

# XÁC ĐỊNH TÁC ĐỘNG CỦA DÒNG HẢI DƯƠNG ĐẾN KẾT CẤU TRỤ/ ĐƯỜNG ỐNG DẪN CỦA GIÀN KHOAN TẠI KHU VỰC NƯỚC SÂU

Ngô Hữu Hải, Nguyễn Thanh Hải, Nguyễn Hải An, Nguyễn Thế Tuấn Linh  
 Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí  
 Email: linhntt1@pvep.com.vn

## Tóm tắt

**Khi khai thác dầu khí tại khu vực nước sâu, các kết cấu trụ (như riser, conductor...) được sử dụng để bảo vệ các thiết bị khoan, khai thác, tránh tình trạng bị dao động, rung lắc do tác động của dòng hải dương. Bài báo mô phỏng tác động của dòng hải dương đến các kết cấu trụ như riser, conductor và tính toán biên độ dao động cực đại, tần số dao động. Kết quả mô phỏng giúp nâng cao hiểu biết về tác động của dòng hải dương đến hệ thống riser, conductor nói riêng và các thiết bị có kết cấu trụ tròn khác nói chung, đồng thời đề xuất các giải pháp nhằm hạn chế rủi ro, tác động của dòng hải dương đến kết cấu trụ, góp phần nâng cao hiệu quả vận hành khai thác.**

**Từ khóa:** Kết cấu trụ, đường ống dẫn, mô phỏng số, dao động, dòng xoáy, dòng chảy, dòng hải dương.

## 1. Giới thiệu

Trong điều kiện khai thác xa bờ, đặc biệt ở khu vực nước sâu, kết cấu trụ như riser, conductor thường bị dao động do tác động của dòng hải dương, đặc biệt bởi dẫn xuất dòng xoáy (vortex induced vibration - VIV). Sự phát triển của các hệ thống máy tính, phương pháp mô phỏng động học dòng hải dương (computational fluid dynamics - CFD) đã đóng góp thiết thực trong nghiên cứu tác động của dòng hải dương đến các công trình biển.

Dao động của kết cấu trụ dưới tác động của dòng chảy là vấn đề được quan tâm nghiên cứu trên thế giới. Sarpkaya [1], Govardhan và Williamson [2] đã tổng hợp các kết quả nghiên cứu về dòng xoáy. Các tham số như tỷ số biên độ, tỷ số tần số, tỷ số khối lượng và mô hình xoáy sau trụ là các đại lượng được quan tâm chủ yếu.

Feng [3] nghiên cứu dao động của kết cấu trụ với hệ số khối lượng kháng chấn ( $m^* \zeta$ ) = 248. Biên độ dao động cực đại lên đến 0,6 lần đường kính (D), đạt được khi vận tốc vô hướng ( $U_r = U/Df_n$ ) đạt ~ 6, trong đó  $f_n$  là tần số tự nhiên của kết cấu trụ. Khi khối lượng trụ nhỏ hơn, biên độ dao động cực đại sẽ lớn hơn rất nhiều như được mô tả theo thí nghiệm của Khalak và Williamson [4], Govardhan và Williamson [2]. Dao động của trụ có trong trường hợp tỷ số khối lượng vô hướng  $m^* < 10$ , có thể nhận thấy trụ sẽ dao động theo 3 nhánh, phụ thuộc vào khoảng vận tốc vô hướng: nhánh bắt đầu, nhánh thấp và nhánh cao. Ở nhánh thấp, xoáy theo mô hình 2 xoáy đơn (2 Single - 2S) xuất hiện, trong khi ở nhánh cao, xoáy được thể hiện ở mô hình 2 cặp (2 Pair - 2P), trong đó, một xoáy sẽ có cường độ xoáy nhỏ hơn xoáy còn lại [5].

Kết cấu trụ dao động tự do dưới tác dụng của dòng hải dương được các nhà khoa học nghiên cứu trong khoảng số Reynolds khác nhau. Trong điều kiện biển Việt Nam, tác động của dòng hải dương đến kết cấu trụ được nhóm tác giả nghiên cứu ở khoảng số Reynolds trung bình, sub-critical, khoảng 20.000.

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu ứng dụng phương pháp CFD Reynolds Average Navier Stokes (RANS), phần mềm mô phỏng ANSYS Fluent để tính toán dao động của kết cấu trụ nói chung và riser, conductor nói riêng dưới tác động của dòng hải dương.

## 2. Mô hình dòng hải dương và phương pháp số

### 2.1. Phương pháp số

Phương pháp CFD RANS là mô hình toán học phổ biến, giải quyết các vấn đề dòng chảy rối biến thiên theo thời gian, được áp dụng để tính toán mô phỏng dòng hải dương. Mô hình dòng chảy rối áp dụng phương trình trung bình Reynolds Navier-Stokes được chia thành 2 thành phần: giá trị trung bình theo thời gian và giá trị biến động được thể hiện theo phương trình:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = \rho f_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [-\bar{p} \delta_{ij} + 2\mu \bar{S}_{ij} - \rho \bar{u}_i \bar{u}_j] \quad (1)$$

$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right)$  là tensor vận tốc biến dạng trung bình,  $u, \bar{u}, u'$  thể hiện giá trị tức thời, trung bình và dao động của vận tốc và  $f_i$  là vector lực ngoài. Đại lượng  $\rho \bar{u}_i \bar{u}_j$  là tensor của ứng suất Reynolds.

Để giải quyết bài toán mô phỏng bằng mô hình RANS, giả thuyết Boussinesq về độ nhớt rối được áp dụng, giả

thuyết 2 phương trình để tính tensor ứng suất Reynolds tỷ lệ với tensor của tốc độ biến dạng trung bình  $\bar{S}_{ij}$ :

$$\tau_{ij} = 2\mu_t S_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (2)$$

$\mu_t$  là đại lượng vô hướng của độ nhớt rối. Mô hình dòng chảy 2 phương trình như k -  $\omega$  và k -  $\epsilon$  được tính toán dựa trên đại lượng động năng rối:

$$k = \frac{\bar{u}_i \bar{u}_j}{2} \quad (3)$$

Khi sử dụng mô hình dòng chảy rối, dự đoán được giá trị điều kiện biên là rất quan trọng để mô phỏng dòng chảy chính xác, nhất là trường hợp số Reynolds cao. Các đại lượng điển hình cho dòng chảy rối như k,  $\epsilon$  và  $\omega$  có thể được tính toán dựa trên cường độ rối (Turbulence intensity - I) và tỷ số nhớt rối (turbulence viscos ratio -  $\beta$ ) [6].

