

Часть 1. Гидравлический расчёт трубных инженерных систем

Целью данного компьютерного практикума является приобретение навыков математического моделирования гидравлических процессов в узлах систем отопления и теплоснабжения.

1.1 Построение модели объекта исследования

Построение модели объекта проводится в программной обеспечении Компас-3D. Исследуемый узел ограждающей конструкции, а также граничные условия выдаются по заданию.

1.1.1 Создание модели

В диалоге Новый документ укажите тип создаваемого документа Деталь щелчком мыши по пиктограмме (рисунок 1.1).

Если вы находитесь на стартовой странице, вы можете указать тип документа Деталь в группе Создать или также вызвать команду Файл — Создать.

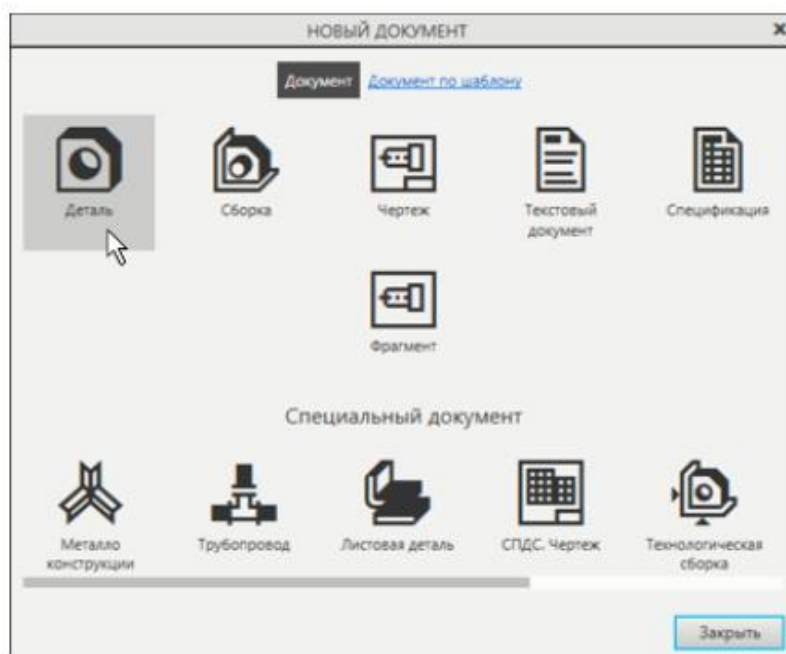


Рис. 1.1. Создание нового документа

На экране появится окно новой детали. Обратите внимание на заголовок вкладки документа — на ней показано имя модели по умолчанию [Деталь БЕЗ ИМЕНИ1].

Новый документ нужно сохранить на носитель данных в определенную папку и присвоить ему имя — об этом будет рассказано далее.

Основные приемы создания эскиза элемента

В Дереве построения раскройте раздел Начало координат щелчком на значке списка слева от названия и укажите плоскость ZX (рисунок 1.2) или щелкните мышью по ней в графической области.

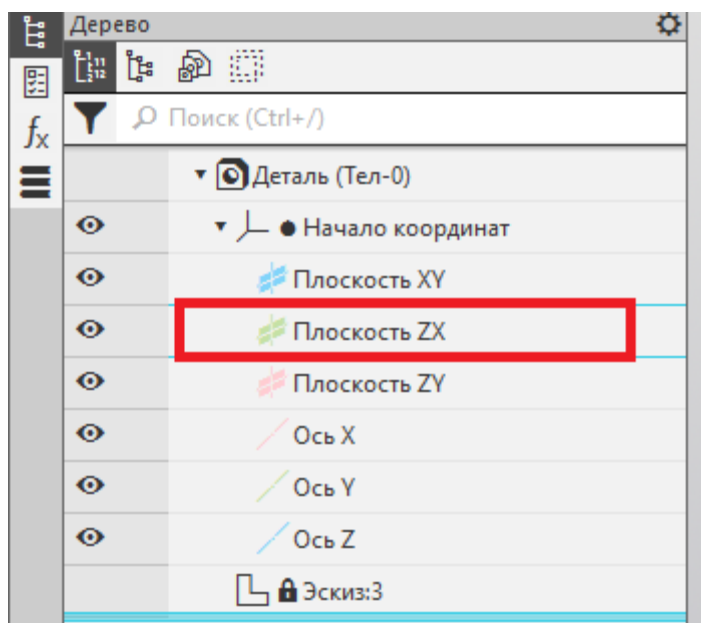


Рис. 1.2. Выбор плоскости эскиза

Для обучения следуем следующей последовательности:

1. Нажмите кнопку Создать эскиз  на Панели быстрого доступа. Система перейдет в режим редактирования эскиза, плоскость ZX станет параллельной экрану.

2. Нажмите кнопку Параметрический режим  на Панели быстрого доступа или убедитесь, что она нажата.

Параметрический режим — режим создания и редактирования геометрических объектов и объектов оформления, в котором параметрические связи и ограничения накладываются автоматически. При этом тип накладываемых связей и ограничений определяется в процессе построения благодаря последовательности выполнения команды построения объекта или осуществлению привязки.

3. Нажмите кнопку Прямоугольник  Прямоугольник на панели Геометрия.

4. Укажите точки 1 и 2 диагонали прямоугольника — прямоугольник будет построен.

5. Нажмите кнопку Авторазмер  на панели Размеры.

6. Укажите мишенью верхний горизонтальный отрезок, задайте положение размерной линии.

7. В диалоге установки значения размера введите необходимое значение и нажмите кнопку Изменить размер. Аналогично постройте вертикальный размер.

По умолчанию в КОМПАС-3D установлена единица измерения длины — миллиметр, угла — градус. Они будут использоваться для отображения параметров команд (длины, радиуса, координат, углов и т.д.) в диалогах и полях Панели параметров. Не закрывайте эскиз. Ознакомьтесь с привязками, которые могут быть использованы при его создании.

Привязки — механизм, позволяющий точно задать положение курсора, выбрав условие его позиционирования (например, в ближайшей характерной точке объекта, в его середине, на пересечении двух объектов и т.д.). В КОМПАС-3D есть две группы привязок: глобальные и локальные.

Глобальные привязки выполняются во время черчения непрерывно. Просмотреть привязки, разрешить или запретить выполнение определенных из них можно с помощью меню кнопки Привязки на Панели быстрого доступа (рисунок 1.3).

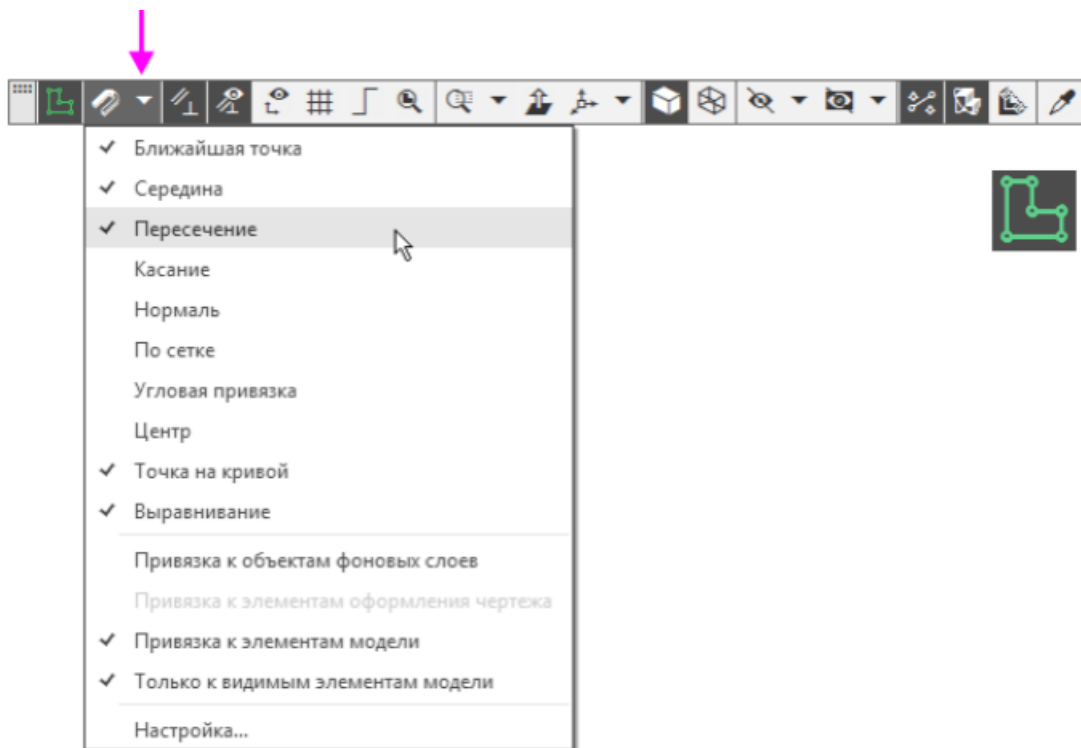


Рис. 1.3. Задание глобальных привязок

Нажатие самой кнопки Привязки позволяет отключать действие всех глобальных привязок, а затем включать их вновь в прежнем составе.

Локальные привязки в процессе черчения можно включить вручную — нажатием кнопки в контекстном меню, вызываемом щелчком правой кнопки мыши. Их приоритет выше, чем приоритет глобальных привязок, и выполняются они лишь при указании одной (текущей) точки или геометрического объекта (рисунок 1.4).

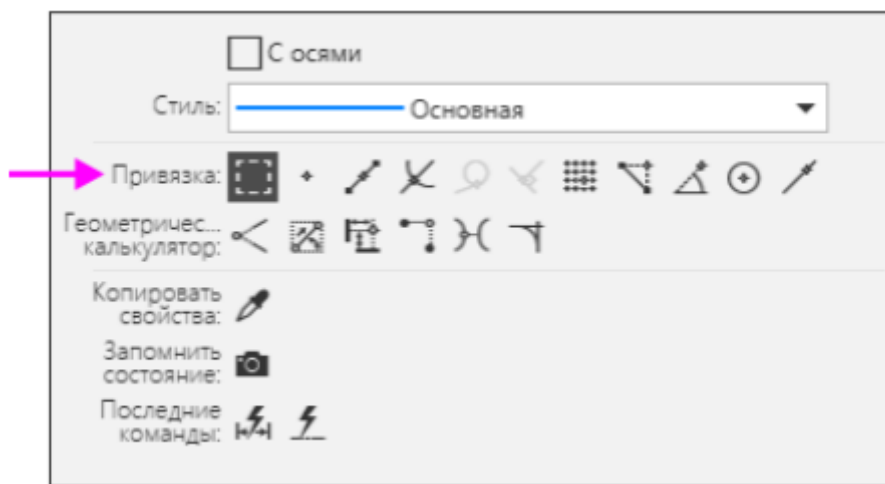


Рис. 1.4. Задание локальных привязок

Значок привязки появляется в графической области при подведении курсора к объекту в процессе работы команды построения. Значки имеют такой же вид, как и кнопки их включения на контекстной панели. Например, если приблизить курсор к вершине отрезка, рядом с курсором появится значок Ближайшая точка.

На рисунке 1.5 приведены наиболее часто встречающиеся привязки.

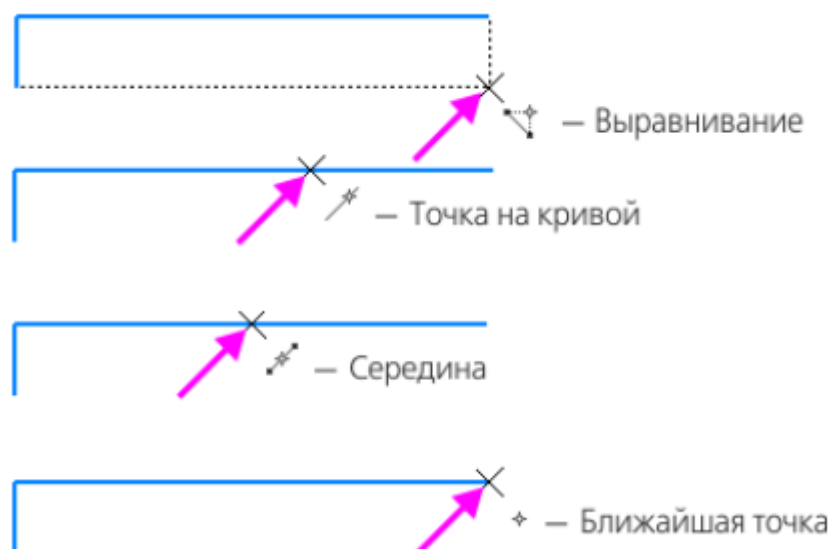


Рис. 1.5. Пояснение к видам привязок

Срабатывание привязок может мешать правильному выбору объектов, например, если вы работаете при уменьшенном изображении. Чтобы временно отключить привязки, выполняйте указание и построение объектов при нажатой клавише <Alt>.

8. Закройте эскиз — для этого нажмите кнопку Создать эскиз  еще раз или выключите кнопку режима эскиза.

Операция выдавливания

Нажмите кнопку Элемент выдавливания  **Элемент выдавливания** на панели Элементы тела и выберете эскиз.

В графической области появится фантом трехмерного элемента — временное изображение, показывающее текущее состояние создаваемого объекта.

Для лучшего обзора результатов операции поверните фантом вокруг оси Z так, чтобы были видны все размеры.

Обратите внимание на то, что поле Расстояние Панели параметров подсвечивается, т.е. находится в режиме ожидания ввода числа. Значение автоматически попадет в поле Расстояние на Панели параметров. Это результат работы режима предопределенного ввода параметров.

Нажмите клавишу <Enter> для фиксации значения — изображение фантома перестроится.

Для окончательного создания объекта нажмите кнопку Создать объект  на Панели параметров — будет построен первый элемент детали.

Завершите работу команды кнопкой Завершить .

Достраивание модели

Достроить элемент можно при помощи операции выдавливания, создав для этого новый эскиз на грани:

1. Укажите переднюю грань элемента и нажмите кнопку Создать эскиз



на Панели быстрого доступа.

2. При указании вершин, ребер, осей, граней и плоскостей в графической области происходит динамический поиск объектов — при прохождении курсора над объектом этот объект подсвечивается, а курсор меняет свой вид (рисунок 1.6).
3. Повторите построение эскиза и процесс выдавливания под параметры Вашей модели.

	Вершина
	Ребро
	Грань
	Начало координат
	Ось
	Плоскость
	Пространственная кривая

Рис. 1.6. Внешний вид курсора при выборе элементов

1.2 Численное моделирование объекта исследования

Назначение и возможности KompasFlow Приложение KompasFlow представляет собой интегрированный в КОМПАС-3D инструмент экспресс-анализа аэро-гидродинамики проектируемого устройства. KompasFlow обладает простым интерфейсом для экспресс-анализа устройства на ранних этапах его проектирования и позволяет сделать первичную оценку влияния вносимых изменений в геометрию устройства на его эффективность. KompasFlow позволяет моделировать:

Течение однокомпонентного газа (сверхзвуковое и дозвуковое течение, сжимаемые и несжимаемые среды). Примеры задач:

- Расчет аэродинамического сопротивления автомобиля, подъемной силы крыла
- Течение в вентиляционных каналах и сквозь вентиляционные решетки, расчет потерь
- Циркуляция воздуха в помещениях, кабинах
- Расчет ветровой нагрузки на конструкции и постройки

Течение жидкости. Примеры задач:

- Расчет гидродинамических потерь в трубах и запорной арматуре
- Расчет гидравлических потерь в жидкостных теплообменниках

Теплопроводность и естественную конвекцию. Примеры задач:

- Моделирование отвода тепла в теплообменниках
- Моделирование вентиляции, охлаждения и прогрев помещений и кабин
- Анализ эффективности охлаждения электротехники.

