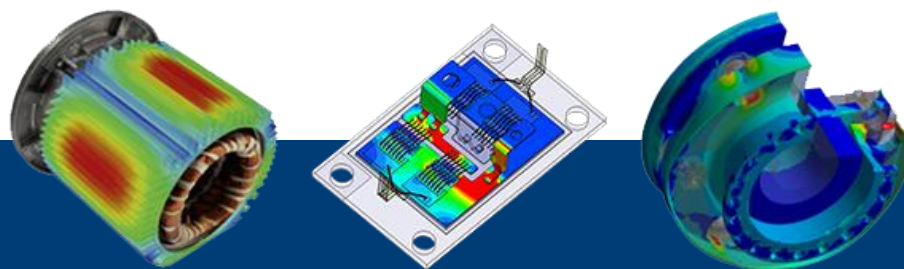


Инженерный анализ - это больше,  
чем программное обеспечение<sup>®</sup>



Расчёт параметров турбулентной осесимметричной струи  
на выходе из сопла в ANSYS Fluent

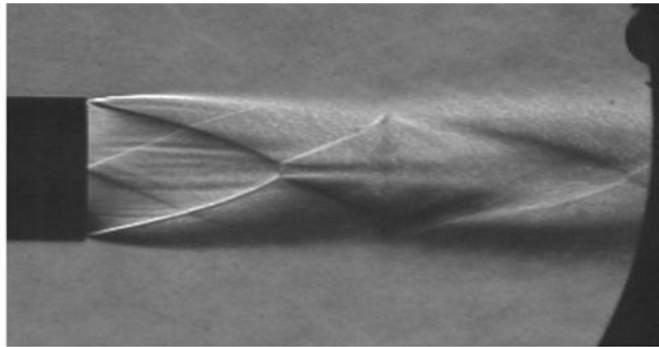
Денис Хитрых, КАДФЕМ Си-Ай-Эс, 2010-2014

## Необходимые пояснения

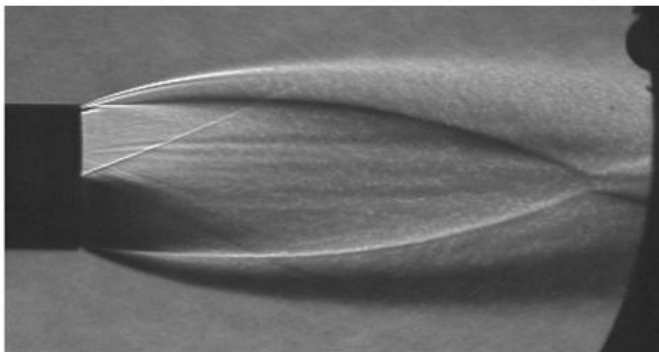
**Этот обучающий пример создан с целью ознакомления начинающих пользователей с возможностями ANSYS Fluent по расчету истечения турбулентных струй из сопел.**

- Расчет выполнен в двумерной постановке с условием осесимметрии.
- Используется DBS решатель с явной схемой (Explicit).
- Используется модель турбулентности SST-k- $\omega$  с учетом сжимаемости среды.
- Расчетная сетка – файл fluent2d.msh (~20.000 ячеек).

## Эксперимент



Шлирен картина для неизобарической струи при степени нерасчетности  $P_a / P_e = 0.748$  и времени экспозиции  $t = 1/30$  секунды [3].