2.1.1. Cường độ rối (I)

Cường độ rối I là tỷ số giữa giá trị hiệu dụng (rms) của thành phần biến thiên vận tốc u' và vận tốc trung bình của dòng chảy  $\bar{u}$ .

$$I = \frac{u'}{\bar{u}} \quad (4)$$

Cường độ rối cho dòng hải dương thường trong khoảng giá trị dưới 2% tùy thuộc vào điều kiện cụ thể. Khi mô phỏng tương tác của dòng hải dương tới kết cấu trụ, việc xác định cường độ rối rất quan trọng để có được kết quả mô phỏng chính xác, thường được ước tính qua kết quả thí nghiệm [7].

2.1.2. Tỷ số của độ nhớt rối ( $\beta$ )

Tỷ số độ nhớt rối ( $\beta$ ) được tính bằng độ nhớt rối  $\nu_t$  chia cho vận tốc điều hòa ( $\nu$ ):

$$\beta = \frac{\nu_t}{\nu} \quad (5)$$

Khi dòng hải dương chảy qua hệ thống kết cấu trụ, tỷ số độ nhớt rối khá nhỏ, thường nằm trong khoảng  $1 < \frac{\nu_t}{\nu} < 10$ , theo kết quả thực nghiệm.

2.1.3. Tính toán các giá trị điều kiện biên

Trong mô hình RANS, người sử dụng có thể trực tiếp xác định giá trị của cường độ rối và tỷ số độ nhớt rối, từ đó, các giá trị của điều kiện biên cần thiết cho mô phỏng k,  $\epsilon$  và  $\omega$  sẽ được tính toán theo các phương trình dưới đây:

Mô hình k -  $\epsilon$ :

Động năng rối:  $k = \frac{3}{2}(UI)^2 \quad (6)$

Tốc độ phân tán năng lượng:

$$\epsilon = \frac{c_\mu^{3/4} k^{3/2}}{l} \text{ hoặc } \epsilon = c_\mu \frac{k^2}{\beta \nu} \quad (7)$$

Mô hình k -  $\omega$  và Mentor SST

Tốc độ phân tán năng lượng riêng:

$$\omega = \frac{0,09k}{\beta \nu} \text{ hoặc } \omega = \frac{\epsilon}{k} \quad (8)$$

2.2. Phương trình động học của kết cấu trụ

Khi kết cấu trụ dao động tự do, chuyển động được tạo ra bởi tác động của dòng chất lưu. Dao động do dòng hải dương qua các kết cấu trụ thường được chứng minh trong thực nghiệm có thể mô phỏng qua hệ thống một bậc tự do bao gồm trụ - lò xo - giảm chấn (mass - spring - damper) (Hình 1). Phương trình một bậc tự do được thể hiện:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + Ky = F_{fluid,y} \quad (9)$$

Trong đó:

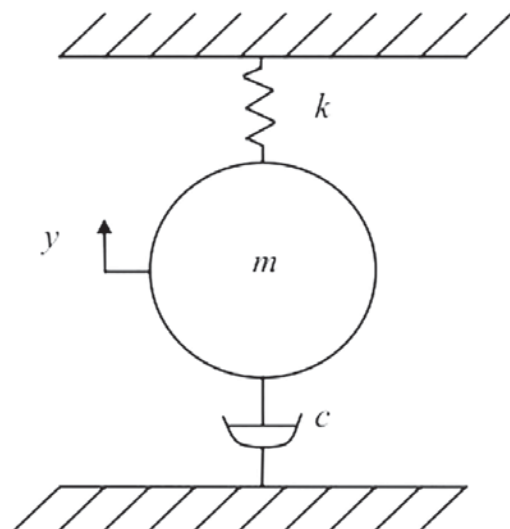
m: Khối lượng trụ;

K: Độ cứng của lò xo;

c: Hệ số giảm chấn;

$F_{fluid,y}$ : Lực tác động của chất lưu tác động đến trụ theo phương vuông góc với chiều dòng hải dương, được tính bởi lực nhớt và lực tạo ra bởi áp suất xung quanh trụ từ phương trình Navier Stokes.

Phần mềm mô phỏng động học dòng hải dương ANSYS Fluent được sử dụng để mô phỏng dòng chảy. Để tính toán tác động của dòng hải dương lên trụ, phương



Hình 1. Mô hình trụ dao động tự do theo phương y

trình User Defined Function (UDF) viết trên nền tảng ngôn ngữ lập trình C để kết hợp lực chất lưu tính toán bởi Fluent với chuyển động cơ học của trụ sử dụng phương trình một bậc tự do (9). UDF sẽ tính toán vị trí của trụ thay đổi do tác động của lực dòng hải dương  $F_{fluid,y}$  ở mỗi bước thời gian (time step). Từ đó, vận tốc mới ở bước thời gian tiếp theo từ phương trình (9) sẽ được tính theo công thức:

$$d\dot{y} = \frac{F_{fluid,y} - m\dot{y} - Ky}{m} dt \quad (10)$$

Vận tốc mới được tính theo phương trình (10) sẽ được minh giải và nhập vào Fluent để tính toán vị trí mới của trụ trong bước thời gian tiếp theo. Fluent sẽ chia lưới lại dựa trên vị trí mới của trụ sử dụng phương pháp chia lưới động (MDM) ở mỗi bước thời gian.

**2.3. Các thông số mô phỏng**

Mô hình 2D được thể hiện trong Hình 2. Miền mô phỏng có kích cỡ 20D x 40D được xác định bởi 5 điều kiện biên gồm: biên vào, biên ra, biên trên, biên dưới và trụ. Tại biên vào, dòng hải dương được sử dụng với điều kiện điều hòa với vận tốc không đổi theo phương x. Vận tốc của dòng hải dương sẽ thay đổi để phù hợp với số Reynolds cần nghiên cứu. Ở biên ra, áp dụng các giá trị điều kiện đầu ra tự do (free outlet).

Ở biên trên và biên dưới, giả định miền dòng hải dương không bị ảnh hưởng bởi trụ trong quá trình mô phỏng do khoảng cách từ trụ đến biên rất lớn, biên trên và biên dưới sẽ được áp dụng điều kiện đối xứng (symmetry). Đối với kết cấu trụ, điều kiện biên được sử dụng trong mô phỏng là không thấm và chống trượt ( $u = 0, v = 0$ ). Khi trụ chuyển động, mô hình động học lưới được áp dụng và lưới sẽ chuyển động theo chuyển động của trụ.