KompasFlow поддерживает параллельные вычисления в рамках одного многоядерного процессора. Простой интерфейс накладывает ограничения на круг решаемых задач:

- моделируется течение и теплообмен только в одном замкнутом объеме
- расчетный объем может быть занят только одним веществом
- в первых версиях программы не предусмотрено моделирование подвижных объектов

Подключение KompasFlow к КОМПАС-3D

Приложение KompasFlow входит в состав стандартного дистрибутива КОМПАС-3D (начиная с версии 18), но не подключено. Для его подключения откройте Конфигуратор КОМПАС-3D при помощи команды Приложения > Конфигуратор главного меню:

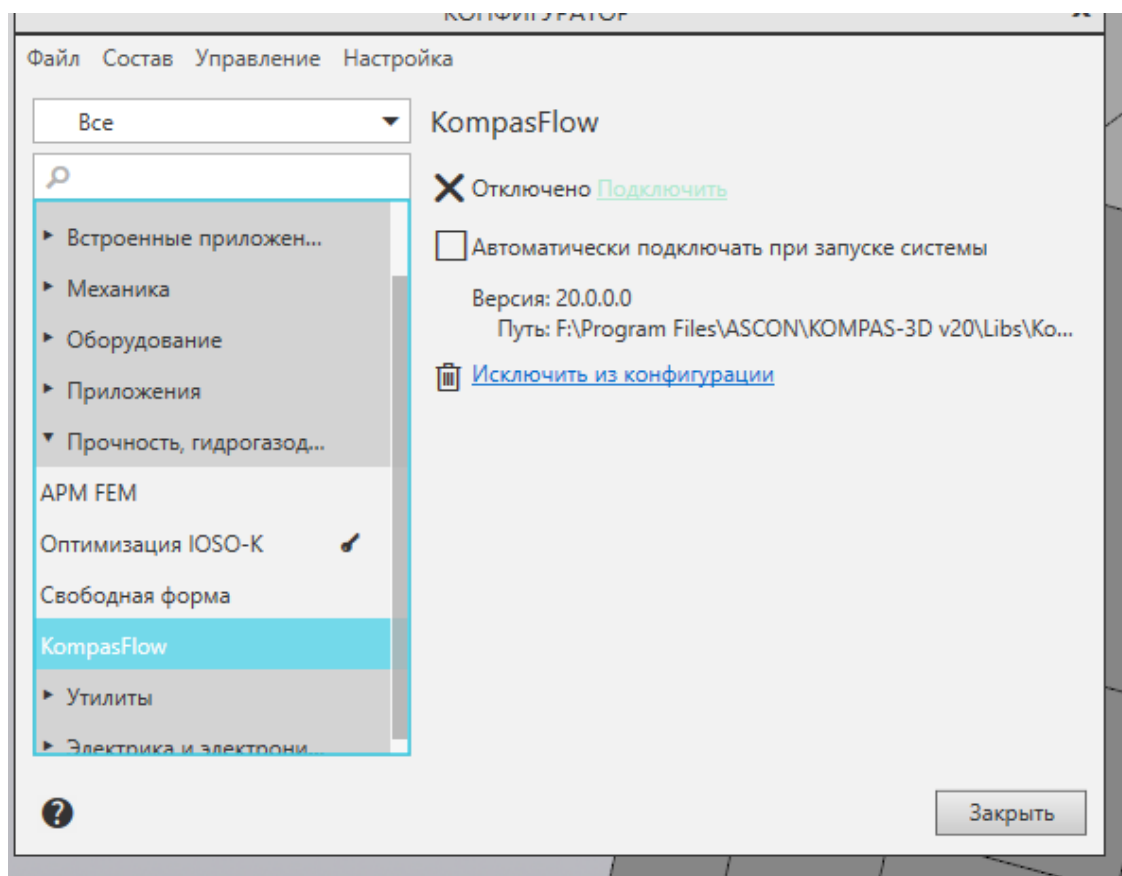


Рис. 2.7. Подключение приложения KompasFlow

Инструментальная панель KompasFlow

После подключения KompasFlow откройте инструментальную панель KompasFlow, выбрав её из списка доступных инструментальных панелей (рисунок 1.8).

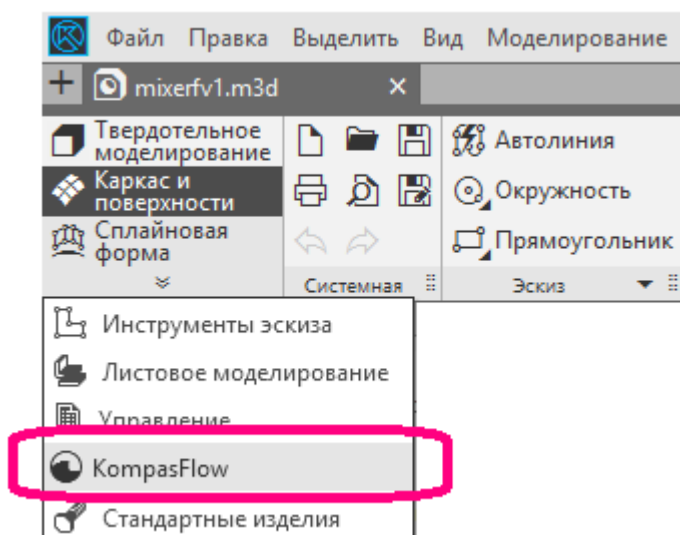


Рис. 1.8. Открытие панели KompasFlow

Инструментальная панель KompasFlow откроется в верхней части окна КОМПАС-3D (рисунок 1.9).

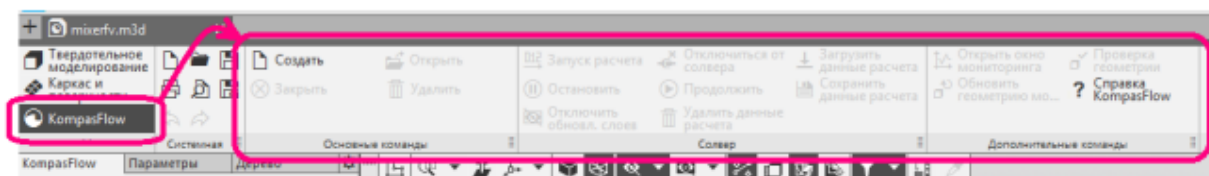


Рис. 1.9. Панель KompasFlow

Дерево проекта KompasFlow

Элементы KompasFlow представлены в области панелей управления КОМПАС-3D во вкладке KompasFlow. Мы будем их называть "дерево проекта", не путая с деревом геометрической модели КОМПАС-3D.

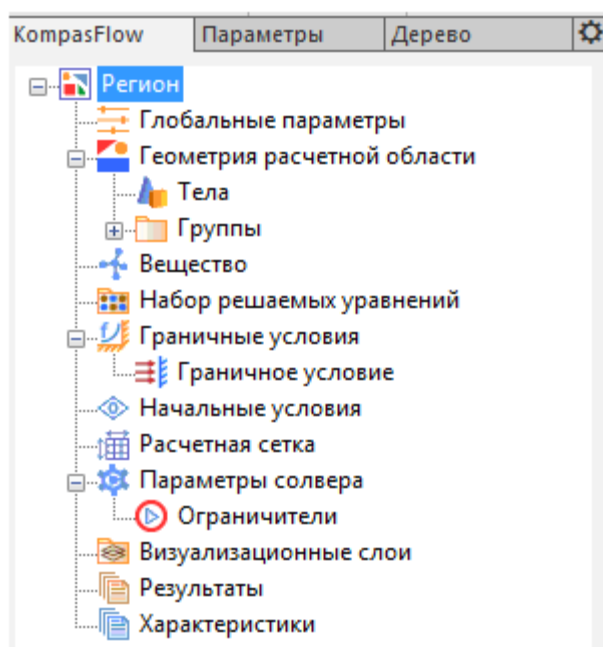


Рис. 1.10. Дерево проекта KompasFlow

1.2.1 Выбор параметров среды

В глобальных параметрах проекта задаются вектор гравитации, опорные давление и температура и геометрическая точность.

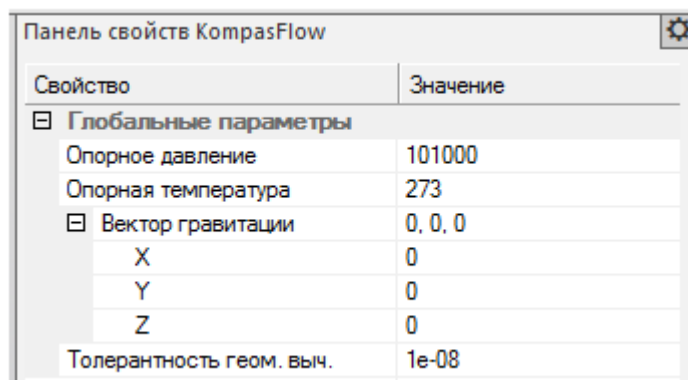


Рис. 1.11. Элемент «Глобальные параметры»

Дадим некоторые пояснения:

Опорное давление и опорная температура: Во многих случаях изменения давления и температуры в поле течения, обусловленные гидродинамическими причинами, значительно меньше, чем абсолютные величины давления и температуры. Поэтому для повышения точности расчета целесообразно представить абсолютные значения давления и температуры.

Толерантность геометрических вычислений, т.е. точность, с которой определяются геометрические параметры (координаты точек геометрических объектов в проекте). Значение по умолчанию 10^{-8} .

В нашем случае подойдут следующие параметры:

Опорное давление = 101000

Опорная температура = 273

Вектор гравитации > X = 0

Вектор гравитации > Y = 0

Вектор гравитации > Z = 0

Толерантность геом. выч. = 10^{-8}

Вещество и его параметры

Параметры моделируемого вещества задаются в панели свойств элемента Регион > Вещество в дереве проекта KompasFlow:

В нашем примере будет моделироваться течение воды. Т.к. скорости течения невелики и среда слабосжимаемая, будем рассматривать воду как несжимаемую жидкость (зададим постоянную плотность).

Шаг 1. Выделение элемента в дереве проекта.

Во вкладке KompasFlow нажатием левой кнопки мыши выделите элемент Вещество.

Шаг 2. Задание свойств Вещества.

В свойствах Вещества (в панели свойств KompasFlow) задайте:

Агрегатное состояние = Жидкость

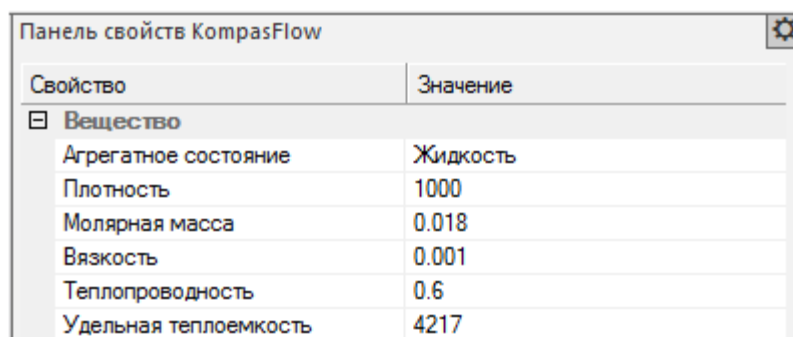
Плотность = 1000

Молярная масса = 0.018

Вязкость = 0.001

Теплопроводность = 0.6

Удельная теплоемкость = 4217



Панель свойств KompasFlow	
Свойство	Значение
☒ Вещество	
Агрегатное состояние	Жидкость
Плотность	1000
Молярная масса	0.018
Вязкость	0.001
Теплопроводность	0.6
Удельная теплоемкость	4217

Рис. 1.12. Выбор свойств жидкости

Набор решаемых уравнений и их настройки задаются в панели свойств элемента Регион > Набор решаемых уравнений в дереве проекта KompasFlow:

Задайте следующие значения параметров Набора решаемых уравнений:

Уравнение движения = Да

Турбулентность = Да

Уравнение теплопереноса = Нет

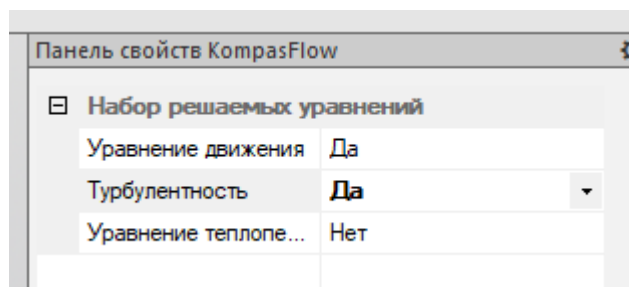


Рис. 1.13. Выбор набора решаемых уравнений

1.2.2 Выбор граничных условия

Моделирование всего бесконечного пространства невозможно, поэтому оно ограничено некоторой расчетной областью, на границах которой нужно настроить граничные условия, адекватно описывающие пространство за пределами расчетной области.

В KompasFlow реализованы следующие Граничные условия (ГУ):

- Симметрия:
- Стенка
- Вход/Выход
- Свободный выход
- Неотражающее

Граничные условия устанавливаются на гранях модели. Первоначально на всех поверхностях геометрической модели устанавливается ГУ типа **Стенка** с именем Граничное условие.

Для задания ГУ в нашем примере нужно:

1. Создать четыре граничных условия: для входа и выхода воды и для стенки.
2. Привязать созданные ГУ к соответствующим граням расчетной области.
3. Задать значения расхода для граничных условий, соответствующих входу воды.

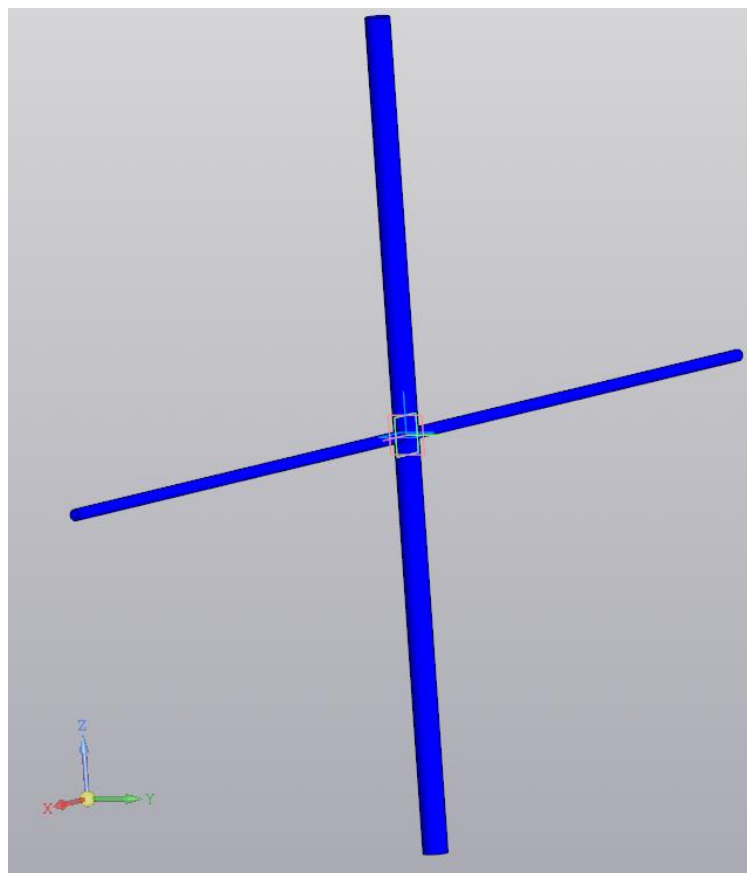


Рис. 1.14. Пример модели узла (крестовина)

Шаг 1. Переименуйте существующее Граничное условие.

