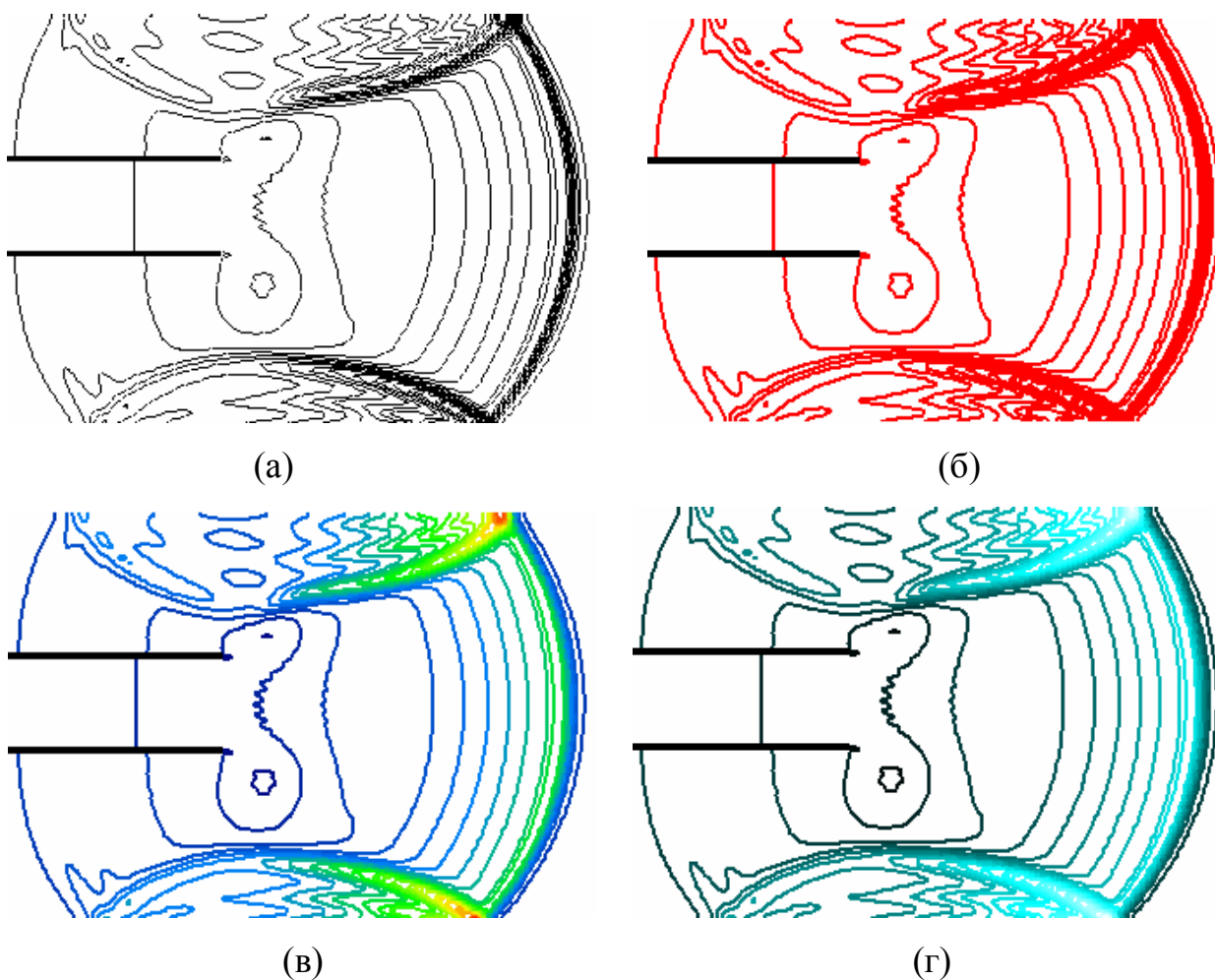


Рисунок 4.11

4.1.4 Дополнительно накладываемые параметры

Для удобства анализа результатов расчетов иногда требуется одновременно отображать информацию о нескольких газодинамических параметрах. Так например сразу можно отображать изообласти поля температуры и поле векторов в рассматриваемом сечении. В STARTFLOW это осуществляется с помощью дополнительно накладываемых скалярных и векторных полей на основное изображение. Характеристики изображений дополнительных полей задаются в окне настройки параметров скалярной отрисовки на вкладке «Дополнительно» (рисунок 4.7 б)

Если дополнительно накладываемым полем является поле скалярной величины, то наложение его на основное осуществляется только с помощью изолиний. При подключении прорисовки какого-нибудь параметра напротив

соответствующей переменной появляется кнопка , нажав на которую можно настроить параметры накладываемых изолиний (настройка осуществляется в окне, изображенном на рисунке 4.5). На рисунке 4.12 приведен пример основного скалярного поля (поля давления) с наложенными на него изолиниями поля температуры

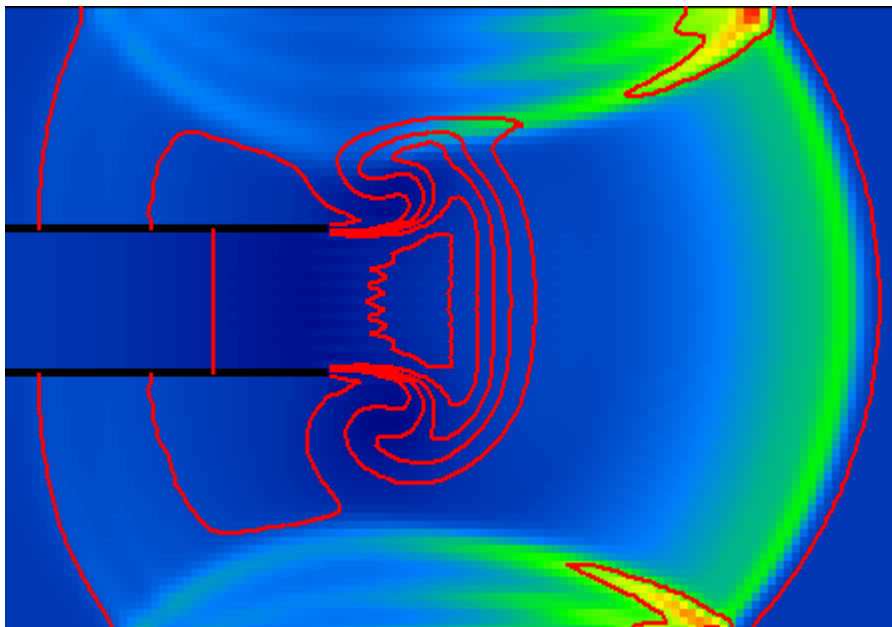


Рисунок 4.12

При подключении отрисовки векторов появляется кнопка вызова окна настроек параметров векторного изображения, изображенного на рисунке 4.4. На рисунке 4.13 приведен пример основного скалярного поля (поля давления) с наложенными на него изолиниями поля температуры, и векторами поля скорости. Изолинии поля температуры и вектора скорости раскрашены в соответствии с цветовыми шкалами, отображающими величину температуры и модуль скорости соответственно.

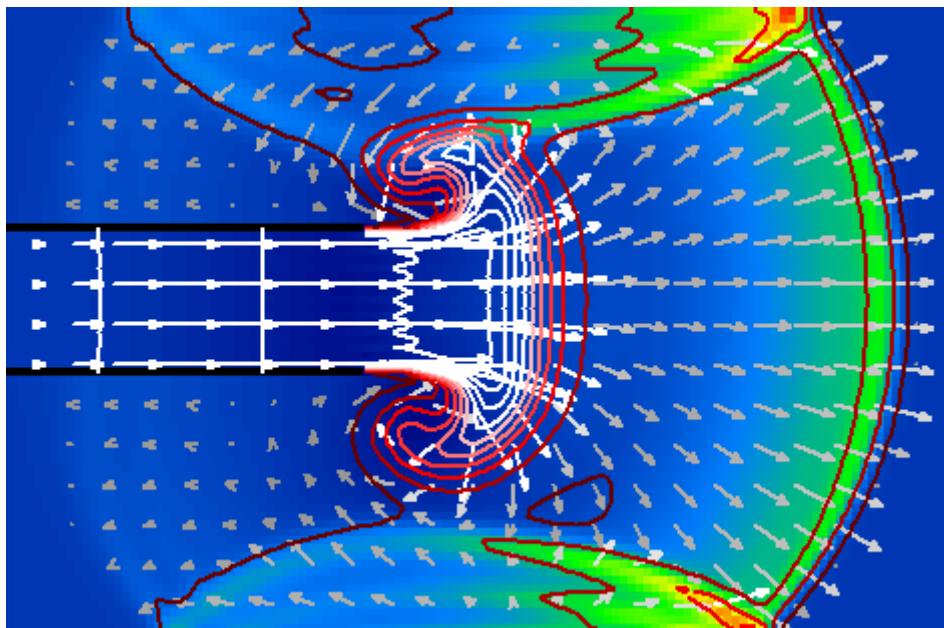


Рисунок 4.13

4.2 Построение графиков по линиям

В Solver и Viewer предусмотрена возможность построение графика значений газодинамического параметра по секущей линии. Режим рисования секущей линии включается нажатием кнопки . Далее рисуется линия, по которой строится сечение. На рисунке 4.14 показан пример построения графика по сечению, в данном случае рассматривается построение профиля ударной волны.