Miền mô phỏng được chia lưới theo dạng cấu trúc tứ giác gồm 44.800 phần tử. Phần mềm chia lưới ANSYS meshing được sử dụng để chia lưới và nhập vào chương trình mô phỏng ANSYS Fluent. Xung quanh trụ được chia làm 400 phần bằng nhau và 60 phần xung quanh miền tiếp xúc với trụ. Những phần tử ở ngoài được điều chỉnh lớn hơn các phần tử ở trong để giảm lượng tài nguyên máy tính. Chi tiết về mô hình chia lưới được thể hiện trong Hình 3.

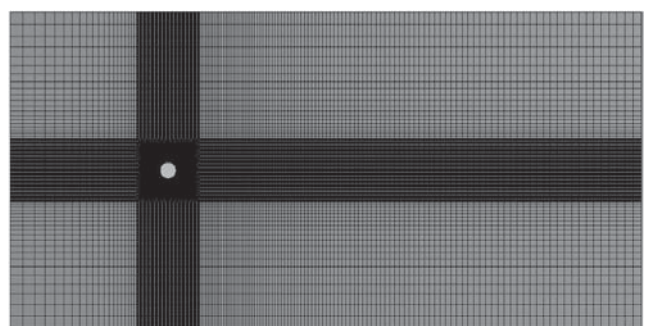
Trong quá trình mô phỏng bằng phương pháp CFD, để dự đoán lực chính xác, giá trị  $y^+$  được giữ trong khoảng xung quanh 1. Để đạt được giá trị này, phần tử gần trụ nhất được xác định với giá trị 0,0014D (Hình 3c). Giá trị vận tốc U, đường kính D và các giá trị của dòng hải dương được xác định để đạt được số  $Re = 10.000$ .

Khi sử dụng mô hình dòng chảy rối hai phương trình như k -  $\omega$ , vấn đề quan trọng là phải tính toán được giá trị cường độ rối và tỷ số độ nhớt rối. Giá trị  $I = 1,4\%$  và  $\beta = 10$  được sử dụng sau khi thực hiện các mô phỏng được ứng dụng, để cho ra giá trị thích hợp [8].

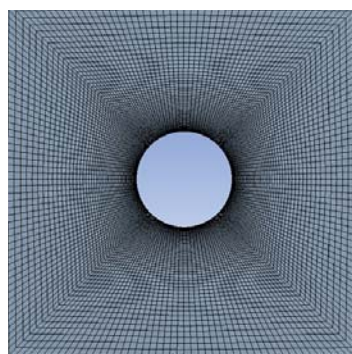
Phương pháp thể tích hữu hạn được áp dụng để mô phỏng dòng hải dương. Bước thời gian với giá trị 0,002 giây được áp dụng để duy trì sự ổn định và tính chính xác trong mô phỏng. Mô phỏng được tính toán trong ít nhất 21 chu kỳ dao động của trụ đến khi kết quả mô phỏng đạt giá trị ổn định. Phương pháp lưới động "Smoothing" được áp dụng và mỗi chuyển động của trụ sẽ làm biến dạng miền mô phỏng do chuyển động của các trụ trong lưới. Thời gian mô phỏng kéo dài trong khoảng 8 - 12 giờ trên CPU với 4 processor cho một tính toán.



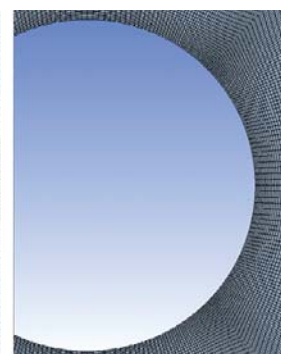
Hình 2. Miền dòng chảy



(a)



(b)

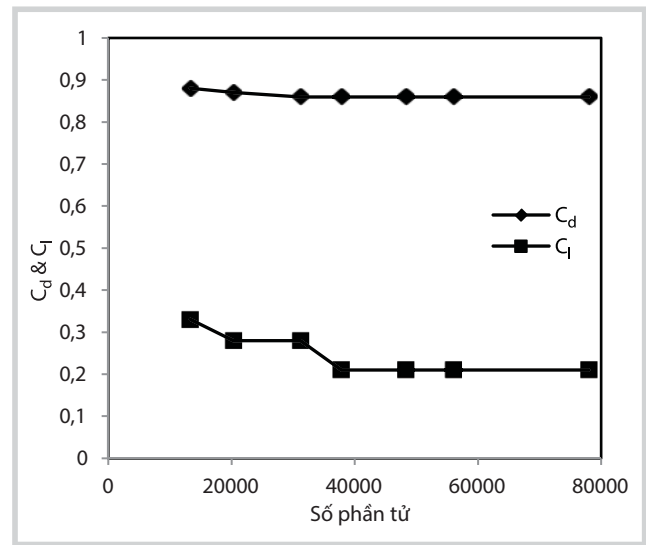
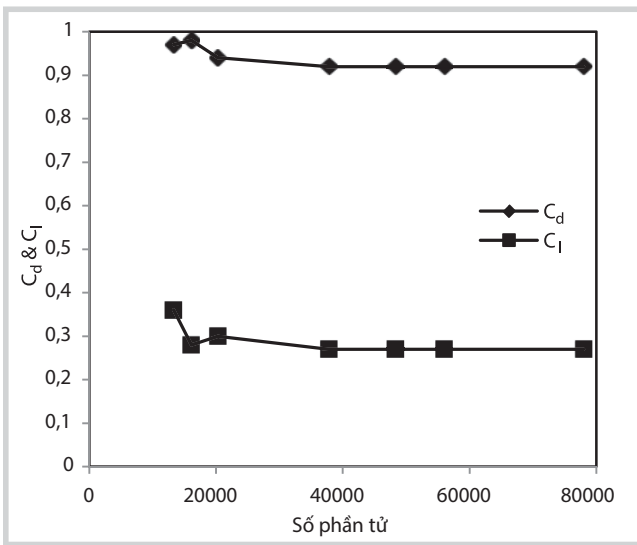


(c)

Hình 3. Chia lưới (a) miền mô phỏng, (b) lưới xung quanh trụ, (c) phóng to lưới quanh trụ

**Bảng 1.** Kết quả thử mật độ lưới tại  $Re = 3.900$  và  $10.000$  sử dụng mô hình realizable  $k - \epsilon$  (RKE)

Mô hình	$Re = 3.900$			$Re = 10.000$		
	Cỡ lưới (số phần tử)	$C_d$	$C_l$	Cỡ lưới (số phần tử)	$C_d$	$C_l$
A	13.300 (to)	0,88	0,33	13.300	0,97	0,36
B	20.300	0,87	0,28	16.100	0,98	0,28
C	31.200 (TB1)	0,86	0,28	20.300	0,94	0,3
D	37.800	0,86	0,21	37.800	0,92	0,27
E	44.800 (TB2)	0,86	0,21	44.800	0,92	0,27
F	56.010	0,86	0,21	56.010	0,92	0,27
G	78.000 (nhỏ)	0,86	0,21	78.000	0,92	0,27