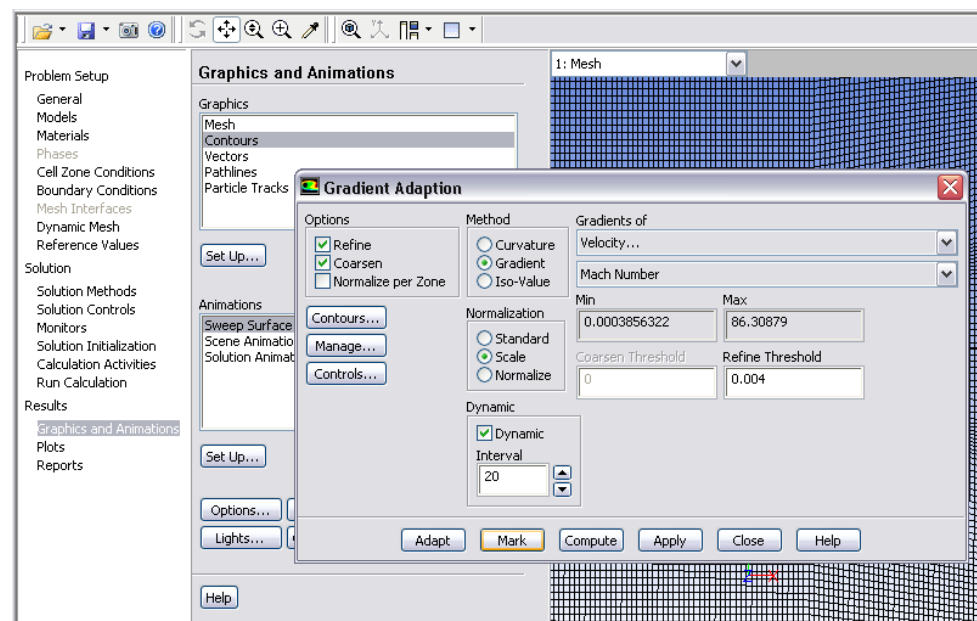


Шлирен картина для неизобарической струи при степени нерасчетности  $P_a / P_e = 2.314$  и времени экспозиции  $t = 1/30$  секунды [3].

## Адаптация сетки

Задание управляющих параметров для построения адаптивной сетки по градиенту числа Маха:

1. **Выбор метода адаптации:** Adapt -> Gradient.
2. **Заполните поля панели Gradient Adaptation:**
3. **Options:** Refine и Coarsen;
4. **Normalization:** Scale;
5. **Dynamic:** Вкл. и Interval = 20;
6. **Gradients of:** Velocity -> Mach Number.
7. **Нажмите [Compute].**



## Адаптация сетки (продолжение)

8. В панели **Gradient Adaptation** выполните операцию **[Mark]**:
9. Затем нажмите на **[Manage]** -> появится панель **Manage Adaptation Registers**.
10. В этой панели в окне **Registers** выделяем идентификатор **gradint-r0** и нажимаем кнопку **[Display]**.
11. Далее **[Adapt]**.
12. В панели **Adaption Display Options** определяем следующие параметры:

**Options:** Draw Mesh, Filled;

**Refine:** Wireframe, Marker;

**Refine-Size:** red;

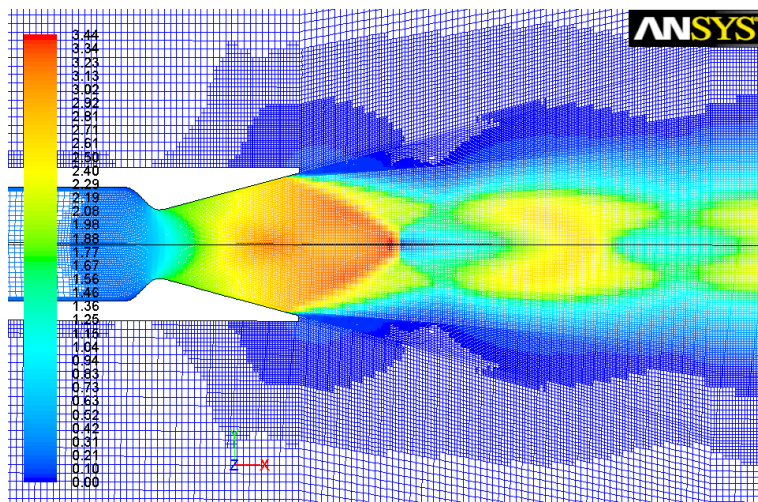
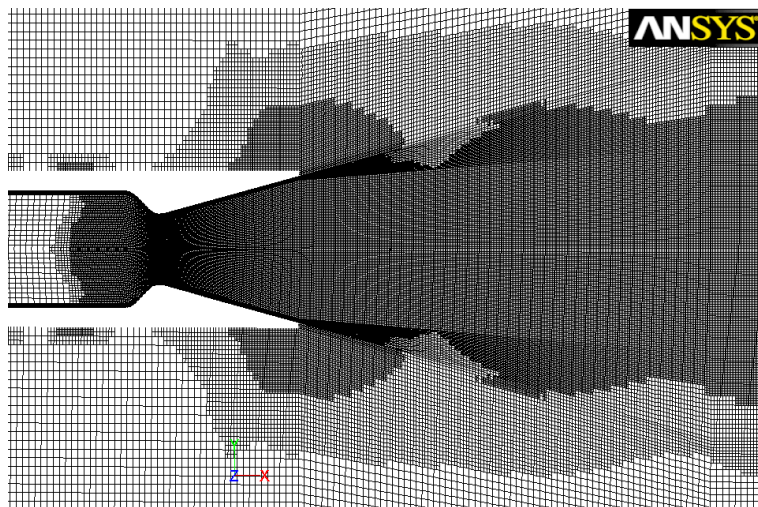
**Refine-Symbol:** @;