В дереве проекта, в свойствах элемента Регион > Граничные условия > Граничное условие, измените значение параметра Название. Дайте ему осмысленное значение Стенка.

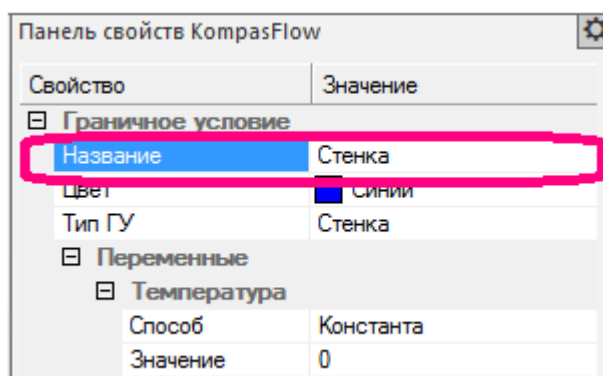


Рис. 2.15. Задание названия ГУ

Это граничное условие будет использовано для стенок узла, его название в дереве проекта изменится с Граничное условие на Стенка.

Шаг 2. Измените цвет этого Граничного условия.

В свойствах элемента Регион > Граничные условия > Стенка задайте Цвет = Серый (выберите цвет из списка).

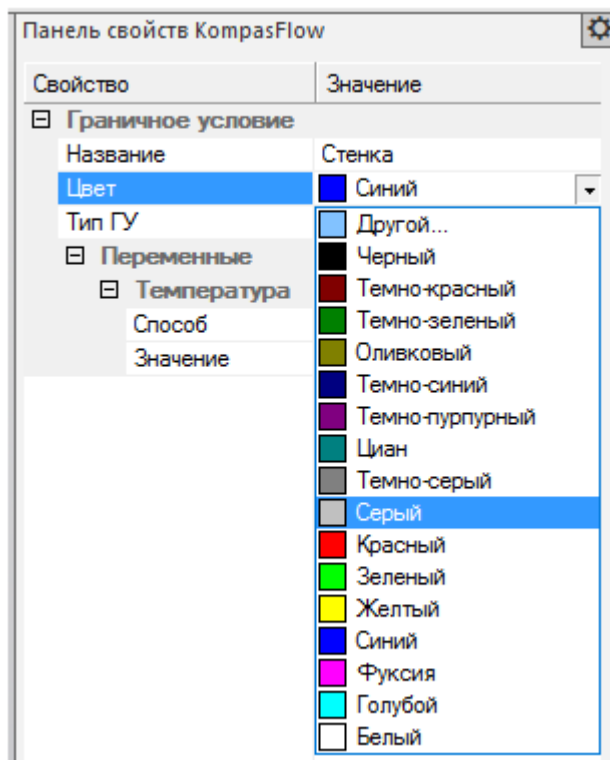
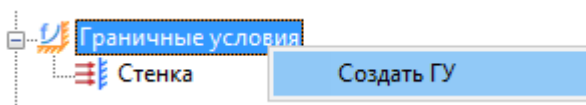


Рис. 2.16. Выбор цвета ГУ

Шаг 3. Создайте еще одно Граничное условие (для входа воды).

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать ГУ.



В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1.

Шаг 4. Измените название и тип только что созданного Граничного условия #1.

Выделите элемент Граничное условие #1 в дереве проекта, и в его свойствах задайте:

Название = Вход 1

Цвет не изменяйте, оставьте Синий

Тип = Вход/Выход

Шаг 5. Создайте еще одно Граничное условие (для входа горячей воды), задайте его название, цвети тип.

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать. В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1. Задайте в его свойствах:

Название = Вход 2

Цвет = Красный

Тип = Вход/Выход

Шаг 6. Создайте еще одно Граничное условие (для выхода), задайте его название, цвет и тип.

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать. В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1. Задайте в его свойствах:

Название = Вход 3

Цвет = Голубой

Тип = Свободный выход

Шаг 7. Создайте еще одно Граничное условие (для выхода), задайте его название, цвет и тип.

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать. В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1. Задайте в его свойствах:

Название = Выход 1

Цвет = Фуксия

Тип = Свободный выход

Расстановка граничных условий

Привяжем созданные Граничные условия к граням геометрической модели. Поскольку на всех группах фасеток уже стоит граничное условие

Стенка, остается только изменить Граничные условия на сечениях впускных трубок и выпускной трубки в соответствии с приведенной ниже иллюстрацией на рисунке 1.17.

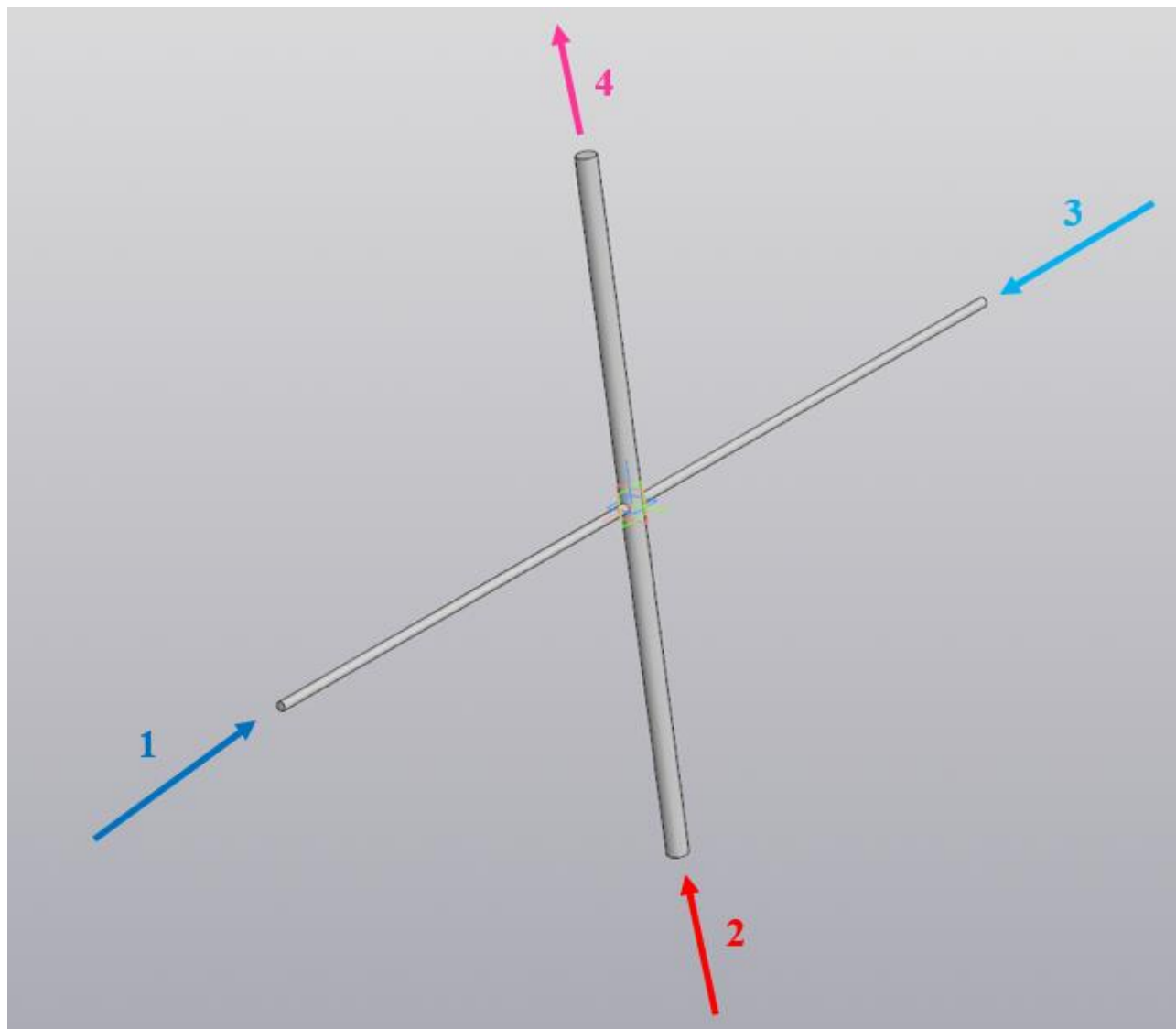


Рис. 1.17. Иллюстрация поверхностей ГУ:

1 — вход 1; 2 — вход 2; 3 — вход 3; 4 — выход

Шаг 1. Нажмите на изображение сечения одной из впускных трубок в графической области окна КОМПАС-3D, оно подсветится зеленым цветом.

Шаг 2. В панели свойств откроются параметры соответствующего элемента Группа #N. Задайте там Граничное условие = Вход 1.

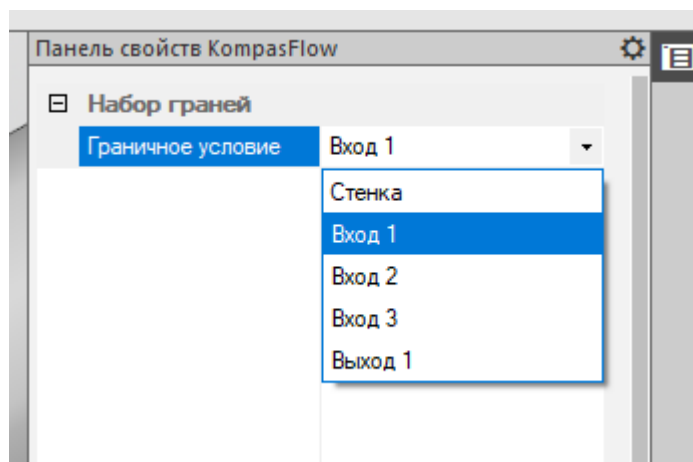


Рис. 1.18. Панель задания ГУ

Шаг 3. Разверните изображение узла в графической области и нажмите на сечение другой впускной трубки. В панели свойств соответствующего элемента Группа #N задайте Граничное условие = Вход 2.

Шаг 4. Разверните изображение узла в графической области и нажмите на сечение третьей впускной трубки. В панели свойств соответствующего элемента Группа #N задайте Граничное условие = Вход 3.

Шаг 5. Разверните изображение узла (при необходимости) и нажмите на сечение выпускной трубки. В панели свойств соответствующего элемента Группа #N задайте Граничное условие = Выход.

Выход. После расстановки граничных условий соответствующие сечения трубок будут обозначены в графической области синим, красным и голубым цветами.

Задание параметров граничных условий

Теперь необходимо определить, каким образом будет вычисляться значение физических величин на границах расчетной области.

Выделяйте по очереди Граничные условия и в панели свойств задайте их параметры.

Шаг 1. Для граничного условия Стенка задайте:

- Шероховатость = 200 мкм

Шаг 2. Для граничного условия Вход 1 задайте:

- Переменные > Скорость > Способ = Массовый расход = задайте исходя из исходного задания Q_1 в кг/с

Шаг 3. Для граничного условия Вход 2 задайте:

- Переменные > Скорость > Способ = Массовый расход = задайте исходя из исходного задания Q_2 в кг/с

Шаг 4. Для граничного условия Вход 3 задайте:

- Переменные > Скорость > Способ = Массовый расход = задайте исходя из исходного задания Q_1 в кг/с

Шаг 5. Для граничного условия Выход задайте:

- Переменные > Скорость > Давление = 0 (превышение над опорным давлением, задается в [Па]).

1.2.3 Построение расчетной сетки

Невозможно посчитать движение каждой молекулы. Поэтому применяется дискретизация пространства с помощью расчетной сетки. Весь расчетный объем разбивается на элементарные объемы - ячейки. Чем меньше размер таких ячеек, тем лучше разрешение пространства сеткой. В объеме каждой ячейки все физические величины считаются постоянными в рассматриваемый момент времени.

В нашем примере задание Расчетной сетки будет состоять из двух этапов:

- а) задание Начальной сетки.
- б) задание локальной Адаптации

Начальная расчетная сетка

Начальная сетка в KompaFlow является ортогональной и равномерной. Она задается в боксе, описывающем расчетную область. Необходимо указать шаги разбиения по трем осям системы координат.

Задайте равномерную начальную расчетную сетку, с количеством ячеек 20, 20 и 30 по осям X, Y, Z соответственно, задав в панели свойств элемента Регион > Расчетная сетка: $nX=20$ $nY=20$ $nZ=30$

Изображение Расчетной сетки в графической области соответствующим образом изменится (рисунок 1.19).

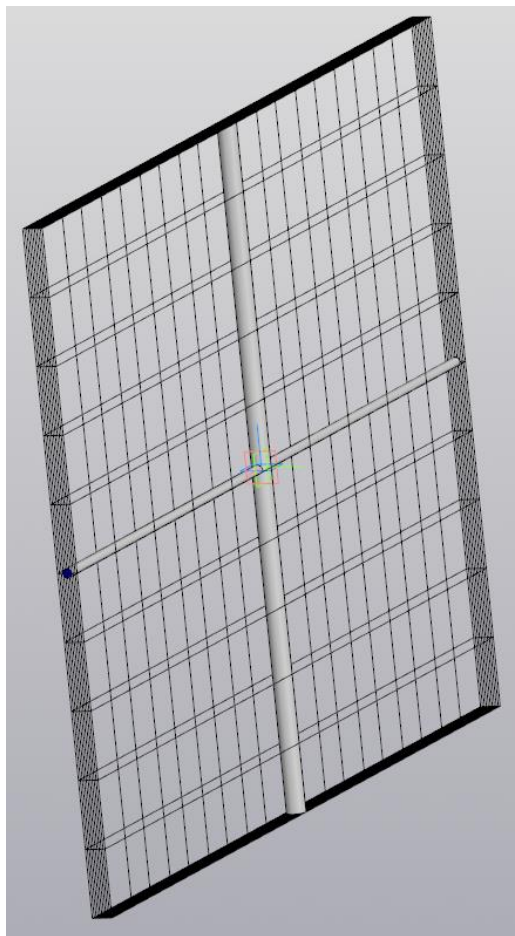


Рис. 1.19. Расчетная сетка

Адаптация сетки

Адаптация – это способ измельчения начальной сетки у поверхности геометрической модели. Адаптация приводит к измельчению ячеек, путем деления сетки пополам по каждому направлению вдоль осей X, Y, Z (поэтому одно разбиение делит ячейку на 8 частей). Уровень адаптации - число последовательных разбиений ячеек сетки. Чем больше уровень, тем мельче будут ячейки. Слои адаптации – количество слоев одного уровня адаптации. Этот параметр позволяет распространять адаптацию на некотором расстоянии от поверхности, на которой она задана (в направлении нормали к этой поверхности). Адаптация задается в элементах Регион > Расчетная сетка > Адаптация #N в дереве проекта KompasFlow (рисунок 1.20).

