

MÔ PHỎNG SỐ CHO DÒNG CHẢY CỦA LƯU CHẤT QUA TRỤ TRÒN ĐƯỢC GẮN BỞI 2 TẤM PHẪNG

NUMERICAL SIMULATION OF FLOW AROUND A CIRCULAR CYLINDER WITH TWO SPLITTER PLATES

Phan Đức Huỳnh, Nguyễn Trần Bá Đình
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 16/5/2019, ngày phản biện đánh giá 15/6/2019, ngày chấp nhận đăng 25/7/2019

TÓM TẮT

Trong bài báo này, phương pháp biên nhúng được sử dụng để mô phỏng dòng chảy của lưu chất qua một trụ tròn được gắn bởi 2 tấm phẳng. Mô phỏng này được thực hiện trong chế độ dòng chảy bất ổn định có hệ số $Re = 100$. Hai tấm phẳng được sắp xếp theo dạng song song và đối xứng nhau qua mặt phẳng đối xứng nằm ngang của trụ tròn. Góc gắn tấm phẳng có thể thay đổi trong phạm vi $\theta_f = 10^\circ - 80^\circ$. Hệ thống này tạo ra các xoáy chính và xoáy phụ nằm đối xứng nhau qua đường tâm chính giữa 2 tấm. Hai loại xoáy này tương tác với nhau dẫn đến sự thay đổi của hệ số cản và hệ số nâng của lưu chất tác dụng lên kết cấu. Sự tương tác này có thể triệt tiêu các rung động được hình thành do sự tương tác giữa lưu chất và kết cấu gây ra. Ngoài ra, sự ảnh hưởng của θ_f đến hệ số cản và hệ số nâng của lưu chất tác dụng lên kết cấu cũng được khảo sát. Kết quả chỉ ra rằng các hệ số đó đạt giá trị nhỏ nhất khi θ_f nằm trong phạm vi $30^\circ \leq \theta_f \leq 40^\circ$.

Từ khóa: phương pháp biên nhúng; tấm phẳng; điều khiển bị động; dòng xoáy; dòng chảy qua trụ tròn.

ABSTRACT

In this paper, the immersed boundary method is used to simulate of flow around a circular cylinder with two splitter plates. This simulation is performed within the unstable flow regime with the Reynolds number of 100. Two splitter plates are arranged in parallel and symmetric through the horizontal centerline of the circular cylinder. Attachment angle of splitter plates can change within a range $\theta_f = 10^\circ - 80^\circ$. This system creates the main vortex and sub-vortex which are aligned symmetrically through the centerline between the two plates. These two types of vortex interact with each other that leads to changes in drag and lift coefficient of the fluid acting on the structure. This interaction can suppress vibrations is formed by the interaction between fluid and structure. In addition, the influence of θ_f to the drag and lift coefficient of the fluid acting on the structure is also investigated. The result shows that these coefficients reach the minimum value when θ_f within range $30^\circ \leq \theta_f \leq 40^\circ$.

Keywords: immersed boundary method; splitter plate; passive control; vortex flow; flow through cylinder.

1 GIỚI THIỆU

Hiện tượng dòng chảy qua vật thể thường gặp phải rất nhiều trong các ứng dụng của kỹ thuật và là một chủ đề cơ bản của cơ học lưu chất. Chúng ta biết rằng, khi hệ số $Re \geq 47$ dòng chảy sẽ chuyển dần từ trạng thái

ổn định sang bất ổn định. Khi đó sẽ bắt đầu xuất hiện các xoáy có chu kì ở phía sau kết cấu. Đối với các kết cấu có tiết diện cản lớn thì sẽ xuất hiện dao động rất lớn do các xoáy này gây nên. Hiện tượng này gặp rất nhiều trong thực tế như: các kết cấu trong ngành hàng hải, kết cấu cầu treo,...Do đó, việc

nghiên cứu cơ chế hình thành các xoáy gây ra dao động cũng như tìm ra phương pháp hiệu quả để điều khiển chúng thì đóng vai trò rất quan trọng trong các ứng dụng thực tế.

Sử dụng tấm phẳng để điều khiển dòng chảy được xem như là một phương pháp điều khiển bị động. Vì phương pháp này hiệu quả và dễ dàng thực hiện do cấu hình hình học đơn giản nên đã thu hút được rất nhiều sự chú ý trước đây. Phương pháp này ban đầu được phát triển bởi Roshko (1954, 1955) [1, 2]. Ông đã tiến hành thực nghiệm và chứng minh được rằng việc gắn tấm phẳng vào phía sau một trụ tròn có thể hoàn toàn triệt tiêu các dòng xoáy. Từ những nghiên cứu ban đầu này, nhiều nhà nghiên cứu đã tập trung vào việc nghiên cứu ảnh hưởng của các tấm phẳng điều khiển lên các đặc điểm khí động học, kết cấu của đuôi dòng và các cơ chế dòng chảy cơ bản cần thiết cho việc điều khiển chúng.