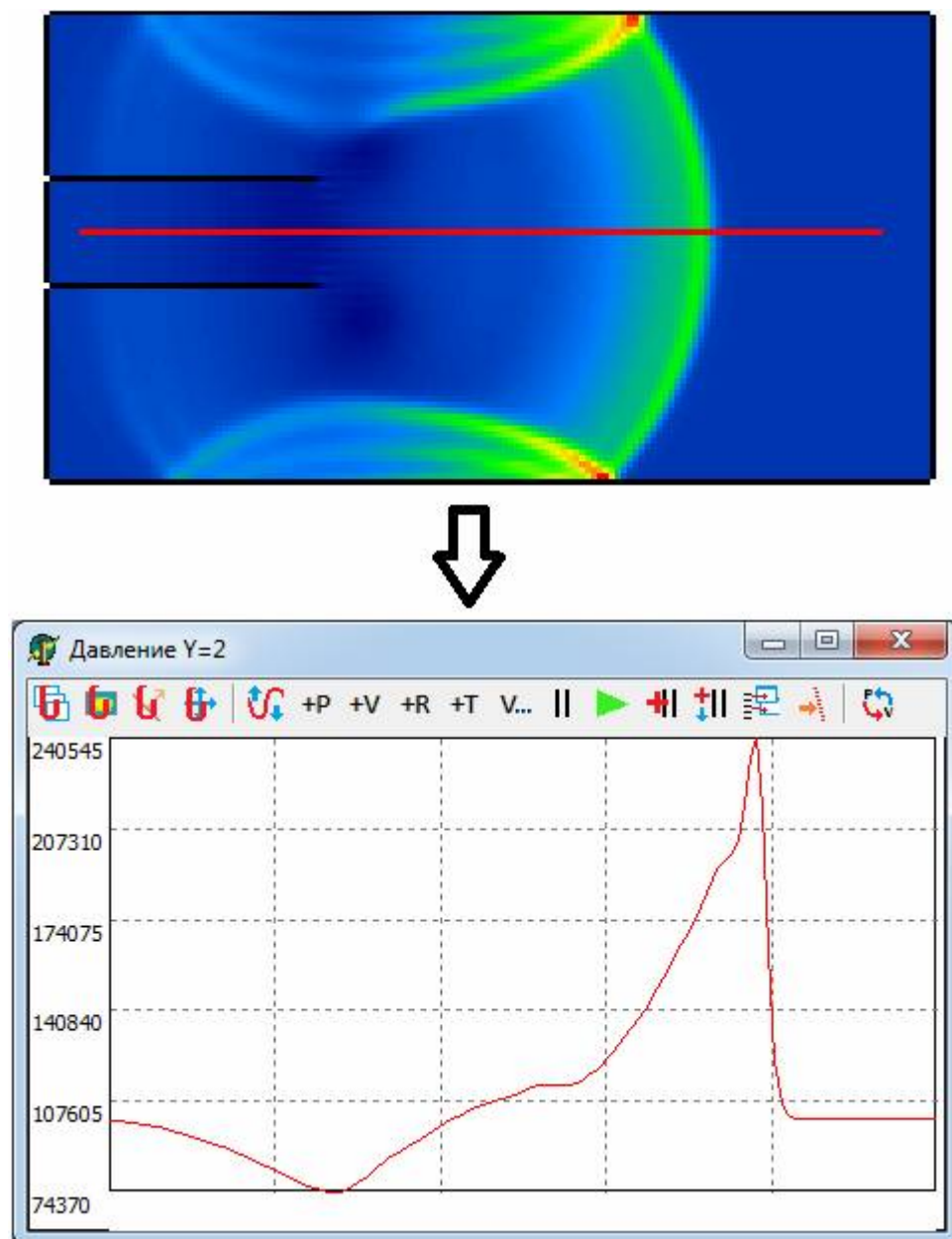


Рисунок 4.14

В окне графика сечения перемещением курсора мыши можно настроить максимальное и минимальное значение шкалы графика: при нажатой левой кнопке мыши регулируется верхнее значение шкалы, при нажатой правой кнопке - нижнее.

Вверху окна одномерного графика имеется панель с командными кнопками. Ниже приведены описания каждой кнопки:

-включает и отключает режим синхронизации с текущим сечением главного окна программы. Режим синхронизации с текущим сечением

означает то, что при пролистывании сечений в главном окне программы происходит автоматическое построение графика для текущего сечения.

-включает и отключает режим синхронизации с газодинамическим параметром, отображаемым в главном окне программы. Этот режим означает, что график будет строиться по тому газодинамическому параметру, который выбирается в главном окне программы.

-включает и отключает режим синхронизации с линией сечения. Режим синхронизации с линией сечения предполагает следующее. На главном окне программы выбирается режим построения горизонтальных или вертикальных сечений: , . Затем при нажатой левой кнопке мыши производится перемещение линии сечения, а в окне сечение одновременно с перетаскиванием происходит отрисовка графика по отображаемой линии.

- включает режим, при котором возможно перетаскивание области, по которой построен график (в данном случае линии). Перетаскивание области осуществляется в главном окне программы, режим перетаскивания областей построения графика в главном окне включается с помощью нажатия кнопки .

-растягивает график на всю высоту окна.

-вызывает дополнительное окно для построения графика давления по той же секущей линии. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график давления будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.

-вызывает дополнительное окно для построения графика модуля скорости по той же секущей линии. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график модуля скорости будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.

-вызывает дополнительное окно для построения графика плотности по той же секущей линии. В случае включения режима замены

газодинамического параметра (нажата кнопка ) график плотности будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.

 -вызывает дополнительное окно для построения графика температуры по той же текущей линии. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график температуры будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.

 -используется для задания проекции на плоскость или на ось скорости потока, график которой будет изображен в дополнительном окне. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график проекции скорости будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика. При нажатии на кнопку  появляется окно, в котором задается тип проекции.

 -останавливает эволюцию графика в данном окне.

 – включает эволюцию графика.

 -добавляет окно с замороженной эволюцией графика.

 -добавляет в это же окно замороженный график. На рисунке 4.15 показаны профили давления ударной волны в разные моменты времени, полученные добавления к основному графику замороженных по времени графиков.

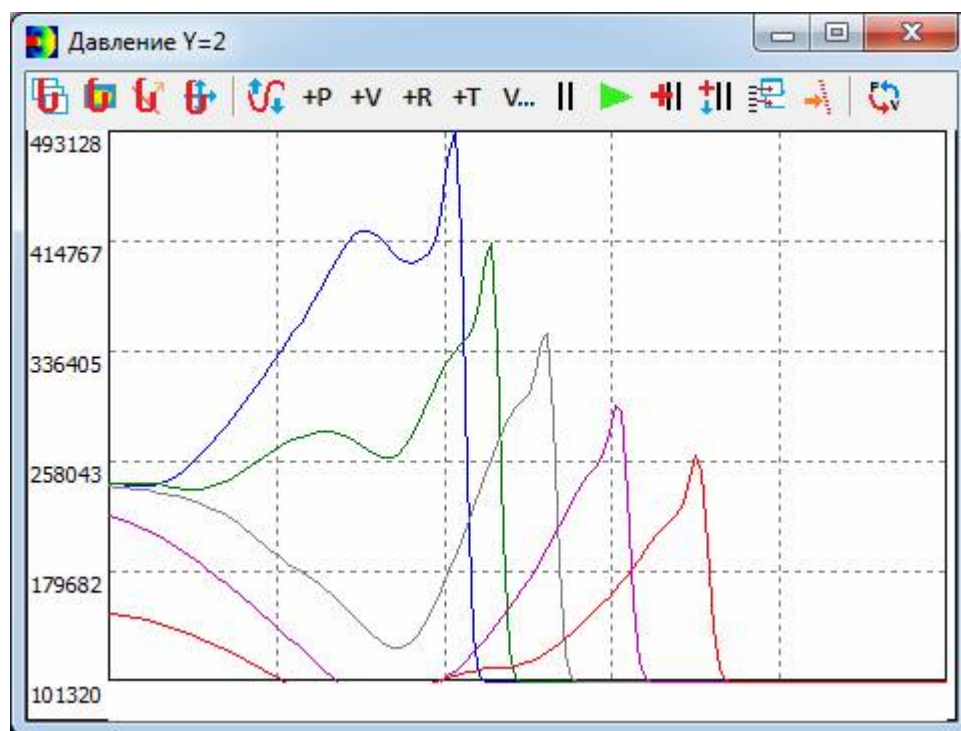


Рисунок 4.15

 -передает настройку шкалы другим окнам графиков этого же самого газодинамического параметра.

 -визуализирует линию сечения, по которой строится график в главном окне программы.

 -включает режим замены газодинамического параметра. Данный режим предполагает, что взамен вызова дополнительного окна график по новому газодинамическому параметру будет построен в текущем окне.

4.3 Построение трехмерных графиков

В Solver и; Viewer предусмотрена возможность построение трехмерного графика значений газодинамического параметра по выделенному участку расчетной области. Режим выделения участка расчетной области для построения по нему трехмерного графика включается кнопкой . Далее выделяется прямоугольная область, по которой строится график. На рисунке 4.16 показан пример построения трехмерного графика, рассматривается плоское распространение ударной волны

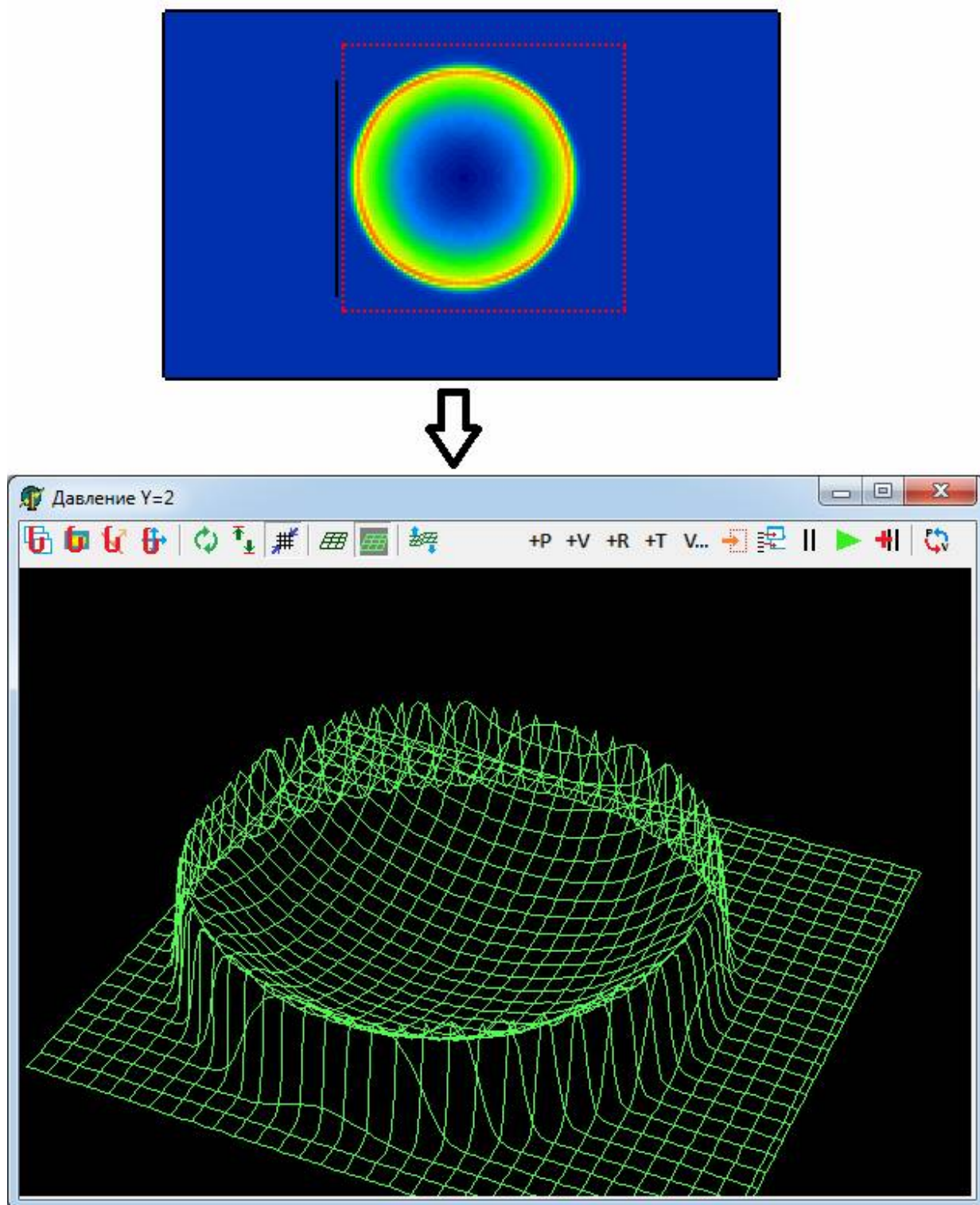


Рисунок 4.16

Вверху окна трехмерного графика имеется панель с командными кнопками. Ниже приведены описания каждой кнопки:

-включает и отключает режим синхронизации с текущим сечением главного окна программы. Режим синхронизации с текущим сечением означает то, что при пролистывании сечений в главном окне программы

происходит автоматическое построение трехмерного графика для текущего сечения.

