

Phương pháp xác định thành phần vận tốc hướng kính trong bộ tách dầu/khí (GLCC) bằng phương pháp thực nghiệm kết hợp mô phỏng CFD

A way to extract a radial velocity component inside GLCC body by using CFD simulation and practical experiment

Lê Văn Sỹ^{1,*}, Đặng Thức Văn²

¹Trường Đại học Dầu Khí Việt Nam (PVU)

²Tổng công ty Tư vấn Thiết kế Dầu khí (PVE)

*Email: sylv@pvu.edu.vn

Tel: +84-0254 3721 979; Mobile: 0938 198 881

Tóm tắt

Từ khóa:

Bộ tách dầu/khí, Dòng chảy rối, Dòng đa pha, Động học dòng chảy, GLCC.

Bài báo này đề cập đến việc xác định đầy đủ ba thành phần vận tốc của dòng chảy rối bên trong bộ tách lọc dầu/khí GLCC (Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separator) mà đang được triển khai nghiên cứu ứng dụng tại Việt Nam và nhiều nước trên thế giới. Thực tế cho thấy, các thiết bị đo thông thường chỉ xác định được thành phần vận tốc dọc trục và tiếp tuyến của dòng chảy rối. Thành phần vận tốc hướng kính sẽ được tìm bằng cách áp dụng công thức thực nghiệm từ hai thành phần vừa xác định trong một số nghiên cứu gần đây. Để làm được việc này, tác giả thực hiện mô phỏng CFD bộ tách GLCC và so sánh hai thành phần vận tốc dọc trục và vận tốc tiếp tuyến với kết quả thực nghiệm từ nghiên cứu khác để đánh giá độ chính xác. Thành phần vận tốc hướng kính sẽ được rút trích và đánh giá trực quan từ mô phỏng CFD trong nghiên cứu này. Ba cấu hình đầu vào khác nhau sẽ được thiết lập để nghiên cứu sự ảnh hưởng của đặc tính động học dòng chảy rối trong GLCC. Đây là một cách khá chính xác để xác định thành phần vận tốc hướng kính mà góp phần nâng cao hiệu suất tách pha của bộ tách GLCC.

Abstract

Keywords:

Separator, Turbulent flow, Multiphase, Hydrodynamic, GLCC.

This paper focuses on identifying completely three velocity components of turbulent flow inside GLCC body, which has been developed the applications at Vietnam, and some countries in the world. In practical issue, the limitations of conventional measuring devices showed that they only identified the axial and tangential velocity components of turbulent flow. Then, a radial velocity component is evaluated by using empirical formula with two measured velocity components as presented in the literature. For this work, the authors have investigated the CFD simulation of GLCC separator and have compared with the practical measurement from previous studies of other researchers. The radial velocity component is extracted from the CFD simulated model. Three different inlet configurations are modeled to investigate their effects on hydrokinetic of turbulent flow inside GLCC body. The results showed that there is excellent agreement between the practical measurement and CFD simulation, which can be used to identify the radial velocity component.