**Coarsen-Color:** cyan;

**Coarsen-Color:** 0.1;

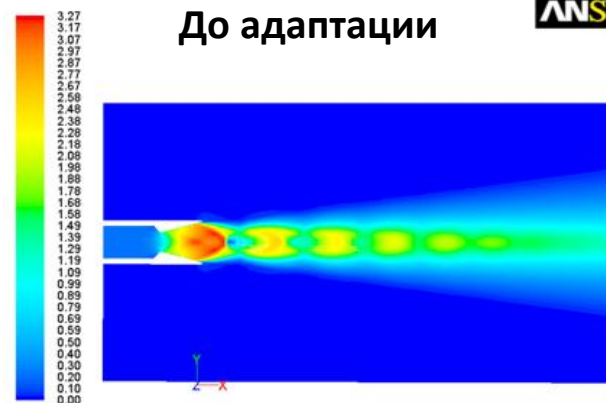
**Coarsen-Color:** @.

# Результаты адаптации сетки



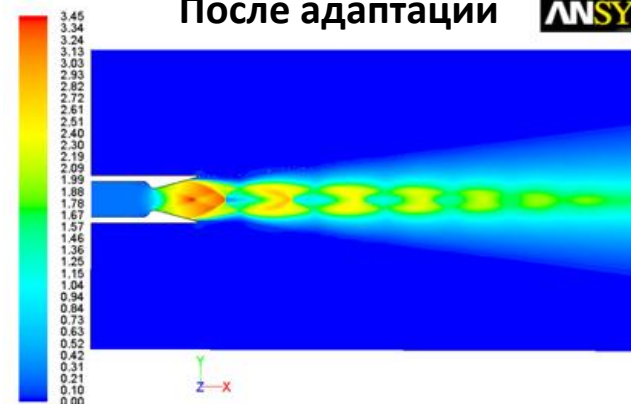
До адаптации

ANSYS

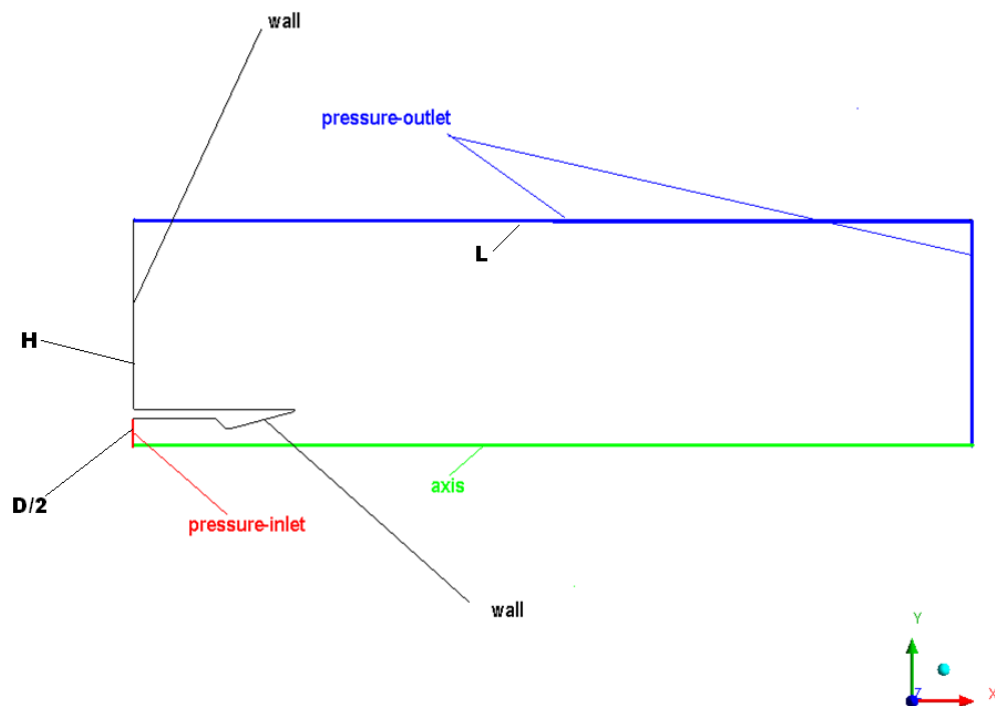


После адаптации

ANSYS



## Схема граничных условий и размеры расчетной области



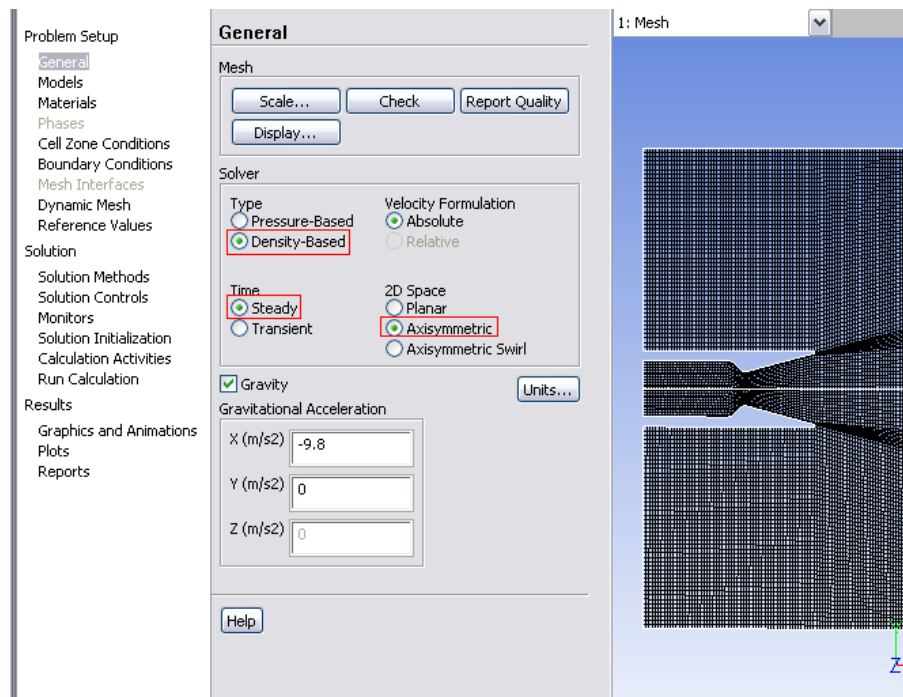
**Характерный размер:**  
диаметр сопла  $D = 28$  мм.