-включает и отключает режим синхронизации с газодинамическим параметром, отображаемым в главном окне программы. Этот режим означает, что трехмерный график будет строиться по тому газодинамическому параметру, который выбирается в главном окне программы.

-включает и отключает режим синхронизации с линией сечения. Режим синхронизации с линией сечения предполагает следующее. На главном окне программы выбирается режим построения горизонтальных или вертикальных сечений: , . Затем при нажатой левой кнопке мыши производится перемещение линии сечения, а в окне сечение одновременно с перетаскиванием происходит отрисовка трехмерного графика текущего сечения.

-включает режим, при котором возможно перетаскивание области, по которой построен трехмерный график (в данном случае прямоугольника). Перетаскивание области осуществляется в главном окне программы, режим перетаскивания областей построения графика в главном окне включается с помощью нажатия кнопки .

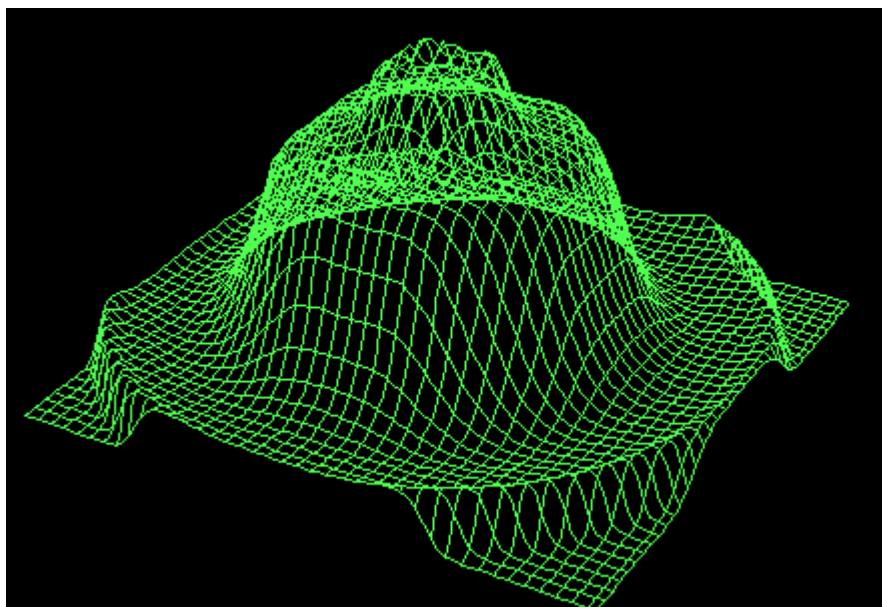
 - выбор режима поворота трехмерного графика.

 – включает режим перетаскивания графика в окне.

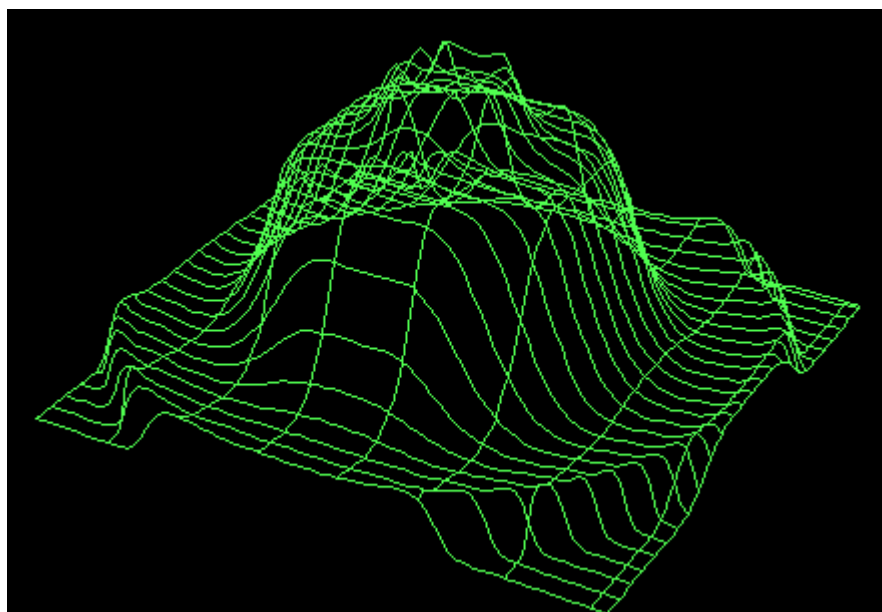
-выбор режима регулирования максимального и минимального значения шкалы графика: при нажатой левой кнопке мыши регулируется верхнее значение шкалы, при нажатой правой кнопке - нижнее.

- выбор режима сгущения или разрежения линий сетки трехмерного графика. При перемещении курсора мыши с нажатой левой кнопкой происходит равномерное регулирование частоты отрисовки линий графика по всем осям, при нажатой правой кнопке мыши перемещением по горизонтали настраивается частота по оси X, по вертикали - частота по оси

У. На рисунке 4.17 приведен пример регулировки частоты линий сетки трехмерного графика.



(а)



(б)

Рисунок 4.17

-выбор режима отрисовки графика на белом фоне. На рисунке 4.15 приведен пример графика на белом фоне.

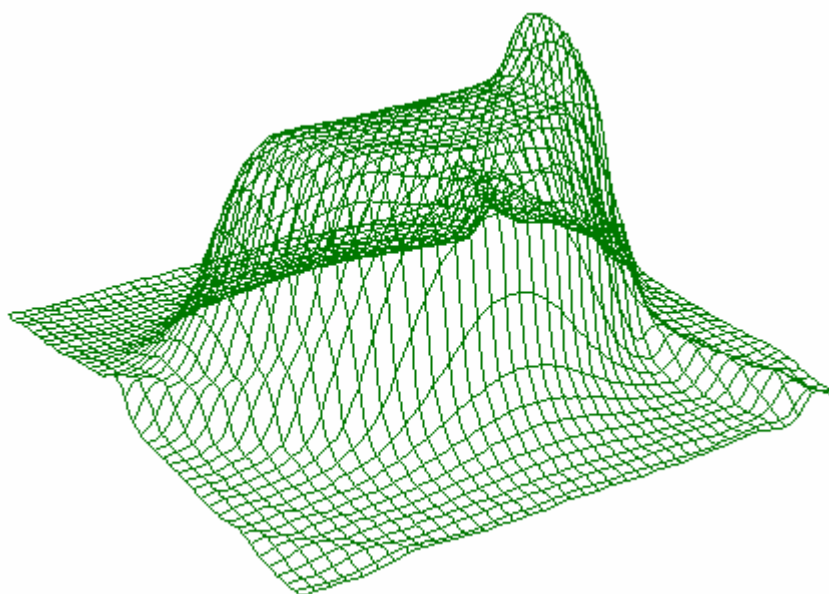


Рисунок 4.18



- выбор режима отрисовки графика на черном фоне.



-растягивает график на всю высоту окна.



- вызывает дополнительное окно для построения графика давления по тому же выделенному участку расчетной области. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график давления будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.



-вызывает дополнительное окно для построения графика модуля скорости по тому же выделенному участку расчетной области. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график модуля скорости будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.



-вызывает дополнительное окно для построения графика плотности по тому же выделенному участку расчетной области. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график плотности будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.



-вызывает дополнительное окно для построения графика температуры по тому же выделенному участку расчетной области. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график температуры будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика.

 -используется для задания проекции на плоскость или на ось скорости потока, график которой будет изображен в дополнительном окне. В случае включения режима замены газодинамического параметра (нажата кнопка ) график проекции скорости будет построен в текущем окне взамен изображаемого графика. При нажатии на кнопку  появляется окно, в котором задается тип проекции.

 -отображает в сечении главного окна программы участок расчетной области, по которому построен трехмерный график.

 -передает настройку шкалы другим окнам трехмерных графиков этого же самого газодинамического параметра.

 -останавливает эволюцию графика в данном окне.

 – включает эволюцию графика.

 - включает режим замены газодинамического параметра. Данный режим предполагает, что взамен вызова дополнительного окна график по новому газодинамическому параметру будет построен в текущем окне.

4.4 Трехмерное изображение результатов расчетов

На рисунке 4.19 показано окно трехмерного изображения расчетной области и поля векторов, которое вызывается нажатием кнопки .