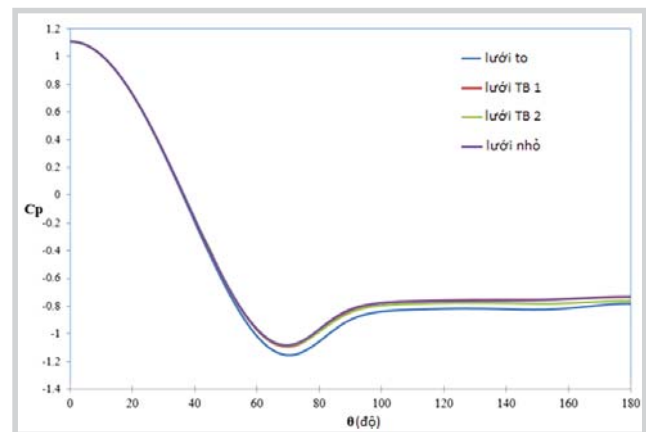
**Hình 4.** Giá trị  $C_d$  và  $C_l$  với lưới có số phần tử khác nhau sử dụng mô hình RKE  $Re = 3.900$  (a) và  $10.000$  (b)

**3. Kết quả và thảo luận**

**3.1. Dòng hải dương rời qua kết cấu trụ tĩnh tại  $Re = 3.900$  và  $10.000$**

Đầu tiên, mô phỏng của kết cấu trụ tĩnh được tiến hành để mô phỏng lại kết quả thí nghiệm đã có trước khi mô phỏng mô hình động được diễn ra. Miền dòng hải dương được chia ra với mật độ từ 10.000 - 80.000 phần tử và được tiến hành ở 2 giá trị  $Re$  cụ thể 3.900 và 10.000. Giá trị của lực cản ( $C_d$ ) và lực nâng ( $C_l$ ) được sử dụng để kiểm tra độ ổn định của mô hình. Các giá trị mô phỏng được tổng hợp trên Bảng 1 và Hình 4 cho thấy khi số phần tử đạt 44.800 trong miền mô phỏng, giá trị  $C_d$  và  $C_l$  thay đổi không đáng kể. Sự phân bố áp suất xung quanh trụ cũng thể hiện, với lưới C (lưới trung bình), sự thay đổi về phân bố áp suất xung quanh trụ gần như không thay đổi (Hình 5). Trên cơ sở này, lưới với kích cỡ 44.800 phần tử sẽ được sử dụng để mô phỏng dòng hải dương qua trụ.

Trong quá trình mô phỏng, các mô hình dòng chảy rời khác nhau như: mô hình dòng điều hòa (laminar), standard  $k - \epsilon$  (SKE), realizable  $k - \epsilon$  (RKE), standard  $k - \omega$



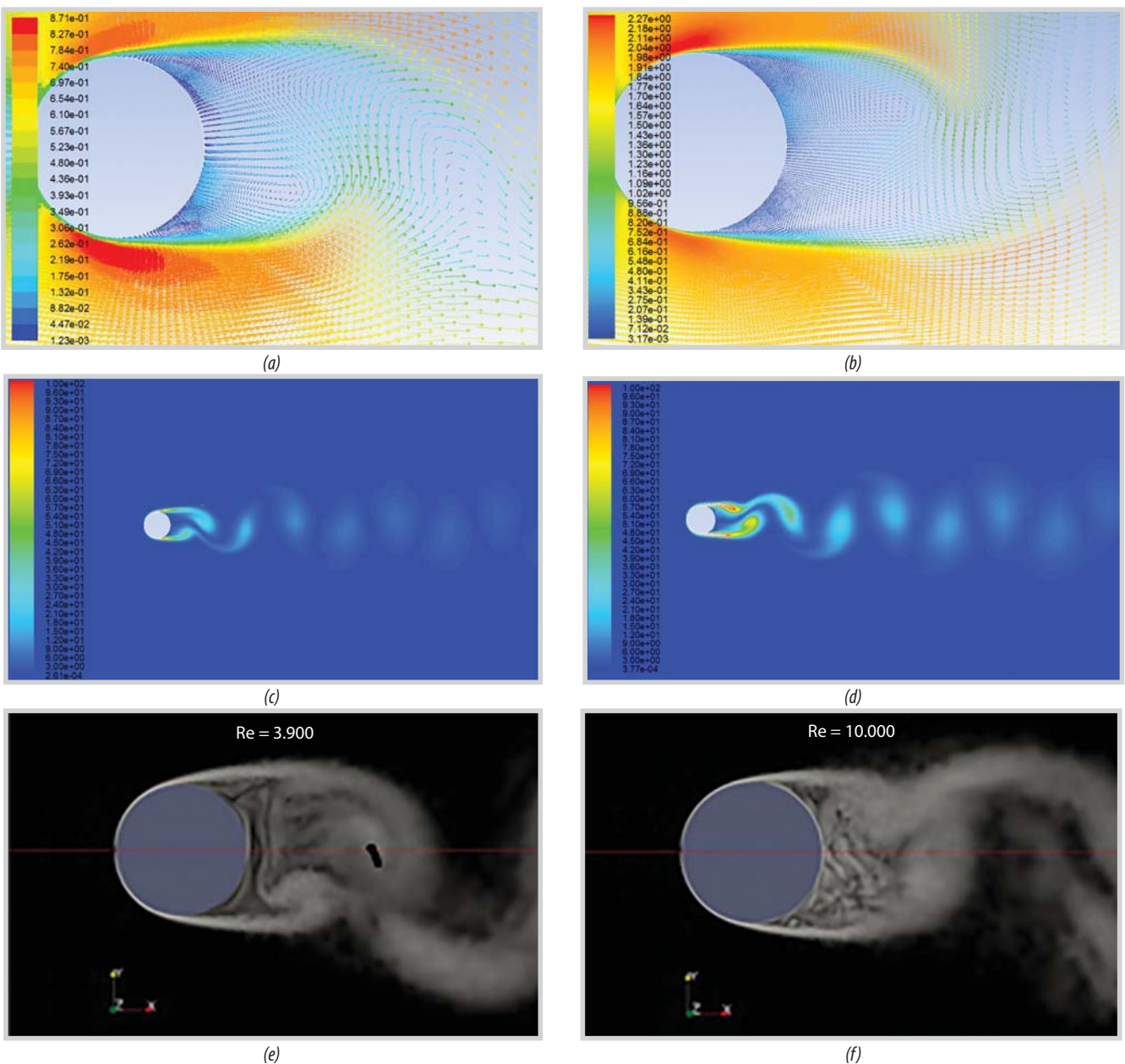
**Hình 5.** Sự phân bố áp suất quanh trụ tại  $Re = 3.900$

(SKW), SST  $k - \omega$  và SST được sử dụng thử và so sánh với kết quả thực nghiệm khác nhau.

