



**Система моделирования  
движения жидкости и газа**

# **FlowVision**

**Версия 3.07.00**

*Примеры решения типовых задач*

# Оглавление

<b>1 Введение</b>	<b>6</b>
<b>2 Обозначения</b>	<b>7</b>
<b>3 Подробное описание простейшей модели</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Ламинарное течение в трубе</b>	<b>10</b>
3.1.1 Создание проекта	10
3.1.2 Задание физической модели	13
3.1.2.1 Вещество	13
3.1.2.2 Фаза	15
3.1.2.3 Модель	16
3.1.3 Задание граничных условий	17
3.1.4 Генерация расчетной сетки	19
3.1.5 Задание параметров, управляющих расчетом	20
3.1.6 Запуск на расчет	21
3.1.7 Просмотр и анализ результатов	23
3.1.7.1 Характеристики (динамика давления)	24
3.1.7.2 График вдоль прямой (распределение давления)	27
3.1.7.3 Вектора (распределение скоростей)	28
3.1.7.4 Цветовые контуры (распределение модуля скорости)	30
<b>4 Физические процессы</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Течение</b>	<b>33</b>
4.1.1 Сверхзвуковое обтекание клина	33
4.1.1.1 Физическая модель	33
4.1.1.2 Граничные условия	34
4.1.1.3 Начальная сетка	36
4.1.1.4 Параметры расчета	36
4.1.1.5 Визуализация результатов	36
4.1.1.5.1 Распределение давления	37
4.1.2 Течение в канале с использованием модели зазора	37
4.1.2.1 Физическая модель	38
4.1.2.2 Граничные условия	39
4.1.2.3 Начальная сетка	39
4.1.2.4 Параметры расчета	41
4.1.2.5 Визуализация результатов	41
4.1.2.5.1 Распределение ячеек зазора	41
4.1.2.5.2 Распределение скоростей	42
<b>4.2 Теплоперенос</b>	<b>43</b>
4.2.1 Теплопроводность в твердом теле	43
4.2.1.1 Физическая модель	43
4.2.1.2 Граничные условия	44

.. 4.2.1.3 Начальная сетка .....	44
.. 4.2.1.4 Параметры расчета .....	44
.. 4.2.1.5 Визуализация результатов .....	44
4.2.1.5.1 Распределение температуры .....	45
<b>4.2.2 Вынужденная конвекция .....</b>	<b>46</b>
.. 4.2.2.1 Физическая модель .....	46
.. 4.2.2.2 Граничные условия .....	47
.. 4.2.2.3 Начальная сетка .....	48
.. 4.2.2.4 Параметры расчета .....	48
.. 4.2.2.5 Визуализация результатов .....	48
4.2.2.5.1 Распределение температуры .....	49
<b>4.2.3 Естественная конвекция .....</b>	<b>49</b>
.. 4.2.3.1 Физическая модель .....	50
.. 4.2.3.2 Граничные условия .....	51
.. 4.2.3.3 Начальная сетка .....	53
.. 4.2.3.4 Параметры расчета .....	54
.. 4.2.3.5 Визуализация результатов .....	54
4.2.3.5.1 Распределение скоростей .....	55
4.2.3.5.2 Распределение температуры .....	56
<b>4.3 Турбулентность .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.1 Турбулентное течение в трубе .....</b>	<b>57</b>
.. 4.3.1.1 Физическая модель .....	58
.. 4.3.1.2 Граничные условия .....	58
.. 4.3.1.3 Начальная сетка .....	59
.. 4.3.1.4 Параметры расчета .....	59
.. 4.3.1.5 Визуализация результатов .....	59
4.3.1.5.1 Динамика давления на входе .....	60
4.3.1.5.2 Распределение турбулентной вязкости .....	61
4.3.1.5.3 Распределение скорости .....	62
4.3.1.5.4 Распределение давления .....	63
<b>4.3.2 Турбулентное обтекание пластины .....</b>	<b>64</b>
.. 4.3.2.1 Физическая модель .....	65
.. 4.3.2.2 Граничные условия .....	66
.. 4.3.2.3 Начальная сетка .....	67
.. 4.3.2.4 Параметры расчета .....	68
.. 4.3.2.5 Визуализация результатов .....	68
4.3.2.5.1 Распределение $Y^+$ .....	69
4.3.2.5.2 Распределение вязкого трения .....	70
<b>4.3.3 Турбулентное обтекание уступа .....</b>	<b>71</b>
.. 4.3.3.1 Физическая модель .....	71
.. 4.3.3.2 Граничные условия .....	72
.. 4.3.3.3 Начальная сетка .....	73
.. 4.3.3.4 Параметры расчета .....	73
.. 4.3.3.5 Визуализация результатов .....	73
4.3.3.5.1 Распределение скоростей .....	73
<b>4.3.4 Турбулентное обтекание параллелепипеда .....</b>	<b>74</b>
.. 4.3.4.1 Физическая модель .....	74
.. 4.3.4.2 Граничные условия .....	75
.. 4.3.4.3 Начальная сетка .....	76
.. 4.3.4.4 Адаптация расчетной сетки .....	78

.. 4.3.4.5	Параметры расчета .....	79
.. 4.3.4.6	Визуализация результатов .....	79
4.3.4.6.1	Распределение $Y^+$ .....	80
4.3.4.6.2	Распределение скорости .....	81
<b>4.3.5</b>	<b>Дозвуковое обтекание крылового профиля .....</b>	<b>81</b>
.. 4.3.5.1	Физическая модель .....	83
.. 4.3.5.2	Граничные условия .....	83
.. 4.3.5.3	Начальная расчетная сетка .....	85
.. 4.3.5.4	Адаптация расчетной сетки .....	86
.. 4.3.5.5	Параметры расчета .....	86
.. 4.3.5.6	Визуализация результатов .....	86
4.3.5.6.1	Распределение значений числа Маха .....	87
4.3.5.6.2	Распределение давления .....	88
<b>4.4</b>	<b>Свободная поверхность .....</b>	<b>89</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Обрушение плотины .....</b>	<b>89</b>
.. 4.4.1.1	Физическая модель .....	89
.. 4.4.1.2	Граничные условия .....	90
.. 4.4.1.3	Задание столба жидкости .....	91
.. 4.4.1.4	Начальная сетка .....	93
.. 4.4.1.5	Параметры расчета .....	94
.. 4.4.1.6	Визуализация результатов .....	94
4.4.1.6.1	Распределение жидкости .....	94
<b>4.4.2</b>	<b>Свободная струя .....</b>	<b>95</b>
.. 4.4.2.1	Физическая модель .....	95
.. 4.4.2.2	Граничные условия .....	96
.. 4.4.2.3	Начальные условия .....	96
.. 4.4.2.4	Начальная расчетная сетка .....	97
.. 4.4.2.5	Параметры расчета .....	97
.. 4.4.2.6	Визуализация результатов .....	97
4.4.2.6.1	Распределение жидкости .....	98
<b>5</b>	<b>Дополнительные возможности .....</b>	<b>99</b>
<b>5.1</b>	<b>Сопряжение .....</b>	<b>100</b>
<b>5.1.1</b>	<b>Сопряженный конвективный теплообмен .....</b>	<b>100</b>
... 5.1.1.1	Физическая модель .....	101
... 5.1.1.2	Граничные условия .....	102
... 5.1.1.3	Связывание подобластей .....	103
... 5.1.1.4	Начальная расчетная сетка .....	107
... 5.1.1.5	Адаптация расчетной сетки .....	107
... 5.1.1.6	Параметры расчета .....	108
... 5.1.1.7	Визуализация результатов .....	108
5.1.1.7.1	Распределение температуры .....	108
<b>5.2</b>	<b>Вращение .....</b>	<b>109</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Ротор .....</b>	<b>109</b>
... 5.2.1.1	Физические параметры .....	110
... 5.2.1.2	Вращение .....	110
... 5.2.1.3	Граничные условия .....	111
... 5.2.1.4	Начальная расчетная сетка .....	113
... 5.2.1.5	Адаптация расчетной сетки .....	113

.... 5.2.1.6	Параметры расчета .....	114
.... 5.2.1.7	Визуализация результатов .....	114
5.2.1.7.1	Динамика давления .....	114
5.2.1.7.2	Распределение скоростей .....	115
<b>5.2.2</b>	<b>Бак .....</b>	<b>116</b>
.... 5.2.2.1	Физическая модель .....	116
.... 5.2.2.2	Вращение .....	117
.... 5.2.2.3	Граничные условия .....	118
.... 5.2.2.4	Начальные условия .....	118
.... 5.2.2.5	Начальная расчетная сетка .....	120
.... 5.2.2.6	Адаптация расчетной сетки .....	120
.... 5.2.2.7	Параметры расчета .....	121
.... 5.2.2.8	Визуализация результатов .....	121
5.2.2.8.1	Поверхность жидкости .....	121
<b>5.3</b>	<b>Подвижные тела .....</b>	<b>122</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Сверхзвуковое обтекание крылового профиля .....</b>	<b>122</b>
.... 5.3.1.1	Физическая модель .....	123
.... 5.3.1.2	Подвижное тело .....	123
.... 5.3.1.3	Граничные условия .....	126
.... 5.3.1.4	Начальная сетка .....	127
.... 5.3.1.5	Адаптация расчетной сетки .....	128
.... 5.3.1.6	Параметры расчета .....	128
.... 5.3.1.7	Визуализация результатов .....	128
5.3.1.7.1	Распределение числа Маха .....	129
5.3.1.7.2	Распределение давления .....	130
5.3.1.7.3	Распределение $C_p$ .....	130
5.3.1.7.3.1	Создание $C_p$ .....	130
5.3.1.7.3.2	Создание графика вдоль кривой .....	133
<b>5.3.2</b>	<b>Падение шара в вязкой жидкости .....</b>	<b>134</b>
.... 5.3.2.1	Физическая модель .....	134
.... 5.3.2.2	Подвижное тело .....	135
.... 5.3.2.3	Граничные условия .....	136
.... 5.3.2.4	Начальная расчетная сетка .....	137
.... 5.3.2.5	Адаптация расчетной сетки .....	137
.... 5.3.2.6	Параметры расчета .....	138
.... 5.3.2.7	Визуализация результатов .....	138
5.3.2.7.1	Зависимость скорости шара от времени .....	138
<b>5.3.3</b>	<b>Тело, плавающее на поверхности жидкости .....</b>	<b>139</b>
.... 5.3.3.1	Физическая модель .....	139
.... 5.3.3.2	Подвижное тело .....	140
.... 5.3.3.3	Граничные условия .....	141
.... 5.3.3.4	Задание объема жидкости .....	142
.... 5.3.3.5	Начальная расчетная сетка .....	142
.... 5.3.3.6	Параметры расчета .....	143
.... 5.3.3.7	Визуализация результатов .....	143
5.3.3.7.1	Поверхность жидкости .....	144
<b>5.3.4</b>	<b>Винтовой компрессор .....</b>	<b>145</b>
.... 5.3.4.1	Физическая модель .....	146
.... 5.3.4.2	Подвижные тела .....	146
.... 5.3.4.3	Граничные условия .....	147

.... 5.3.4.4 Начальная расчетная сетка.....	148
.... 5.3.4.5 Адаптация расчетной сетки.....	149
.... 5.3.4.6 История расчета.....	149
.... 5.3.4.7 Параметры расчета.....	149
.... 5.3.4.8 Визуализация результатов.....	149
5.3.4.8.1 Распределение ячеек зазора.....	150
5.3.4.8.2 Распределение скоростей.....	151
5.3.4.8.3 Динамика поля скоростей.....	151

## **6 Сопряжение с Abaqus 153**

### **6.1 Деформируемый клапан в канале 154**

6.1.1 Подготовка проекта в Abaqus .....	<b>154</b>
6.1.1.1 Модель.....	155
6.1.1.2 Интерфейсная поверхность.....	156
6.1.1.3 Модификация файла проекта.....	156
6.1.1.4 Создание геометрии для FlowVision.....	156
6.1.2 Подготовка проекта во FlowVision .....	<b>157</b>
6.1.2.1 Физическая модель.....	157
6.1.2.2 Подвижное тело.....	157
6.1.2.3 Граничные условия.....	158
6.1.2.4 Расчетная сетка.....	159
6.1.2.5 Адаптация.....	159
6.1.2.6 Параметры расчета.....	159
6.1.2.7 Модификация файла проекта.....	159
6.1.3 Подготовка проекта в MPМенеджере .....	<b>159</b>
6.1.3.1 Соединение с Солвер-Агентом FlowVision.....	160
6.1.3.2 Выбор проекта FlowVision.....	160
6.1.3.3 Общие параметры.....	160
6.1.3.4 Выбор проекта Abaqus.....	160
6.1.3.5 Запуск на расчет.....	161
6.1.4 Визуализация результатов .....	<b>161</b>
6.1.4.1 Распределение скоростей.....	161
6.1.4.2 Распределение давления.....	162

# 1 Введение

В этом разделе обсуждаются примеры решения типичных задач в программном комплексе **FlowVision НРС**.

Структура этого пособия следующая:

1. в первом разделе подробно обсуждаются все этапы задания варианта, расчета и анализа полученных результатов. В качестве простейшего примера выбрана задача моделирования ламинарного течения в трубе.
2. во втором разделе рассматривается использование различных физических процессов.
3. в третьем разделе рассматривается использование дополнительных возможностей.

*Рекомендуется вначале ознакомиться с первым разделом и соответствующими разделами Справки.*

## 2 Обозначения

Обозначение	Название	Название во FlowVision HPC	Размерность
a	Скорость звука		м с <sup>-1</sup>
b	Начальная или входная турбулизация потока	<b>Пульсация</b>	
$CFL_{impl}$	Неявное число Куранта	<b>CFL</b>	
$C_p$	Удельная теплоемкость		м <sup>2</sup> с <sup>-2</sup> К <sup>-1</sup>
	Коэффициент сопротивления		
$C_r$	Константа шероховатости	<b>Константа шероховатости</b>	
D	Диаметр трубы		м
f	Скалярная переменная		
$h_s$	Эквивалентная песочная шероховатость	<b>Шероховатость</b>	нм
$h_s^+ = \frac{u_\tau h_s}{\nu}$	Безразмерная эквивалентная песочная шероховатость		
k	Турбулентная энергия	<b>Турбулентная Энергия</b>	м <sup>2</sup> с <sup>-2</sup>
L	Длина трубы		м
l	Начальный или входной масштаб турбулентности	<b>Масштаб турбулентности, м</b>	м
$M = U/a$	Число Маха	<b>ЧислоМаха</b>	
m	Масса тела		кг
p	Относительное статическое давление	<b>Давление</b>	Н м <sup>-2</sup>
Pr	Молекулярное число Прандтля		
$Pr_t$	Турбулентное число Прандтля	<b>Прандтль</b>	
$Re = \frac{UD\rho}{\mu}$	Число Рейнольдса		
$Sc_t$	Турбулентное число Шмидта	<b>Шмидт</b>	
T	Температура	<b>Температура</b>	К
U	Характерная скорость		м с <sup>-1</sup>
$u_\tau$	Скорость сдвига		м с <sup>-1</sup>
$V_{inl}$	Входная Скорость потока		м с <sup>-1</sup>
$V_{ini}$	Начальная Скорость потока		м с <sup>-1</sup>
y	Расстояние до ближайшей стенки	<b>Расстояние До Стенки</b>	м
$y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu}$	Безразмерное расстояние до ближайшей стенки	<b>Уплюс</b>	
$\varepsilon$	Диссипативная доля турбулентной энергии	<b>ТурбДиссипация</b>	м <sup>2</sup> с <sup>-3</sup>
$\lambda$	Молекулярный теплоперенос		кг м с <sup>-3</sup> К <sup>-1</sup>
$\mu$	Молекулярная динамическая вязкость		кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>
$\mu_t$	Турбулентная динамическая вязкость	<b>ТурбВязкость</b>	кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup>
$\nu = \mu/\rho$	Молекулярная кинематическая вязкость		м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>
$\nu_t = \mu_t/\rho$	Турбулентная кинематическая вязкость		м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup>



Обозначение	Название	Название во FlowVision НРС	Размерность
$\rho$	Плотность	<b>Плотность</b>	кг м <sup>-3</sup>
$\tau = \rho u_{\tau}^2$	Сила сопротивления вязкой жидкости на стенке	<b>МодВязких Напряжений</b>	Н м <sup>-2</sup>
$\tau_{\text{expl}}$	Явный шаг по времени		с
$\tau_{\text{impl}}$	Неявный шаг по времени		с
$\omega = \frac{\varepsilon}{\beta^* k}$	Удельная диссипативная доля турбулентной энергии	<b>ТурбДиссипация</b>	с <sup>-1</sup>

### 3 Подробное описание простейшей модели

В этом примере подробно рассматриваются все этапы задания варианта во **FlowVision HPC**, расчета и анализа полученных результатов. Управляющие настройки находятся в Препроцессоре, средства для просмотра результатов - в Постпроцессоре

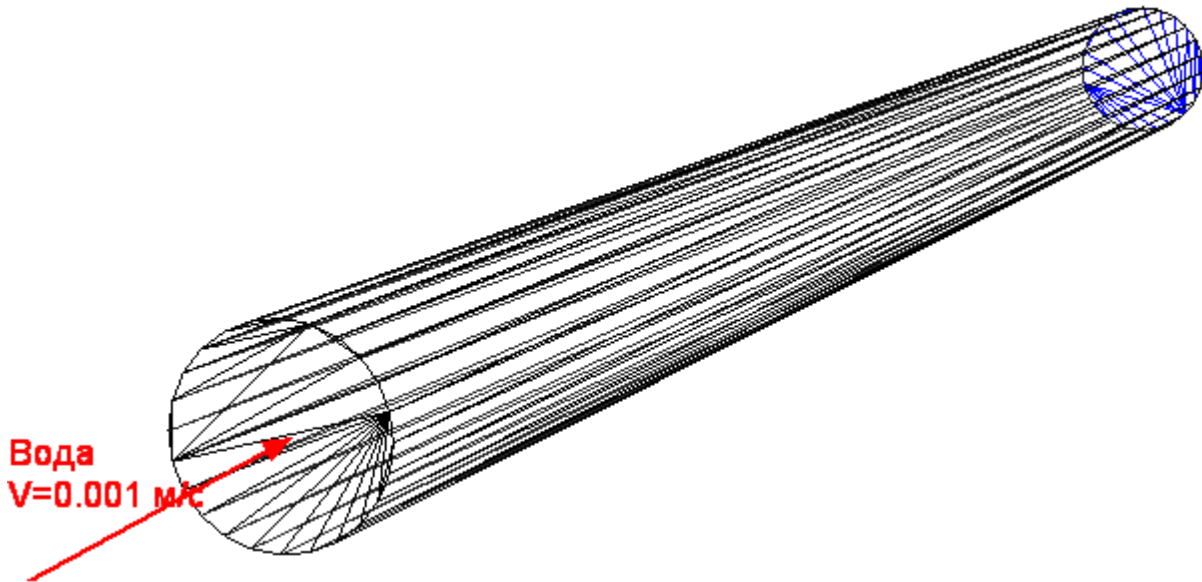
*Рекомендуется вначале ознакомиться с этим разделом.*

### 3.1 Ламинарное течение в трубе

В этом примере подробно рассматриваются все этапы задания варианта, расчета и анализа полученных результатов.

В качестве простейшего примера выбрана задача моделирования ламинарного движения вязкой жидкости по цилиндрической трубе.

Ламинарный режим течения характеризуется числом Рейнольдса  $Re < 10^3$ .



Размеры:

Длина трубы	L	= 2	[м]
Диаметр трубы	D	= 0.1	[м]

Входные параметры

Скорость на входе:	$V_{in}$	= 0.001	[м·с <sup>-1</sup> ]
--------------------	----------	---------	----------------------

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1000	[кг·м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup> ]

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{in} D \rho}{\mu} = \frac{0.001 \cdot 0.1 \cdot 1000}{0.001} = 10^2$$

Геометрия:

**Tube.wrl**

Проект:

**Lam\_tube**

#### 3.1.1 Создание проекта

Область расчета создается вне программного комплекса **FlowVision HPC** в системах геометрического моделирования.

Геометрическая модель расчетной области должна удовлетворять следующим требованиям:

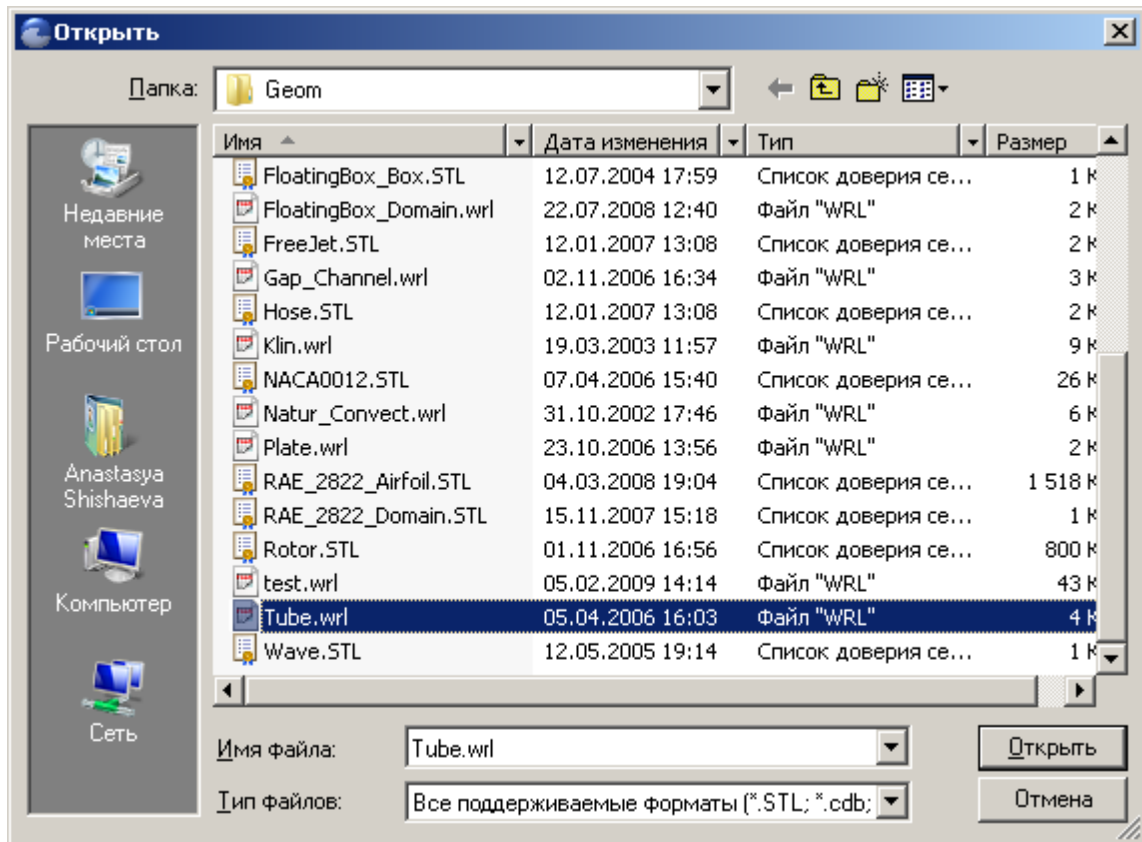
1. объемы, составляющие геометрическую модель, должны быть замкнуты;
2. объемы, составляющие геометрическую модель, должны быть вложены друг в друга и не пересекаться.

Геометрическая модель передается во **FlowVision HPC** в одном из следующих стандартных форматов:

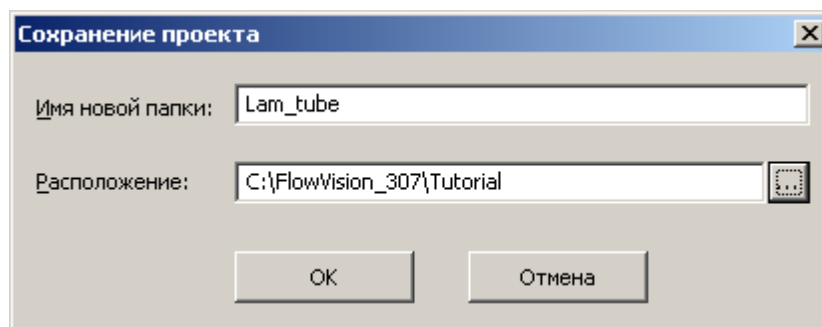
1. поверхностная сетка: WRML, STL, MESH (внутренний формат);

2. объемная сетка, на основе которой во **FlowVision HPC** строится соответствующая поверхностная сетка: ANSYS, NASTRAN, ABAQUS.

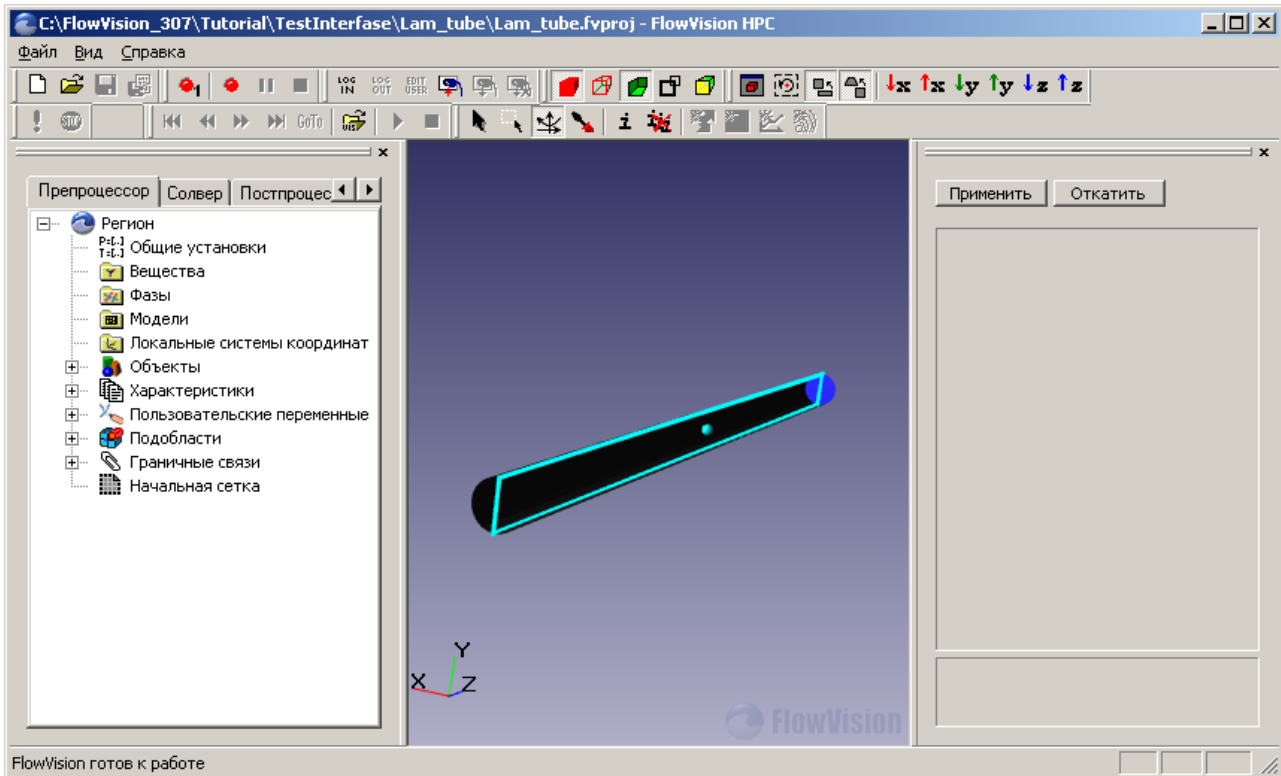
Загрузка геометрической модели во **FlowVision HPC** осуществляется через меню **Файл**→**Новый...**, где в окне диалога выбирается соответствующий файл. В данном варианте необходимо выбрать файл tube.wrl



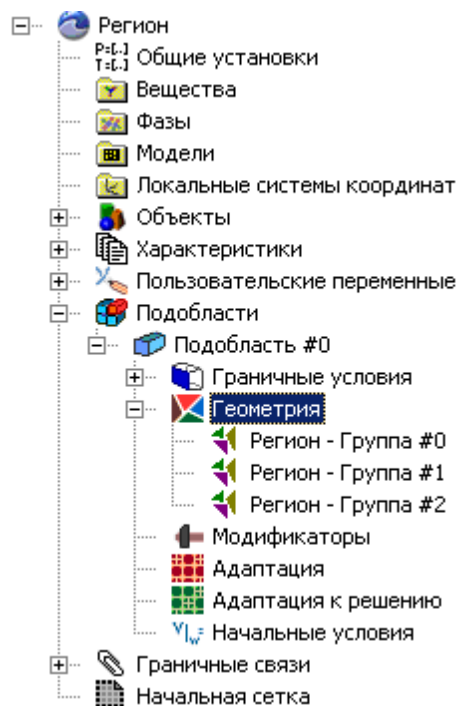
После загрузки геометрической модели пользователю предлагается задать имя проекта и указать расположение папки с файлами проекта.



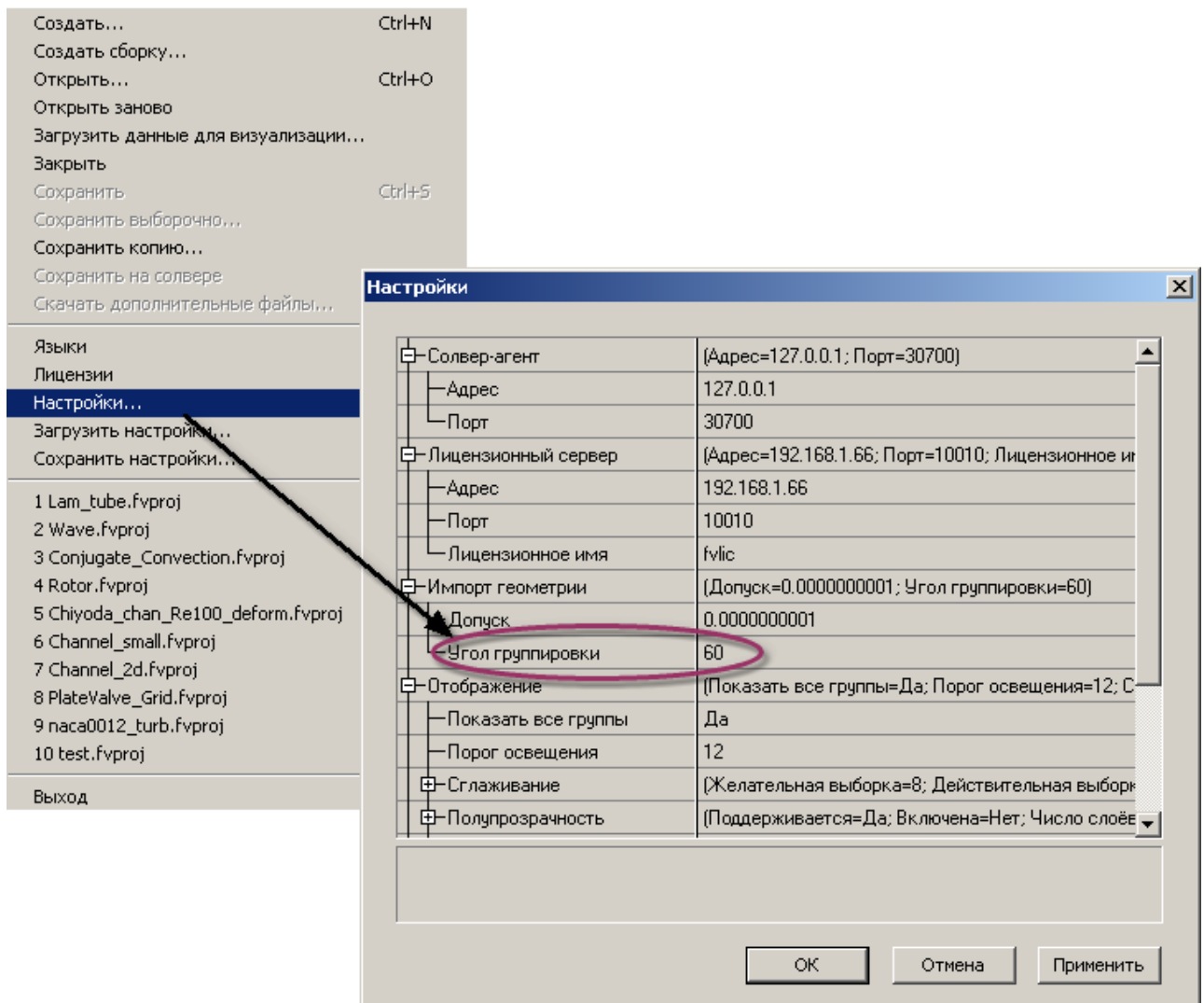
После этого будет создана соответствующая папка с файлами варианта и в графическом окне **FlowVision HPC** появится геометрическая модель, а в дереве Препроцессора появятся соответствующие подобласти.



Программа загружает геометрию в виде набора поверхностных треугольников. После загрузки треугольники геометрии автоматически объединяются в геометрические группы. Список геометрических групп каждой подобласти находится в папке **Подобласти**→**Подобласть#i**→**Геометрия** дерева Препроцессора.



Количество и границы групп зависит от формата геометрии и настроек ПреПостпроцессора. Формат геометрии WRL поддерживает информацию о цвете. Если файл геометрии имеет расширение WRL, то треугольники одного цвета будут объединены в одну группу. Формат STL не поддерживает информацию о цвете. Если файл геометрии имеет расширение STL, то треугольники будут объединены в группы в соответствии с величиной **Угла группировки**: если угол между треугольниками меньше угла группировки, то они объединяются в одну группу. Величина угла группировки задается в **Файл**→**Настройки**→**Угол группировки**.



### 3.1.2 Задание физической модели

Для того, чтобы задать физическую модель, необходимо задать:

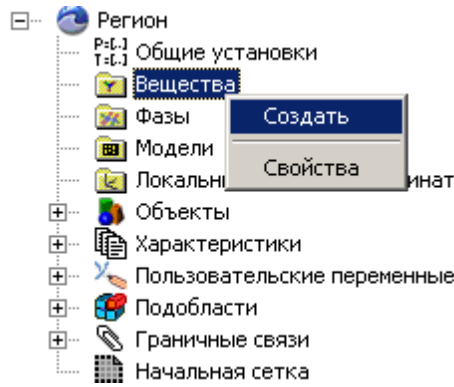
1. [Вещество](#)
2. [Фазу](#)
3. [Модель](#)

#### 3.1.2.1 Вещество

В данном примере будет проводиться моделирование течения воды, поэтому достаточно задать одно вещество - воду.

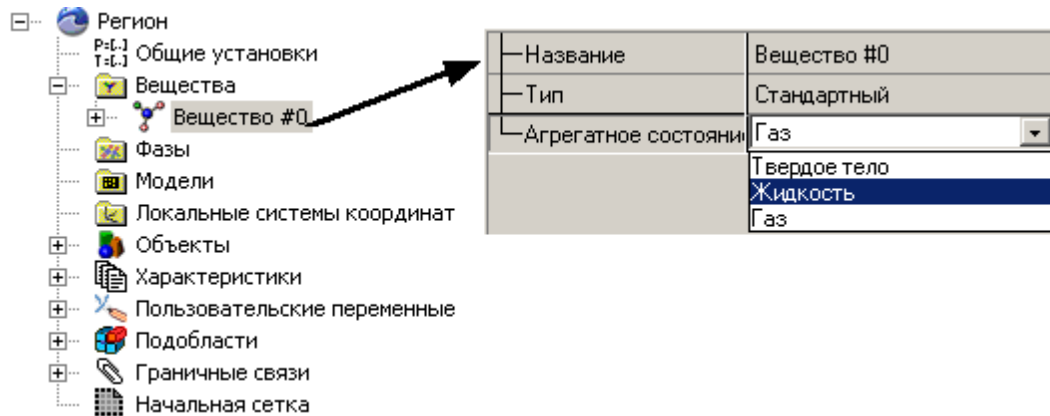
Для того, чтобы задать новое вещество, необходимо выполнить следующие действия:

- В контекстном меню папки **Вещества** выберите Создать.



После этого появится папка **Вещество#0** с соответствующими параметрами.

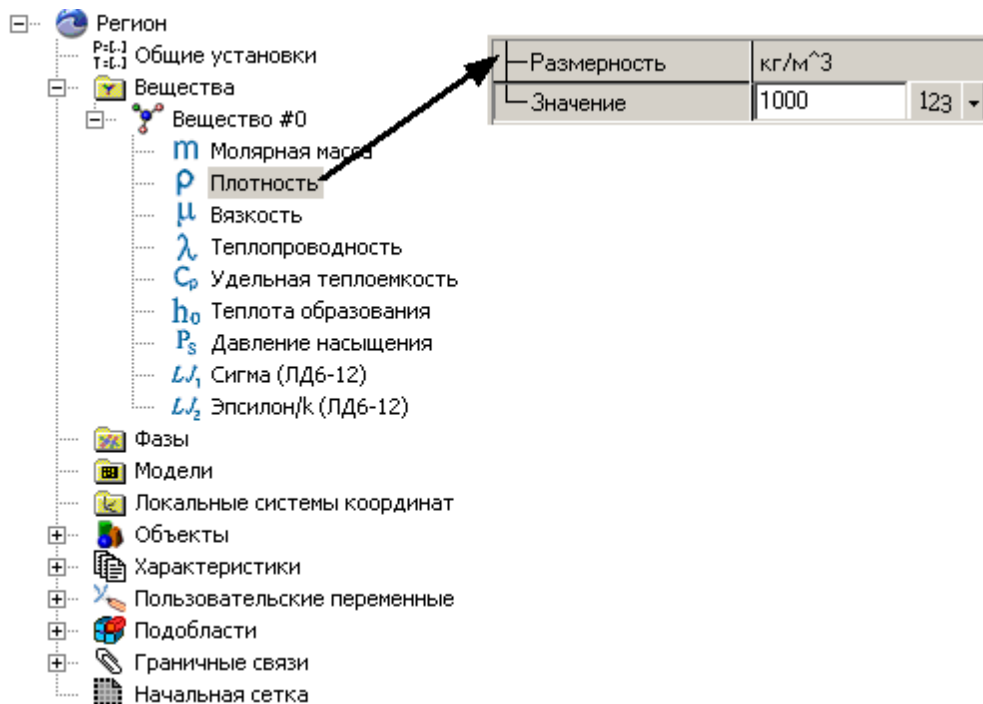
- В окне **Вещества #0** в поле Агрегатное состояние задайте Жидкость



- В папке **Вещество #0** в перечне физических свойств вещества следует задать:

Плотность = 1000 [кгм<sup>-3</sup>]  
 Молекулярная вязкость = 0.001 [кгм<sup>-1</sup>с<sup>-1</sup>]

Остальные параметры нам не понадобятся, поэтому их можно оставить по умолчанию равными 0.



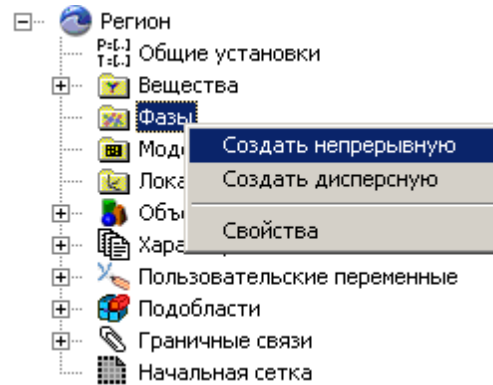
**Примечание:**

От агрегатного состояния зависит набор физических свойств, способ вычисления скорости звука и уравнение состояния.

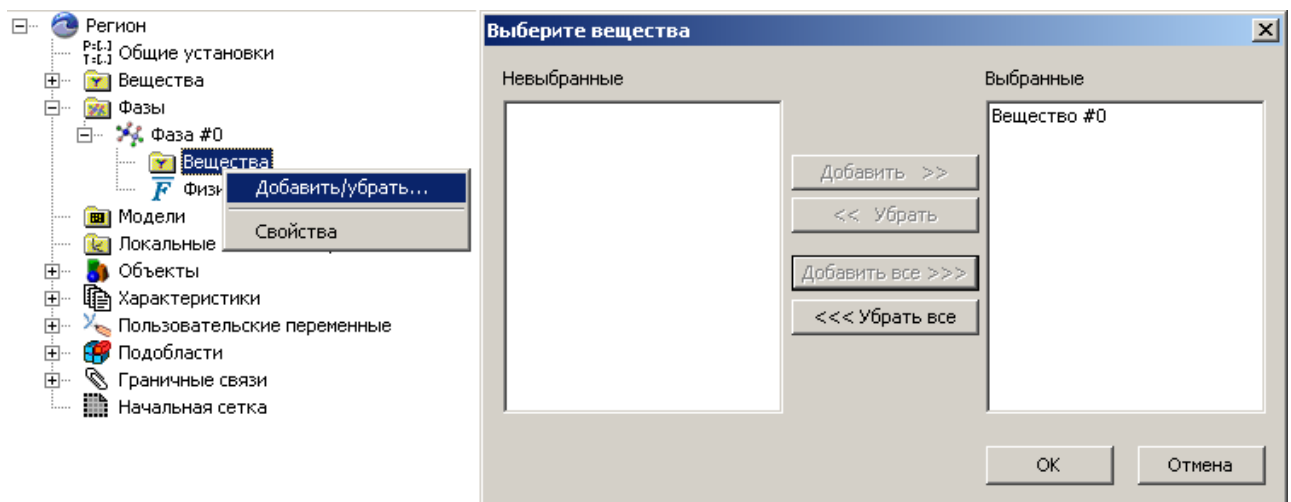
**3.1.2.2 Фаза**

Для того, чтобы задать фазу, необходимо:

- В контекстном меню папки **Фазы** выбрать пункт Создать непрерывную.



- В **Фазе #0** в папке **Вещества** загрузить предварительно созданное вещество:
  - В контекстном меню папки **Вещества** выбрать **Добавить/Убрать**
  - Выбрать из списка **Вещество#0** и добавить его в фазу.



- В папке **Физические процессы** в окне свойств выбрать моделируемые процессы. В данной задаче потребуются физические процессы:

Движение                      Ньютоновская жидкость

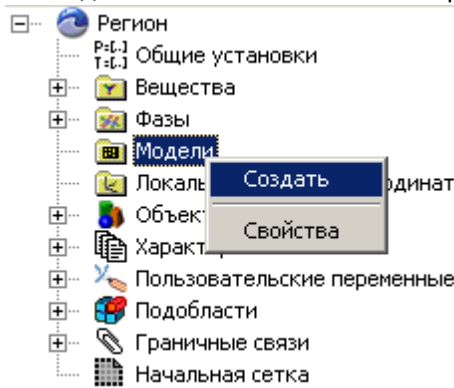




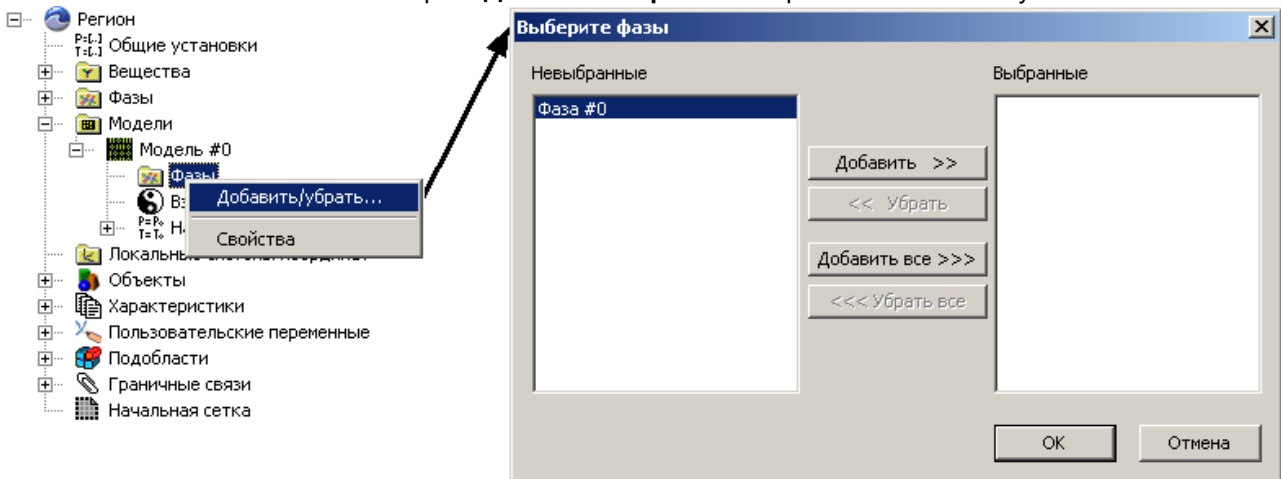
### 3.1.2.3 Модель

В рамках одной **Модели** можно задавать одну **Фазу**.

Для того, чтобы задать **Модель**, необходимо в контекстном меню выбрать **Создать**.

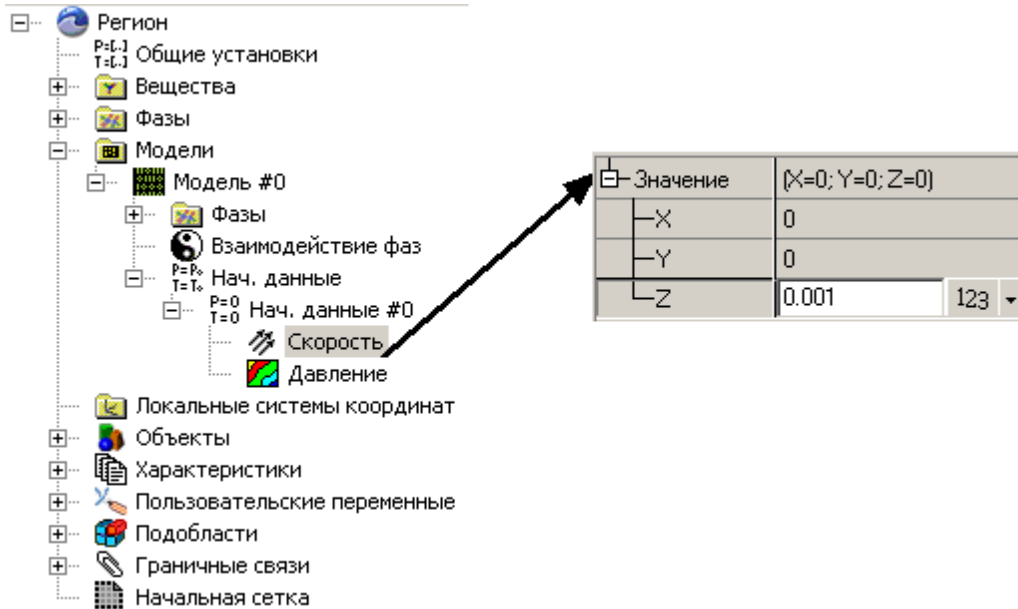


После этого появится папка **Модель#0** и вложенные в нее папки **Фазы** и **Взаимодействие фаз**. В данной задаче нам потребуется только одна фаза. Для того, чтобы добавить ее в **Модель** нужно в контекстном меню папки **Фазы** выбрать **Добавить/Убрать** и выбрать из списка **Фаза#0**.



- В папке **Нач. данные #0** в элементе **Скорость** необходимо задать начальную скорость по Z:  
Значение

Z                    0.001

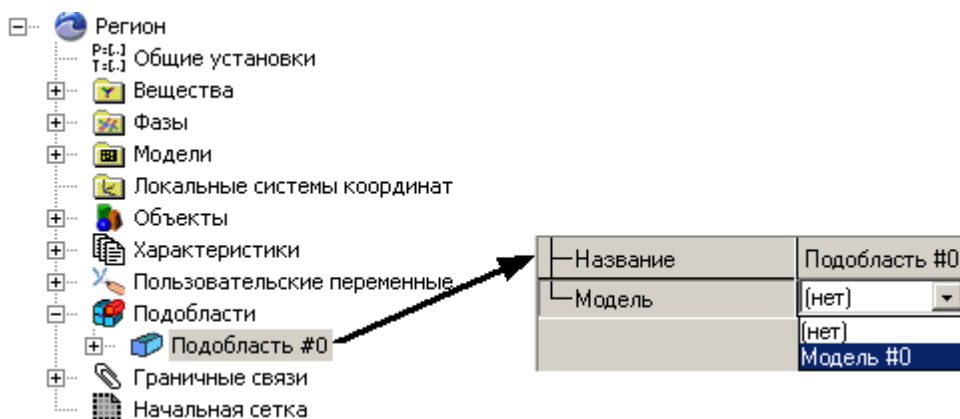


### 3.1.3 Задание граничных условий

Прежде чем задавать граничные условия, необходимо указать модель для расчетной подобласти.

Задайте в окне свойств **Подобласти#0**

**Модель** = **Модель #0**

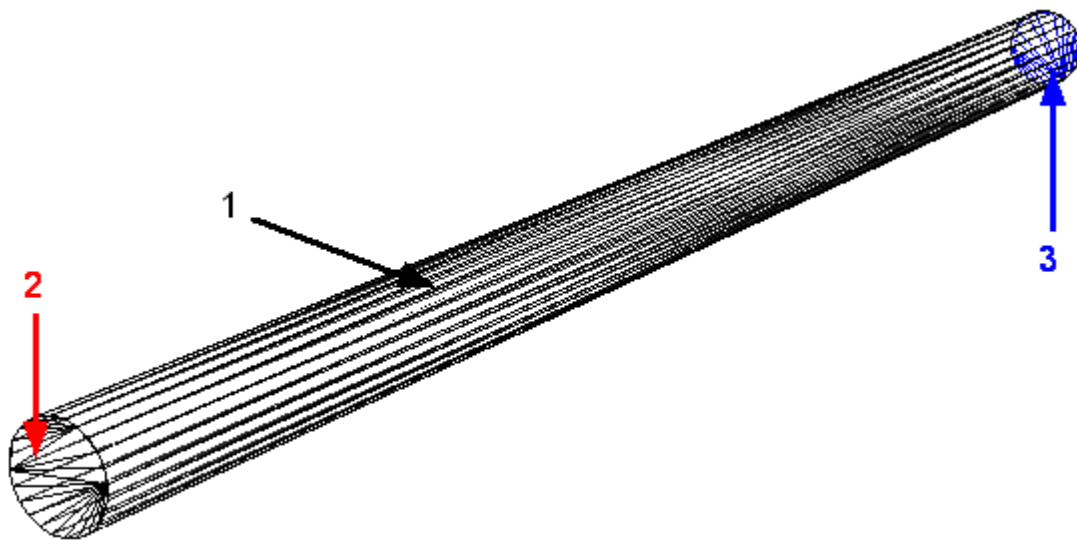


Граничные условия задаются для каждой из расчетных переменных.

В общем случае процедура задания граничных условий включает в себя следующие этапы:

1. Создание граничных условий
2. Расстановка граничных условий
3. Задание параметров граничных условий

Исходная геометрия для данной задачи была раскрашена при создании и сохранена в формате **wrl**, который поддерживает информацию о цвете. Поэтому, при загрузке геометрии приложение автоматически создало и расставило граничные условия на поверхностях разного цвета. По умолчанию все граничные условия имеют тип **Стенка**.



Изменение свойств **граничных условий** осуществляется в **окнах свойств** элементов папки **Граничные условия** дерева Препроцессора: **Подобласти**→**Подобласть #i**→**Граничные условия**→**Граничное условие #i**.

Название	ГУ #1
Тип	Свободный выход
Локальная СК	Стенка
Вращение	Симметрия
Адаптация	Вход/Выход
Цвет	Свободный выход
Площадь	Связанный
Переменные	Неотражающее
Скорость	0.007764494456
Условие связи	[...]
Связка	Давление
	(нет)
	(нет)

Задайте следующие параметры в окнах свойств граничных условий:

Граница 1 (ГУ#0)

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Прилипание

Граница 2 (ГУ#2)

Тип = Вход/Выход

Переменные

Скорость = Нормальная массовая скорость

Граница 3 (ГУ#1)

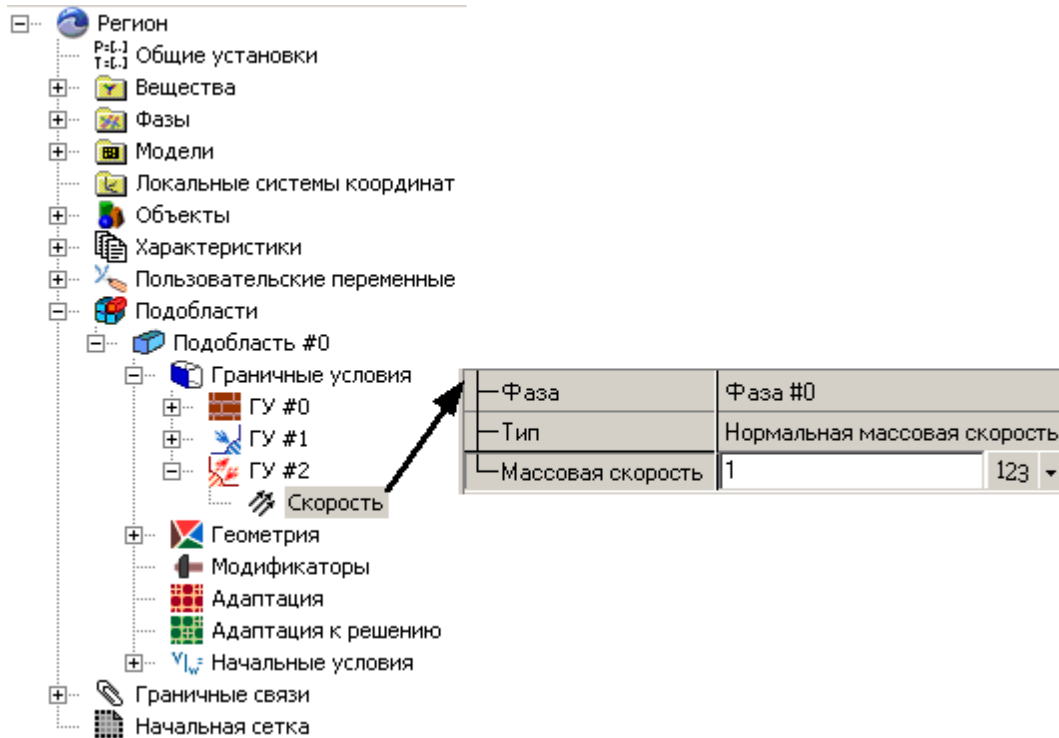
Тип = Свободный выход

Переменные

Скорость = Давление  
 Значение = 0

Задайте численное значение **Массовой скорости**:

Скорость  
 Массовая скорость = 1 [кг м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>]



### 3.1.4 Генерация расчетной сетки

Следующим необходимым шагом является задание расчетной сетки.

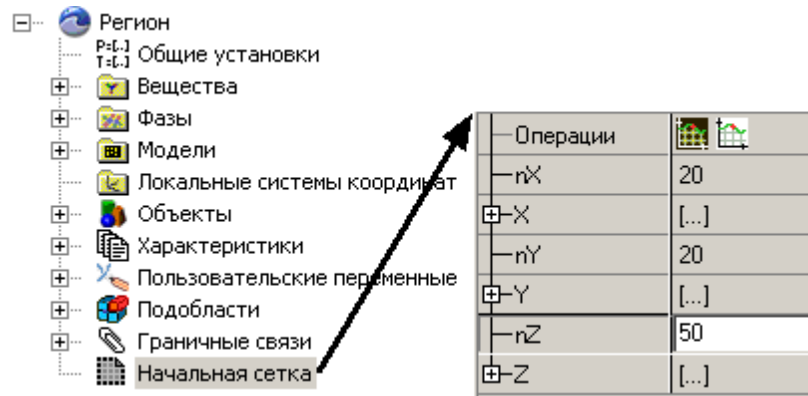
**Расчетная сетка**, используемая во **FlowVision HPC** является:

1. прямоугольной
2. адаптивной локально измельченной (**АЛИС**)<sup>1</sup>
3. с подсеточным разрешением геометрии<sup>2</sup>

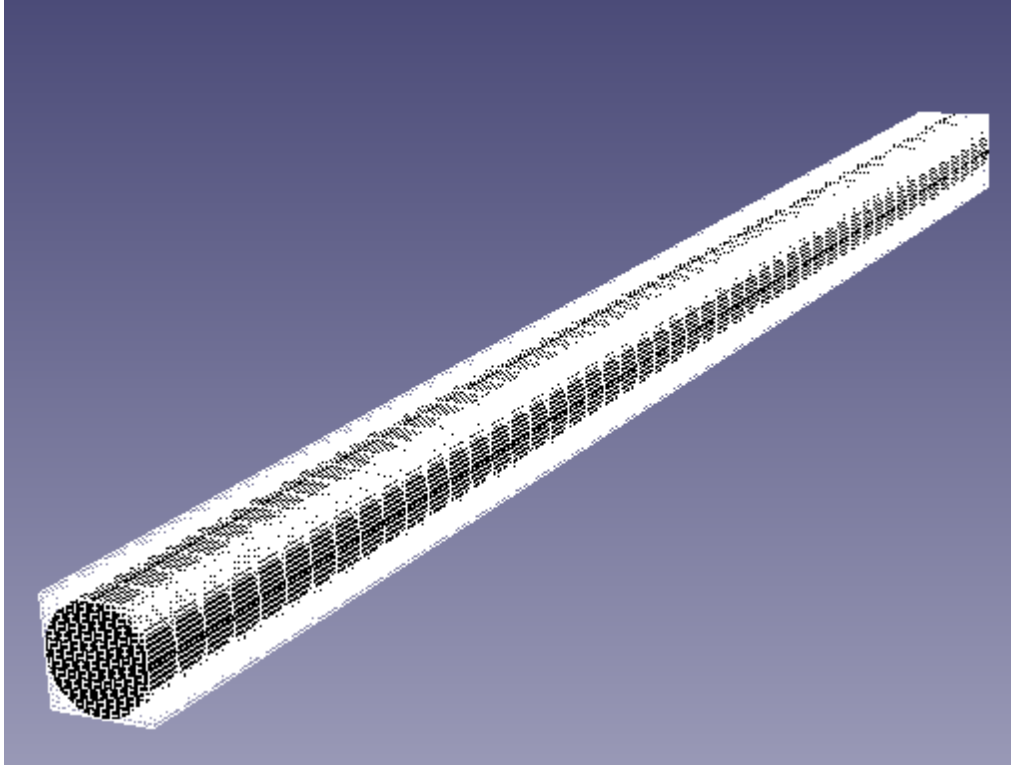
Задание **расчетной сетки** во FlowVision разделяется на задание начальной сетки (или сетки начального уровня) и адаптацию сетки (как по поверхности, так и в объеме).