Bearman (1965) [3] đã tiến hành kiểm tra thực nghiệm các đuôi dòng phía sau một mô hình vật thể hai chiều được gắn một tấm phẳng và ông thấy rằng khoảng cách của xoáy hình thành từ mô hình tỷ lệ nghịch với hệ số áp suất. Apelt và West (1975) [4] đã kiểm tra các ảnh hưởng của việc gắn một tấm phẳng phía sau một hình trụ tròn. Họ đưa ra kết quả là tại vùng gần đuôi dòng, ảnh hưởng của tấm phẳng cứng lên miền lưu chất có thể được thay đổi bằng cách thay đổi độ dài tấm. Akilli và cộng sự (2005) [5] đã xây dựng mô hình thử nghiệm mà trong đó vị trí của tấm phẳng và trụ tròn được đặt cách nhau một khoảng cách nhất định. Ông nhận thấy rằng tấm phẳng loại bỏ đáng kể các xoáy cho khoảng hở giữa hình trụ và cạnh đầu của tấm thay đổi từ 0 đến $1,75D$.

Gần đây, các đặc tính của xoáy cho dòng chảy qua một hình trụ tròn bằng cách sử dụng một tấm phẳng dao động cưỡng bức đã được thực nghiệm số bởi Wu và Shu (2011) [6]. Theo kết quả số, biên độ và tần số dao động của tấm phẳng có ảnh hưởng rất lớn đến chuyển động dòng chảy, lực cản, lực nâng và hệ số *Strouhal*.

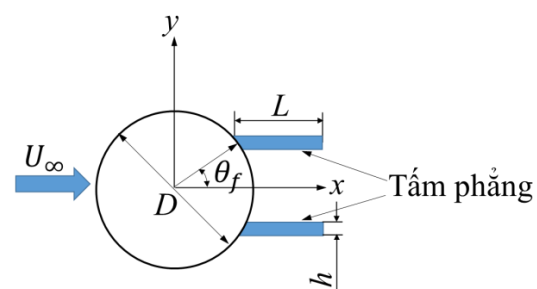
Trong 2 năm trở lại đây, các nghiên cứu tập trung vào việc sử dụng một tấm phẳng

mềm có thể uốn lượn theo dao động của dòng chảy (Wang và cộng sự (2018) [7]; Yayla và Teksin (2018) [8]; Abdi và cộng sự (2019) [9]). Các kết quả điều chỉ ra rằng, việc gắn tấm phẳng mềm có thể triệt tiêu hoàn toàn dòng xoáy nhưng việc triệt tiêu xoáy chịu ảnh hưởng rất lớn bởi độ dài cũng như độ cứng của tấm phẳng.

Trong các nghiên cứu trên, hầu hết các thí nghiệm đã được thực hiện cho các cấu hình của tấm phẳng đơn. Trong nghiên cứu hiện tại, phương pháp biên nhúng được sử dụng để mô phỏng dòng chảy của lưu chất qua một trụ tròn được gắn bởi 2 tấm phẳng được bố trí đối xứng theo cấu hình song song.

2 XÁC ĐỊNH VẤN ĐỀ

Mô hình bài toán được xây dựng cho một kết cấu có dạng trụ tròn được gắn với 2 tấm phẳng mỏng được đặt song song và đối xứng nhau qua mặt phẳng đối xứng nằm ngang của trụ tròn. Vị trí của tấm phẳng được xác định bằng góc θ_f như Hình 1. Góc này được thay đổi trong phạm vi $10^\circ \leq \theta_f \leq 80^\circ$. 2 tấm phẳng có chiều dài là $L = 0.3D$ (D là đường kính trụ tròn) và bề dày $h = 0.01D$. Phương pháp biên nhúng được sử dụng để mô phỏng dòng chảy của lưu chất qua một trụ tròn được gắn bởi 2 tấm phẳng trong chế độ dòng chảy bất ổn định với giá trị hệ số $Re = 100$.



Hình 1. Sơ đồ của một hình trụ tròn được gắn với 2 tấm điều khiển.

3 PHƯƠNG PHÁP SỐ

Phương pháp biên nhúng ban đầu được nghiên cứu và phát triển bởi Peskin (1977) [10] để nghiên cứu dòng chảy của máu thông qua nhịp đập của tim và từ đó đã được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi cho nhiều vấn đề FSI (*Fluid Structure Interaction*).