**Размеры расчетной области:**  
 $H/D = 3.5$ ;  
 $L/D = 15.5$ .

## Установки решателя

**В панели General выбираем:**

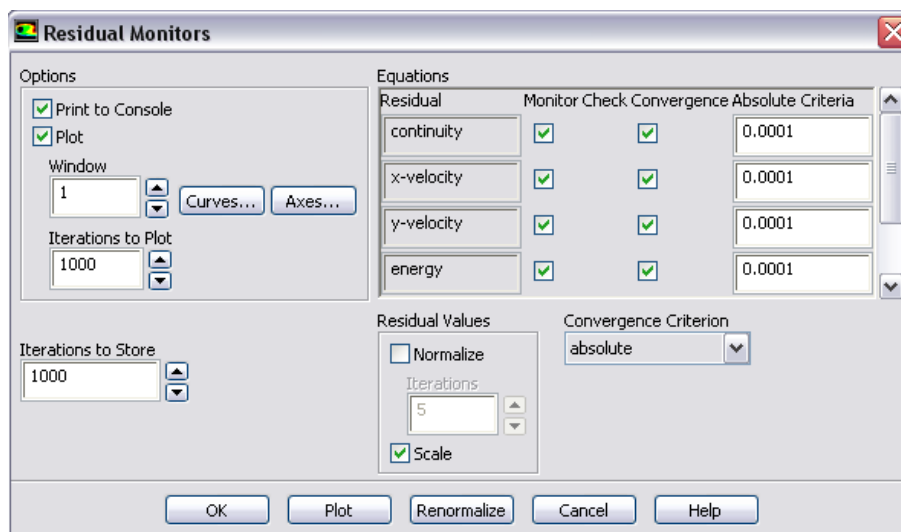
1. Тип решателя Solver = Density-Based;
2. Тип задачи Time = Steady (стационарная);
3. Для осесимметричной постановки в опциях 2D Space выбираем Axisymmetric.
4. После этого переходим к заданию параметров сходимости -> панель Residual Monitors



