

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIIHЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2016 Issue: 10 Volume: 42

Published: 30.10.2016 <http://T-Science.org>

Denis Chemezov

Master of Engineering and Technology,
Corresponding Member of International Academy of
Theoretical and Applied Sciences, Lecturer of Vladimir
Industrial College, Russian Federation
chemezov-da@yandex.ru

Anzhelika Bayakina

Lecturer of Vladimir Industrial College,
Russian Federation
bajakina.anzhelika@yandex.ru

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

THE SIMULATION OF THE FLUID FLOW ON THE INNER WALL OF THE CIRCULAR PIPE

Abstract: In the article is presented the analysis of computer simulation near-wall fluid flow in a circular pipe.

Key words: wall, velocity, fluid, pipe.

Language: Russian

Citation: Chemezov D, Bayakina A (2016) THE SIMULATION OF THE FLUID FLOW ON THE INNER WALL OF THE CIRCULAR PIPE. ISJ Theoretical & Applied Science, 10 (42): 1-3.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-10-42-1> **Doi:** [crossref http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.10.42.1](http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.10.42.1)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ НА ВНУТРЕННЕЙ СТЕНКЕ КРУГЛОЙ ТРУБЫ

Аннотация: В статье представлен анализ компьютерного моделирования пристеночного течения жидкости в круглой трубе.

Ключевые слова: стенка, скорость, жидкость, труба.

Introduction

На этапе подготовки компьютерного моделирования процесса турбулентного потока задаются начальная скорость и направление течения жидкости и граничные условия для внутренней стенки модели трубы. Граничными условиями будут являться качество разбиения твердотельной объемной модели трубы на конечные элементы, величина скорости течения жидкости v в пристеночном слое, величина

шероховатости внутренней поверхности стенки трубы B (закон стенки), характер скольжения жидкости на стенке трубы и др. параметры. Математическое описание изменения скорости турбулентного течения [1], а так же напряжения и деформации слоев жидкости в круглой трубе представлено в работе [2]. Для внутренней стенки модели трубы были заданы условия выполнения расчета турбулентного течения жидкости [3, с. 30-52] (рис. 1).

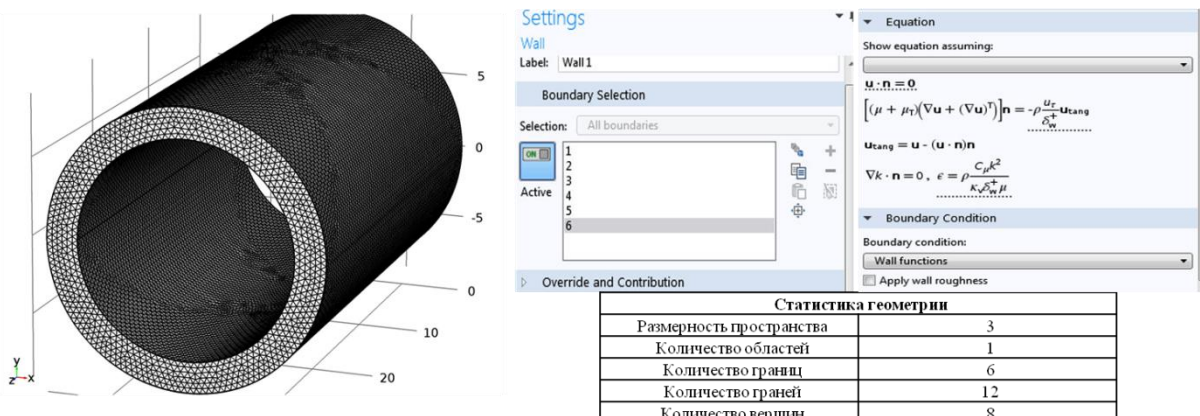


Рисунок 1 – Условия для внутренней стенки круглой трубы (модуль CFD программы COMSOL Multiphysics).