3.1 Công thức toán học

Chúng ta xem xét vấn đề với mô hình của lưu chất nhớt không nén được trong một miền hai chiều Ω_f chứa một biên nhúng dưới dạng

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}(\mathbf{x}, t)}{\partial t} + [\mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \cdot \nabla] \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \right) + \nabla p(\mathbf{x}, t) = \mu \Delta \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) + \mathbf{f}(\mathbf{x}, t) \quad (1)$$

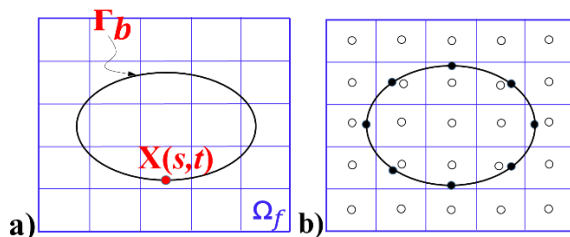
$$\nabla \cdot \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) = 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}, t) = \int_{\Gamma_b} \mathbf{F}(s, t) \delta(\mathbf{x} - \mathbf{X}(s, t)) ds \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mathbf{X}(s, t)}{\partial t} = \mathbf{u}[\mathbf{X}(s, t)] = \int_{\Omega_f} \mathbf{u}(\mathbf{x}, t) \delta(\mathbf{x} - \mathbf{X}(s, t)) d\mathbf{x} \quad (4)$$

Trong đó: $\mathbf{x} = (x, y)$ là tọa độ lưới Cartesian, $\mathbf{u}(\mathbf{x}, t)$, $p(\mathbf{x}, t)$ lần lượt là vận tốc và áp suất của lưu chất, các hệ số ρ và μ lần lượt là khối lượng riêng và độ nhớt động học của lưu chất. Ngoài ra, $\mathbf{f}(\mathbf{x}, t)$ là lực khối của biên nhúng tác dụng lên toàn bộ miền lưu chất, δ là hàm Dirac delta hai chiều và $\mathbf{F}(s, t) = (\mathbf{F}_x(s, t), \mathbf{F}_y(s, t))$ là lực khối tại các điểm biên nhúng.

Trong các phương trình trên, phương trình (1), (2) là phương trình Navier-Stokes cho dòng lưu chất nhớt, không nén được. Phương trình (3) xác định lực khối tác dụng lên toàn bộ miền lưu chất của biên nhúng. Phương trình (4) thể hiện sự di chuyển của biên theo miền lưu chất.



Hình 2. a) Mô hình của hệ lưu chất - biên nhúng; b) Lưới Eulerian (điểm sáng) và lưới Lagrangian (điểm đen).

một đường cong khép kín đơn giản Γ_b (Hình 2a). Các phương trình tương tác giữa lưu chất và kết cấu trình bày như sau:

3.2 Phương pháp số

3.2.1 Rời rạc hóa không gian và thời gian

Phương pháp biên nhúng là một phương pháp sai phân hữu hạn Eulerian-Lagrangian hỗn hợp để tính toán dòng chảy tương tác với một biên nhúng. Ví dụ ta thiết lập trong mô hình 2D với một đường cong biên nhúng được thể hiện trong Hình 2b. Trong đó, lưới Lagrangian biểu thị cho kết cấu được nhúng và lưới Eulerian biểu thị cho miền lưu chất. Trong bài báo này, phương pháp phân đoạn thời gian được sử dụng để giải các phương trình chủ đạo của lưu chất theo từng bước thời gian.

3.2.2 Xử lý miền kết cấu

Lực khối của biên nhúng được tính tại các điểm lưới Lagrangian và phân bố đến các điểm lưới Cartesian lân cận của miền lưu chất thông qua hàm xấp xỉ Dirac delta. Giá trị của lực khối tác dụng vào toàn bộ miền lưu chất được xác định theo công thức sau:

$$\mathbf{f}_{i,j}^n = \sum_{k=1}^{N_b} \mathbf{F}_k^n(t) \delta_h(\mathbf{x}_{i,j}^n - \mathbf{X}_{i,j}^n) \Delta s_k \quad (5)$$

Với $\delta_h(\mathbf{x}) = (1/h^2) \varphi(x/h) \varphi(y/h)$ là hàm Dirac delta hai chiều và φ là hàm liên tục:

$$\phi\left(\frac{x}{h}\right) = \phi\left(\frac{y}{h}\right) = \phi(r) = \begin{cases} (3 - 2|r| + \sqrt{1 + 4|r| - 4r^2})/8, & 0 \leq |r| \leq 1 \\ (5 - 2|r| - \sqrt{-7 + 12|r| - 4r^2})/8, & 1 \leq |r| \leq 2 \\ 0, & 2 \leq |r| \end{cases} \quad (6)$$