В этом примере нам необходимо задать равномерную расчетную сетку 20x20x50. Для этого необходимо в дереве **Препроцессора** в окне свойств элемента **Начальная сетка** задать:

nX = 20  
 nY = 20  
 nZ = 50



После задания в графическом окне отобразится начальная сетка:



*Примечание:*

<sup>1</sup> Адаптация позволяет разрешать малые детали геометрии расчетной области и высокие градиенты рассчитываемых величин

<sup>2</sup> Подсеточное разрешение геометрии позволяет аппроксимировать криволинейные границы на прямоугольной сетке.

### 3.1.5 Задание параметров, управляющих расчетом

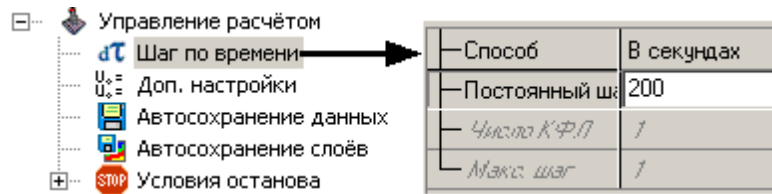
Последним этапом подготовки проекта к расчету является задание параметров, управляющих расчетом. К таким параметрам относятся: шаг по времени, выбор схемы аппроксимации уравнений по пространству и по времени, частота автосохранения и др.

Параметры, управляющие расчетом, задаются в дереве **Солвера**.

Предполагается, что для большинства задач (кроме особо оговоренных) пользователю не нужно изменять дополнительные настройки, заданные по умолчанию. Единственное, что требуется задать – это **Шаг по времени**. Во **FlowVision HPC** предусмотрены два способа задания шага: **в секундах** и **числом КФЛ** (Куранта-Фридрихса-Леви). Поскольку в данном случае мы имеем дело со стационарной задачей, то следует задавать шаг по времени в секундах - постоянный шаг по времени, выбираемый пользователем. Постоянный шаг по времени выбирается исходя из 1/10 пролетного времени для характерного размера задачи. В данном случае характерный размер - длина трубы  $L$ . Пролетное время - время, необходимое гипотетической частице, движущейся со средней скоростью потока  $V$ , преодолеть

характерный размер:


$$\tau_{\text{очлн}} = 0.1 * \frac{L}{V} = 0.1 * \frac{2}{0.001} = 200 \text{ с}$$

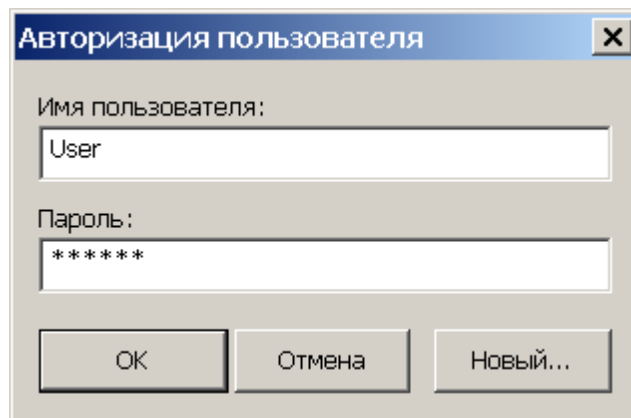


### 3.1.6 Запуск на расчет


Запускать вариант на расчет можно из **Препостпроцессора** и из **Терминала**. В данном примере будет рассмотрен запуск варианта из **ПреПостпроцессора**. **Солвер-Агент** и **Лицензионный сервер** должны быть запущены.

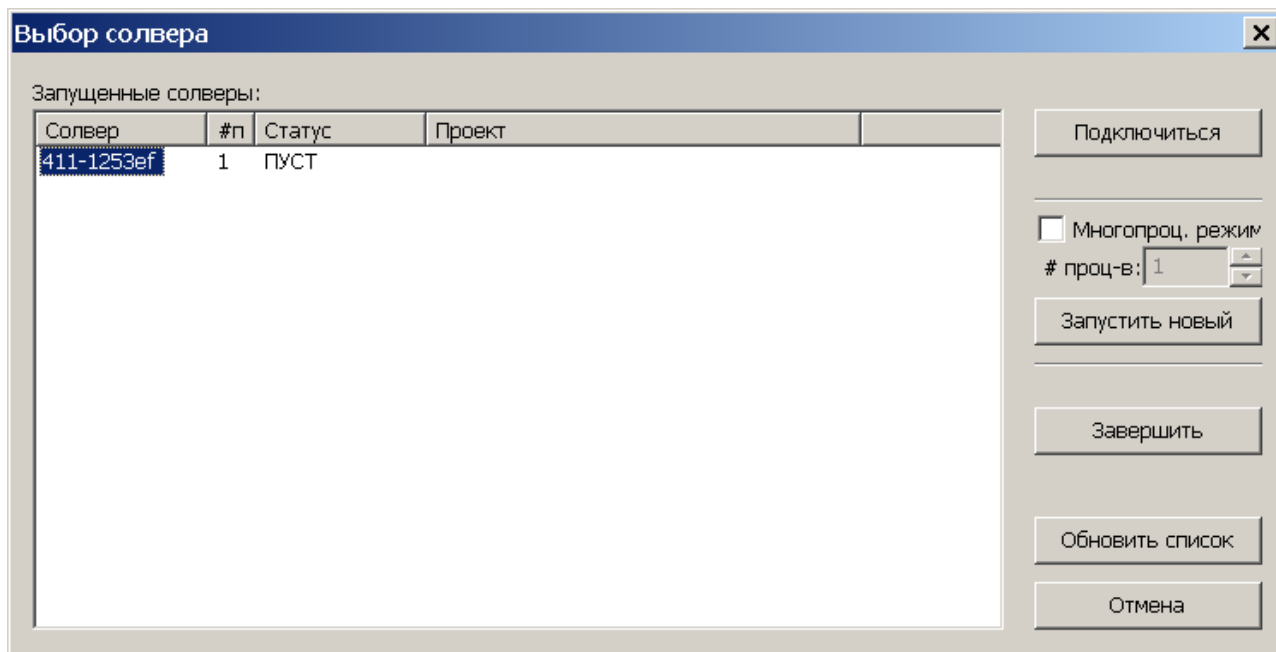
Для того, чтобы начать расчет, необходимо авторизироваться на солвер-агенте:

- Нажать кнопку .
- Ввести имя пользователя и пароль, под которыми пользователь зарегистрирован на лицензионном сервере.

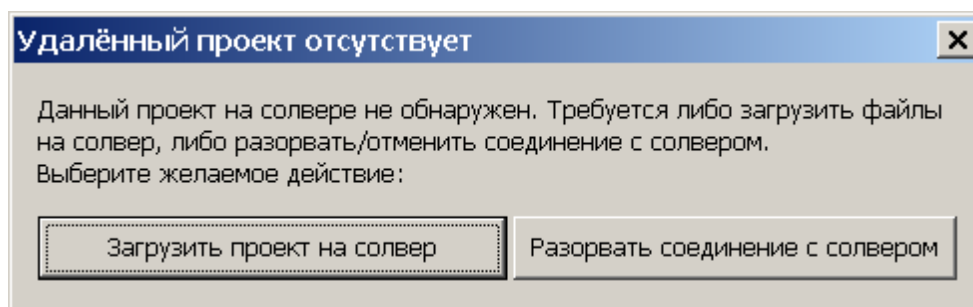


Для того, чтобы подключиться к **Солверу**, необходимо:

- Нажать кнопку .
- **Запустить новый** солвер, выбрать его из списка и **подключиться** к нему.




- Загрузить проект на солвер:



Файлы проекта будут находиться в двух директориях: клиентской и серверной. Увидеть результаты расчета можно только если проект подключен к солверу и синхронизирован с ним.

После загрузки проекта на солвер в **Серверной директории** появится папка с серверной частью проекта. Путь к директории с серверными частями проектов указывается при регистрации. При

необходимости, окно с регистрационной информацией можно вызвать кнопкой . Серверную директорию можно изменить

После загрузки проекта на солвер станет доступен запуск солвера на расчет. Чтобы запустить солвер на расчет, необходимо:

- Нажать кнопку 
- Указать параметры запуска на расчет

Остановить расчет можно кнопкой 

### 3.1.7 Просмотр и анализ результатов

Просмотр результатов расчета осуществляется в **Постпроцессоре**.

*Для того, чтобы можно было просмотреть результаты расчета, проект должен быть загружен на солвер и обязательно находится с ним на связи.*

Постпроцессор предоставляет пользователю следующие возможности:

1. Набор стандартных методов визуализации течений в графическом окне;
2. Интерактивная настройка параметров методов визуализации;
3. Отображение интегральных значений переменных в окне Информация
4. Отображение легенды метода отрисовки в отдельном окне Информация;

Чтобы отобразить результаты расчетов, в Постпроцессоре необходимо:

- создать и настроить соответствующий объект;



- создать слой или характеристики требуемого типа на объекте;
- в слое выбрать переменную и выполнить необходимые настройки слоя или характеристик.

Элементы для отображения результатов следует выбирать в зависимости от типа данных, которые необходимо визуализировать:

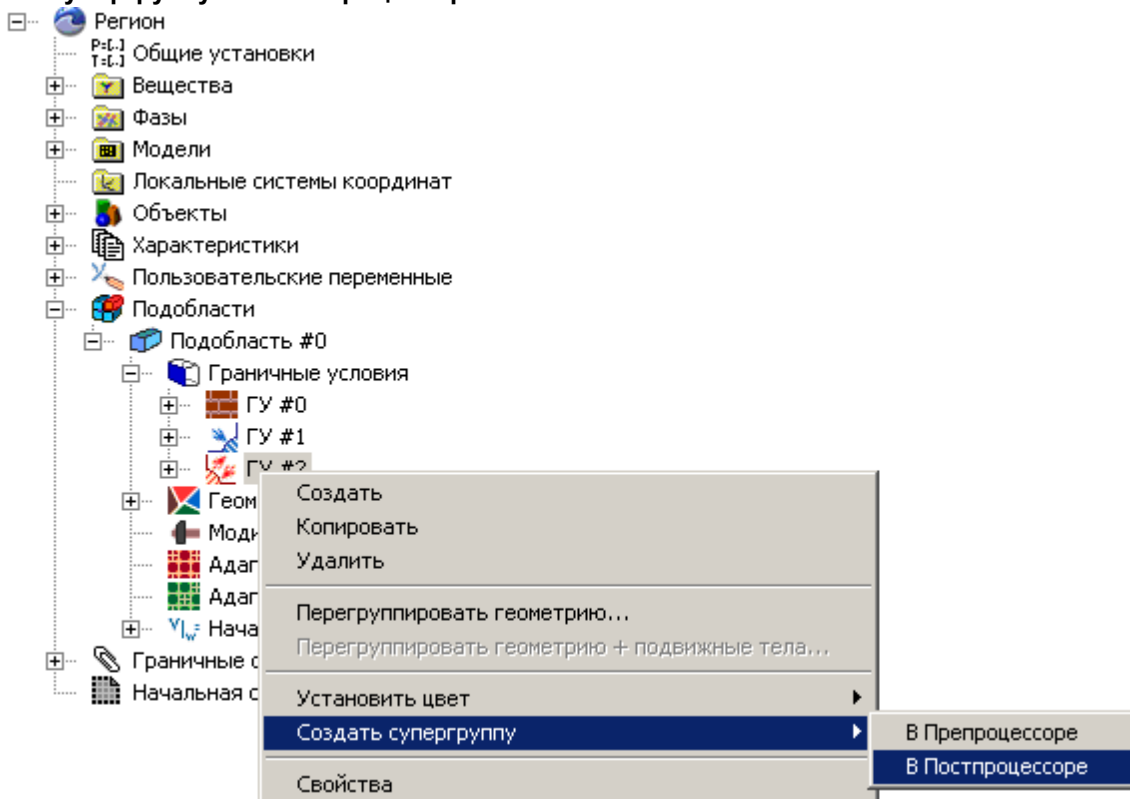
Тип данных	Название элемента
<b>Интегральные величины:</b>	
Значение переменной на поверхности и в объеме	<b>Характеристики</b>
<b>Локальные величины:</b>	
Локальные значения скалярной переменной вдоль линии	<b>График вдоль прямой</b> <b>График вдоль кривой</b> <b>График вдоль эллипса</b>
Локальные значения скалярной переменной на поверхности	<b>Цветовые контуры</b>
Локальные значения скалярной переменной в объеме	<b>Изоповерхность</b>
Локальные значения и направления векторной переменной на поверхности и в объеме	<b>Векторы</b>

При проведении долговременных расчетов рекомендуется всегда визуализировать данные в процессе расчета, поскольку в этом случае пользователь получает возможность постоянного контроля над процессом сходимости решения и, если нужно, вмешаться в процесс расчета при возникновении численных неустойчивостей решения.

### 3.1.7.1 Характеристики (динамика давления)

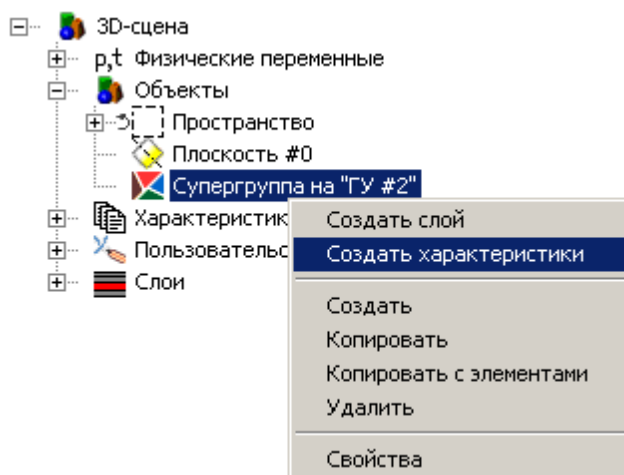
Элемент **Характеристики** предоставляет доступ к информации об интегральных значениях переменной. Информация выводится в окно **Информация** и в текстовый файл. Запись в текстовый файл позволяет посмотреть изменение переменной во времени.

Воспользуемся элементом **Характеристики** для того, чтобы отслеживать динамику давления на входе. Для того, чтобы задать слой, первоначально необходимо создать из граничного условия **Вход (ГУ #2)** объект для визуализации. Для этого в контекстном меню граничного условия Вход нужно выбрать пункт **Создать супергруппу** → **В Постпроцессоре**.



**Супергруппа** является объектом для визуализации данных с граничного условия, поэтому она автоматически помещается в **Постпроцессор**. Затем в контекстном меню **Супергруппы** необходимо

выбрать пункт Создать характеристики.



По умолчанию, на характеристиках не задана переменная и характеристики не содержат основной части данных. Для того, чтобы сделать характеристики информативными, в окне **Характеристик #0** задайте переменную:

Характеристики

Переменная

Переменная

Давление

После этого Характеристики становятся информативным. Содержимое **Характеристик** можно посмотреть в Информационном окне. Для того, чтобы вызвать Информационное окно, необходимо выделить

Характеристики в окне Постпроцессора и нажать кнопку в панели инструментов  .

Имя	Значение
Данные с солвера	Есть
Номер шага	186
Время	37200
Переменная	PRES
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Подобласть	Подобласть #0
Площадь	0.0077644922767654
Поток массы+	0.0077644922767654
Поток массы-	0
Объёмный поток+	7.7644919005999e-006
Объёмный поток-	0
Интеграл X	0
Интеграл Y	0
Интеграл Z	5.158264559777e-005
<f пов.>	0.0066434022675413
<f масса+>	0.0066434022675413
<f масса->	0
<f масса+> * Поток массы+	5.158264559777e-005
<f масса-> * Поток массы-	0
Дисперсия по поверхности	3.6818897087816e-005
Дисперсия по потоку	3.6818897087707e-005
Тепловой поток	0
F жидк. X	0
F жидк. Y	0
F жидк. Z	4.7545416112814e-005
M центр X	0
M центр Y	0
M центр Z	0
M жидк. X	7.1987159056618e-014
M жидк. Y	-2.2546098208647e-014
M жидк. Z	0

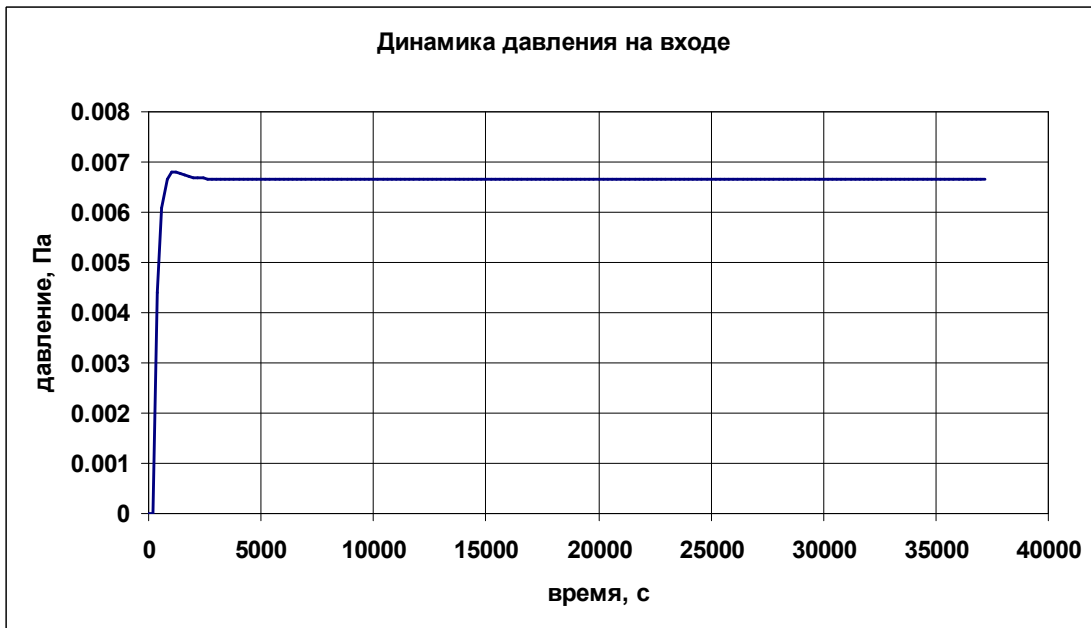
Для того, чтобы записывать содержимое Характеристики в файл, задайте в окне свойств **Характеристик #0:**

Сохранение в файл

Тип

= Автоматически

Все данные записываются в текстовый формат GLO, который для построения графиков динамики величин можно экспортировать в формат Excel. GLO-файл по умолчанию записывается в папку проекта в директории пользователя на кластере.



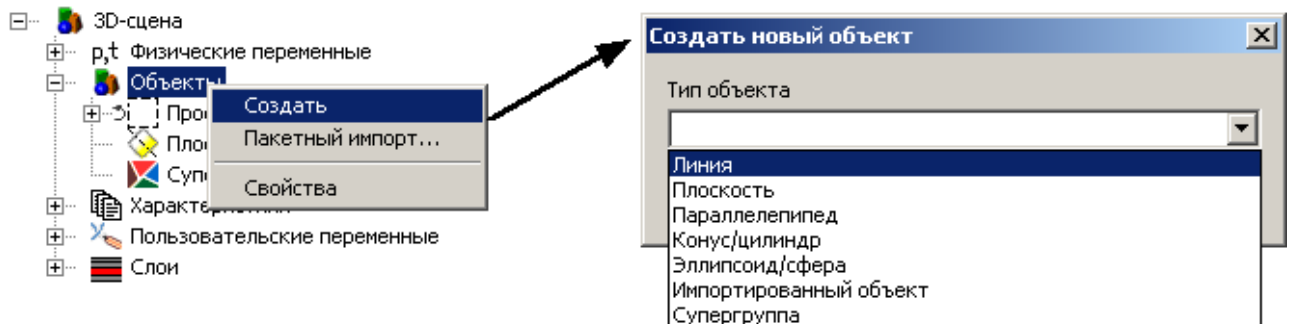
### 3.1.7.2 График вдоль прямой (распределение давления)

Слой **График вдоль прямой** позволяет отображать распределение значений скалярной переменной вдоль выбранной прямой в виде графика.

В данном примере предлагается использовать слой **График вдоль прямой** на объекте **Линия** для визуализации распределения значений давления вдоль оси трубы.

Создайте объект **Линия** для визуализации:

- в контекстном меню папки **Объекты** выберите **Создать**
- в диалоговом окне **Создать новый объект** выберите **Тип объекта = Линия**



В окне **Свойства** созданного объекта **Линия #0** задайте:

Объект

Опорная точка

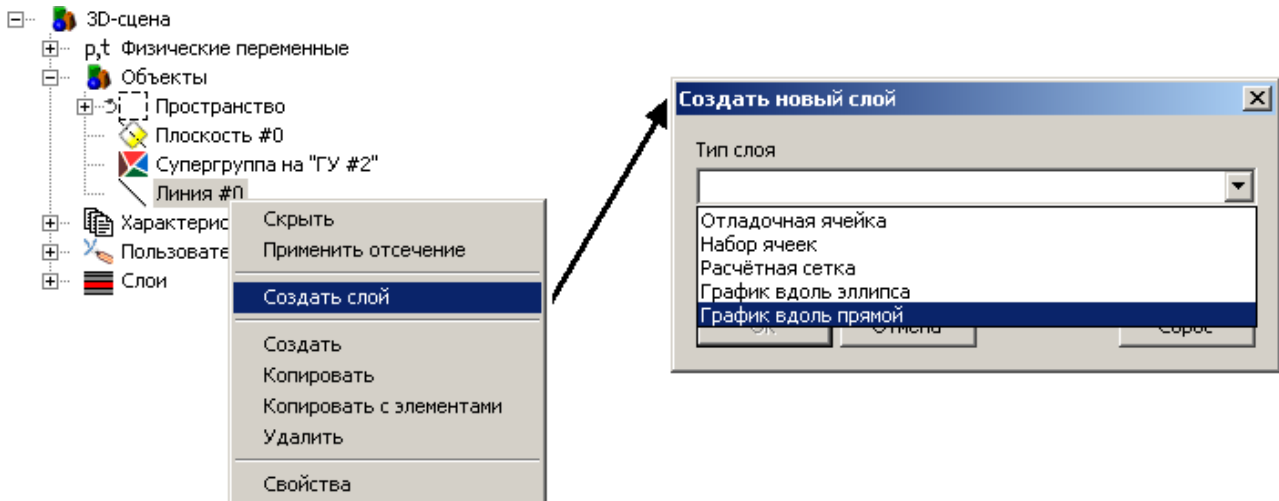
X	0
Y	0
Z	0.001

Направление

X	0
Y	0
Z	1

Создайте слой **График вдоль прямой** на **Линии**:

- в контекстном меню **Линии #0** выберите **Создать слой**
- задайте **Тип = График вдоль прямой**

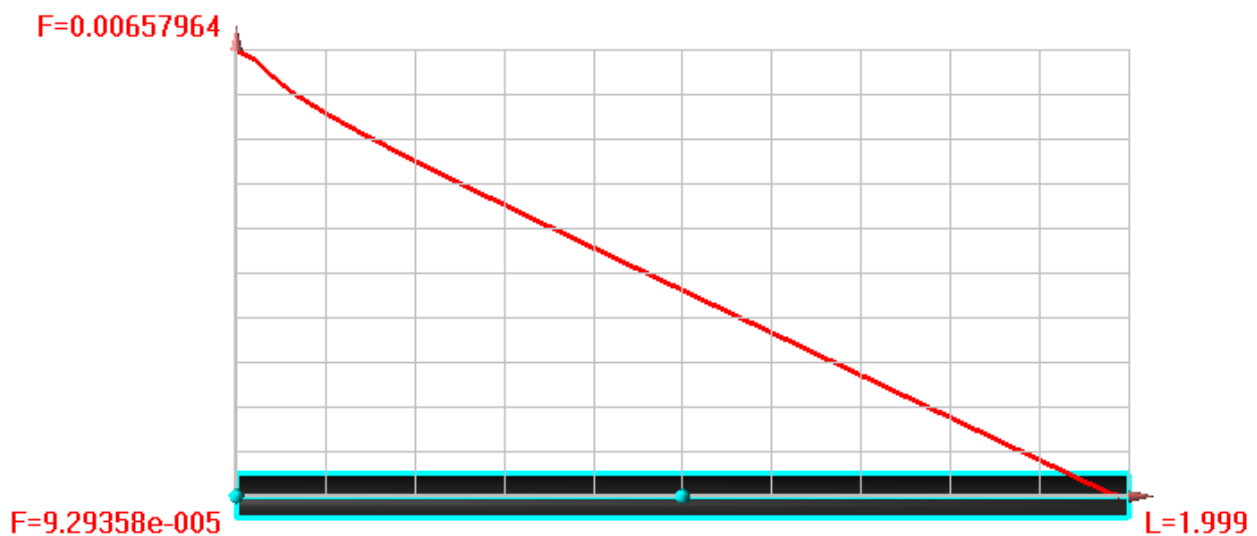


В окне свойств слоя **График вдоль прямой** задайте:  
 Переменная

Переменная      Давление

Для того, чтобы увеличить число узлов графика, задайте:

Число точек              100



### 3.1.7.3 Вектора (распределение скоростей)

Слой **Вектора** служит для визуализации векторного поля. Направление вектора совпадает с направлением векторного поля в начальной точке вектора, а длина пропорциональна модулю поля в этой точке.

Воспользуемся слоем **Вектора** на **Плоскости** для того, чтобы визуализировать векторное поле скоростей в плоскости течения.

Для того, чтобы геометрия области не загромождала слой, задайте в окне свойств **Плоскости#0**:  
 Секущий объект              = Да

Создайте слой Вектора на Плоскости:

- в контекстном меню Плоскости выберите Создать слой
- задайте Тип = Вектора.

В окне свойств слоя задайте:

Переменная = Скорость

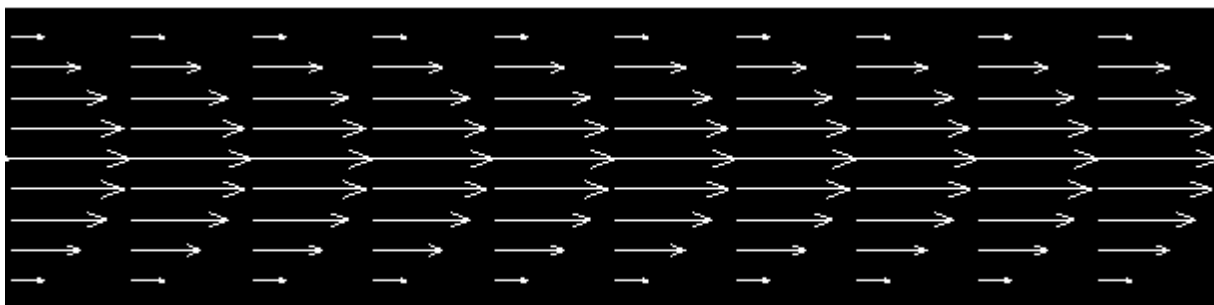
В графическом окне отобразится распределение скоростей в плоскости течения:



Для того, чтобы увеличить количество векторов по обоим направлениям, в окне свойств слоя задайте:  
Сетка

Размер 1 = 10

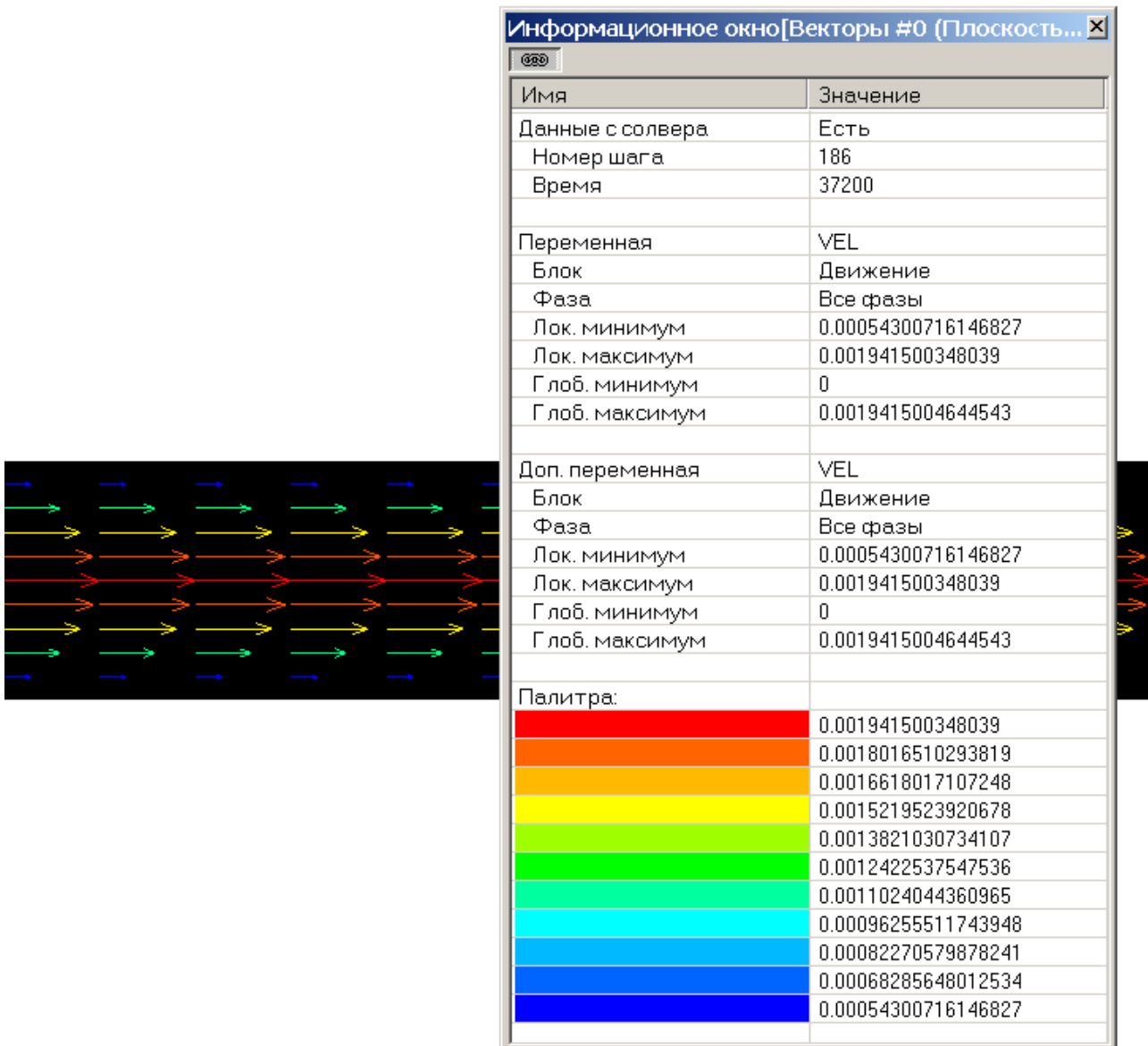
Размер 2 = 50



Для того, чтобы раскрасить вектора по модулю скорости, в окне свойств слоя задайте:

Раскраска

Переменная = Скорость



Имя	Значение
Данные с солвера	Есть
Номер шага	186
Время	37200
Переменная	VEL
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Лок. минимум	0.00054300716146827
Лок. максимум	0.001941500348039
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	0.0019415004644543
Доп. переменная	VEL
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Лок. минимум	0.00054300716146827
Лок. максимум	0.001941500348039
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	0.0019415004644543
Палитра:	
	0.001941500348039
	0.0018016510293819
	0.0016618017107248
	0.0015219523920678
	0.0013821030734107
	0.0012422537547536
	0.0011024044360965
	0.00096255511743948
	0.00082270579878241
	0.00068285648012534
	0.00054300716146827


### 3.1.7.4 Цветовые контуры (распределение модуля скорости)

Слой **Цветовые контуры** демонстрирует распределение скалярной переменной с помощью цветных переходов.

В данном примере предлагается слой **Цветовые контуры** для визуализации величины скорости в плоскости кругового сечения трубы.

Создайте **Плоскость** для визуализации:

- в контекстном меню папки **Объекты** выберите **Создать**
- в диалоговом окне **Создать новый объект** выберите **Тип объекта = Плоскость**

В окне свойств созданной **Плоскости #1** нажмите на кнопку , чтобы ориентировать нормаль вдоль Z:

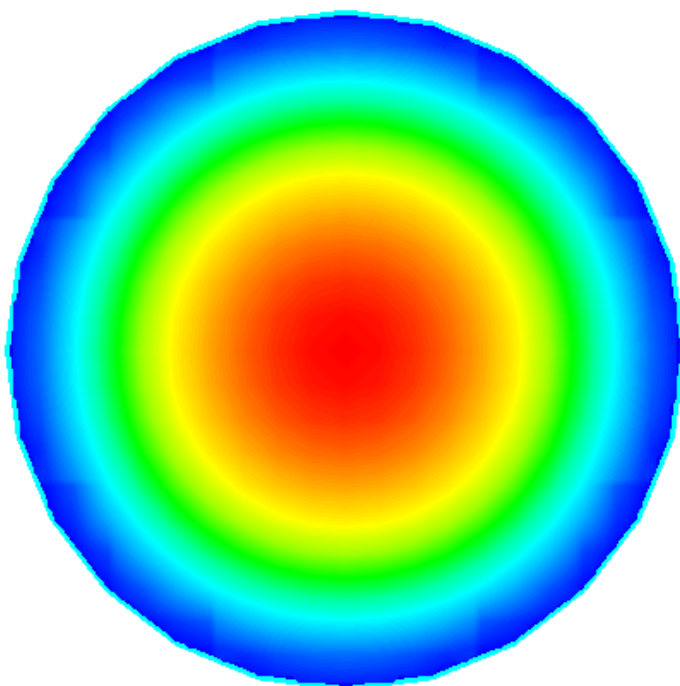
Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости #1**:

- в контекстном меню **Плоскости** выберите **Создать слой**
- задайте **Тип = Цветовые контуры**.

В окне свойств слоя **Цветовые контуры** задайте:

Переменная

Переменная = Скорость



Информационное окно [Цветовые ко...]	
Имя	Значение
Данные с солвера	Есть
Номер шага	186
Время	37200
Переменная	VEL
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Лок. минимум	0.00017861314699985
Лок. максимум	0.0019389318767935
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	0.0019415004644543
Палитра:	
	0.0019389318767935
	0.0017629000038141
	0.0015868681308348
	0.0014108362578554
	0.001234804384876
	0.0010587725118967
	0.00088274063891731
	0.00070670876593795
	0.00053067689295858
	0.00035464501997922
	0.00017861314699985



## 4 Физические процессы

В данном разделе рассматриваются примеры моделирования основных физических процессов:

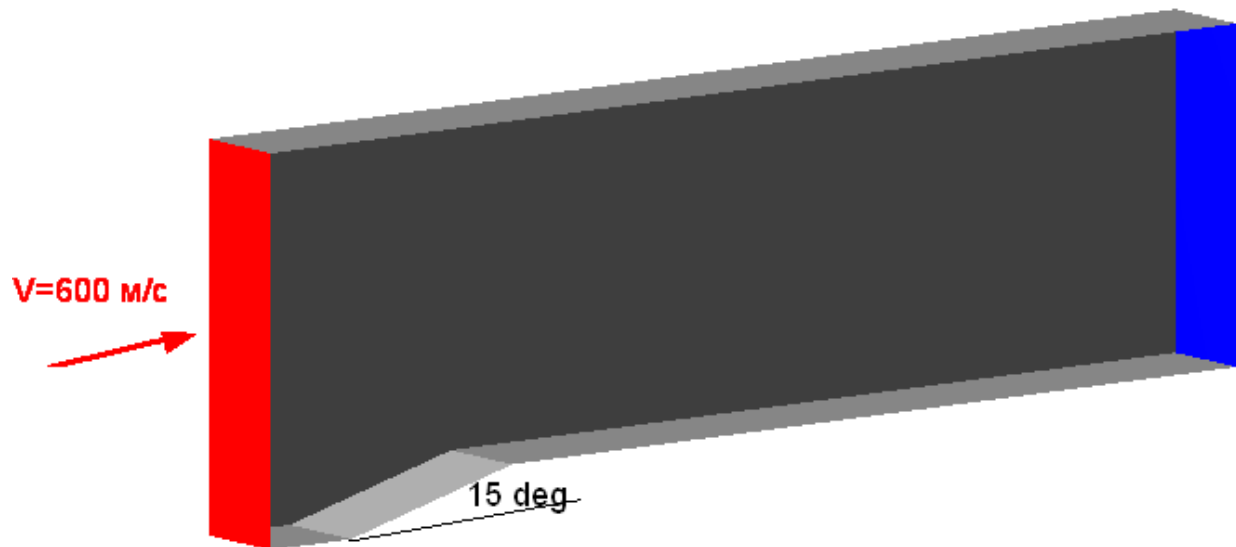
1. [Течение](#).
2. [Теплоперенос](#)
3. [Турбулентность](#)
4. [Свободная поверхность](#)

## 4.1 Течение

Во FlowVision HPC реализована модель течения Ньютонской жидкости при любых числах Маха.

### 4.1.1 Сверхзвуковое обтекание клина

Моделируется задача сверхзвукового обтекания 15-градусного клина



Размеры:			
Угол:	$\alpha$	= 15	[deg]
Размеры расчетной области		6 x 2 x 1	[м x м x м]
Параметры вещества:			
Плотность:	$\rho_{inl}$	= 1.29	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость:	$\mu$	= 1.82 10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	$\lambda$	= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p$	= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]
Скорость звука:	$a$	= 331.6	[м с <sup>-1</sup> ]
Входные параметры:			
Давление на бесконечности:	$P$	= 101000	[Па]
Температура на бесконечности:	$T$	= 273	[К]
Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 600	[м с <sup>-1</sup> ]
Число Маха:	$M$	= 1.8	
Геометрия:	<b>Klin.WRL</b>		
Проект:	<b>Klin</b>		

#### 4.1.1.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- В свойствах **Вещества#0** задайте:

Агрегатное состояние		= Газ	
Молярная масса			
Значение		= 0.0289	[кг моль <sup>-1</sup> ]
Плотность		= Закон идеального газа	
Вязкость			
Значение		= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг (м с) <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность			
Значение		= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость			
Значение		= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	=	Конвекция и теплопроводность

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость			
X	=	600	[м с <sup>-1</sup> ]

#### 4.1.1.2 Граничные условия

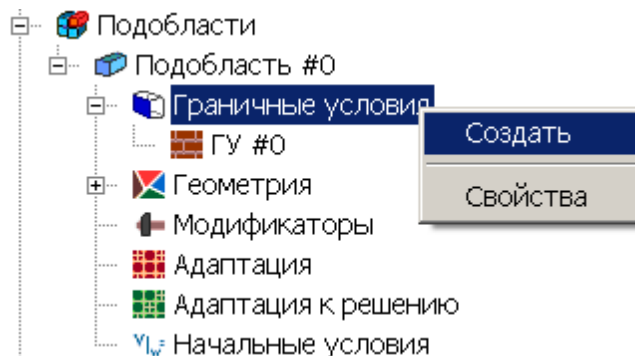
В окне свойств **Подобласти#0** задайте:

**Модель** = **Модель#0**


Если при импорте геометрии не было создано необходимое число граничных условий, необходимо определить граничные условия вручную. Определение граничных условий состоит из 3 этапов:

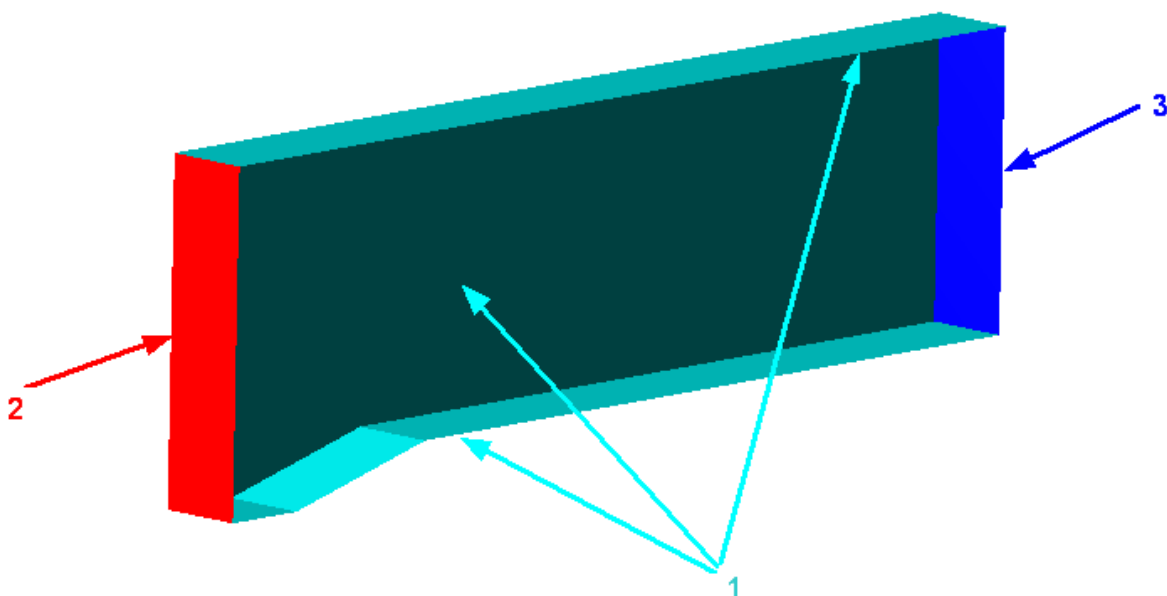
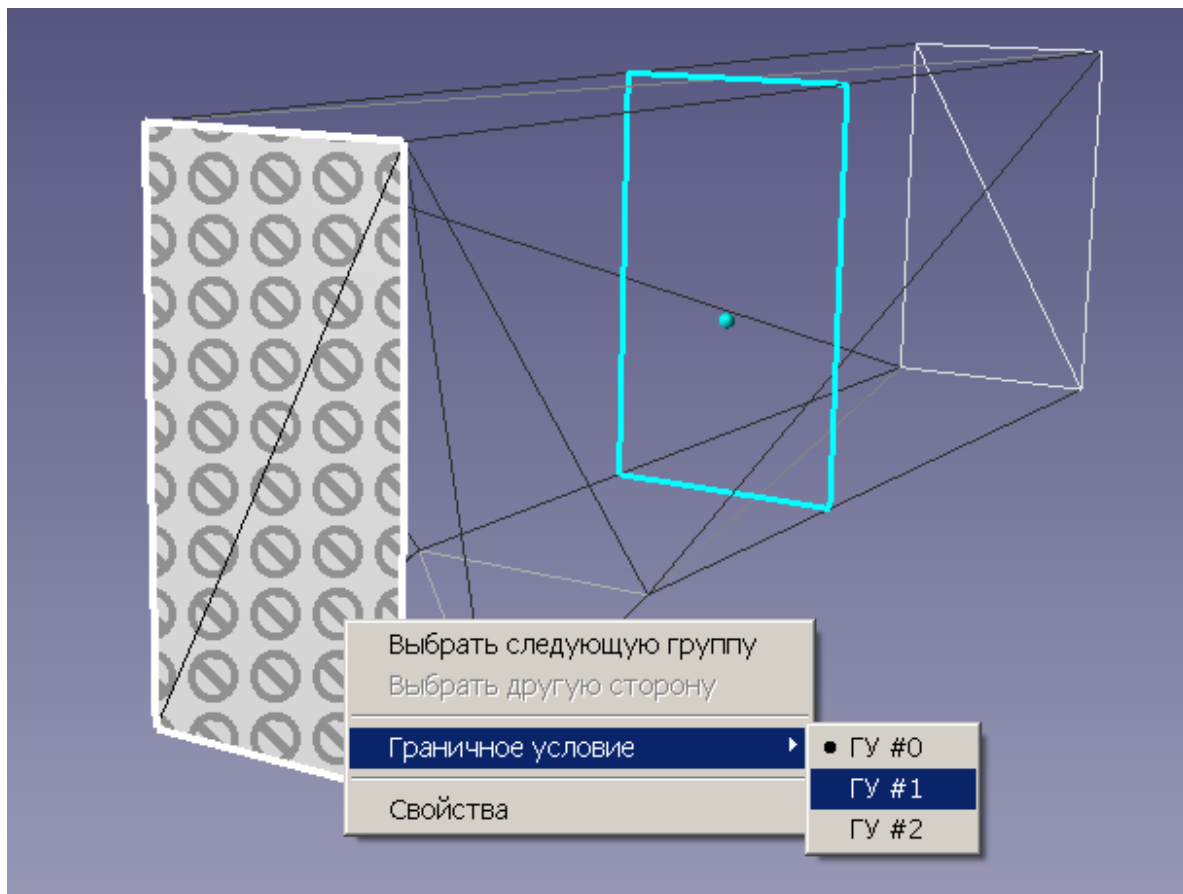
1. Создание граничных условий
2. Расстановка граничных условий
3. Задание параметров граничных условий

Для того, чтобы создать новое граничное условие, необходимо в контекстном меню папки **Гр.условия**, выбрать пункт **Создать**.



Для того, чтобы установить граничное условие поверхности:

- перейдите в режим выбора поверхности, нажав кнопку 
- выберите соответствующую поверхность в графическом окне
- вызовите контекстное меню правой кнопкой мыши
- выберите **Граничное условие** → **ГУ#i**



Граница 1  
 Тип  
 Переменные  
     Скорость  
     Температура

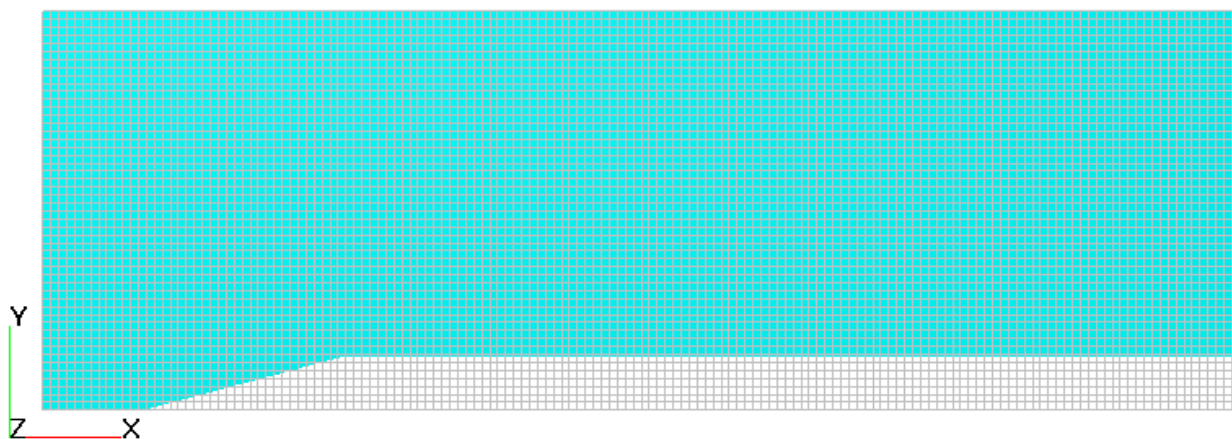
Симметрия  
 Проскальзывание  
 Нулевой поток

Граница 2  
 Тип  
 Переменные

Вход/Выход

Скорость	Скорость	Норм. скорость с давлением	
	Давление на бесконечности	600	[м с <sup>-1</sup> ]
Температура	Значение	0	[Па]
	Значение	0	[C]
Граница 3			
Тип		Свободный выход	
Переменные			
	Скорость	Давление	
	Давление	0	[Па]
	Температура	Нулевой поток	

#### 4.1.1.3 Начальная сетка



Задайте в окне **Начальной сетки**:

nX = 150  
 nY = 50  
 nZ = 1

#### 4.1.1.4 Параметры расчета

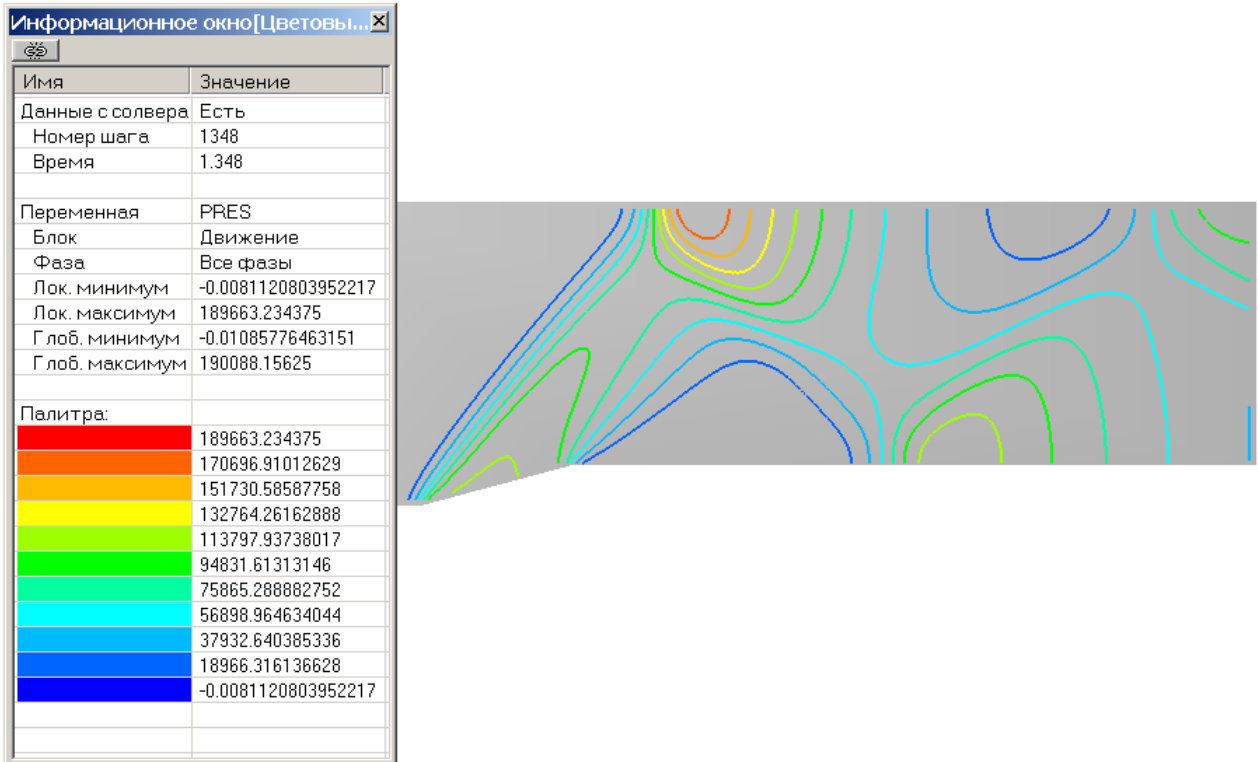
На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

Способ В секундах  
 Постоянный шаг =  $10^{-4}$  [с]

#### 4.1.1.5 Визуализация результатов

Постройте [Распределение давления](#) в плоскости течения.

### 4.1.1.5.1 Распределение давления

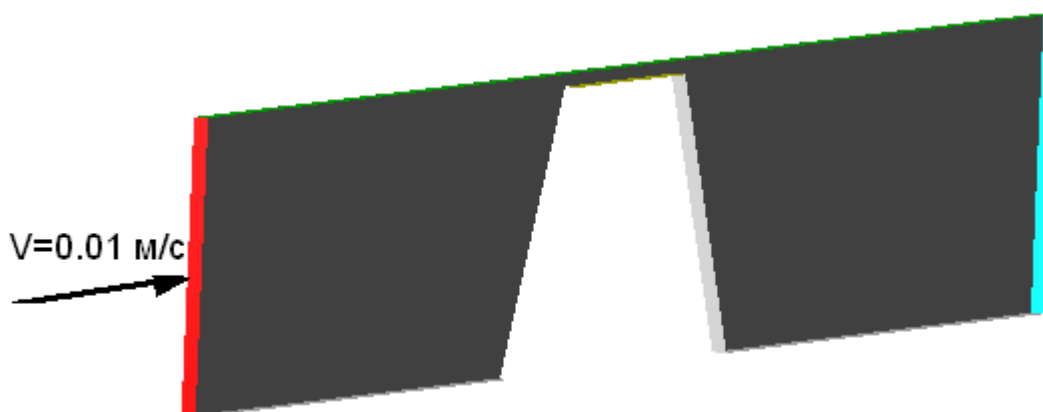


- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:
  - Объект  
Нормаль  
Z -1
- Создайте слой Цветовые контуры на Плоскости,
- В окне Свойства задайте:
  - Переменная  
Переменная Давление
  - Метод  
Изолинии

### 4.1.2 Течение в канале с использованием модели зазора

В данном примере рассматривается моделирование течения в узком двумерном канале с использованием модели зазора.

Модель зазора используется совместно с заданной моделью течения и предназначена для учета сопротивления, создаваемого узким каналом. Модель зазора позволяет избежать разрешения узкого канала сеткой. Модель зазора используется только в ячейках зазора. Ячейки зазора - ячейки, находящиеся между 2 зазорообразующими поверхностями. Поверхности являются зазорообразующими, если расстояние между ними не превышает заданную максимальную величину зазора. Ячейки зазора определяются **FlowVision HPC** автоматически.



Геометрия      **Gap\_Channel.WRL**  
 Проект         **Gap\_Channel**

#### 4.1.2.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	=	Жидкость	
Плотность			
Значение	=	1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость			
Значение	=	0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества** **Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
----------	---	-----------------------

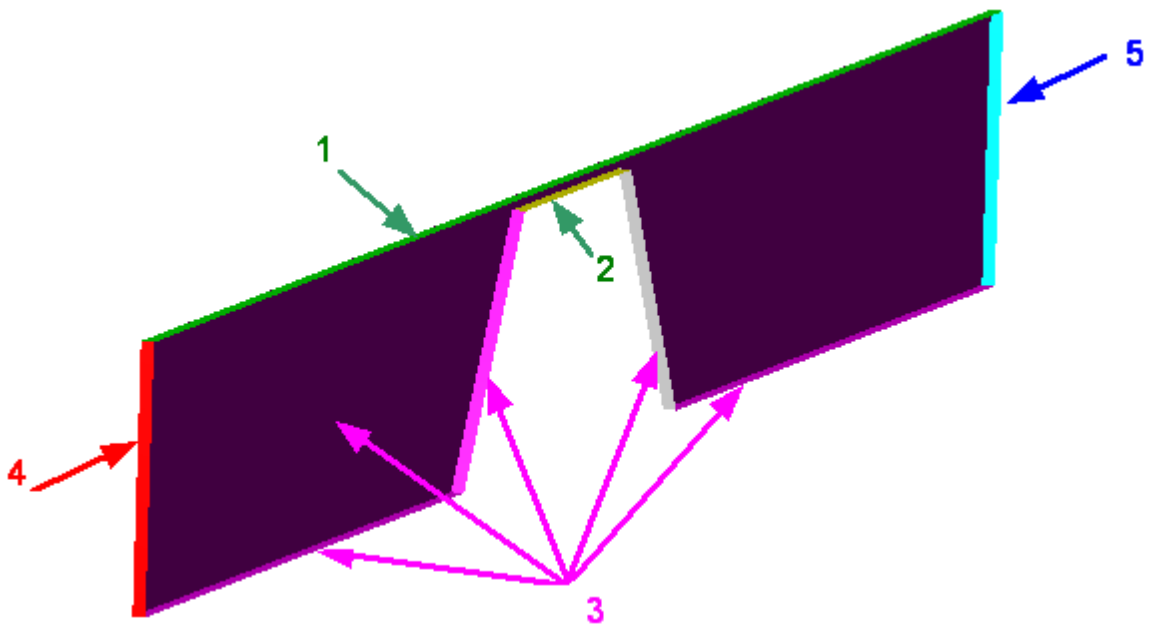
В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы** **Фазу#0**
- Задайте в окне свойств **Модели#0**:
 

Использовать модель зазора	=	Стандартная модель зазора
----------------------------	---	---------------------------


### 4.1.2.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Граница 1,2	Тип	= Стенка	
	Переменные		
	Скорость	= Прилипание	
Граница 3	Тип	= Симметрия	
	Переменные		
	Скорость	= Проскальзывание	
Граница 4	Тип	= Вход/Выход	
	Переменные		
	Скорость	= Нормальная массовая скорость	
	Массовая скорость	= 10	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
Граница 5	Тип	= Свободный выход	
	Переменные		
	Скорость	= Давление	
	Значение	= 0	[Па]

### 4.1.2.3 Начальная сетка

В чтобы лучше разрешить поток в районе канала, в данном примере необходимо задать двумерную неравномерную расчетную сетку, сгущенную ближе к каналу.  
 Для задания неравномерной расчетной сетки во **FlowVision HPC** предусмотрен **Редактор расчетной сетки**. Генератор сетки вызывается кнопкой  из свойств каталога **Начальная сетка** в дереве **Постпроцессора**.