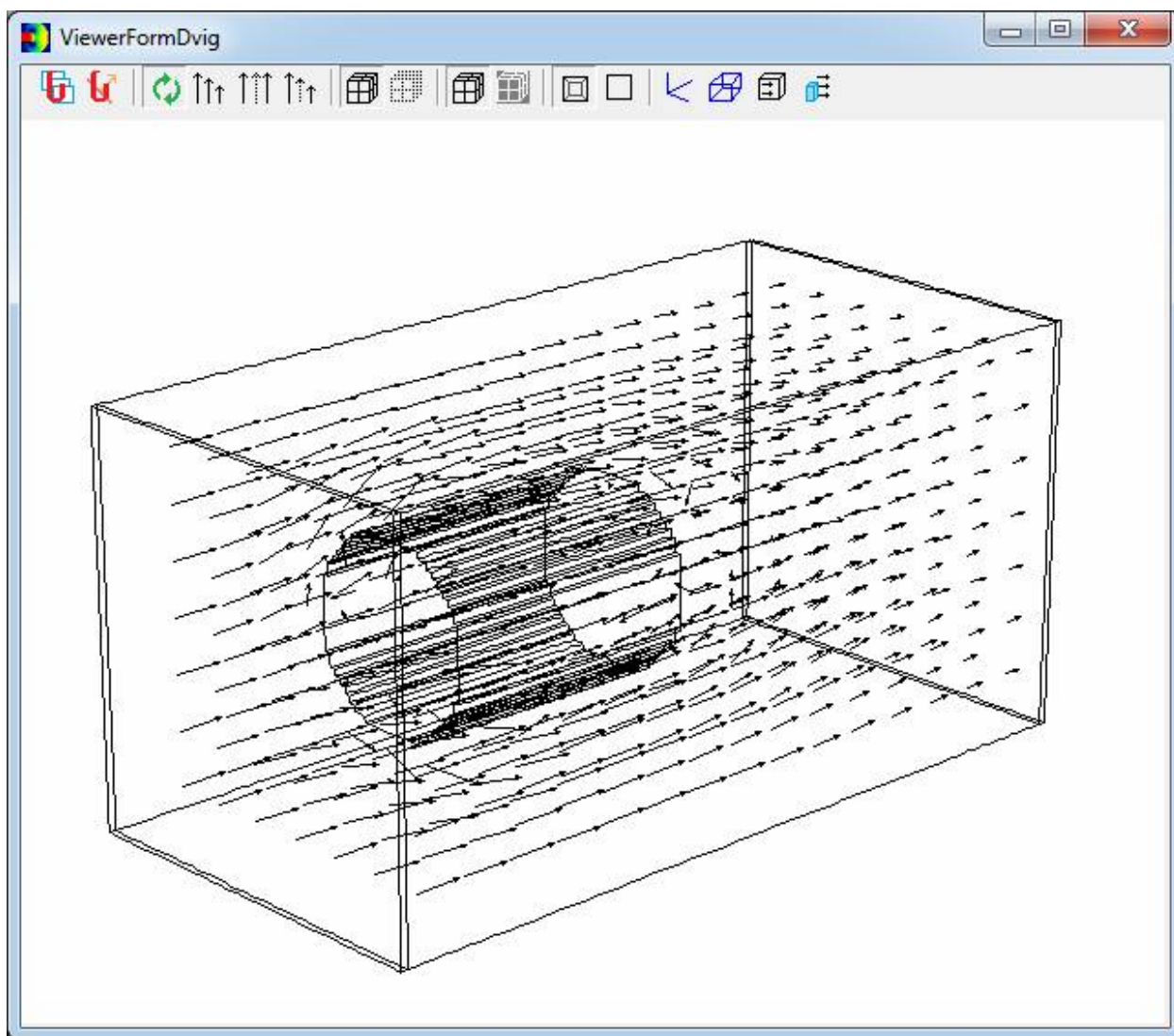


Рисунок 4.19

Вверху окна имеется панель с командными кнопками. Ниже приведены описания каждой кнопки:

 - включает и отключает режим синхронизации с текущим сечением главного окна. Режим синхронизации с текущим сечением означает то, что при пролистывании сечений в главном окне программы происходит автоматическое отрисовка векторов скоростей в окне трехмерного изображения для текущего сечения.

 - включает и отключает режим синхронизации с линией сечения. Режим синхронизации с линией сечения предполагает следующее. На главном окне программы выбирается режим построения горизонтальных или вертикальных сечений: , . Затем при нажатой левой кнопке мыши производится перемещение линии сечения, а в окне сечение одновременно с перетаскиванием происходит отрисовка векторов скоростей в плоскости, соответствующей линии сечения.

 - выбирает режим поворота трехмерной расчетной области.

 - режим настройки отображения длины векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора вверх длины векторов увеличиваются, перемещением курсора вниз - уменьшаются. При нажатой правой кнопке мыши перемещением курсора вверх увеличивается значение минимальной скорости, вектор которой отображается, перемещением курсора вниз значение минимальной скорости уменьшается.

 - режим настройки частоты отображения векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора мыши вверх общее разрежение отрисовки векторов (то есть разрежение по обоим осям) увеличивается, при перемещении курсора мыши вниз - уменьшается. При нажатой правой кнопке мыши регулируется разрежение по осям сечения. Движение вдоль горизонтальной оси приводит к регулировке разрежения векторов по горизонтальной оси, движение вдоль вертикальной оси регулирует соответственно разрежение векторов по вертикальной оси.

 - режим настройки длины и разрежения векторов скорости: при нажатой левой кнопке мыши перемещением курсора регулируется длина векторов скорости, при нажатой правой кнопке мыши - разрежение.

 - включает режим видимости линий ребер границ расчетной области.

 - включает режим невидимости линий ребер границ расчетной области.

 - включает режим белого фона.

 - включает режим черного фона.

 - включает перспективу.

 - отключает перспективу.

 - включает и отключает режим отрисовки всего векторного поля.

 - включает и отключает режим отрисовки осей координат.

 - включает и отключает режим отрисовки границ объема, в котором находится расчетная область.

 - стирает плоскости векторов скорости.

С помощью кнопки  можно в окне трехмерного изображения отобразить лишь некоторые плоскости векторов. На рисунке 420 изображена визуализация векторов в двух плоскостях.

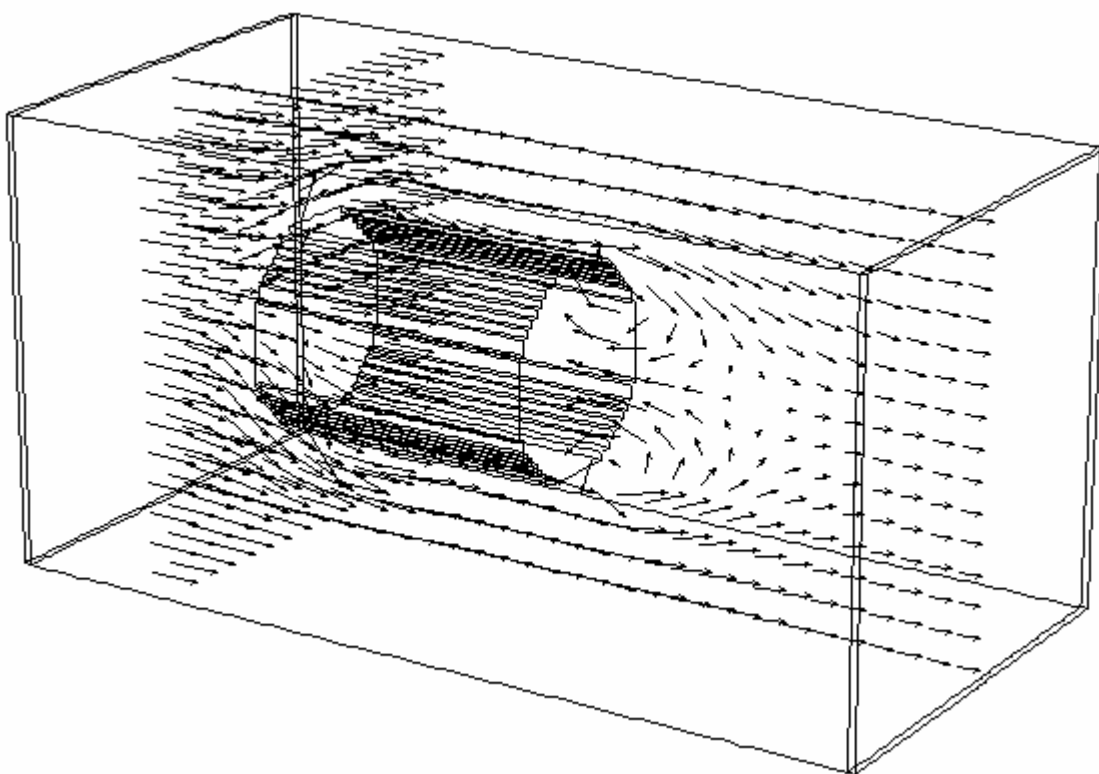


Рисунок 4.20

4.5 Трехмерное изображение плоскости с векторами

Очень часто изображение проекций векторов скорости в сечении не дает полной информации о структуре течения. Причина этого в том, что вектора скорости могут быть направлены в направлении, перпендикулярном плоскости сечения. Поэтому в Viewer предусмотрен режим просмотра

плоскости сечения с векторами скорости в трехмерном виде. Для того, чтобы открыть окно трехмерного изображения плоскости векторов нужно нажать кнопку . На рисунке 4.21 показано окно трехмерного изображения плоскости векторов.

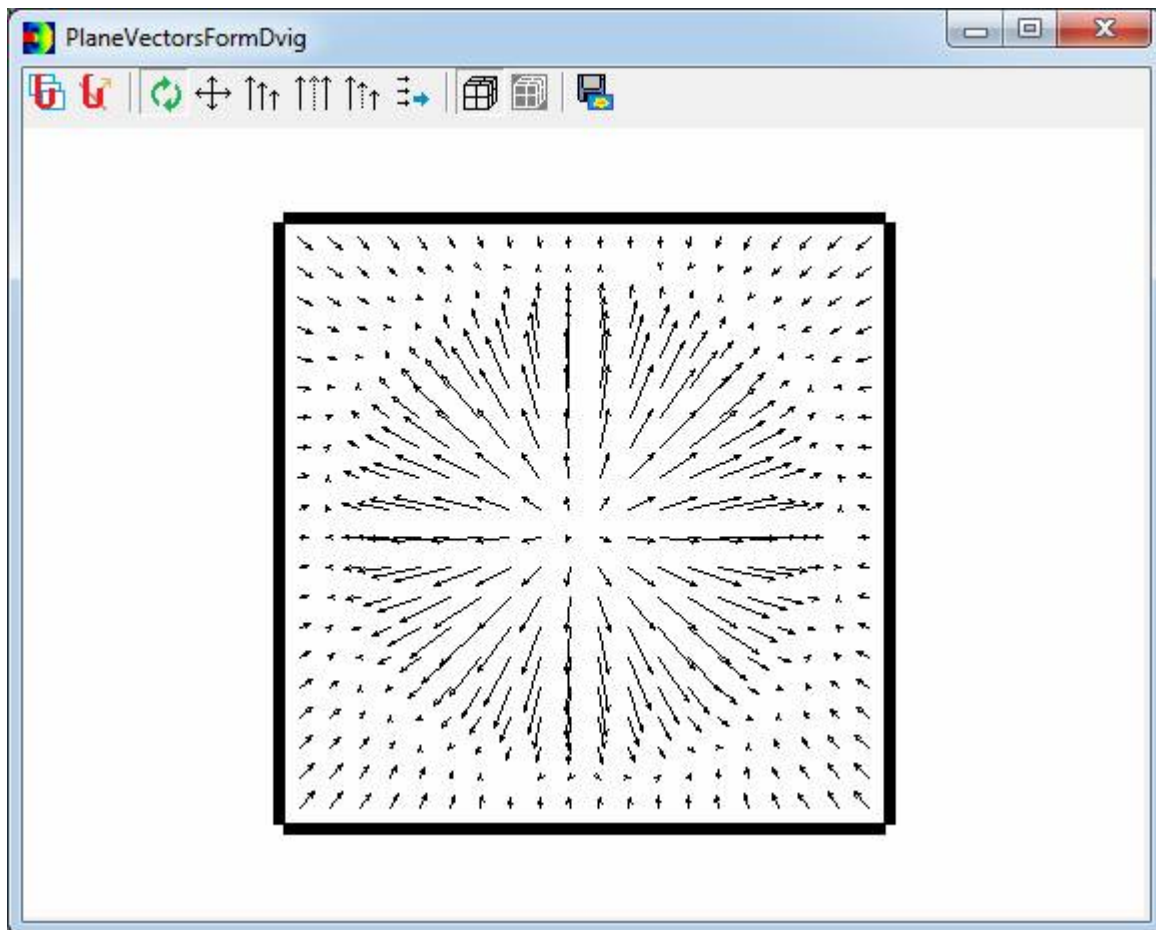


Рисунок 4.21

Изначально вектора в этом окне имеют такое же изображение, как в сечении с векторами. Однако поворачивая плоскость под разными углами, можно более детально рассмотреть характер течения в данной плоскости (рисунок 4.22).