Vấn đề đặt ra là xác định giá trị lực \mathbf{F} tại các điểm biên nhúng để đảm bảo điều kiện biên không trượt. Bởi vì biên nhúng là biên đàn hồi nên theo định luật Hooke ta có:

$$\mathbf{F}(s, t) = -k(\mathbf{X}(s, t) - \mathbf{X}^e(s, t)) \quad (7)$$

Trong đó k là độ cứng của lò xo liên kết ảo, $\mathbf{X}^e(s, t)$ là tọa độ ban đầu các điểm biên nhúng trong hệ tọa độ Lagrangian. Khi tương tác với dòng lưu chất thì các điểm biên này di

$$\frac{d\mathbf{X}_k^{n+1}}{dt} = \sum_{i,j} \mathbf{u}_{i,j}^{n+1} \delta_h(\mathbf{x}_{i,j}^n - \mathbf{X}_{i,j}^{n+1}) h^2 \quad (8)$$

3.2.3 Bộ giải phương trình Navier - Stokes

Phương trình Navier-Stokes cho dòng lưu chất nhớt, không nén được đã có các thành phần ngoại lực trong miền không gian 2 chiều:

$$\rho \left[\frac{(\mathbf{u}_{i,j}^{n+1} - \mathbf{u}_{i,j}^n)}{\Delta t} + [(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u}]_{i,j}^n \right] = -\nabla p_{i,j}^{n+1} + \mu(\Delta \mathbf{u}_{i,j}^{n+1}) + \mathbf{f}_{i,j}^n \quad (9)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u}_{i,j}^{n+1} = 0 \quad (10)$$

Phương trình (9) và (10) được giải tại bước thời gian thứ $(n + 1)$ theo 3 bước chính sau:

Xử lý thành phần phi tuyến, độ nhớt, lực khối:

Phương trình (9) sẽ được giải bằng cách sử dụng trường vận tốc trung gian. Trường

$$\frac{(\mathbf{u}^* - \mathbf{u}^n)}{\Delta t} = -(\mathbf{u}^n \cdot \nabla) \mathbf{u}^n + \left(\frac{\mu}{\rho}\right) (\Delta \mathbf{u}^n) + \left(\frac{1}{\rho}\right) \mathbf{f}^n \quad (11)$$

$$\frac{(\mathbf{u}^{n+1} - \mathbf{u}^*)}{\Delta t} = -\frac{(\nabla p^{n+1})}{\rho} \quad (12)$$

Điều chỉnh áp suất:

Hiệu chỉnh trường vận tốc trung gian \mathbf{u}^* bởi gradient của áp suất p^{n+1} , nhân $(\nabla \cdot)$ vào hai vế của phương trình (12) ta được một hệ phương trình tuyến tính.

$$\frac{(\Delta p^{n+1})}{\rho} = \frac{(\nabla \cdot \mathbf{u}^*)}{\Delta t} \quad (13)$$

Phương trình (13) là phương trình Poisson của trường áp suất p^{n+1} tại thời điểm $(n + 1)$.

Cập nhật trường vận tốc:

Tính trường vận tốc mới \mathbf{u}^{n+1} theo phương trình: $\mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{u}^* -$

chuyển theo dòng lưu chất và có tọa độ mới là $\mathbf{X}(s, t)$. Sau đó ta giải phương trình Navier-Stokes đã có thành phần lực khối để tìm trường áp suất $p_{i,j}^{n+1}$ và trường vận tốc $\mathbf{u}_{i,j}^{n+1}$ bằng cách sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn. Sau đó, trường vận tốc này được nội suy để tìm vận tốc tại các điểm biên nhúng theo phương trình:

vận tốc trung gian này được xác định bằng cách giải phương trình (11) khi các điều kiện phi tuyến, độ nhớt và lực khối đã được xác định.

$\Delta t(\nabla p^{n+1})/\rho$ với giá trị áp suất p^{n+1} đã được tính ở bước phía trên.