В **Редакторе расчетной сетки** задайте параметры в следующем порядке:

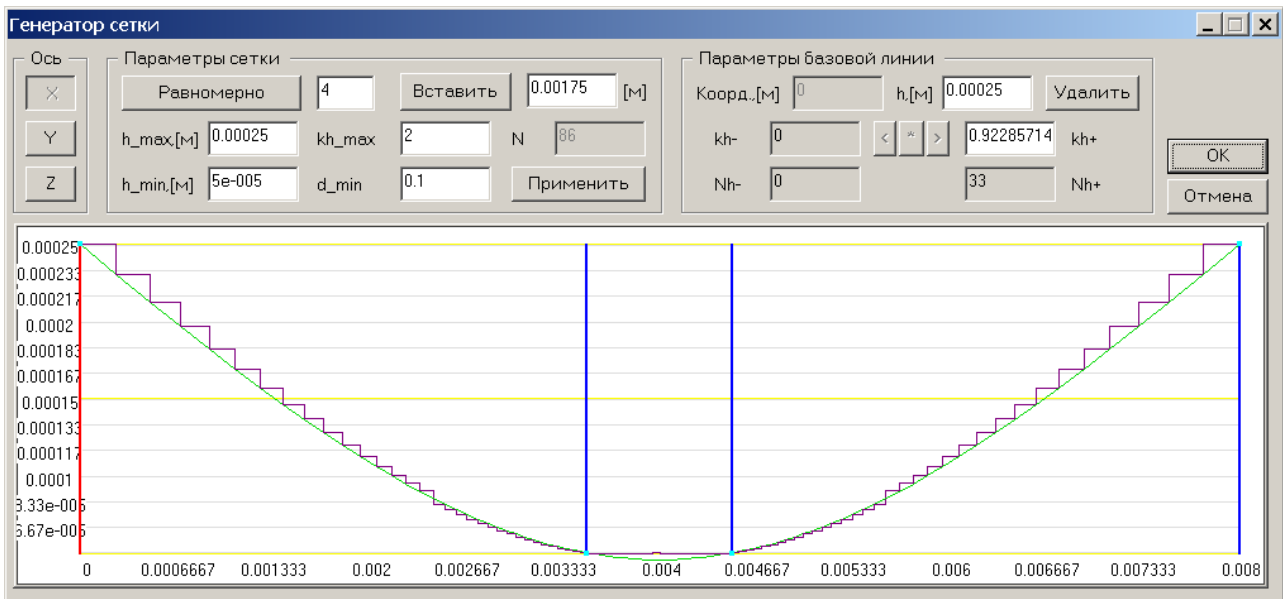
ОХ

Параметры сетки:

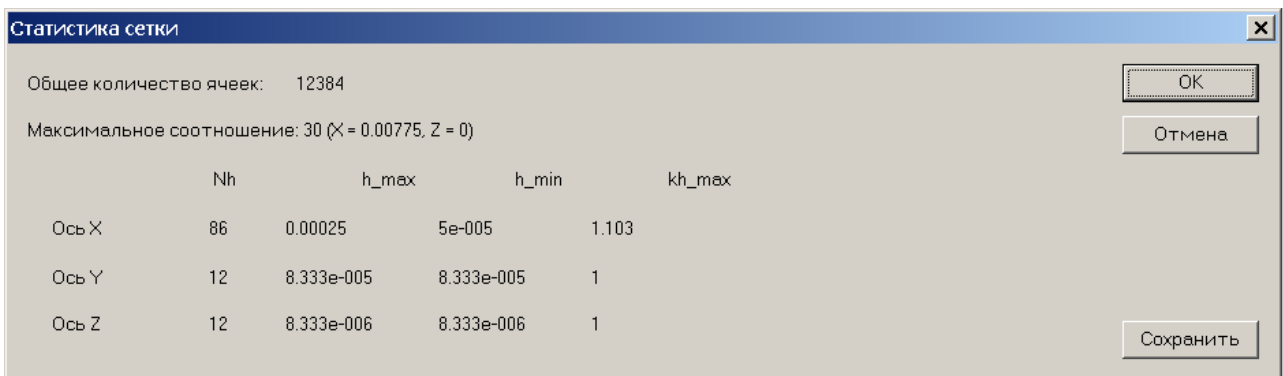
kh\_max = 2  
 d\_min = 0.1 [М]  
 h\_max = 0.00025 [М]



$h_{min} = 0.00005$  [м]  
 Вставьте базовые линии с координатами  
 $x1 = 0.0035$  [м]  
 $x2 = 0.0045$  [м]  
 Параметры базовой линии  
 Коорд. = 0 [м]  
 $h = 0.00025$  [м]  
 Коорд. = 0.0035 [м]  
 $h = 0.00005$  [м]  
 Коорд. = 0.0045 [м]  
 $h = 0.00005$  [м]  
 Коорд. = 0.008 [м]  
 $h = 0.00025$  [м]



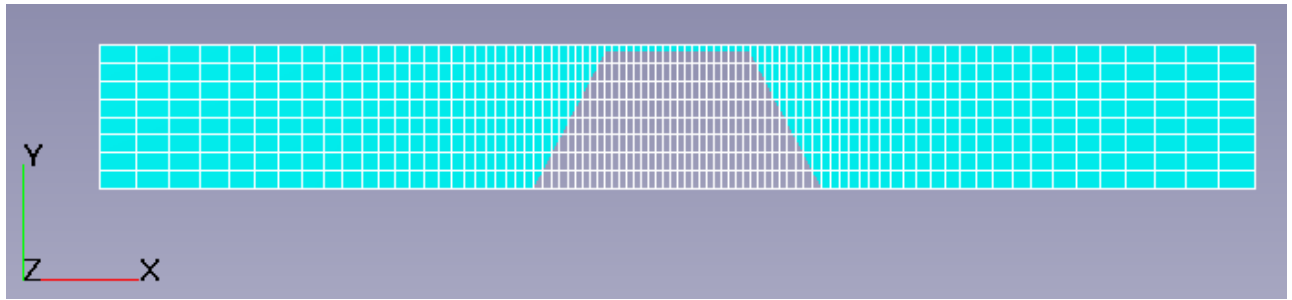
После введения всех параметров нужно задать кнопку **ОК**. После этого появится окно **Статистика сетки**, в котором будут отображены параметры созданной сетки



При запуске **Генератора сетки** по OY и OZ по умолчанию создается равномерная сетка из 12 линий. Поскольку в данном случае моделируется двумерная задача, то после выхода из **Генератора сетки** необходимо в свойствах **Начальной сетки** задать:

$nY = 8$   
 $nZ = 1$

После создания **Начальной сетки** в **Постпроцессоре** будет создан слой **Начальная Сетка** и в **Графическом окне** появится ее изображение:



#### 4.1.2.4 Параметры расчета

Задайте на закладке **Управление** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

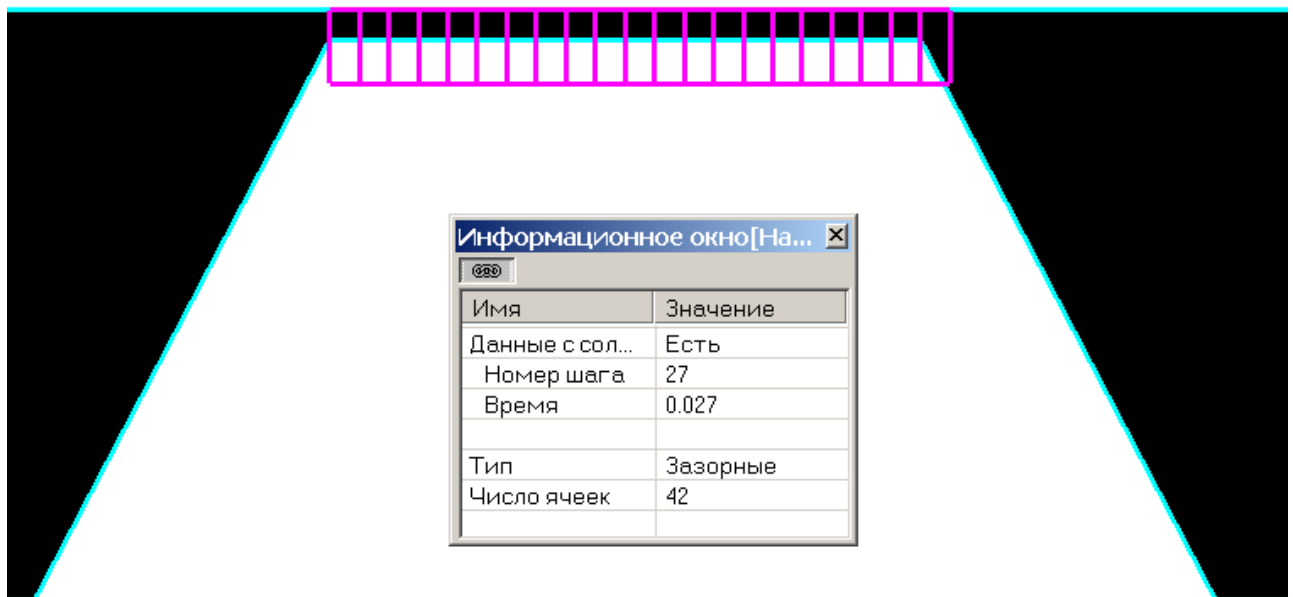
Способ = В секундах  
 Постоянный шаг = 0.001 [с]

#### 4.1.2.5 Визуализация результатов

Постройте:

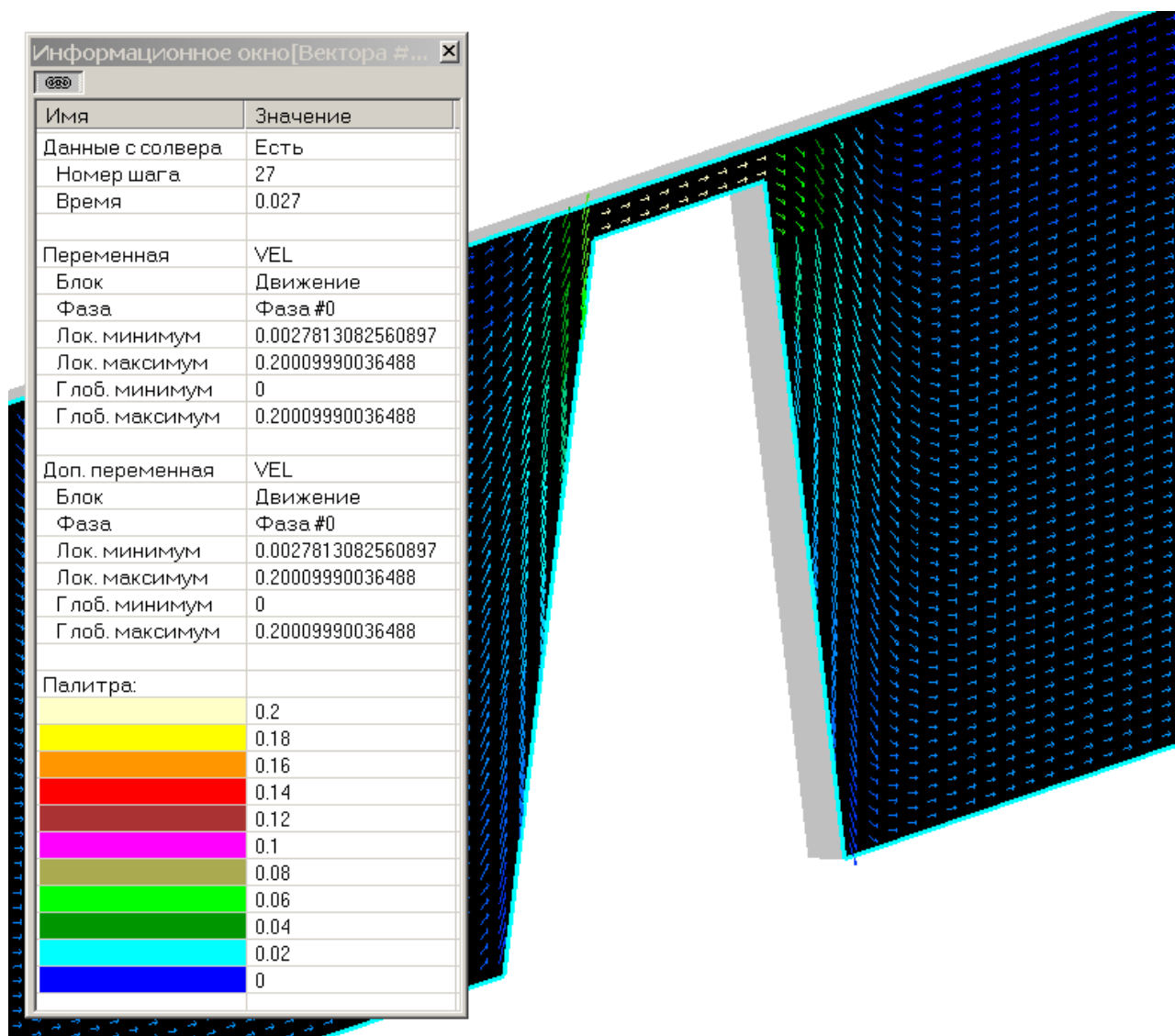
1. [Распределение ячеек зазора](#)
2. [Распределение скоростей](#) в плоскости течения

##### 4.1.2.5.1 Распределение ячеек зазора



- Создайте слой **Набор ячеек**
- Задайте в окне слоя **Набор ячеек**:  
 Тип    Зазорные

## 4.1.2.5.2 Распределение скоростей



- Задайте в окне **Свойств Плоскости#0**:  
Объект

Нормаль  
Z 1

- Создайте слой **Векторы** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Векторов** задайте:

Переменная  
Переменная Скорость  
Раскраска  
Переменная  
Переменная Скорость

## 4.2 Теплоперенос

Во FlowVision HPC реализована конвективно-диффузионная модель теплопереноса.

### 4.2.1 Теплопроводность в твердом теле

Рассмотрим моделирование теплопереноса в твердом теле за счет теплопроводности.



Параметры задачи:

Размеры:

Длина бруска  $l = 1$  [м]

Параметры вещества

Плотность  $\rho = 7900$  [кг м<sup>-3</sup>]

Теплопроводность  $\lambda = 46$  [Вт (м К)<sup>-1</sup>]

Теплоемкость  $c_p = 457$  [Дж (кг К)<sup>-1</sup>]

Входные параметры:

Температура горячей стенки  $T_h = 100$  [С]

Тепловой поток с холодной стенки  $q_c = -4\ 600$  [Вт м<sup>-2</sup>]

Геометрия **Conduct.STL**

Проект **Conduct**

#### 4.2.1.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние = Твердое тело

Плотность  
Значение = 7900 [кг м<sup>-3</sup>]

Теплопроводность  
Значение = 46 [Вт (м К)<sup>-1</sup>]

Теплоемкость  
Значение = 457 [Дж (кг К)<sup>-1</sup>]

В папке **Фазы**:

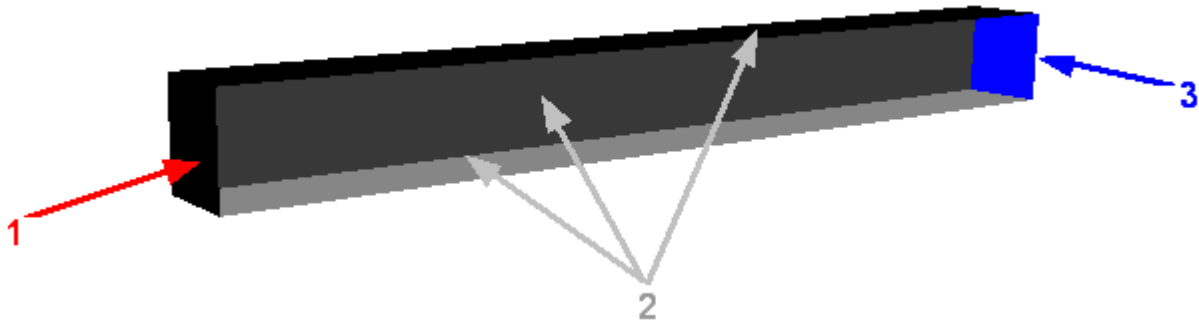
- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В папку **Вещества Фазы#0** загрузите **Вещество#0**.
- В окне свойств папки **Физические процессы** задайте:  
Теплоперенос = Конвекция и теплопроводность

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В папку **Фазы Модели#0** загрузите **Фазу#0**

### 4.2.1.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Стенка

Переменные

Температура = Значение  
 Значение = 100 [C]

Граница 2

Тип = Стенка

Переменные

Температура = Нулевой поток

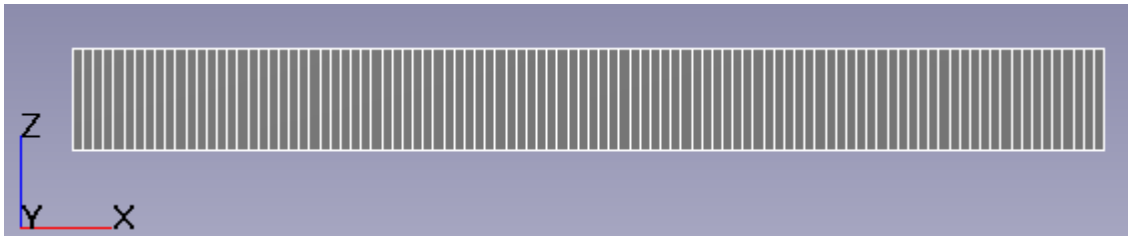
Граница 3

Тип = Стенка

Переменные

Температура = Поток  
 Значение = -4 600 [Вт м<sup>-2</sup>]

### 4.2.1.3 Начальная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 100

nY = 1

nZ = 1

### 4.2.1.4 Параметры расчета

На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

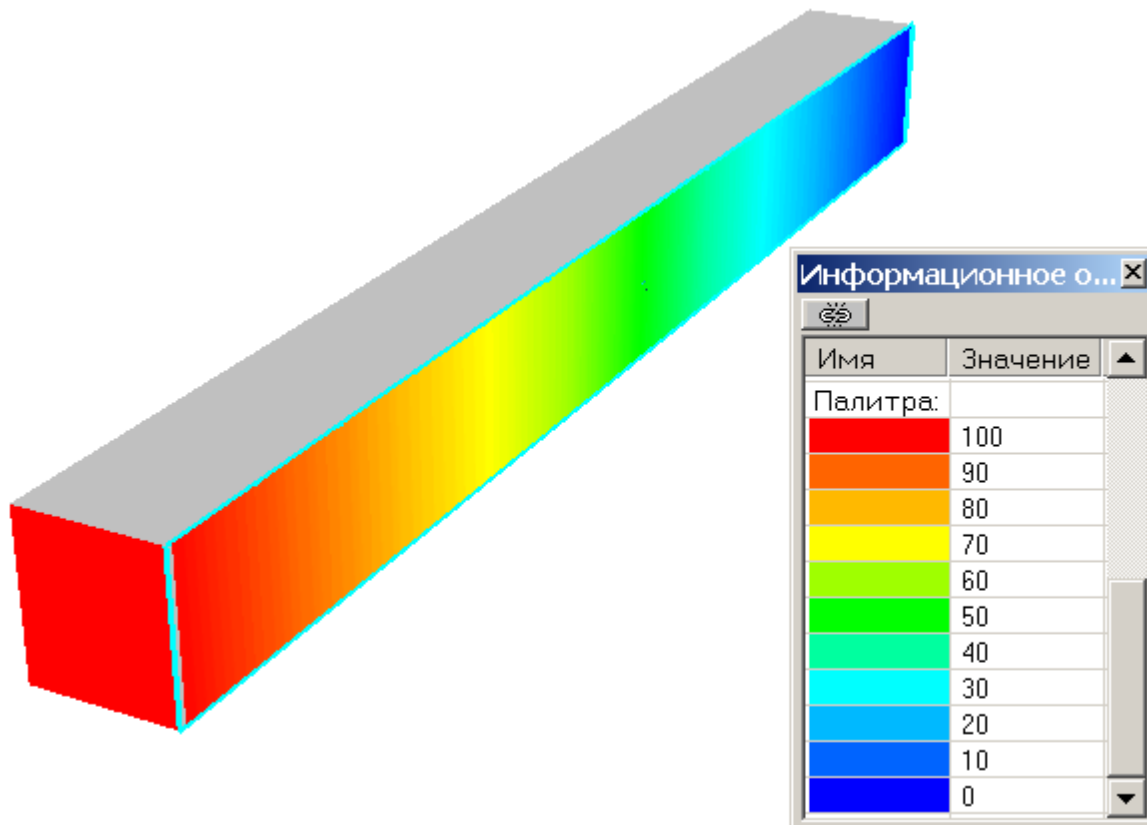
Способ = в секундах

Постоянный шаг = 10000 [с]

### 4.2.1.5 Визуализация результатов

Визуализируйте [Распределение температуры](#) по длине бруска

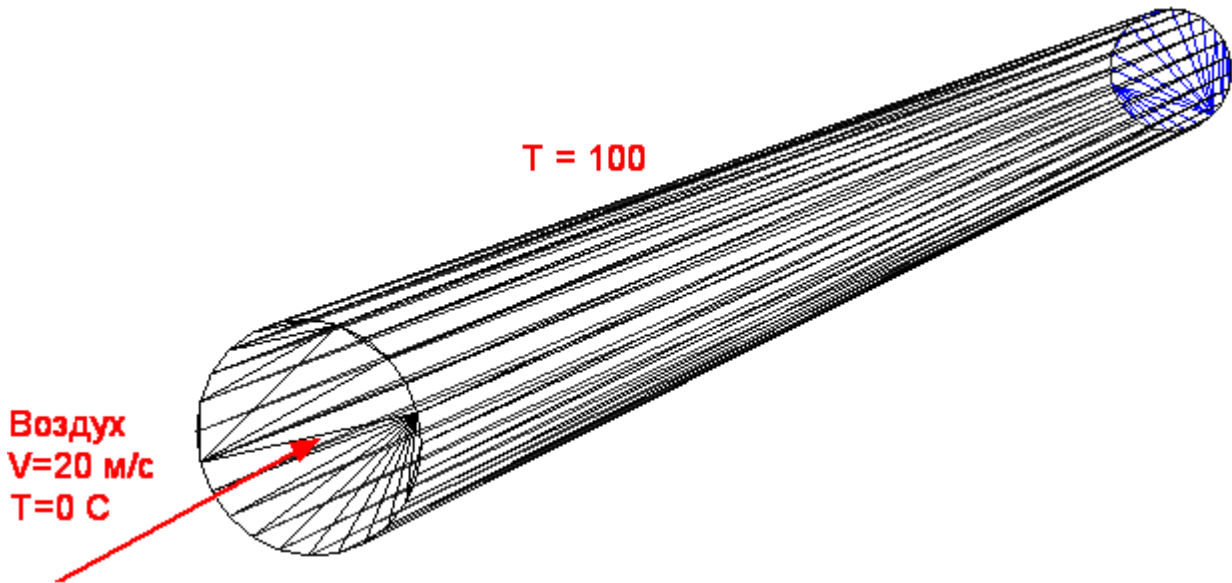
## 4.2.1.5.1 Распределение температуры



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
Объект  
Нормаль  
Z 1
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
Переменная  
Переменная Температура

### 4.2.2 Вынужденная конвекция

Рассмотрим моделирование турбулентного течения холодного воздуха в трубе с нагретыми стенками.



Размеры:

Длина трубы	L	= 2	[м]
Диаметр трубы	D	= 0.1	[м]

Входные параметры

Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 20	[м с <sup>-1</sup> ]
Температура стенок	T=	= 100	[С]

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	$\lambda$	= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p$	= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{inl} D \rho}{\mu} = \frac{20 \cdot 0.1 \cdot 1}{1.82 \cdot 10^{-5}} \approx 10^5$$

Геометрия:

**Tube.WRL**

Проект:

**ForceConvection**

#### 4.2.2.1 Физическая модель

В папке **Вещества**

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность		
Значение	= 0.026	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость		
Значение	= 1009	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	=	Конвекция и теплопроводность
Турбулентность	=	Стандартная к-е модель

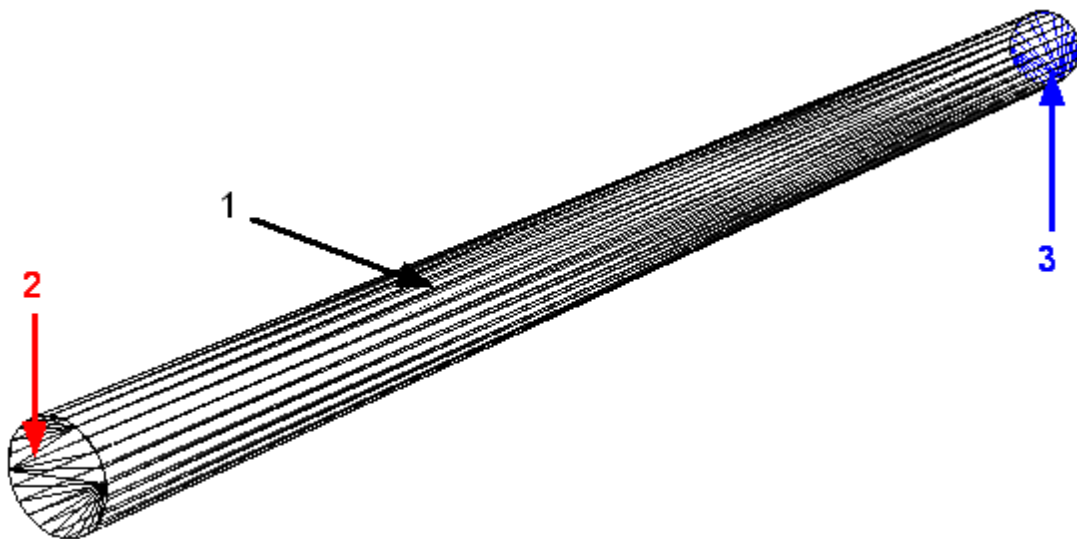
В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость			
X	=	1	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	=	0	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	=	0	[м с <sup>-1</sup> ]

### 4.2.2.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Стенка

Переменные

- |                |   |                                    |     |
|----------------|---|------------------------------------|-----|
| Скорость       | = | Логарифмический закон              |     |
| Температура    | = | Значение                           |     |
| Значение       | = | 100                                | [С] |
| ТурбЭнергия    | = | Значение в ячейке рядом со стенкой |     |
| ТурбДиссипация | = | Значение в ячейке рядом со стенкой |     |

Граница 2

Тип = Вход/Выход

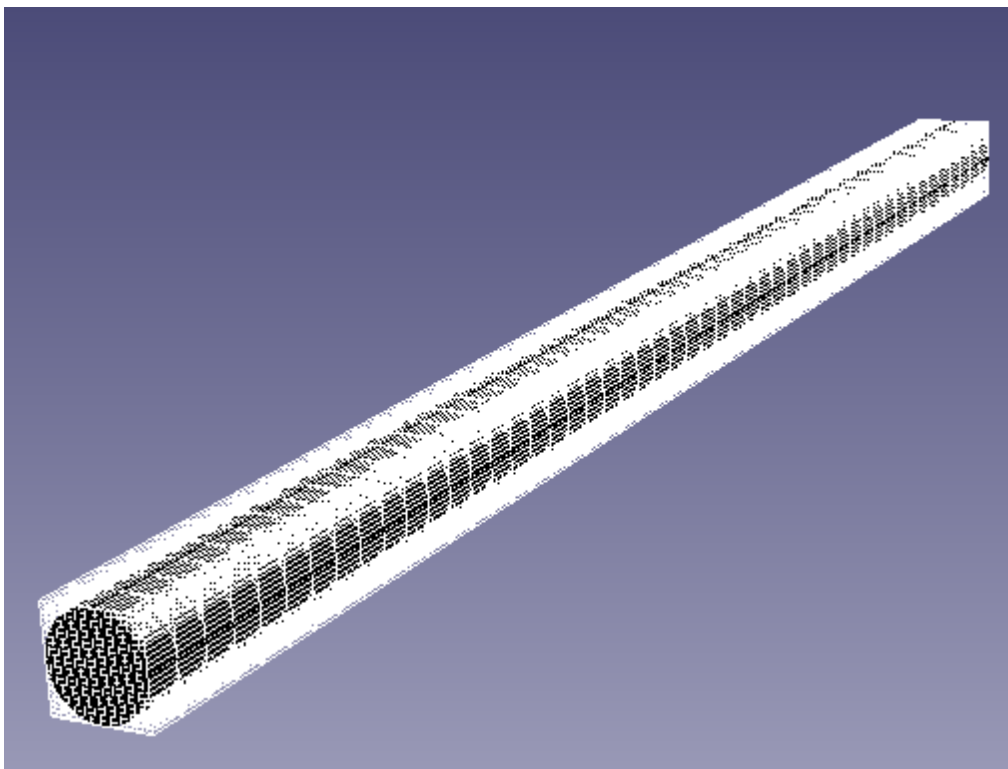
Переменные

- |                |   |                              |                                       |
|----------------|---|------------------------------|---------------------------------------|
| Скорость       | = | Нормальная массовая скорость |                                       |
| Значение       | = | 1                            | [кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ] |
| Температура    | = | Значение                     |                                       |
| Значение       | = | 0                            | [С]                                   |
| ТурбЭнергия    | = | Пульсации                    |                                       |
| Значение       | = | 0                            |                                       |
| ТурбДиссипация | = | Масштаб турбулентности       |                                       |
| Значение       | = | 0                            | [м]                                   |



Граница 3			
Тип		= Свободный выход	
Переменные			
Скорость		= Давление	
Значение		= 0	[Па]
Температура		= Нулевой поток	
ТурбЭнергия		= Нулевой поток	
ТурбДиссипация		= Нулевой поток	

#### 4.2.2.3 Начальная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX	= 20
nY	= 20
nZ	= 50

#### 4.2.2.4 Параметры расчета

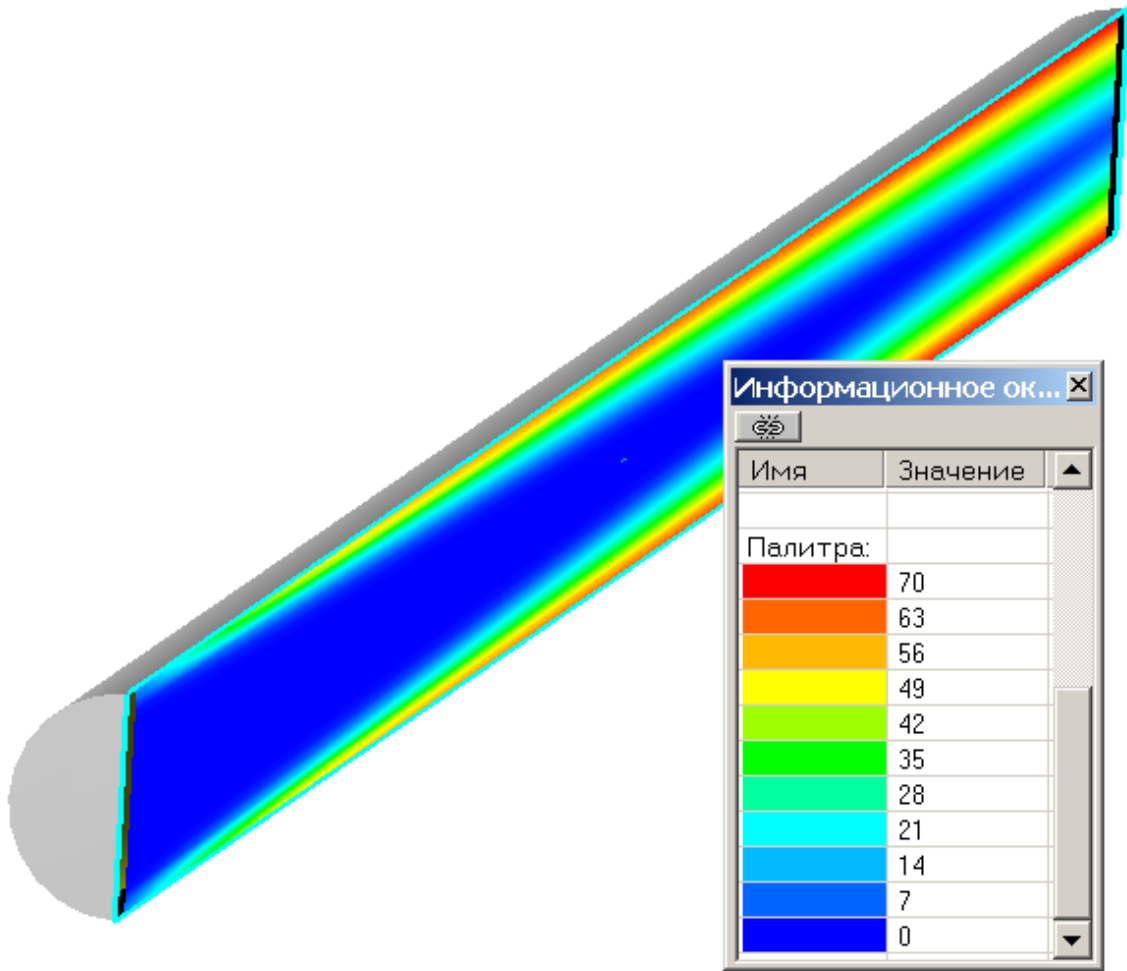
На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

Способ	= в секундах	
Постоянный шаг	= 0.2	[с]

#### 4.2.2.5 Визуализация результатов

Визуализируйте [распределение температуры](#) в плоскости течения

### 4.2.2.5.1 Распределение температуры



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
 Объект

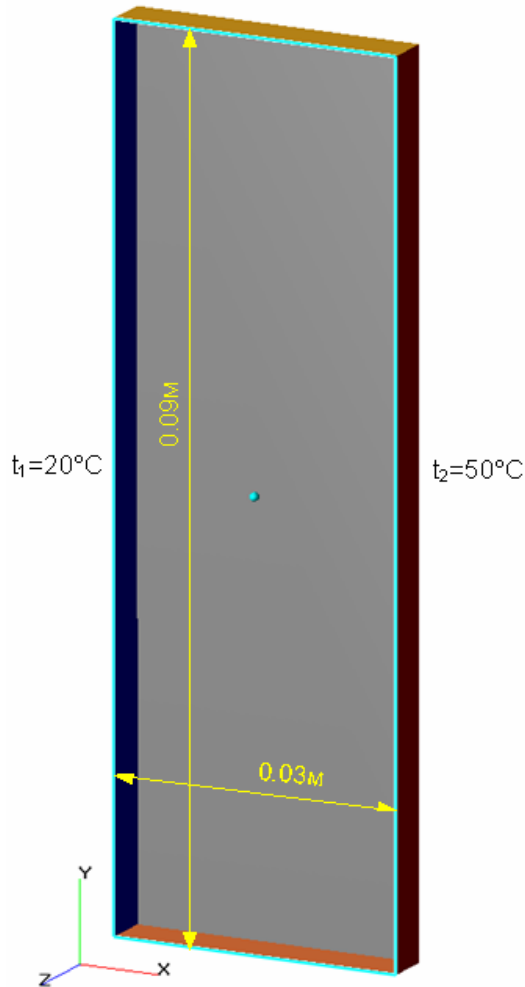
Нормаль  
 Z 1

- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:

Переменная  
 Переменная Температура

### 4.2.3 Естественная конвекция

В этом примере рассматривается моделирование ламинарного течения воздуха в прямоугольной полости, вертикальные стенки которой поддерживаются при разных температурах (одна холодная, другая горячая), а горизонтальные стенки теплоизолированы. Под воздействием выталкивающей силы, обусловленной разностью температур, возникает двумерное конвективное движение.



Параметры задачи:

Размеры области:

axb = 0.03x0.09 [мхм]

Входные параметры

Температура горячей стенки:

T = 50 [C]

Температура холодной стенки:

T = 20 [C]

Параметры жидкости:

Молярная масса

M = 0.0289 [кг моль<sup>-3</sup>]

Вязкость

$\mu = 1.82 \cdot 10^{-5}$  [кг м<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>]

Теплопроводность

$\lambda = 0.026$  [Вт (м К)<sup>-1</sup>]

Теплоемкость

$c_p = 1009$  [Дж (кг К)<sup>-1</sup>]

Число Прандтля:

Pr=0.71

Число Рейля:

Ra=10<sup>5</sup>

Геометрия **Natur\_Convect.WRL**

Проект **Natur\_Convect**

### 4.2.3.1 Физическая модель

В окне **Общих установок** задайте следующие параметры:

Опорные величины

Температура = 293 [K]

Вектор гравитации

X = 0 [м с<sup>-2</sup>]

Y = -9.8 [м с<sup>-2</sup>]

Z = 0 [м с<sup>-2</sup>]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Газ	
Свойства		
Молярная масса	= Константа	
Значение	= 0.0289	[кг Моль <sup>-1</sup> ]
Плотность	= Закон идеального газа	
Вязкость	= Константа	
Значение	= $1.82 \cdot 10^{-5}$	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	= Константа	
Значение	= 0.026	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	= Константа	
Значение	= 1009	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
  - Движение = Ньютоновская жидкость
  - Теплоперенос = Конвекция и теплопроводность

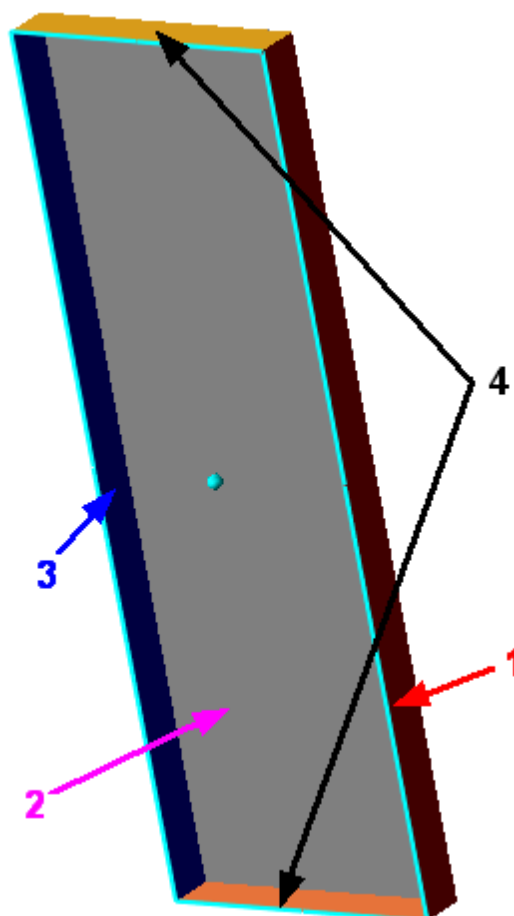
В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**

#### 4.2.3.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:

Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Прилипание

Температура = Значение

Значение = 30 [град]

Граница 2

Тип = Симметрия

Переменные

Скорость = Проскальзывание

Температура = Нулевой поток

Граница 3

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Прилипание

Температура = Значение

Значение = 0 [град]

Граница 4

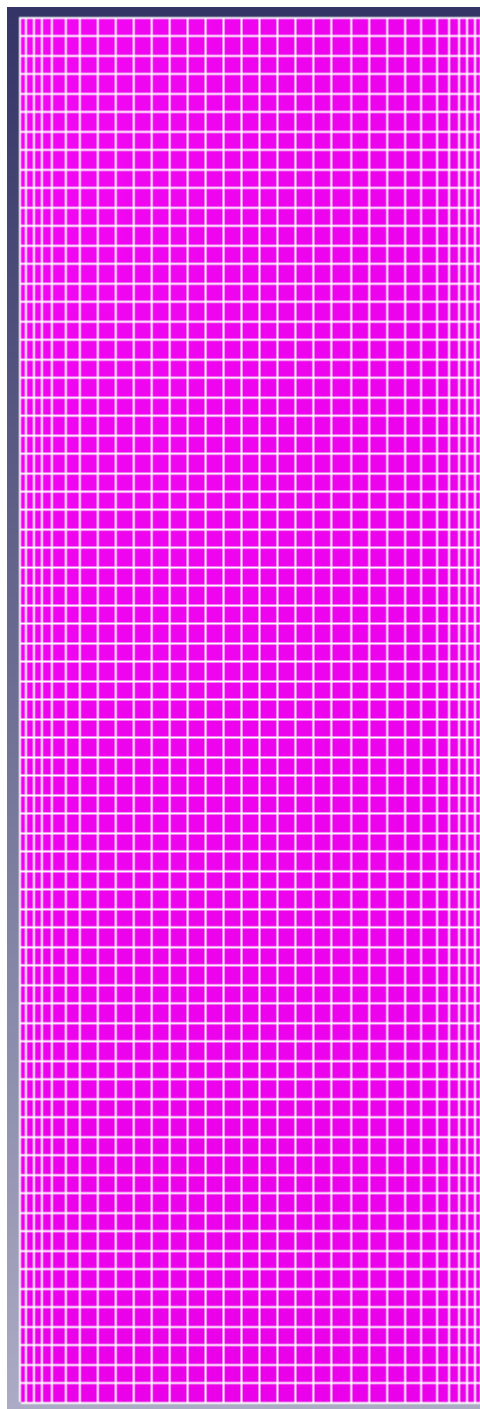
Тип = Стенка


Переменные

Скорость = Прилипание

Температура = Нулевой поток

## 4.2.3.3 Начальная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**  
Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

ОХ

Параметры сетки:

kh_max	= 2	
d_min	= 0.1	[м]
h_max	= 0.00125	[м]
h_min	= 0.0004	[м]

Вставьте базовые линии с координатами

x1	= 0.005	[м]
x2	= 0.025	[м]

Параметры базовой линии

Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.0004	[м]
Коорд.	= 0.005	[м]

h	= 0.00125	[м]
Коорд.	= 0.025	[м]
h	= 0.00125	[м]
Коорд.	= 0.03	[м]
h	= 0.0004	[м]

Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nY = 73  
nZ = 1

#### 4.2.3.4 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

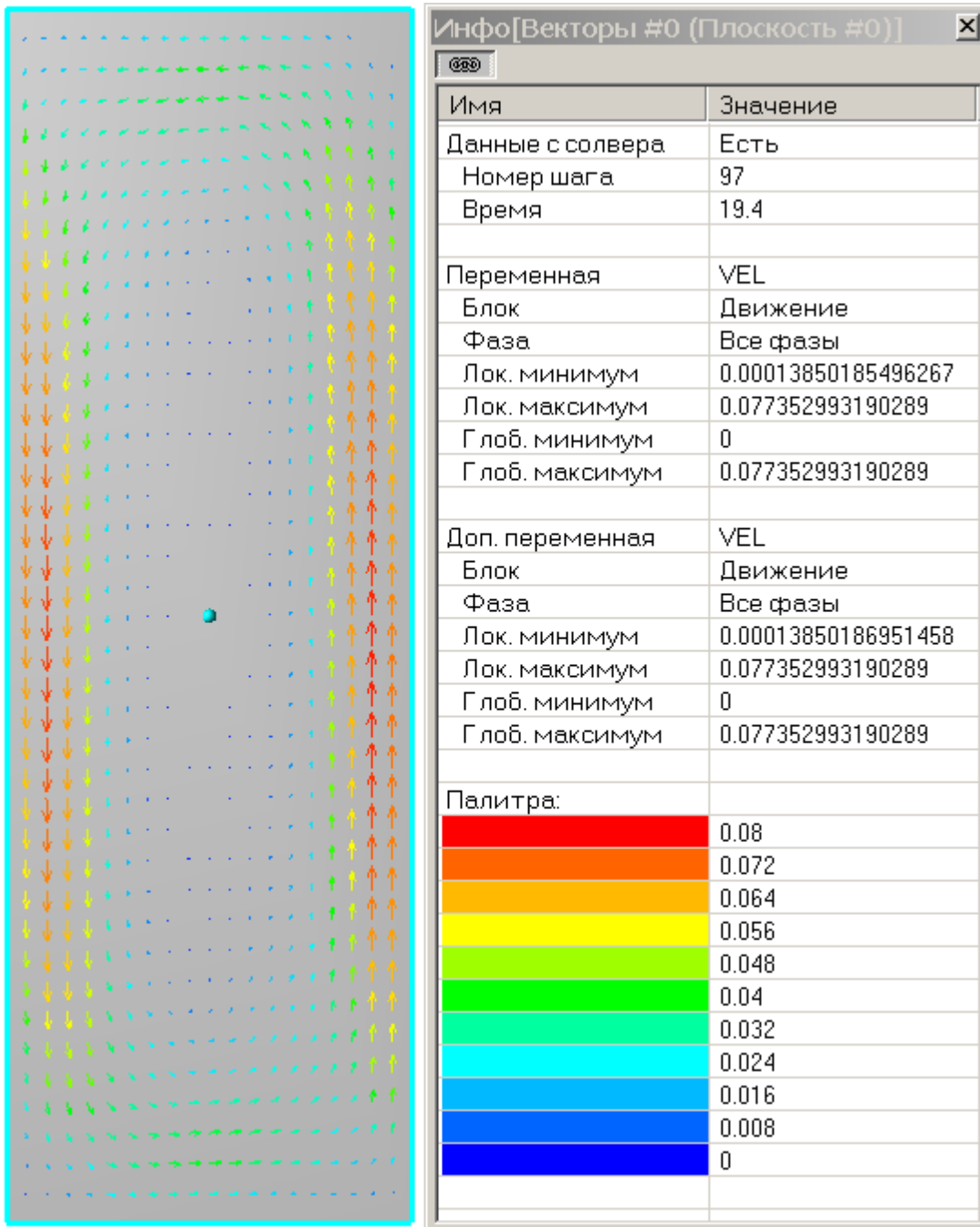
Способ = В секундах  
Постоянный шаг = 0.2 [с]

#### 4.2.3.5 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты:

1. [Распределение скоростей](#) в плоскости течения
2. [Распределение температуры](#) в плоскости течения

### 4.2.3.5.1 Распределение скоростей



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
Объект

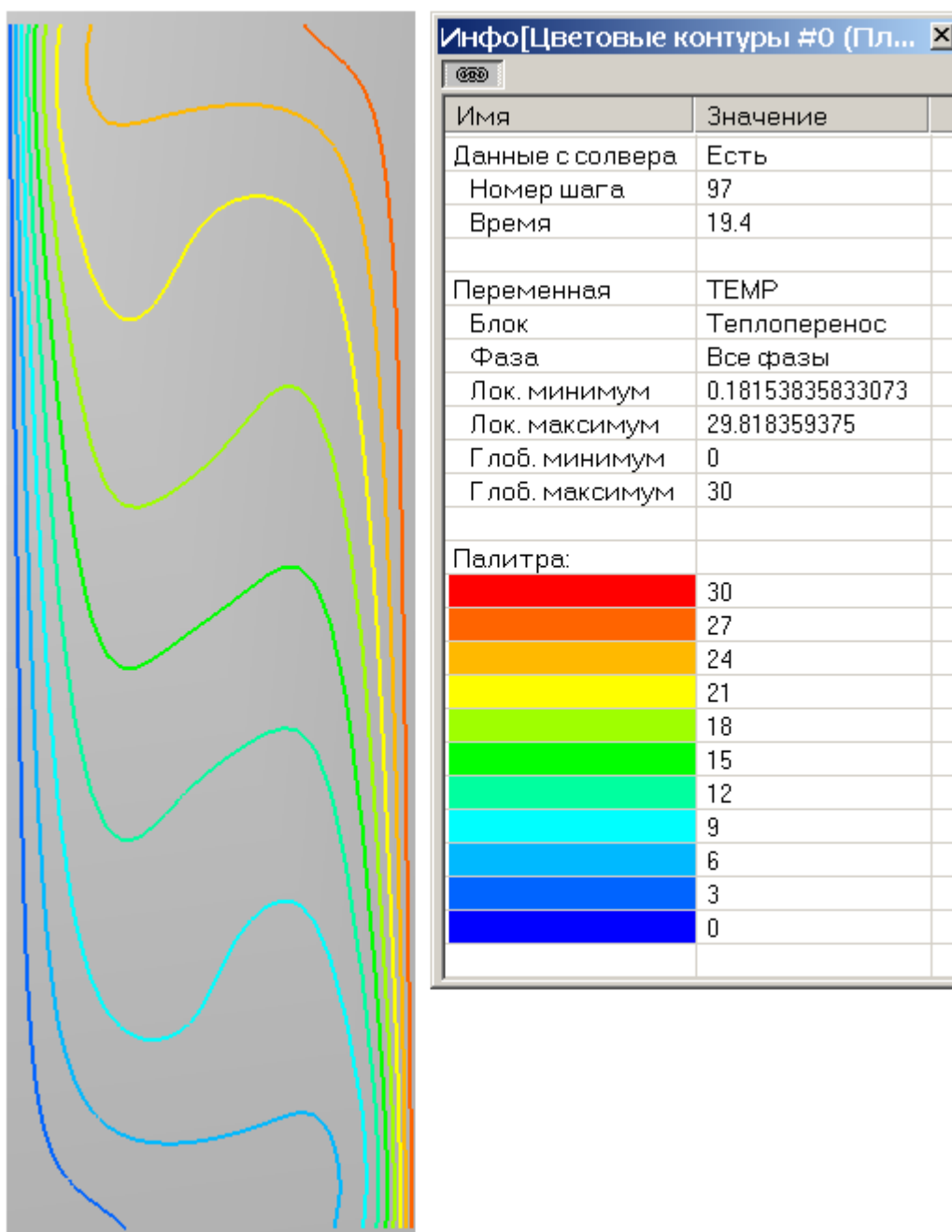
Нормаль  
Z 1

- Создайте слой **Векторы** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Векторов** задайте:

Переменная  
Переменная Скорость  
Раскраска  
Переменная  
Переменная Скорость



## 4.2.3.5.2 Распределение температуры



- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:
 

Переменная	Переменная	Температура
Метод		Изолинии

## 4.3 Турбулентность

Во **FlowVision HPC** реализованы следующие модели турбулентности:

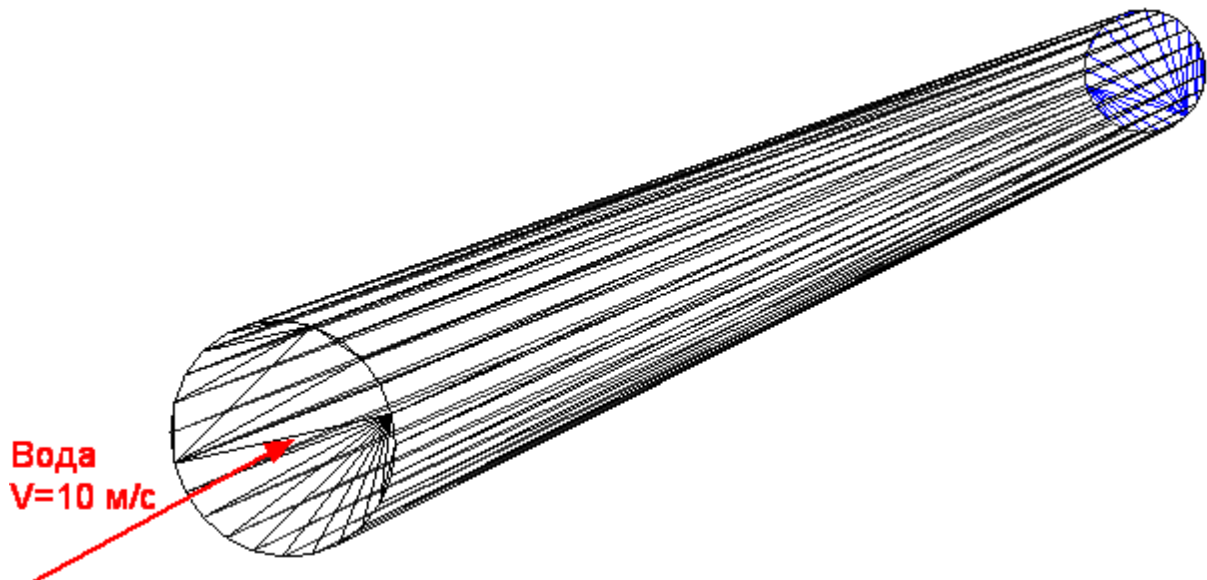
1. [Стандартная к-е модель](#)
2. [Низкорейнольдсовая к-е модель](#)
3. [Квадратичная к-е модель](#)
4. [SST модель](#)
5. [SA модель](#)

### 4.3.1 Турбулентное течение в трубе

Стандартная к-е модель турбулентности предназначена для моделирования течений с значениями  $30 < y^+ < 300$  и малыми градиентами давления.

Рассмотрим применение к-е модели турбулентности на примере моделирования турбулентного течения в трубе.

Турбулентный режим течения характеризуется числом Рейнольдса  $Re > 10^4$ .