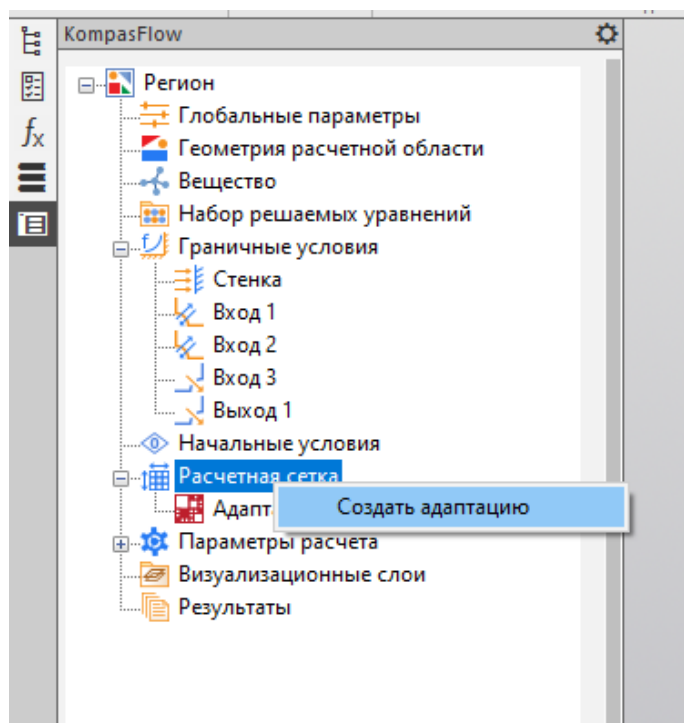


Рис. 1.20. Адаптация сетки

В нашем примере будет задана адаптация на поверхности стенок смесителя, с разбиением не больше, чем на один уровень, с двумя слоями проадаптированных ячеек, примыкающих к стенкам смесителя. Выполните следующие действия:

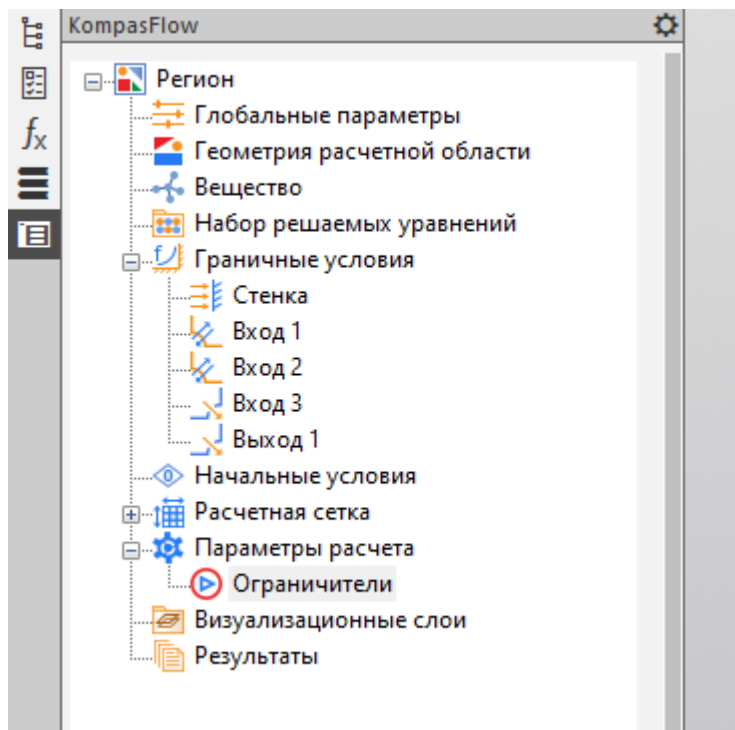
Шаг 1. Создайте Адаптацию, которая будет применяться на стенках смесителя. Для этого в контекстном меню элемента Регион > Расчетная сетка выберите команду Создать адаптацию: В дереве проекта появится элемент Адаптация #1.

Шаг 2. Задайте следующие параметры Адаптации #1 в ее панели свойств:

- Активно = Да (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию)
- ГУ = Стенка
- Уровень = 1 (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию)
- Количество слоев = 3 (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию).

1.2.4 Получение результатов расчета

Параметры расчета настраиваются в панелях свойств элементов Регион > Параметры солвера и Регион > Параметры расчета > Ограничители:



Задайте следующие значения в панели свойств элемента Параметры расчета:

- CFL = 1
- Макс. шаг по времени = 0.01
- Моделируемое время = 15

Не изменяйте параметры элемента Параметры расчета > Ограничители, заданные по умолчанию. Чаще всего Ограничители применяются при расчете сверхзвуковых потоков для сглаживания негативных численных эффектов.

Для настройки отображения результатов расчета используются следующие папки дерева проекта:

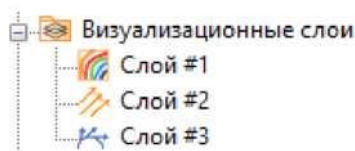
- Визуализационные слои (содержит элементы Слой #N)
- Результаты (содержит элементы Результат #N)
- Характеристики (содержит элементы Характеристика #N)

Графики с Результатами отображаются в окне Мониторинг. Данные Характеристики отображаются в их панелях свойств.

Создание слоев

Для визуализации результатов расчета применяются Слои визуализации

Каждый такой слой представлен в дереве проекта как дочерний элемент Слой #N в папке Визуализационные слои:



Слои строятся в объеме, на плоскостях или на геометрических поверхностях.

В нашем примере мы создадим Слои, построенные на следующих Плоскостях:

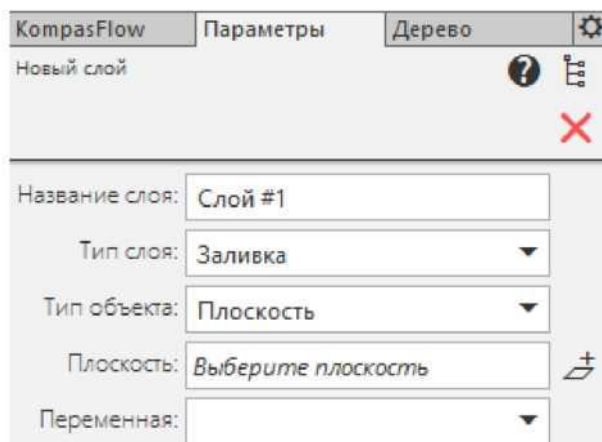
- одна из Плоскостей - вертикальная плоскость, параллельная впускным трубками и проходящая через ось симметрии смесителя
- другая Плоскость - горизонтальная плоскость, проходящая через оси впускной и выпускной трубки

В загруженном проекте уже имеются такие Плоскости, это Смещенная плоскость:1 и Смещенная плоскость:2.

На каждой из этих Плоскостей создадим по два Слая, в одном из которых зададим отображение давления в виде цветной заливки, а в другом - Скорости в виде векторов. Таким образом, всего будет создано три Слая. При желании средствами Компас-3D можно создать другие Плоскости и построить на них Слои.

Выполните следующие действия:

Шаг 1. В контекстном меню элемента Визуализационные слои выберите команду Создать слой. В области панелей управления Компас-3D откроется вкладка Параметры, в которой нужно задать параметры создаваемого Слая:



Шаг 2. Во вкладке Параметры задайте параметры Слая:

- Название слоя = Слой #1
- Тип слоя = Заливка
- Тип объекта = Плоскость
- Плоскость = Смещенная плоскость:1 Для этого нажмите на пиктограмму



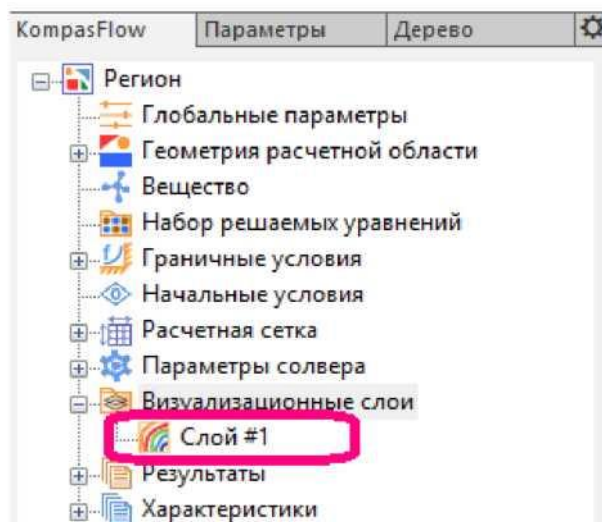
и выберите Смещенная плоскость:1 в дереве геометрических элементов, которое отобразится поверх изображения в графической области. Пиктограмму  можно оставить включенной, поскольку доступ к дереву геометрических элементов еще понадобится при создании других Слоев или откройте вкладку Дерево и выберите там Смещенную плоскость:1, после чего вернитесь во вкладку Параметры. Выбранная Плоскость будет отображаться в дереве геометрических элементов пиктограммой красного цвета .

- Переменная = Скорость

Некоторые поля уже содержат нужные значения, установленные по умолчанию. В этих случаях убедитесь, что заданы именно они.

Шаг 3. Нажмите на появившуюся пиктограмму

Программа создаст Слой #1 и откроет вкладку KompasFlow:



Шаг 4. Аналогичным образом создайте еще один Слой со следующими параметрами:

- Слой #2 на Смещенной плоскости:2 с параметрами: Тип слоя = Заливка, Переменная = Давление.

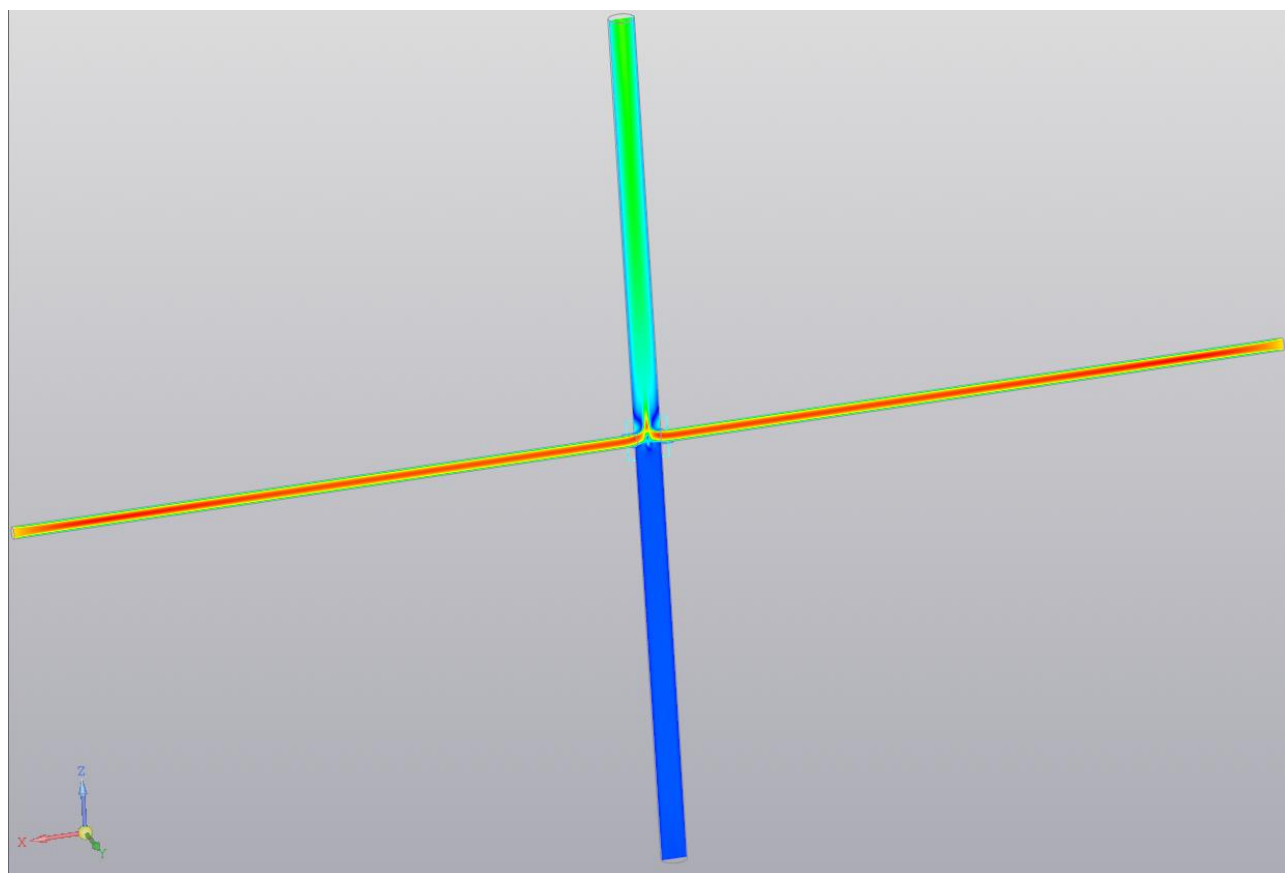


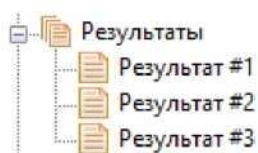
Рис. 2.21. Пример отображения распределения скорости по оси узла

1.3. Обработка результатов численного моделирования объекта исследования

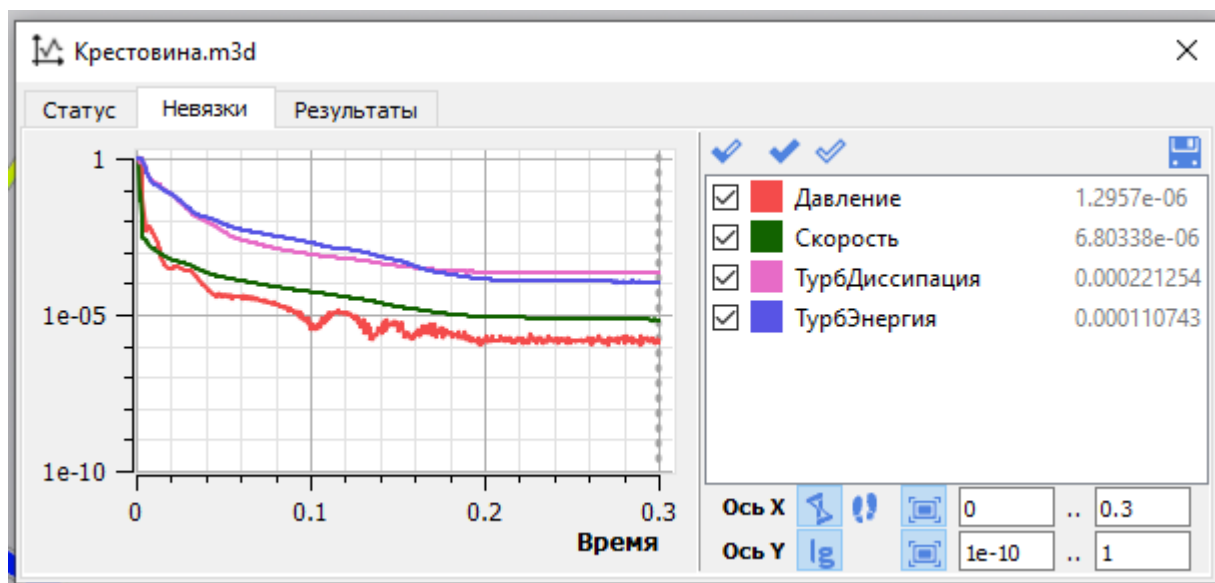
1.3.1. Создание Результатов

Элементы Результат #N применяются для вычисления интегральных величин.