3.2.4 Giải thuật của phương pháp biên nhúng

Trong bài báo này, chúng tôi sử dụng giải thuật tường minh tức là lực khối tại các điểm Lagrangian được tính tại bước đầu tiên. Toàn bộ giải thuật của phương pháp trình bày như sau:

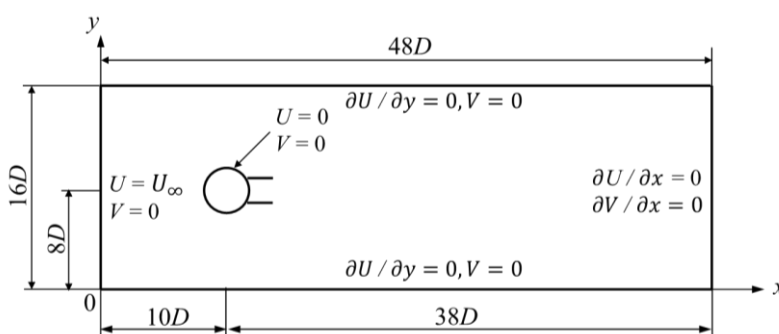
- (1) Xác định lực $\mathbf{F}^n(s, t)$ từ biên của kết cấu $\mathbf{X}^n(s, t)$ theo phương trình (7).
- (2) Áp đặt lực của biên nhúng lên toàn bộ miền lưu chất theo phương trình (5).

- (3) Giải phương trình Navier- Stokes đã có các thành phần ngoại lực.
- (4) Nội suy vận tốc mới của các điểm biên nhúng theo phương trình (8). Quay lại bước (1).

Ngoài ra, để bài toán hội tụ thì sau mỗi khi nội suy được vận tốc mới ta cần cập nhật lại giá trị Δt tại bước thời gian thứ $n + 1$. Giá trị Δt này được xác định bằng cách tìm giá trị nhỏ nhất giữa giá trị Δt và tỉ số h/\mathbf{u}^n (h là kích thước lưới Eulerian) tại bước thời gian thứ n .

4 MIỀN TÍNH TOÁN VÀ ĐIỀU KIỆN BIÊN

Miền tính toán và hệ tọa độ cùng với các điều kiện biên được minh họa trong Hình 3. Trong đó, điều kiện biên Dirichlet với $U_\infty=1$ và $V=0$ được đặt tại biên đầu vào; điều kiện biên Neumann với $\partial U / \partial x = 0$ và $\partial V / \partial x = 0$ được đặt với đầu ra; 2 biên mặt bên là biên trượt tự do với $\partial U / \partial y = 0$ và $V=0$; và biên của trụ tròn được gán 2 tấm phẳng là biên không trượt ($U = V = 0$). Mô hình được mô phỏng trong lưu chất có hệ số $Re = 100$.

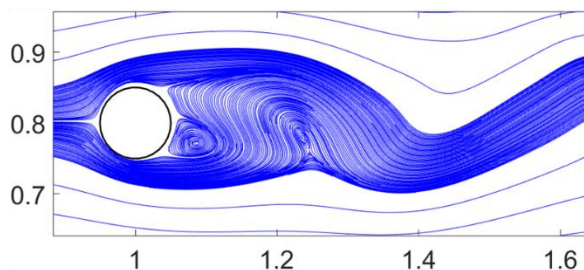


Hình 3. Điều kiện biên cho dòng chảy qua một hình trụ tròn có các thanh điều khiển.

5 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG SỐ

5.1 Kiểm tra phương pháp: dòng chảy qua trụ tròn

Khi dòng chảy của lưu chất đi qua trụ tròn thì các lớp trượt sẽ được tách ra từ cả hai mặt trên và dưới của vật thể và cuộn lại để tạo ra một loạt các xoáy xen kẽ ở phía sau vật thể. Hiện tượng này gây ra sự dao động của dòng lưu chất nằm về phía sau trụ tròn. Các kết quả mô phỏng có thể được quan sát trong Hình 4.



Hình 4. Mô phỏng tương tác giữa trụ tròn và lưu chất có $Re = 100$.

Để xem xét, đánh giá các đặc tính dòng chảy và sự tương tác của lưu chất với trụ tròn

thì ta có thể dựa vào các số liệu số của hệ số cản, C_D và hệ số nâng, C_L theo từng bước rời rạc của biến thời gian.

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho U_\infty^2 D} \quad (14)$$

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho U_\infty^2 D} \quad (15)$$

Trong đó F_D và F_L lần lượt là lực cản và lực nâng của dòng lưu chất tác dụng lên trụ tròn.