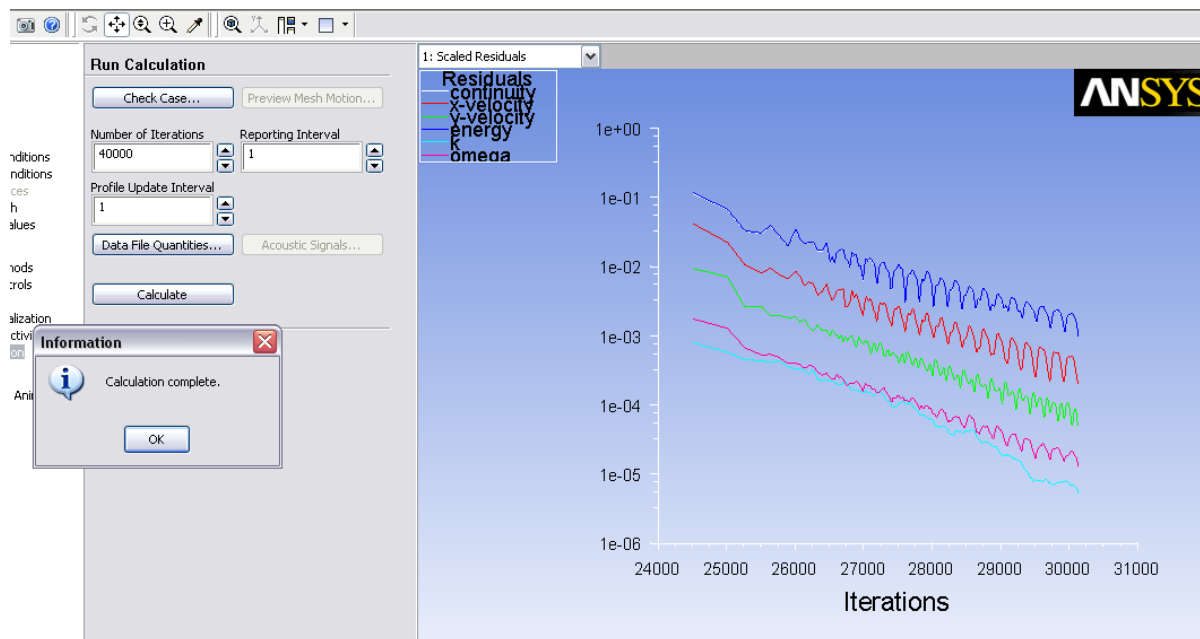


## Установка параметров сходимости

Заполните панель Residual Monitors в соответствии с представленным рисунком.