В дереве проекта они располагаются в папке Результаты:



После запуска расчета графики Результатов в зависимости от времени отображаются в Окне мониторинга:



Графики Результатов удобно использовать для оценки сходимости решения. Например, когда средняя температура на выходе из смесителя перестанет меняться, можно судить о том, что решение сошлось и дальнейший расчет не имеет смысла.

Создадим Результат #1, вычисляющий среднее давление воды на входе в узел (Вход 2). Выполните следующие действия:

Шаг 1. В контекстном меню элемента Результаты выберите команду Создать Результат. В области панелей управления КОМПАС-3D откроется

вкладка Параметры, в которой нужно задать параметры создаваемого Результата.

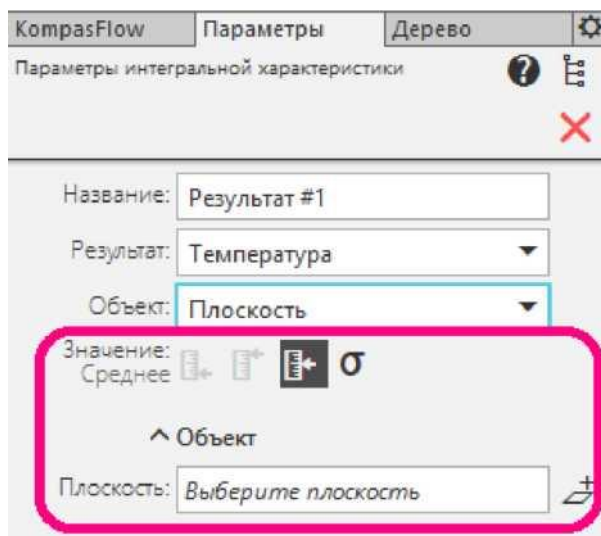
Шаг 2. В поле Результат выберите Давление.

Во вкладке Параметры появятся поля:

- Объект (возможные варианты: Расчетная область | Плоскость | Поверхность | Точка)
- Значение (на этом шаге данное поле неактивно)

Шаг 3. В поле Объект выберите Плоскость.

Во вкладке Параметры станет активным поле Значение и появится поле Плоскость:



Шаг 4. Не меняйте выбор Значение=Среднее () и нажмите на пиктограмму  справа от поля Плоскость, чтобы создать новую Плоскость.

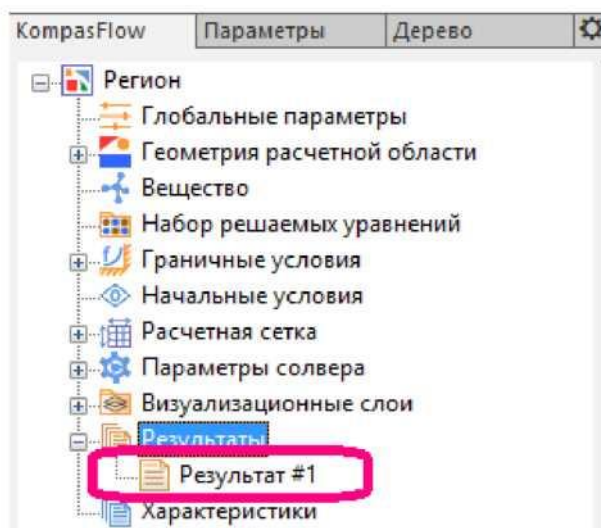
Наш Результат #1 будет вычисляться как среднее давление на сечении входной трубки новой Плоскостью, смещенной относительно граничного условия Вход 2.

Шаг 5. Во вкладке Параметры откроется форма для создания новой смещенной Плоскости. Создайте Смещенную плоскость, параллельную плоскости XZ и находящуюся от нее на расстоянии 10 мм

Шаг 6. Произойдет возврат в предыдущую форму для задания параметров, причем поле Плоскость будет содержать значение Смещенная плоскость:З

Шаг 7. Нажмите на появившуюся пиктограмму

Программа создаст Результат #1 и откроет вкладку KompasFlow:



Аналогично задайте Результат #2 на выходе из узла.

Запуск проекта на расчет

Запустите проект на расчет:

Шаг 1. В инструментальной панели KompasFlow нажмите на кнопку  (Запуск расчета).

Шаг 2. Запустится расчет, при этом откроется Окно мониторинга:

Окно мониторинга можно передвинуть в удобное место либо закрыть, нажав на символ "х" в его правом верхнем углу. Чтобы повторно открыть Окно мониторинга, нажмите на кнопку  (Открыть окно мониторинга) в инструментальной панели KompasFlow.

Крестовина.m3d					
Статус Невязки Результаты					
Время	Номер шага	Шаг по времени	Явный шаг	Расч. ячейки (осн.)	
0.3	531	0.000568294	5.65749e-05	225527	
Уравнение	Итерации	Алг. невязка	Функ. невязка		
Давление	10	8.88503e-05	1.2957e-06		
Скорость	19	3.04837e-05	6.80338e-06		
ТурбЭнергия	5	5.65567e-05	0.000110743		
ТурбДиссипация	5	9.04399e-05	0.000221254		

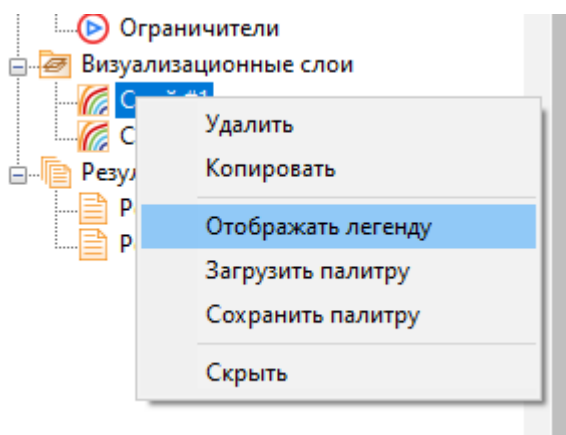
Шаг 3. При желании, расчет можно остановить, нажав в инструментальной панели KompasFlow на кнопку  (Остановить) и возобновить, нажав на кнопку  (Продолжить).

Визуальное наблюдение слоев в ходе расчета

Шаг 1. При необходимости (если она уже не нажата) нажмите в графической области кнопку (Каркас) чтобы сделать прозрачными наружные поверхности объекта, загораживающие внутреннее пространство.

Это позволяет наблюдать течение в заданных ранее Слоях, построенных на заданной Плоскости.

Нажав на вкладку Слой/Отобразить легенду можно установить отображение легенды.



Шаг 2. Средствами КОМПАС-3D настройте удобный ракурс для наблюдения течения.

Просмотр данных в окне "Мониторинг"

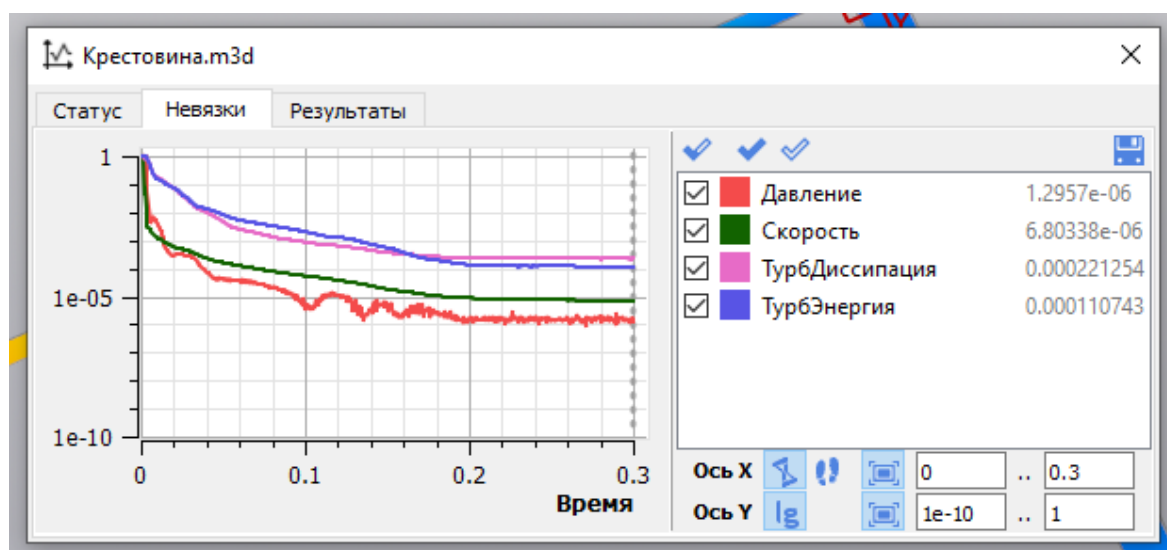
Окно мониторинга имеет две вкладки, в которых в ходе расчета можно наблюдать:

а) во вкладке Статус отображаются параметры расчета в табличной форме:

Время	Номер шага	Шаг по времени	Явный шаг	Расч. ячейки (осн.)
0.3	531	0.000568294	5.65749e-05	225527

Уравнение	Итерации	Алг. невязка	Функ. невязка
Давление	10	8.88503e-05	1.2957e-06
Скорость	19	3.04837e-05	6.80338e-06
ТурбЭнергия	5	5.65567e-05	0.000110743
ТурбДиссипация	5	9.04399e-05	0.000221254

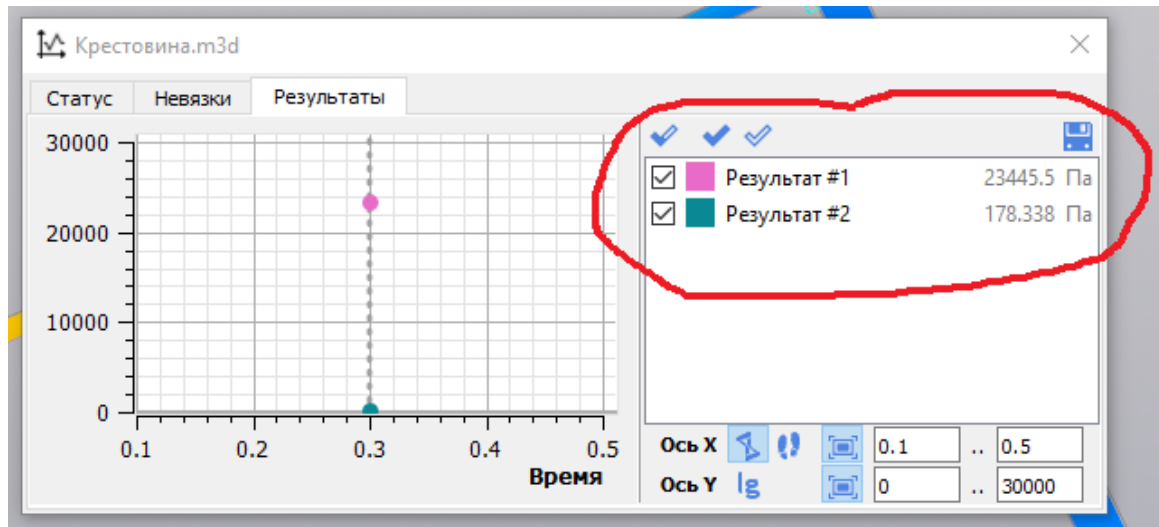
б) во вкладке Невязки - графики изменения контрольных параметров, включая графики созданных Результатов:



1.4. Обработка результатов численного моделирования объекта исследования № 1

По результатам численного моделирования необходимо не только получить графические данные о скорости и давлении потока в сечении, но и определить коэффициент местного сопротивления узла.

Для этого заходим в окно Мониторинга во вкладку Результаты и берем оттуда среднее значение давления на входе и на выходе из узла:



Далее необходимо определить коэффициент сопротивления узла по формуле:

$$\zeta = (P_1 - P_2) \frac{\rho^2 \pi^2 d^4}{8Q}, \quad (1.1)$$

где P_1, P_2 – давление до узла и после, определенное по результатам численного моделирования, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; d – внутренний диаметр трубы, мм; Q – объемный расход жидкости на выходе из узла, м³/с.

Например, для нашего случая получим:

$$\zeta = (23446 - 178) \frac{1000^2 \cdot 3,14^2 \cdot 0,032^4 \cdot 3600}{8 \cdot 11,11} = 419.$$

Часть 2. Гидравлические струи

Целью данного компьютерного практикума является приобретение навыков математического моделирования аэродинамических процессов при распределении воздуха в помещении.