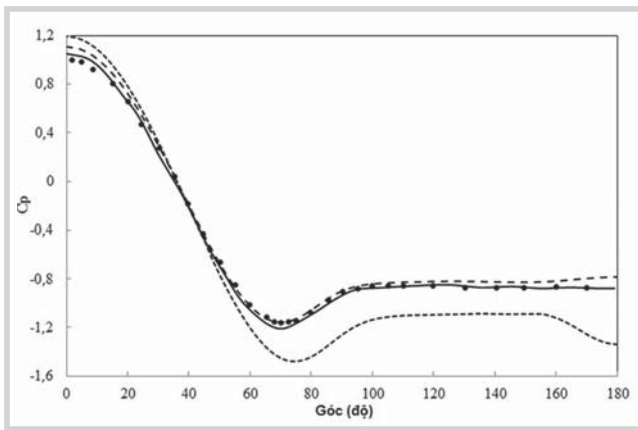
Bảng 2 tổng hợp giá trị  $C_d$ ,  $C_l$  và  $S_t$  tại  $Re = 3.900$  và 10.000. Kết quả mô phỏng sử dụng mô hình SKW rất gần với giá trị của  $C_d$ ,  $C_l$  trong thực nghiệm. Các mô hình mô phỏng khác có sự khác biệt trong tính toán lực nâng và lực đẩy. Giá trị mô phỏng bằng phương pháp SKW rất gần với giá trị của mô hình mô phỏng 3D LES [9], với mô hình được xây dựng với gần 2 triệu phần tử. Mô hình dòng

**Bảng 2.** Tổng hợp lực đẩy, lực nâng và số Strouhal tại  $Re = 3.900$  và  $10.000$

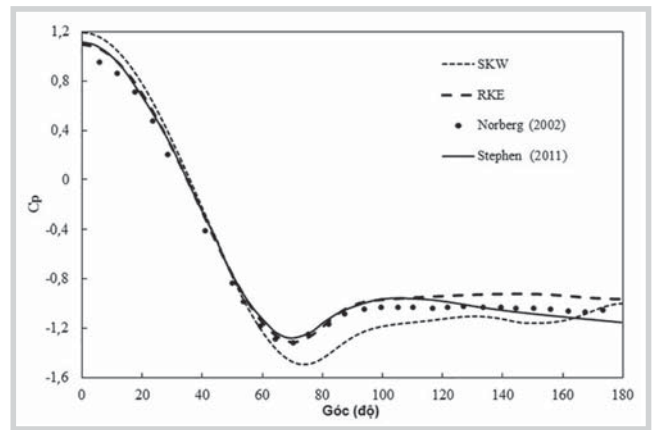
Reynolds numbers	3.900			10.000		
	$C_d$	$C_l$	$S_t$	$C_d$	$C_l$	$S_t$
Laminar	1,6	1,4	0,2	1,7	1,5	0,21
SKE	0,8	0,05	0,2	0,7	0,19	
RKE	0,98	0,4	0,22	0,92	0,4	0,21
SKW	1,2	0,55	0,2	1,25	0,6	0,2
SST KW	1,63	1,5	0,22	1,60	0,2	0,21
SST	1,6	1,6	0,23	1,65	1,75	0,21
VMS - LES [9]	0,99		0,21	1,22		0,2
Lourenco, Shih (1993)	0,985					
Breuer (1998)	1,08					
Chen (1971)		0,38			0,47	
Hassan (1963)		0,44			0,58	
Kecfe (1961)					0,58	
H.Schlichting (1979)	0,995			1,1		



**Hình 6.** Dòng xoáy phía sau trụ (a, b) vector vận tốc, (c, d) cường độ xoáy (1/s) tại  $Re = 3.900$  và  $10.000$ , (e, f) ảnh chụp dòng hải dương xoáy [9]



(a)



(b)

Hình 7. Phân bố hệ số áp suất trung bình xung quanh trụ tại Re 3.900 (a) và 10.000 (b)

xoáy được tạo ra bởi mô hình mô phỏng rối (Hình 6) thể hiện mô hình xoáy 2S, đồng nhất với mô hình trong thực nghiệm với cùng giá trị số Reynolds.

Sự phân bố áp suất xung quanh kết cấu trụ tròn ở Re = 3.900 và Re = 10.000 được tính toán sử dụng mô hình mô phỏng rối. Hình 7 thể hiện hệ số áp suất trung bình xung quanh trụ thu được tại Re = 3.900 và 10.000. Kết quả mô phỏng dự đoán tốt phân bố áp suất xung quanh trụ, tuy nhiên lớn hơn so với kết quả thí nghiệm. Các mô phỏng bằng mô hình 2D cho kết quả tương đương với kết quả thu được bằng mô phỏng 3D VMS - LES thực hiện bởi Stephen et al. [9].

Kết quả mô phỏng cho kết cấu trụ tĩnh cho thấy có thể áp dụng CFD để giải quyết vấn đề dòng hải dương trong các công trình biển. Ngoài ra, so sánh kết quả tính toán và các thông số đo lường cho thấy kết quả CFD cho tác động của dòng hải dương tới hệ thống trụ có thể dự đoán tốt bằng mô hình rối SKW và sẽ tiếp tục được ứng dụng trong mô hình động.

**3.2. Dao động tự do của kết cấu trụ dưới tác động của dòng hải dương**

Nhóm tác giả nghiên cứu lực, phản hồi của kết cấu trụ tròn dưới tác động của dòng chảy. Vấn đề dao động của riser, conductor chủ yếu do dẫn xuất của dòng xoáy, đang được các công ty dầu khí thế giới quan tâm nghiên cứu. Với điều kiện biển Việt Nam, kết cấu trụ với tỷ lệ khối lượng giảm xóc ( $m^* \zeta$ ) thấp được tiến hành. Nghiên cứu đã được phân tích bằng mô phỏng bởi Pan [10] và thực nghiệm bởi Khalad và Williamson [11] tại điều kiện dòng chảy trung bình (subcritical Reynolds).