# Типичная картина поведения невязок во время итераций

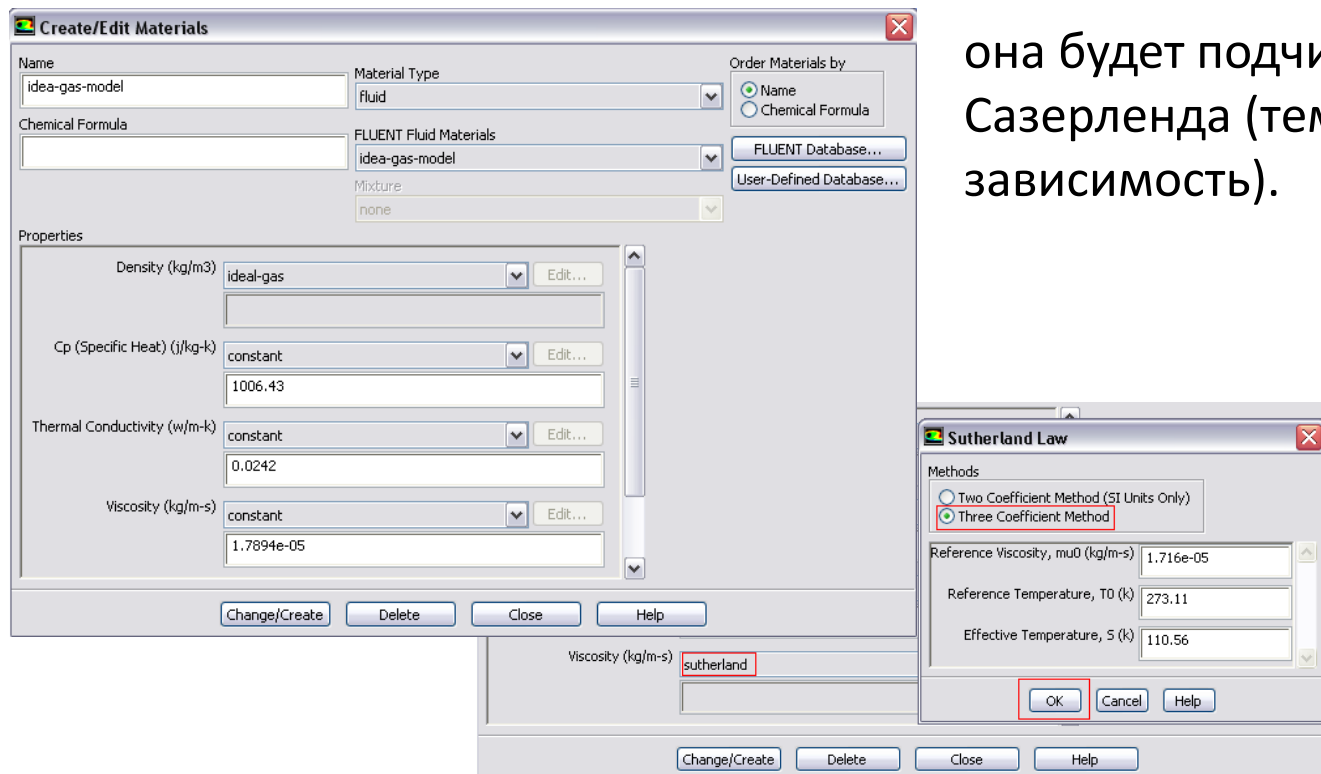


## Задание свойств модельной среды

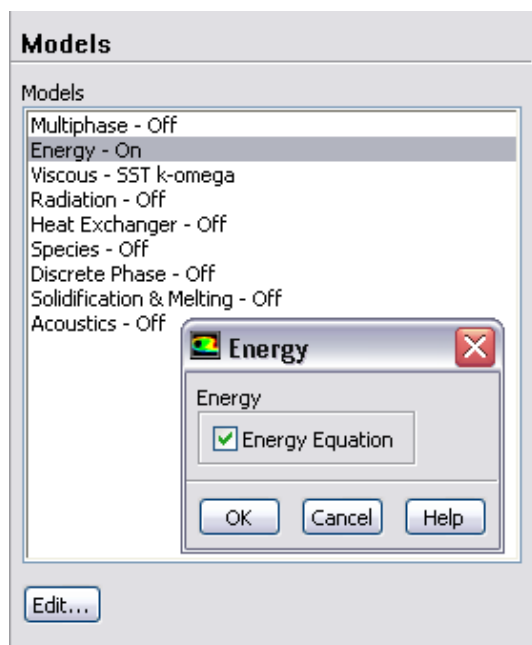
Перейдите в панель Create/Edit Materials и выберите модель Идеального газа (ideal-gas).

Далее отредактируйте Динамическую вязкость (Viscosity):

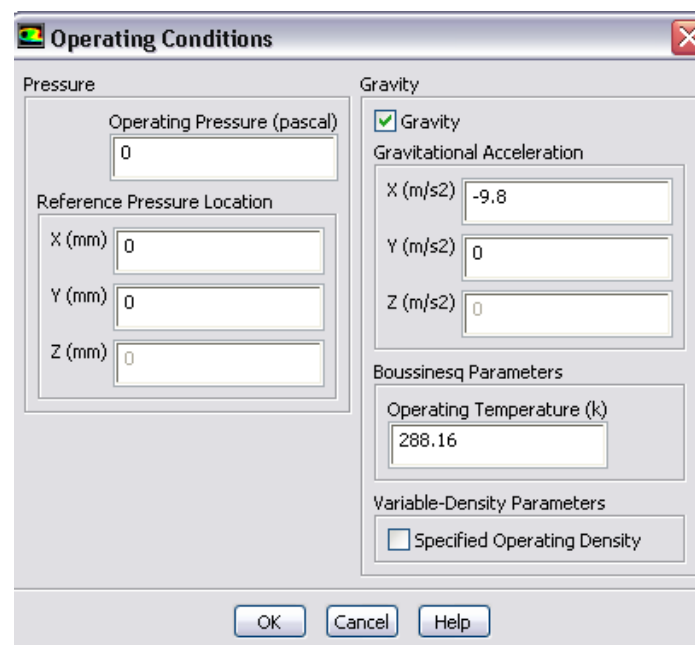
она будет подчиняться закону Сазерленда (температурная зависимость).