Ngày nhận bài: 18/7/2018

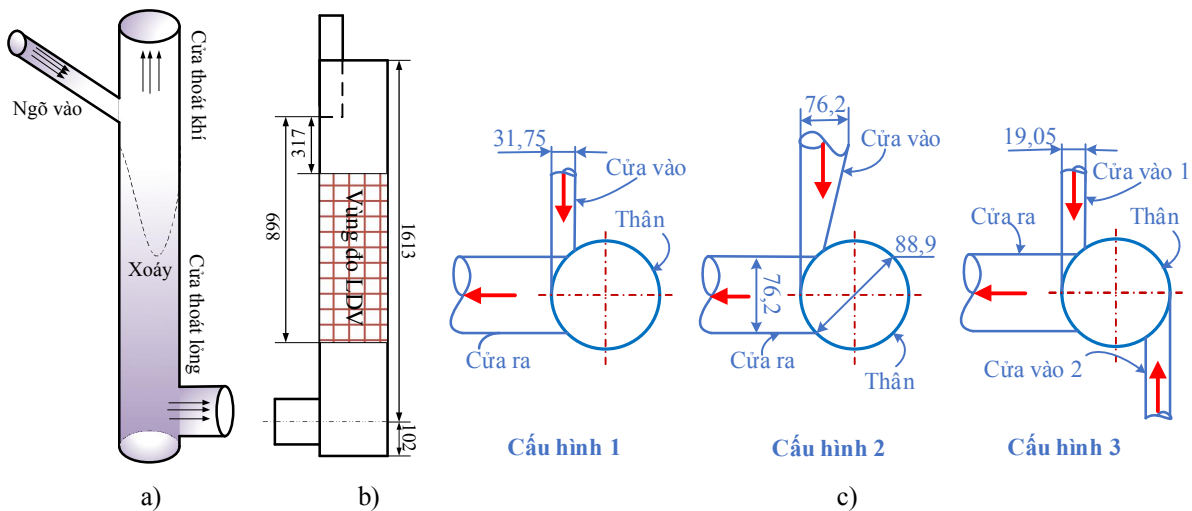
Ngày nhận bài sửa: 13/9/2018

Ngày chấp nhận đăng: 15/9/2018

1. GIỚI THIỆU

Nền công nghiệp dầu khí Việt Nam nói riêng và thế giới nói chung đang bước vào giai đoạn khó khăn do giá dầu giảm sâu. Đối với Việt Nam, việc thăm dò tìm kiếm các vỉa chứa dầu khí có trữ lượng lớn ở vùng nước nông không nhiều phát hiện mới trong vài năm gần đây. Việc tiến xa ra các vùng nước sâu gặp nhiều khó khăn cả về chi phí đầu tư và những biến động chính trị trong khu vực biển Đông. Cho nên, việc tiết giảm chi phí đầu tư trong việc khai thác các vỉa chứa có trữ lượng trung bình đã phát hiện trong thời gian trước đây sẽ là giải pháp hiệu quả trong giai đoạn hiện nay.

Trong hoạt động khai thác dầu/khí, việc loại bỏ tạp chất dạng rắn, tách nước, khí khỏi dầu thô để vận chuyển riêng biệt là một nhiệm vụ quan trọng. Việc tách riêng từng pha giúp cho việc vận chuyển được thuận lợi và tránh được một số hiện tượng khi vận chuyển như: sự lắng đọng parafin, tạo bọt khí, tạo nhũ tương. Tách riêng các pha là một việc làm cần thiết để có dầu thô thương phẩm và thu được một lượng khí nhất định có thể sử dụng trực tiếp cho việc khai thác dầu. Đối với thiết bị tách dầu/khí sử dụng trong giai đoạn hiện nay, có nhiều dạng bình tách hai pha lỏng/khí hoặc đa pha được sử dụng trong quá trình khai thác dầu khí như bình tách hình trụ đứng, bình tách hình ngang, bình tách hình cầu, ...vv. Nhược điểm của các bình tách hiện tại là kích thước và khối lượng rất lớn, chi phí đầu tư lớn và chiếm diện tích rất lớn trên giàn khoan. Do đó, việc nghiên cứu thiết bị tách GLCC sẽ mang lại hiệu quả kinh tế rất lớn phù hợp với điều kiện sản lượng và quy mô của các mỏ trung bình và nhỏ, hoặc hoạt động khai thác vùng nước sâu, xa bờ. Khả năng chế tạo và sản xuất hàng loạt hoàn toàn có thể thực hiện trong điều kiện Việt Nam hiện nay với giá thành thấp, không yêu cầu công nghệ cao.



Hình 1. Kích thước hình học GLCC và cấu hình đầu vào

Kouba [1,2,6,7,8,10,11] và nhóm nghiên cứu của tập đoàn dầu khí Chervon và đại học Tulsa (Hoa Kỳ) đã giới thiệu một thiết bị tách tích hợp có cấu tạo rất đơn giản, trọng lượng và kích thước nhỏ, khả năng tách liên tục ở cả giai đoạn sơ cấp và thứ cấp, có thể đặt trên giàn hoặc cả dưới biển sâu. Thiết bị này dựa trên dòng xoáy khí động học trong ống trụ. Thiết bị bao gồm ống đầu vào nghiêng 27° so với phương ngang, được hàn theo phương tiếp tuyến với thân của thiết bị. Thân của thiết bị cũng là một ống trụ, đầu ra chất lỏng được hàn cứng vào thân ở phía dưới, đầu ra chất khí được hàn phía trên cùng để thoát khí. Do dòng đa pha đưa vào thân bộ tách theo phương tiếp tuyến nên tạo ra dòng xoáy lò xo trong thân bộ tách. Dưới tác

dụng của lực ly tâm và trọng lực, các phần tử có khối lượng riêng lớn (dầu, nước, chất rắn) sẽ đi xuống phía dưới, khí nhẹ hơn sẽ tập trung ở phần lõi giữa thân và tạo thành cột khí thoát ra theo cửa thoát phía trên.