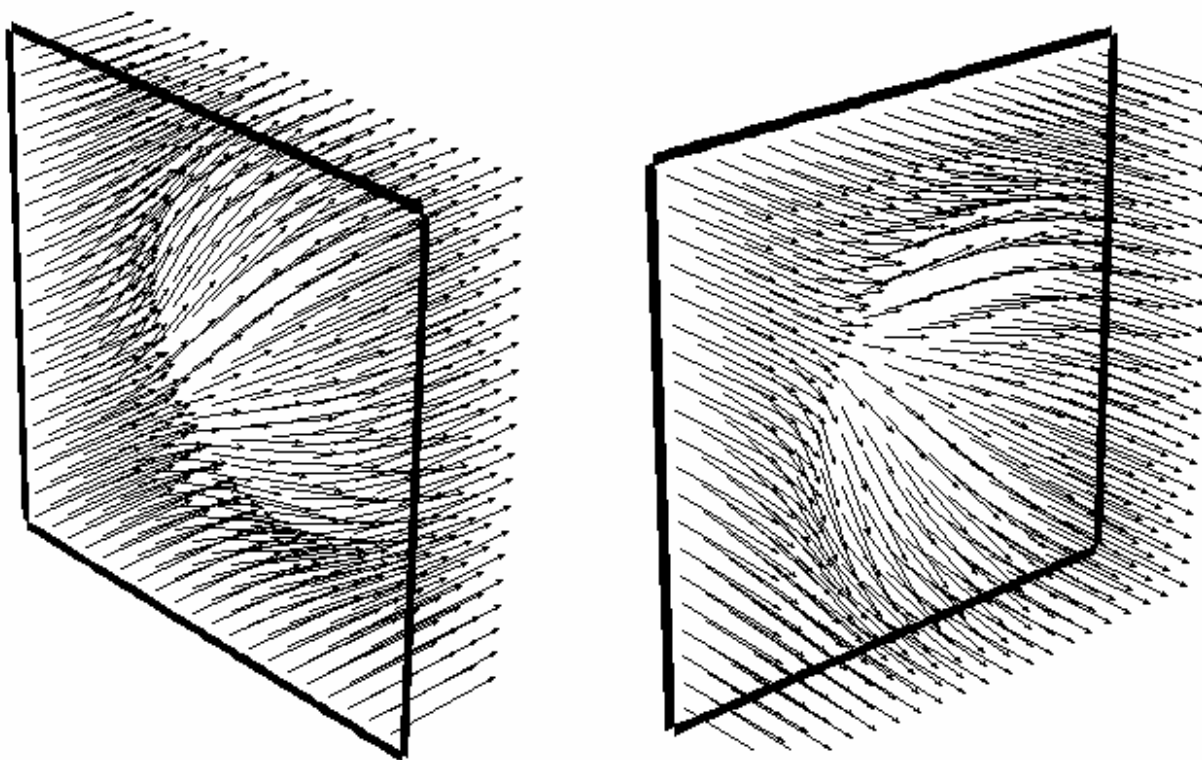


Рисунок 4.22

 - включает и отключает режим синхронизации с текущим сечением главного окна.

 - включает и отключает режим синхронизации с линией сечения.

 - выбирает режим поворота трехмерной расчетной области.

 - режим настройки отображения длины векторов скорости

 - режим настройки частоты отображения векторов скорости

 - режим настройки длины и частоты векторов скорости

 - включает режим белого фона.

 - включает режим черного фона.

5. Использование параметров установления

Процесс установления в программе SF Solver можно отследить двумя способами: с помощью задания статистик или с помощью графиков установления полей газодинамических параметров.

5.1 Статистики

5.1.1 Задание параметров статистики

Для отслеживания процесса установления в программном комплексе StartFlow вводятся так называемые статистики, под которыми понимаются последовательности значений определенных параметров, изменяющихся с течением времени. Под параметрами могут пониматься, например, средняя, минимальная и максимальная температуры в расчетной области. Также в качестве параметра может рассматриваться температура в какой-то определенной точке или средняя температура в каком-то выделенном объеме расчетной области. Последовательности значений образуются путем периодической регистрации этих значений во время расчета, регистрации осуществляются через заданный интервал шагов по времени.

Статистики дают информацию об эволюции полей газодинамических параметров и могут служить критериями установления решаемой задачи.

Параметры статистики можно задавать и изменять в программах SF Editor и SF Solver. Окно для задания параметров статистики (рисунок 5.1) вызывается по команде меню «Статистика» —> «Параметры статистики...».

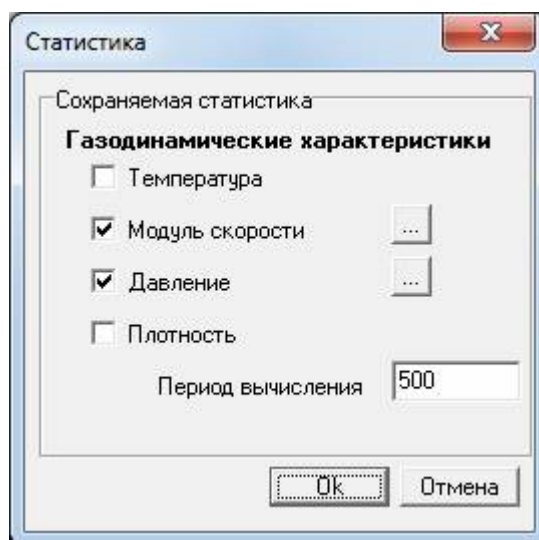


Рисунок 5.1

Наиболее важными являются сохраняемые статистики, так как их все данные сохраняются в файлах. Значения параметров будут браться с определенным интервалом по временным шагам, обозначенном на данном окне как «Период вычисления».

Статистика по каждому газодинамическому параметру (температуре, модулю скорости, давлению и плотности) разделяется на три типа: «пространственная», точечная и объемно-локализованная. «Пространственная» статистика включает в себя среднее, максимальное и минимальное значения газодинамического параметра по всему пространству расчетной области. Точечные статистики - это значения газодинамического параметра в выбранных точках. Объемно-локализованные статистики - среднее значение газодинамического параметра по локальному объему расчетной области.

Чтобы задать «пространственную» статистику нужно поставить галочку напротив нужного газодинамического параметра (рисунок 5.1). Когда «пространственная» статистика установлена, напротив выбранного газодинамического параметра появляется кнопка . Эта кнопка вызывает окно для задания координат точечных и объемно локализованных статистик (рисунок 5.2).

Статистики скорости

Локализованные объемные статистики

	x1	y1	z1	x2	y2	z2
1	8	12	1	27	58	1
2	94	2	1	147	69	1

Добавить Удалить Очистить все

Точечные статистики

	x	y	z
1	18	37	1
2	82	37	1
3	116	37	1

Добавить
Удалить
Очистить все

Вставить из буфера

Ok Отмена

Рисунок 5.2

Для того, чтобы создать новую точечную или объемно локализованную статистику, надо нажать кнопку «Добавить» на соответствующей панели. Появится новая пустая строка таблицы, в которую надо записать координаты. Для точечной статистики достаточно трех координат, которыми являются номера рассматриваемой ячейки по осям x , y , z . Для объемно локализованной статистики задаются координаты двух, точек, расположенных в двух противоположных углах параллелепипеда (рисунок 5.3).

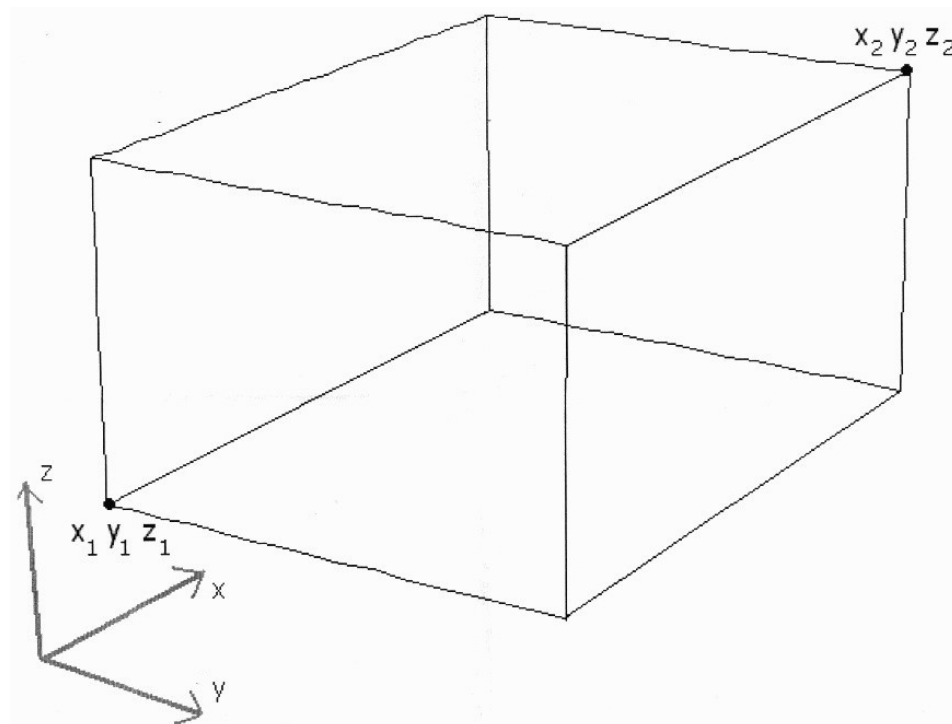


Рисунок 5.3

Часто для слегка отличающихся друг от друга расчетных областей можно задавать статистики с одинаковыми координатами. Чтобы лишний раз не задавать вручную координаты статистик в программе SF Solver предусмотрено сохранение и загрузка параметров статистики. Эти операции выполняются с помощью команд меню «Статистика» -> «Сохранить параметры статистики» и «Статистика» -> «Загрузить параметры статистики».

5.1.2 Задание координат статистик с помощью буфера

В программе SF Editor предусмотрена облегченная процедура задания координат точечных и объемно локализованных статистик. Для этого нужно перейти в режим задания статистики, нажав кнопку . После этого появится окно буфера координат статистик (рисунок 5.4).