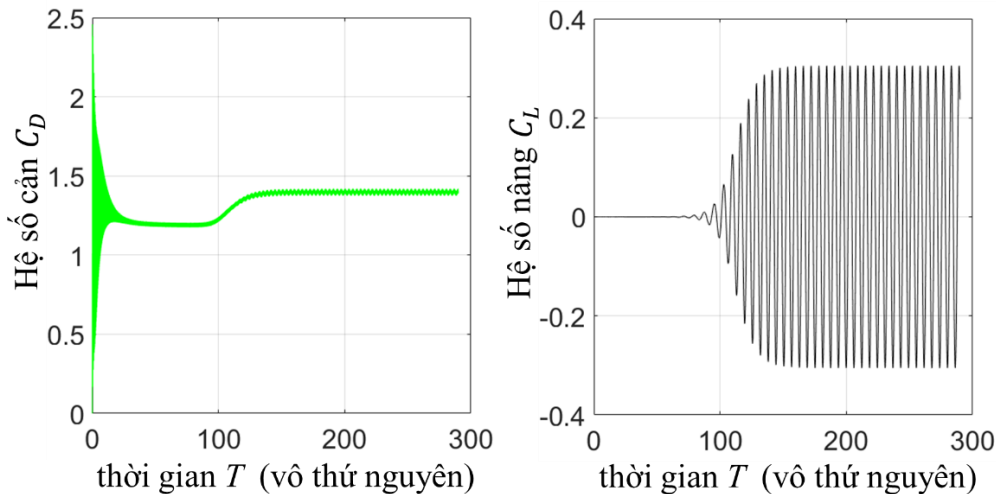
Kết quả của các hệ số này có thể được quan sát trong Hình 5. Từ Hình 5, ta dễ dàng nhận thấy rằng tại thời điểm mới bắt đầu khi dòng chảy còn chưa ổn định thì hệ số cản C_D và hệ số nâng C_L biến thiên thay đổi liên tục theo thời gian. Khi dòng chảy bắt đầu ổn định thì cả hai hệ số đạt được trạng thái ổn định và chúng chỉ dao động trong một khoảng giá trị nhất định.

Ngoài ra, để đánh giá được sự dao động của dòng lưu chất trong tương tác giữa kết cấu và lưu chất thì ta thường xem xét, đánh giá giá trị của hệ số $Strouhal, S_t$. Trong đó,

hệ số Strouhal được định nghĩa là một hệ số vô thứ nguyên dùng để mô tả các cơ chế dao động của các dòng lưu chất.

$$S_t = \frac{f \cdot D}{U_\infty} \quad (16)$$

Trong đó, f là tần số xoáy tách ra phía sau kết cấu của hình trụ tròn; D là đường kính của hình trụ tròn; và U_∞ là vận tốc đầu vào.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của hệ số cản và hệ số nâng theo từng bước thời gian T (T là giá trị vô thứ nguyên) của lưu chất có hệ số $Re = 100$.

Để đánh giá về mức độ chính xác của kết quả mô phỏng mô hình trong nghiên cứu này, ta tiến hành so sánh các kết quả nghiên cứu

đạt được với kết quả của các tác giả khác từ đó rút ra được mức độ khả thi của mô hình đang nghiên cứu.

Bảng 1. Bảng so sánh kết quả nghiên cứu hiện tại với kết quả nghiên cứu của các tác giả khác.

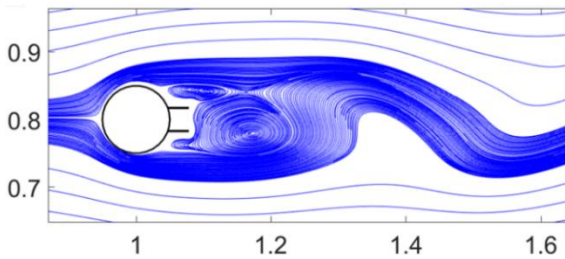
Re	Các đại lượng đặc trưng	Hiện tại	[11]	[12]	[13]	[14]
100	C_D	1.397	1.387	1.35	1.35	1.38
	C_L	0.305	0.298	0.237	0.339	0.3
	S_t	0.162	0.164	0.164	0.165	0.169
200	C_D	1.298			1.31	1.29
	C_L	0.533			0.69	0.5
	S_t	0.19			0.192	0.195

Từ bảng so sánh ta có thể thấy được rằng độ sai lệch của mô hình nghiên cứu hiện tại với các tác giả khác nằm trong khoảng từ 1 – 7 % mức độ sai lệch là tương đối nhỏ từ đó có thể thấy được độ chính xác của mô hình là tương đối khả thi.