Размеры:

Длина трубы	L	= 2	[м]
Диаметр трубы	D	= 0.1	[м]

Входные параметры

Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 10	[м с <sup>-1</sup> ]
--------------------	-----------	------	----------------------

Параметры вещества:

Плотность	$\rho$	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{inl} D \rho}{\mu} = \frac{10 \cdot 0.1 \cdot 1000}{0.001} = 10^6$$

Геометрия:

**Tube.WRL**

Проект:

**Turb\_tube**

### 4.3.1.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	=	Жидкость
Плотность		
Значение	=	1000 [м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость		
Значение	=	0.001 [кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Турбулентность	=	Стандартная к-е модель

В папке **Модели**:

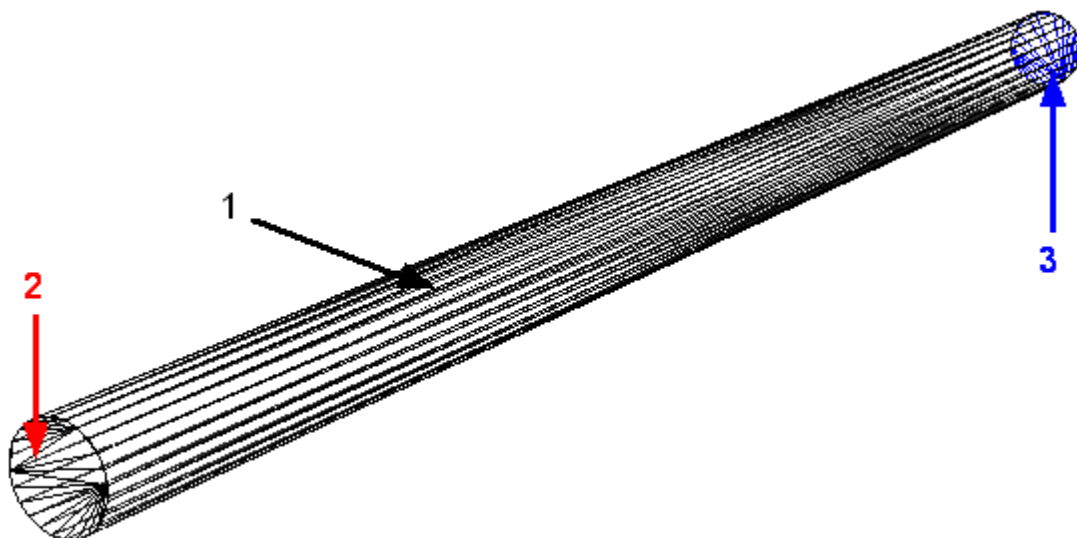
- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость		
Z	=	1 [м с <sup>-1</sup> ]

### 4.3.1.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:

**Модель** = **Модель#0**



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

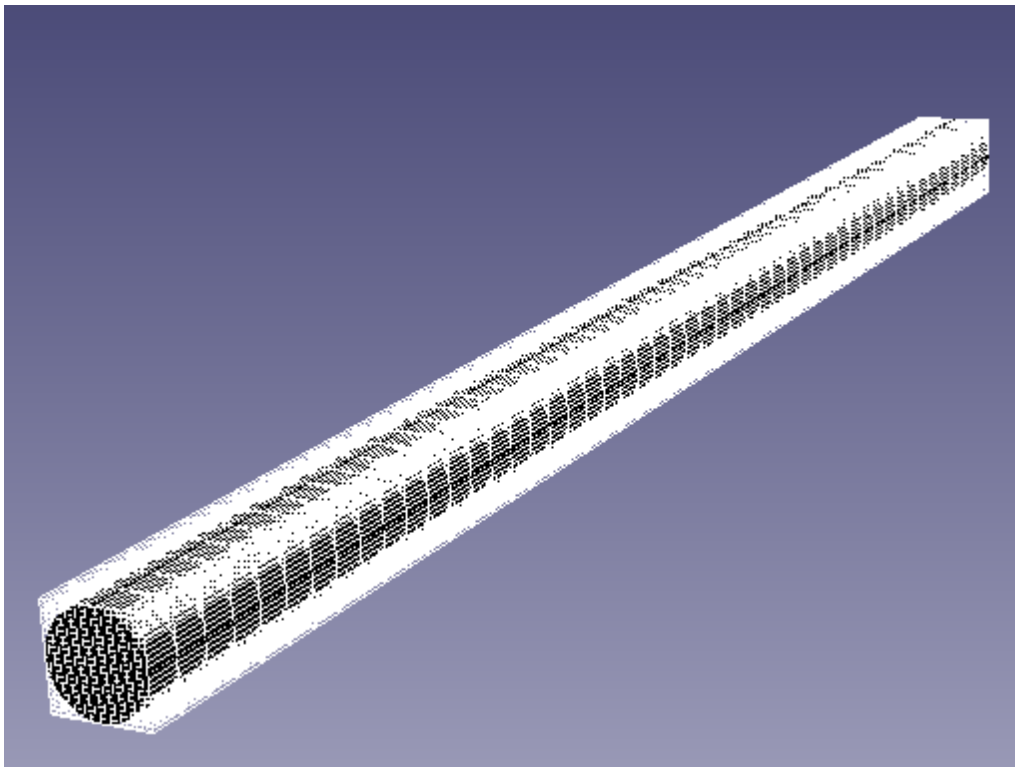
Тип	=	Стенка
Переменные		
Скорость	=	Логарифмический закон
ТурбЭнергия	=	Значение в ячейке рядом со стенкой
ТурбДиссипация	=	Значение в ячейке рядом со стенкой

Граница 2

Тип	=	Вход/Выход
Переменные		

Скорость	= Нормальная массовая скорость	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
Массовая скорость	= 1000	
ТурбЭнергия	= Пульсации	
Значение	= 0	
ТурбДиссипация	= Масштаб турбулентности	
Значение	= 0	[м]
Граница 3		
Тип	= Свободный выход	
Переменные		
Скорость	= Давление	
Значение	= 0	[Па]
ТурбЭнергия	= Нулевой поток	
ТурбДиссипация	= Нулевой поток	

#### 4.3.1.3 Начальная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 20

nY = 20

nZ = 50

#### 4.3.1.4 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ = В секундах

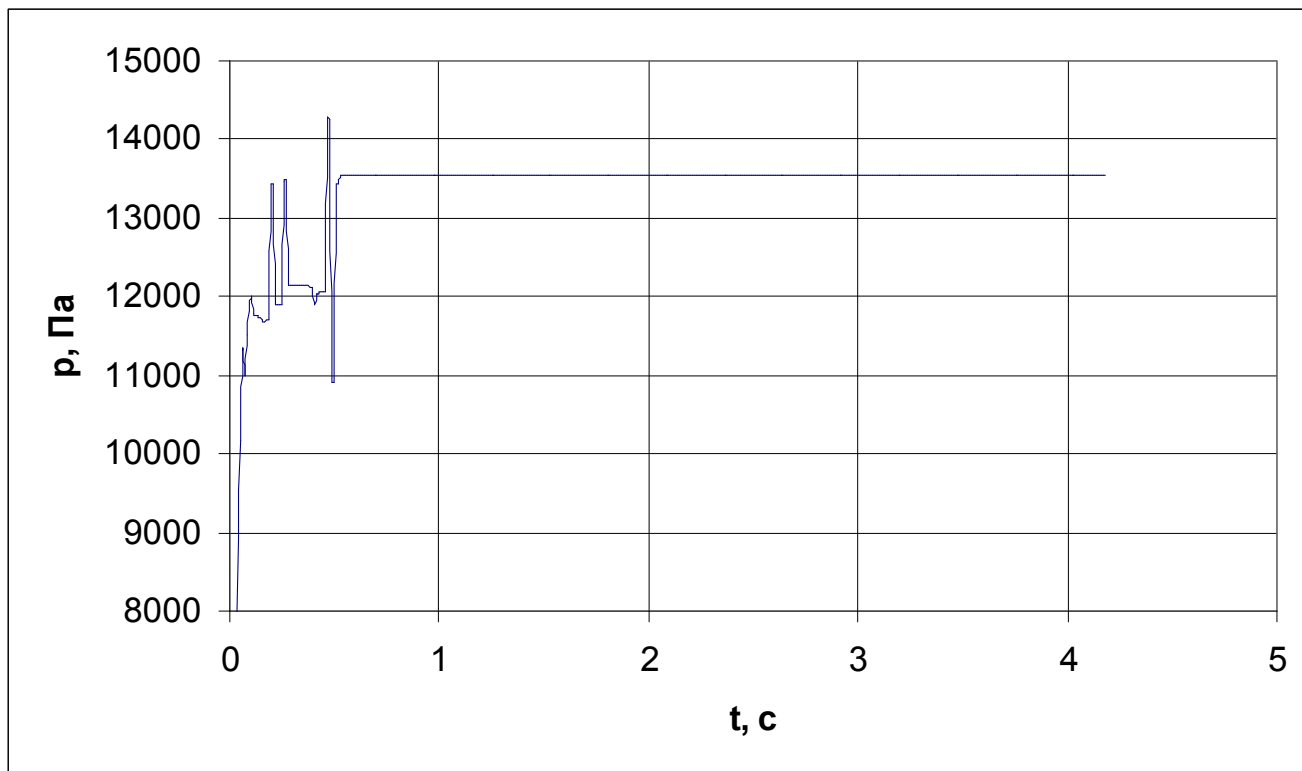
Постоянный шаг = 0.01 [с]

#### 4.3.1.5 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты:

1. [Динамику давления на входе](#)
2. [Распределение турбулентной вязкости](#) в плоскости течения
3. [Распределение скорости](#) в плоскости течения
4. [Распределение давления](#) вдоль оси трубы

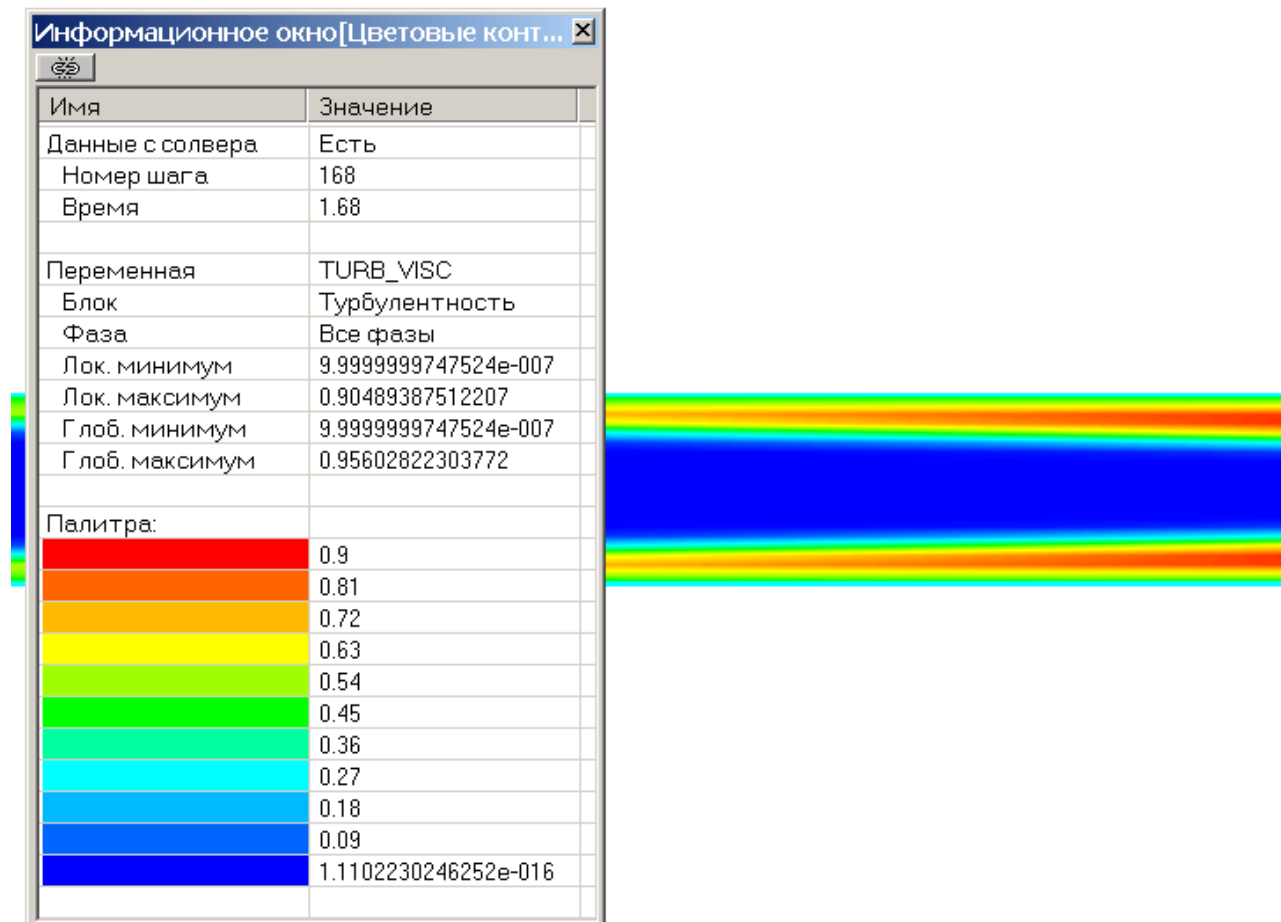
## 4.3.1.5.1 Динамика давления на входе



- Создайте **Супергруппу** в Постпроцессоре на базе **ГУ Вход**
- Создайте **Характеристики** на **Супергруппе**,
- В окне **Свойства Характеристик** задайте:

Характеристики		
Переменная		
Переменная	Давление	
Сохранение в файл		
Режим	Автоматический	












## 4.3.1.5.2 Распределение турбулентной вязкости

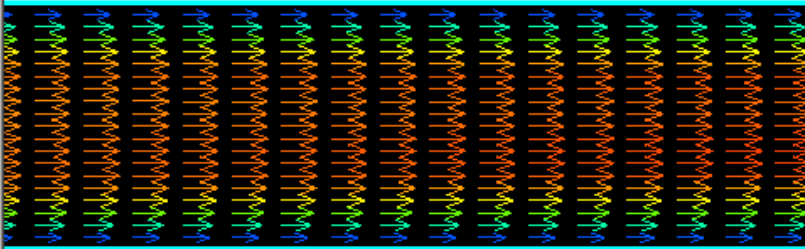


- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
 Объект  
     Нормаль  
         Z      1
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
 Переменная  
     Переменная      ТурбВязкость

## 4.3.1.5.3 Распределение скорости

Информационное окно [Вектор...]

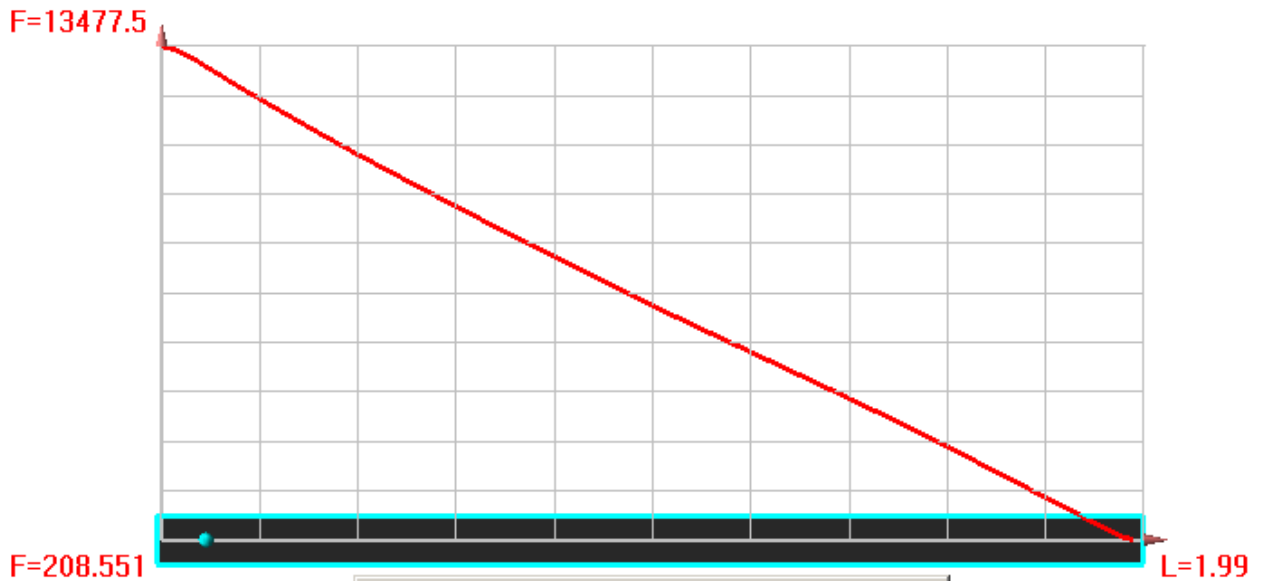
Имя	Значение
Данные с солвера	Есть
Номер шага	168
Время	1.68
Переменная	VEL
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Лок. минимум	8.2764682769775
Лок. максимум	11.303968429565
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	11.315891265869
Доп. переменная	VEL
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Лок. минимум	8.2764682769775
Лок. максимум	11.303968429565
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	11.315891265869
Палитра:	
	11.5
	11.15
	10.8
	10.45
	10.1
	9.75
	9.4
	9.05
	8.7
	8.35
	8



- Создайте слой Векторы на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Векторов** задайте:
 

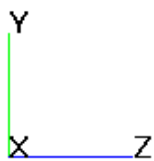
Переменная	Переменная	Скорость
Раскраска	Переменная	Скорость

4.3.1.5.4 Распределение давления



Информационное окно [График вдоль ...]

Имя	Значение
Данные с солвера	Есть
Номер шага	168
Время	1.68
Переменная	PRES
Блок	Движение
Фаза	Все фазы
Глоб. минимум	0
Глоб. максимум	13671.358251083
Среднее значение	6689.6494004407
Максимум	13477.475576277
Положение макси...	0
Точка максимума X	0
Точка максимума Y	0
Точка максимума Z	0.0099999997764826
Минимум	208.55095400125
Положение миним...	1.9698989993394
Точка минимума X	0
Точка минимума Y	0
Точка минимума Z	1.9798989991159



- Создайте **Линию#0**
- В окне **Свойства Линии#0** задайте:
  - Объект
    - Опорная точка
      - X 0
      - Y 0
      - Z 0.001
    - Направление
      - X 0
      - Y 0
      - Z 1
- Создайте слой **График вдоль прямой** на **Линии#0**,
- В окне **Свойства Графика вдоль прямой** задайте:

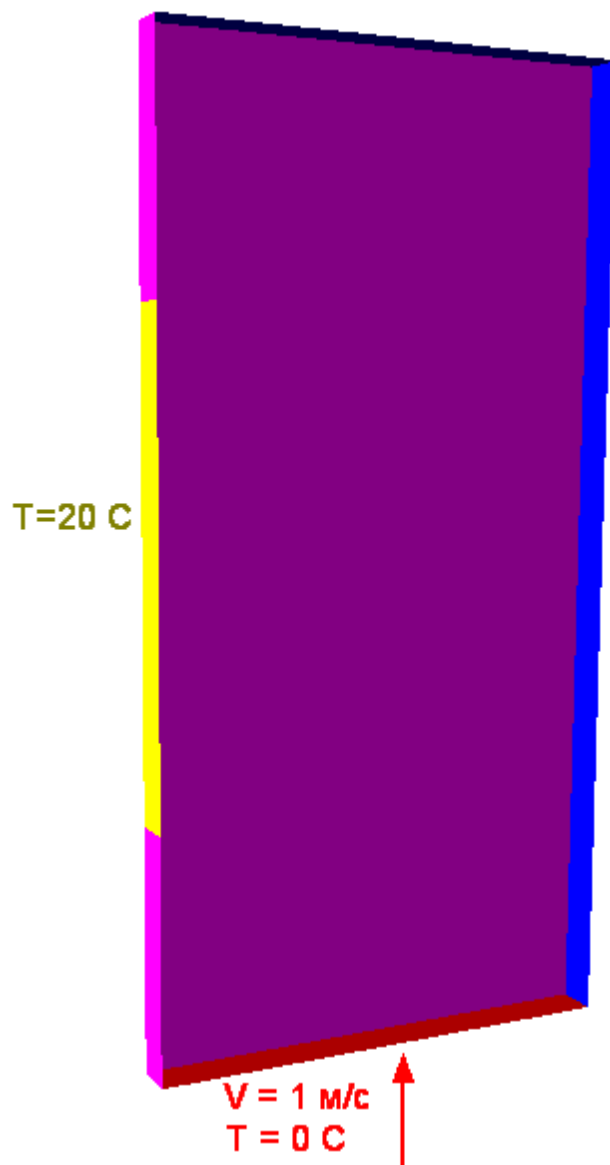


Переменная  
 Переменная Давление

### 4.3.2 Турбулентное обтекание пластины

Низкорейнольдсовая k-ε модель турбулентности предназначена для моделирования течений с значениями  $1 < \text{Re} < 300$ .

Рассмотрим применение низкорейнольдсовой модели турбулентности для моделирования динамического и теплового пограничного слоя на пластине



Параметры задачи:

Размеры

Длина расчетной области	= 2	[м]
Ширина расчетной области	= 1	[м]
Длина пластины	$L = 1$	[м]

Входные параметры

Температура пластины	$T = 20$	[C]
Скорость на входе	$V = 1$	[м/с]
Температура на входе	$T = 0$	[C]

Параметры вещества

Плотность	$\rho = 1000$	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu = 0.001$	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

Теплопроводность	$\lambda = 0.6$	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p = 4217$	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Число Рейнольдса	$Re = \frac{VL\rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 1000}{0.001} = 10^6$	
Геометрия	<b>Plate.WRL</b>	
Вариант	<b>Plate</b>	

#### 4.3.2.1 Физическая модель

В папке **Вещества**

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность		
Значение	= 0.6	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость		
Значение	= 4217	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	= Конвекция и теплопроводность
Турбулентность	= Низкорейнольдсовая к-е модель
Взаимодействие со стенкой	= Нет пристеночной функции

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:

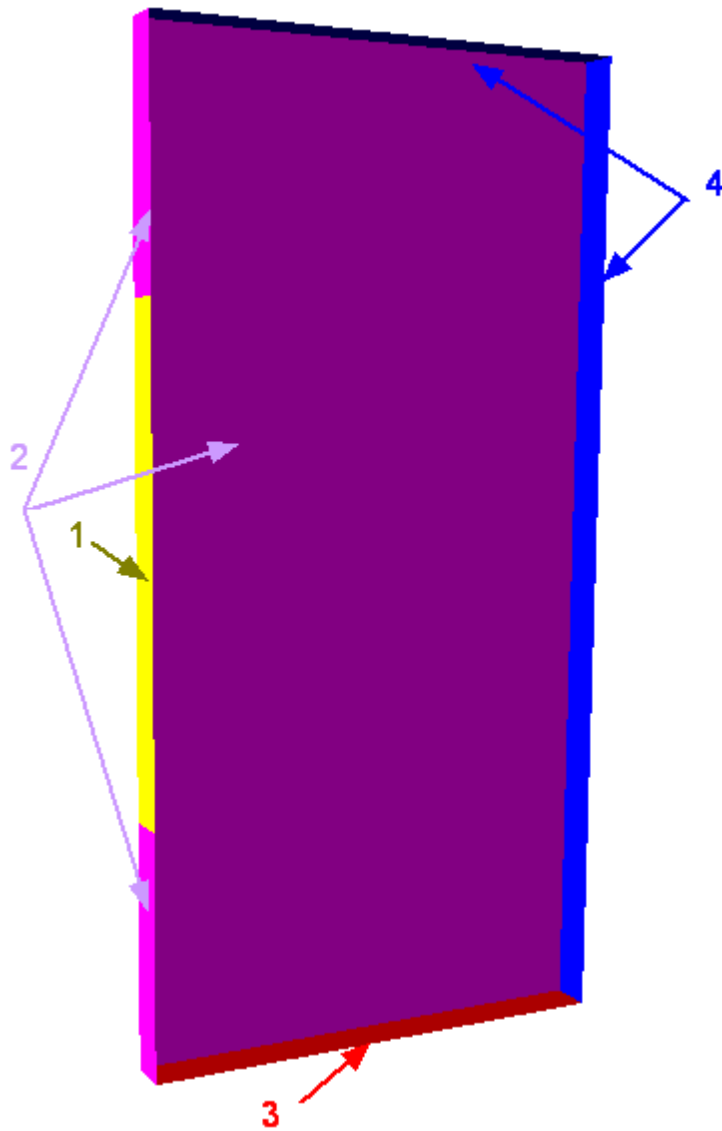
Скорость		
X	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	= 1	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]

Примечание:

При значении  $y^+ < 8$  разрешается вязкий пограничный слой. Поэтому, рекомендуется использовать Тип взаимодействия со стенкой = Нет пристеночной функции и граничное условие для скорости на стенке = Прилипание.

### 4.3.2.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Прилипание

Температура = Значение

Значение = 20

ТурбЭнергия = Фикс.значение

ТурбДиссипация = Значение в ячейке рядом со стенкой

[C]

Граница 2

Тип = Симметрия

Переменные

Скорость = Проскальзывание

Температура = Нулевой поток

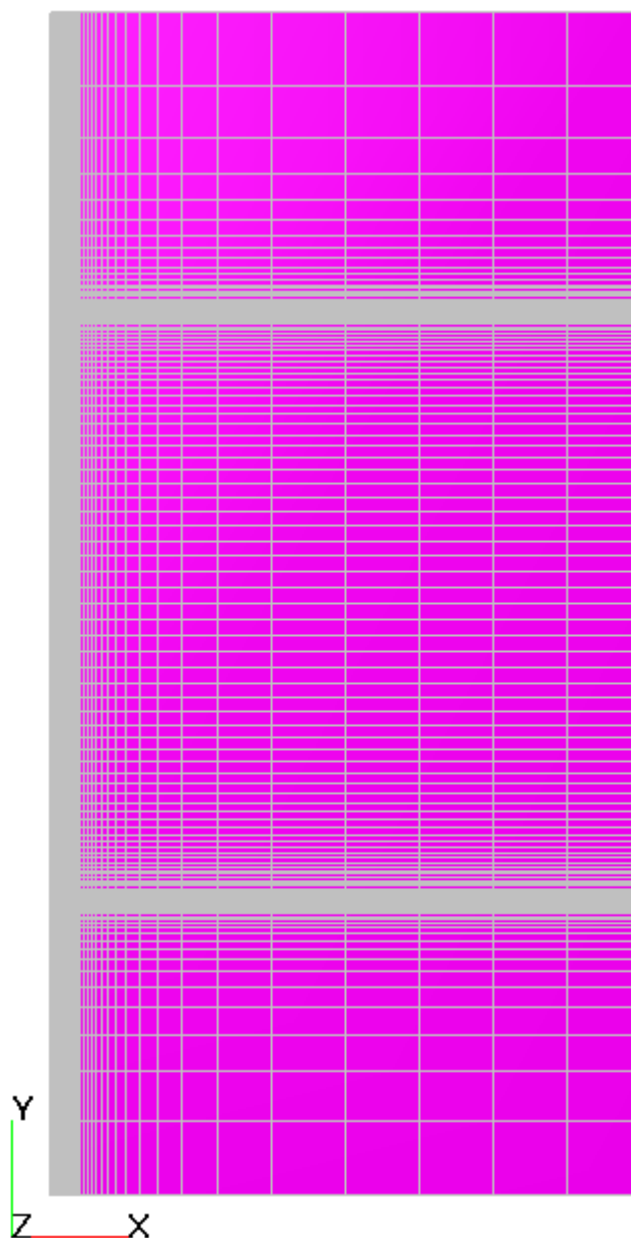
ТурбЭнергия = Нулевой поток


ТурбДиссипация = Нулевой поток

Граница 3

Тип	= Вход/Выход	
Переменные		
Скорость	= Нормальная массовая скорость	
Значение	= 1000	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
Температура	= Значение	
Значение	= 0	[С]
ТурбЭнергия	= Пульсации	
Значение	= 0	
ТурбДиссипация	= Масштаб турбулентности	
Значение	= 0	[м]
Граница 4		
Тип	= Свободный выход	
Переменные		
Скорость	= Давление	
Значение	= 0	[Па]
Температура	= Нулевой поток	
ТурбЭнергия	= Нулевой поток	
ТурбДиссипация	= Нулевой поток	

#### 4.3.2.3 Начальная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**  
 Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

OX

Параметры сетки:

kh\_max = 2  
 h\_max = 0.125 [м]  
 h\_min = 0.0002 [м]

Параметры базовых линий

Коорд. = 0 [м]  
 h = 0.0002 [м]  
 kh+ = 1  
 Коорд. = 1 [м]  
 h = 0.125 [м]  
 kh- = 0.5

OY

Параметры сетки:

kh\_max = 2  
 h\_max = 0.125 [м]  
 h\_min = 0.002 [м]

Вставьте базовую линию с координатами

y1 = -0.5 [м]  
 y1 = 0.5 [м]

Параметры базовых линий

Коорд. = -1 [м]  
 h = 0.125 [м]  
 Коорд. = -0.5 [м]  
 h = 0.002 [м]  
 kh- = 0.9  
 kh+ = 1.1  
 Коорд. = 0.5 [м]  
 h = 0.002 [м]  
 kh- = 0.9  
 kh+ = 1.1  
 Коорд. = 1 [м]  
 h = 0.125 [м]

В окне свойств **Начальной сетки** задайте:

nZ = 1

#### 4.3.2.4 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ = В секундах  
 Постоянный шаг = 10 [с]







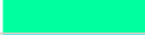

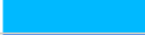
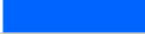

#### 4.3.2.5 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты

1. [Распределение  \$Y^+\$](#)  на поверхности стенки
2. [Распределение вязкого трения](#) вдоль пластины

## 4.3.2.5.1 Распределение Y+

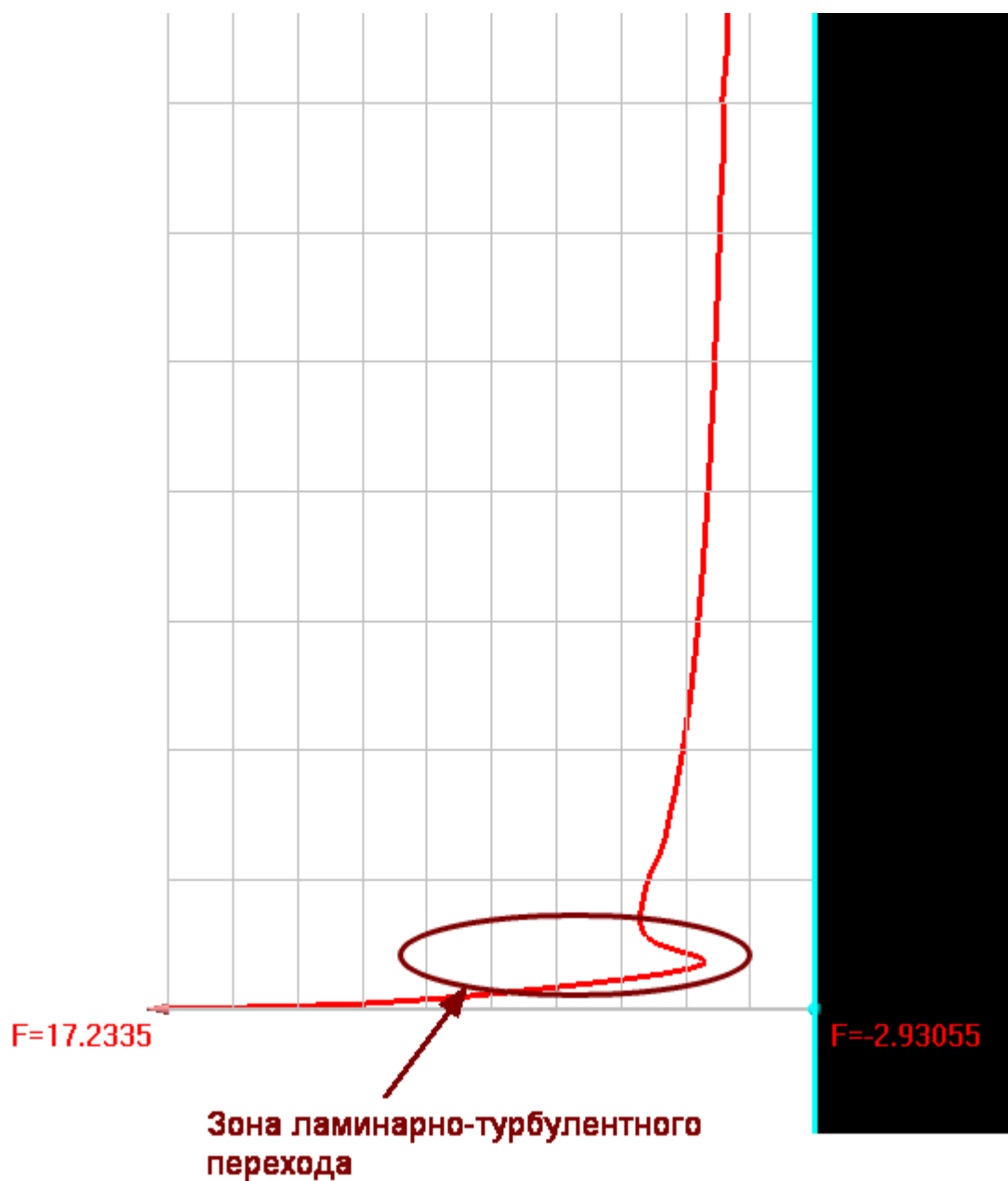
Информационное о... X

Имя	Значение	
Палитра:		
	10	
	9.5	
	9	
	8.5	
	8	
	7.5	
	7	
	6.5	
	6	
	5.5	
	5	



- Создайте **Супергруппу** в **Постпроцессоре** на ГУ Стенка
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Супергруппе**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
Переменная            Переменная            Уплюс

## 4.3.2.5.2 Распределение вязкого трения



- В окне **Свойства Площадки #0** задайте:

Объект

Опорная точка

X = 0.01

Y = -0.51

Z = 0.05

Нормаль

X = 0

Y = 0

Z = 1

- Создайте слой **График вдоль Кривой** на Площадки,
- В окне **Свойства Графика вдоль кривой** задайте:

Переменная

Переменная      Модуль вязких напряжений

Сдвиг                = 0.0001

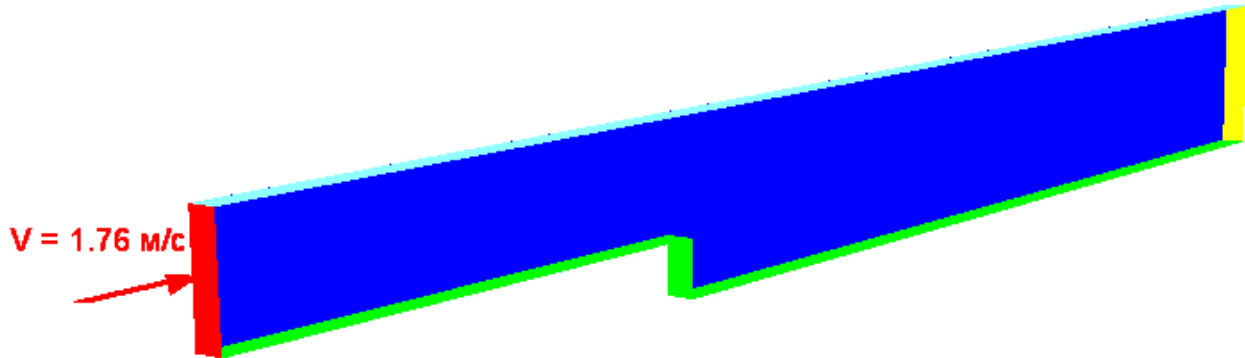
Число точек        = 1000

Угол поворота     = 180

### 4.3.3 Турбулентное обтекание уступа

Квадратичная к-е модель турбулентности предназначена для моделирования течений с значениями  $30 < \text{Re} < 300$  и возвратными зонами.

Рассмотрим применение квадратичной к-е модели турбулентности на примере моделирования течения с обратным уступом.



Размеры:	Высота уступа	D	= 1	[м]
Входные параметры	Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 1.76	[м с <sup>-1</sup> ]
Параметры жидкости:	Плотность	$\rho$	= 1	[кг м <sup>-3</sup> ]
	Вязкость	$\mu$	= 1.82e-5	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Число Рейнольдса:	$Re = \frac{V_{inl} D \rho}{\mu} = \frac{1.76 \cdot 1 \cdot 1}{1.82 \cdot 10^{-5}} \approx 10^5$			
Геометрия:	<b>BackwardFacingStep.WRL</b>			
Проект:	<b>BackwardFacingStep</b>			

#### 4.3.3.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность	Значение	= 1 [м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость	Значение	= 2e-5 [кг м с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки Физические процессы:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
Турбулентность	= Квадратичная к-е модель

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**

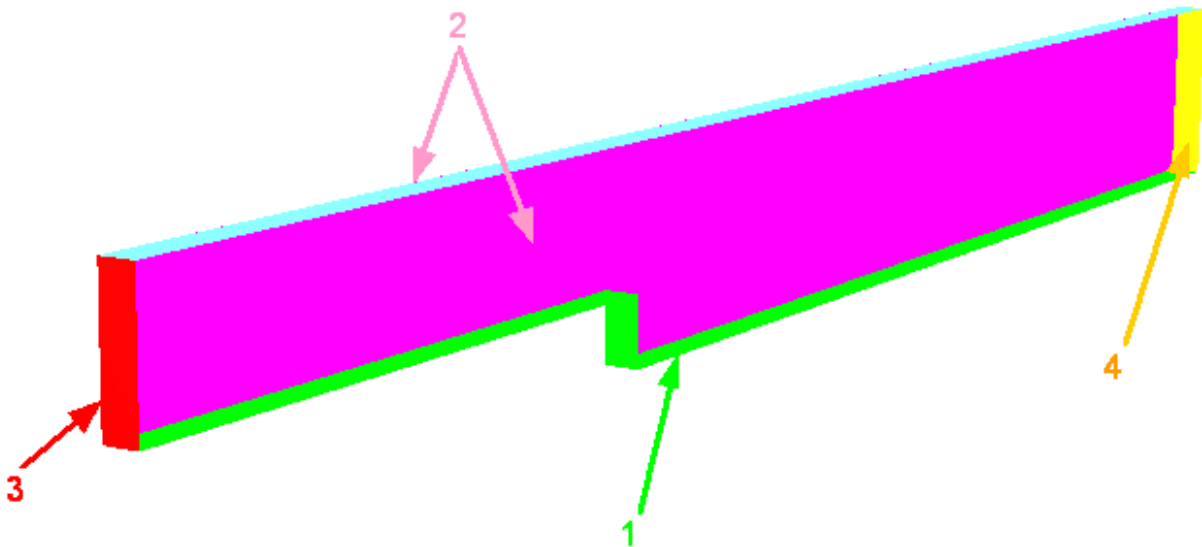


- В Модели#0 добавьте в папку Фазы Фазу#0
- Задайте в папке Начальные данные#0:

Скорость			
X	= 1.76	[м с <sup>-1</sup> ]	
Y	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]	
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]	
Пульсации	= 0.095		
Масштаб турбулентности	= 0.05	[м]	

### 4.3.3.2 Граничные условия

В окне свойств Подобласти#0 задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1			
Тип		= Стенка	
Переменные			
Скорость		= Логарифмический закон	
ТурбЭнергия		= Значение в ячейке рядом со стенкой	
ТурбДиссипация		= Значение в ячейке рядом со стенкой	
Граница 2			
Тип		= Симметрия	
Переменные			
Скорость		= Проскальзывание	
ТурбЭнергия		= Нулевой поток	
ТурбДиссипация		= Нулевой поток	
Граница 3			
Тип		= Вход/Выход	
Переменные			
Скорость		= Нормальная массовая скорость	
Массовая скорость		= 1.76	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
ТурбЭнергия		= Пульсации	
Значение		= 0.095	
ТурбДиссипация		= Масштаб турбулентности	
Значение		= 0.05	[м]
Граница 4			
Тип		= Выход	

Переменные			
Скорость	=	Давление	
Значение	=	0	[Па]
ТурбЭнергия	=	Нулевой поток	
ТурбДиссипация	=	Нулевой поток	

### 4.3.3.3 Начальная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 120  
 nY = 25  
 nZ = 1

### 4.3.3.4 Параметры расчета

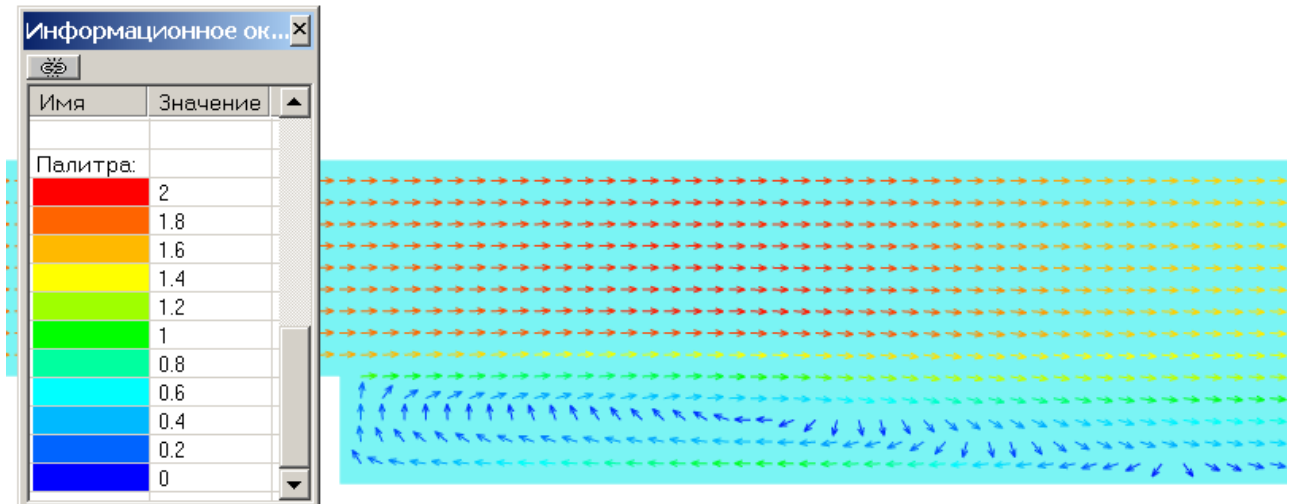
Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ = Числом КФЛ  
 Число КФЛ = 100  
 Макс. шаг = 1 [с]

### 4.3.3.5 Визуализация результатов

Визуализируйте [Распределение скоростей](#) в плоскости течения

#### 4.3.3.5.1 Распределение скоростей



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
 Объект

Нормаль  
 Z 1

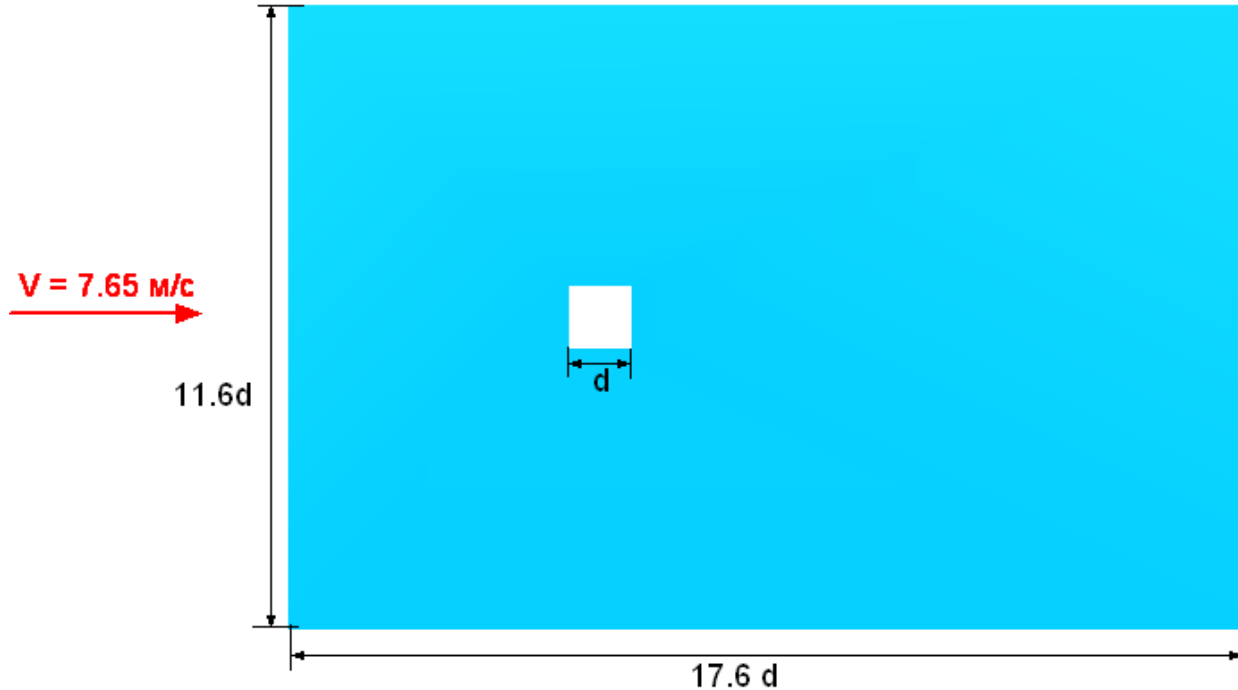
- Создайте слой **Векторы** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Векторов** задайте:

Переменная  
 Переменная Скорость  
 Раскраска  
 Переменная  
 Переменная Скорость

### 4.3.4 Турбулентное обтекание параллелепипеда

SST модель турбулентности предназначена для моделирования течений с высокой степенью турбулизации, с возвратными зонами и большими обратными градиентами давления, при этом также дает хорошие результаты для свободных течений и течений с небольшими градиентами давления.

Рассмотрим использование SST модели турбулентности на примере моделирования турбулентного обтекания куба.



Размеры:	Сторона куба	d	= 0.0254	[м]
	Длина расчетной области	11.6d	= 0.294	[м]
	Ширина расчетной области	17.6d	= 0.447	[м]
Входные параметры	Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 7.65	[м·с <sup>-1</sup> ]
Параметры жидкости:	Плотность	$\rho$	= 1.226	[кг·м <sup>-3</sup> ]
	Вязкость	$\mu$	= 1.8325e-5	[кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup> ]
Число Рейнольдса:	$Re = \frac{V_{inl} \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{7.65 \cdot 0.0254 \cdot 1.226}{1.8325 \cdot 10^{-5}} \approx 1.3 \cdot 10^4$			
Геометрия:	<b>Box.STL</b>			
Проект:	<b>Box</b>			

#### 4.3.4.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1.226	[м·с <sup>-1</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 1.82e-5	[кг·(м·с) <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества** **Вещество#0**

- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки Физические процессы:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Турбулентность	=	SST модель
Взаимодействие со стенкой	=	Нет пристеночной функции

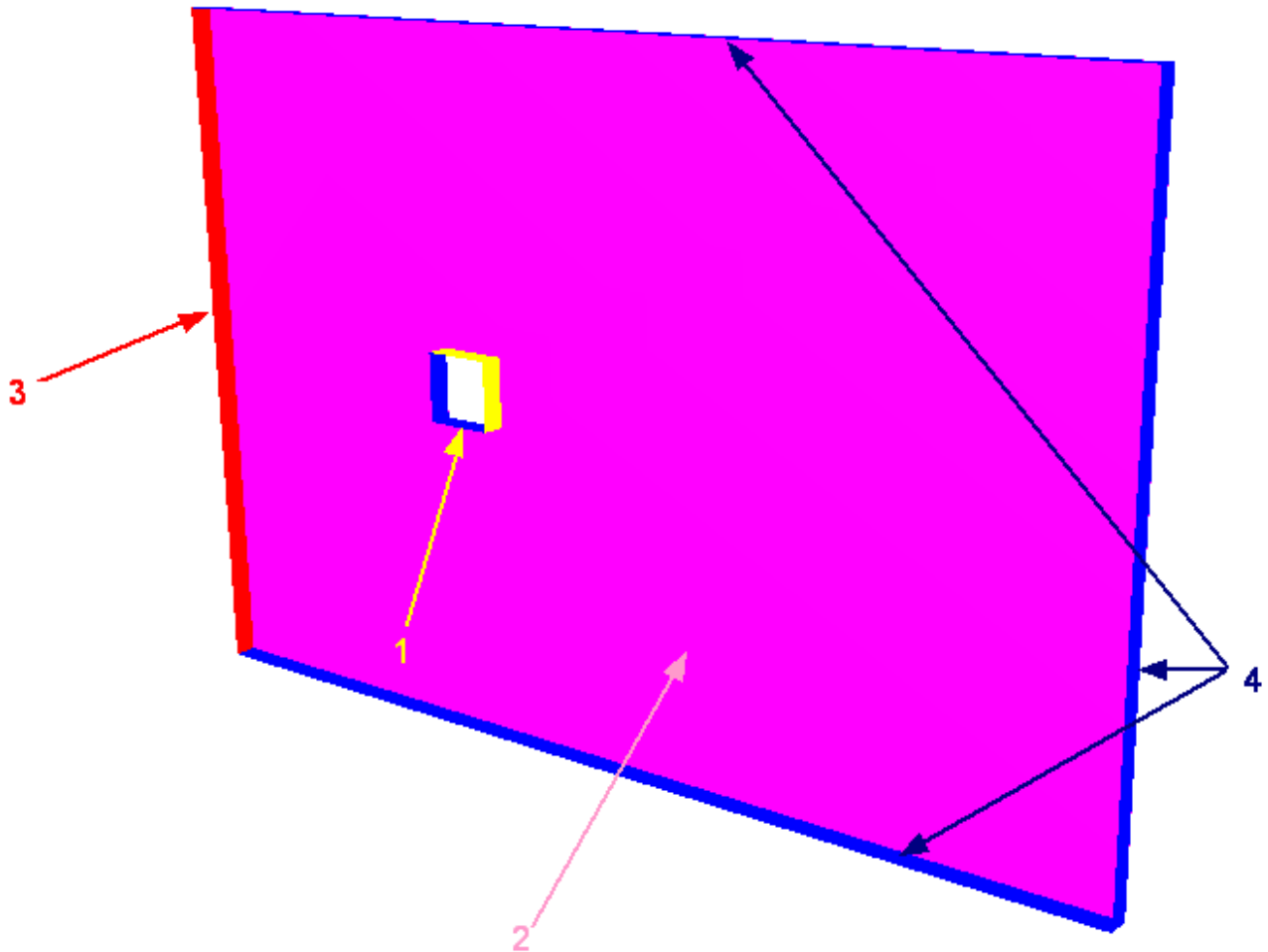
В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:

Скорость			
X	=	7.65	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	=	0	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	=	0	[м с <sup>-1</sup> ]
Пульсации	=	0.05	
Масштаб турбулентности	=	0.00254	[м]

### 4.3.4.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0

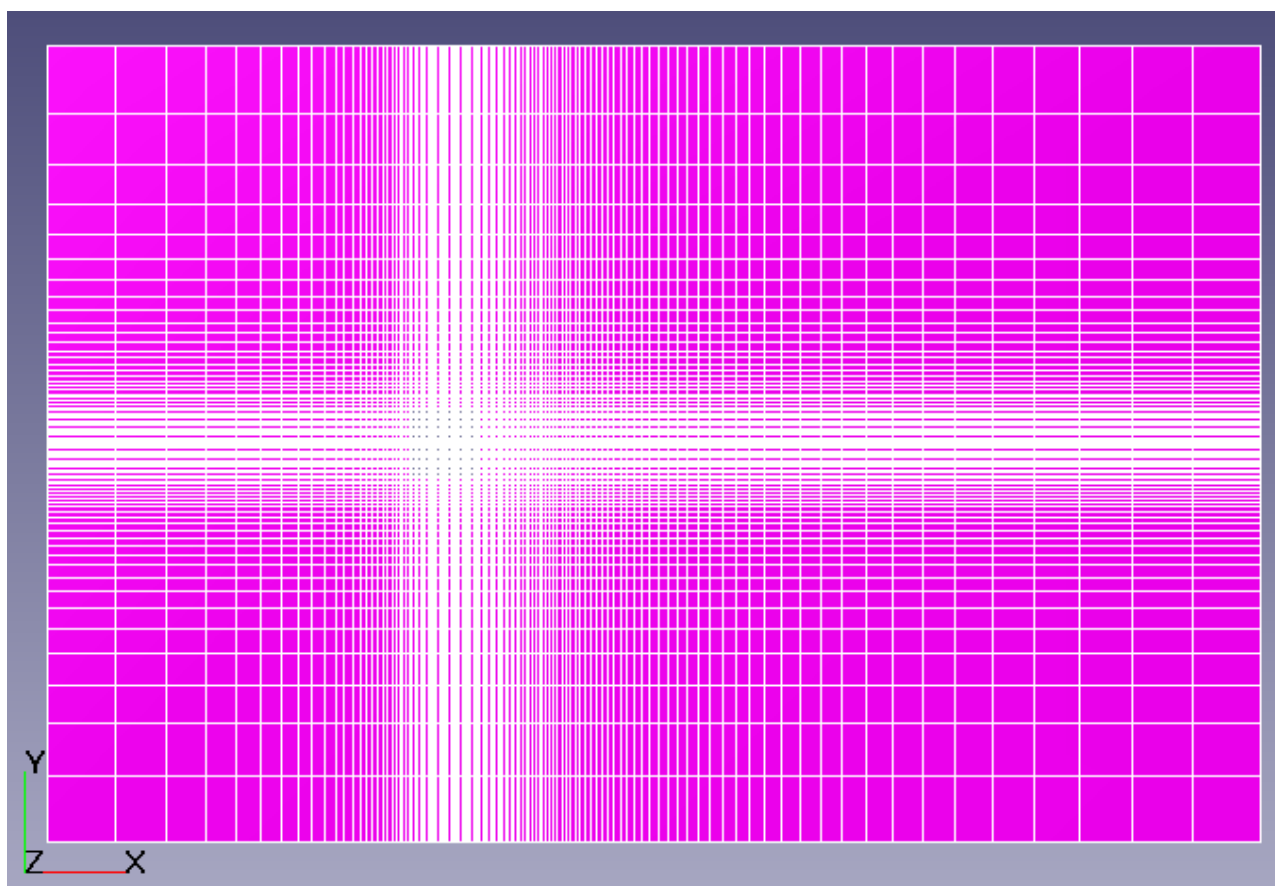



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1		
Тип		Стенка
Переменные		
Скорость		Прилипание

	ТурбЭнергия	Фикс. значение	
	ТурбДиссипация	Значение в ячейке рядом со стенкой	$[m^2 \cdot c^{-1}]$
Граница 2			
Тип		Симметрия	
Переменные			
	Скорость	Проскальзывание	
	ТурбЭнергия	Нулевой поток	
	ТурбДиссипация	Нулевой поток	
Граница 3			
Тип		Вход/Выход	
Переменные			
	Скорость	Нормальная массовая скорость	
	Массовая скорость	9.38	$[kg \cdot m^{-2} \cdot c^{-1}]$
	ТурбЭнергия	Пульсации	
	Значение	0	$[m^2 \cdot c^{-1}]$
	ТурбДиссипация	Масштаб турбулентности	
	Значение	0	
Граница 4			
Тип		Свободный выход	
Переменные			
	Скорость	Статическое давление	
	Значение	0	[Па]
	ТурбЭнергия	Нулевой поток	
	ТурбДиссипация	Нулевой поток	

#### 4.3.4.3 Начальная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**  
 Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

OX

Параметры сетки:

kh\_max = 2  
h\_max = 0.03 [м]  
h\_min = 0.00075 [м]  
Вставьте базовую линию с координатами  
x1 = 0 [м]  
Параметры базовых линий  
Коорд. = -0.147 [м]  
h = 0.03 [м]  
Коорд. = 0 [м]  
h = 0.00075 [м]  
kh+ = 1  
Коорд. = 0.3 [м]  
h = 0.03 [м]

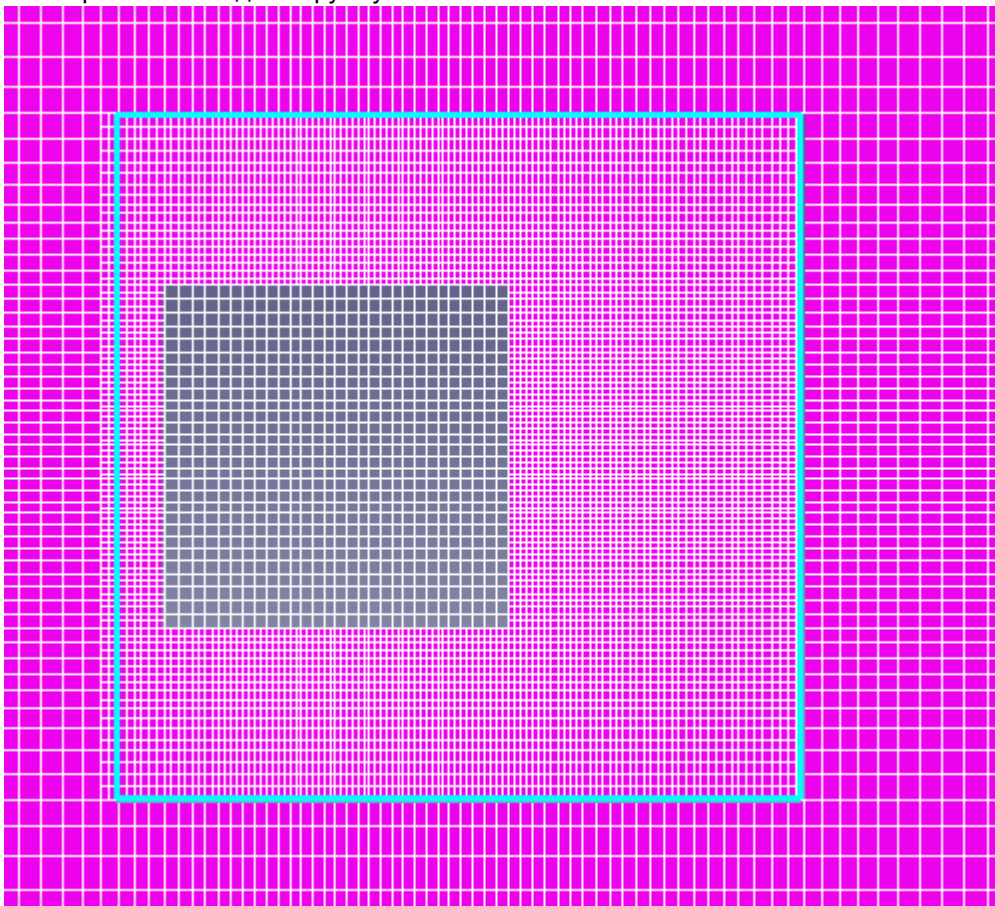
OY

Параметры сетки:  
kh\_max = 2  
h\_max = 0.03 [м]  
h\_min = 0.00075 [м]  
Вставьте базовую линию с координатами  
y1 = 0 [м]  
Параметры базовых линий  
Коорд. = -0.147 [м]  
h = 0.03 [м]  
Коорд. = 0 [м]  
h = 0.00075 [м]  
Коорд. = 0.147 [м]  
h = 0.03 [м]

В окне свойств **Начальной сетки** задайте:  
nZ = 1

#### 4.3.4.4 Адаптация расчетной сетки

В данной задаче необходимо разрешить зону вихреобразования. Для этого необходимо адаптировать сетку в объеме параллелепипеда вокруг куба.