Hiện tại, thiết bị này được nghiên cứu bởi nhiều nhóm nghiên cứu ở nhiều quốc gia và đạt được nhiều kết quả quan trọng góp phần thương mại hóa trên 4500 sản phẩm với nhiều kích thước và cấu hình khác nhau. Các nhóm nghiên cứu tập trung vào nghiên cứu lý thuyết về ảnh hưởng của đặc tính dòng chảy, hình học đầu vào và áp suất tác động bên trong GLCC [5,10,12]; thực hiện thí nghiệm tìm hiểu về hiện tượng chất lỏng thoát lên cửa khí phía trên [6,9,12]; nghiên cứu ảnh hưởng của hình học đầu vào đến đặc tính động học [3,4,5]; mô phỏng CFD động học dòng rối [3,4,7,8]; nghiên cứu hệ thống điều khiển hệ thống GLCC sử dụng Matlab/Simulink cho các dạng GLCC có kích thước lớn [6]. Đặc biệt, Eerdal [7,8] đã tiến hành nghiên cứu thực nghiệm do các thành phần vận tốc của dòng đa pha trong lòng GLCC và tiến hành mô phỏng CFD cả 2D&3D để xem xét ứng xử động học dòng chảy bên trong GLCC với dòng một pha và hai pha. Do sự giới hạn của công nghệ đo và thiết bị máy tính nên nhóm tác giả chỉ đo được thành phần vận tốc dọc trục và vận tốc tiếp tuyến của dòng chảy trong GLCC. Thành phần hướng kính được tính toán theo công thức thực nghiệm mà được thành lập cho việc tính toán với thiết bị xilo Stairman [1,2]. Kết quả này chỉ cho ra giá trị trung bình tương đối của thành phần vận tốc hướng kính mà chưa có phân tích khi ta thay đổi các điều kiện đầu vào khác nhau. Đối với mô phỏng CFD, đa số các tác giả đều giả định điều kiện biên lý tưởng và kết quả cho thấy được hình dạng vận tốc tiếp tuyến của dòng chất lỏng trong GLCC. Việc dự đoán động học dòng chảy của GLCC bằng mô phỏng CFD 3D với điều kiện biên giống với thí nghiệm thực còn gặp nhiều khó khăn vì nhiều lý do: kích thước lớn, dòng chảy phức tạp, khả năng hội tụ kém, giới hạn của nguồn lực máy tính. Do đó, các nhóm nghiên cứu thường thực hiện mô phỏng trên mô hình hai chiều (2D) và điều kiện biên được đưa về lý tưởng để kết quả hội tụ. Việc giả sử này trong trường hợp nào đó sẽ dẫn đến sai số lớn và khó dự đoán được dòng chảy rối trong lõi tâm của GLCC [5,7,8].

Nghiên cứu này sẽ tiến hành mô phỏng CFD với mô hình 3D của GLCC với kích thước thực tế và khảo sát 3 dạng cửa vào với hình học khác nhau. Thông số đầu vào mô phỏng là các giá trị thí nghiệm trên mô hình thực tế do từ thiết bị LVD trong nghiên cứu [5,7]. Kết quả mô phỏng gồm vận tốc tiếp tuyến và vận tốc dọc trục sẽ được so sánh với các giá trị đo từ thí nghiệm thực tế ứng với mỗi dạng đầu vào. Nhiều mô hình dòng chảy rối và các điều kiện biên khác nhau được khảo sát để chọn mô hình mô tả kết quả đo từ thực nghiệm chính xác nhất làm cơ sở phân tích đặc trưng của thành phần vận tốc hướng kính. Thông thường, thành phần vận tốc hướng kính không được đo trong các thí nghiệm thực tiễn. Tuy nhiên, các giá trị của vận tốc hướng kính có thể thu được một cách tin cậy từ mô hình mô phỏng CFD của bộ tách GLCC nếu hai thành phần còn lại có sai số nhỏ so với thực nghiệm. Ngoài ra, khó khăn trong việc quan sát đặc trưng hình học dòng chảy rối trong lòng bộ tách GLCC mà các tác giả khác đề cập [6,7,8] cũng được quan sát và phân tích kỹ trong nghiên cứu này.