Materials and Methods

Зависимость касательной компоненты скорости турбулентного течения жидкости от безразмерного расстояния до внутренней стенки трубы по нормали задается универсальным профилем (функцией). Выбор значений параметров для функции зависит от пристеночной функции. Пристеночная функция – зависимость переменных в турбулентном пограничном слое от координаты по нормали к поверхности внутренней стенки круглой трубы. Пограничным слоем в данном случае будет являться некоторая область течения жидкости у поверхности стенки трубы, где наблюдается изменения скорости потока. В пограничном слое происходит плавное изменение скорости течения жидкости от максимального значения на верхней границе до нуля на нижней границе (стенка трубы).

Запишем формулу (1), определяющую промежуточную переменную для скорости течения жидкости на внутренней стенке модели круглой трубы u_n , м/с

$$u_n = u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z, \quad (1)$$

где u, v, w – проекции вектора скорости потока соответственно на координатные оси x, y, z ; n – нормальный вектор, x, y и z составляющие n .

Переменная n_i – нормаль к некоторой площади поверхности конечных элементов внутренней стенки объемной модели круглой трубы. Так как скорость турбулентного потока жидкости в трубе изменяется со временем и не равна 0, то для определения проекций вектора можно применить функции $u(x, y, z, t), v(x, y, z, t)$ и $w(x, y, z, t)$.

Составляющие u_n (м/с) можно представить в виде (2)

$$\begin{cases} u_{nx} = u_n \cdot n_x \\ u_{ny} = u_n \cdot n_y, \\ u_{nz} = u_n \cdot n_z \end{cases} \quad (2)$$

где u_{nx}, u_{ny}, u_{nz} – составляющие u_n , м/с.

Скачок в нормальной скорости течения жидкости на внутренней стенке трубы будет равен промежуточной переменной, т. е. $u_{jump} = u_n$, м/с.

Составляющие тангенциальной скорости течения жидкости на внутренней стенке круглой трубы u_{tang} . (м/с) определяются по формулам (3)

$$\begin{cases} u_{\tan g.x} = u - n_x(u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z) \\ u_{\tan g.y} = v - n_y(u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z), \\ u_{\tan g.z} = w - n_z(u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z) \end{cases} \quad (3)$$

где $u_{tang.x}, u_{tang.y}, u_{tang.z}$ – составляющие u_{tang} , м/с.

По формуле (4) находят тангенциальную скорость течения жидкости на внутренней стенке круглой трубы u^+ в единицах вязкости

$$u^+ = \frac{\ln(\delta_w^+)}{\kappa_v + B}, \quad (4)$$

где δ_w^+ – отрыв потока жидкости от внутренней стенки трубы в единицах вязкости, $\delta_w^+ = 11.06$; κ_v – постоянный коэффициент Кармана, $\kappa_v = 0.41$ [4]; B – коэффициент, зависящий от величины шероховатости внутренней поверхности трубы [5].

Отрыв потока δ_w (м) происходит в результате прекращения движения жидкости вдоль поверхности внутренней стенки трубы (отсутствие вязкого трения и увеличение давления в направлении тока жидкости). δ_w находится из выражения (5)

$$\delta_w = \frac{\delta_w^+ \cdot [\mu]}{[\rho] \cdot \max(u_\tau, \sqrt{eps})}, \quad (5)$$

где $[\mu]$ и $[\rho]$ – оператор down для динамической вязкости (Па · с) и плотности жидкости (кг/м³) соответственно, выбирает данные параметры на нижней границе компьютерного расчета [6, с. 73-74]; \max – математическая функция, возвращает большее из двух сравниваемых аргументов; u_τ – скорость трения жидкости на внутренней стенке круглой трубы, м/с; eps – погрешность для операций над числами с плавающей точкой [7].

Функция \max зачастую используется для ограничения нижней границы значений переменной. В условиях применения математической функции \max следует избегать использования других функций в качестве параметров.

При моделировании турбулентного режима взаимодействие слоев жидкости с конечными элементами внутренней стенки круглой трубы происходит по касательной. Это взаимодействие является внешним трением жидкости на стенке трубы. Сила внешнего трения пропорциональна разности касательных скоростей слоев жидкости и площади конечных элементов внутренней стенки трубы. u_τ определяется по формуле (6)

$$u_\tau = \max \left(C_\mu^{0.25} \cdot \sqrt{k_{reg.}}, \frac{\sqrt{u_{\tan g.x}^2 + u_{\tan g.y}^2 + u_{\tan g.z}^2 + eps}}{u^+} \right), \quad (6)$$

где C_μ – параметр k - ϵ модели турбулентности (константа), $C_\mu = 0.09$ [8]; $k_{reg.}$ – упорядоченная кинетическая энергия турбулентности потока

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

жидкости, m^2/c^2 , $k_{reg.} = \max(k, 0)$, где k – кинетическая энергия турбулентности потока жидкости, m^2/c^2 .