Задание адаптации сетки в объекте состоит из 2 этапов:

1. Задание объекта адаптации
2. Задание критерия адаптации

Для того, чтобы задать объект адаптации:

- В контекстном меню папки **Объекты** выберите **Создать**
- В окне **Создать новый объект** задайте **Тип объекта = Параллелепипед**
- В окне свойств Параллелепипеда #0 задайте:

Расположение

Опорная точка

X = 0.01 [м]

Y = 0 [м]

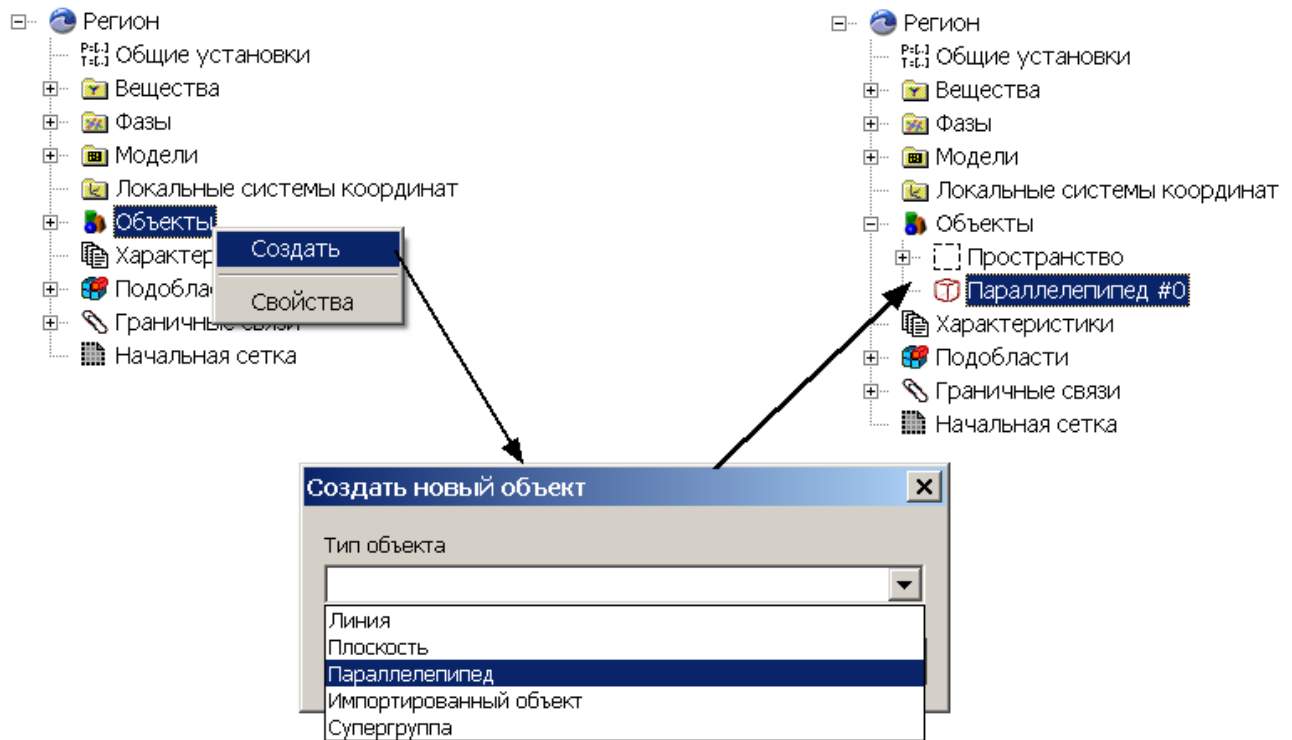
Z = 0.005 [м]

Размер

X = 0.05 [м]

Y = 0.05 [м]

Z = 0.005 [м]



Для того, чтобы задать критерий адаптации:

- В контекстном меню папки Адаптация выберите Создать
- В окне свойств созданного элемента Адаптация #0 задайте:
 

Активность	= Да
Объект	= Параллелепипед#0
Макс.уровень	= 1
Разбить/Слить	= Разбить
Область	= В объеме

#### 4.3.4.5 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ	= В секундах	
Постоянный шаг	= 0.0003	[с]

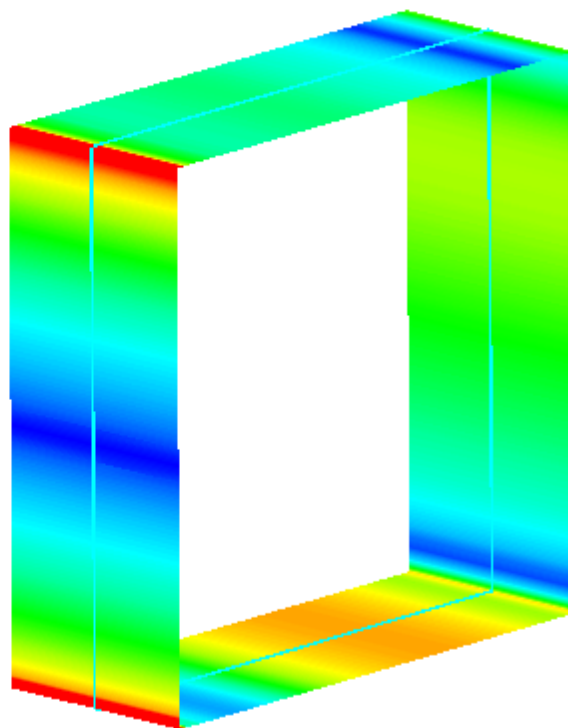
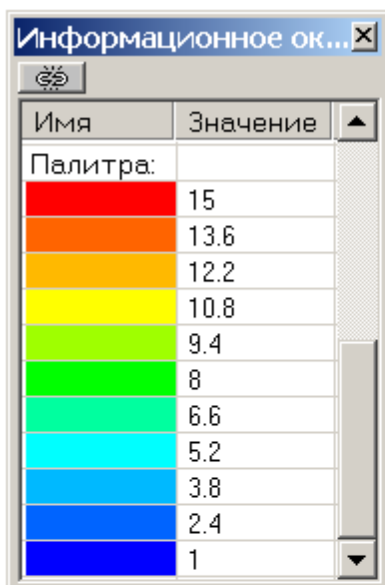
#### 4.3.4.6 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты

1. [Распределение  \$y^+\$](#)  на поверхности параллелепипеда
2. [Распределение скорости](#) в плоскости течения

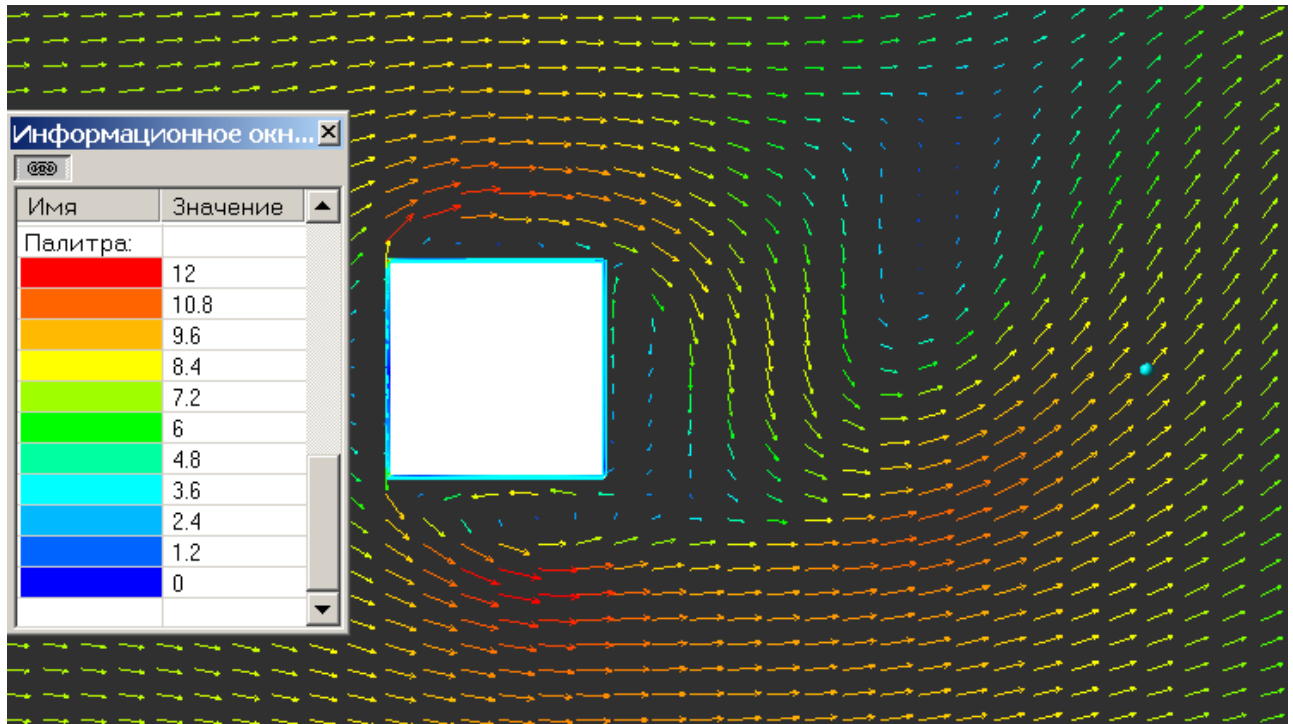


## 4.3.4.6.1 Распределение Y+



- Создайте **Супергруппу** на **ГУ Стенка**
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Супергруппе**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
    Переменная            Переменная            Уплюс

### 4.3.4.6.2 Распределение скорости

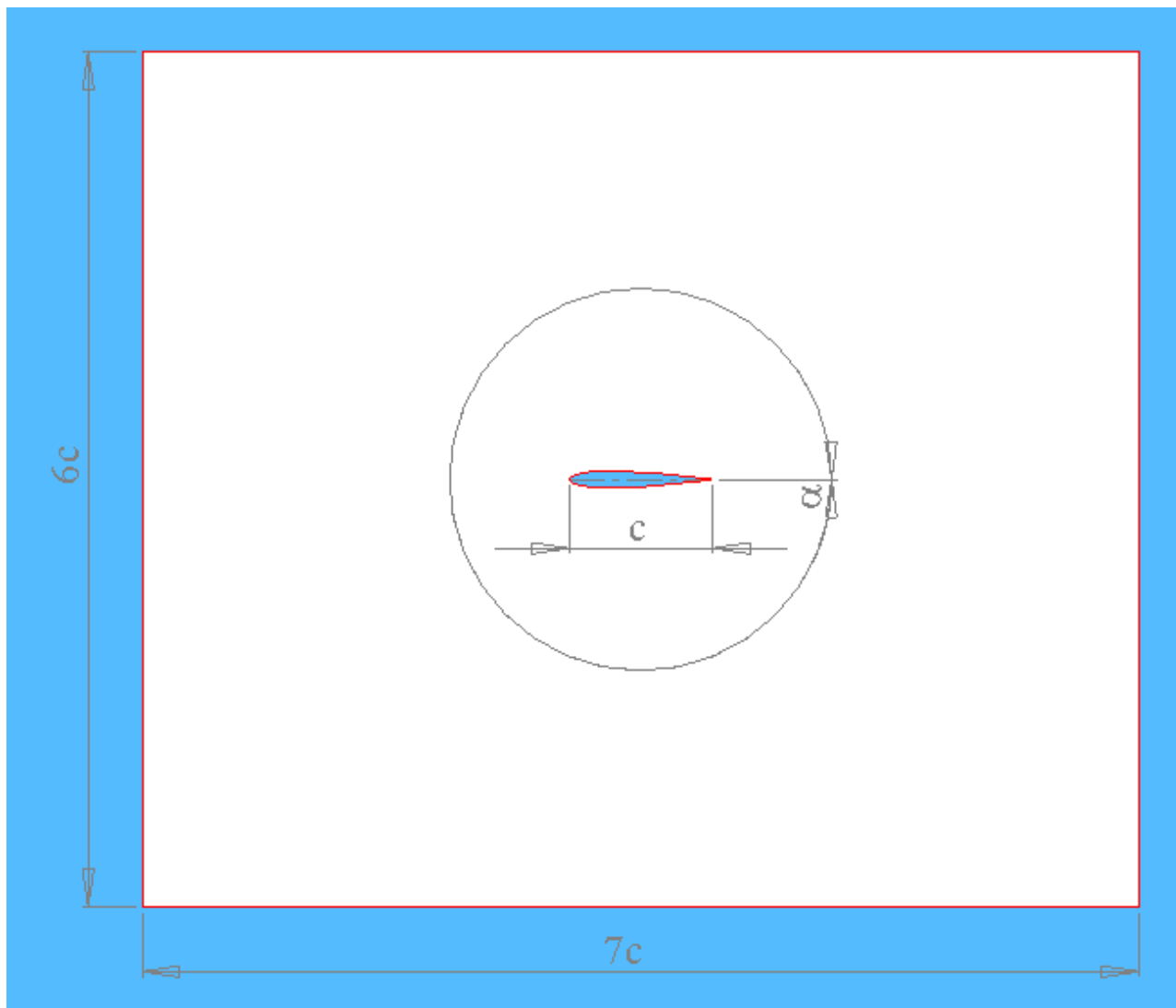


- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:
  - Объект
    - Нормаль
      - Z 1
- Создайте слой **Векторы** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Векторов** задайте:
  - Переменная
    - Переменная Скорость
  - Раскраска
    - Переменная
      - Переменная Скорость

### 4.3.5 Дозвуковое обтекание крылового профиля

SA модель является однопараметрической моделью и была разработана для аэрокосмических приложений. Эта модель дает хорошие результаты для пограничных слоев, характеризующихся положительными градиентами давлений. Традиционно эта модель эффективно работает в низкорейнольдсовом случае, т.е. когда вязкий пограничный слой достаточно разрешен расчетной сеткой (т.е. когда параметр  $y^+$  мал).

Рассмотрим применение SA модели на примере задачи дозвукового обтекания крылового профиля при Рейнольдса  $Re=1.8 \cdot 10^6$  и числе Маха  $M=0.8$



## Размеры:

Длина хорды:	$c$	$= 0.1$	[м]
Размеры расчетной области		$0.7 \times 0.6 \times$	[м x м x м]
		$0.01$	
Угол атаки:		$\alpha = 0^\circ$	

## Параметры вещества:

Плотность:	$\rho_{inl}$	$= 1.29$	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость:	$\mu$	$= 1.82 \cdot 10^{-5}$	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	$\lambda$	$= 0.026$	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p$	$= 1009$	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]
Скорость звука:	$a$	$= 331.6$	[м с <sup>-1</sup> ]

## Входные параметры:

Давление на бесконечности:	$P$	$= 101000$	[Па]
Температура на бесконечности:	$T$	$= 273$	[К]
Скорость на входе:	$V_{inl}$	$= 265.28$	[м с <sup>-1</sup> ]
Число Маха:	$M$	$= 0.8$	
Число Рейнольдса:	$Re = \frac{V_{inl} L \rho}{\mu}$	$= \frac{265.28 \cdot 0.1 \cdot 1.29}{1.82 \cdot 10^{-5}}$	$= 1.8 \cdot 10^6$

Геометрия: **NACA0012.STL**

Проект: **NACA0012**

### 4.3.5.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- В свойствах **Вещества#0** задайте:

Агрегатное состояние	= Газ	
Молярная масса		
Значение	= 0.0289	[кг моль <sup>-1</sup> ]
Плотность	= Закон идеального газа	
Вязкость		
Значение	= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг (м с) <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность		
Значение	= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость		
Значение	= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в окне свойств папки **Физические процессы**:

Движение	= Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	= Конвекция и теплопроводность
Турбулентность	= SA модель

В папке **Модели**:

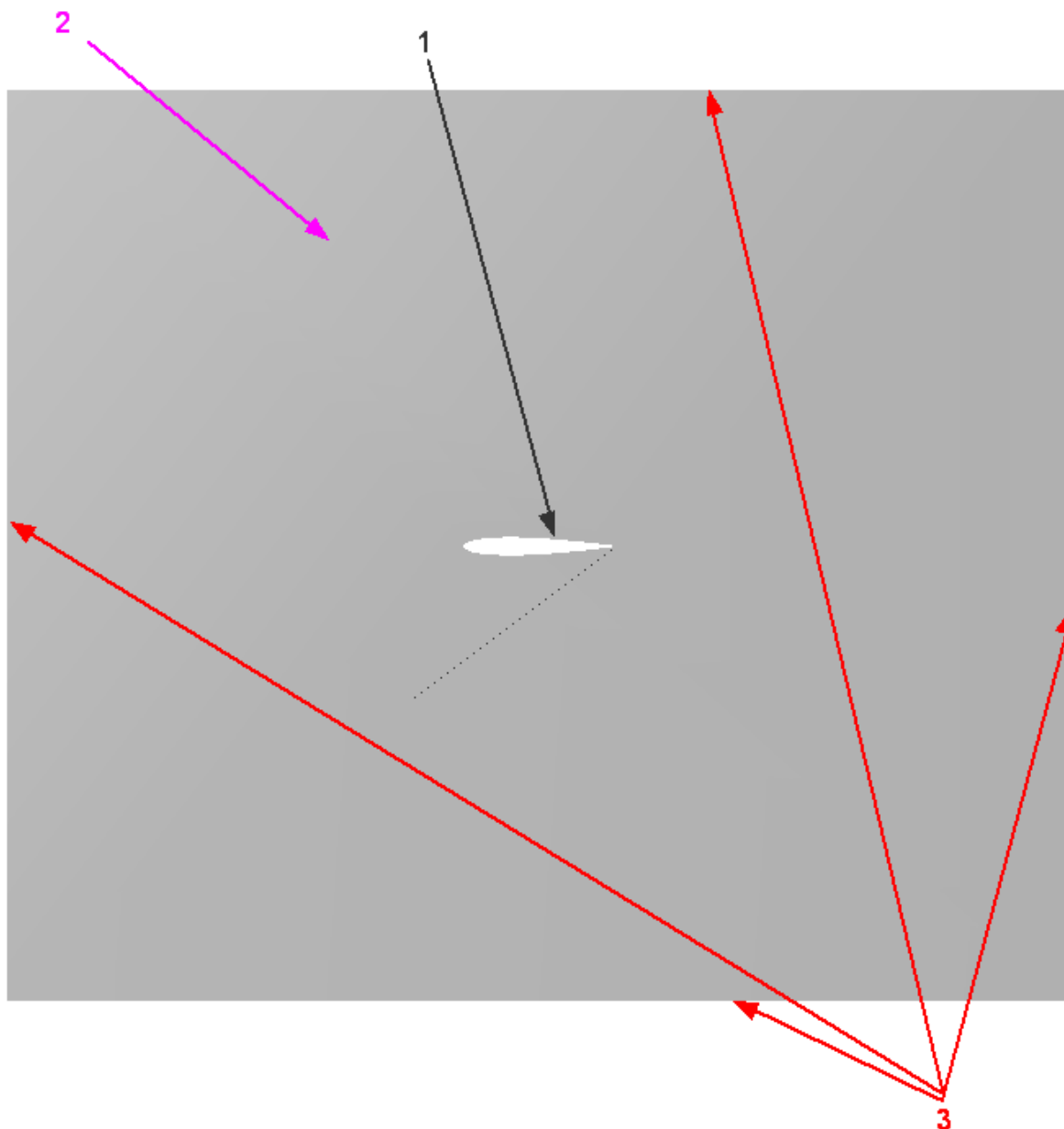
- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:

Скорость		
X	= 265	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Пульсации	= 0.001	
Масштаб турбулентности	= 0.001	[м]

### 4.3.5.2 Граничные условия

В окне свойств Подобласти#0 задайте:

Модель = Модель#0



Граница 1

Тип

= Стенка

Переменные

Скорость

= Логарифмический закон

Температура

= Нулевой поток

ТурбКинВязкость

= Фикс. значение

Граница 2

Тип

= Симметрия

Переменные

Скорость

= Проскальзыванием

Температура

= Нулевой поток

ТурбКинВязкость

= Нулевой поток

Граница 3

Тип

= Неотражающее

Переменные

Скорость

= Неотраж

Скорость на бесконечности

X

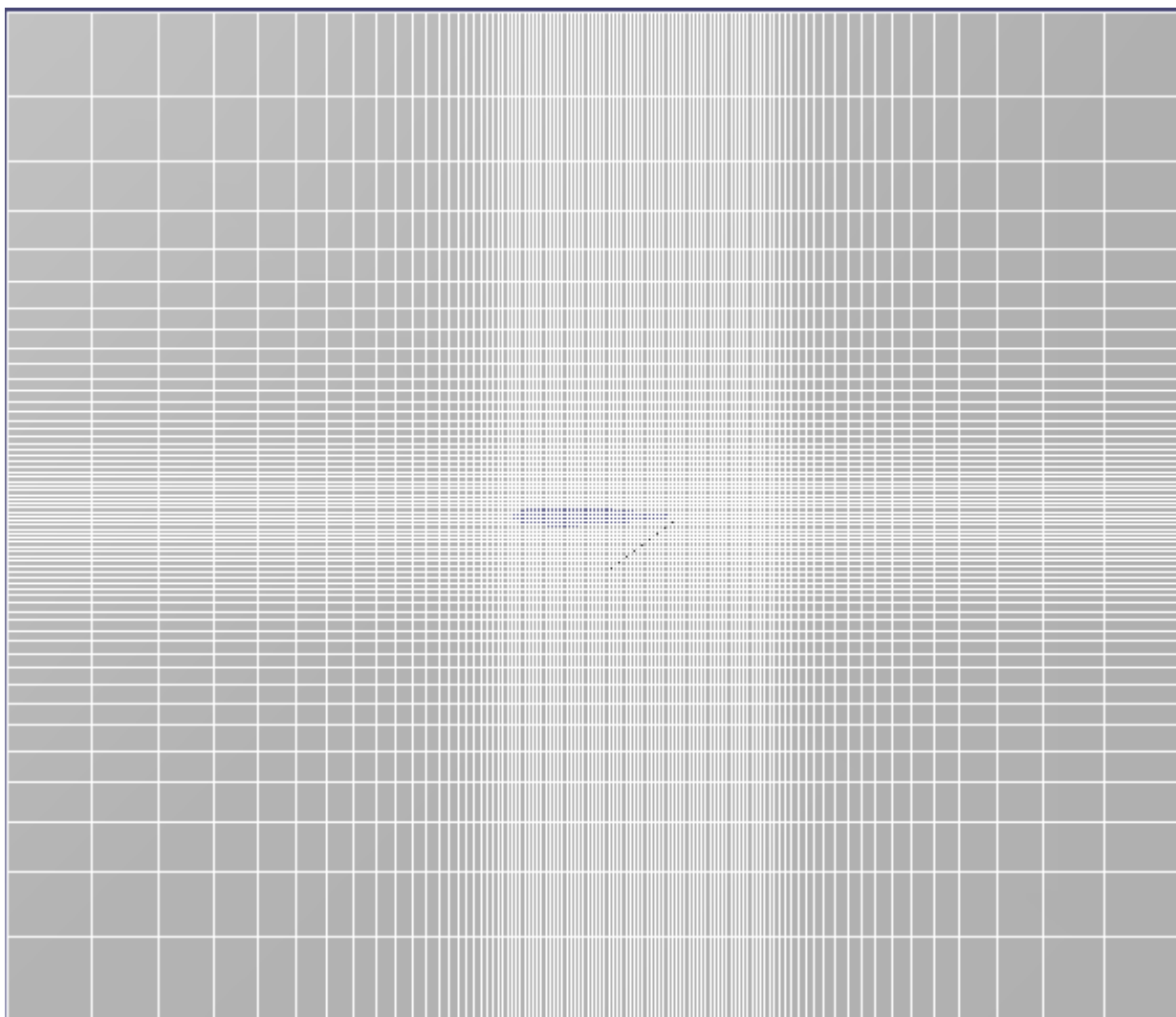
= 265.28


[м с<sup>-1</sup>]

Y

	Z		
Давление на	= 0	[Па]	
бесконечности			
Температура	= Неотраж		
Значение	= 0	[C]	
ТурбКинВязкость	= Значение		
Значение	= 0	[м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup> ]	

### 4.3.5.3 Начальная расчетная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**  
 Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

ОХ

Параметры сетки:

kh\_max = 2  
 h\_max = 0.05 [М]  
 h\_min = 0.002 [М]

Вставьте базовые линии с координатами

x1 = 0 [М]  
 x2 = 0.2 [М]

Параметры базовой линии

Коорд. = -0.3 [М]  
 h = 0.05 [М]  
 Коорд. = 0 [М]  
 h = 0.0025 [М]  
 Коорд. = 0.2 [М]  
 h = 0.0075 [М]

	Коорд.	= 0.4	[м]
	h	= 0.05	[м]

OY

Параметры сетки:

	kh_max	= 2	
	h_max	= 0.05	[м]
	h_min	= 0.002	[м]

Вставьте базовые линии с координатами

	y1	= 0	[м]
--	----	-----	-----

Параметры базовой линии

	Коорд.	= -0.3	[м]
	h	= 0.05	[м]
	Коорд.	= 0	[м]
	h	= 0.0025	[м]
	Коорд.	= 0.3	[м]
	h	= 0.05	[м]

В окне свойств **Начальной сетки** задайте:

**nz** = 1

#### 4.3.5.4 Адаптация расчетной сетки

Задайте адаптацию по поверхности крыла

Адаптация

Включить	= Да
Макс уровень	= 3
Слоев ячеек	= 2

#### 4.3.5.5 Параметры расчета

На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

Способ	= в секундах	
Постоянный шаг	= $4 \cdot 10^{-5}$	[с]

*Примечание:*

В данной задаче шаг по времени выбирается примерно равным 0.1 пролетного времени для хорды крыла

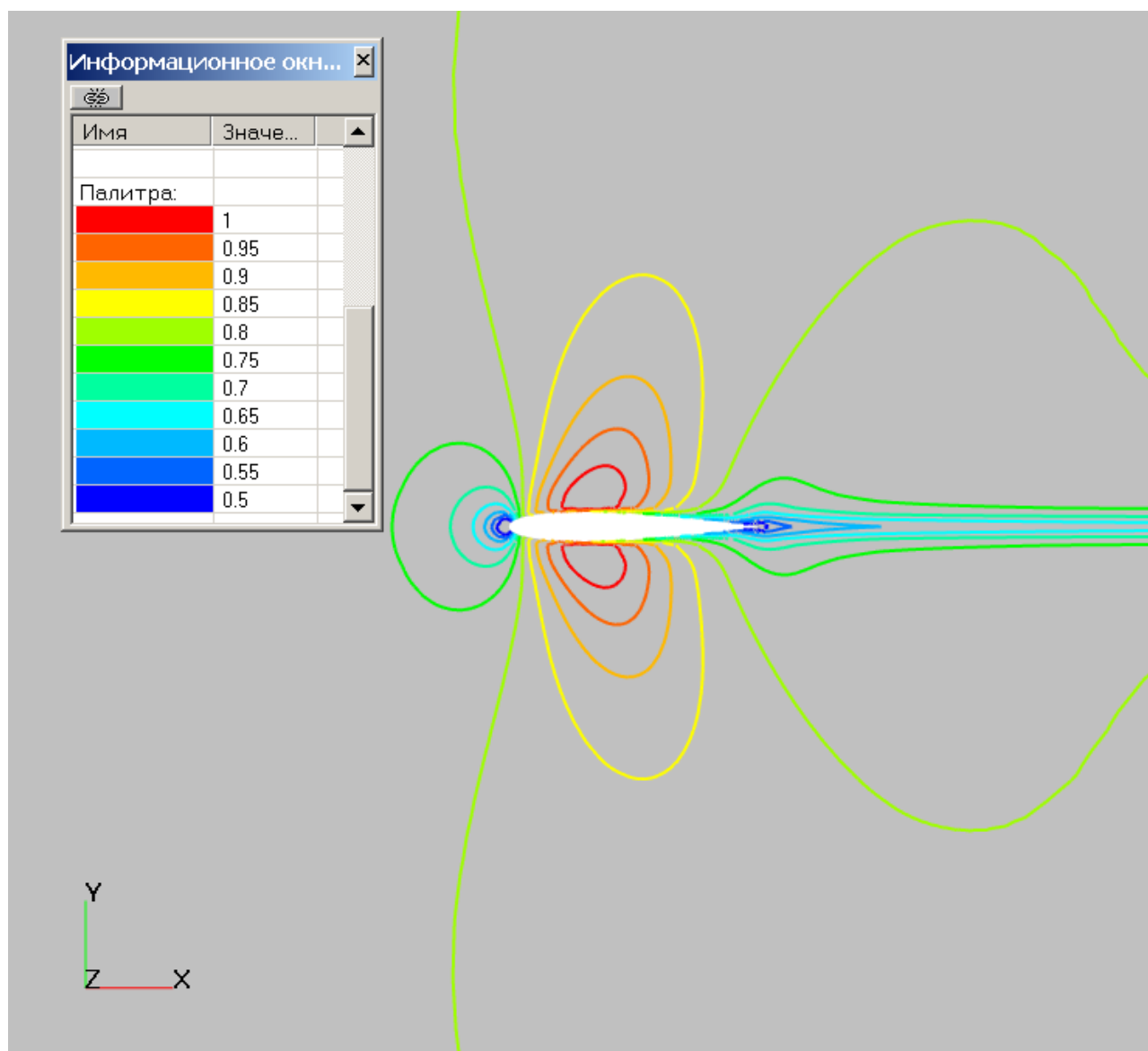
$$\tau_{\text{полн}} = 0.1 \cdot \frac{L}{V} = 0.1 \cdot \frac{0.1}{265} \approx 4 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

#### 4.3.5.6 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты

1. [Распределение значений числа Маха](#) в плоскости течения.
2. [Распределение давления](#) на поверхности крыла.

## 4.3.5.6.1 Распределение значений числа Маха



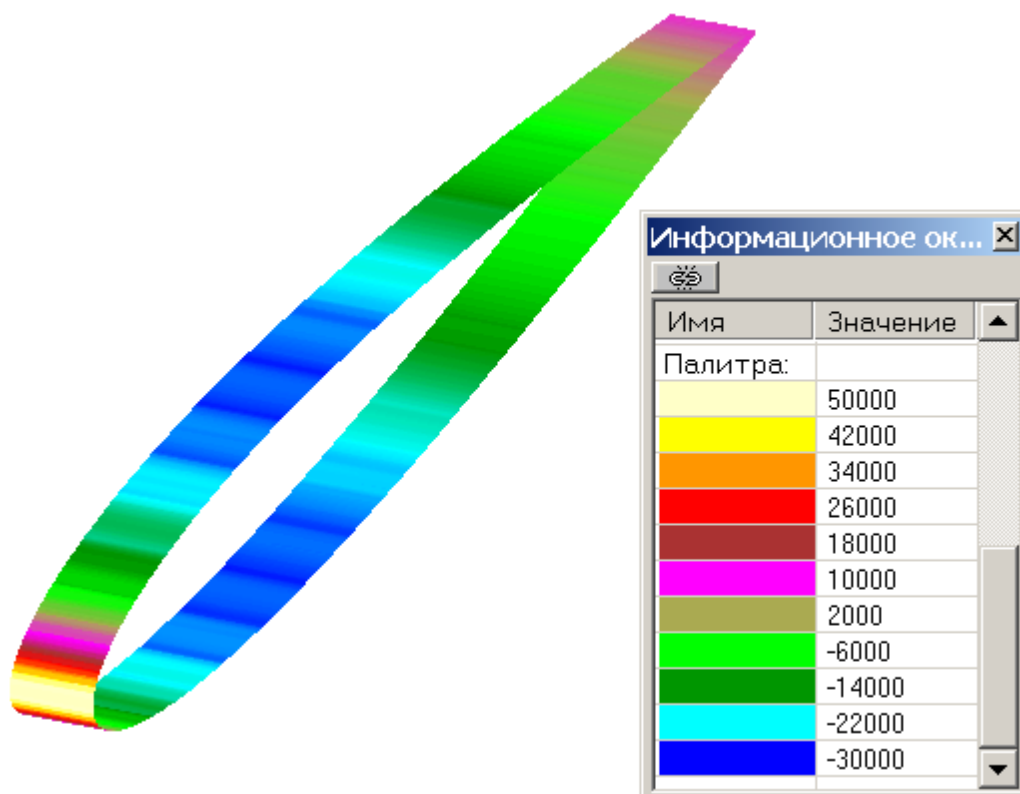
- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:
 

Объект	Нормаль	
	Z	1
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:
 

Переменная	Переменная	ЧислоМаха
Метод		Изолинии



## 4.3.5.6.2 Распределение давления



- Создайте **Супергруппу** на ГУ Стенка
- Создайте слой **Цветовые контуры** на Супергруппе,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
    Переменная                      Давление

## 4.4 Свободная поверхность

Во FlowVision HPC для моделирования свободной поверхности реализован метод VoF.

### 4.4.1 Обрушение плотины

В этом примере моделируется двумерное обрушение плотины. Часть расчетной области заполнена водой, отделенной перегородкой. В начальный момент времени перегородка резко убирается и начинает распространяться волна.



Размеры:

Размера расчетной области	$a \times b$	= 5 x 3	[м x м]
Размеры столба жидкости	$d \times d$	= 2 x 2	[м x м]

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

Геометрия:

Проект:

**Wave.STL**

**Wave**

#### 4.4.1.1 Физическая модель

В папке **Общие установки** задайте:

Вектор гравитации

X	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]
Y	= -9.8	[м с <sup>-2</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**

- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние = Жидкость

Плотность  
Значение = 1000 [м с<sup>-1</sup>]

Вязкость  
Значение = 0.001 [кг м<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества** **Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
  - Движение = Ньютонская жидкость
  - Турбулентность = Стандартная к-е модель
- Создайте непрерывную **Фазу#1**
  
- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы** **Фазу#0** и **Фазу#1**

*Примечание:*

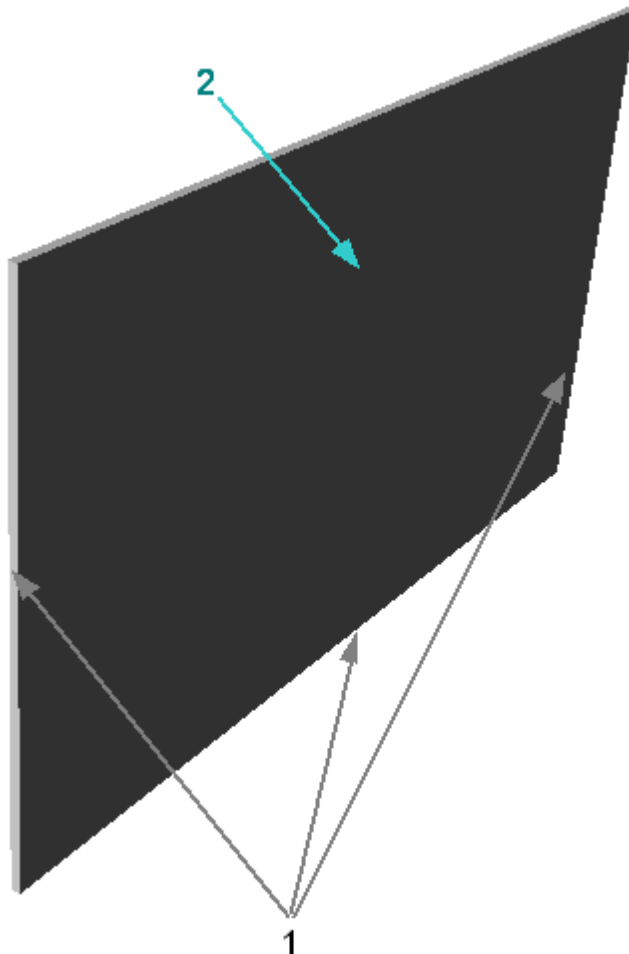
В данной задаче движением вещества во второй фазе можно пренебречь, поэтому в **Фазе#1** **Физические процессы** не задаются.

При загрузке **Фазы#0** и **Фазы#1** в **Модель** автоматически появится тип **взаимодействия фаз** - **Сплошная-сплошная**.

Это специальный тип взаимодействия, автоматически создающийся при расчете уравнения переноса фазы.

#### 4.4.1.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Логарифмический закон

ТурбЭнергия = Значение в ячейке рядом со стенкой

ТурбДиссипация = Значение в ячейке рядом со стенкой

ОбъемФазы = Нулевой поток

Граница 2

Тип = Симметрия

Переменные

Скорость = Проскальзывание

ТурбЭнергия = Нулевой поток

ТурбДиссипация = Нулевой поток

ОбъемФазы = Нулевой поток

#### 4.4.1.3 Задание столба жидкости

Процесс создания **Начальных условий** состоит из трех этапов:

- задание **Начальных данных**
- задание **Объекта** применения **Начальных данных**
- задание соответствия между **Объектом** и **Начальными данными**

Для того, чтобы задать Начальные данные в **Модели#0** в **Нач.данных#0** задайте:

ОбъемФазы

Значение = 1

Для того, чтобы задать область применения начальных данных в папке **Объекты**:

- создайте **Параллелепипед#0**
- в окне свойств **Параллелепипеда#0** задайте:

Расположение

Опорная точка

X = 1 [м]

Y = 1 [м]

Z = 0.025 [м]

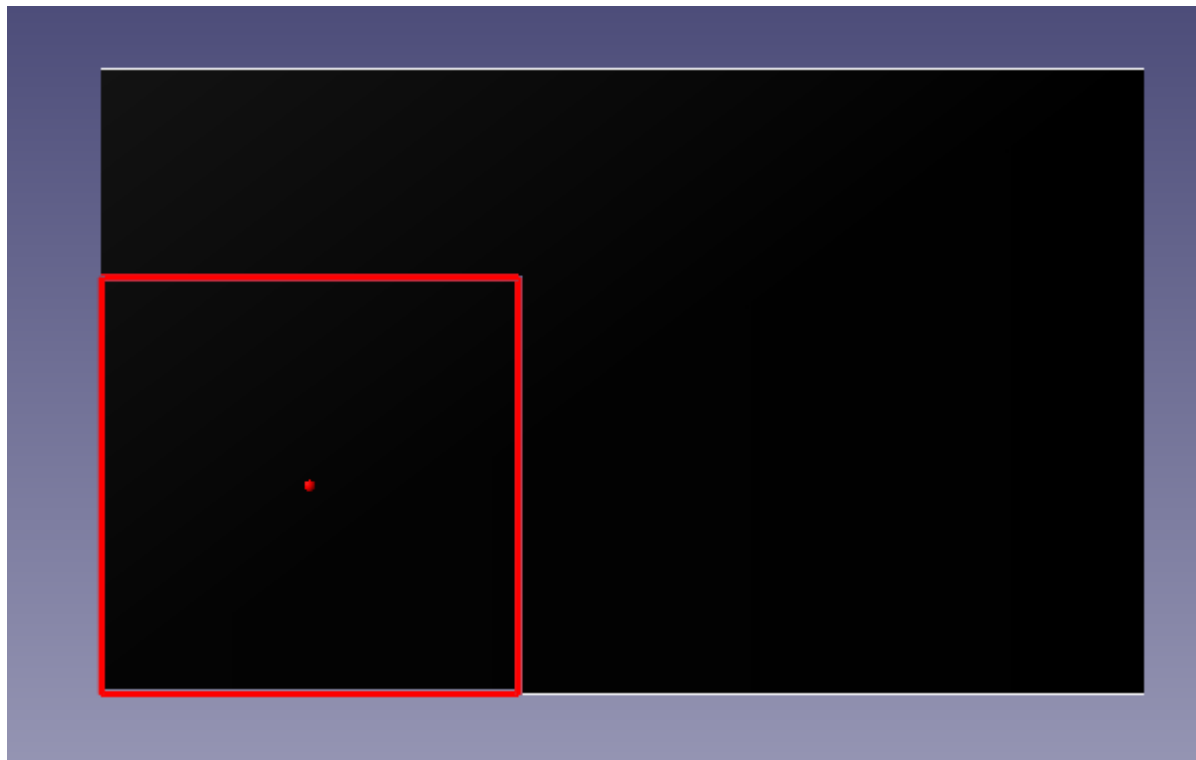
Размер

X = 1.99 [м]

Y = 1.99 [м]

Z = 0.05 [м]

При этом в графическом окне появится изображение **Параллелепипеда**



Для того, чтобы задать соответствие между объектом и начальными данными, в **Подобласти #0** окне свойств **Нач. условия#0** задайте:

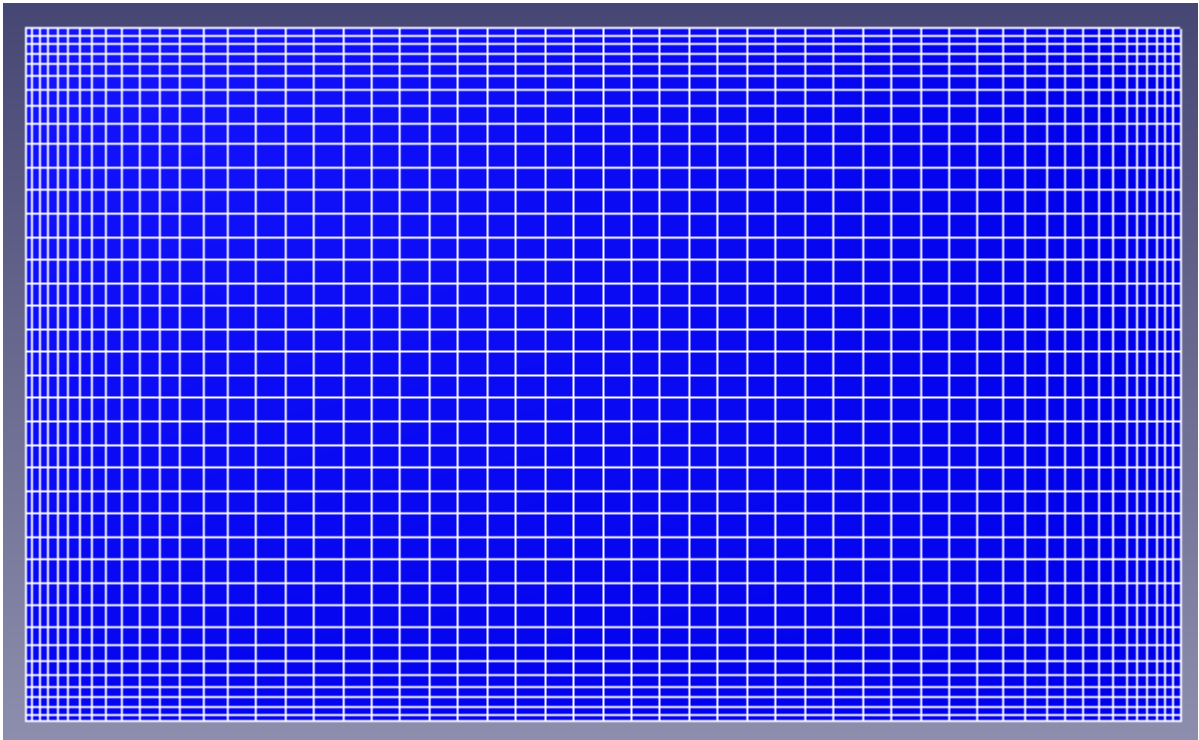
Объект	= Параллелепипед #0
Нач. данные	= Нач. данные #0

Таким образом, в объеме параллелепипеда установлено значение объема фазы  $VoF=1$ , что соответствует наличию в начальный момент времени в расчетной области столба воды с размерами  $2 \times 2$ .

*Примечание:*

Поскольку начальные данные присваиваются всем ячейкам, даже частично соприкасающимся с параллелепипедом, следует установить **Размер** параллелепипеда несколько меньше требуемого, чтобы не захватить лишние ячейки.

## 4.4.1.4 Начальная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**  
 Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

OX

Параметры сетки:

kh_max	= 2	
d_min	= 0.05	[м]
h_max	= 0.125	[м]
h_min	= 0.03	[м]

Вставьте базовые линии с координатами

x1	= 1	[м]
x2	= 4	[м]

Параметры базовой линии

Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.03	[м]
Коорд.	= 1	[м]
h	= 0.125	[м]
Коорд.	= 4	[м]
h	= 0.125	[м]
Коорд.	= 5	[м]
h	= 0.03	[м]

OY

Параметры сетки:

kh_max	= 2	
d_min	= 0.05	[м]
h_max	= 0.1	[м]
h_min	= 0.03	[м]

Вставьте базовые линии с координатами

x1	= 0.5	[м]
x2	= 2.5	[м]

Параметры базовой линии

Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.03	[м]
Коорд.	= 0.5	[м]
h	= 0.1	[м]
Коорд.	= 2.5	[м]

h	= 0.1	[м]
Коорд.	= 2.5	[м]
h	= 0.03	[м]

Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nZ = 1

#### 4.4.1.5 Параметры расчета

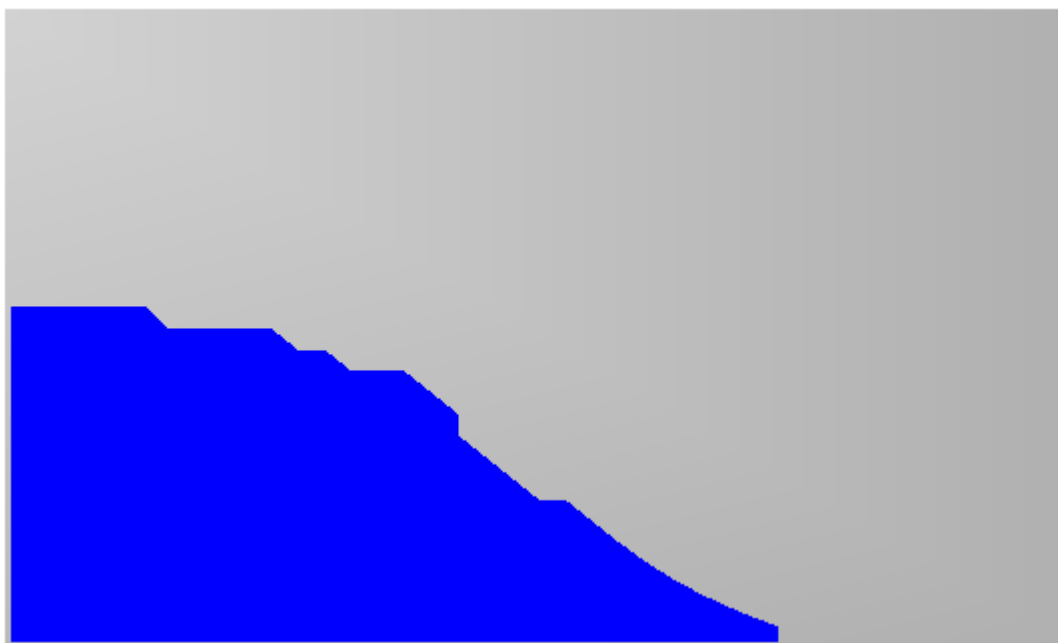
Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ	= Числом КФЛ	
Число КФЛ	= 1	
Макс. шаг	= 0.1	[с]

#### 4.4.1.6 Визуализация результатов

Визуализируйте [распределение жидкости](#) в плоскости симметрии.

##### 4.4.1.6.1 Распределение жидкости



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:

Объект

Нормаль  
Z 1

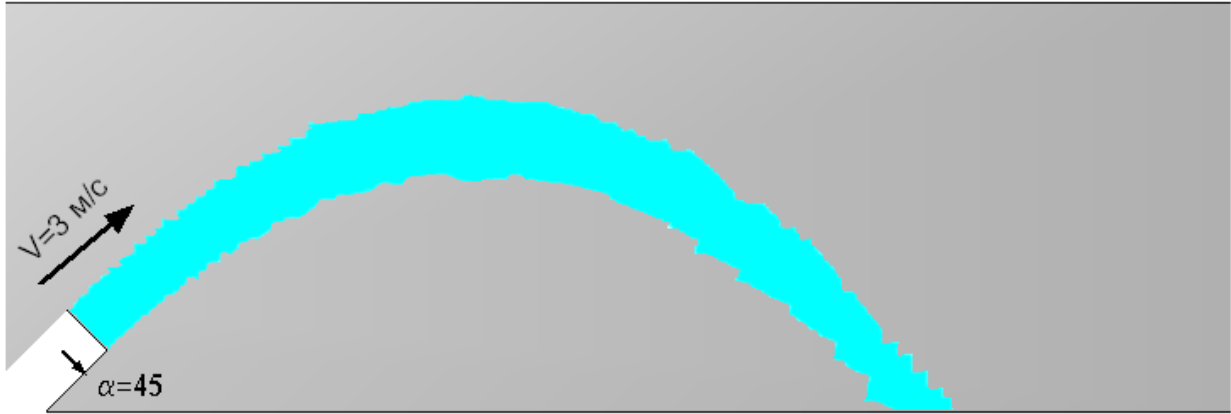
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:

Переменная

Переменная ОбъемФазы

### 4.4.2 Свободная струя

В данном примере рассматривается движение свободной двумерной струи в поле силы тяжести



Параметры задачи:

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

Входные параметры:

Скорость потока	= 3	[м с <sup>-1</sup> ]
Начальный угол потока к горизонту	= 45	

Геометрия

FreeJet.STL  
FreeJet

Проект:

#### 4.4.2.1 Физическая модель

В папке **Общие установки** задайте:

Вектор гравитации

X	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]
Y	= -9.8	[м с <sup>-2</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 0.001	[кг (м с) <sup>-1</sup> ]

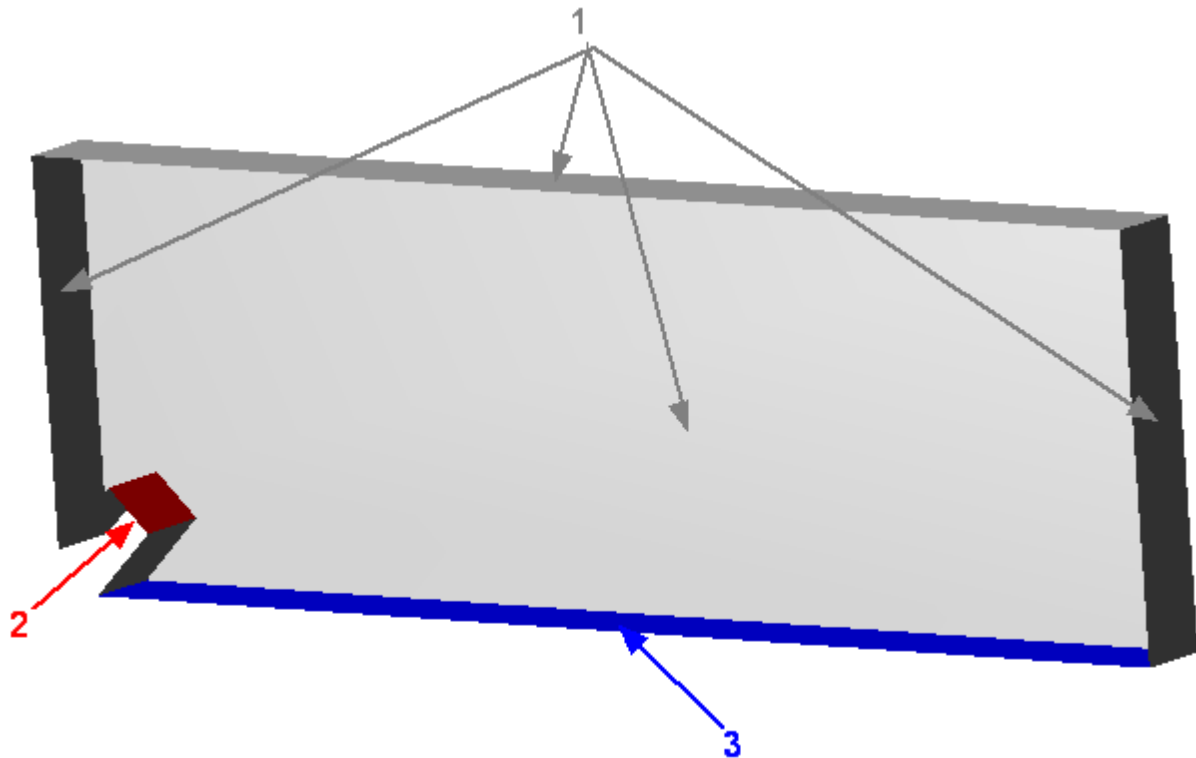
В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:  
    Движение = Ньютоновская жидкость
- Создайте непрерывную **Фазу#1**
  
- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0** и **Фазу#1**



### 4.4.2.2 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1			
Тип		= Симметрия	
Переменные			
Скорость		= Проскальзывание	
ОбъемФазы		= Нулевой поток	
Граница 2			
Тип		= Вход/Выход	
Переменные			
Скорость		= Нормальная массовая скорость	
Массовая скорость		= 3000	[кг (м <sup>2</sup> с) <sup>-1</sup> ]
ОбъемФазы		= Значение	
Значение		= 1	
Граница 3			
Тип		= Вход/Выход	
Переменные			
Скорость		= Давление	
Значение		= 0	[Па]
ОбъемФазы		= Нулевой поток	

### 4.4.2.3 Начальные условия

В задачах со свободной поверхностью необходимо, чтобы в начальный момент времени в области присутствовал объем жидкости.

Задайте начальный объем жидкости в районе входа:

- в свойствах элемента **Нач.данные#0** в **Модели #0**:

Скорость			
X	= 1.7	[м с <sup>-1</sup> ]	
Y	= 1.7	[м с <sup>-1</sup> ]	
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]	
ОбъемФазы			

Значение = 1

- в папке **Объекты** создайте **Параллелепипед#0**

- в окне свойств **Параллелепипеда#0** задайте:

Расположение

Опорная точка

X = 0.1 [M]

Y = 0.1 [M]

Z = 0.05 [M]

Ось X

X = 1

Y = 1

Z = 0

Размер

X = 0.1 [M]

Y = 0.07 [M]

Z = 0.1 [M]

- в **Подобласти #0** окне свойств **Нач. условия#0** задайте:

Объект = Параллелепипед #0

Нач. данные = Нач. данные #0

*Примечание:*

После нажатия кнопки **Применить** в окне свойств **Параллелепипеда #0** вектора системы координат параллелепипеда будут автоматически переориентированы и проортонормированы.

#### 4.4.2.4 Начальная расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

**nX** = 400

**nY** = 200

**nZ** = 1

#### 4.4.2.5 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ = Числом КФЛ

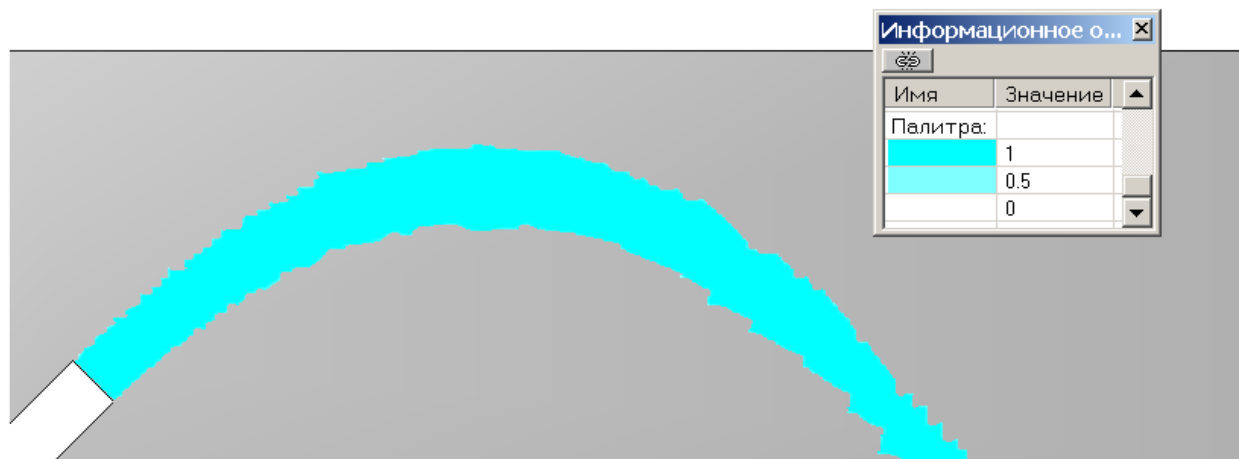
Число КФЛ = 1

Макс. шаг = 0.01 [с]

#### 4.4.2.6 Визуализация результатов

Визуализируйте [распределение жидкости](#) в плоскости симметрии.

## 4.4.2.6.1 Распределение жидкости



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
Объект  
Нормаль  
Z 1
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
Переменная  
Переменная ОбъемФазы

## 5 Дополнительные возможности

В данном разделе будут описаны следующие дополнительные возможности FlowVision HPC:

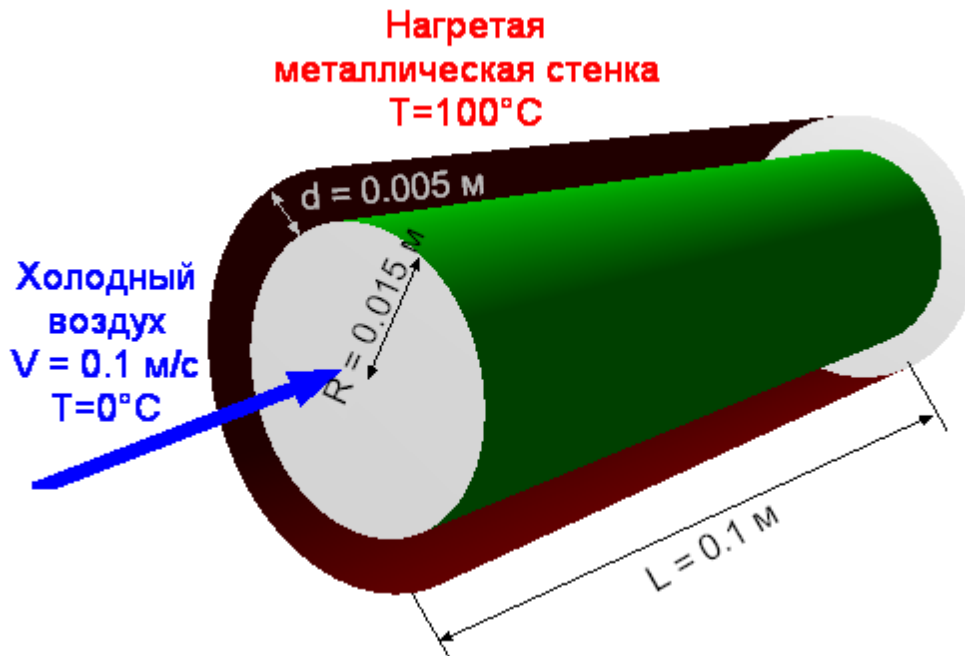
1. [Сопряжение](#)
2. [Вращение](#)
3. [Подвижные тела](#)

## 5.1 Сопряжение

Сопряженные задачи - задачи, в которых необходимо учитывать взаимодействие между различными подобластями или различными границами одной подобласти.

### 5.1.1 Сопряженный конвективный теплообмен

Рассмотрим моделирование ламинарного течения вязкого холодного воздуха в трубе с толстой металлической стенкой, нагретой с внешней стороны.



В подобных задачах возникает проблема подготовки геометрической модели – возникает ситуация так называемых T-образных поверхностей.

Проблема загрузки геометрии в подобных задачах решается несколькими способами:



- Задать две трубы и жидкость внутри трубы как два отдельных твердых тела. Недостаток этого способа состоит в том, что таким образом вдвое увеличивается расчетная область.
- Изменить геометрию, добавив тонкие стенки там, где были T-образные поверхности. На границе этих фиктивных стенок задаются адиабатические граничные условия (симметрия). Недостаток этого способа заключается в том, что он искажает физическую картину процесса. Если в задаче решается уравнение энергии, введение таких стенок приведет к возникновению тепловых мостов.

На сегодняшний день во FlowVision HPC реализован второй способ.