Hệ thống riser cứng được mô phỏng thông qua kết cấu trụ cứng dao động tự do theo phương y. Do giá trị biên độ dao động của lực đẩy khá nhỏ trong khi biên độ

Bảng 3. Định nghĩa các đại lượng trong mô phỏng

A*	A/D	Tỷ lệ biên độ
$m_d$	$\frac{\pi}{4} \rho D^2 L$	Khối lượng chất lỏng chiếm chỗ
$m_a$	$C_a m_d$	Khối lượng bổ sung
$m_o$		Khối lượng hệ thống dao động
$m^*$	$m_o/m_d$	Tỷ lệ khối lượng
$f_n$	$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$	Tần số dao động tự nhiên của hệ thống
$f_o$		Tần số dao động của trụ
$f^*$	$f_o/f_n$	Tỷ lệ tần số
$U_r$	$\frac{U}{f_n D}$	Vận tốc vô hướng (reduced velocity)

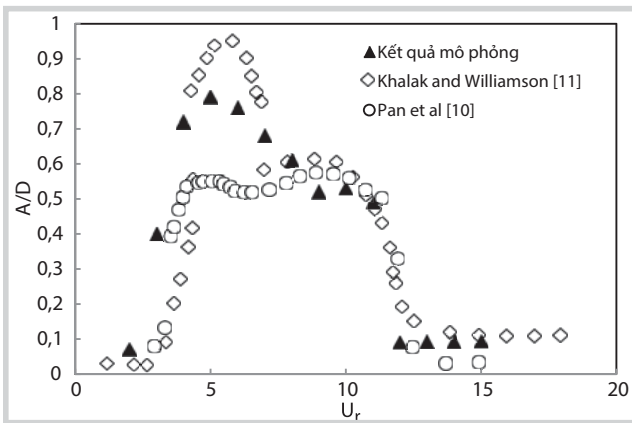
Bảng 4. Các thông số chính của hệ thống mô phỏng

Tỷ số khối lượng	$m^*$	1,5
Tỷ số giảm chấn	$\zeta$	0,0072
Tỷ số khối lượng giảm chấn	$m^* \zeta$	0,0108

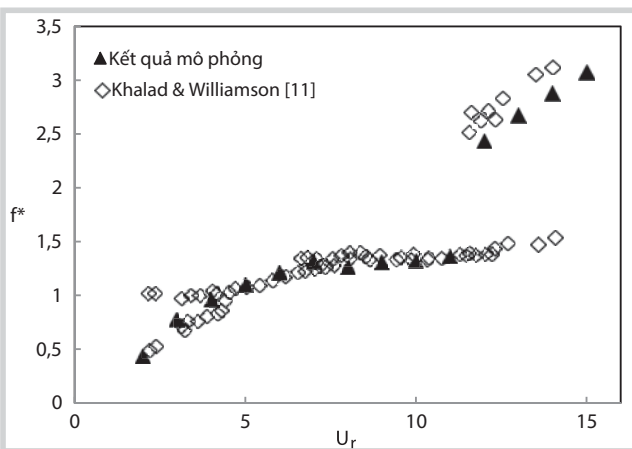
dao động của lực nâng lớn nên vấn đề dòng xoáy chủ yếu tập trung vào dao động vòng góc với dòng chảy. Mô hình mô phỏng 2D tác động của hình trụ tròn lên dòng hải dương được thể hiện trong Hình 1.

Kết quả mô phỏng được so sánh với thí nghiệm của Khalad và Williamson [11] với các giá trị trong Bảng 4. Phương trình chuyển động với 1 bậc tự do được sử dụng trong chuyển động của trụ dựa trên phương pháp lưới chuyển động (Moving Dynamic Mesh).

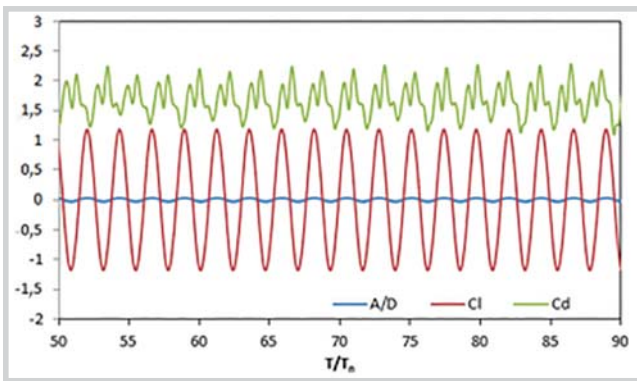
Mô phỏng hiện tại được tiến hành với số Reynolds cố định 10.000. Trong các thí nghiệm VIV, số Reynolds là yếu tố có ít ảnh hưởng hơn so với vận tốc vô hướng  $U_r$ . Số Reynolds không thay đổi nhiều trong 2 yếu tố có nhiều ảnh hưởng nhất để đánh giá cấu trúc dưới sự ảnh hưởng của VIV: biên độ và tần số dao động. Trong bài báo này, mô phỏng được tiến hành với một chuỗi giá trị tốc độ vô hướng trong khoảng  $2 < U_r < 15$ . Tỷ số biên độ dao động



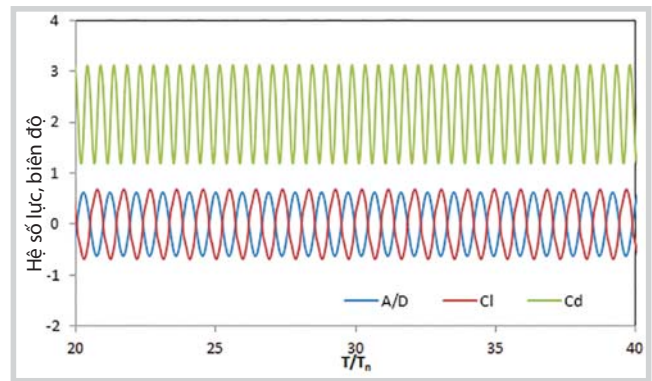
Hình 8. Tỷ số biên độ dao động ở các hệ thống vận tốc vô hướng khác nhau



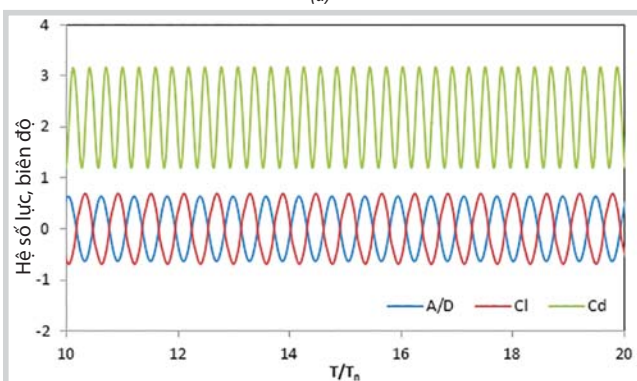
Hình 9. Tỷ số tần số trong trong chuỗi giá trị vận tốc vô hướng