Под относительной скоростью понимают скорость течения жидкости в пограничном слое

$$v_{rel.} = (u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z) \sqrt{(u \cdot n_x + v \cdot n_y + w \cdot n_z)^2} \quad (7)$$

где **первый** множитель в уравнении – промежуточная переменная для скорости течения жидкости на внутренней стенке модели круглой трубы $u_n < 0$.

Составляющие среднего вязкостного напряжения на внутренней стенке круглой трубы τ_μ (Н/мм²) от воздействия жидкости (когда сила трения жидкости будет равна силе сопротивления) можно представить системой уравнений (8)

$$\begin{cases} \tau_{\mu x} = \tau_{xx} \cdot n_x + \tau_{xy} \cdot n_y + \tau_{xz} \cdot n_z \\ \tau_{\mu y} = \tau_{yx} \cdot n_x + \tau_{yy} \cdot n_y + \tau_{yz} \cdot n_z, \\ \tau_{\mu z} = \tau_{zx} \cdot n_x + \tau_{zy} \cdot n_y + \tau_{zz} \cdot n_z \end{cases} \quad (8)$$

где $\tau_{\mu x}$, $\tau_{\mu y}$, $\tau_{\mu z}$ – составляющие τ_μ , Н/мм²; τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yx} , τ_{yy} , τ_{yz} , τ_{zx} , τ_{zy} , τ_{zz} – составляющие тензора вязкостного напряжения [9], Н/мм².

Скорость вязкой диссипации кинетической энергии турбулентности потока жидкости на внутренней стенке круглой трубы ε_w (м²/с³) находится по формуле (9).

относительно соседнего слоя. Относительная скорость течения жидкости на внутренней поверхности круглой трубы $v_{rel.}$ (м/с) выражается формулой (7).

$$\varepsilon_w = \frac{C_\mu \cdot k_{reg.}^2 \cdot [\rho]}{\kappa_v \cdot \delta_w^+ \cdot [\mu]} \quad (9)$$

ε_w увеличивается от установившегося потока жидкости до вихревого с максимумом на стенке трубы.

Conclusion

Расчетные значения параметров течения жидкости можно получить при построении в трехмерном пространстве (отверстие трубы) цветовых графиков. Предусмотрена генерация анимации для отображения изменения величин гидродинамических параметров во времени. Характер течения жидкости в пограничном слое круглой трубы будет зависеть от изменения величины плотности и динамической вязкости жидкости (например, в условиях увеличения температуры), а так же ряда постоянных коэффициентов.

References:

1. (2016) Navier–Stokes equations. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Navier–Stokes_equations (Accessed: 13.10.2016).
2. Chemezov D, Palev N (2016) Analytical models of the turbulent fluid flow in a circular pipe. ISJ Theoretical & Applied Science, 09 (41): 77-84. SoI: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-09-41-12> DoI: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.09.41.12>
3. Sondak DL (1992) Wall functions for the k - [epsilon] turbulence model in generalized nonorthogonal curvilinear coordinates. Retrospective Theses and Dissertations. Paper 9954. – 177 p.
4. (2016) Von Kármán constant. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Von_Kármán_constant (Accessed: 13.10.2016).
5. (2015) Law of the wall. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_the_wall (Accessed: 13.10.2016).
6. COMSOL Multiphysics User’s Guide, 2010. – 804 p.
7. (2016) Machine epsilon. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_epsilon (Accessed: 13.10.2016).
8. (2016) K-epsilon turbulence model. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/K-epsilon_turbulence_model (Accessed: 13.10.2016).
9. (2016) Viscous stress tensor. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Viscous_stress_tensor (Accessed: 13.10.2016).