Параметры задачи:

Размеры:

Длина трубы	L	= 0.1	[м]
Радиус внутренней части трубы	R	= 0.015	[м]
Толщина стенок	d	= 0.005	[м]

Входные параметры

Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 0.1	[м·с <sup>-1</sup> ]
Температура на входе	$T_{inl}$	= 0	[С]
Температура внешней стенки	$T_w$	= 100	[С]

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 1.82e-5	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	$\lambda$	= 0.026	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p$	= 1009	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

Параметры твердого тела

Плотность	$\rho$	= 7900	[кг м <sup>-3</sup> ]
Теплопроводность	$\lambda$	= 45	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	$c_p$	= 457	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{2RV_{inl}}{\mu} = \frac{2 \cdot 0.015 \cdot 0.1 \cdot 1}{1.82 \cdot 10^{-5}} \approx 165$$

Геометрия:

**Conjugate\_Convection.STL**

Проект:

**Conjugate\_Convection**

### 5.1.1.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Название	=	Сталь	
Агрегатное состояние	=	Твердое тело	
Плотность	Значение	= 7900	[кг м <sup>-3</sup> ]
Теплопроводность	Значение	= 45	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	Значение	= 457	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

- Создайте **Вещество#1**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Название	=	Воздух	
Агрегатное состояние	=	Жидкость	
Плотность	Значение	= 1	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	Значение	= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	Значение	= 0.026	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	Значение	= 1009	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В папку **Вещества Фазы#0** загрузите **Сталь**.
- В окне свойств папки **Физические процессы** задайте:  
Теплоперенос = Конвекция и теплопроводность
- Создайте непрерывную **Фазу#1**
- В папку **Вещества Фазы#1** загрузите **Воздух**.
- В окне свойств папки **Физические процессы** задайте:  
Движение = Ньютоновская жидкость  
Теплоперенос = Конвекция и теплопроводность

В папке **Модели**:

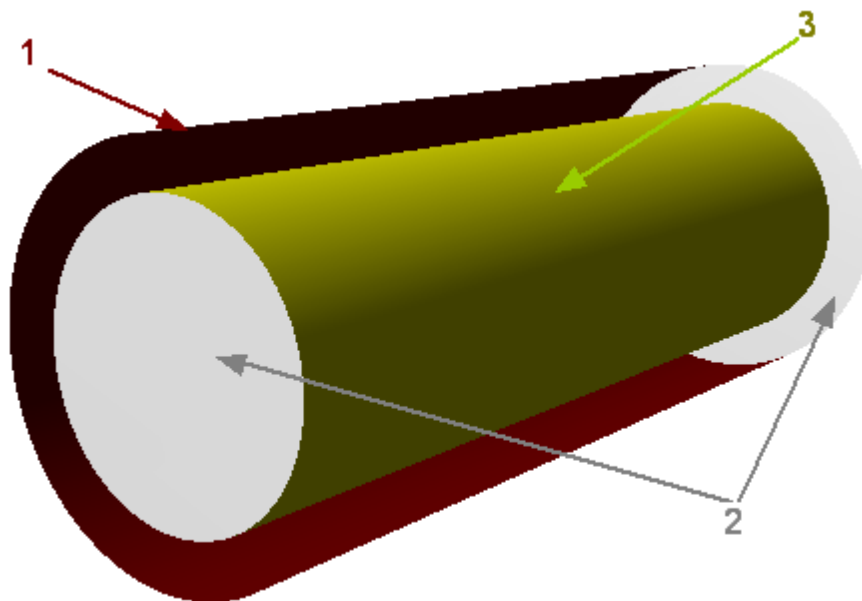
- Создайте **Модель#0**
- В папку **Фазы Модели#0** загрузите **Фазу#0**
- Создайте **Модель#1**
- В папку **Фазы Модели#1** загрузите **Фазу#1**
- В **Нач.данных#0** задайте:

Скорость	X	= 0	[M]
	Y	= 0	[M]
	Z	= 0.1	[M]

### 5.1.1.2 Граничные условия

В окне свойств подобласти между внешней и внутренней трубами задайте:

Название = Труба  
Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Название = Внешняя стенка

Тип = Стенка

Переменные

Температура = Значение

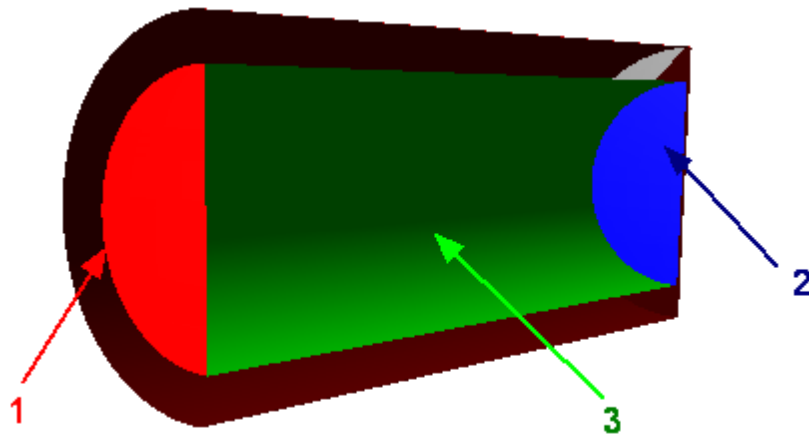
Значение = 100 [C]

Граница 2

Название	= Стенка
Тип	= Стенка
Переменные	
Температура	= Нулевой поток
Граница 3	
Название	= Внутренняя стенка
Тип	= Связанный

В окне свойств **Подобласти#1** задайте:

Название	= Жидкость
Модель	= Модель#1



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1		
Название	= Вход	
Тип	= Вход/Выход	
Переменные		
Скорость	= Нормальная массовая скорость	
Значение	= 0.1	[кг (м <sup>2</sup> с) <sup>-1</sup> ]
Температура	= Значение	
Значение	= 0	[С]

Граница 2		
Название	= Выход	
Тип	= Свободный выход	
Переменные		
Скорость	= Давление	
Значение	= 0	[Па]
Температура	= Нулевой поток	

Граница 3	
Название	= Стенка
Тип	= Связанный

### 5.1.1.3 Связывание подобластей

Связывание граничных условий состоит из следующих этапов:

- Создание **Связки** из 2 граничных условий и типом **Связанный**
- Создание **Условия связи**
- Установление соответствия между **Связкой** и **Условием связи**

Создайте **Связку#0**:



- Выберите **Создать** в контекстном меню папки **Связки**
- В окне **Образование связи** задайте:

Список несвязанных ГУ = Труба: Внутренняя стенка  
 Список несвязанных ГУ = Жидкость: Стенка

Регион  
 P-t-1  
 T-t-1  
 Общие установки  
 Вещества  
 Фазы  
 Модели  
 Локальные системы координат  
 Объекты  
 Характеристики  
 Пользовательские переменные  
 Подобласти  
 Граничные связи  
 Условия связи  
 Связки  
 Несвязанные ГУ  
 Начальная сетка

Регион  
 P-t-1  
 T-t-1  
 Общие установки  
 Вещества  
 Фазы  
 Модели  
 Локальные системы координат  
 Объекты  
 Характеристики  
 Пользовательские переменные  
 Подобласти  
 Граничные связи  
 Условия связи  
 Связки  
 Связка #0  
 Подобласть #0 : ГУ #2  
 Подобласть #1 : ГУ#0  
 Несвязанные ГУ  
 Начальная сетка

**Образование связи**

Связка  
 Связка

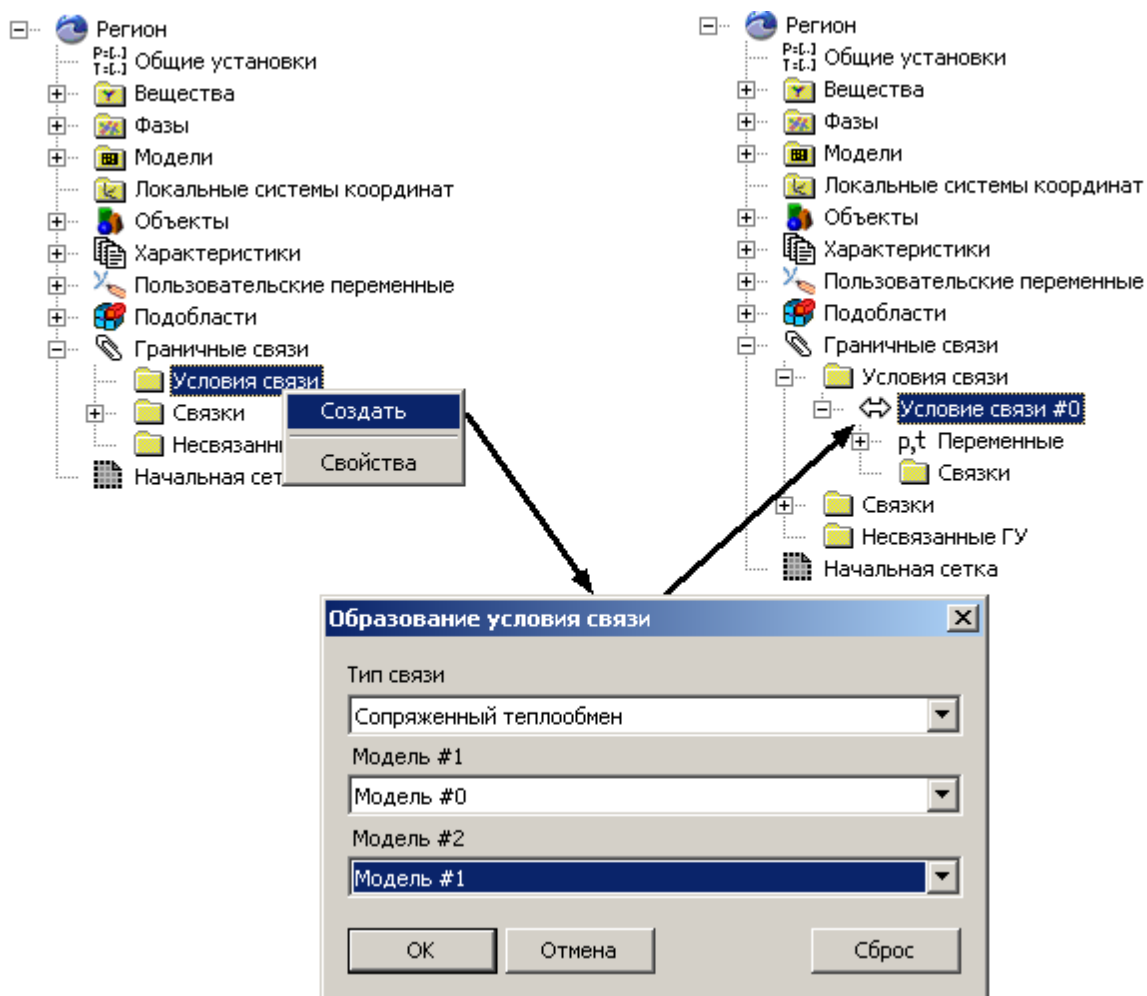
Список несвязанных ГУ  
 Подобласть #0 : ГУ #2

Список несвязанных ГУ  
 Подобласть #1 : ГУ#0

ОК Отмена Сброс

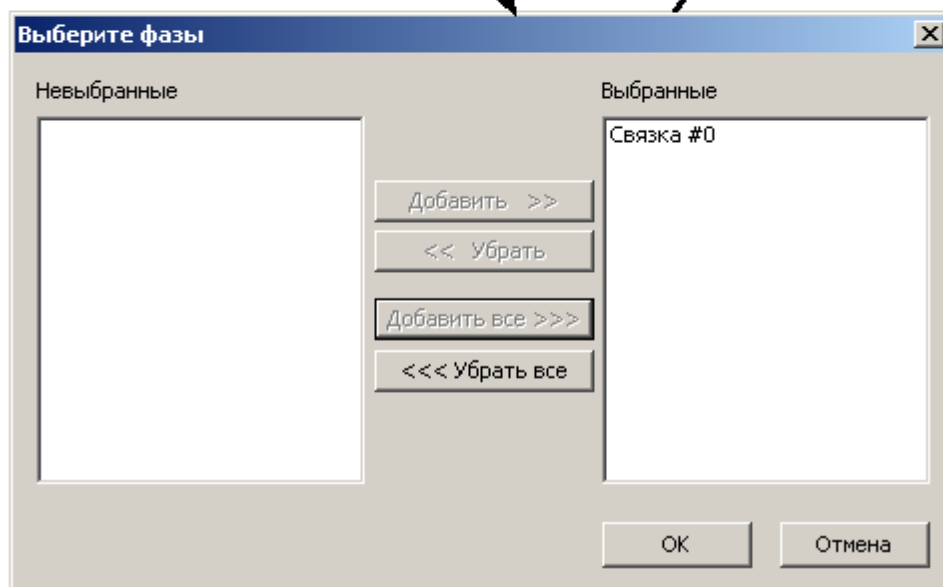
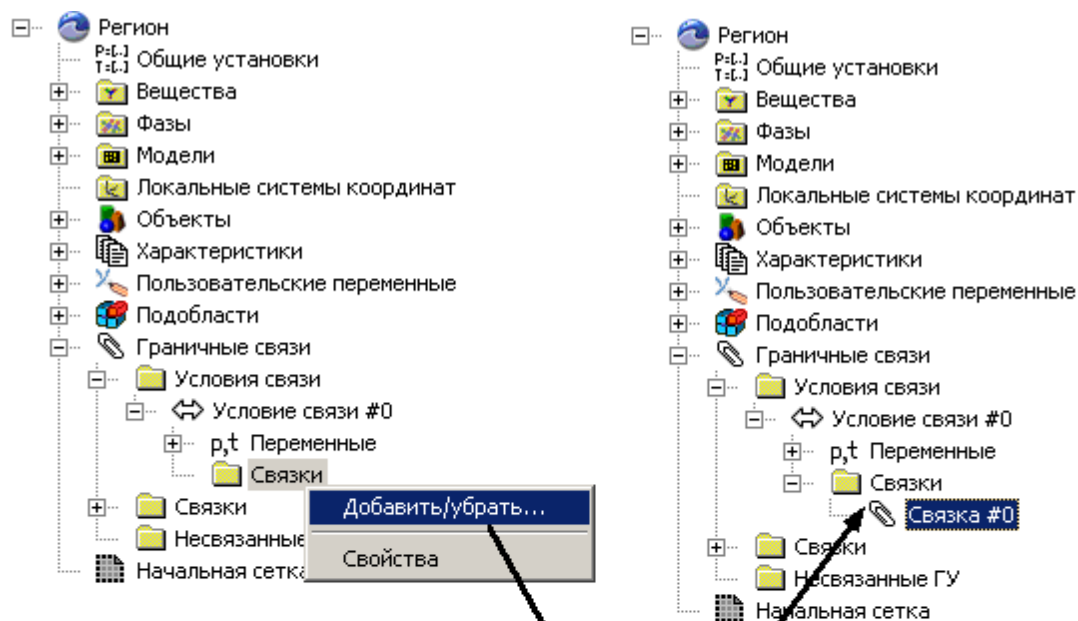
Создайте **Условие связи#0**:

- Выберите **Создать** в контекстном меню папки **Условия связи**
- В окне **Образование условия связи** задайте:
  - Тип связи = Сопряженный теплообмен
  - Модель#1 = Труба
  - Модель#2 = Жидкость

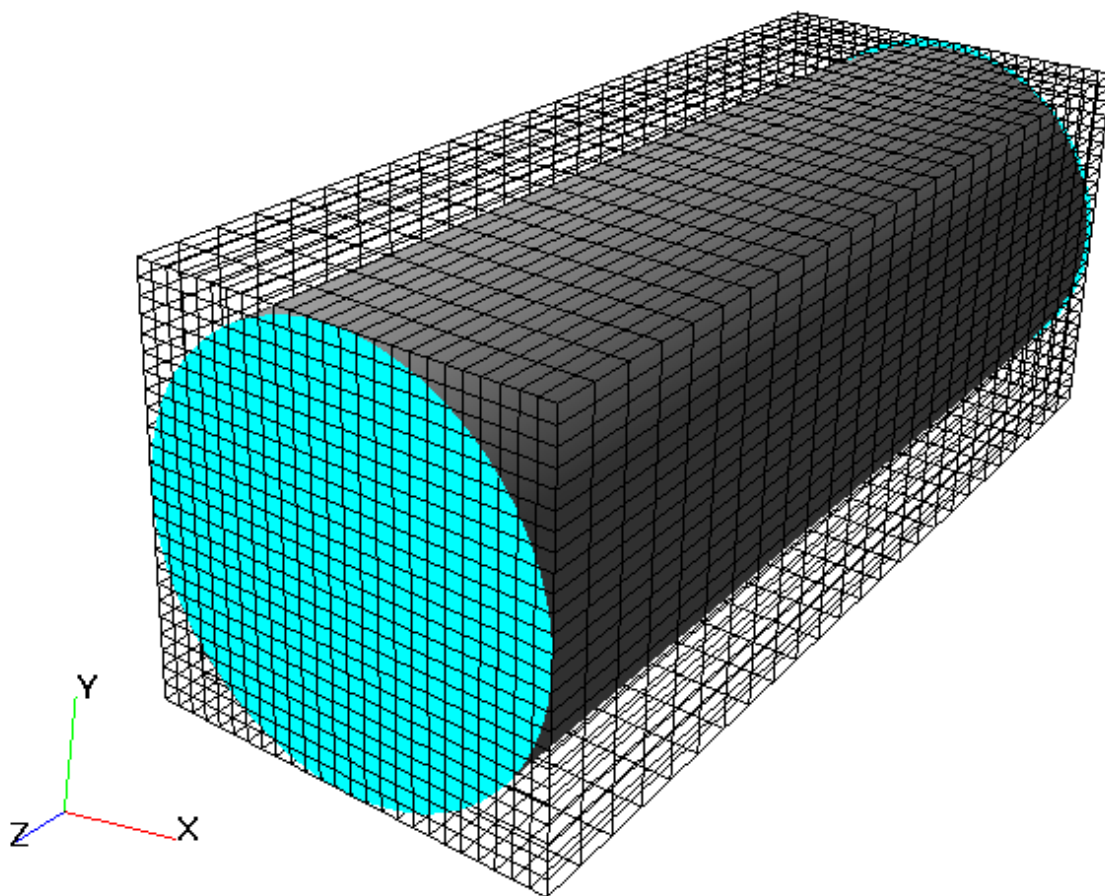


Установите соответствие между **Связкой** и **Условием связи**:

- В папке **Условие связи#0** в контекстном меню папки **Связки** выберите **Добавить/Убрать**
- Добавьте **Связку#0**



### 5.1.1.4 Начальная расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 25  
nY = 25  
nZ = 25

### 5.1.1.5 Адаптация расчетной сетки

В данном примере необходимо проадаптировать сетку внутри подобласти твердых стенок трубы и около стенки в подобласти течения.

Для того, чтобы проадаптировать сетку внутри **Подобласти#0**, создайте критерий адаптации:

- В **Подобласти#0** в контекстном меню папки **Адаптация** выберите **Создать**
- В окне свойств созданного элемента **Адаптация# 0** задайте:
 

Активность	= Да
Объект	= Пространство
Макс.уровень	= 1
Разбить/Слить	= Разбить
Область	= В объеме

В **Подобласти#1** в свойствах **Границы 3** (в интерфейсе **ГУ#2**) задайте:

Адаптация	
Включить	= Да
Макс.уровень	= 1
Слоев ячеек	= 1

### 5.1.1.6 Параметры расчета

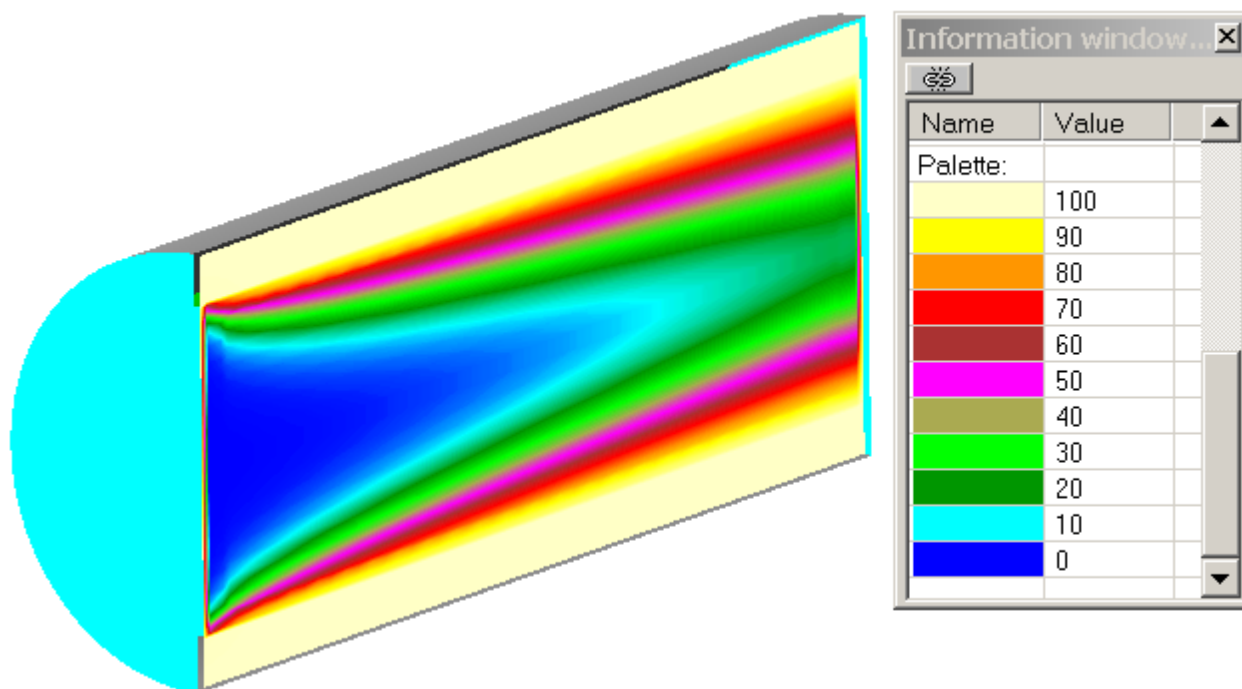
На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

Способ = в секундах  
Постоянный шаг = 2 [с]

### 5.1.1.7 Визуализация результатов

Визуализируйте **распределение температуры** в плоскости течения

#### 5.1.1.7.1 Распределение температуры



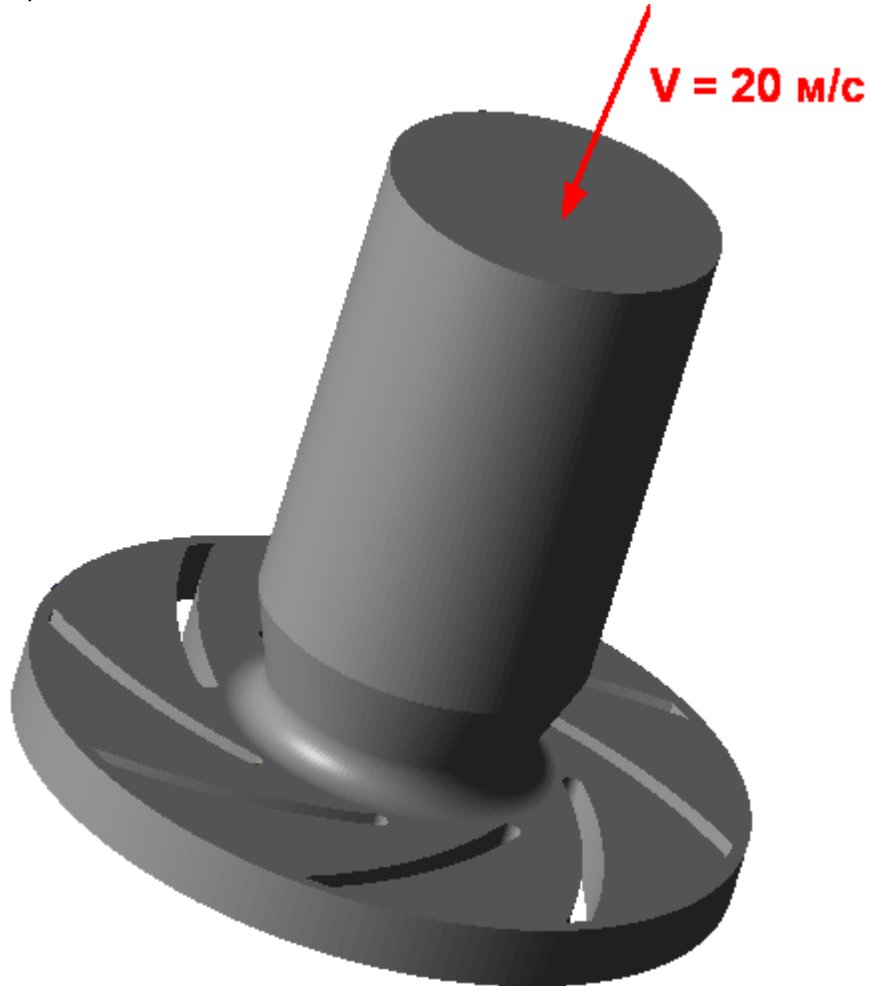
- Создайте слой Цветовые контуры на Плоскости,
- В окне Свойства задайте:  
Переменная                      Переменная                      Температура

## 5.2 Вращение

FlowVision HPC позволяет учитывать вращение поверхностей в выбранной системе координат. При этом, приложение позволяет учитывать как нормальную и тангенциальную составляющую скорости вращения, так и только тангенциальную.

### 5.2.1 Ротор

В этом примере моделируется турбулентное вязкое движение несжимаемой жидкости между лопатками вращающегося ротора.



Параметры задачи:

Размеры:

Длина входного участка	L	= 0.17	[м]
Радиус ротора	R	= 0.1	[м]
Толщина лопатки	d	= 0.05	

Входные параметры

Скорость на входе:	$V_{inl}$	= 20	[м·с <sup>-1</sup> ]
Скорость вращения	$\omega$	= 300	[рад·с <sup>-1</sup> ]

Параметры жидкости:

Плотность	$\rho$	= 1	[кг·м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= $1.82 \cdot 10^{-5}$	[кг·м <sup>-1</sup> ·с <sup>-1</sup> ]

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_{inl} D_p}{\mu} = \frac{20 \cdot 0.05 \cdot 1}{1.82 \cdot 10^{-5}} \approx 5 \cdot 10^4$$

Геометрия:

**Rotor.STL**

Проект:

**Rotor**

### 5.2.1.1 Физические параметры

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	=	Жидкость	
Плотность			
Значение	=	1	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость			
Значение	=	1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки Физические процессы:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Турбулентность	=	Стандартная к-е модель

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**

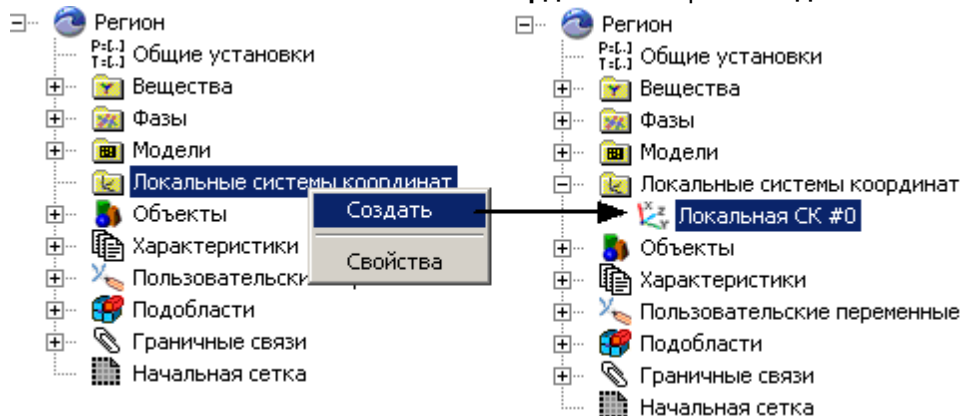
### 5.2.1.2 Вращение

Для того, чтобы задать вращение поверхности, необходимо:

- Создать **Локальную систему координат**, в которой относительно которой будет происходить вращение
- Задать **Вращение** в **Локальной системе** координат
- Установить **Вращение** на поверхности

Создайте **Локальную систему координат**:

- В контекстном меню папки **Локальные системы координат** выберите **Создать**



Задайте **Вращение**:

- В контекстном меню **Локальной СК#0** выберите **Добавить вращение**
- Задайте в окне свойств **Вращения#0**

Скорость	=	300	[рад с <sup>-1</sup> ]
Направление			
X	=	0	
Y	=	0	
Z	=	1	

The screenshot shows the 'Регион' (Region) tree on the left. A context menu is open over 'Локальная СК #0', with 'Добавить вращение' (Add rotation) selected. This action has created a 'Вращение #0' (Rotation #0) object in the tree. To the right, a table shows the properties for this rotation:

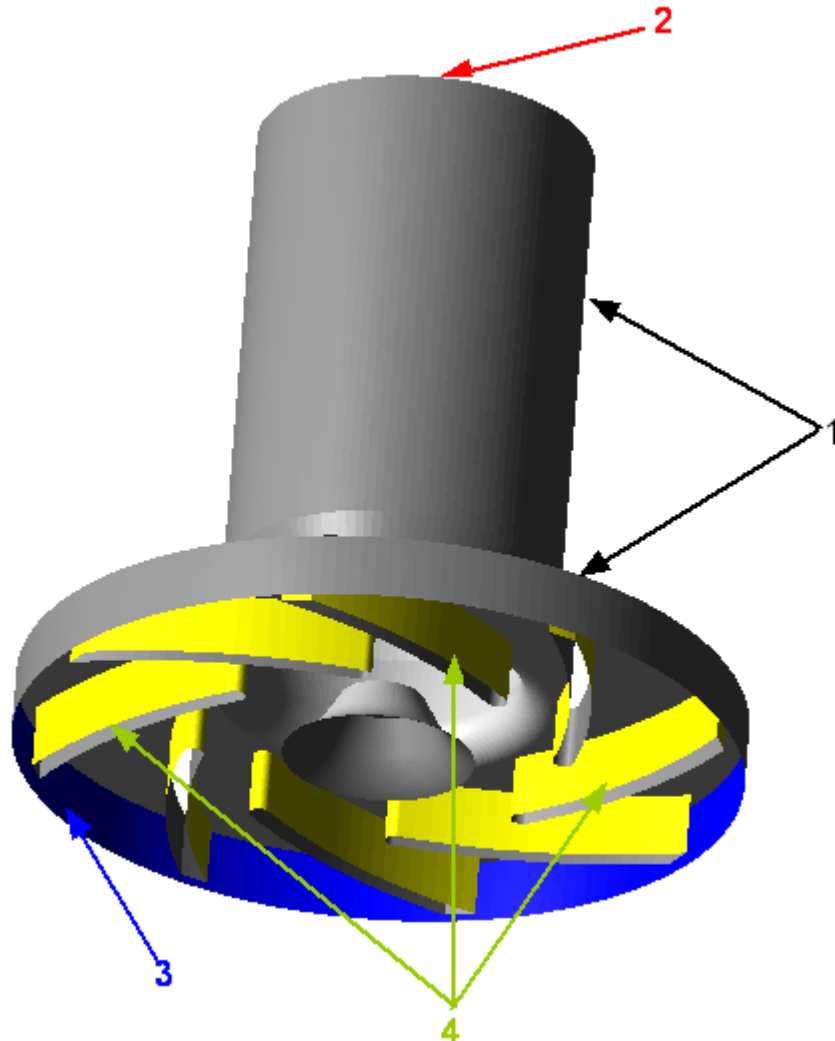
— Название	Вращение #0
— Скорость	300
— Центр	(X=0; Y=0; Z=0)
— Направление	(X=0; Y=0; Z=1)
— X	0
— Y	0
— Z	1

Для того, чтобы включить учет нормальной компоненты скорости при вращении, в свойствах **Региона** задайте:

- Локальная СК = Локальная СК#0
- Вращение = Вращение#0

### 5.2.1.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



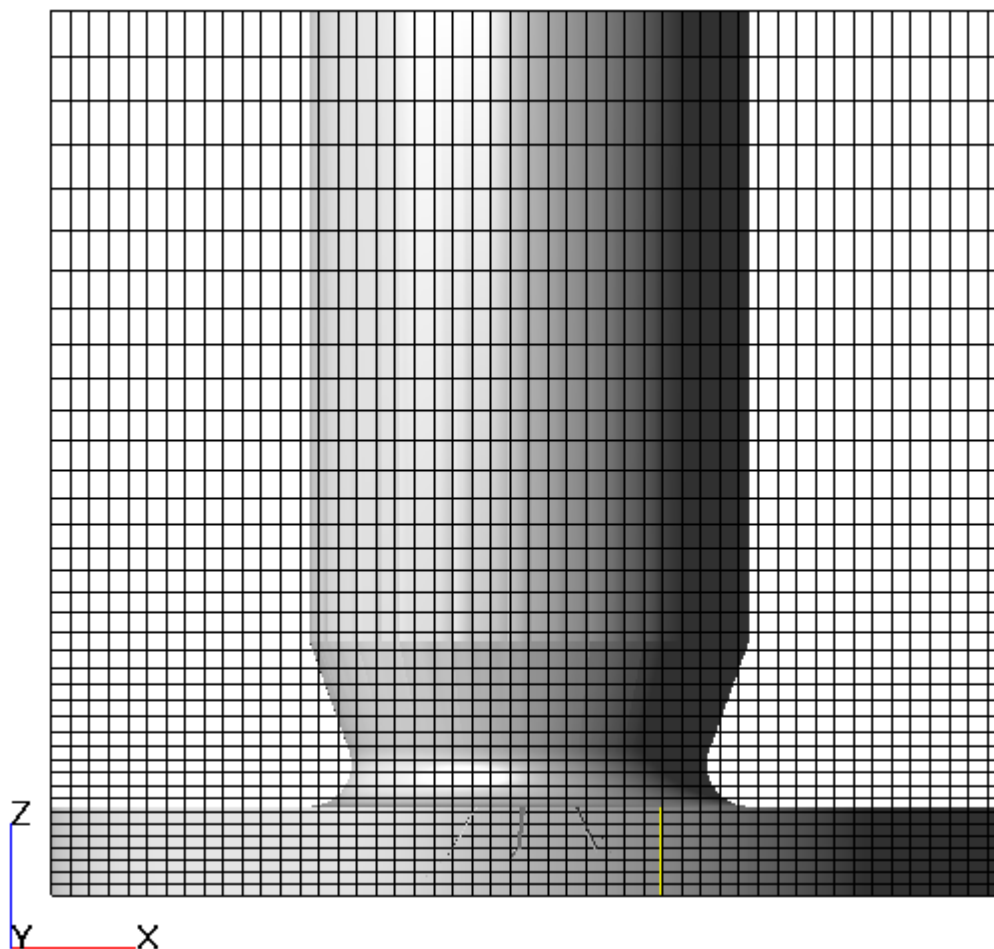
Задайте следующие граничные условия:

- Граница 1
- Тип = Стенка



Переменные			
Скорость		= Логарифмический закон	
ТурбЭнергия		= Значение в ячейке рядом со стенкой	
ТурбДиссипация		= Значение в ячейке рядом со стенкой	
Граница 2			
Тип		= Вход/Выход	
Переменные			
Скорость		= Нормальная массовая скорость	
Массовая скорость		= 20	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
ТурбЭнергия		= Пульсации	
Значение		= 0.01	
ТурбДиссипация		= Масштаб турбулентности	
Значение		= 0.01	[м]
Граница 3			
Тип		= Свободный выход	
Переменные			
Скорость		= Давление	
Значение		= 0	[Па]
ТурбЭнергия		= Пульсации	
Значение		= 0.01	
ТурбДиссипация		= Масштаб турбулентности	
Значение		= 0.01	[м]
Граница 4			
Тип		= Стенка	
Локальная СК		= Локальная СК#0	
Вращение		= Вращение#0	
Переменные			
Скорость		= Логарифмический закон	
ТурбЭнергия		= Значение в ячейке рядом со стенкой	
ТурбДиссипация		= Значение в ячейке рядом со стенкой	

### 5.2.1.4 Начальная расчетная сетка



Задайте при помощи **Редактора начальной сетки**:

OZ

Параметры сетки:

kh_max	= 2	
d_min	= 0.05	[м]
h_max	= 0.01	[м]
h_min	= 0.0025	[м]

Параметры базовой линии

Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.0025	[м]
kh+	= 1	
Коорд.	= 0.189	[м]
h	= 0.01	[м]
kh-	= 0.5	

Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX	= 50
nY	= 50

### 5.2.1.5 Адаптация расчетной сетки

В свойствах **Границы 4 (ГУ#3)** задайте:

Адаптация

Включить	= Да
Макс.уровень	= 1
Слоев ячеек	= 1

### 5.2.1.6 Параметры расчета

На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

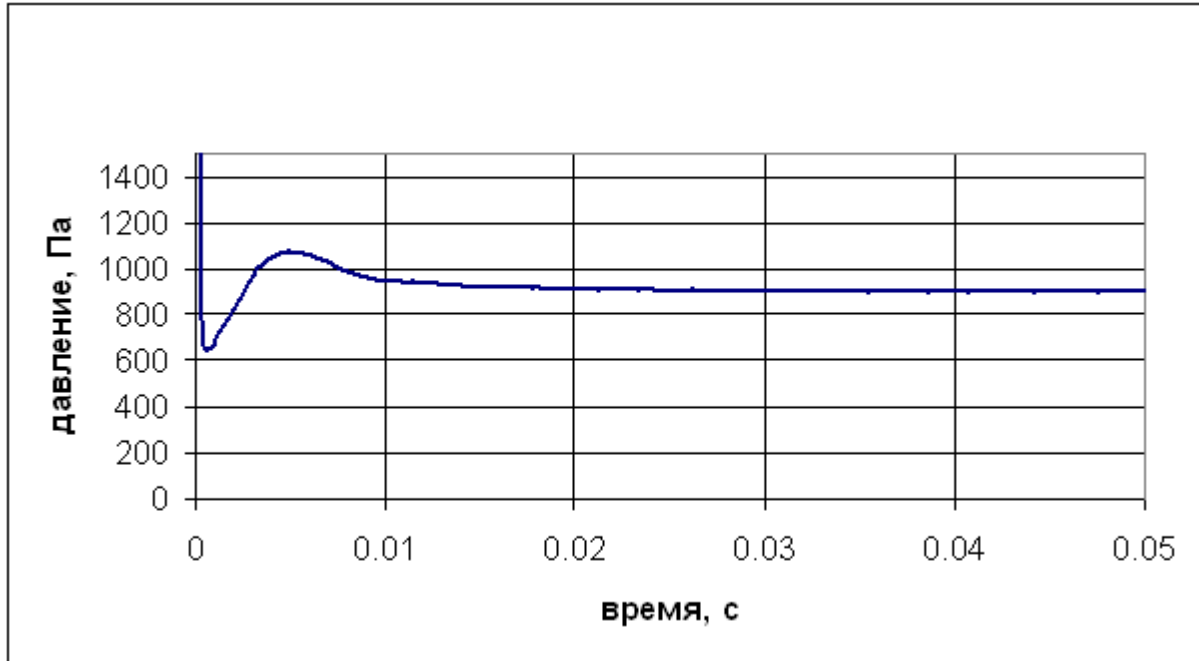
Способ = в секундах  
 Постоянный шаг = 0.0001 [с]

### 5.2.1.7 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты:

1. [Динамику давления на входе](#)
2. [Распределение скоростей](#) в плоскости вращения лопаток

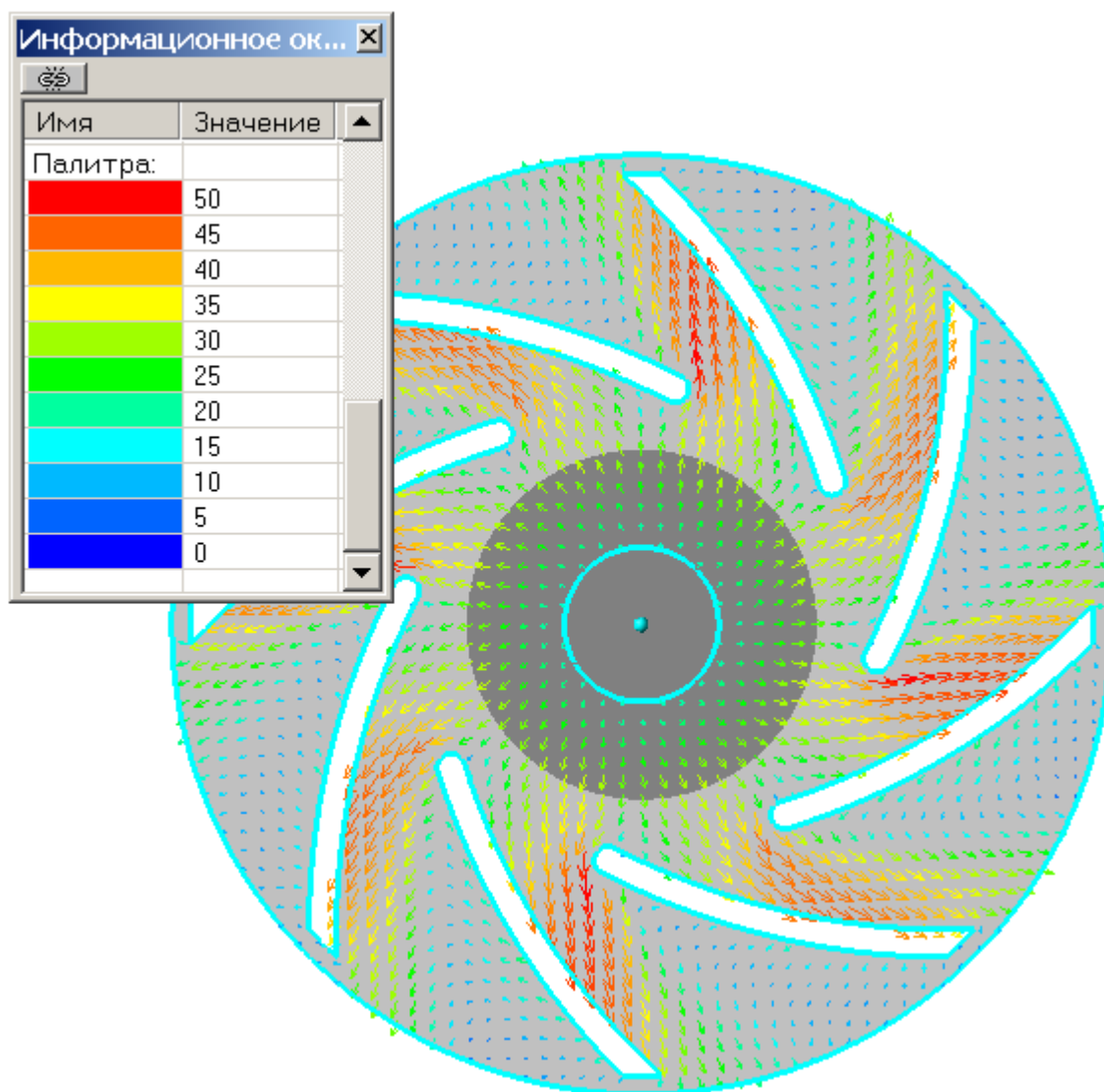
#### 5.2.1.7.1 Динамика давления



- Создайте **Супергруппу** в **Постпроцессоре** на базе **ГУ Вход**
- Создайте **Характеристики** на **Супергруппе**,
- В окне **Свойства Характеристик** задайте:
 

Характеристики		
Переменная	Переменная	Давление
Сохранение в файл		
Режим		Автоматический

## 5.2.1.7.2 Распределение скоростей



- В окне **Свойства Плоскости#0** задайте

Объект

Опорная точка

X = 0

Y = 0

Z = 0.01

Нормаль

X = 0

Y = 0

Z = 1

- Создайте слой **Векторы** на **Плоскости#0**,

- В окне **Свойства Векторов** задайте:

Переменная

Переменная

Скорость

Раскраска

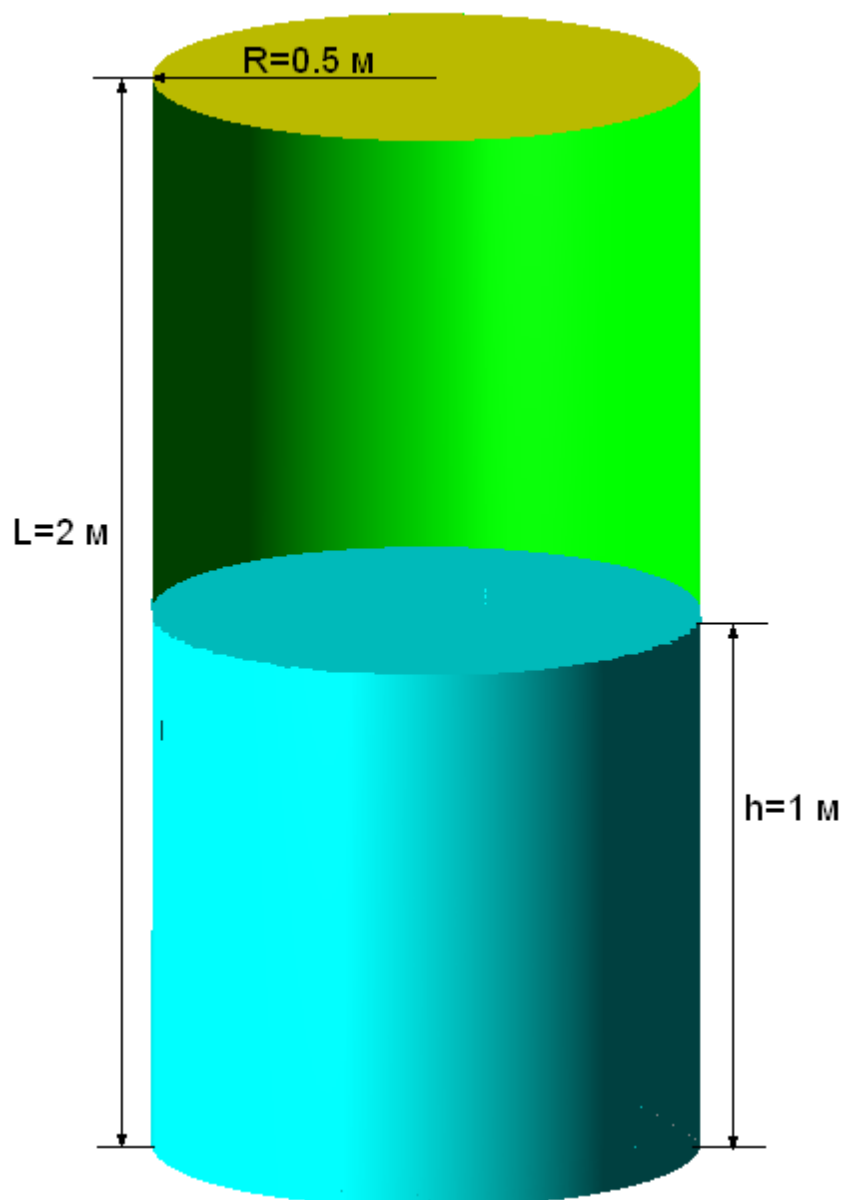
Переменная

Переменная

Скорость

## 5.2.2 Бак

В данном примере моделируется вращение бака, наполовину заполненного жидкостью.



Параметры задачи:

Размеры:

Высота бака  $L = 2$  [м]

Радиус бака  $R = 0.5$  [м]

Параметры стенки

Скорость вращения  $\omega = 10$  [рад  $\text{с}^{-1}$ ]

Параметры жидкости:

Плотность  $\rho = 1000$  [кг  $\text{м}^{-3}$ ]

Вязкость  $\mu = 100$  [кг  $\text{м}^{-1} \text{с}^{-1}$ ]

Уровень жидкости  $h = 1$  [м]

Геометрия:

**Bak.STL**

Проект:

**Bak**

### 5.2.2.1 Физическая модель

В папке **Общие установки** задайте:

Вектор гравитации

$X = 0$  [м  $\text{с}^{-2}$ ]

Y	= -9.8	[м с <sup>-2</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 100	[кг (м с) <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
Перенос фазы	= Модель VoF
- Создайте непрерывную **Фазу#1**
- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0** и **Фазу#1**

### 5.2.2.2 Вращение

Создайте **Локальную систему координат**:

- В контекстном меню папки **Локальные системы координат** выберите **Создать**

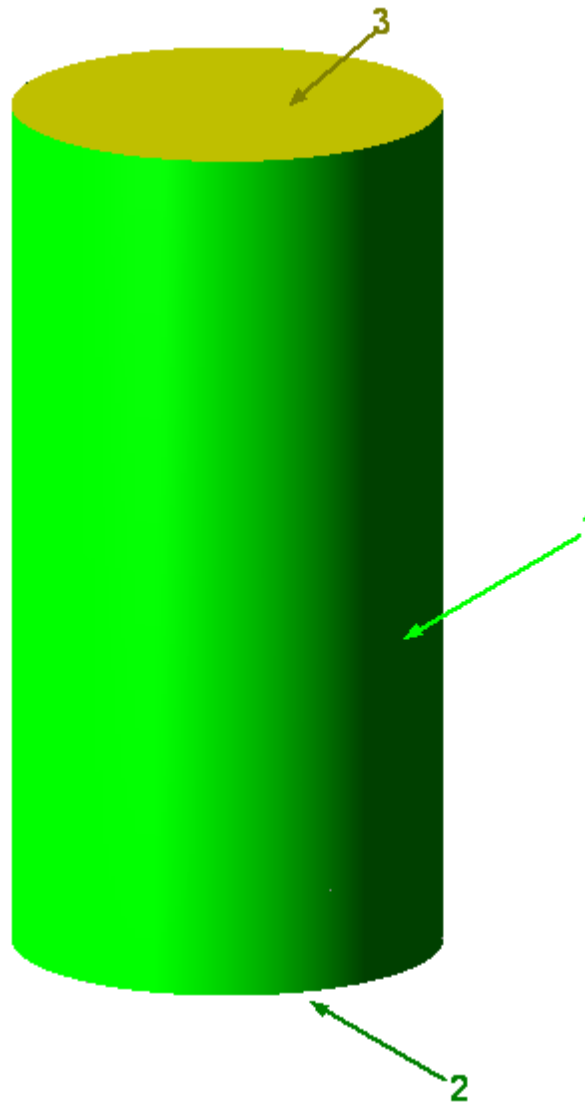
Задайте **Вращение**:

- В контекстном меню **Локальной СК#0** выберите **Добавить вращение**
- Задайте в окне свойств **Вращения#0**

Скорость	= 10	[рад с <sup>-1</sup> ]
Направление		
X	= 0	
Y	= 1	
Z	= 0	

### 5.2.2.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1, 2

Тип	= Стенка
Локальная СК	= Локальная СК #0
Вращение	= Вращение #0
Переменные	
Скорость	= Прилипание
ОбъемФазы	= Нулевой поток

Граница 3

Тип	= Свободный выход
Переменные	
Скорость	= Давление
Значение	= 0 [Па]
ОбъемФазы	= Нулевой поток

### 5.2.2.4 Начальные условия

Задайте начальный объем жидкости:

- в свойствах элемента **Нач.данные#0** в **Модели #0**:

ОбъемФазы	
Значение	= 1

- в папке **Объекты** создайте **Параллелепипед#0**

- в окне свойств **Параллелепипеда#0** задайте:

Расположение

Опорная точка

X = 0 [M]

Y = 0.5 [M]

Z = 0 [M]

Размер

X = 1 [M]

Y = 0.99 [M]

Z = 1 [M]

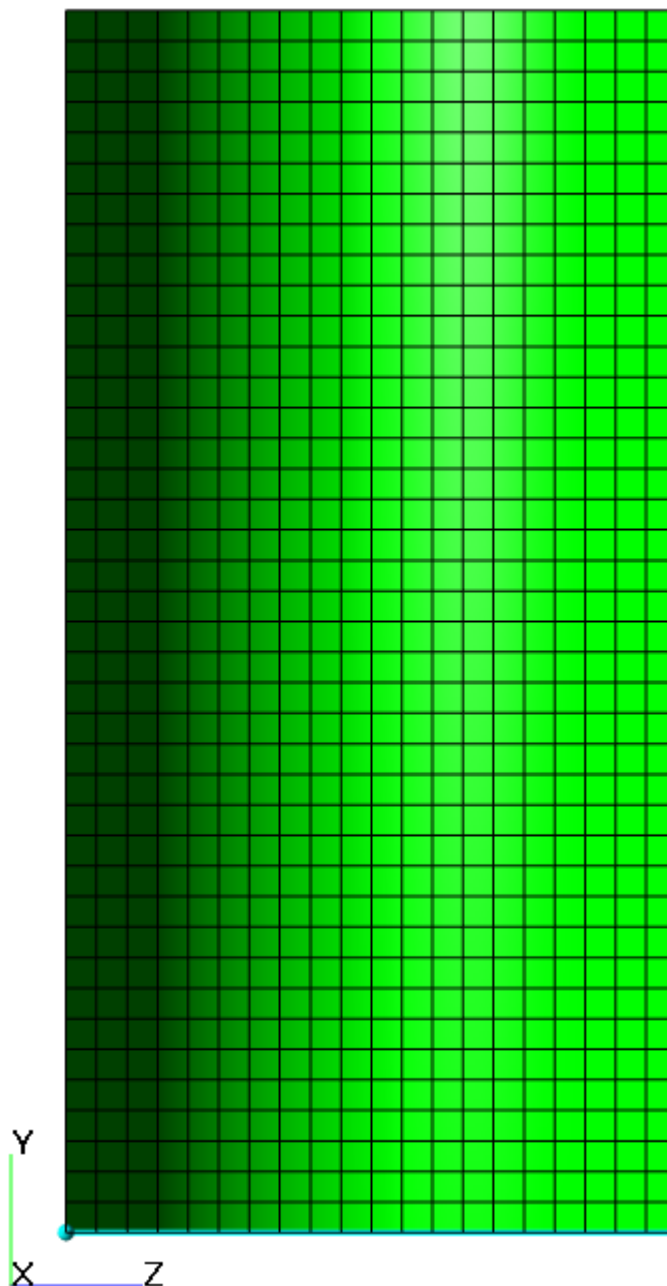
- в **Подобласти #0** окне свойств **Нач. условия#0** задайте:

Объект = Параллелепипед #0

Нач. данные = Нач. данные #0



### 5.2.2.5 Начальная расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

**nX** = 20

**nY** = 40

**nZ** = 20

### 5.2.2.6 Адаптация расчетной сетки

В свойствах **Границы 1 (ГУ#0)** задайте:

Адаптация

Включить = Да

Макс.уровень = 2

Слоев ячеек = 1

### 5.2.2.7 Параметры расчета

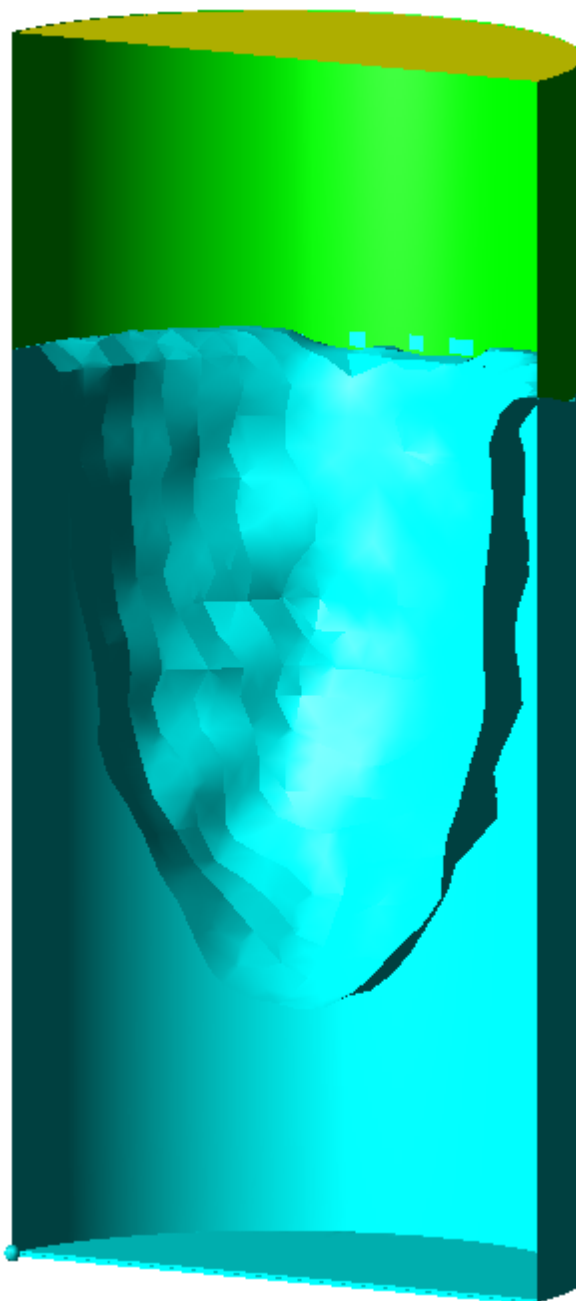
Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ	=	Числом КФЛ	
Число КФЛ	=	1	
Макс. шаг	=	1	[с]

### 5.2.2.8 Визуализация результатов

Визуализируйте [поверхность жидкости](#).

#### 5.2.2.8.1 Поверхность жидкости



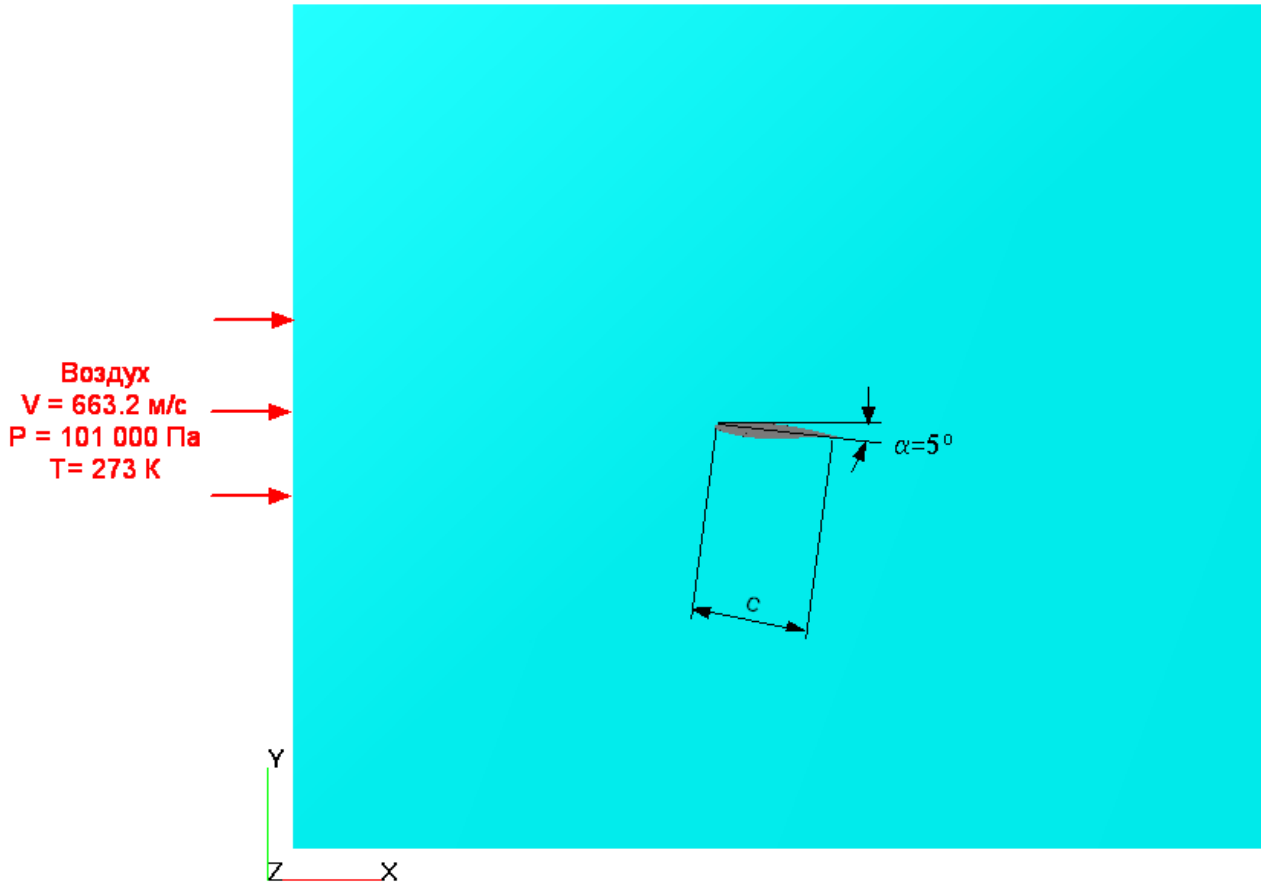
- Создайте слой **Объем фазы** на **Пространстве**

### 5.3 Подвижные тела

FlowVision HPC позволяет изменять начальное положение и моделировать движение (поступательное или вращательное) отдельных деталей геометрии. Для этого используется модуль Подвижные тела. Геометрия подвижного тела загружается из файлов, аналогичных файлам с основной геометрией.

#### 5.3.1 Сверхзвуковое обтекание крылового профиля

В данном примере рассматривается сверхзвуковое обтекание крылового профиля RAE 2822 под углом атаки 5 градусов.