## Уравнение энергии и опорные параметры



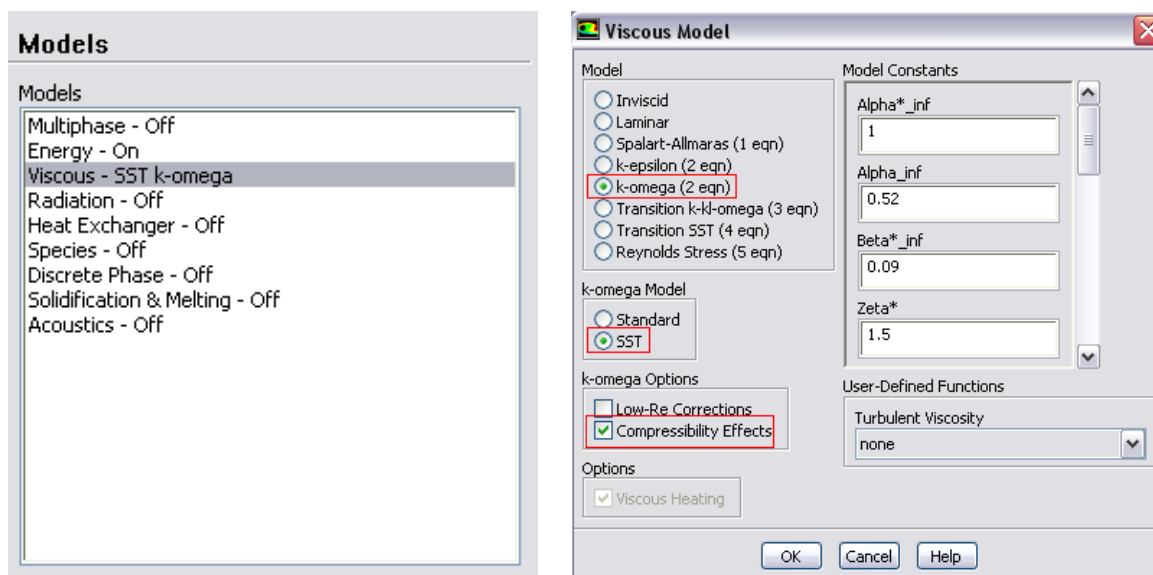
Включаем решение уравнения энергии в панели Models



Задаем опорные параметры в панели Operating Conditions

## Модель турбулентности

Выбираем модель турбулентности SST k- $\omega$  с опцией учета сжимаемости модельной среды (выделено красным цветом).



## Установка параметров решателя

**Solution Methods**

Formulation  
 Explicit

Flux Type  
 Roe-FDS

Spatial Discretization

Gradient  
 Least Squares Cell Based

Flow  
 Second Order Upwind

Turbulent Kinetic Energy  
 Second Order Upwind

Turbulent Dissipation Rate  
 Second Order Upwind

Transient Formulation  
 Non-Iterative Time Advancement  
 Frozen Flux Formulation

Default

**Solution Controls**

Courant Number  
 1

Multigrid Levels  
 0

Residual Smoothing  
 Iterations 0

Under-Relaxation Factors

Turbulent Kinetic Energy  
 0.8

Turbulent Dissipation Rate  
 0.8

Turbulent Viscosity  
 1

Solid  
 1

Default

Equations... Limits... Advanced...

## Задание граничных условий

Граничные условия определяем в соответствии со схемой, показанной на 7 слайде:

1. **На входе** в сопло определяем полное давление (pressure-inlet)  $P = 2.5 \cdot 10^5$  Па. Для другой степени нерасчетности следует задавать другое значение давления.

Параметры турбулентности на входе: Turb. Inten. = 1.5%; Turb. Len. Sc. = 10 мм.  
Температура на входе  $T = 287$  К.