2. VẬN TỐC HƯỚNG KÍNH VÀ MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

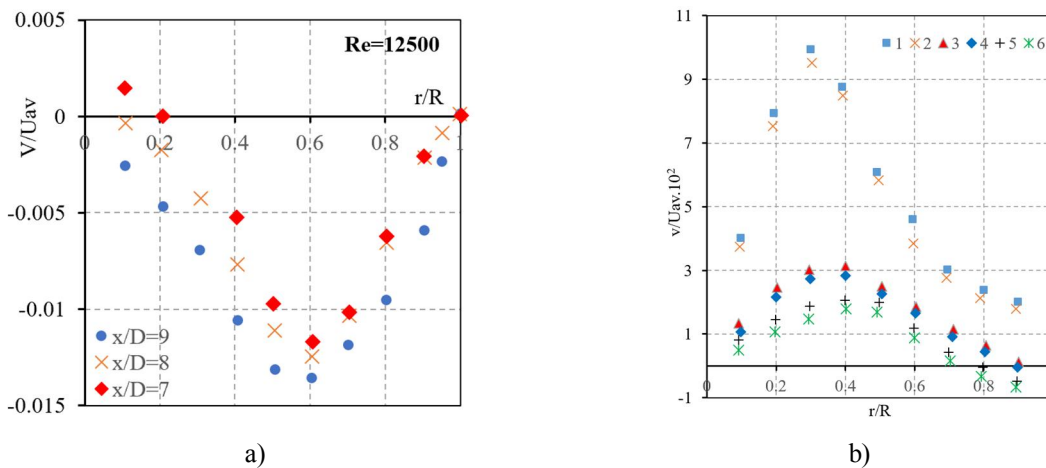
2.1. Thành phần vận tốc hướng kính

Trong nghiên cứu và phân tích động học dòng chảy trong ống thẳng, các tác giả trước đây thường không xác định thành phần vận tốc hướng kính bằng thiết bị đo thực tế. Thành phần này thường được xác định tương đối theo hai thành phần còn lại. Chính vì thế, việc thành lập mô hình tính toán động học dòng chảy trong ống thẳng thường bỏ qua thành phần vận tốc hướng

kính. Cho đến thời điểm này, chưa có nhóm nghiên cứu nào đo trực tiếp thành phần vận tốc hướng kính [1,2]. Kitoh [12], Algifri [13], Chang [14] thực hiện nghiên cứu về dòng chảy xoáy rối trong ống thẳng đã thiết lập công thức tính gần đúng thành phần vận tốc hướng kính theo thành phần vận tốc dọc trục (U) và bán kính r của ống bằng cách sử dụng phương trình liên tục với giả thuyết là dòng chảy có tính đối xứng trục như sau:

$$V = -\frac{1}{r} \int_0^r \frac{\partial}{\partial x} (rU) \cdot dr \quad (1)$$

Các tác giả kết luận rằng, thành phần vận tốc hướng kính là kết quả của sự biến thiên của vận tốc dọc trục mà không phụ thuộc vào số Reynold. Độ lớn của vận tốc hướng kính sẽ tăng theo cường độ xoáy. Giá trị cực đại của thành phần vận tốc hướng kính lệch về phía trục ống trụ và tại vị trí mà thành phần vận tốc tiếp tuyến cực đại. Chang [14] cũng kết luận giá trị vận tốc hướng kính chỉ bằng khoảng 1,5% giá trị của vận tốc dọc trục và có thể bỏ qua trong quá trình tính toán thành lập mô hình động học dòng chảy trong ống trụ.



Hình 2. Biên dạng thành phần vận tốc hướng kính theo a) Chang [14], b) Algifri [13]

Nhóm nghiên cứu tại đại học Tulsa [1,2,6,7,8,10,11] khi quan sát bằng thí nghiệm nhận thấy rằng, dòng xoáy xuất hiện và ảnh hưởng rất lớn đến việc hội tụ lõi khí ở tâm của GLCC. Các bọt khí di chuyển vào tâm ống và chất lỏng di chuyển ra thành ống mà ảnh hưởng đến khả năng tách của GLCC. Tuy nhiên các tác giả vẫn bỏ qua thành phần vận tốc hướng kính trong quá trình phân tích và thành lập mô hình tính toán động học dòng chảy trong GLCC. Thành phần vận tốc hướng kính chưa được đo đạc và được tính tương đối thông qua hai thành phần vận tốc tiếp tuyến và vận tốc dọc trục như biểu thức sau:

$$\sqrt{(v')^2} \approx \frac{1}{2} \left(\sqrt{(u')^2} + \sqrt{(w')^2} \right) \quad (2)$$