2.1 Построение модели объекта исследования

Построение модели объекта проводится в программном обеспечении Компас-3D. Исследуемый узел ограждающей конструкции, а также граничные условия выдаются по заданию. Построение проводится теми же инструментами, что и в первой части. В результате построения должна быть получена модель вентилируемого помещения с приточными и вытяжными отверстиями, диаметр которых выбирается исходя из допустимой скорости 1,5 м/с и заданному расходу воздуха:

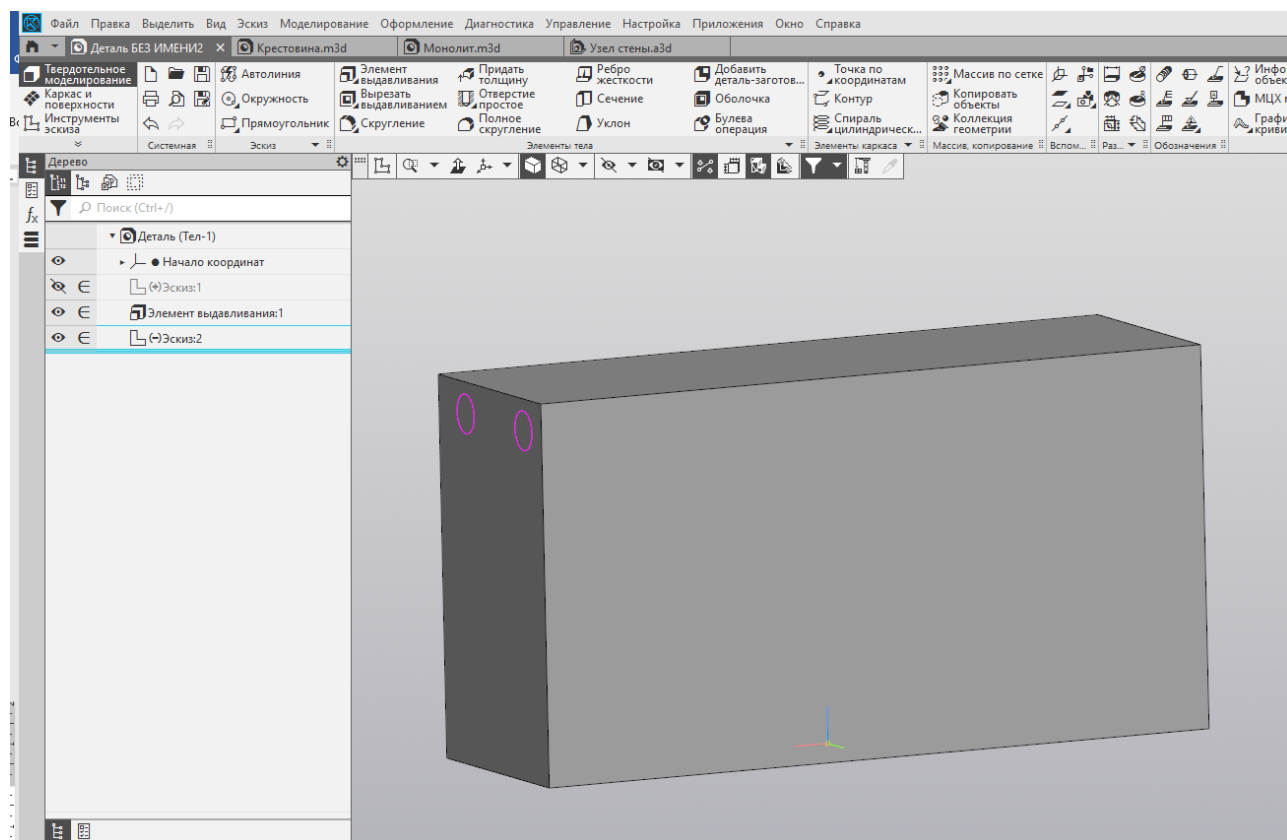
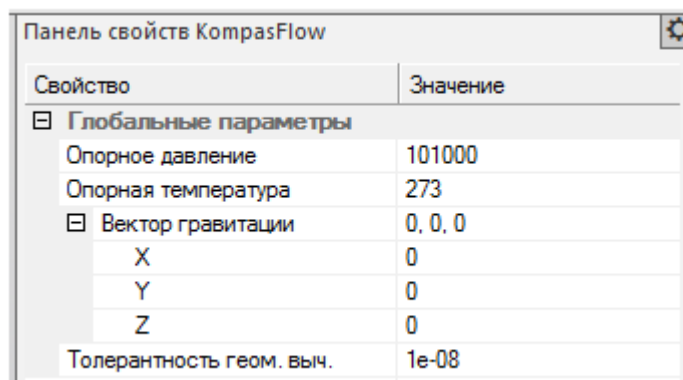


Рис. 2.1. Модель вентилируемого помещения с приточным и вытяжным отверстием

2.2 Численное моделирование объекта исследования № 2

2.2.1 Выбор параметров среды

В глобальных параметрах проекта задаются вектор гравитации, опорные давление и температура и геометрическая точность.



Свойство	Значение
Глобальные параметры	
Опорное давление	101000
Опорная температура	273
Вектор гравитации	0, 0, 0
X	0
Y	0
Z	0
Толерантность геом. выч.	1e-08

Рис. 2.2. Элемент «Глобальные параметры»

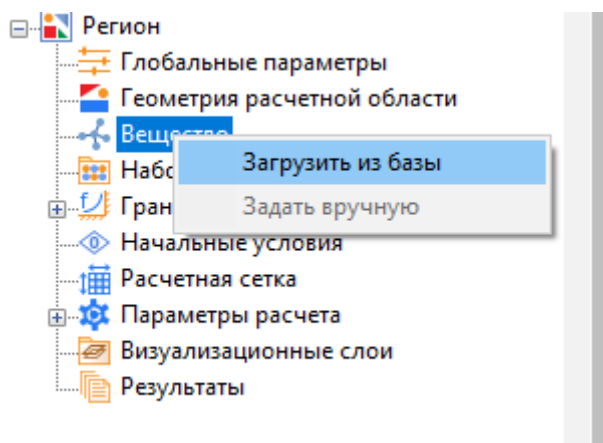
Вещество и его параметры

Параметры моделируемого вещества задаются в панели свойств элемента Регион > Вещество в дереве проекта KompasFlow:

В нашем примере будет моделироваться течение воздуха.

Шаг 1. Выделение элемента в дереве проекта.

Во вкладке KompasFlow нажатием правой кнопки мыши выделите элемент Вещество и выберете Загрузить из базы.



Шаг 2. Задание свойств Вещества.

В качестве Вещества выберете «Воздух». В качестве Фазы «Газовая». И нажмите зеленую галочку.

Панель свойств вещества теперь должна выглядеть следующим образом:

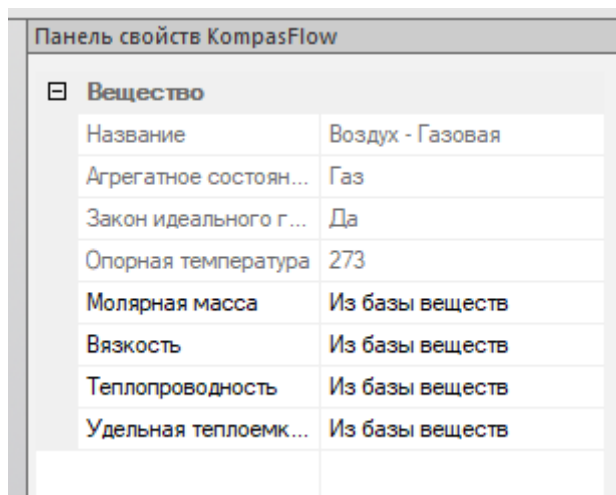


Рис. 2.3. Выбор свойств жидкости

Набор решаемых уравнений и их настройки задаются в панели свойств элемента Регион > Набор решаемых уравнений в дереве проекта KompasFlow:

Задайте следующие значения параметров Набора решаемых уравнений:

Уравнение движения = Да

Турбулентность = Да

Уравнение теплопереноса = Нет

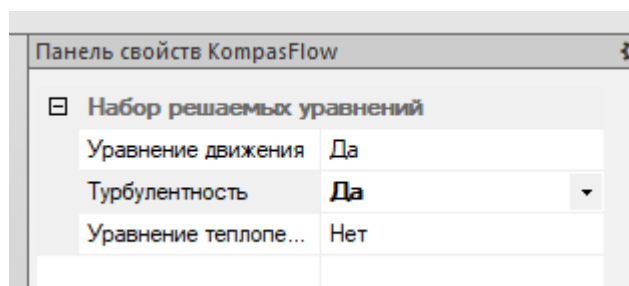


Рис. 2.4. Выбор набора решаемых уравнений

1.2.2 Выбор граничных условия

Моделирование всего бесконечного пространства невозможно, поэтому оно ограничено некоторой расчетной областью, на границах которой нужно

настроить граничные условия, адекватно описывающие пространство за пределами расчетной области.

В KompasFlow реализованы следующие Граничные условия (ГУ):

- Симметрия:
- Стенка
- Вход/Выход
- Свободный выход
- Неотражающее

Граничные условия устанавливаются на гранях модели. Первоначально на всех поверхностях геометрической модели устанавливается ГУ типа **Стенка** с именем Граничное условие.

Для задания ГУ в нашем примере нужно:

1. Создать четыре граничных условия: для входа и выхода вентиляционного воздуха.
2. Привязать созданные ГУ к соответствующим граням расчетной области.
3. Задать значения расхода для граничных условий, соответствующих входу и выходу воздуха.

Шаг 1. Переименуйте существующее Граничное условие.

В дереве проекта, в свойствах элемента Регион > Граничные условия > Граничное условие, измените значение параметра Название. Дайте ему осмысленное значение Стенка.

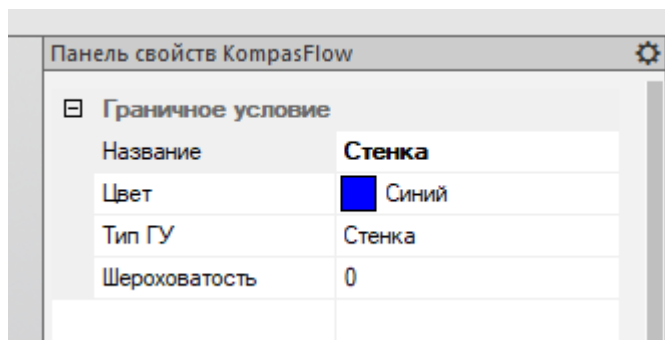


Рис. 2.5. Задание названия ГУ

Это граничное условие будет использовано для стенок узла, его название в дереве проекта изменится с Граничное условие на Стенка.

Шаг 2. Измените цвет этого Граничного условия.

В свойствах элемента Регион > Граничные условия > Стенка задайте Цвет = Серый (выберите цвет из списка).

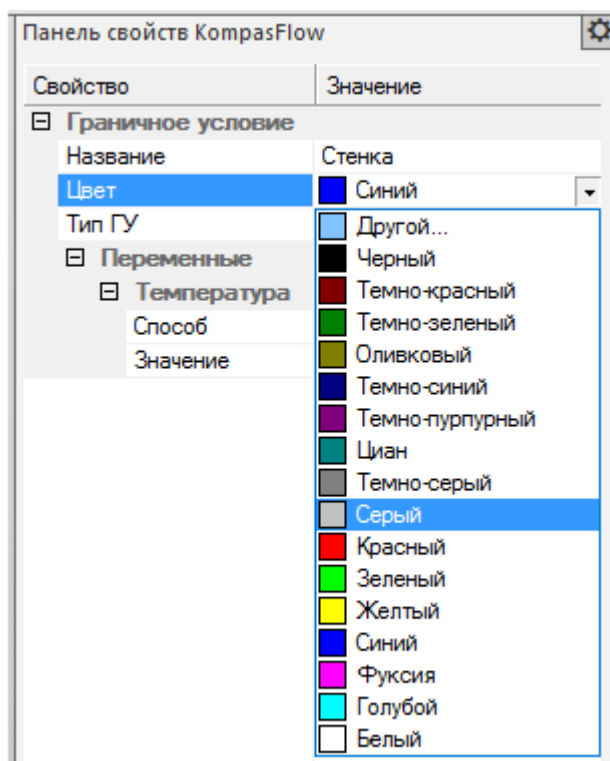
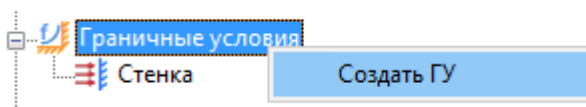


Рис. 2.6. Выбор цвета ГУ

Шаг 3. Создайте еще одно Граничное условие (для входа воздуха).

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать ГУ.



В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1.

Шаг 4. Измените название и тип только что созданного Граничного условия #1.

Выделите элемент Граничное условие #1 в дереве проекта, и в его свойствах задайте:

Название = Приток

Цвет не изменяйте, оставьте Синий

Тип = Вход/Выход

Шаг 5. Создайте еще одно Граничное условие (для выхода воздуха), задайте его название, цвет и тип.

Откройте контекстное меню папки Регион > Граничные условия и выберите в нем команду Создать. В папке Граничные условия появится элемент Граничное условие #1. Задайте в его свойствах:

Название = Вытяжка

Цвет = Красный

Тип = Свободный выход

Расстановка граничных условий

Привяжем созданные Граничные условия к граням геометрической модели. Поскольку на всех группах фасеток уже стоит граничное условие Стенка, остается только изменить Граничные условия на сечениях входных и выходных отверстий в соответствии с приведенной ниже иллюстрацией на рисунке 2.7.

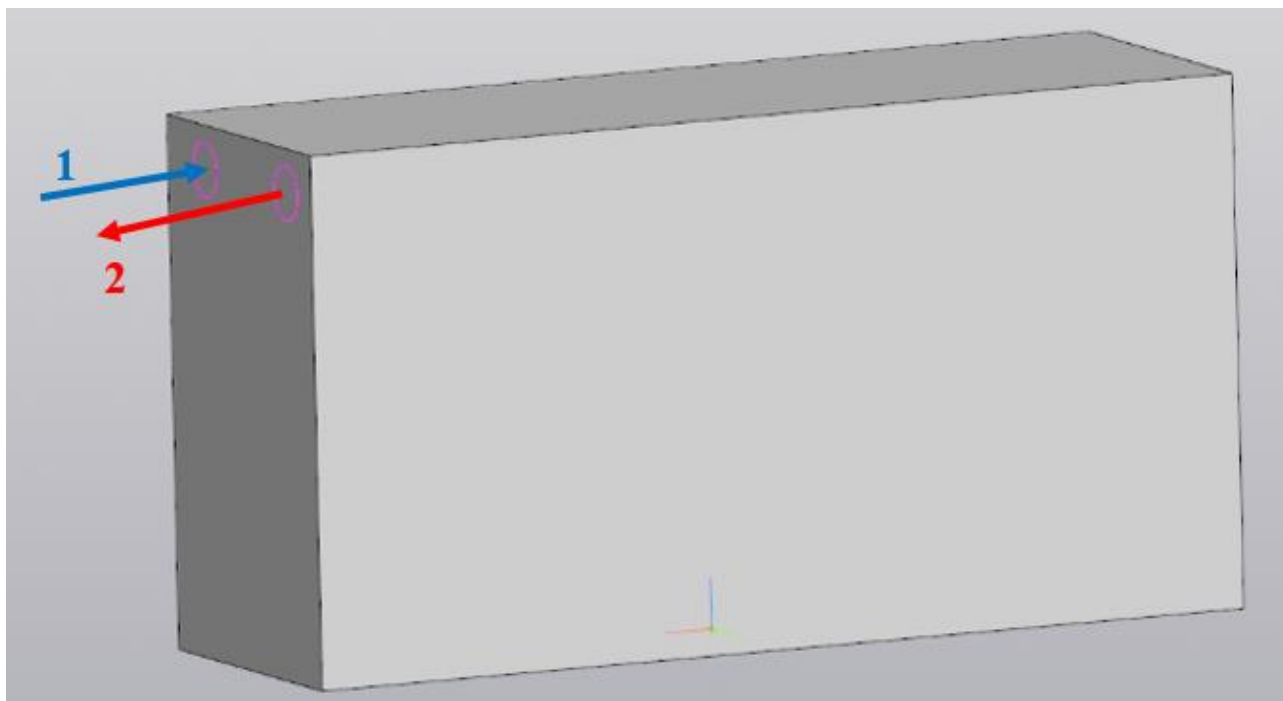


Рис. 2.7. Иллюстрация поверхностей ГУ:

1 — вход 1; 2 — выход 2

Шаг 1. Нажмите на изображение сечения входного отверстия в графической области окна КОМПАС-3D, оно подсветится зеленым цветом.

Шаг 2. В панели свойств откроются параметры соответствующего элемента Группа #N. Задайте там Граничное условие = Приток.