2. **На выходе** расчетной области задаем ГУ pressure-outlet :  $P = 1.008 \cdot 10^5$  Па.  
Температура на выходе  $T = 294$  К.

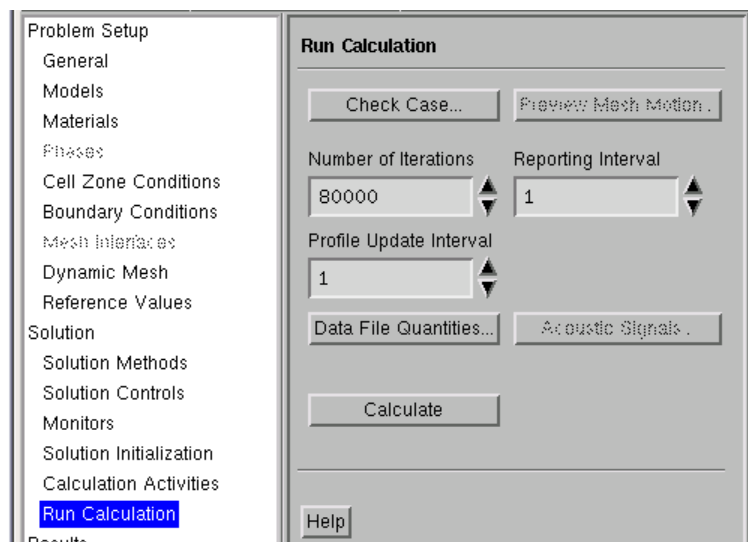
Параметры турбулентности на входе: Turb. Inten. = 1.5%; Turb. Len. Sc. = 10 мм.

3. **На стенках:**  $T = 287$  К.

## Запуск задачи

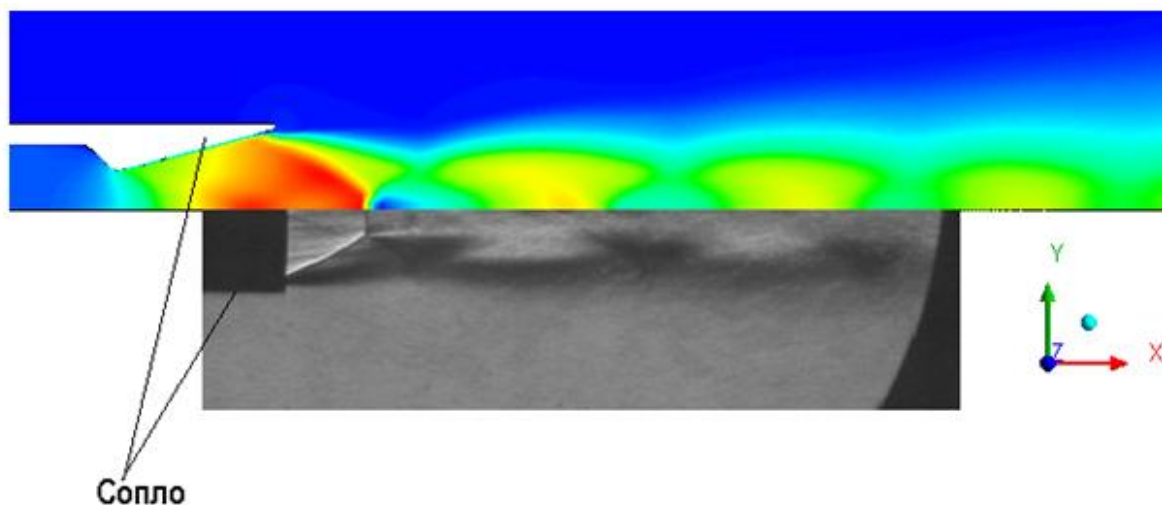
Переходим в раздел Run Calculation и в одноименной панели определяем настройки в соответствии с рисунком.

Нажимаем **[Calculate]**. И ждем 1 час, 2 часа, день и т. д. (в зависимости от мощности вашей рабочей станции) завершения итерационного процесса.





## Результаты моделирования



Расчетное поле числа Маха, полученное в ANSYS Fluent и шлирен картинка (ИТПМ СО РАН г. Новосибирск) для неизобарической струи при степени нерасчетности 0.303 и времени экспозиции  $t = 1/30$  сек.