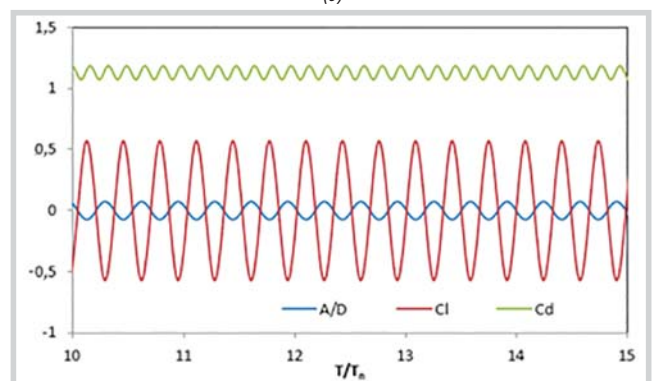
(a)



(b)



(c)



(d)

Hình 10. Hệ số lực nâng, đẩy và biên độ biến thiên theo thời gian ở một số giá trị vận tốc vô hướng khác nhau (a)  $U_r = 2$ , (b)  $U_r = 5$ , (c)  $U_r = 8$ , (d)  $U_r = 12$

( $A^* = A/D$ ) (Hình 8) được so sánh với kết quả thực nghiệm của Khalak và Williamson (1996) [11].

Kết quả của biên độ dao động cho thấy mô phỏng thể hiện được xu hướng trong thí nghiệm Khalad và Williamson [11], trong đó biên độ dao động được thể hiện trong 3 nhánh khác nhau: đầu, cao, thấp. Giá trị biên độ dao động cao nhất được ghi nhận là  $A^* = 0,8$  khi  $U_r \approx 5$  so sánh với biên độ cao nhất  $A^* \approx 1,08$  cho  $U_r \approx 5,8$  trong thực nghiệm. Sự thay đổi đột ngột trong biên độ dao động được quan sát khi  $U_r = 2$  với biên độ  $< 0,03D$  đến khoảng  $0,8D$  khi  $U_r = 5$ . Trong vùng chuyển tiếp này, biên độ lực cản giảm trong khi lực nâng tăng đột ngột (Hình 10). Biên độ mô phỏng cao nhất  $0,8D$  là nhỏ hơn so với Khalak và Williamson (1996) [11], tuy nhiên, kết quả mô phỏng hiện tại gần với kết quả thực nghiệm hơn kết quả của Pan et al. (2007) [10] với các phương pháp mô phỏng 2D RANS tương tự sử dụng mô hình mô phỏng SST KW.

Trong khoảng  $5 < U_r < 9$  có thể quan sát trụ dao động tương ứng với nhánh cao và khi  $9 < U_r < 12$ , trụ dao động ở biên độ tương ứng với nhánh thấp, phản ánh trong thực nghiệm. Tại khu vực này, dao động của hình trụ theo hình sin. Khi  $U_r > 12$ , biên độ dao động giảm đột ngột, với biên độ khoảng  $0,1D$  và tiếp tục duy trì ở giá trị thấp hơn (khoảng  $0,1D$ ) khi tiếp tục tăng  $U_r$ , phản ánh trong nhánh thoái trào trong thực nghiệm của Khalad và Williamson.

Sự thay đổi trong biên độ của dao động và biên độ tối đa  $A^*$  vẫn có chút khác biệt so với thực nghiệm. Sự suy giảm đột ngột trong biên độ của chuyển động thể hiện trong khoảng  $11 < U_r < 12$ . Tuy nhiên, kết quả mô phỏng tương đồng với kết quả mô phỏng của Pan et al. [10].

Hình 9 thể hiện tỷ lệ tần số  $f^* = f_o/f_n$  và sự biến thiên của vận tốc vô hướng trong khoảng từ  $2 < U_r < 15$ . Trong khoảng vận tốc vô hướng  $2 < U_r < 4$ ,  $f^*$  tương đối thấp và dưới 1. Tại giá trị vận tốc vô hướng  $U_r = 2$ , tỷ lệ tần số  $f^*$  khá nhỏ, khoảng 0,5 và tăng dần khi vận tốc vô hướng tăng. Trong phạm vi từ  $2 < U_r < 5$ , đồ thị cho thấy xu hướng  $f^*$  tăng khi tốc độ vô hướng tăng. Sau khi  $U_r = 5$ , tỷ lệ tần số ổn định khoảng 1,15 - 1,25 và biến thiên trên đồ thị gần như một đường thẳng. Khi vận tốc  $U_r = 10$ , tỷ lệ tần số tăng đột biến lên 2,2 trong khi biên độ dao động giảm nhanh chóng. Tỷ lệ tần số đạt giá trị cao  $\sim 3$  khi vận tốc vô hướng = 15. Nhìn chung, tỷ lệ tần số tương đồng với thí nghiệm, nhất là xu hướng chung.

Hình 10 cho thấy những thay đổi trong hệ số đẩy và nâng ở các vận tốc vô hướng khác nhau. Hệ số kéo đẩy trung bình tăng đột từ khoảng 1,5 - > 2 khi vận tốc vô hướng tăng khu vực "locked-in" (Hình 10a, b, c). Như có thể thấy trong Hình 10b và 10c, tại  $U_r = 5$  và 8, biên độ hệ số đẩy dao động với biên độ rất lớn. Khi  $U_r = 12$ , lực cản giảm đáng kể, với trung bình  $C_d$  khoảng 1,1 và dao động với biên độ rất thấp.

Khi  $U_r$  thấp, biên độ hệ số nâng  $C_l > 1$  và tiếp tục giảm khi tăng  $U_r$  với giá trị 0,5 - 0,6 cho phạm vi của  $U_r$  từ 5 - 12. Điều này tương phản với biên độ dao động trong khoảng  $U_r$  nêu trên.