Trong nghiên cứu này với mục đích tìm hiểu xem có nên loại bỏ thành phần vận tốc hướng kính khỏi các tính toán động học dòng chảy trong GLCC như các nghiên cứu trước. Hơn nữa, việc tìm hiểu phân bố vận tốc hướng kính trong GLCC sẽ làm rõ nhiều vấn đề và có sự so sánh các giá trị cực đại của thành phần vận tốc này. Mỗi ứng dụng có đặc trưng riêng và đặc trưng động học dòng chảy cũng tùy thuộc vào cách ta tạo ra dạng dòng chảy đó. Các nghiên cứu lý thuyết trước đây chỉ xem xét khía cạnh dòng chảy trong ống thẳng đặt nằm ngang, giả thuyết là

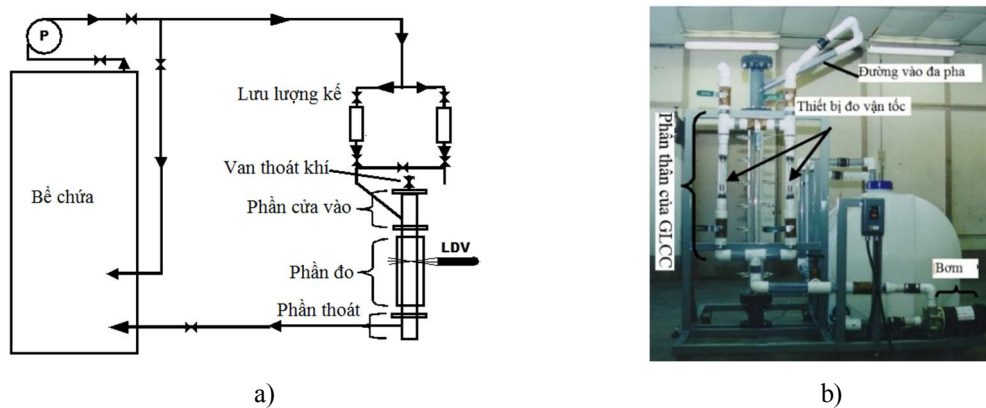
dòng chảy có tính đối xứng trục. Trong nghiên cứu này sẽ rút trích dữ liệu từ mô phỏng khi mà hai thành phần vận tốc dọc trục và tiếp tuyến được kiểm tra chính xác với kết quả thực nghiệm.

2.2. Thiết bị thí nghiệm và các thông số thí nghiệm

Erdal [7,8] thực hiện thí nghiệm đo hai thành phần vận tốc dọc trục và vận tốc tiếp tuyến của dòng chảy trong lòng thiết bị tách GLCC có kích thước như Hình 1. Các thiết bị được kết nối theo sơ đồ Hình 3a. Nó được chia làm 3 cụm: phần cụm đầu vào, phần đo, phần đầu ra. Phần thân GLCC (phần đo) có đường kính 88,9 mm được làm từ nhựa PVC trong suốt và gắn các thiết bị LDV (Laser Doppler Velocimeter) theo các khoảng cách x đo từ vị trí cửa vào ($x = 317 \text{ mm}; 467 \text{ mm}; 899 \text{ mm}$) như Hình 1b. Có ba dạng cấu hình đầu vào nghiêng 27° khác nhau được sử dụng trong thí nghiệm như trình bày trong Hình 1c: i) dạng thẳng; ii) dạng góc vát; iii) dạng 2 đầu vào. Để tạo độ nhớt của lưu chất ta sử dụng glycerine trộn với nước theo các tỷ lệ khác nhau để có được độ nhớt tương tự dầu mỏ từ $1-7.10^{-3} \text{ Pa.s}$ (khối lượng riêng 1093kg/m^3). Vận tốc đầu vào dòng đa pha, hệ số Renold và các thông số thí nghiệm được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số thí nghiệm

STT	Cấu hình	Lưu chất	Lưu lượng (m^3/s)	Vận tốc trung bình, U_{av} (m/s)	Số Reynold
1	1	Nước/Glycerin	0,00339	0,545	7570
2	1	Nước	0,00063	0,102	9285
3	1	Nước	0,00454	0,731	66,855
4	2	Nước	0,00063	0,102	9285
5	2	Nước	0,00454	0,731	66855
6	3	Nước	0,00063	0,102	9285
7	3	Nước	0,00454	0,731	66855