Буфер статистики

Режим буфера

☒ Добавление

☐ Замена

Объемно локализованные

	x1	y1	z1	x2	y2	z2
1	8	10	1	27	59	1
2	78	2	1	141	69	1

Удалить Очистить все

Точечные

	x	y	z
1	17	36	1
2	74	37	1
3	126	37	1

Удалить

Очист. все

Рисунок 5.4

На рисунке 5.4 (а) показан пустой буфер в режиме «Добавление», на рисунке 5.4 (б) показан буфер содержащий координаты трех точечных и трех объемно локализованных статистик в режиме «Замена». Заполнение буфера значениями координат точечных и локализованных статистик происходит автоматически при нажатии мышью на конкретную точку расчетной области или выделения мышью какой-то подобласти.

Для того чтобы ввести в буфер координаты точечной статистики, нужно левой кнопкой мыши нажать на ту точку расчетной области, для которой необходимо вести статистическую регистрацию. Для задания координат объемно локализованной статистики необходимо в режиме нажатой левой кнопки мыши выделить требуемую подобласть. При этом используются те же правила, что и для редактирования границ и граничных условий, то есть также можно задать глубину выделения или интервал. В режиме «Добавление» новая статистика будет добавляться в конец списка, в режиме

«Замена» она будет добавляться в ту строчку списка, номер которой указан в поле «Позиция».

Для того чтобы удалить ту или иную статистику, нужно нажать на кнопку «Удалить». В режиме «Добавление» удалится последняя по списку статистика, в режиме «Замена» удалится статистика с номером, который указан в поле «Позиция».

После того, как буфер будет заполнен, необходимо открыть окно задания координат статистик, показанное на рисунке 5.2. В этом окне появится кнопка «Вставить из буфера». После нажатия этой кнопки все координаты из буфера переместятся в окно задания координат.

5.1.3 Визуализация координат статистик

Для того чтобы наглядно увидеть те точки и те подобласти, для которых будет вестись статистическая регистрация, можно воспользоваться визуализацией координат точечных и объемно локализованных статистик. Для этого нужно открыть окно вызова визуализации с помощью пункта меню «Статистика» -> «Визуализация параметров статистики» или с помощью кнопки . Окно вызова статистики изображено на рис. 5.5.

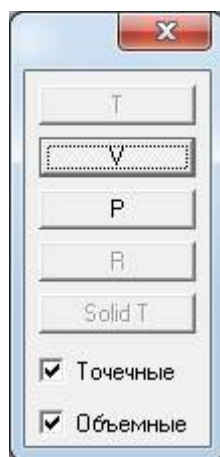


Рисунок 5.5

При нажатии на кнопку того или иного газодинамического параметра (Т, V, P, R) будут визуализированы статистики этого параметра (рисунок 5.6).

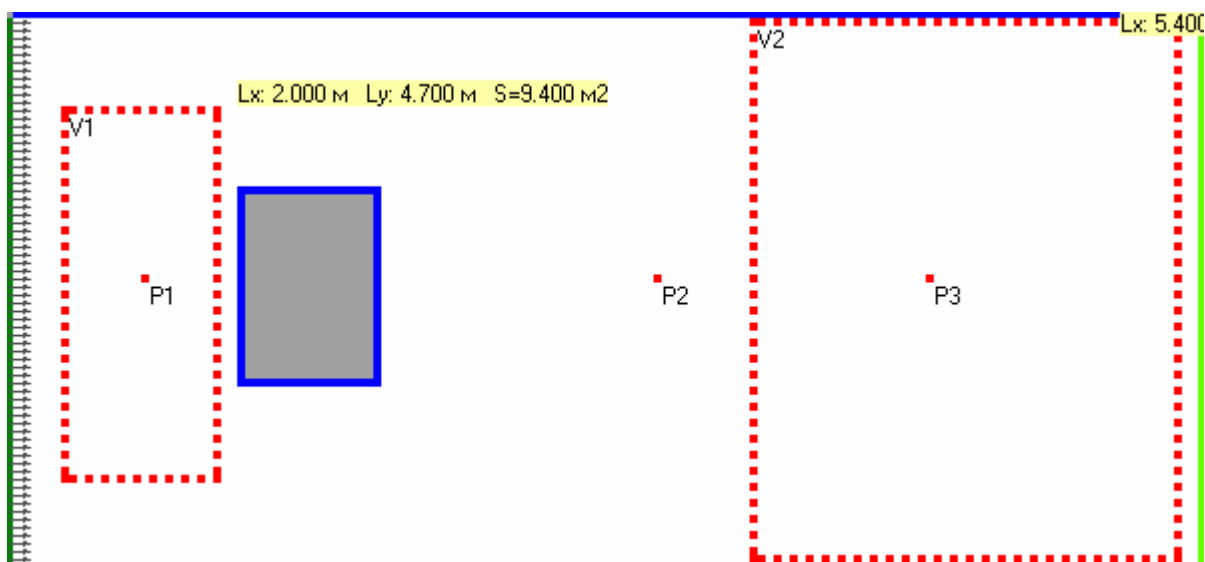


Рисунок 5.6

Буквой V обозначается объемно локализованная статистика, буквой P – точечная, цифрой обозначается номер статистики.

5.1.4 Просмотр результатов статистической регистрации

Просмотр результатов статистических регистрации параметров осуществляется командой меню «Статистика» —> «Показать статистику...» или с помощью кнопки . Появляется окно выбора газодинамического параметра, для которого будут отображаться статистики (рисунок 5.7).

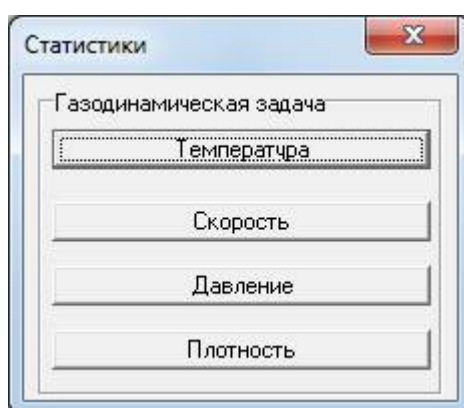


Рисунок 5.7

Кнопки с названиями газодинамических параметров будут только для тех параметров, для которых заданы статистики. Нажав одну из них,

появится окно с графиками статистик для выбранного газодинамического параметра (рисунок 5.8).

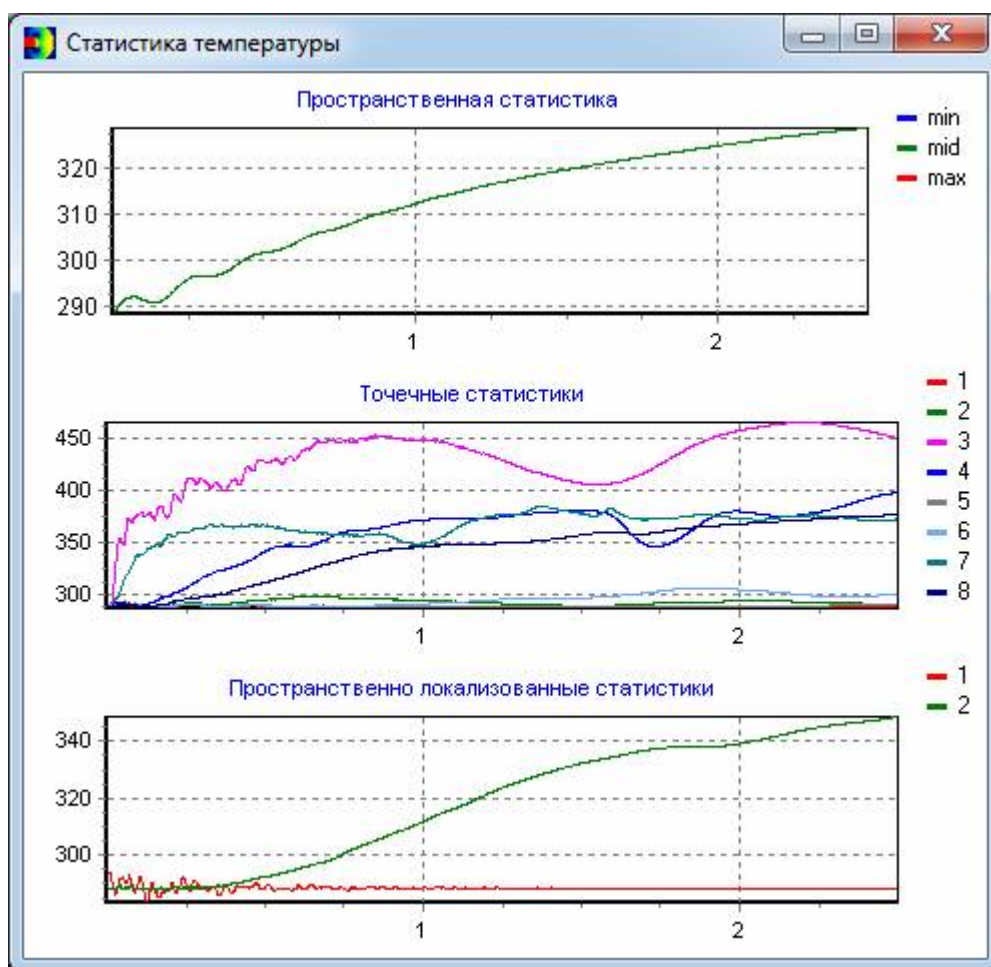


Рисунок 5.8

В программе SF Solver можно одновременно просматривать статистики для разных газодинамических параметров в разных окнах. Строить графики статистик можно непосредственно в процессе расчета, однако автоматического обновления с течением времени этих графиков происходить не будет. Для того, чтобы произвести обновление, следует нажать на соответствующие кнопки на окне, изображенном на рисунке 5.7.

Если задано очень много точечных или пространственных статистик, а необходимо в данный момент просмотреть графики только некоторые из них, то лишние графики можно скрыть. Для этого правой кнопкой мыши вызывается окно настроек отображения графиков статистик (рисунок 5.9).