Dựa trên kết quả mô phỏng, có thể thấy, dao động trong kết cấu trụ dưới tác động của dòng hải dương có ảnh hưởng lớn của dao động do dòng xoáy (VIV). Điều

quan trọng nhất để giảm dao động là tránh khả năng gây ra cộng hưởng, điều này có thể khắc phục bằng cách:

- Tránh khu vực gây ra cộng hưởng, đặc biệt trong khoảng  $U_r$  từ 3 - 12, bằng cách tăng độ cứng của trụ tròn;
- Gắn thêm 1 số thiết bị giảm xoáy (Hình 11) vào kết cấu trụ để giảm phân tách dòng chảy, qua đó không tạo xoáy khi dòng hải dương chảy qua riser, conductor.
- Với điều kiện dòng hải dương ở Việt Nam phức tạp, cần giảm phân tách dòng chảy để không tạo xoáy. Việc thay đổi vật liệu để tăng độ cứng của kết cấu trụ rất khó khăn và có giá thành cao. Do đó để giảm dao động dòng xoáy, giải pháp phù hợp là lắp đặt ván xoắn (Hình 11a) với giá thành thấp và hiệu quả cao.

Việc lắp đặt ván xoắn được kiến nghị theo các thông số sau:

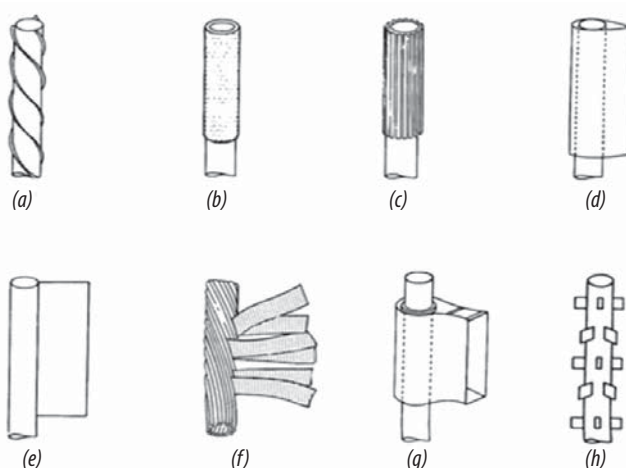
- Độ dài: 0,1D;
- 3 ván xoắn song song và phân bố đều xung quanh trụ;
- Khoảng cách lặp lại của 1 vòng xoắn: 3,6 - 5D. Tuy nhiên, do các công trình biển tại Việt Nam có độ sâu chưa lớn nên khoảng cách 5D được kiến nghị sử dụng [12].

#### 4. Kết luận

Bài báo mô phỏng tác động của dòng hải dương đến kết cấu trụ bằng mô hình 2D RANS ở một số điều kiện cụ thể. So sánh kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm cho thấy mô hình 2D RANS có khả năng tính toán chính xác hệ số đẩy, nâng và biên độ dao động của kết cấu trụ dưới ảnh hưởng của dòng hải dương, đặc biệt là dòng xoáy. Mô hình 2D RANS tại dòng chảy có số Reynolds trung bình phản ánh các vấn đề diễn ra trong riser, conductor đã thể hiện tính ưu việt so với mô phỏng số [10]. Biên độ của chuyển động đạt đến 0,8D tại  $U_r \approx 5$  và khoảng "lock-in" được thể hiện tốt trong mô phỏng này. Kết quả mô phỏng cho thấy tác động và biên độ dao động do dòng chảy trong các hệ thống riser, conductor là đáng kể; cho thấy khả năng áp dụng giải pháp này để tính toán dao động của flexible riser trong các mô hình 3D.

#### Tài liệu tham khảo

1. T.Sarpkaya. *A critical review of the intrinsic nature of vortex-induced vibrations*. Journal of Fluids and Structures. 2004; 19(4): p. 389 - 447.
2. R.Govardhan, C.H.K.Williamson. *Modes of vortex formation and frequency response of a freely vibrating cylinder*. Journal of Fluid Mechanics. 2000; 420: p. 85 - 130.



Hình 11. Các thiết bị làm giảm xoáy [12]

3. C.C.Feng. *The measurement of vortex induced effects in flow past a stationary and oscillating circular and D-section cylinders*. University of British Columbia, Canada. 1968 .
4. A.Khalak, C.H.K.Williamson. *Fluid forces and dynamics of a hydroelastic structure with very low mass and damping*. Journal of Fluids and Structures. 1997; 11(8): p. 973 - 982.
5. Navrose, Sanjay Mittal. *Free vibrations of a cylinder: 3-D computations at  $Re = 1000$* . Journal of Fluids and Structures. 2013; 41: p. 109 - 118.
6. Jonas Bredberg. *On the wall boundary condition for turbulence models*. Chalmers University of Technology, Sweden. 2000.
7. Joško Parunov. *ISSC 2009 - 17<sup>th</sup> International Ship and Offshore Structures Congress*. Brodogradnja. 2009; 60(3): p. 324 - 325.
8. Nguyen The Tuan Linh, Pandeli Temarel, John Chaplin. *Flow around fixed cylinder in tandem*. 16<sup>th</sup> Numerical Towing Tank Symposium, Muilheim, Germany. 2 - 4 September, 2013.
9. Stephen Wornom, Hilde Ouvrard, Maria Vittoria Salvetti, Bruno Koobus, Alain Dervieux. *Variational multiscale large-eddy simulations of the flow past a circular cylinder: Reynolds number effects*. Computers & Fluids. 2011; 47(1): p. 44 - 50.
10. Z.Y.Pan, W.C.Cui, Q.M.Miao. *Numerical simulation of vortex-induced vibration of a circular cylinder at low mass-damping using RANS code*. Journal of Fluids and Structures. 2007; 23(1): p. 23 - 37.
11. A.Khalak, C.H.K.Williamson. *Dynamics of a hydroelastic cylinder with very low mass and damping*. Journal of Fluids and Structures. 1996; 10(5): p. 455 - 472.
12. Robert D.Blevins. *Flow-induced vibration (2<sup>nd</sup> edition)*. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida. 2001.

## Determining the impact of ocean current on riser/conductor system in deepwater area

**Ngo Huu Hai, Nguyen Thanh Hai, Nguyen Hai An, Nguyen The Tuan Linh**  
Petrovietnam Exploration and Production Corporation  
Email: linhntt1@pvep.com.vn

### Summary

**When producing oil and gas in deepwater area, the cylindrical structures (such as riser and conductor) are used to protect drilling equipment and avoid vibration due to the impact of ocean currents. In this paper, the authors simulate the impact of ocean currents on cylindrical structures such as riser and conductor and calculate the maximum oscillation amplitude and the oscillation frequency. The simulation results help improve the understanding of the impact of ocean currents on the riser and conductor system in particular and other cylindrical equipment in general, and at the same time solutions are proposed to mitigate risk and impact of ocean currents on the cylindrical structures, contributing to improving the efficiency of production and operation.**

**Key words:** Cylindrical structure, conductor, numerical simulation, oscillation, vortex, flowline, ocean current.