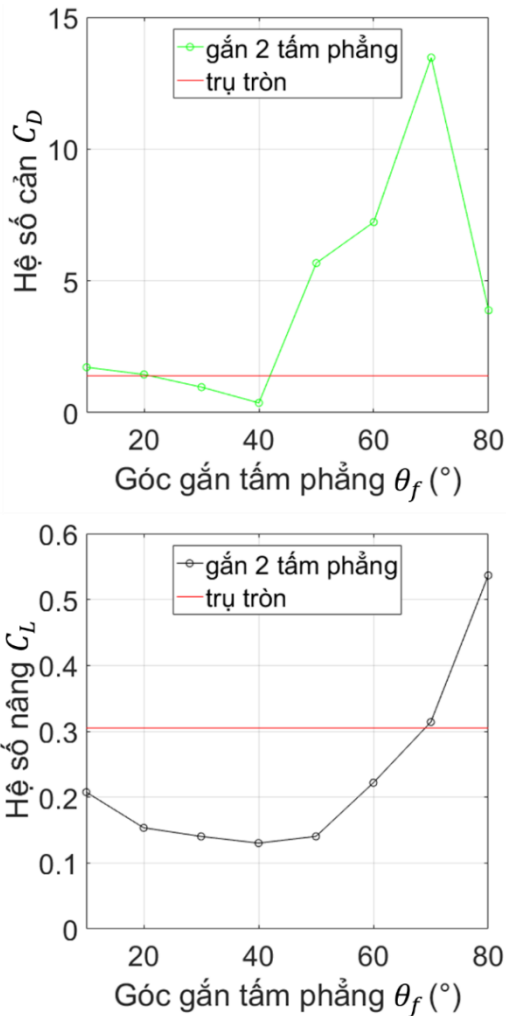
5.2 Kết quả qua trụ tròn điều khiển bằng tấm phẳng

Khi trụ tròn được gắn 2 tấm phẳng điều khiển thì sự tương tác giữa nó và lưu chất sẽ làm thay đổi vị trí và kích thước các xoáy hình thành phía sau kết cấu đang xét. Cụ thể

khi tăng dần góc gắn 2 tấm điều khiển thì kích thước xoáy chính giảm dần và vị trí xoáy chính có xu hướng dịch chuyển về đường tâm giữa 2 tấm phẳng. Ngoài ra, sự tương tác đó còn hình thành các xoáy phụ nằm đối xứng với các xoáy chính tại đường tâm chính giữa 2 tấm. Các xoáy phụ này có thể tương tác với xoáy chính làm cho sự dao động của dòng chảy có sự thay đổi; hoặc tăng cường hoặc ức chế. Hiện tượng này thì phụ thuộc rất lớn vào góc gắn 2 tấm phẳng. Các kết quả mô phỏng sự tương tác giữa hình trụ tròn có gắn 2 tấm phẳng điều khiển và lưu chất có thể quan sát trong Hình 6.



Hình 6. Mô phỏng tương tác giữa trụ tròn có gắn 2 tấm điều khiển và lưu chất có $Re = 100$.



Hình 7. Đồ thị biểu diễn sự thay đổi của hệ số cản và hệ số nâng theo góc gắn 2 tấm phẳng vào một trụ tròn.

Ta cũng tiến hành so sánh giá trị của hệ số cản và hệ số nâng trong trường hợp gắn tấm phẳng so với trường hợp chỉ có trụ tròn. Từ kết quả thu được, dễ dàng nhận thấy rằng: việc gắn 2 tấm điều khiển vào phía sau của trụ tròn có tác dụng làm thay đổi hệ số cản và hệ số nâng của lưu chất trong miền lưu chất ta đang khảo sát. Cụ thể tại các góc gắn tấm

phẳng trong khoảng $30^\circ \leq \theta_f \leq 40^\circ$ thì hệ số cản và hệ số nâng đạt giá trị nhỏ nhất. Trong đó, giá trị nhỏ nhất của hệ số cản và hệ số nâng đạt được lần lượt là $C_D = 0.3713$ (giảm 73.42 % so với trường hợp chỉ có trụ tròn) và $C_L = 0.1303$ (giảm 57.28 % so với trường hợp chỉ có trụ tròn) tại góc gắn tấm phẳng $\theta_f = 40^\circ$.

Từ kết quả ta thấy rằng, lúc đầu khi góc gắn tấm phẳng $\theta_f = 10^\circ$ thì hệ số cản lớn hơn so với trường hợp chỉ có trụ tròn. Khi tăng dần góc gắn tấm phẳng thì hệ số cản giảm dần và khi góc gắn tấm phẳng $\theta_f = 40^\circ$ thì hệ số cản đạt giá trị nhỏ nhất và nhỏ hơn rất nhiều so với trường hợp trụ tròn. Khi đó, nếu ta tiếp tục tăng góc gắn tấm phẳng thì hệ số cản tăng nhanh và đạt giá trị lớn nhất tại $\theta_f = 70^\circ$ và khi tiếp tục tăng góc gắn tấm phẳng thì hệ số cản giảm dần. Khi xem xét ảnh hưởng của góc gắn tấm phẳng đến hệ số nâng, ta nhận thấy rằng: lúc đầu khi góc gắn tấm phẳng $\theta_f = 10^\circ$ thì hệ số nâng nhỏ hơn so với trường hợp chỉ có trụ tròn. Khi ta tiến hành tăng góc gắn tấm phẳng thì ban đầu hệ số nâng giảm liên tục và đạt giá trị nhỏ nhất tại góc gắn tấm phẳng $\theta_f = 40^\circ$. Khi đó, nếu ta tiếp tục tăng góc gắn tấm phẳng thì hệ số nâng tăng nhanh dần và tới một giá trị nhất định thì giá trị của hệ số nâng có thể vượt qua giá trị trong trường hợp chỉ có trụ tròn.