Размеры:			
Длина хорды:	c	= 0.3	[м]
Размеры расчетной области		2.3 x 2 x 0.1	[м x м x м]
Угол атаки:	α	= 0°	
Параметры вещества:			
Плотность на бесконечности:	ρ <sub>ini</sub>	= 1.29	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость:	μ	= 1.82 · 10 <sup>-5</sup>	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность	λ	= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость	c <sub>p</sub>	= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]
Скорость звука:	a	= 331.6	[м с <sup>-1</sup> ]
Входные параметры:			
Давление на бесконечности:	P	= 101000	[Па]
Температура на бесконечности:	T	= 273	[К]
Скорость на входе:	V <sub>ini</sub>	= 663.2	[м с <sup>-1</sup> ]
Число Маха:	M	= 2	
Число Рейнольдса:	Re	$Re = \frac{V_{ini} L \rho}{\mu} = \frac{663.2 \cdot 0.3 \cdot 1.29}{1.82 \cdot 10^{-5}} \approx 1.4 \cdot 10^7$	
Геометрия:	<b>RAE_2822_Domain.STL</b>		
Проект:	<b>RAE_2822</b>		

### 5.3.1.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- В свойствах **Вещества#0** задайте:
 

Агрегатное состояние	= Газ	
Молярная масса		
Значение	= 0.0289	[кг моль <sup>-1</sup> ]
Плотность	= Закон идеального газа	
Вязкость		
Значение	= 1.82*10 <sup>-5</sup>	[кг (м с) <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность		
Значение	= 0.026	[Вт (м К) <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость		
Значение	= 1009	[Дж (кг К) <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	= Конвекция и теплопроводность
Турбулентность	= SA модель

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость		
X	= 663.2	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Пульсации	= 0.001	
Масштаб турбулентности	= 0.003	[м]

### 5.3.1.2 Подвижное тело

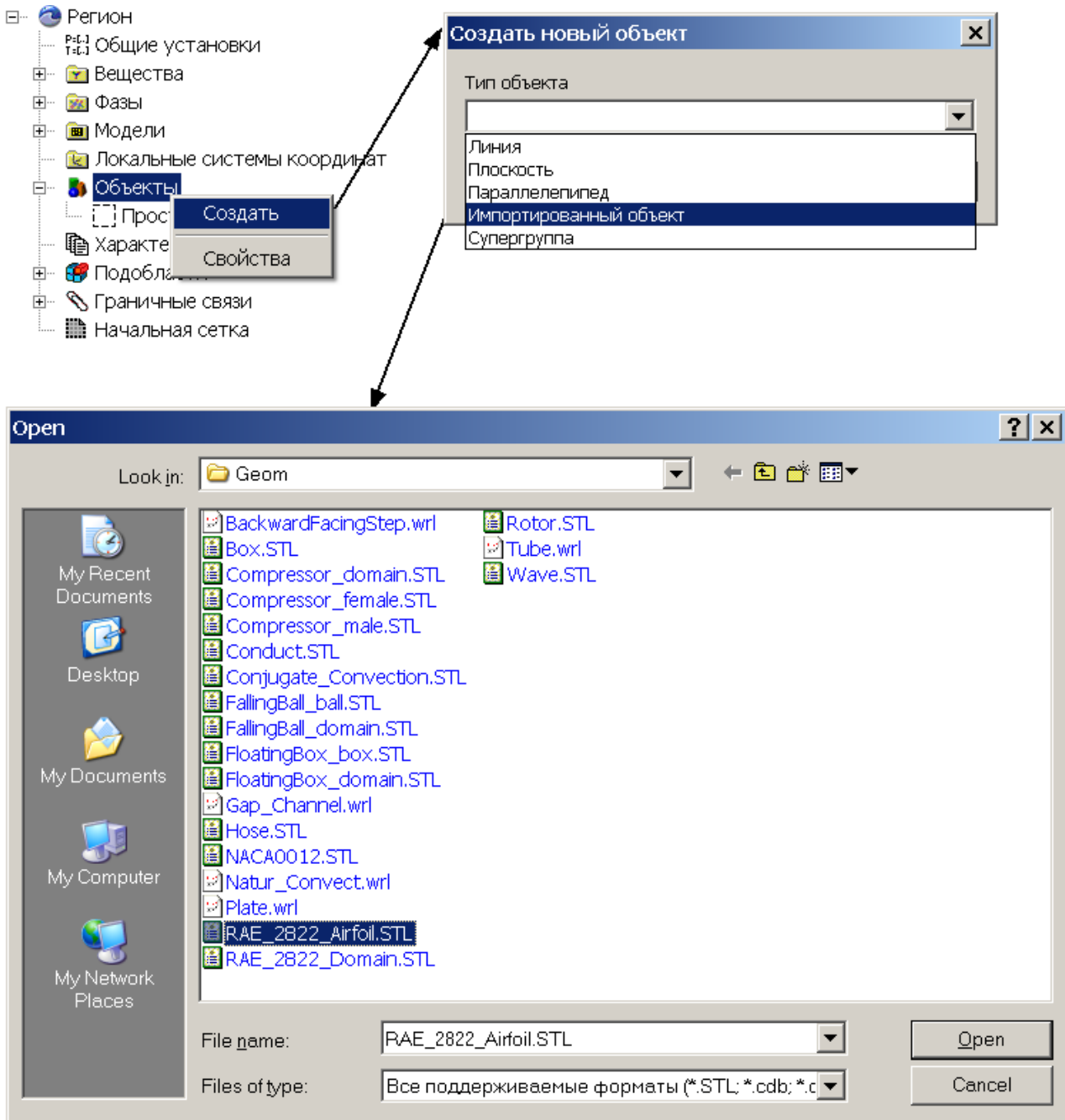
Для того, чтобы иметь возможность задавать угол атаки профиля через интерфейс, необходимо задать профиль как **Подвижное тело**.

Создание подвижного тела состоит из следующих этапов:

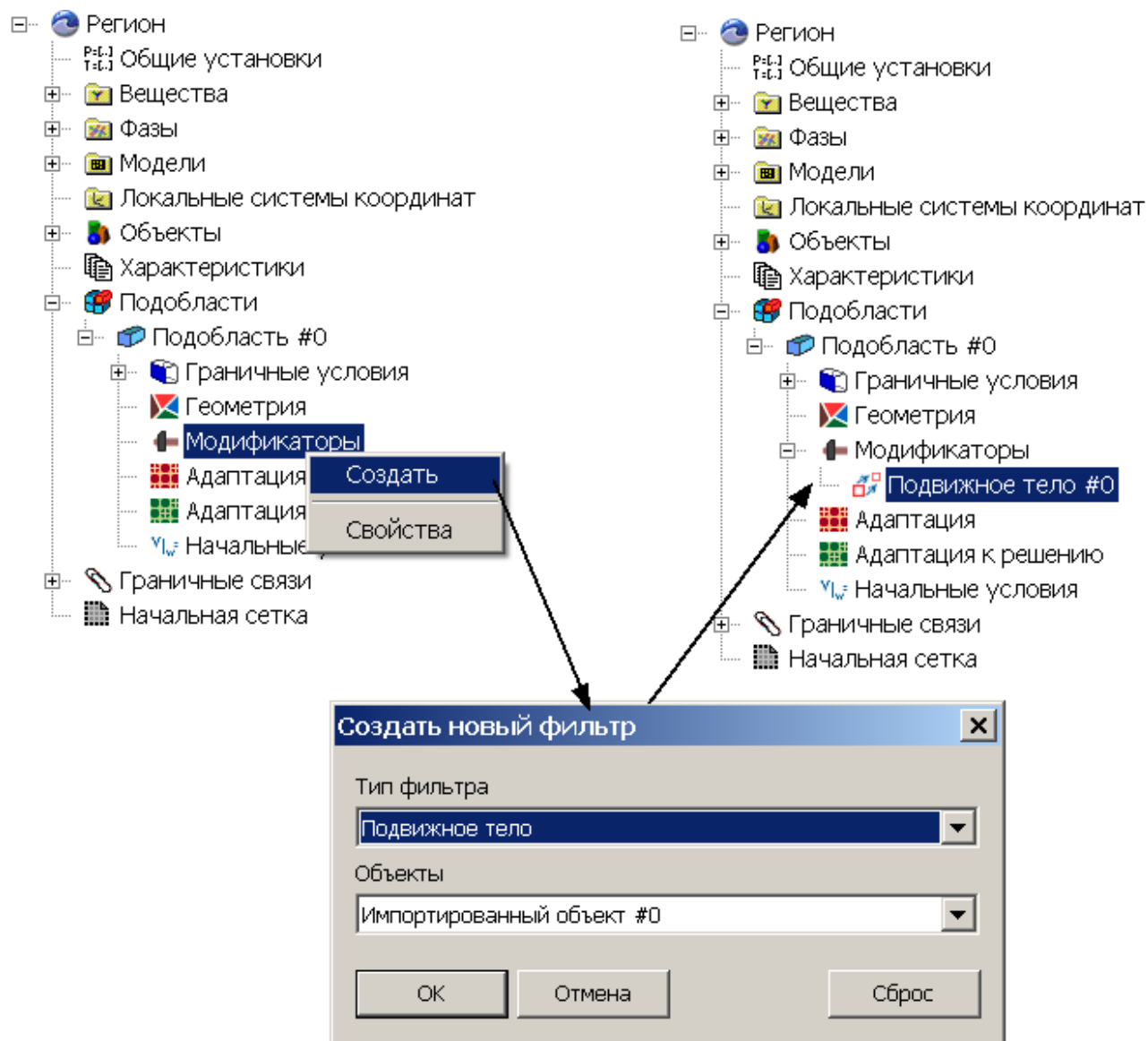
- Загрузка **Импортированного объекта**
- Создание модификатора **Подвижное тело**

Для того, чтобы создать **Подвижное тело**, необходимо:

- Выберите **Создать** в контекстном меню папки **Объекты**
- Задайте **Тип объекта = Импортированный объект**
- Загрузите геометрию подвижного тела из файла **RAE\_2822\_Airfoil.STL**



Для того, чтобы присвоить импортированному объекту статус подвижного тела в **Подобласти#0** в папке **Модификаторы** создайте новый модификатор **Подвижное тело** на базе **Импортированного объекта#0**



В окне **Подвижного тела** задайте:

Обновление

Тип = Отключено

Начальное положение

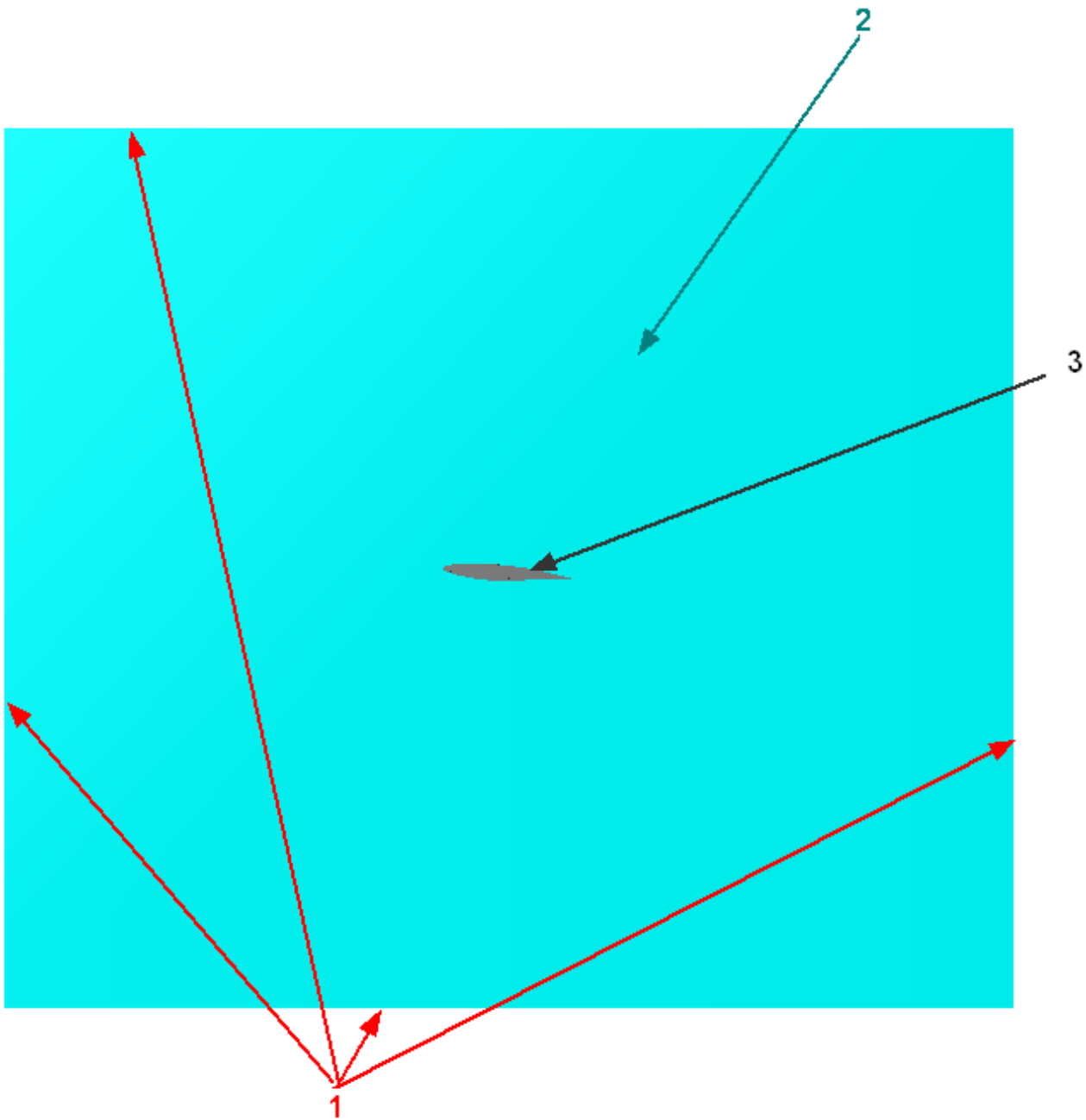
Ось X

X = 0.9962

Y = -0.0871

### 5.3.1.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0

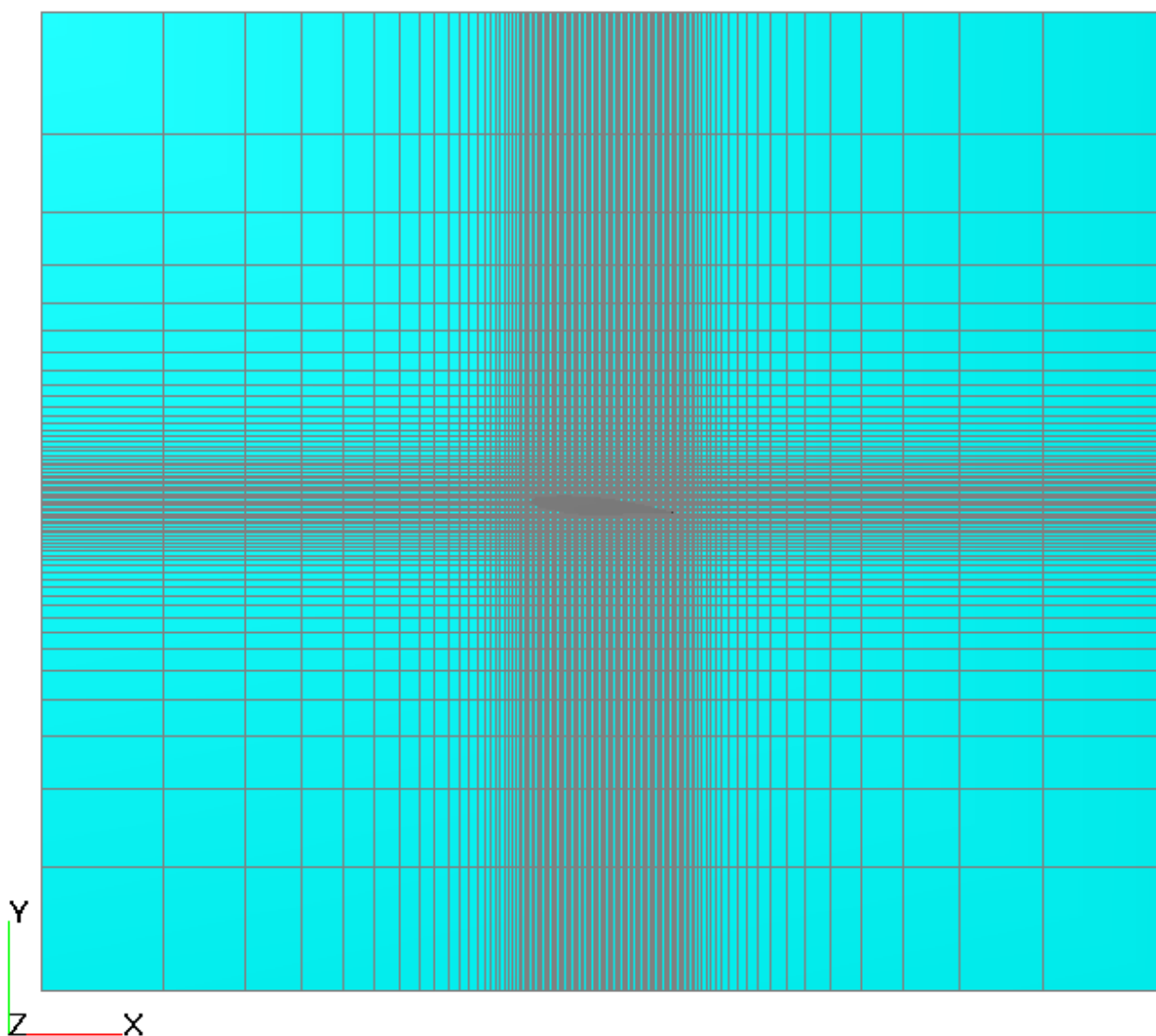


Граница 1			
Тип		= Неотражающее	
Переменные			
Скорость		= Неотраж.	
Скорость на			
бесконечности			
X	= 663.1		[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
Y			
Z			
Давление на	= 0		[Па]
бесконечности			
Температура	= Неотраж		
Значение	= 0		[C]
ТурбКинВязкость	= Значение		
Значение	= 0		

Граница 2  
Тип = Симметрия  
Переменные  
Скорость = Проскальзывание  
Температура = Нулевой поток  
ТурбКинВязкость = Нулевой поток

Граница 3  
Тип = Стенка  
Переменные  
Скорость = Логарифмический закон  
Температура = Нулевой поток  
ТурбКинВязкость = Фикс. значение

### 5.3.1.4 Начальная сетка



В окне Свойств Начальной сетки нажмите на кнопку  вызовите **Редактор начальной сетки**

Задайте в **Редакторе начальной сетки**:

OX

Параметры сетки:

kh\_max = 2



$h_{max} = 0.25$  [м]  
 $h_{min} = 0.005$  [м]  
 Вставьте базовые линии с координатами  
 $x1 = 0$  [м]  
 Параметры базовой линии  
 Коорд. = -1 [м]  
 $h = 0.25$  [м]  
 Коорд. = 0 [м]  
 $h = 0.005$  [м]  
 Коорд. = 1.3 [м]  
 $h = 0.25$  [м]

OY

Параметры сетки:  
 $kh_{max} = 2$   
 $h_{max} = 0.25$  [м]  
 $h_{min} = 0.005$  [м]  
 Вставьте базовые линии с координатами  
 $y1 = 0$  [м]  
 Параметры базовой линии  
 Коорд. = -1 [м]  
 $h = 0.25$  [м]  
 Коорд. = 0 [м]  
 $h = 0.005$  [м]  
 Коорд. = 1 [м]  
 $h = 0.25$  [м]

В окне свойств **Начальной сетки** задайте:

$nz = 1$

### 5.3.1.5 Адаптация расчетной сетки

Задайте адаптацию по поверхности крыла

Адаптация

Включить = Да

Макс уровень = 3

### 5.3.1.6 Параметры расчета

На закладке **Солвер** в окне свойств **Шаг по времени** задайте:

Способ = В секундах

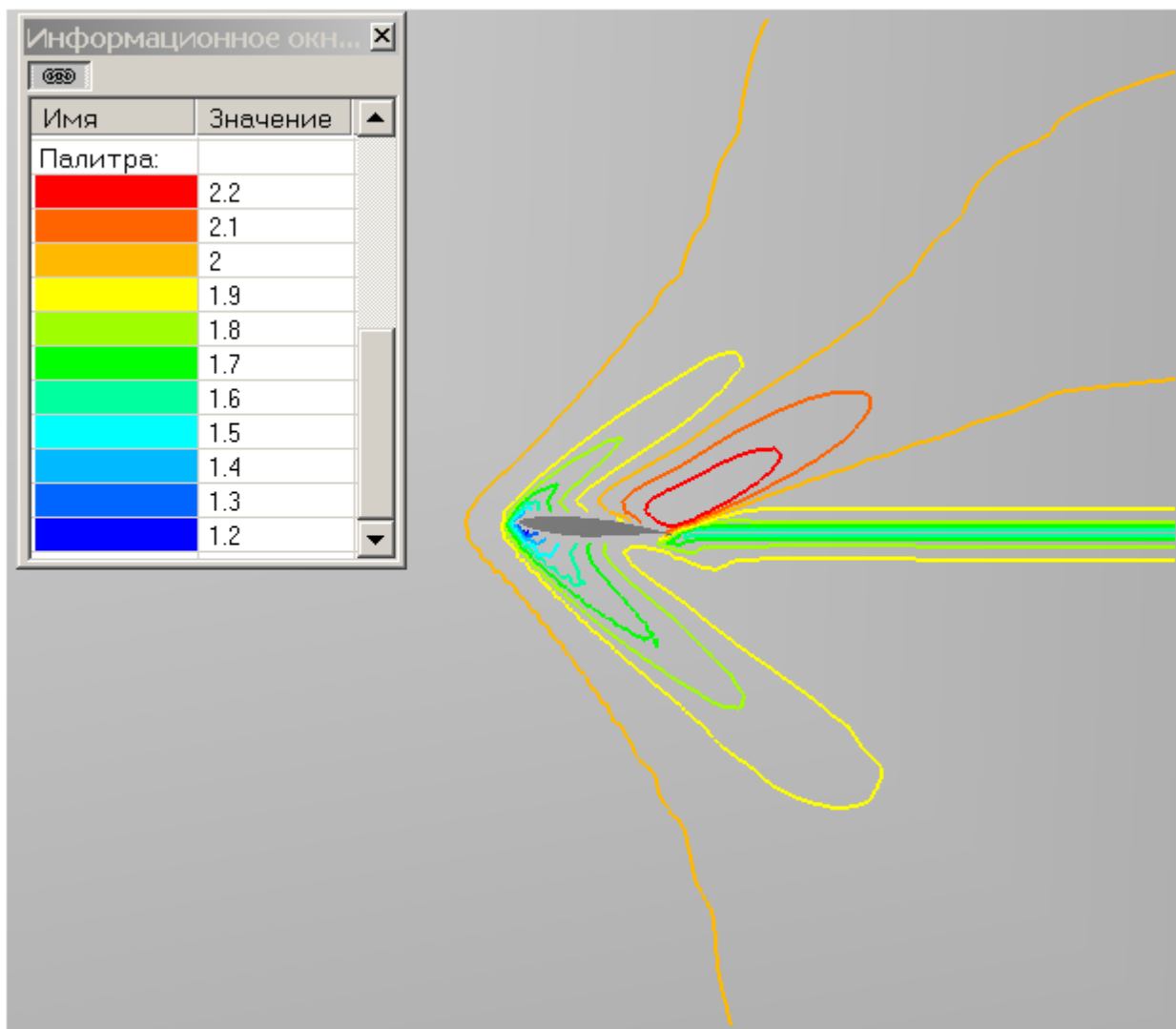
Постоянный шаг = 0.000001 [с]

### 5.3.1.7 Визуализация результатов

Отобразите следующие результаты:

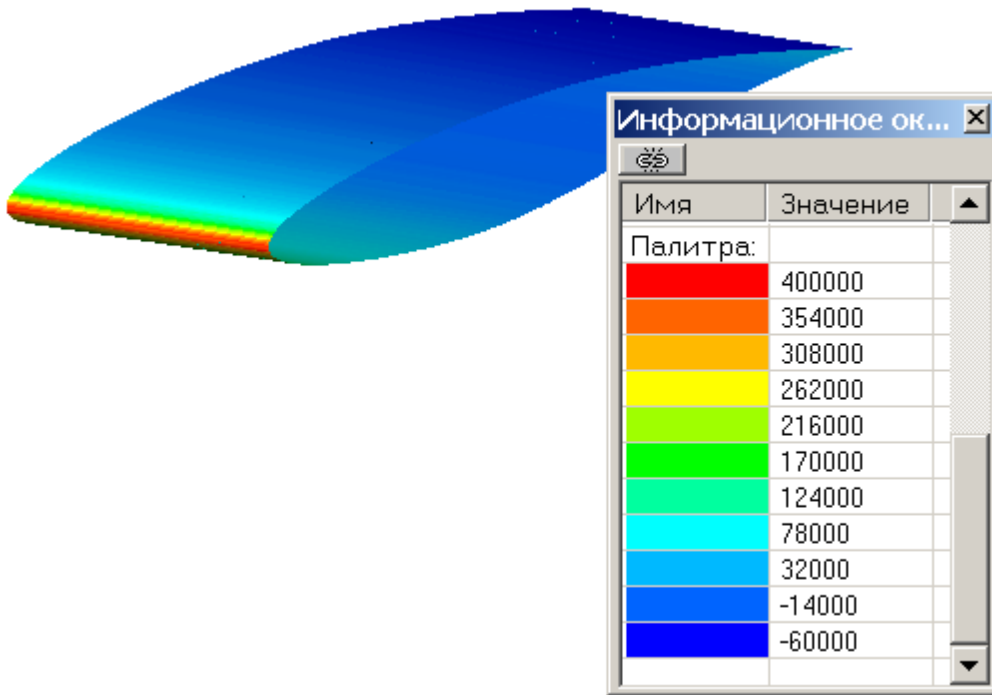
1. [Распределение значений числа Маха](#) в плоскости течения
2. [Распределение давления](#) на поверхности профиля
3. [Распределение  \$C\_p\$](#)  на поверхности профиля

## 5.3.1.7.1 Распределение числа Маха



- Задайте в окне **Свойства Плоскости#0**:  
 Объект  
     Нормаль  
         Z      1
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Плоскости#0**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
 Переменная  
     Переменная      ЧислоМаха  
 Метод                  Изолинии

### 5.3.1.7.2 Распределение давления



- Создайте **Супергруппу** в **Постпроцессоре** на **ГУ Стенка**
- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Супергруппе**,
- В окне **Свойства Цветовых контуров** задайте:  
 Переменная                      Переменная                      Давление

### 5.3.1.7.3 Распределение Ср

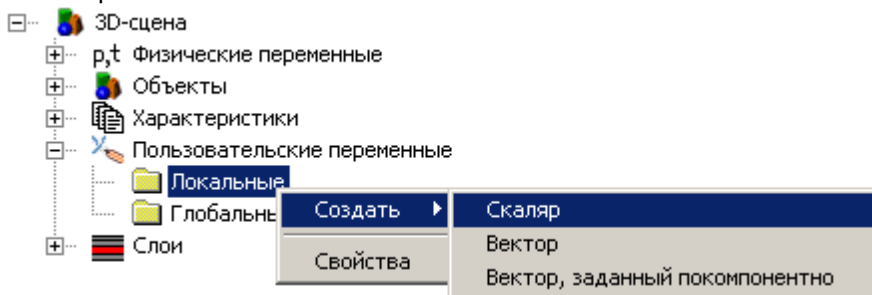
Построение распределения  $C_p$  по поверхности профиля состоит из следующих этапов:

1. [Создание переменной  \$C\_p\$](#)
2. [Создание слоя График вдоль кривой по  \$C\_p\$](#)

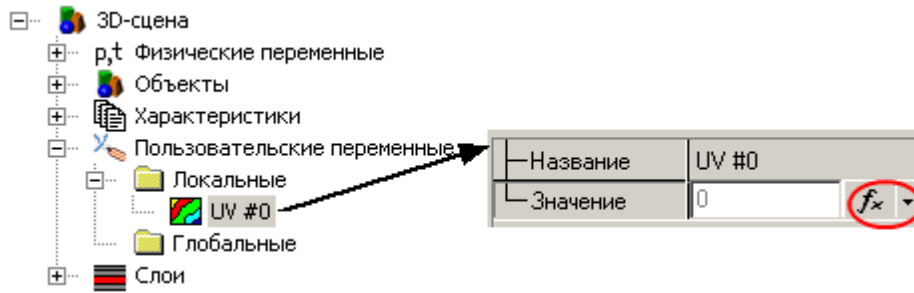
#### 5.3.1.7.3.1 Создание $C_p$

Создайте переменную  $C_p$  в **Постпроцессоре**:

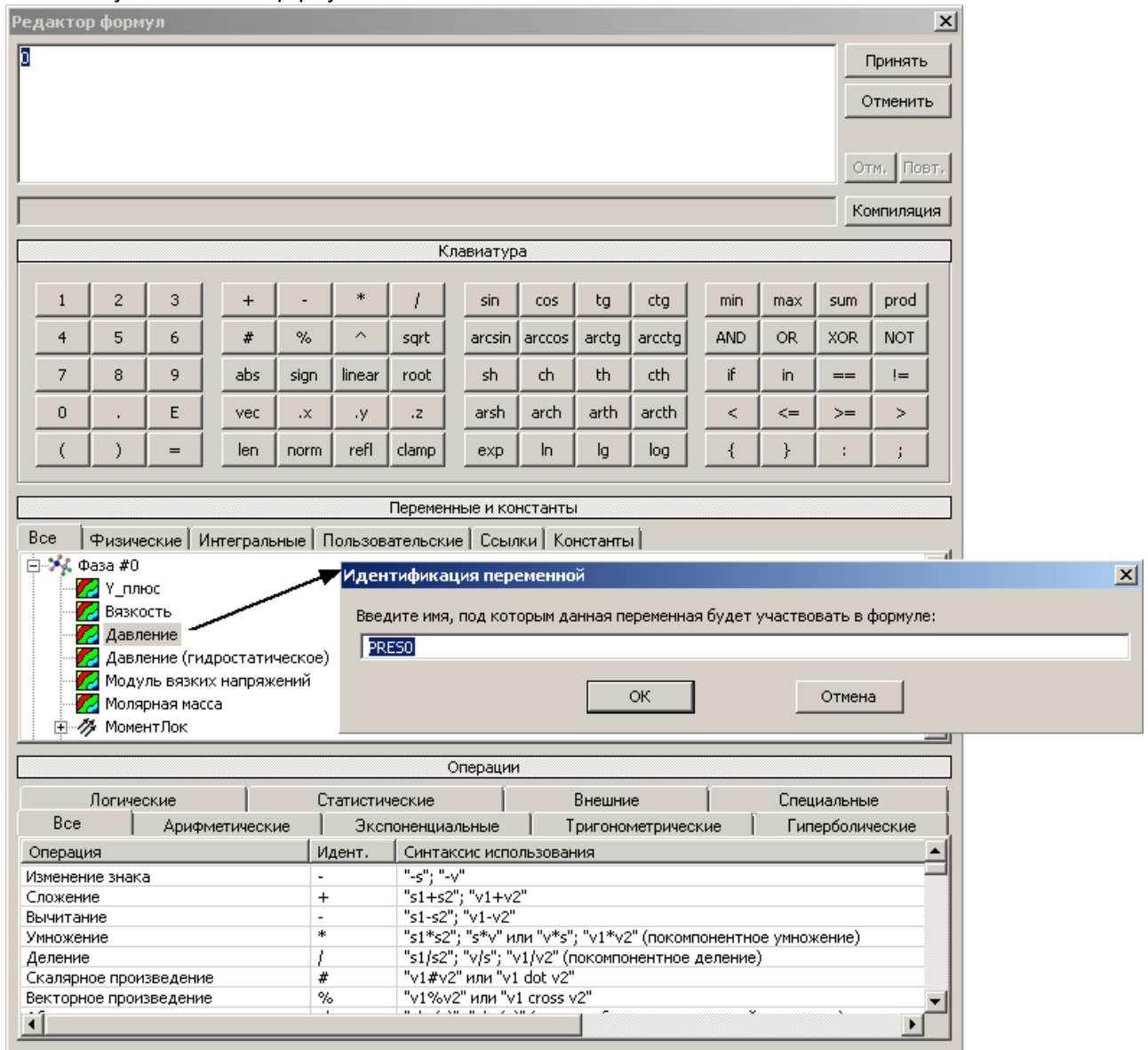
- В папке **Пользовательские переменные - Локальные** в контекстном меню выберите **Создать - Скаляр**



- В окне **Свойства** созданной переменной вызовите **Редактор формул** (кнопка в поле **Значение**)



- В Редакторе формул идентифицируйте переменную Давление (Фаза#0).
  - в меню Переменные и константы на закладке Все в Фазе #0 выберите переменную Давление и вызовите окно **Идентификации переменной**
  - в окне **Идентификации переменной** задайте имя, под которым переменная будет участвовать в формуле



- В окне редактора формул задайте  $PRES0/(1.28*663.2^2/2)$

**Редактор формул**

`PRESO/(1.28*663.2^2/2)`

Принять  
Отменить  
Отм. Повт.  
Компиляция

**Клавиатура**

1	2	3	+	-	*	/	sin	cos	tg	ctg	min	max	sum	prod
4	5	6	#	%	^	sqrt	arcsin	arccos	arctg	arcctg	AND	OR	XOR	NOT
7	8	9	abs	sign	linear	root	sh	ch	th	cth	if	in	==	!=
0	.	E	vec	.x	.y	.z	arsh	arch	arth	arcth	<	<=	>=	>
(	)	=	len	norm	refl	clamp	exp	ln	lg	log	{	}	:	;

**Переменные и константы**

Все | Физические | Интегральные | Пользовательские | Ссылки | Константы

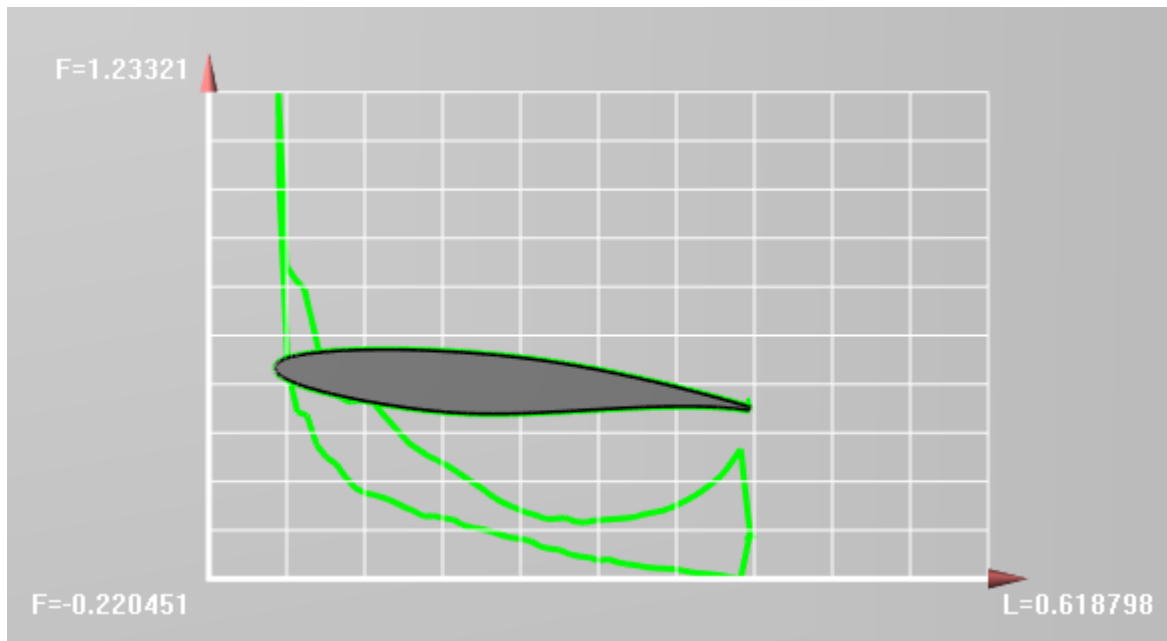
- Фаза #0
  - У\_плюс
  - Вязкость
  - Давление [PRESO]**
  - Давление (гидростатическое)
  - Модуль вязких напряжений
  - Молярная масса
- МоментЛок

**Операции**

Операция	Логические		Статистические		Внешние		Специальные	
	Все	Арифметические	Экспоненциальные	Тригонометрические	Гиперболические			
Операция	Идент.	Синтаксис использования						
Изменение знака	-	"-s"; "-v"						
Сложение	+	"s1+s2"; "v1+v2"						
Вычитание	-	"s1-s2"; "v1-v2"						
Умножение	*	"s1*s2"; "s*v" или "v*s"; "v1*v2" (покомпонентное умножение)						
Деление	/	"s1/s2"; "v/s"; "v1/v2" (покомпонентное деление)						
Скалярное произведение	#	"v1#v2" или "v1 dot v2"						
Векторное произведение	%	"v1%v2" или "v1 cross v2"						

- Нажмите кнопку **Принять**

## 5.3.1.7.3.2 Создание графика вдоль кривой



- В окне **Свойства Плоскости#0** задайте:

Объект

Опорная точка

X	=	-0.05
Y	=	-0.1
Z	=	-0.005

- Создайте слой **График вдоль кривой** на **Плоскости #0**

- В окне **Свойства Графика вдоль кривой** задайте:

Переменная

Категория = Пользовательская переменная

Переменная = UV #0

Сдвиг = 0.0001

Число точек = 100

Распределить по = Каждой кривой

Угол поворота = 90

Ось X

Длина = 0.5

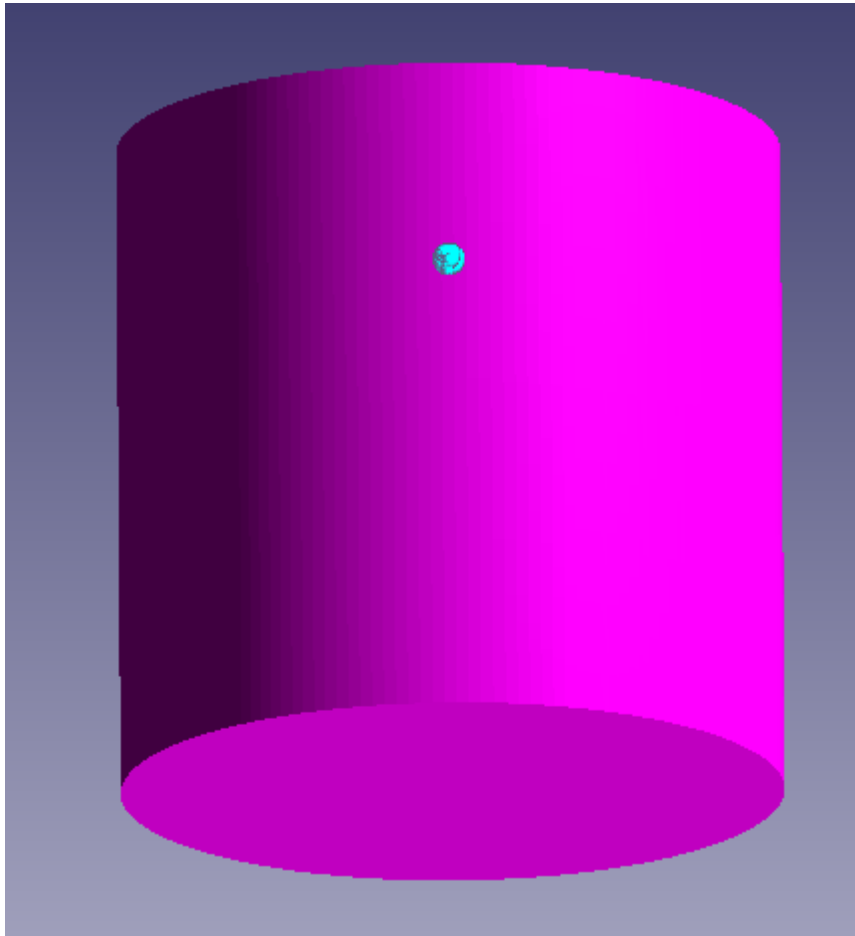
Отображение

Графики

Видимые = 1

### 5.3.2 Падение шара в вязкой жидкости

В этом примере рассматривается задача о падении шара под действием силы тяжести внутри столба вязкой несжимаемой жидкости.



На падающий в жидкости шарик действует сила тяжести и сила сопротивления. В течении некоторого времени достигается стационарный режим, при котором скорость движения тела относительно жидкости постоянна.


Параметры задачи:

Размеры области		= 30x30	[мхм]
Параметры шара			
Радиус	R	= 0.5	[м]
Плотность	$\rho$	= 1500	[кг $\cdot$ м $^{-3}$ ]
Параметры жидкости:			
Плотность	$\rho$	= 1000	[кг $\cdot$ м $^{-3}$ ]
Вязкость	$\mu$	= 1000	[кг $\cdot$ м $^{-1}$ с $^{-1}$ ]

Геометрия      **FallingBall\_Domain.STL**  
 Вариант        **Falling\_Ball**

#### 5.3.2.1 Физическая модель

В окне свойств папки **Общие установки**:

- Добавьте гидростатический **Слой**, нажав кнопку 
- Задайте следующие параметры:

Вектор гравитации			
X	= 0	[м с $^{-2}$ ]	
Y	= -9.8	[м с $^{-2}$ ]	
Z	= 0	[м с $^{-2}$ ]	

g-точка	X	= 0	[М]
	Y	= 5	[М]
	Z	= 0	[М]
Слой	g-толщина	= 30	[М]
	g-плотность	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Жидкость	
Плотность		
Значение	= 1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость		
Значение	= 1000	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки Физические процессы:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
----------	-------------------------

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**

*Комментарий:*

Значение Вязкости = 1000 задается для ускорения сходимости.

### 5.3.2.2 Подвижное тело

Создайте подвижное тело:

- Загрузите геометрию **Импортированного объекта** из файла **FallingBall\_Ball.STL**
- Создайте **Подвижное тело** на базе **Импортированного объекта**

В окне свойств **Подвижного тела#0** задайте:

Массовые характеристики			
Масса	= 785.4		[кг]
Поступательное движение			
ГидроСила			
X	= Нет		
Y	= Да		
Z	= Нет		

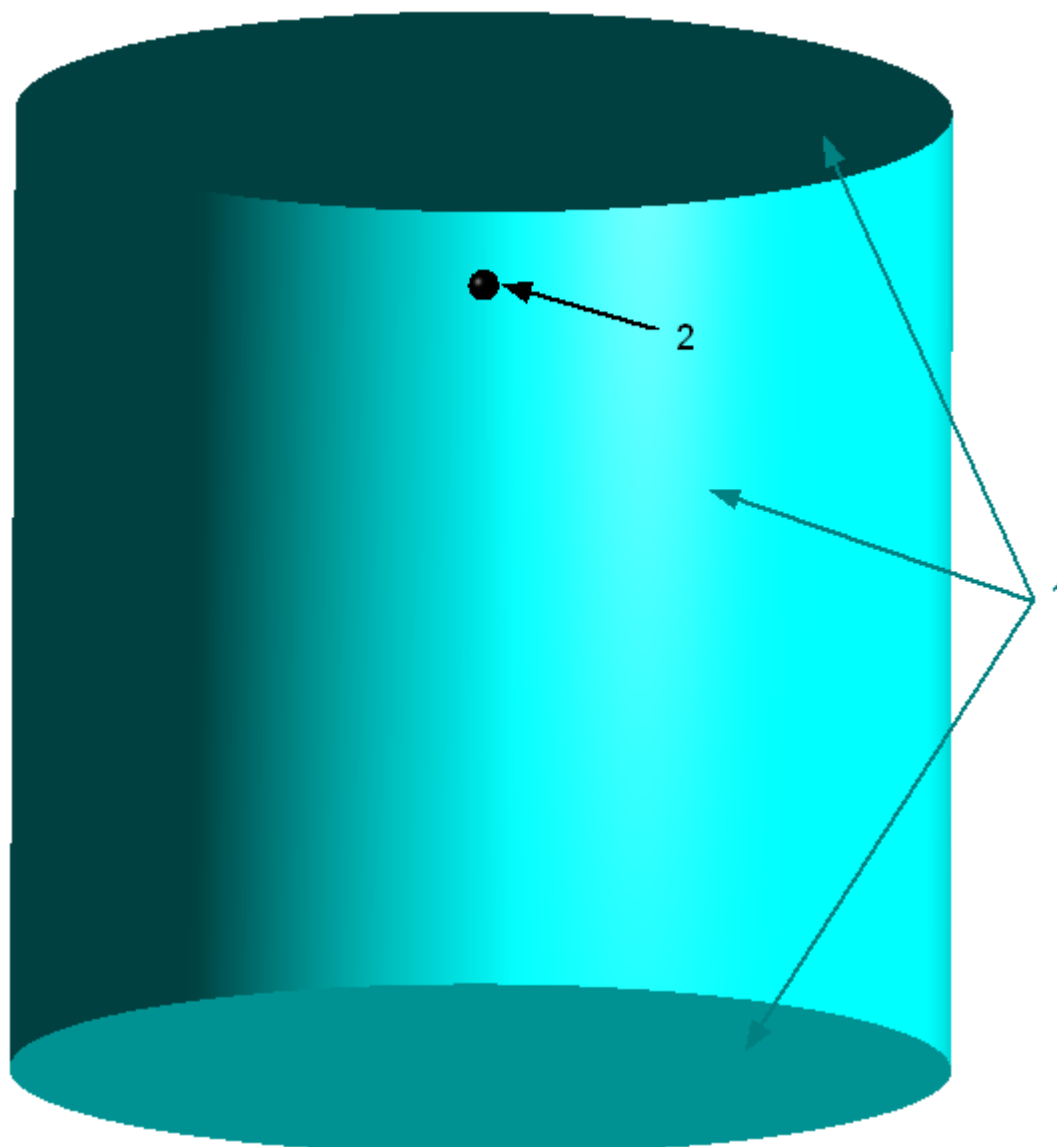
*Примечание:*

1. Величину ГидроСилы и ГидроМоментa программа рассчитывает автоматически.



### 5.3.2.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1

Тип = Свободный выход

Переменные

Скорость = Давление

Значение = 0 [Па]

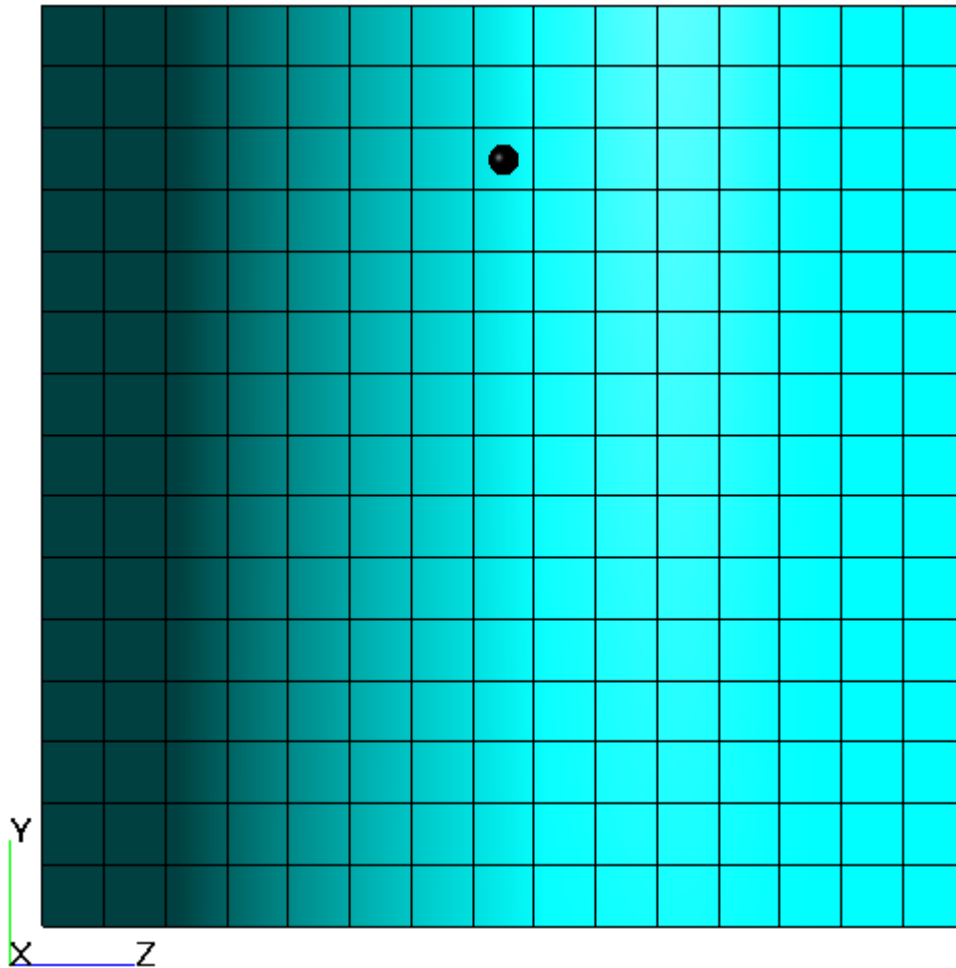
Граница 2

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Прилипание

### 5.3.2.4 Начальная расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 15  
nY = 15  
nZ = 15

### 5.3.2.5 Адаптация расчетной сетки

В данном варианте следует адаптировать сетку по поверхности движущегося шара и сливать ранее адаптированные ячейки, находящиеся вдали от шара. Для этого необходимо задать два условия адаптации:

1. Разбиение ячеек по поверхности шара
2. Слитие ячеек в объеме вдали от шара

- Задайте адаптацию по поверхности шара

Адаптация  
Включить = Да  
Макс уровень = 4  
Слоев ячеек = 3

- Создайте критерий адаптации в папке Адаптация.

- Задайте в окне Адаптации:

Активность = Да  
Объект = Пространство

Макс.уровень = 0  
 Разбить/Слить = Слить  
 Область = В объеме

### 5.3.2.6 Параметры расчета

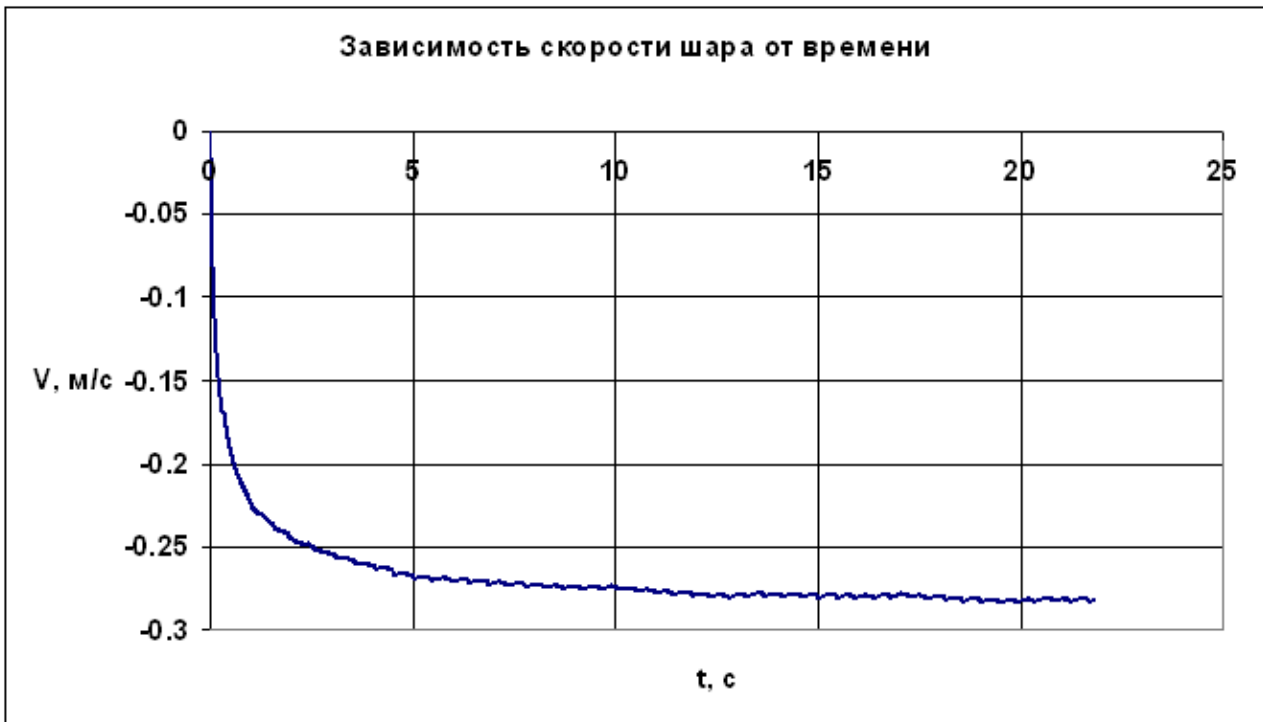
Задайте на закладке **Солвер**

- В окне свойств элемента **Шаг по времени**:
  - Способ = Числом КФЛ
  - Число КФЛ = 1
  - Макс. шаг = 0.01 [с]
- В окне свойств элемента **Доп.настройки**:
  - Численный метод = Предиктор-корректор
  - Интерг. по времени

### 5.3.2.7 Визуализация результатов

Визуализируйте [зависимость скорости шара от времени](#).

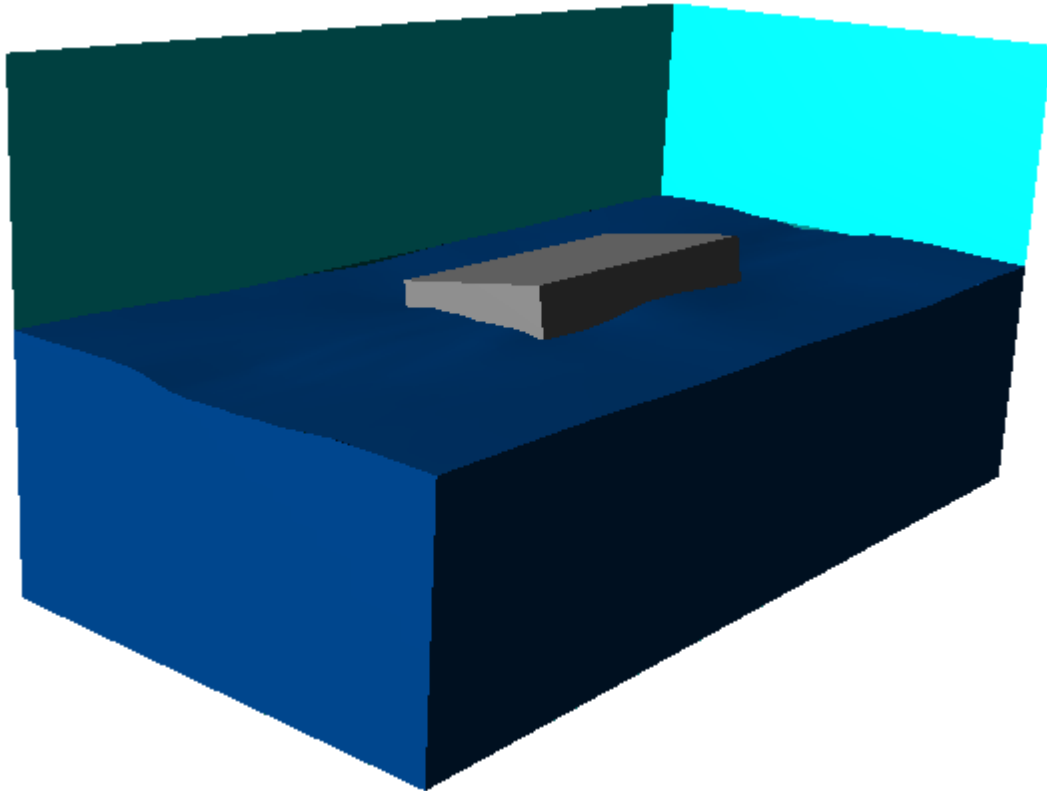
#### 5.3.2.7.1 Зависимость скорости шара от времени



- Создайте **Характеристики** на **Импортированном объекте**
- В окне **Свойства Характеристики** задайте:
  - Характеристики
  - Переменная Переменная Давление
  - Сохранение в файл Автоматический
  - Режим

### 5.3.3 Тело, плавающее на поверхности жидкости

В данном примере рассматривается движение тела со смещенным центром масс (=центр инерции) на поверхности воды и генерация волны на поверхности под воздействием движения тела.