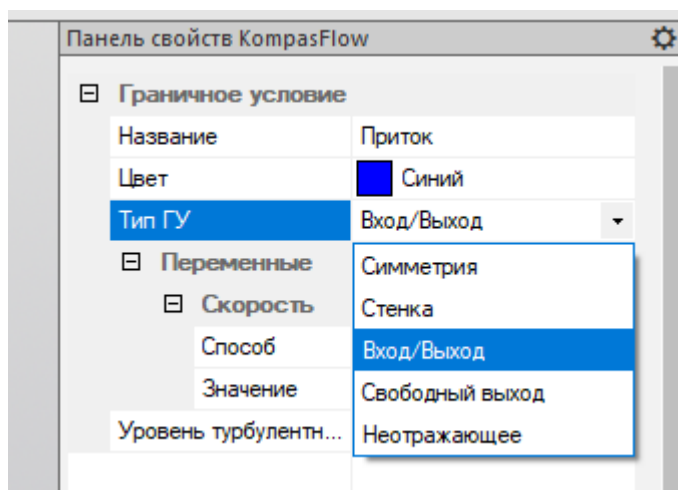


Рис. 2.8. Панель задания ГУ

Шаг 3. Разверните изображение в графической области и нажмите на сечение выходного отверстия. В панели свойств соответствующего элемента Группа #N задайте Граничное условие = Вытяжка.

Выход. После расстановки граничных условий соответствующие сечения трубок будут обозначены в графической области синим, красным и голубым цветами.

Задание параметров граничных условий

Теперь необходимо определить, каким образом будет вычисляться значение физических величин на границах расчетной области.

Выделяйте по очереди Граничные условия и в панели свойств задайте их параметры.

Шаг 1. Для граничного условия Стенка задайте:

- Шероховатость = 0 мкм

Шаг 2. Для граничного условия Приток задайте:

- Переменные > Скорость > Способ = Массовый расход = задайте исходя из исходного задания Q в кг/с
- Переменные > Уровень турбулентности = Высокий 20 %

Шаг 3. Для граничного условия Вытяжка задайте:

- Переменные > Скорость > Давление = 0 (превышение над опорным давлением, задается в [Па]).

2.2.2 Построение расчетной сетки

Невозможно посчитать движение каждой молекулы. Поэтому применяется дискретизация пространства с помощью расчетной сетки. Весь расчетный объем разбивается на элементарные объемы - ячейки. Чем меньше размер таких ячеек, тем лучше разрешение пространства сеткой. В объеме каждой ячейки все физические величины считаются постоянными в рассматриваемый момент времени.

В нашем примере задание Расчетной сетки будет состоять из двух этапов:

- а) задание Начальной сетки.
- б) задание локальной Адаптации

Начальная расчетная сетка

Начальная сетка в KompasFlow является ортогональной и равномерной. Она задается в боксе, описывающем расчетную область. Необходимо указать шаги разбиения по трем осям системы координат.

Задайте равномерную начальную расчетную сетку, с количеством ячеек 100, 100 и 100 по осям X, Y, Z соответственно, задав в панели свойств элемента Регион > Расчетная сетка: $nX=100$ $nY=100$ $nZ=100$

Изображение Расчетной сетки в графической области соответствующим образом изменится (рисунок 2.9).

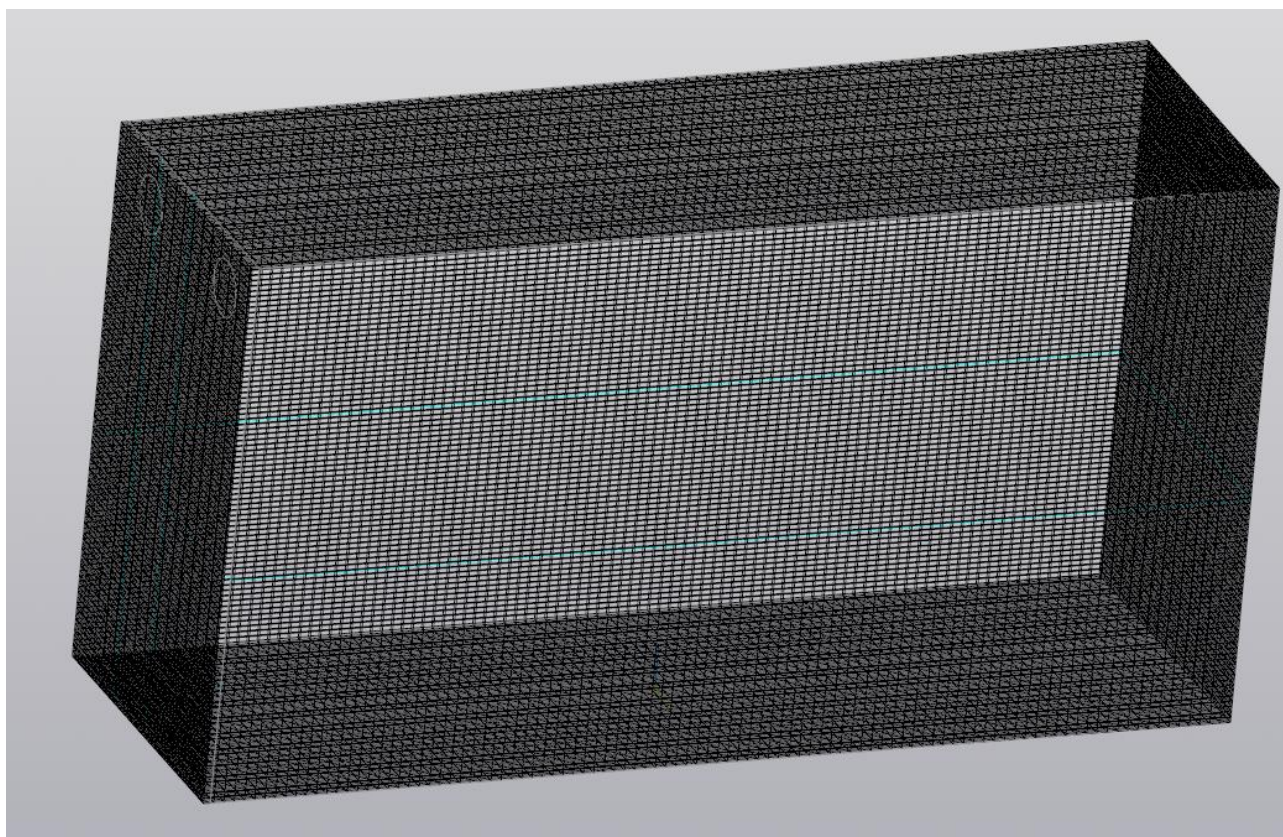


Рис. 2.9. Расчетная сетка

Адаптация сетки

Адаптация – это способ измельчения начальной сетки у поверхности геометрической модели. Адаптация приводит к измельчению ячеек, путем деления сетки пополам по каждому направлению вдоль осей X, Y, Z (поэтому одно разбиение делит ячейку на 8 частей). Уровень адаптации - число последовательных разбиений ячеек сетки. Чем больше уровень, тем мельче будут ячейки. Слои адаптации – количество слоев одного уровня адаптации.

Этот параметр позволяет распространять адаптацию на некотором расстоянии от поверхности, на которой она задана (в направлении нормали к этой поверхности). Адаптация задается в элементах Регион > Расчетная сетка > Адаптация #N в дереве проекта KompasFlow (рисунок 2.10).

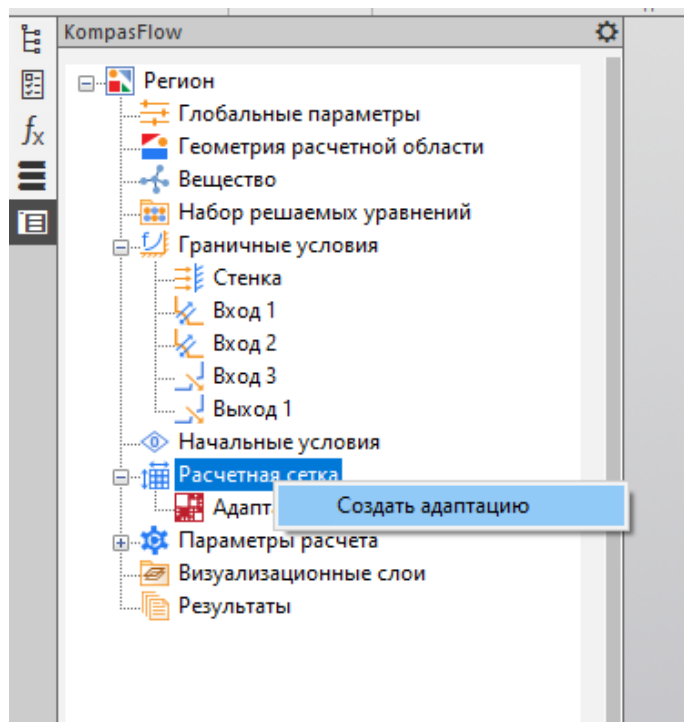


Рис. 2.10. Адаптация сетки

В нашем примере будет задана адаптация на поверхности стенок смесителя, с разбиением не больше, чем на один уровень, с двумя слоями проадаптированных ячеек, примыкающих к стенкам смесителя. Выполните следующие действия:

Шаг 1. Создайте Адаптацию, которая будет применяться на стенках смесителя. Для этого в контекстном меню элемента Регион > Расчетная сетка выберите команду Создать адаптацию: В дереве проекта появится элемент Адаптация #1.

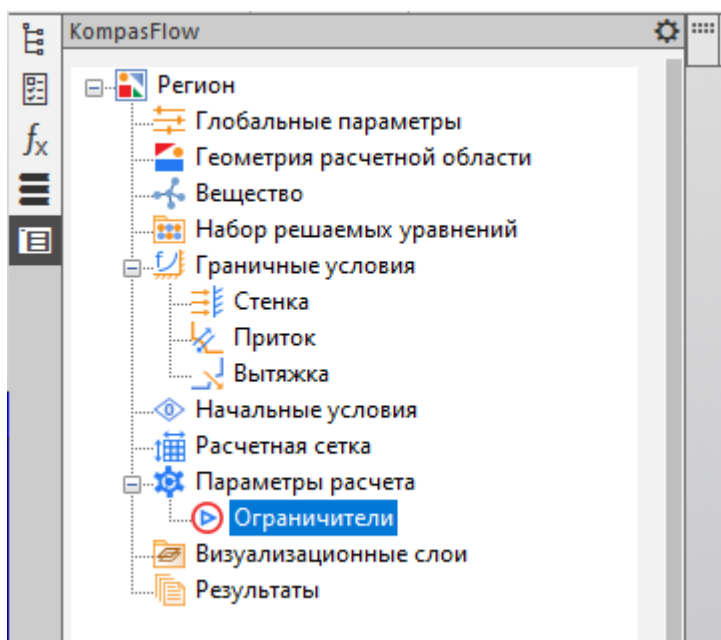
Шаг 2. Задайте следующие параметры Адаптации #1 в ее панели свойств:

- Активно = Да (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию)
- ГУ = Стенка

- Уровень = 1 (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию)
- Количество слоев = 3 (оставьте неизменным значение, применяемое по умолчанию).

2.2.3 Получение результатов расчета

Параметры расчета настраиваются в панелях свойств элементов Регион > Параметры солвера и Регион > Параметры расчета > Ограничители:



Задайте следующие значения в панели свойств элемента Параметры расчета:

- CFL = 1
- Макс. шаг по времени = 1
- Моделируемое время = 60

Не изменяйте параметры элемента Параметры расчета > Ограничители, заданные по умолчанию. Чаще всего Ограничители применяются при расчете сверхзвуковых потоков для сглаживания негативных численных эффектов.

Для настройки отображения результатов расчета используются следующие папки дерева проекта:

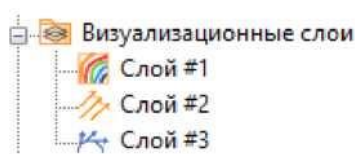
- Визуализационные слои (содержит элементы Слой #N)
- Результаты (содержит элементы Результат #N)
- Характеристики (содержит элементы Характеристика #N)

Графики с Результатами отображаются в окне Мониторинг. Данные Характеристик отображаются в их панелях свойств.

Создание слоев

Для визуализации результатов расчета применяются Слои визуализации

Каждый такой слой представлен в дереве проекта как дочерний элемент Слой #N в папке Визуализационные слои:



Слои строятся в объеме, на плоскостях или на геометрических поверхностях.

В нашем примере мы создадим Слои, построенные на следующих Плоскостях:

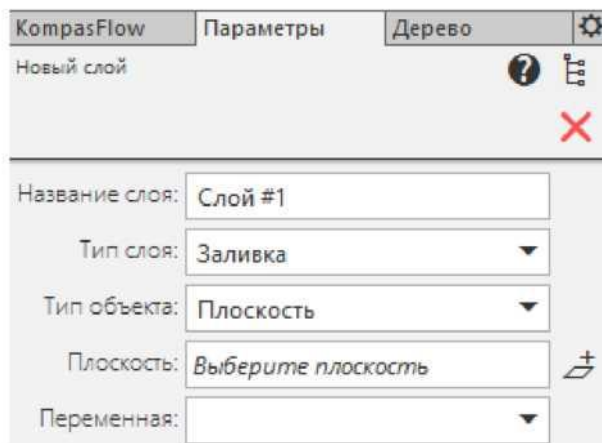
- одна из Плоскостей - вертикальная плоскость, по центру приточного отверстия;
- вторая Плоскость - горизонтальная плоскость, на высоте 2 м от уровня пола (рабочая зона помещения)
- третья Плоскость - вертикальная плоскость, с краю от стены на расстоянии 10 мм.

В загруженном проекте уже имеются такие Плоскости, это Смещенная плоскость:1, Смещенная плоскость:2 и Смещенная плоскость:3.

На каждой из этих Плоскостей создадим по два Слая, в первом и втором из которых зададим отображение Скорости в виде цветной заливки, а в третьем – Линии тока. Таким образом, всего будет создано три Слая. При желании средствами Компас-3D можно создать другие Плоскости и построить на них Слои.

Выполните следующие действия:

Шаг 1. В контекстном меню элемента Визуализационные слои выберите команду Создать слой. В области панелей управления Компас-3D откроется вкладка Параметры, в которой нужно задать параметры создаваемого Слая:



Шаг 2. Во вкладке Параметры задайте параметры Слая:

- Название слоя = Слой #1
- Тип слоя = Заливка
- Тип объекта = Плоскость
- Плоскость = Смещенная плоскость:1 Для этого нажмите на пиктограмму



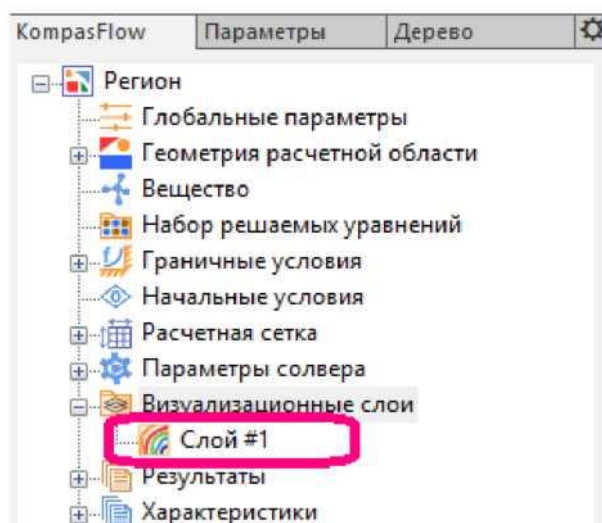
и выберите Смещенная плоскость:1 в дереве геометрических элементов, которое отобразится поверх изображения в графической области. Пиктограмму Ё можно оставить включенной, поскольку доступ к дереву геометрических элементов еще понадобится при создании других Слоев или откройте вкладку Дерево и выберите там Смещенную плоскость:1, после чего вернитесь во вкладку Параметры. Выбранная Плоскость будет отображаться в дереве геометрических элементов пиктограммой красного цвета .