6 KẾT LUẬN

Từ kết quả mô phỏng của mô hình trên ta rút ra được một số kết luận. Khi cho dòng chảy qua một kết cấu dạng trụ tròn thì các lớp trượt của miền lưu chất sẽ bị phân tách về 2 phía trên và dưới của hình trụ và chúng sẽ kết hợp lại tại bề mặt phía sau của hình trụ tạo thành một loạt các xoáy dao động với chu kỳ nhất định tại phía xa hạ lưu của dòng chảy. Những dao động này có thể gây nên các rung động dữ dội cho kết cấu thậm chí là phá hủy kết cấu.

Việc gắn 2 tấm phẳng điều khiển phía sau trụ tròn có tác dụng làm thay đổi lực cản và lực nâng của lưu chất tác dụng lên kết cấu. So với việc sử dụng kết cấu chỉ có trụ tròn, việc sử dụng tấm phẳng kép có thể triệt tiêu

đuôi dòng một cách hiệu quả do sự tương tác phức tạp giữa các xoáy được hình thành phía sau trụ tròn và tấm phẳng. Nó còn chỉ ra rằng góc gắn tấm phẳng có ảnh hưởng rất lớn đến

hiệu quả điều khiển và phạm vi hiệu quả nhất liên quan đến việc giảm tối đa lực cản và lực nâng là $30^\circ \leq \theta_f \leq 40^\circ$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Roshko, A., *On the Drag and Shedding Frequency of Two dimensional Bluff Bodies*. National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), 1954.
- [2] Roshko, A., *On the wake and drag of bluff bodies*. Journal of Aeronautical Sciences 22, pp. 124-132, 1955.
- [3] Bearman, P.W., *Investigation of the flow behind a two-dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates*. Journal of Fluid Mechanics 21, pp. 241-255, 1965.
- [4] Apelt, C.J., West, G.S., *The effects of wake splitter plates on bluff body flow in the range $10^4 < R < 5 \times 10^4$: Part 2*. Journal of Fluid Mechanics 71, pp. 145-160, 1975.
- [5] Akilli, H., Sahin, B., Tumen, N.F., *Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate*. Flow Measurement and Instrumentation 16, pp. 211-219, 2005.
- [6] Wu, J., Shu, C., *Numerical study of flow characteristics behind a stationary circular cylinder with a flapping plate*. Physics of Fluids 23, 073601, 2011.
- [7] Wang, H., Zhai, Q., & Zhang, *Numerical study of flow-induced vibration of a flexible plate behind a circular cylinder*. Ocean Engineering, 163, 419-430, 2018.
- [8] Yayla, S., & Teksin, *Flow measurement around a cylindrical body by attaching flexible plate: A PIV approach*. Flow Measurement and Instrumentation, 62, pp. 56-65, 2018.
- [9] Abdi, R., Rezazadeh, N., & Abdi, *Investigation of passive oscillations of flexible splitter plates attached to a circular cylinder*. Journal of Fluids and Structures, 84, pp. 302-317, 2019.
- [10] Peskin C. S. *Numerical analysis of blood flow in the heart*, J. Comput. Phys. 25, pp. 220-252, 1977.
- [11] Norouzi, M., Varedi, S. R., Maghrebi, M. J., & Shahmardan, *Numerical investigation of viscoelastic shedding flow behind a circular cylinder*. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 197, pp. 31 – 40, 2013.
- [12] Riahi, H., Meldi, M., Favier, J., Serre, E., & Goncalves, *A pressure-corrected Immersed Boundary Method for the numerical simulation of compressible flows*. Journal of Computational Physics, 374, pp. 361-383, 2018.
- [13] C. Liu, X. Zheng, and C.H. Sung, *Preconditioned Multigrid Methods for Unsteady Incompressible Flows*. Journal of Computational Physics. 139, pp. 35-57, 1998.
- [14] D. Russell, and Z. Jane Wang, *A cartersian grid method for modeling multiple moving objects in 2D incompressible viscous flow*. Journal of Computational Physics. 191, pp. 177-205, 2003.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

Nguyễn Trần Bá Đình

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Email: badinhstar@gmail.com