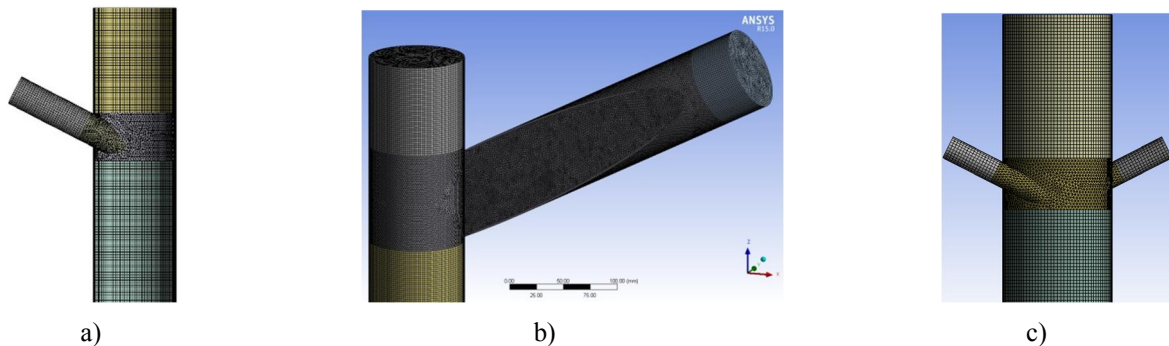
Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm và mô hình thí nghiệm

2.3. Mô hình dòng chảy rối và điều kiện biên

Đối với bộ tách xilo Stairman, nhiều nhóm nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng động học dòng chảy sử dụng các mô hình $\kappa-\epsilon$ và RNG $\kappa-\epsilon$ và cho kết quả tương đối chính xác với thực nghiệm [3,4]. Tuy nhiên, mô phỏng động học GLCC còn nhiều hạn chế và có nhiều thách thức đối với các nhóm nghiên cứu do sự phức tạp của dòng chảy, đặc tính 3D khí động học dòng chảy. Đặc trưng dòng chảy trong GLCC là bất đẳng hướng, cường độ rối tùy thuộc vào vận tốc đầu

vào của dòng chảy và các thành phần độ nhớt dòng chảy rối có thể âm do việc biến đổi động lượng là trái dấu với gradient của động lượng. Cho nên việc lựa chọn mô hình chảy rối áp dụng cho mô phỏng cũng cần xem xét đến vận tốc dòng chảy đang sử dụng.

Erdal [7,8] thực hiện mô phỏng trạng thái ổn định dòng chảy GLCC với số Reynold lớn, sử dụng mô hình tiêu chuẩn $\kappa-\epsilon$ và mô hình RSM (Reynold Stress Model) trong Fluent. Kết quả cho thấy mô hình $\kappa-\epsilon$ cho kết quả dự đoán dòng chảy rối so với thực nghiệm tốt hơn so với mô hình RSM. Kết quả này rất khác so với các nghiên cứu trước đó về mô hình sử dụng trong mô phỏng xilo Stairman. Gupta [11] sử dụng mô hình RNG $\kappa-\epsilon$ để mô phỏng khí động học dòng chảy của GLCC và so sánh với dữ liệu đo từ PVT. Kết quả cho thấy kết quả mô phỏng được cải thiện đáng kể so với mô hình tiêu chuẩn $\kappa-\epsilon$. Đối với mô phỏng CFD xilo, các tác giả đã thực hiện với các mô hình RNG $\kappa-\epsilon$, RANS, LES, RSM [5]. Các tác giả cho rằng mô hình $\kappa-\epsilon$ và RNG $\kappa-\epsilon$ chỉ phù hợp với dòng chảy có cường độ chảy rối nhỏ và chúng không dự đoán chính xác dòng chảy rối xảy ra trong xilo. Các tác giả sử dụng mô hình RANS và LES đều cho kết quả dự đoán dòng chảy rối và đặc trưng dòng chảy gần tường tương đối chính xác [5,11]. Tuy nhiên, khả năng hội tụ kết quả của các mô hình này tương đối khó và thời gian tính toán rất lớn. Trong nghiên cứu trước đây [3,4] đã khảo sát tất cả các mô hình dòng chảy rối có sẵn trong Fluent và cho thấy rằng mô hình dòng chảy rối RNG $\kappa-\epsilon$ có khả năng dự đoán các thành phần vận tốc phù hợp với thực nghiệm sẽ được chọn để rút trích các thành phần vận tốc.