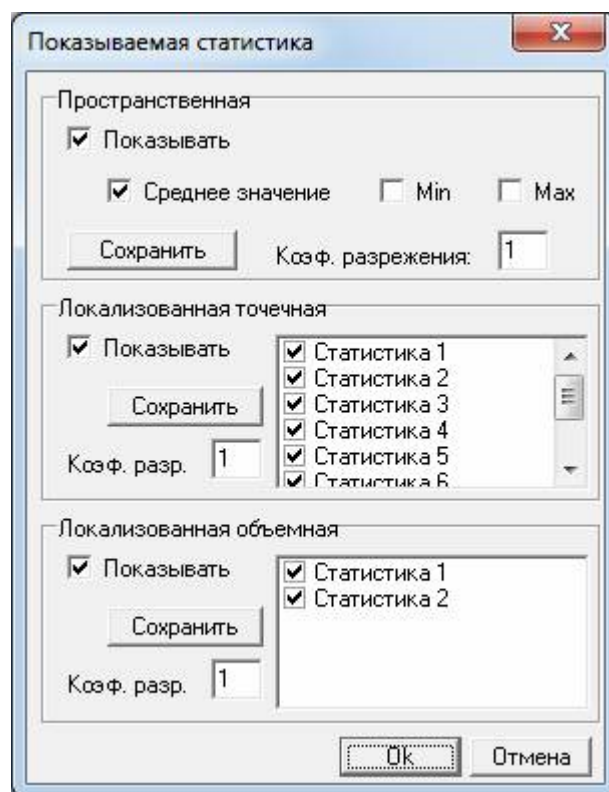


Рисунок 5.9

В этом окне, убрав соответствующую галочку, можно скрыть тот или иной график. Здесь же можно произвести сохранение значений статистики в текстовом файле для дальнейшего их анализа в различных математических пакетах. Однако последовательности значений статистики, по которым строятся графики, бывают очень длинными, содержащими избыточное количество информации и с ними бывает не очень удобно работать при сохранении их в текстовый файл. Поэтому здесь предусмотрена процедура разрежения массива значений с помощью задания коэффициента разрежения. Если задать его равным трем, то в файл будет сохраняться только каждое третье значение массива. Файлы с текстовыми данными будут созданы в той же папке, в которой находится главный расчетный файл.

5.1.5 Пример использования статистики для изучения эволюции полей газодинамических параметров

Рассмотрим задача распространения плоской ударной волны в пространстве. На рисунке 5.10 приведены изображения поля давления в

разные моменты времени по мере распространения ударной волны в пространстве. Например, нам требуется узнать как менялось с течением времени давление в определенных точках (они обозначены на рисунке 5.10 номерами P1, P2, P3).

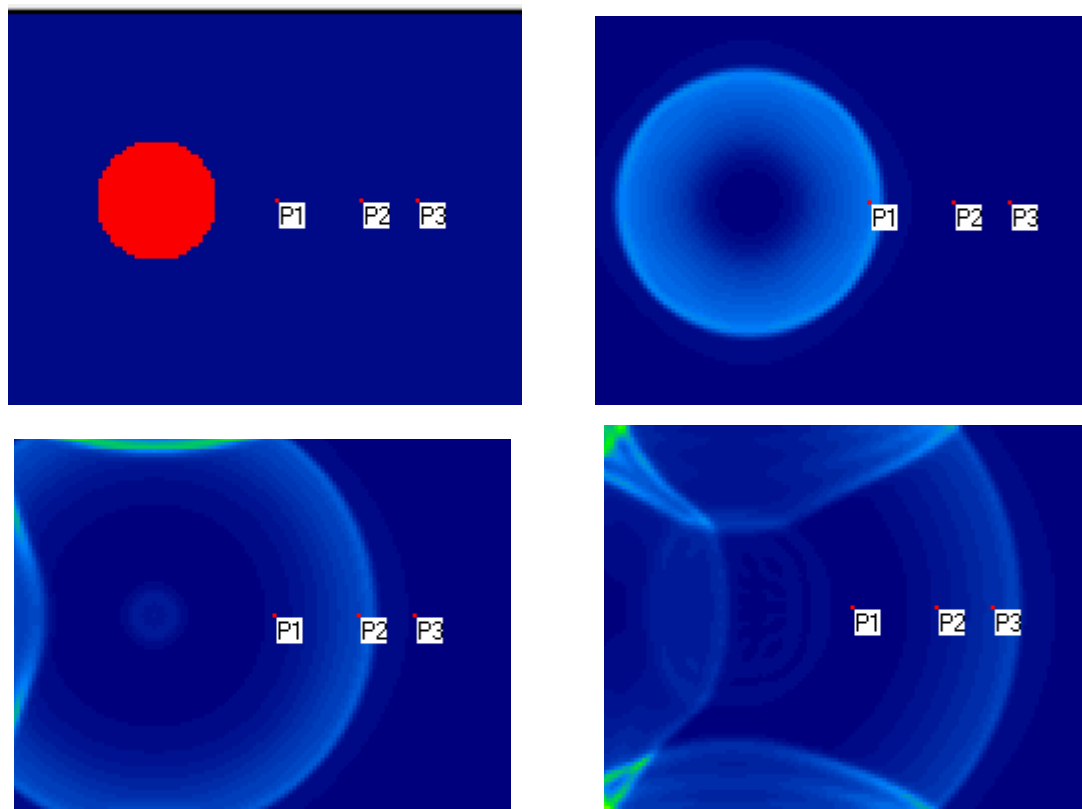


Рисунок 5.10

Для этого надо задать точечные статистики в соответствующих точках, как описано в разделах 5.1.1 и 5.1.2, и после этого вызвать графики статистик. На рисунке 5.11 изображено окно с графиками статистик давления для обозначенных на рисунке 5.10 точек.

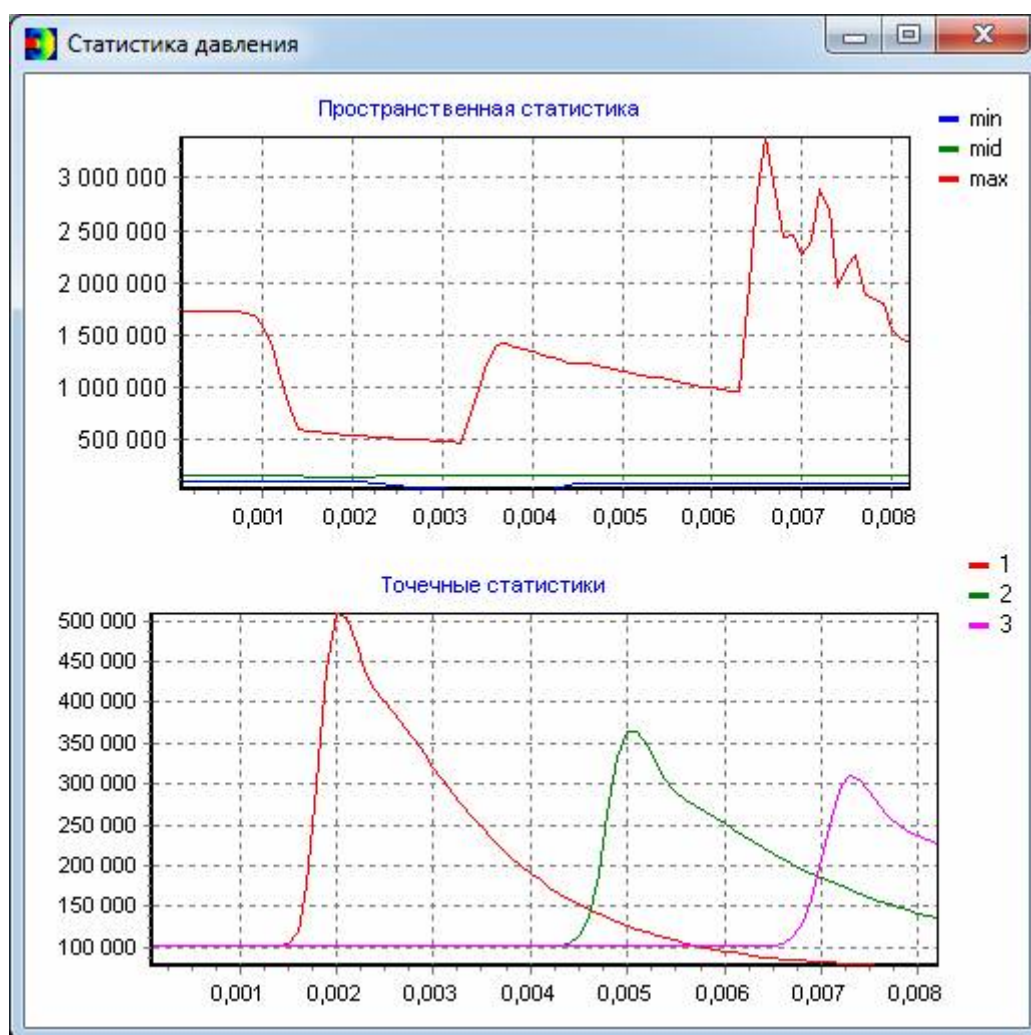


Рисунок 5.11

На графике точечных статистик видно как последовательно повышалось давление в интересующих нас точках по мере распространения ударной волны. Отчетливо видно, что в каждой последующей точке пик давления меньше, так как мощность ударной волны со временем уменьшалась.

На верхнем графике видно, как менялась величина максимального давления в пространстве. Первый спад этой величины связан с резким падением давления в той области, где оно было повышено, дальнейшие пики связаны с отражением волны от твердых стенок, которыми окружено все рассматриваемое пространство.

5.1.6 Пример использования статистики для отслеживания установления стационарного течения

Например, нам нужно получить стационарное течение в канале с расширением и находящимся в нем теле. На рисунке 5.12 показано

стационарное решение этой задачи с обозначенными точечными (P1, P2, P3) и объемными статистиками (V1, V2) скорости.

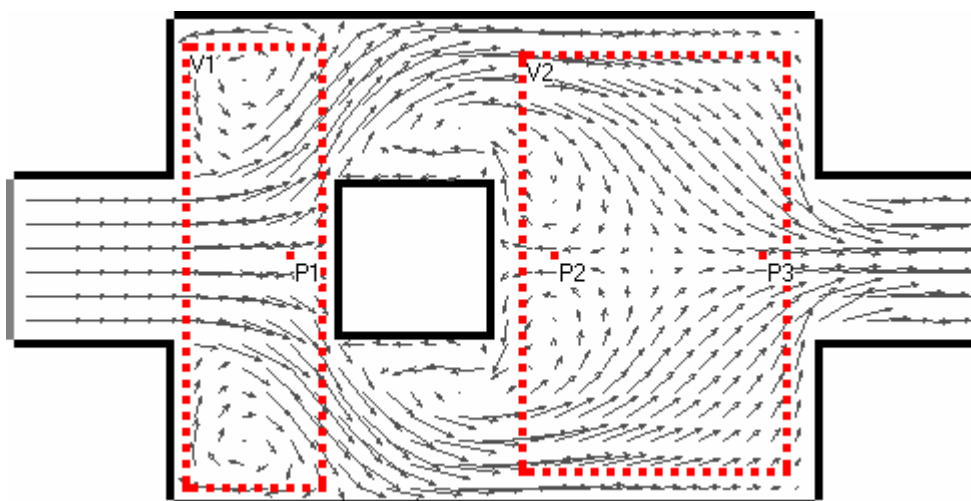


Рисунок 5.12

На рисунке 5.13 изображены графики статистик, полученные при установлении течения.