Размеры области		= 0.6x0.2x0.3	[мхмхм]
Параметры тела			
Размеры	ахbхс	= 0.02x0.005x0.01	[мхмхм]
Плотность	$\rho$	= 500	[кг м <sup>-3</sup> с <sup>-1</sup> ]
Параметры жидкости:			
Плотность	$\rho$	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

Геометрия **FloatingBox\_Domain.WRL**  
 Вариант **FloatingBox**

#### 5.3.3.1 Физическая модель

В окне свойств папки **Общие установки**:

- Добавьте гидростатический **Слой**, нажав кнопку 
- Задайте следующие параметры:

Вектор гравитации			
	X	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]
	Y	= -9.8	[м с <sup>-2</sup> ]
	Z	= 0	[м с <sup>-2</sup> ]
g-точка			
	X	= 0	[м]
	Y	= 0	[м]
	Z	= 0	[м]
Слой			
	g-толщина	= 0.15	[м]
	g-плотность	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	=	Жидкость	
Плотность			
Значение	=	1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость			
Значение	=	0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Коэффициент сжимаемости			
Значение	=	4.44e-10	[м <sup>2</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки Физические процессы:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
----------	---	-----------------------
- Создайте непрерывную **Фазу#1**

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0** и **Фазу#1**

### 5.3.3.2 Подвижное тело

Создайте **Подвижное тело**:

- Загрузите геометрию подвижного тела из файла **FloatingBox\_Box.slt**
- Создайте модификатор **Подвижное тело** на **Импортированном объекте #0**

Задайте в окне свойств элемента **Подвижное тело**:

Массовые характеристики

Масса	=0.5	[кг]
Центр инерции		
X	= 0	[м]
Y	= -0.005	[м]
Z	= 0	[м]
Момент инерции0		
X	= 0.00846	[кг м <sup>2</sup> ]
Y	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Z	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Момент инерции1		
X	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Y	= 0.00333	[кг м <sup>2</sup> ]
Z	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Момент инерции2		
X	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Y	= 0	[кг м <sup>2</sup> ]
Z	= 0.00333	[кг м <sup>2</sup> ]

Движение

ГидроСила		
X	= Нет	
Y	= Да	
Z	= Нет	

Вращение


ГидроМомент		
X	= Да	
Y	= Нет	
Z	= Нет	

Начальное положение

Опорная точка		
X	= 0.3	[м]

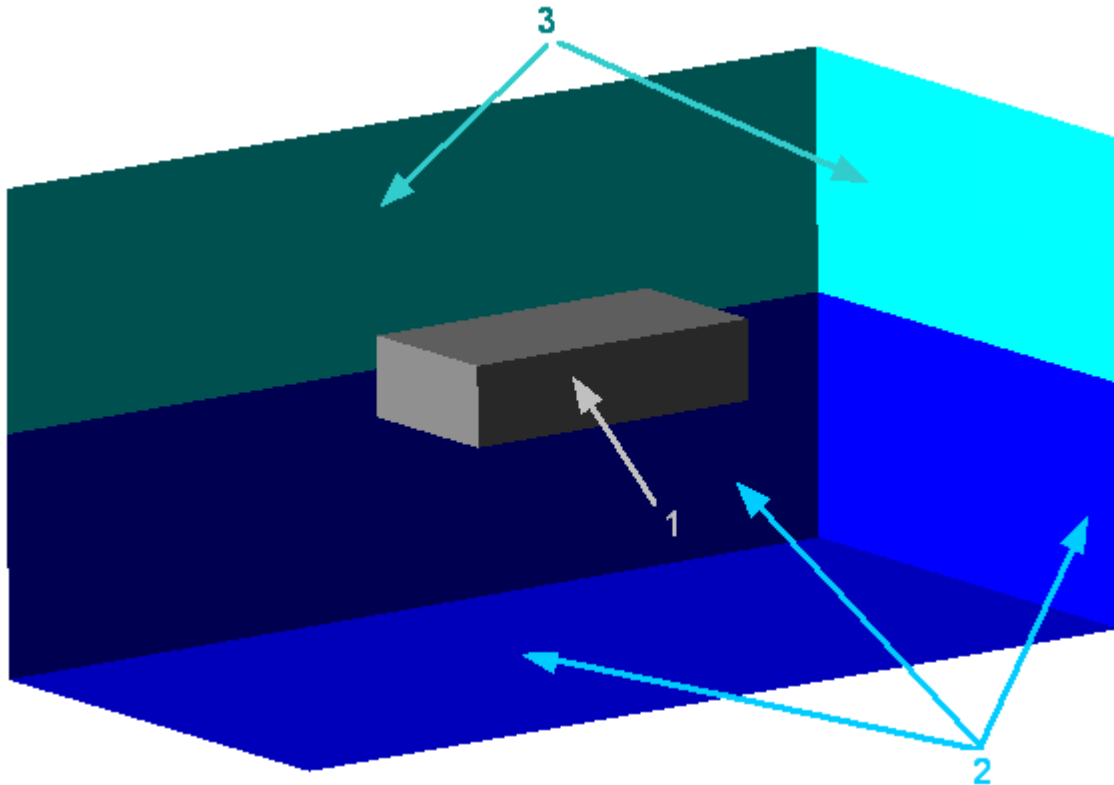
Y = 0.05 [М]  
 Z = 0.15 [М]

Примечание:

Для того, чтобы поместить тело в начальное положение, необходимо нажать кнопку 

### 5.3.3.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

- Граница 1
- Тип = Стенка
  - Переменные
    - Скорость = Прилипание
    - ОбъемФазы = Нулевой поток
- Граница 2
- Тип = Свободный выход
  - Переменные
    - Скорость = Давление
    - Значение = 0
    - ОбъемФазы = Значение
    - Значение = 1
- Граница 2
- Тип = Свободный выход
  - Переменные
    - Скорость = Давление
    - Значение = 0
    - ОбъемФазы = Значение
    - Значение = 0

### 5.3.3.4 Задание объема жидкости

В Фазе #0 в Нач.данных#0 задайте:

ОбъемФазы

Значение = 1

В папке Объекты:

- создайте Параллелепипед#0
- в окне свойств Параллелепипеда#0 задайте:

Расположение

Опорная точка

X = 0.3 [M]

Y = -0.075 [M]

Z = 0.15 [M]

Размер

X = 0.6 [M]

Y = 0.149 [M]

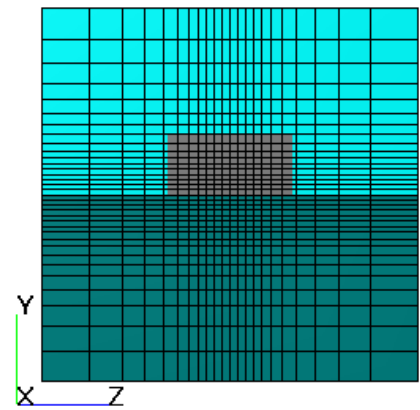
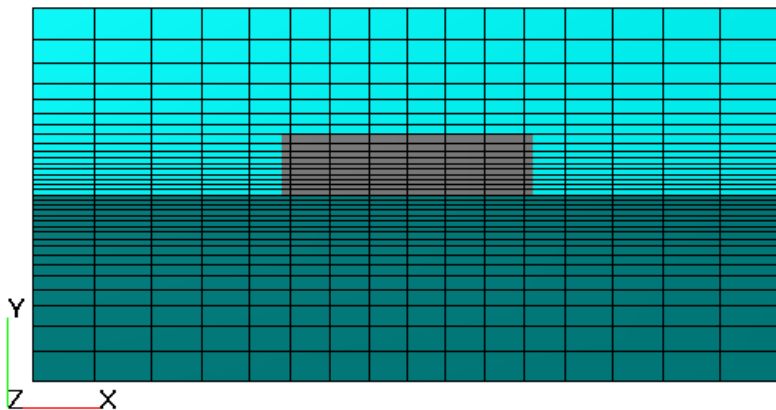
Z = 0.3 [M]

В Подобласти #0 окне свойств Нач. условия#0 задайте:

Объект = Параллелепипед #0

Нач. данные = Нач. данные #0

### 5.3.3.5 Начальная расчетная сетка



Задайте при помощи Генератора сетки:

OX

Параметры сетки:

kh\_max = 2

h\_max = 0.05 [M]

h\_min = 0.03 [M]

Вставьте базовую линию с координатами

x = 0.3 [M]

Параметры базовой линии

Коорд. = 0 [M]

h = 0.05 [M]

Коорд. = 0.3 [M]

h = 0.03 [M]

Коорд. = 0.6 [M]

h = 0.05 [M]

OY

Параметры сетки:

kh\_max = 2

h\_max = 0.025 [M]

h\_min = 0.004 [M]

Вставьте базовую линию с координатами

x	= 0	[м]
Параметры базовой линии		
Коорд.	= -0.15	[м]
h	= 0.025	[м]
Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.004	[м]
Коорд.	= 0.025	[м]
h	= 0.15	[м]

OZ

Параметры сетки:

kh_max	= 2	
h_max	= 0.0375	[м]
h_min	= 0.006	[м]

Вставьте базовую линию с координатами

x	= 0.15	[м]
Параметры базовой линии		
Коорд.	= 0	[м]
h	= 0.0375	[м]
Коорд.	= 0.15	[м]
h	= 0.006	[м]
Коорд.	= 0.3	[м]
h	= 0.0375	[м]

### 5.3.3.6 Параметры расчета

На закладке **Солвер**:

- В окне элемента **Шаг по времени** задайте:

Способ	=	Числом КФЛ	
Число КФЛ	=	1	
Макс. шаг	=	0.1	[с]

- В окне элемента **Доп.настройки**:

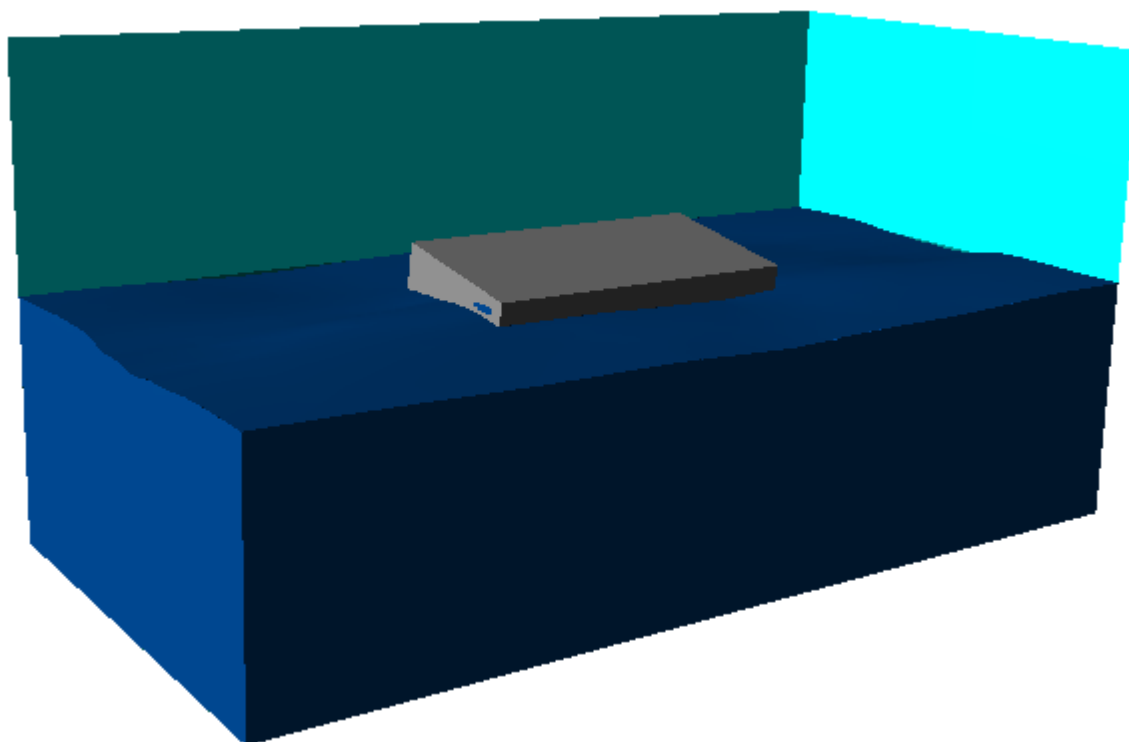
Численный метод		
Интерг. по времени		
Метод	=	Предиктор-корректор

### 5.3.3.7 Визуализация результатов

Визуализируйте [Поверхность жидкости](#)



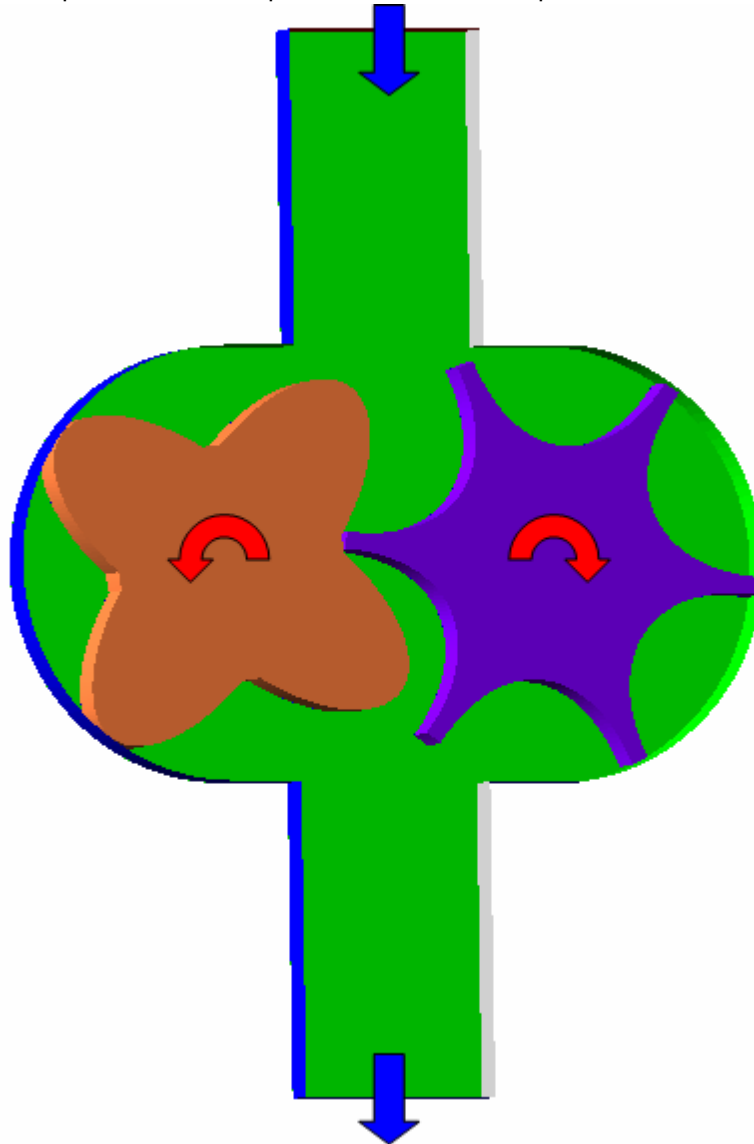
### 5.3.3.7.1 Поверхность жидкости



- Создайте слой **Объем фазы** на **Пространстве**

### 5.3.4 Винтовой компрессор

В этом примере рассматривается моделирование течения в гидравлическом насосе.



#### Входные параметры

Давление на входе  $p_{in}$  = 101000 [Па]

Противодавление на выходе  $p_{out}$  = 102000 [Па]

#### Параметры роторов

Угловая скорость левого ротора  $W_l$  = 600 [рад с<sup>-1</sup>]

Угловая скорость правого ротора  $W_r$  = 400 [рад с<sup>-1</sup>]

#### Параметры жидкости:

Молекулярная масса  $M$  = 0.0289

Плотность  $\rho$  = 1 [кг м<sup>-3</sup>]

Вязкость  $\mu$  = 0.0000182 [кг м<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>]

Теплопроводность  $\lambda$  = 0.026 [Вт м<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup>]

Теплоемкость  $c_p$  = 1009 [Дж кг<sup>-1</sup> К<sup>-1</sup>]

Геометрия **Compressor\_Domain.STL**

Вариант **Compressor**

### 5.3.4.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:

Агрегатное состояние	= Газ	
Молярная масса		
Значение	= 0.0289	[кг моль <sup>-1</sup> ]
Плотность	= Закон идеального газа	
Вязкость		
Значение	= $1.82 \cdot 10^{-5}$	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Теплопроводность		
Значение	= 0.026	[Вт м <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]
Теплоемкость		
Значение	= 1009	[Дж кг <sup>-1</sup> К <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте непрерывную **Фазу#0**
- Добавьте **Вещество#0** в папку **Вещества Фазы#0**
- Задайте в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	= Ньютоновская жидкость
Теплоперенос	= Конвекция и теплопроводность
Турбулентность	= Стандартная к-е модель

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- Добавьте **Фазу#0** в папку **Фазы Модель#0**
- Задайте в окне свойств **Модели#0**:
 

Использовать модель зазора	= Стандартная модель зазора
----------------------------	-----------------------------
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость		
X	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]
Y	= -10	[м с <sup>-1</sup> ]
Z	= 0	[м с <sup>-1</sup> ]

### 5.3.4.2 Подвижные тела

Создайте **Левый ротор**:

- Загрузите геометрию подвижного тела из файла **Compressor\_Male.stl**
- Создайте фильтр **Подвижное тело** на **Импортированном объекте**

Задайте в окне свойств элемента **Подвижное тело**:

Массовые характеристики

Вращение

Скорость вращения		
X	= 0	[рад с <sup>-1</sup> ]
Y	= 0	[рад с <sup>-1</sup> ]
Z	= 600	[рад с <sup>-1</sup> ]

Создайте **Правый ротор**:

- Загрузите геометрию подвижного тела из файла **Compressor\_Female.stl**
- Создайте фильтр **Подвижное тело** на **Импортированном объекте**

Задайте в окне свойств элемента **Подвижное тело**:

Массовые характеристики

Центр инерции

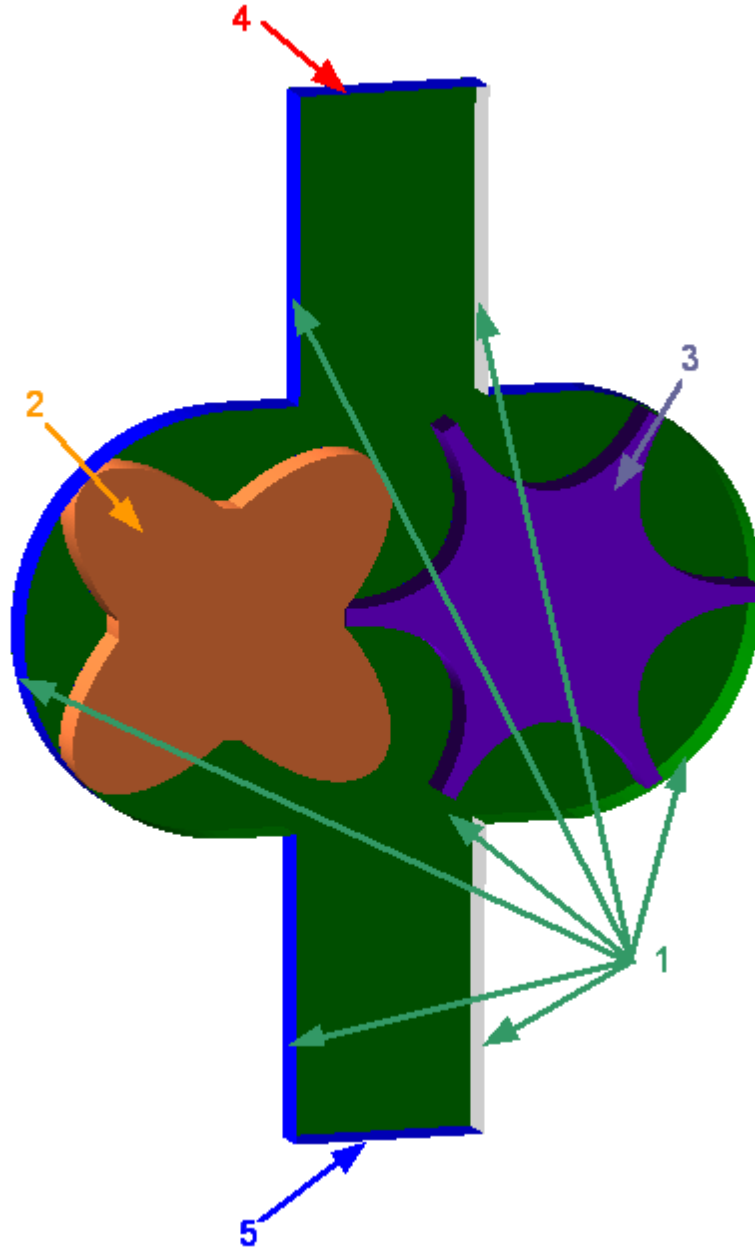
X	= 0.085	[м]
Y	= 0	[м]
Z	= 0	[м]

Вращение

Скорость вращения  
 X = 0 [рад с<sup>-1</sup>]  
 Y = 0 [рад с<sup>-1</sup>]  
 Z = -400 [рад с<sup>-1</sup>]

### 5.3.4.3 Граничные условия

В окне свойств **Подобласти#0** задайте:  
 Модель = Модель#0



Задайте следующие граничные условия:

Граница 1, 2, 3

Тип = Стенка

Переменные

Скорость = Логарифмический закон

Температура = Нулевой поток

ТурбЭнергия = Значение в ячейке рядом со стенкой

ТурбДиссипация = Значение в ячейке рядом со стенкой

Граница 4

Тип = Вход/Выход

Переменные

Скорость	= Давление на входе	
Значение	= 0	[Па]
Температура	= Значение	
Значение	= 0	[С]
ТурбЭнергия	= Пульсации	
Значение	= 0	
ТурбДиссипация	= Масштаб турбулентности	
Значение	= 0	[м]

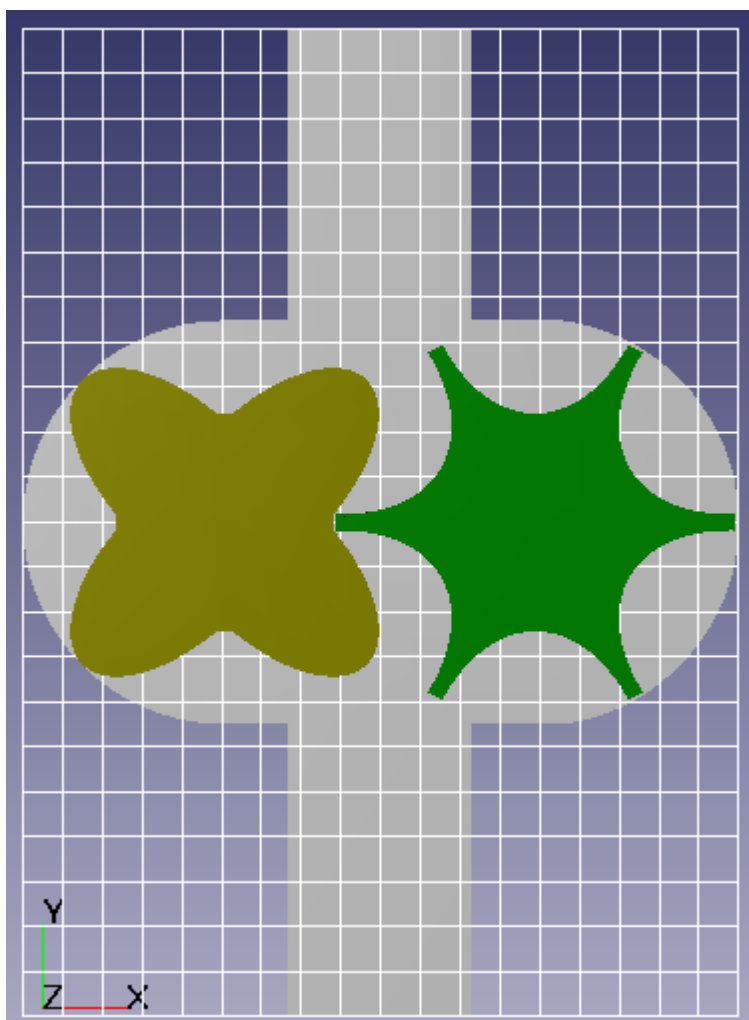
Граница 5

Тип = Свободный выход

Переменные

Скорость	= Давление	
Значение	= 1000	[Па]
Температура	= Значение	
Значение	= 0	[С]
ТурбЭнергия	= Пульсации	
Значение	= 0	
ТурбДиссипация	= Масштаб турбулентности	
Значение	= 0	[м]

#### 5.3.4.4 Начальная расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX = 18  
nY = 22  
nZ = 5

### 5.3.4.5 Адаптация расчетной сетки

Задайте адаптацию в районе шестеренок:

Создайте объект для адаптации:

- создайте **Параллелепипед#0** в папке **Объекты**
- задайте следующие параметры в окне свойств **Параллелепипеда#0**:

Расположение

Опорная точка			
X	=	0.0427	[м]
Y	=	0	[м]
Z	=	0.005	[м]

Размеры

X	=	0.2	[м]
Y	=	0.12	[м]
Z	=	0.012	[м]

Создайте критерий адаптации

- Создайте элемент **Адаптация#0** в папке **Адаптация**
- В окне свойств созданного элемента **Адаптация#0** задайте:

Активность	=	Да
Объект	=	Параллелепипед#0
Макс.уровень	=	1
Разбить/Слить	=	Разбить
Область	=	В объеме

### 5.3.4.6 История расчета

В данной задаче предлагается отобразить историю расчета во времени.

Для того, чтобы отобразить историю расчета, необходимо:

- [сохранить историю расчета](#)
- [создать слой для визуализации](#)
- [запустить последовательную загрузку результатов расчета с сохранением изображений в файл](#)

### 5.3.4.7 Параметры расчета

На закладке **Солвер**

в окне **Шага по времени** задайте:

Способ	=	В секундах
Постоянный шаг	=	0.0001 [с]

в окне **Автосохранение данных** задайте:

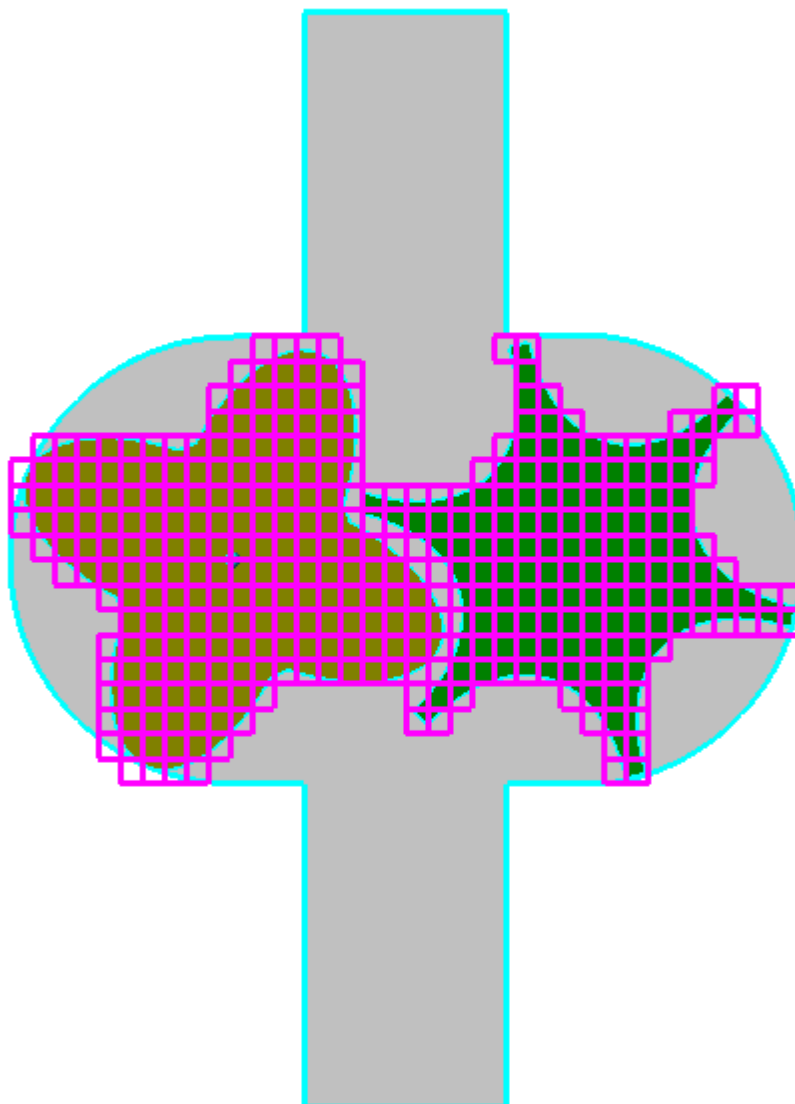
История	=	Да
Частота		
Тип	=	По времени
Число секунд	=	0.0005 [с]

### 5.3.4.8 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты:

1. [Распределение ячеек зазора](#)
2. Мгновенное [распределение скоростей](#) в плоскости симметрии
3. [Динамику поля скоростей](#) во времени

### 5.3.4.8.1 Распределение ячеек зазора

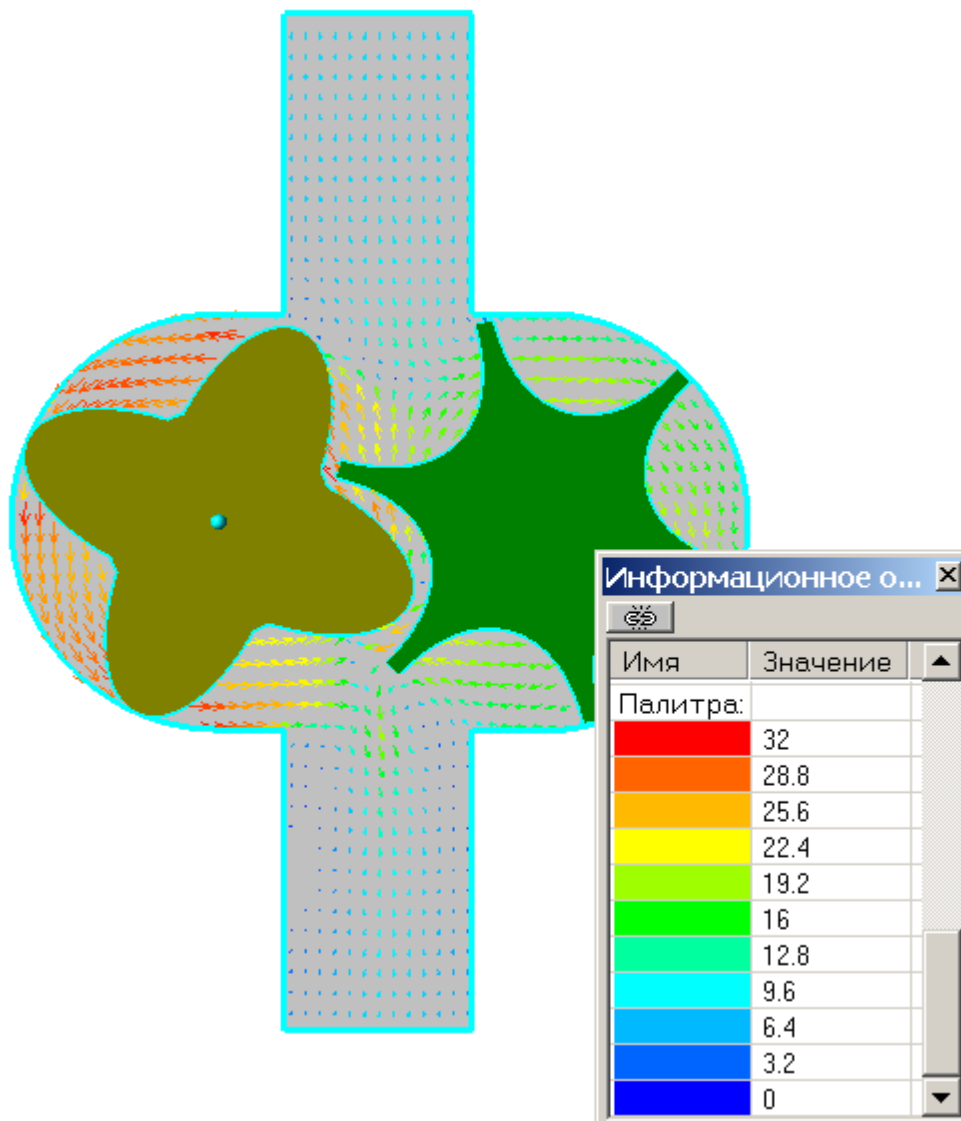


- Создайте слой **Набор ячеек** на **Пространстве**
- Задайте в окне слоя **Набор ячеек**:  
Тип    Зазорные

*Примечание:*

Алгоритм выбора зазорных ячеек смотри главу [Течение в канале с использованием модели зазора](#)

### 5.3.4.8.2 Распределение скоростей





- Создайте слой Векторы на Плоскости,
- В окне Свойства задайте:
 

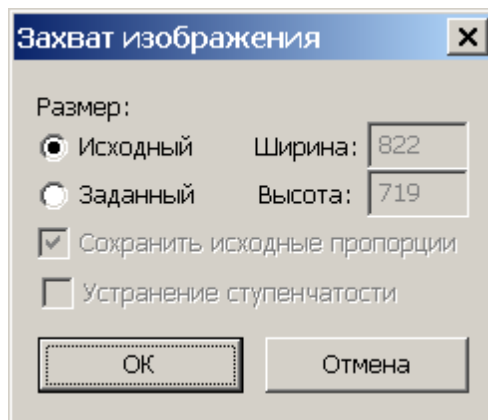
Переменная	Переменная	Скорость
Раскраска	Переменная	Скорость

### 5.3.4.8.3 Динамика поля скоростей

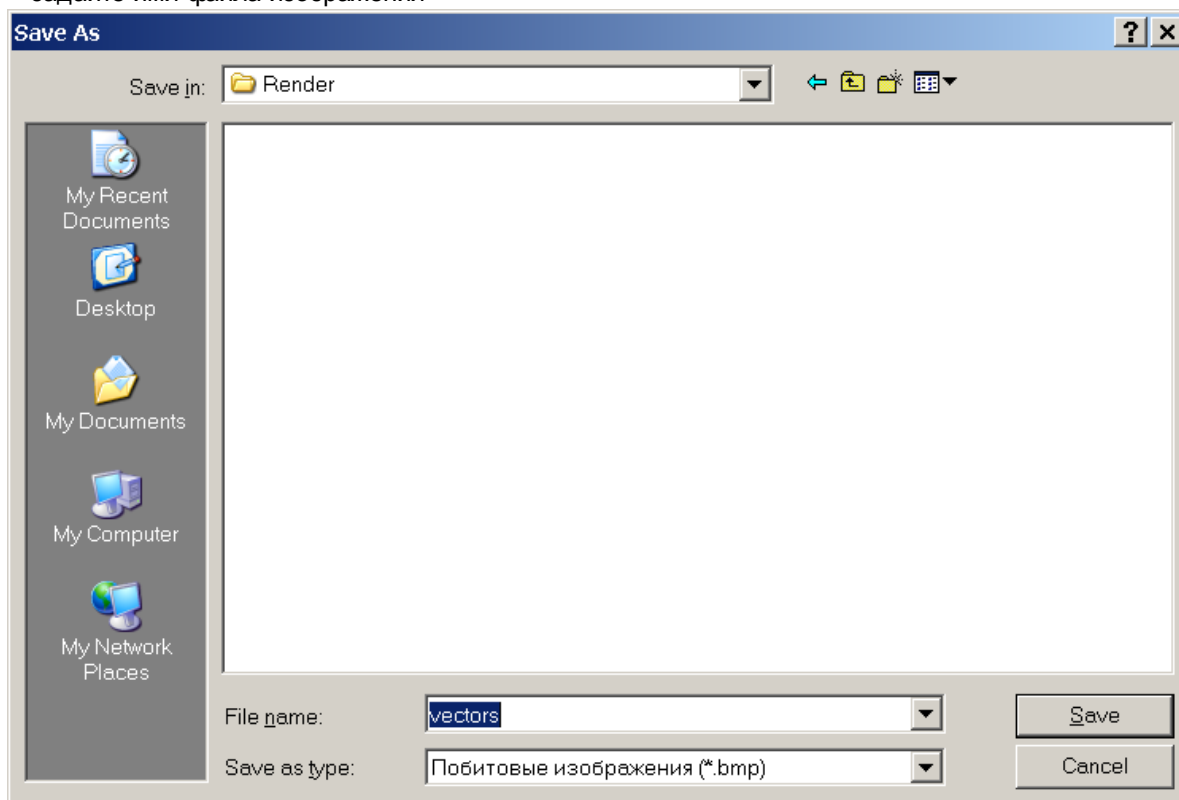
Для того, чтобы отобразить динамику поля скоростей во времени:



- перейдите на первый сохраненный шаг посредством кнопки 
- запустите последовательное сохранение изображений Графического окна в файл посредством кнопки 
  - оставьте размеры окна по умолчанию





- задайте имя файла изображения



- запустите последовательную загрузку данных с промежуточных сохраненных шагов посредством кнопки 
- после окончания последовательной загрузки данных остановите сохранение изображений Графического окна в файл посредством кнопки 

## 6 Сопряжение с Abaqus

## 6.1 Деформируемый клапан в канале



Моделируется течение в двумерном канале, частично перекрытом деформируемым клапаном. Деформация клапана моделируется в Abaqus.

Входные параметры			
Скорость	$V$	= 10	[м с <sup>-1</sup> ]
Параметры жидкости:			
Плотность	$\rho$	= 1000	[кг м <sup>-3</sup> ]
Вязкость	$\mu$	= 0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]
Параметры клапана			
Плотность		= 3500	гк м <sup>-3</sup>
Модуль Юнга		= $3 \cdot 10^9$	
Коэффициент Пуассона		= 0.3	Па

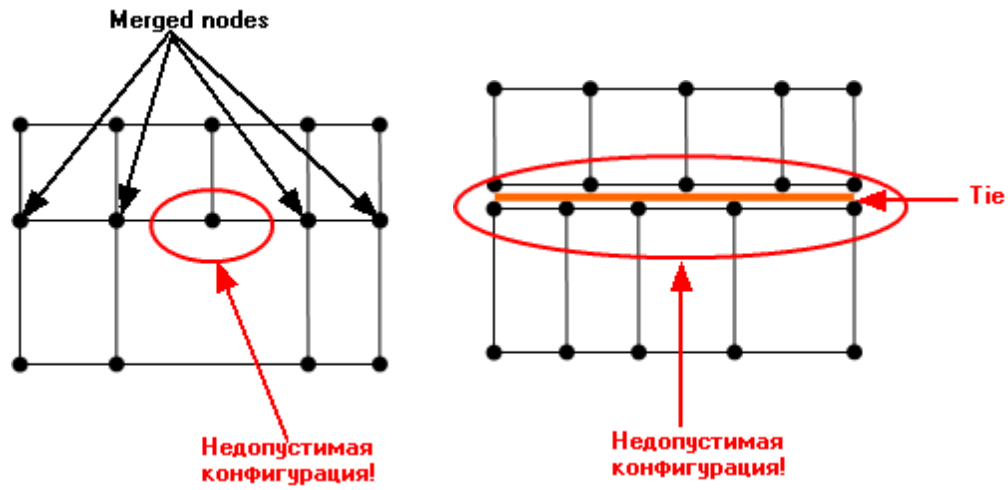
Геометрия	<b>Valve_Channel.WRL</b>
Проект Abaqus	<b>Valve.INP</b>
Проект FlowVision	<b>Valve_Channel</b>

### 6.1.1 Подготовка проекта в Abaqus

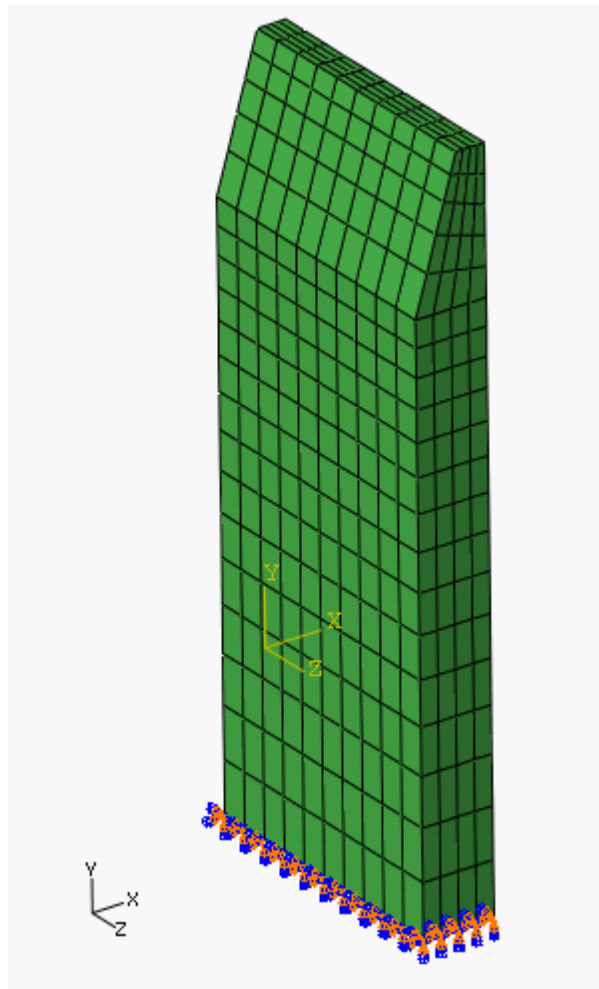
В Abaqus моделируются деформации клапана.

Требования к модели Abaqus:

1. Элементы модели, участвующие в связанной задаче, должны моделироваться трехмерной сеткой.
2. В модели должны быть определены интерфейсные поверхности для связанного расчета (direct coupling).
3. Интерфейсная поверхность должна быть:
  - замкнутой;
  - не иметь дыр;
  - создана на сплошной сетке (не должна строиться по поверхности двух сеток, сшитых TIE-контактом);



### 6.1.1.1 Модель



Создайте клапан со следующими параметрами:

Размеры

X	= 0.05	м
Y	= 0.02	м
Z	= 0.005	м

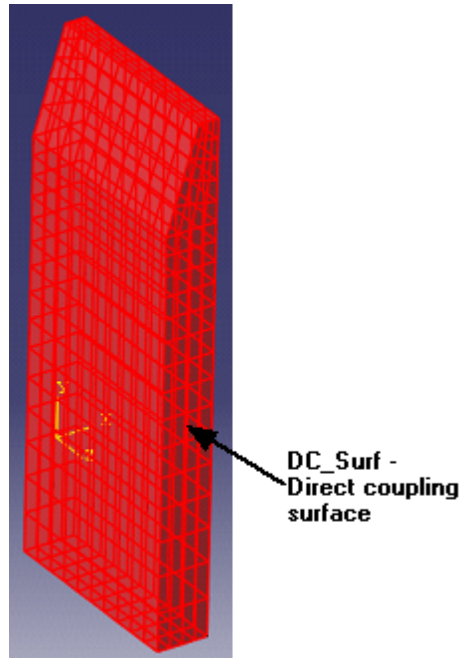
Параметры материала

Плотность	= 3500	гк м <sup>-3</sup>
Модуль Юнга	= 3*10 <sup>9</sup>	Па
Коэффициент Пуассона	= 0.3	

Граничное условие на нижней = Encastre

поверхности	(Врезка)
Сетка	
Количество элементов	= 800
Тип элементов	= C3B8R
Солвер	= Standard

### 6.1.1.2 Интерфейсная поверхность



Задайте интерфейсную поверхность для совместного расчета:

**Assembly> Tools> Surface> Create> Name: DC\_SURF, Type: Mash**

### 6.1.1.3 Модификация файла проекта

Откройте файл проекта INP в текстовом редакторе. Добавьте в модуль STEP следующие строки:

```
*CO-SIMULATION, PROGRAM=DIRECT, NAME=FV_TEST, CONTROLS=COSIM_CONTROLS
**
*CO-SIMULATION REGION, IMPORT
DC-surf, CF
**
*CO-SIMULATION REGION, EXPORT
DC-surf, COORD
**
*CO-SIMULATION CONTROLS, NAME= COSIM_CONTROLS, TIME INCREMENTATION=LOCKSTEP, TIME
MARKS=YES
```

### 6.1.1.4 Создание геометрии для FlowVision

Создайте из INP файла Abaqus файл, содержащий только данные по конечноэлементной сетке импортируемых объектов. Т.о. в INP файле остается только содержимое следующих модулей:

```
*Part, name=velve
*Node
.....
.....
.....
*Element, type=C3D8R
.....
.....
```

```

.....
*End Part
**
**
** ASSEMBLY
**
*Assembly, name=Assembly
**
*Instance, name=velve-1, part=velve
*End Instance
**
.....
.....
.....

*End Assembly

```

## 6.1.2 Подготовка проекта во FlowVision

Во **FlowVision** моделируется движение жидкости в канале.

Требования к проекту **FlowVision**:

- Во **FlowVision** из **Abaqus** должна быть загружена геометрия деформируемого тела, полностью соответствующая деформируемой геометрии в проекте **Abaqus**.
- Геометрия деформируемого тела, загружаемая во **FlowVision** должна соответствовать требованиям, предъявляемым к геометрии во **FlowVision** (см. **Руководство пользователя**)

### 6.1.2.1 Физическая модель

В папке **Вещества**:

- Создайте **Вещество#0**
- Задайте следующие свойства **Вещества#0**:
 

Агрегатное состояние	=	Жидкость	
Плотность			
Значение	=	1000	[м с <sup>-1</sup> ]
Вязкость			
Значение	=	0.001	[кг м <sup>-1</sup> с <sup>-1</sup> ]

В папке **Фазы**:

- Создайте **Фазу#0**
- В **Фазе#0** добавьте в папку **Вещества Вещество#0**
- Задайте в **Фазе#0** в окне свойств папки **Физические процессы**:
 

Движение	=	Ньютоновская жидкость
Турбулентность	=	Стандартная к-е модель

В папке **Модели**:

- Создайте **Модель#0**
- В **Модели#0** добавьте в папку **Фазы Фазу#0**
- Задайте в папке **Начальные данные#0**:
 

Скорость			
X	=	10	[м с <sup>-1</sup> ]

### 6.1.2.2 Подвижное тело

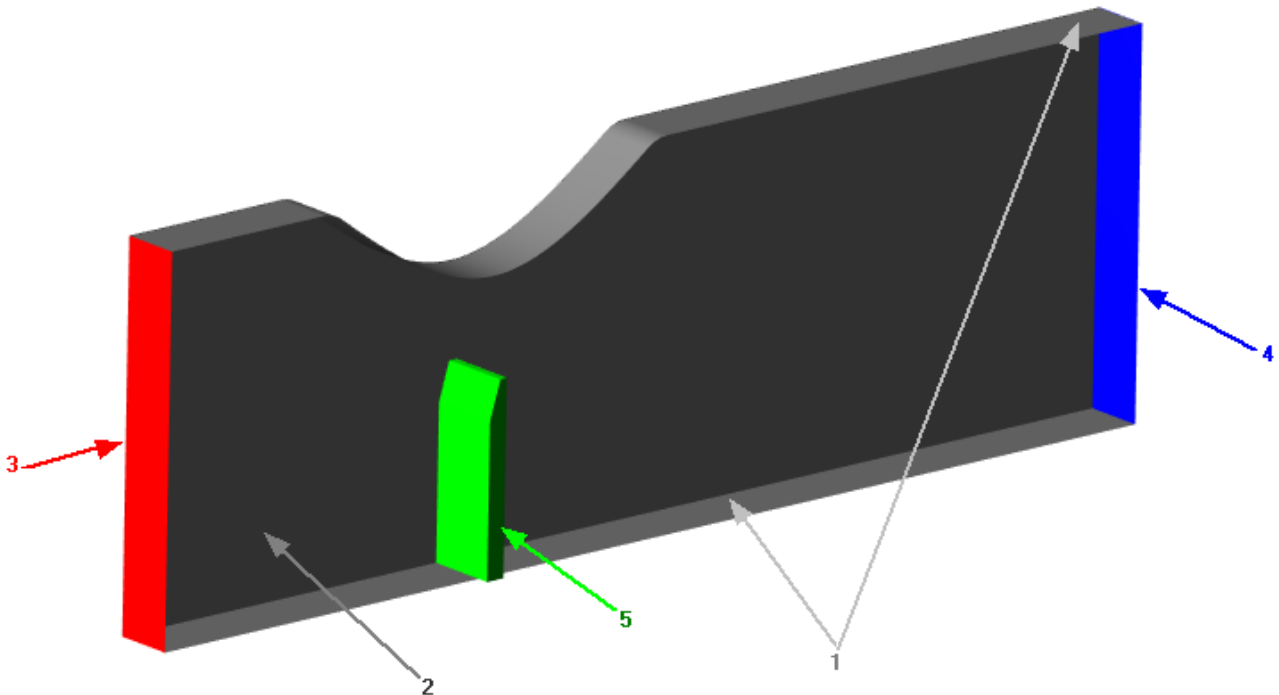
Создайте подвижное тело:

- Загрузите геометрию **Импортированного объекта** из файла **VALVE.INP**
- Создайте **Подвижное тело** на базе **Импортированного объекта**
- В окне **Свойства Подвижного тела** задайте:
 

Начальное положение	
Опорная точка	

X	0	[м]
Y	-0.001	[м]
Z	-0.01	[м]

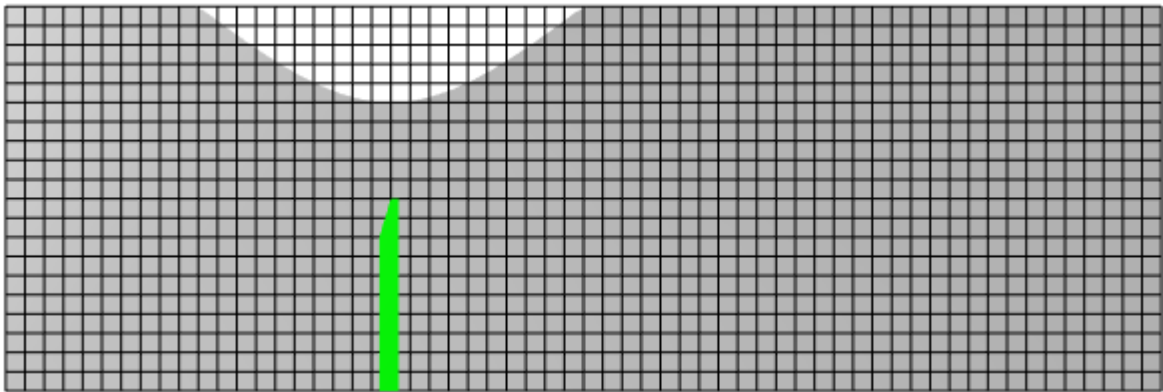
### 6.1.2.3 Граничные условия



Граница 1		
Тип	= Стенка	
Переменные		
Скорость	= Логарифмический закон	
ТурбЭнергия	= Значение в ячейке рядом со стенкой	
ТурбДиссипация	= Значение в ячейке рядом со стенкой	
Граница 2		
Тип	= Симметрия	
Переменные		
Скорость	= Проскальзывание	
ТурбЭнергия	= Нулевой поток	
ТурбДиссипация	= Нулевой поток	
Граница 3		
Тип	= Вход/Выход	
Переменные		
Скорость	= Нормальная массовая скорость	
Значение	= 10000	[кг м <sup>-2</sup> с <sup>-1</sup> ]
ТурбЭнергия	= Пульсации	
Значение	= 0	
ТурбДиссипация	= Масштаб турбулентности	
Значение	= 0	[м]
Граница 4		
Тип	= Свободный выход	
Переменные		
Скорость	= Давление	
Значение	= 0	[Па]
ТурбЭнергия	= Нулевой поток	
ТурбДиссипация	= Нулевой поток	
Граница 5		
Тип	= Стенка	
Переменные		
Скорость	= Логарифмический закон	

ТурбЭнергия	=	Значение в ячейке рядом со стенкой
ТурбДиссипация	=	Значение в ячейке рядом со стенкой

#### 6.1.2.4 Расчетная сетка



Задайте в окне свойств **Начальной сетки**:

nX	=	60
nY	=	1
nZ	=	20

#### 6.1.2.5 Адаптация

В данной задаче необходимо проводить адаптацию сетки по поверхности клапана и сливать ранее проадаптированные ячейки вдали от клапана

- Задайте адаптацию по поверхности клапана. В окне Свойств **ГУ#4** (Клапан) задайте:

Адаптация		
Включить	=	Да
Макс уровень	=	3
Слоев ячеек	=	4

- Создайте критерий адаптации в папке **Адаптация**.
- Задайте в окне **Адаптации**:

Активность	=	Да
Объект	=	Пространство
Макс.уровень	=	0
Разбить/Слить	=	Слить
Область	=	В объеме

#### 6.1.2.6 Параметры расчета

Задайте на закладке **Солвер** в окне свойств элемента **Шаг по времени**:

Способ	=	В секундах	
Постоянный шаг	=	0.05	[с]

#### 6.1.2.7 Модификация файла проекта

Откройте файл проекта FVINP в текстовом редакторе. Добавьте внутрь модуля <FVPROJECT> следующую строку:

```
<ConnectorID>MpmConnector</ConnectorID>
```

#### 6.1.3 Подготовка проекта в МРМенеджере

МРМенеджер - модуль, предназначенный для подготовки совместного расчета Abaqus и FlowVision. В МРМенеджере осуществляется:

- [Задание соединения с Солвер-Агентом FlowVision](#)
- [Выбор проекта FlowVision](#)
- [Задание параметров обмена \(общих параметров\)](#)



- [Выбор проекта Abaqus](#)
- [Запуск на расчет](#)

### 6.1.3.1 Соединение с Солвер-Агентом FlowVision

Задайте в окне MPMangerDirect:

Выберите режим работы	Режим online (на связи с солвер агентом)
FlowVision Солвер-Агент	
IP	IP машины, на которой установлены Солвер и Солвер-Агент
Порт	Порт для соединения с Солвер-Агентом

Нажмите кнопку **Дальше**

Задайте в окне Авторизация:

Имя	Имя пользователя на Солвер-Агенте
Пароль	Пароль пользователя на Солвер-Агенте

### 6.1.3.2 Выбор проекта FlowVision

Задайте в окне **Выбор проекта**:

Использовать существующий проект	
Имя проекта	Имя проекта FlowVision (серверная часть)

Нажмите кнопку **Дальше**

*Внимание:*

Перед началом расчета необходимо создать серверную часть проекта.

Нельзя запустить на расчет проект, загруженный на Солвер, к которому подключен Пре-Постпроцессор.

### 6.1.3.3 Общие параметры

Задайте в окне **Общие параметры**:

Шаг обмена	
Абсолютны шаг обмена, с	0.05
Коэффициенты пересчета	
Нагрузка	1
Параметры релаксации по нагрузке	
R1	0
R2	1
N1	0
N2	1

Нажмите кнопку **Дальше**

### 6.1.3.4 Выбор проекта Abaqus

Задайте в окне **Параметры Abaqus**

Запуск Abaqus	
Запускать Abaqus автоматически	
MPM-Агент IP	IP адрес машины, на которой установлен MPM Агент и Abaqus
MPM-Агент порт	Порт для соединения с MPM-Агентом
Прямое соединение	
Abaqus порт	Порт для прямого соединения Abaqus и FlowVision
Проект Abaqus	
Файл проекта	Локальный путь к проекту Abaqus
Параметры	double

Нажмите кнопку **Дальше**

*Примечание:*

Имя файла проекта Abaqus приводится без расширения.

### 6.1.3.5 Запуск на расчет

Задайте в окне **Запуск солвера**

Запустить FlowVision солвер и начать расчет проекта

Начать расчет сначала

*Примечания:*

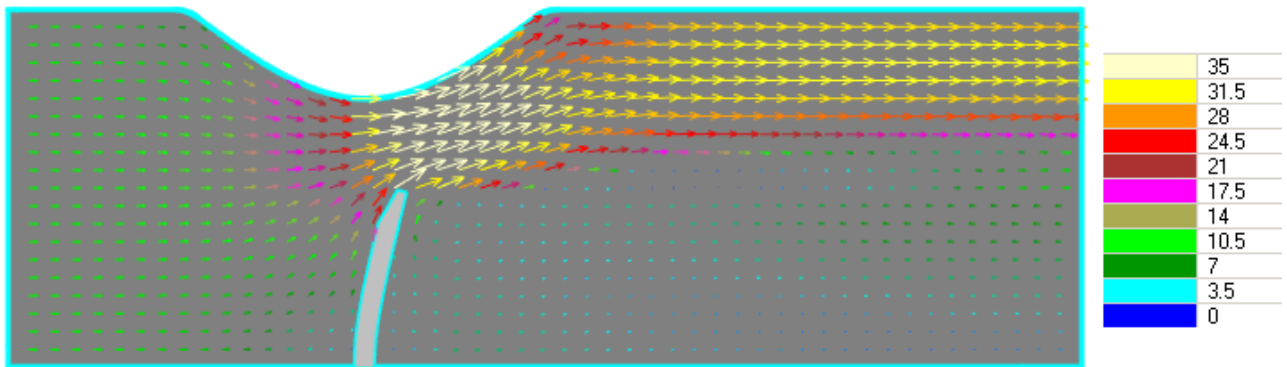
1. Количество процессоров, на которых запускается проект, определяется пользователем.
2. Если параметры совместного расчета Abaqus - FlowVision уже были однажды заданы, расчет может быть запущен с помощью Терминала.

## 6.1.4 Визуализация результатов

Визуализируйте следующие результаты:

1. [Распределение скорости в плоскости течения.](#)
2. [Распределение давления по поверхности клапана](#)

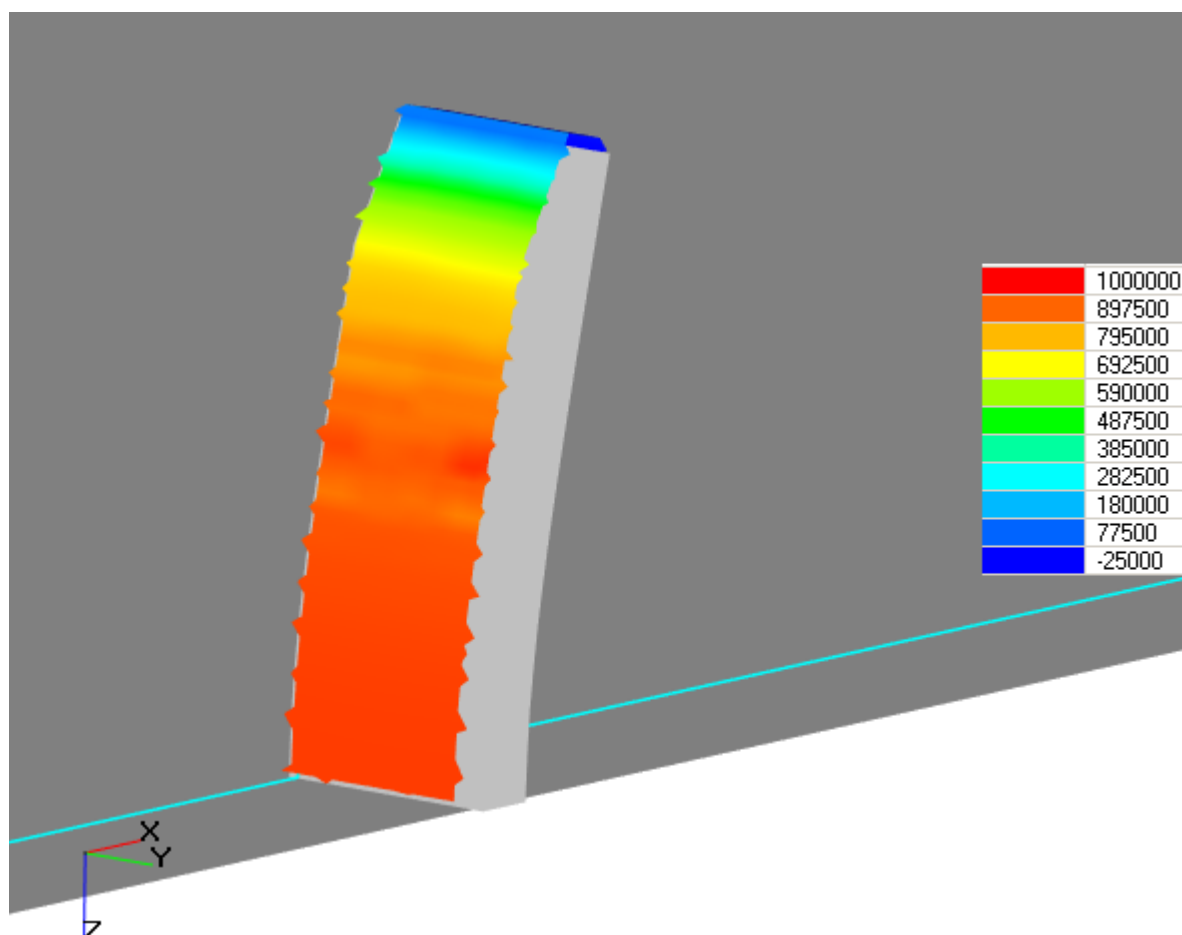
### 6.1.4.1 Распределение скоростей



- Создайте слой Векторы на Плоскости,
- В окне Свойства задайте:
 

Переменная	Переменная	Скорость
Раскраска	Переменная	Скорость

## 6.1.4.2 Распределение давления



- Создайте слой **Цветовые контуры** на **Супергруппе** с **ГУ Клапан**,
- В окне Свойства задайте:  
    Переменная                      Давление