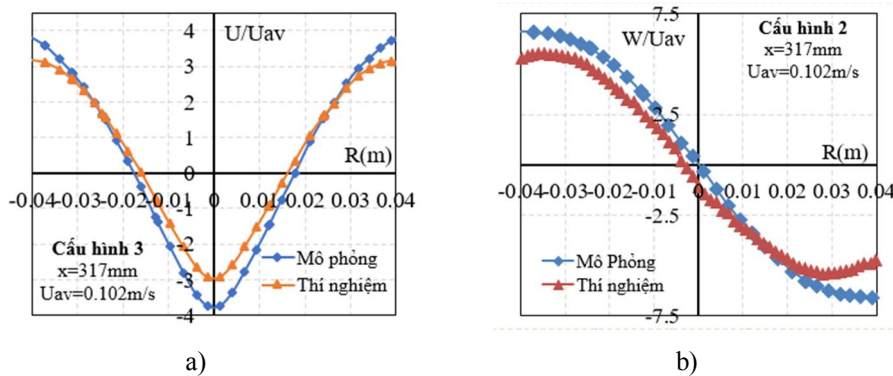
Hình 4. Chia lưới mô hình GLCC với ba cấu hình khác nhau

Để thuận tiện và đạt được chất lượng lưới tối ưu, mô hình 3D được chia thành nhiều phần khác nhau để có thể tạo lưới dạng Hexa (Hình 4). Vùng tiếp nối giữa cửa vào và thân GLCC được tạo lưới dạng tetra vì dạng hình học phức tạp. Phần tiếp giáp tường được chia thành 6 lớp để nghiên cứu ảnh hưởng động học dòng chảy tiếp giáp tường và sử dụng điều kiện biên không trượt trong vùng này. Ba mức mật độ lưới khác nhau để kiểm chứng mức độ ảnh hưởng của lưới đến kết quả mô phỏng. Mô hình với số lượng phần tử lần lượt là 760.000, 1.160.300 và 1.520.000 phần tử được thử nghiệm. Sự khác nhau về phân bố vận tốc tiếp tuyến của mô hình 1.160.300 và 1.520.000 phần tử là không đáng kể. Do đó, mô hình với mật độ lưới tạo 1.160.300 phần tử được chọn để mô phỏng cho các thông số vận tốc và độ nhớt khác nhau.

Chất lỏng trong GLCC được xem là dạng không nén được và đẳng nhiệt. Điều kiện biên ở cửa vào là dạng lưu lượng dòng chảy, giá trị này tương tự với thí nghiệm thực tế. Giá trị lưu lượng Q lần lượt thiết lập theo các giá trị cho trong Bảng 1. Điều kiện biên ở cửa thoát khí và thoát chất lỏng là áp suất khí trời. Mô phỏng sử dụng phương pháp thể tích hữu hạn để rời rạc hóa các phương trình vi phân từng phần. Thuật toán áp suất – vận tốc đồng thời được chọn trong quá trình mô phỏng với lựa chọn SIMPLE. Thuật toán nội suy ngược bậc hai sử dụng để tìm các biến trên bề mặt của thể tích đang xét.

2.4. So sánh thực nghiệm và mô phỏng

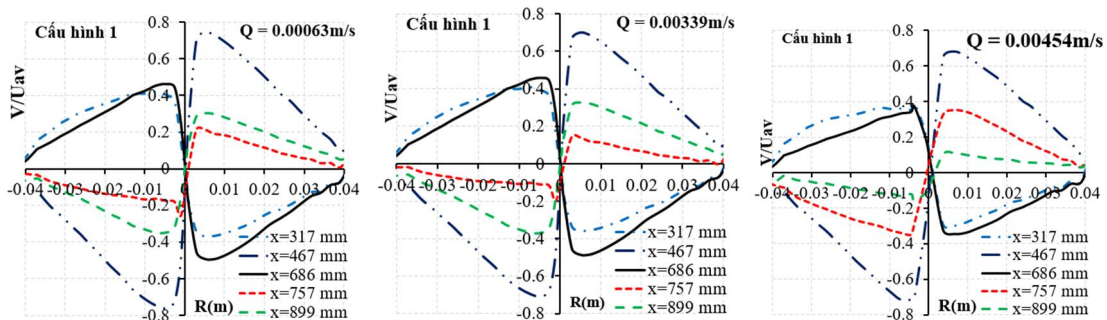
Sau khi chạy mô phỏng với mô hình được thiết lập với các thông số và điều kiện biên ở phần trên, biên dạng vận tốc dọc trục và tiếp tuyến được rút trích tại vị trí $x = 317 \text{ mm}$ bên dưới cửa vào cho cấu hình 2 và 3. Cấu hình 1 đã trình bày trong tài liệu [3], cấu hình 2 và cấu hình 3 trình bày chi tiết trong tài liệu [4]. Kết quả cho thấy sự sai khác giữa thí nghiệm thực tế của Erdal và mô phỏng trong nghiên cứu này có độ chính xác khá cao (sai số $< 4\%$). Do đó, các thành phần vận tốc hướng kính trích xuất từ mô hình mô phỏng này đủ tin cậy để phân tích các đặc tính động học của dòng chảy trong GLCC.