- Переменная = Скорость

Некоторые поля уже содержат нужные значения, установленные по умолчанию. В этих случаях убедитесь, что заданы именно они.

Шаг 3. Нажмите на появившуюся пиктограмму

Программа создаст Слой #1 и откроет вкладку KompasFlow:



Шаг 4. Аналогичным образом создайте еще один Слой со следующими параметрами:

- Слой #2 на Смещенной плоскости:2 с параметрами: Тип слоя = Заливка, Переменная = Скорость

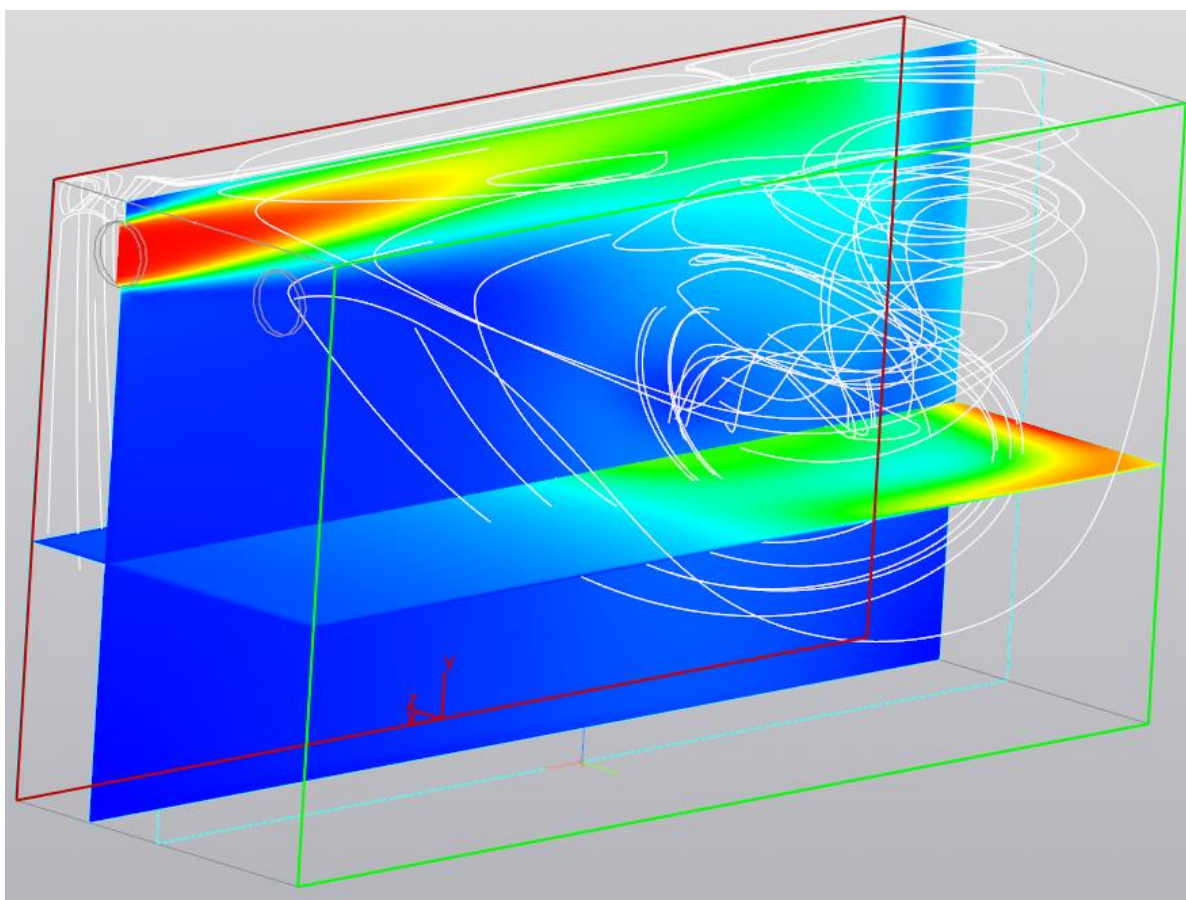


Рис. 2.11. Пример отображения расчетных плоскостей

2.3 Обработка результатов численного моделирования объекта исследования

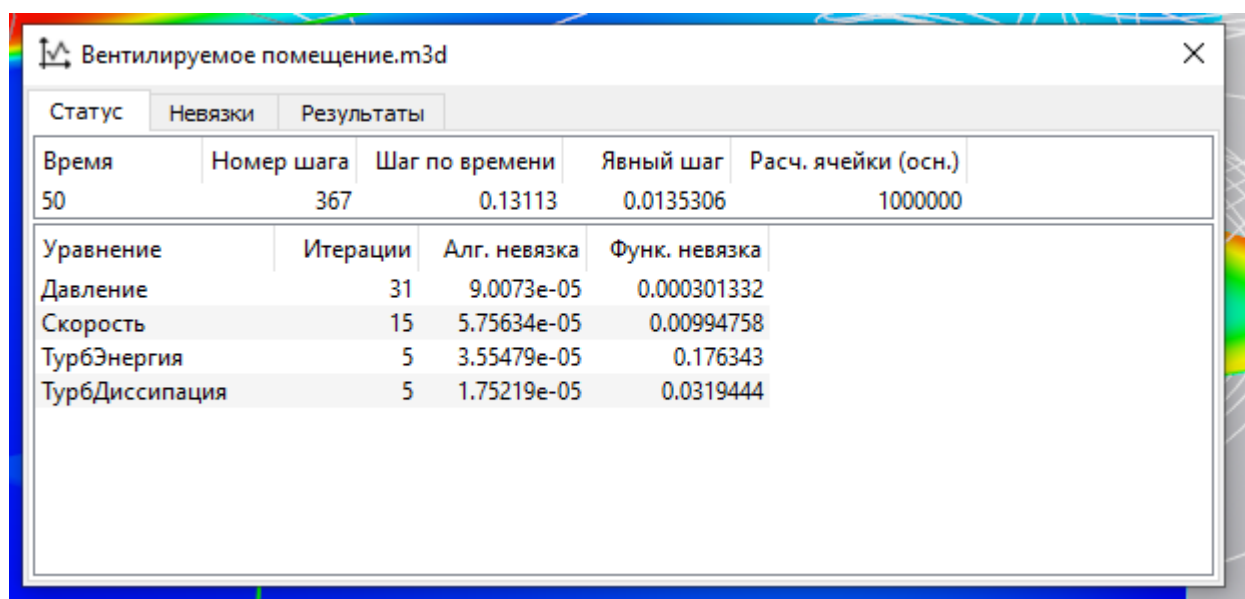
2.3.1 Запуск проекта на расчет

Запустите проект на расчет:

Шаг 1. В инструментальной панели KompasFlow нажмите на кнопку  (Запуск расчета).

Шаг 2. Запустится расчет, при этом откроется Окно мониторинга:

Окно мониторинга можно передвинуть в удобное место либо закрыть, нажав на символ "х" в его правом верхнем углу. Чтобы повторно открыть Окно мониторинга, нажмите на кнопку  (Открыть окно мониторинга) в инструментальной панели KompasFlow.



Статус				
Время	Номер шага	Шаг по времени	Явный шаг	Расч. ячейки (осн.)
50	367	0.13113	0.0135306	1000000

Уравнение	Итерации	Алг. невязка	Функ. невязка
Давление	31	9.0073e-05	0.000301332
Скорость	15	5.75634e-05	0.00994758
ТурбЭнергия	5	3.55479e-05	0.176343
ТурбДиссипация	5	1.75219e-05	0.0319444

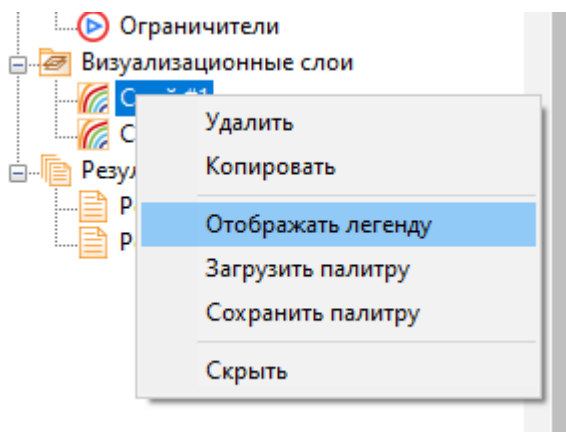
Шаг 3. При желании, расчет можно остановить, нажав в инструментальной панели KompasFlow на кнопку  (Остановить) и возобновить, нажав на кнопку  (Продолжить).

Визуальное наблюдение слоев в ходе расчета

Шаг 1. При необходимости (если она уже не нажата) нажмите в графической области кнопку (Каркас) чтобы сделать прозрачными наружные поверхности объекта, загораживающие внутреннее пространство.

Это позволяет наблюдать течение в заданных ранее Слоях, построенных на заданной Плоскости.

Нажав на вкладку Слой/Отобразить легенду можно установить отображение легенды.



Шаг 2. Средствами КОМПАС-3D настройте удобный ракурс для наблюдения течения.

Просмотр данных в окне "Мониторинг"

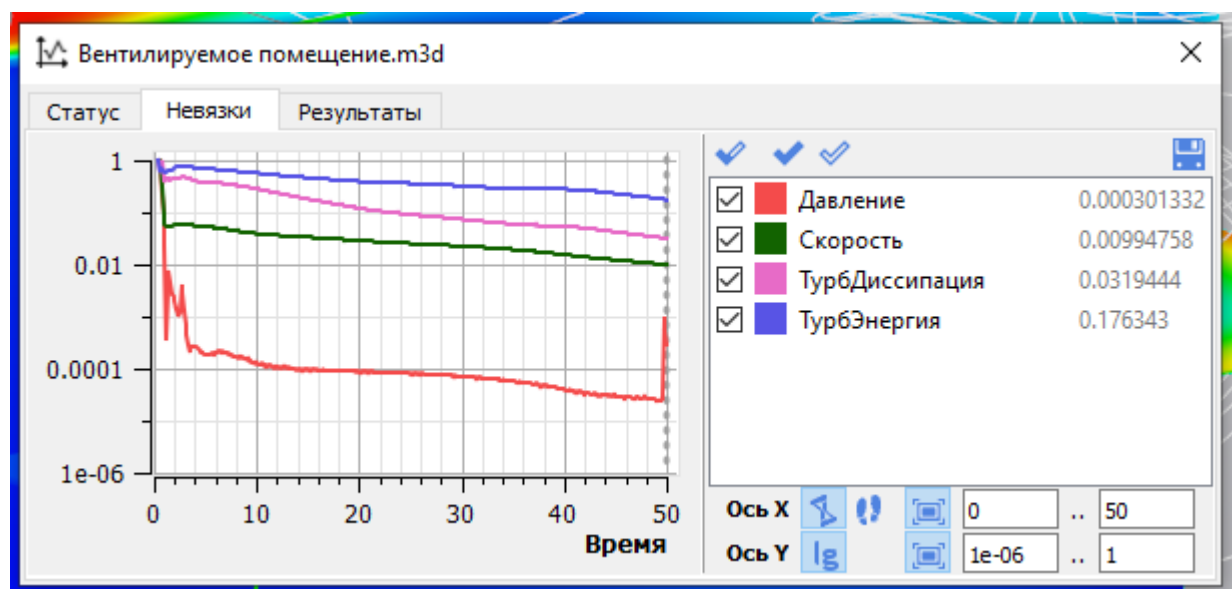
Окно мониторинга имеет две вкладки, в которых в ходе расчета можно наблюдать:

а) во вкладке Статус отображаются параметры расчета в табличной форме:

Время	Номер шага	Шаг по времени	Явный шаг	Расч. ячейки (осн.)
50	367	0.13113	0.0135306	1000000

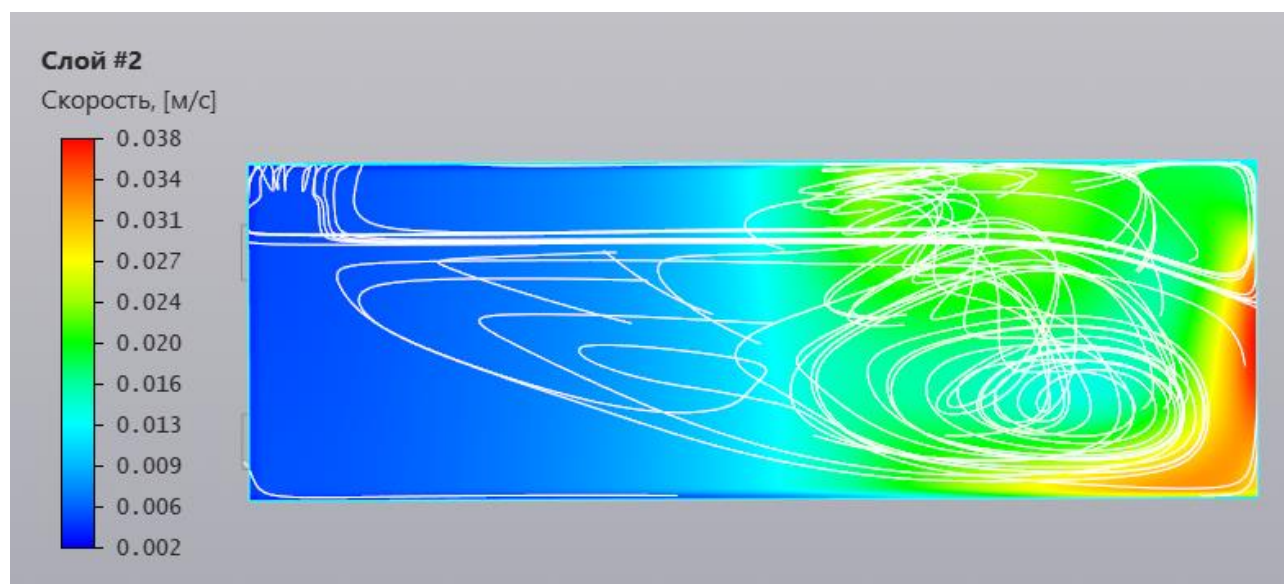
Уравнение	Итерации	Алг. невязка	Функ. невязка
Давление	31	9.0073e-05	0.000301332
Скорость	15	5.75634e-05	0.00994758
ТурбЭнергия	5	3.55479e-05	0.176343
ТурбДиссипация	5	1.75219e-05	0.0319444

б) во вкладке Невязки - графики изменения контрольных параметров, включая графики созданных Результатов:



2.3.2 Обработка результатов численного моделирования объекта исследования № 2

По результатам численного моделирования необходимо получить графические данные о скорости воздуха на входе в рабочую зону (Слой #1), а также определения застойных зон в вентилируемом помещении.



2.4 Составление отчета

В рамках контрольного задания необходимо составить отчет, в который входит:

1. Описание объекта исследования из раздела 1.
2. Рисунки с результатами численного моделирования узла.
3. Определение коэффициента сопротивления узла.
4. Описание объекта исследования из раздела 2.
5. Рисунки с отображением скорости воздуха и линий тока в вентилируемом помещении
6. Указание застойных зон в вентилируемом помещении и предложения по их устранению.