



Центр Компетенции

Инженерный анализ - это больше, чем программное обеспечение®



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-ω 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].

Problem Setup	Graphics and	d Animations	1	: Mesh		
General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions	Graphics Mesh Contours Vectors Pathlines Particle Tracks	Gradient Adaption	n			
Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution Solution Controls Monitors Solution Tritialization Calculation Activities Run Calculation	Set Up Animations Sweep Surface Scene Animatio Solution Animat	Options	Method Curvature ③ Gradient Iso-Value Normalization ③ Standard ④ Scale Normalize	Gradients of Velocity Mach Number Min 0.0003856322 Coarsen Threshold	Max 86.30879 Refine Threshold 0.004	~
Results Graphics and Animations Plots Reports	Set Up Options	Adapt	Dynamic Dynamic Interval 20 Mark	Compute Apply	Close Help	





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









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:

 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

Problem Setup	General	1: Mesh	▼
General Models Materials Phases Cell Zone Conditions Boundary Conditions	Mesh Scale Check Report Quality Display Schurz		
Mesh Interfaces Dynamic Mesh Reference Values Solution	Type Velocity Formulation Pressure-Based Absolute Relative		
Solution Methods Solution Controls Monitors Solution Initialization Calculation Activities Run Calculation	Time 2D Space O Steady Planar O Transient O Axisymmetric O Axisymmetric Swirl		
Results Graphics and Animations Plots Reports	Gravitational Acceleration X (m/s2) -9.8 Y (m/s2) 0 Z (m/s2) 0 0		
	Help		z_





Установка параметров сходимости

Заполните панель Residual Monitors в соответствии с представленным рисунком.

💶 Residual Monitors				X
Options Print to Console Plot Window Curves Axes Iterations to Plot 1000 V	Equations Residual Moni continuity V x-velocity V y-velocity V energy V	tor Check Convergen V V V V	ce Absolute Criteria 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001 0.0001	
Iterations to Store	Residual Values Normalize Tterations 5 V Scale	Convergence Criteria absolute		
OK Plot	Renormalize	Cancel Hel	P	







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):

Create/Edit Materials Name Idea-gas-model Chemical Formula	Material Type fluid FLUENT Fluid Mater idea-gas-model Mixture none	als	Order Materials by Order Materials by Onemical Formula FLUENT Database User-Defined Database	она будет подчин Сазерленда (тем зависимость).	нятся закону пературная
Properties					
Density (kg/m3)	ideal-gas	Edit			
Cp (Specific Heat) (j/kg-k)	constant 1006.43	Edit			
Thermal Conductivity (w/m-k)	constant 0.0242	Edit		Sutherland Law X	
Viscosity (kg/m-s)	constant 1.7894e-05			Two Coefficient Method (SI Units Only) Three Coefficient Method Reference Viscosity, mu0 (kg/m-s) 1.716e-05	
	Change/Create Delete (Close Help		Reference Temperature, T0 (k) 273.11 Effective Temperature, S (k) 110.56	
		Viscosity (kg/m-s) sutherla	and		
		Change/	/Create Delete	Close Help	



Уравнение энергии и опорные параметры

Models		
Models		
Multiphase - Off		
Energy - On		
Viscous - SST k-omega		
Radiation - Off Heat Exchanger - Off		
Speries - Off		
Discrete Phase - Off		
Solidification & Melting - Off		
Acoustics - Off		
🔛 Energy 🛛 🔯		
Epergy		
Energy Equation		
OK Capcel Help		
Edit		

ressure	Gravity
Operating Pressure (pascal) 0 Reference Pressure Location X (mm) 0 Y (mm) 0 Z (mm) 0	✓ Gravity Gravitational Acceleration X (m/s2) -9.8 Y (m/s2) 0 Z (m/s2) 0 Boussinesq Parameters Operating Temperature (k) 288.16 Variable-Density Parameters Specified Operating Density

Включаем решение уравнения энергии в панели Models Задаем опорные параметры в панели Operating Conditions





Модель турбулентности

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

Models	Viscous Model	
Models Multiphase - Off Energy - On Viscous - SST k-omega Radiation - Off Heat Exchanger - Off Species - Off Discrete Phase - Off Solidification & Melting - Off Acoustics - Off	Model Inviscid Laminar Spalart-Allmaras (1 eqn) K-engian (2 eqn) Transition k-kl-omega (3 eqn) Transition SST (4 eqn) Reynolds Stress (5 eqn) k-omega Model Standard SST k-omega Options Low-Re Corrections Compressibility Effects Options Viscous Heating OK	Model Constants Alpha*_inf 1 Alpha_inf 0.52 Beta*_inf 0.09 Zeta* 1.5 User-Defined Functions Turbulent Viscosity none





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 Multigrid Levels	
1 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:

 На входе в сопло определяем полное давление (pressure-inlet) Р = 2.5·10⁵ 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.

На выходе расчетной области задаем ГУ pressure-outlet : P = 1.008·10⁵ 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.

Problem Setup	Run Calculation
General	
Models	Chack Caco
Materials	CHECK Case
Phases	Number of Iterations Reporting Interval
Cell Zone Conditions	
Boundary Conditions	V V V
Mesh Interfaces	Profile Update Interval
Dynamic Mesh	1
Reference Values	Y
Solution	Data File Quantities Acoustic Signals .
Solution Methods	
Solution Controls	Output the
Monitors	
Solution Initialization	
Calculation Activities	
Run Calculation	Help
Reculte	







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.