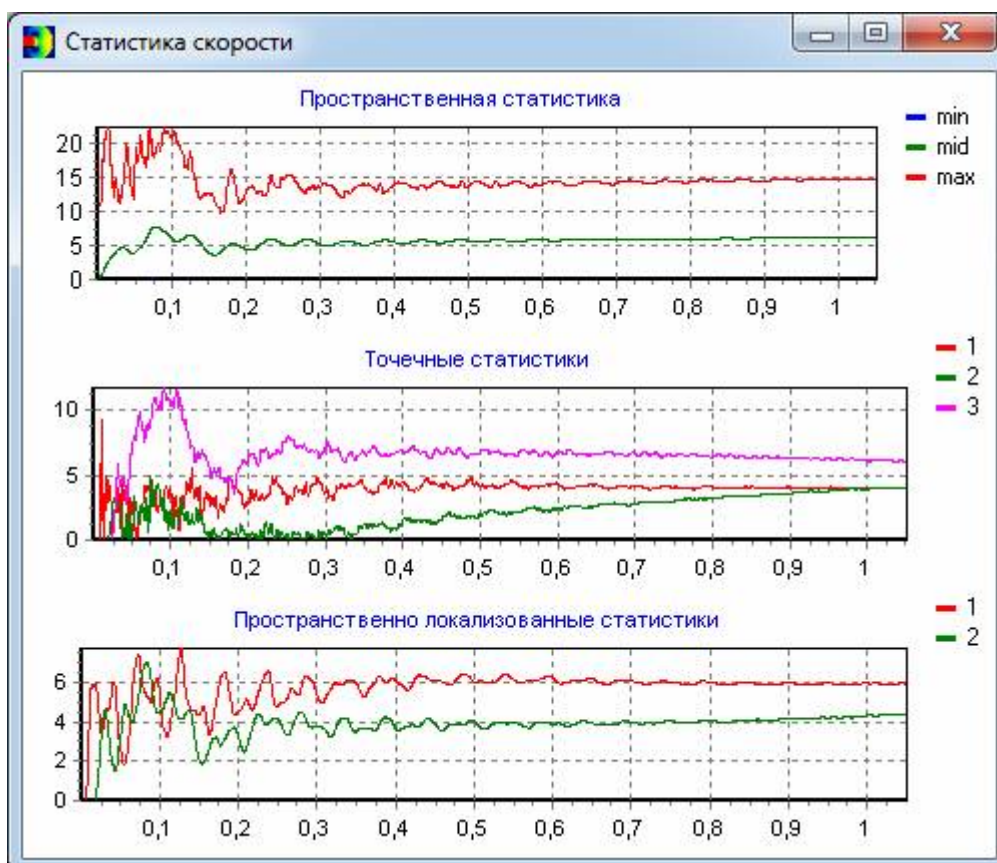


Рисунок 5.13

Как видно из рисунка, на начальном этапе расчета все графики имеют серьезные возмущения. Однако, к концу расчета все величины выходят на

стационарный режим. Именно такой характер должны иметь графики, когда найдено стационарное решение изотермической задачи, то есть задачи, в которой не ищется распределение температуры. Если в задаче ищется стационарное поле температуры, то необходимо включать статистики по температуре и уже по ним, а не по скорости, смотреть на установление стационарного течения.

5.2 Графики установления

5.2.1 Задание параметров установления

Если статистика представляет из себя эволюцию какого-то газодинамического параметра, то график установления представляет из себя скорость эволюции газодинамического параметра. Когда эта скорость приближается к нулю, это означает, что данный газодинамический параметр выходит на стационарный режим и решение по данному параметру установилось. Под заданием параметров установления понимается указание тех газодинамических и твердотельных параметров (скорость, газодинамическая температура, давление, плотность, твердотельная температура), для которых вычисляется скорость эволюции поля. Под скоростью эволюции поля понимается разница между текущим полем и полем, которое было некоторое количество временных шагов тому назад.

Разница между полями в два момента времени вычисляется двумя способами. Первый способ предусматривает следующее: вычисляются разности значений газодинамического параметра во всех ячейках расчетной области, затем вычисляется средняя разность. Во втором способе вычисляется максимальная из этих разностей. Для каждого выбранного газодинамического параметра строятся два графика выше описанными способами.

Следует отметить тот факт, что при задании того или иного газодинамического параметра установочным, в памяти компьютера постоянно хранятся данные поля этого параметра, взятые определенное

количество шагов тому назад, поэтому существенно увеличивается объем оперативной памяти, занимаемой программой.

Чтобы вызвать окно задания газодинамических параметров, для которых будут строиться графики установления, следует выбрать пункт меню «Статистика» —»«Параметры установления...». Вид окна представлен на рисунке 5.14

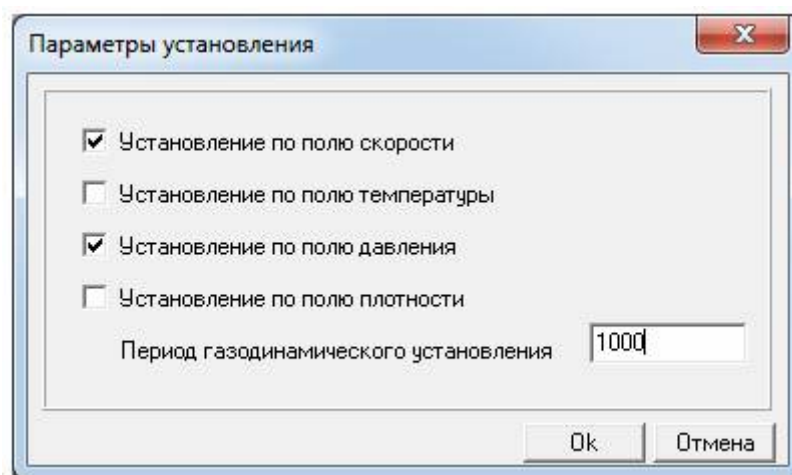


Рисунок 5.14

Здесь выбираются поля для установления и количество шагов, через которые будет вычисляться разница между полями

5.2.2 Просмотр графиков установления

Для того, чтобы просмотреть графики установления вызывается специальное окно вызова изображения графиков (рисунок 5.15). Вызывается это окно командой меню «Статистика» —> «Показать графики установления» или кнопкой .

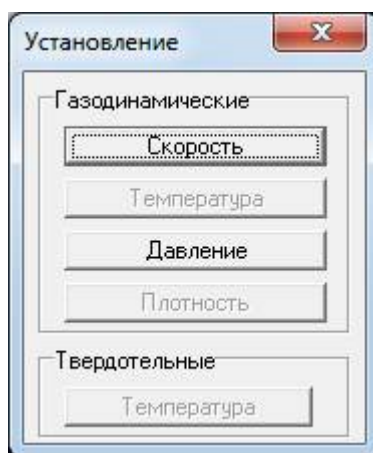


Рисунок 5.15

Нажатием кнопок на этом окне будут вызываться графики установления для соответствующих полей газодинамических и твердотельных параметров. В данном случае активны только кнопки для скорости и давления, это означает, что построение графиков установления было задано только для этих параметров.

На рисунке 5.16 показано окно с графиками установления по полю скорости для установившегося стационарного решения газодинамической задачи, показанной на рисунке

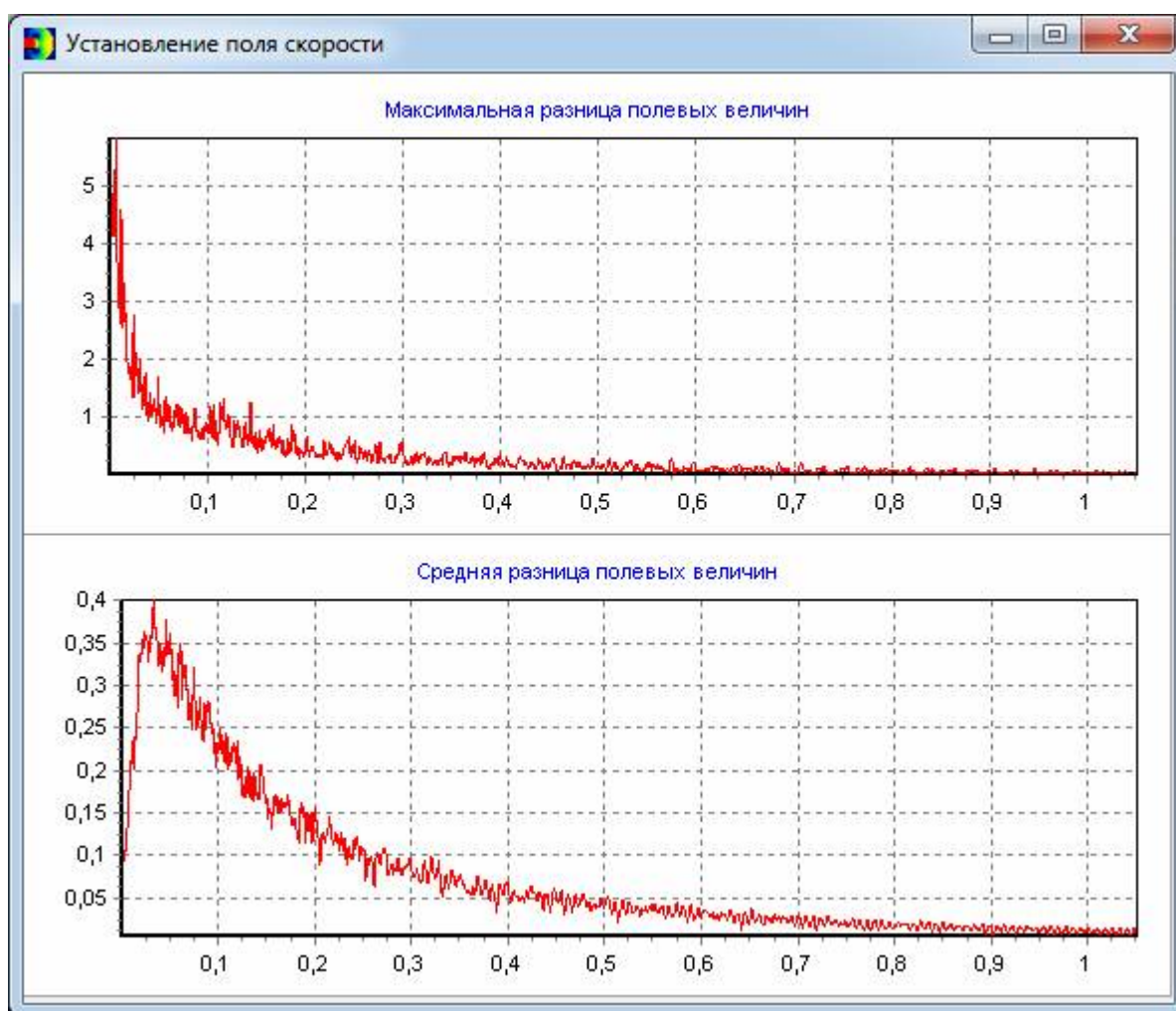


Рисунок 5.16

Именно такой характер должны иметь графики, когда найдено стационарное решение той или иной задачи.