Hình 5. So sánh phân bố vận tốc dọc trục (a), tiếp tuyến (b) giữa thực nghiệm và mô phỏng

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Trường hợp một cửa vào (Cấu hình 1)

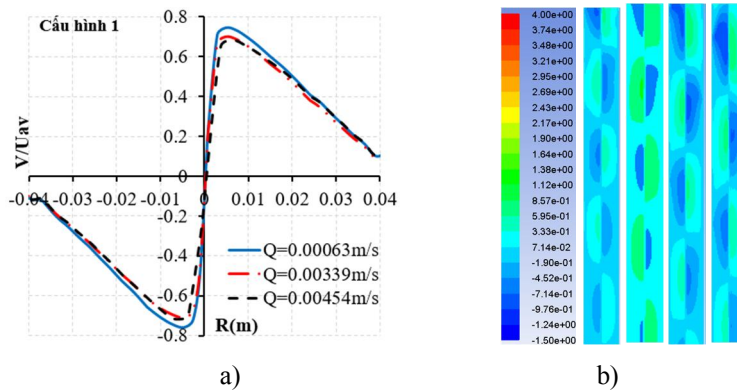


Hình 6. So sánh phân bố vận tốc hướng kính tại 5 vị trí đo và các lưu lượng khác nhau

Mô hình mô phỏng thực hiện với kết quả so sánh biên dạng vận tốc của thành phần vận tốc dọc trục và thành phần vận tốc tiếp tuyến khá chính xác với kết quả thí nghiệm. Điều này cho phép rút trích các giá trị thành phần vận tốc hướng kính từ mô hình mô phỏng CFD với độ chính xác cao. Hình 6 trình bày các phân bố vận tốc hướng kính theo đường kính GLCC tại 5 vị trí đo khác nhau bên dưới cửa vào và với các lưu lượng khác nhau của dòng lưu chất đầu vào. Quan sát thấy rằng, biên dạng vận tốc khá phù hợp với biên dạng mà Chang [14] và Algifri [13] đưa ra. Thành phần vận tốc hướng kính có giá trị cực đại tại vị trí gần trục đối xứng GLCC nơi mà giá trị của thành phần tiếp tuyến cực đại và giá trị này giảm dần về phía thành tường GLCC và có giá trị rất nhỏ tại thành tường và tại trục đối xứng. Điều này phù hợp với quan sát từ thí nghiệm

và phân tích lý thuyết khi ở tâm GLCC xuất hiện một dòng chảy ngược và lõi khí làm cản trở dòng lưu chất vào phía tâm GLCC, vị trí cực đại ứng với chỗ giao giữa dòng đi xuống và dòng chảy ngược. Càng tiến về gần tường sẽ chịu ảnh hưởng của thành phần tiếp tuyến tăng dần và thành phần hướng kính giảm dần cường độ.

Phân bố vận tốc hướng kính có dạng đối xứng qua tâm GLCC và trái dấu nhau, tính chất này có thể là do tính chất dòng chảy đầu vào tiếp tuyến với thân GLCC. Ở vận tốc dòng lưu chất đầu vào nhỏ ($Re = 9285$ và 7570) thì giá trị thành phần hướng kính đạt trị lớn tại vị trí $x = 467 - 868$ mm và càng gần cửa vào hoặc cửa thoát thì cường độ giảm dần. Tùy thuộc vào vị trí lõi xoáy và ảnh hưởng nhiễu động của đầu vào và đầu ra sẽ tạo ra các vùng áp suất âm/dương mà ảnh hưởng đến cường độ thành phần vận tốc hướng kính. Càng đi về phía cửa thoát thì ảnh hưởng của thành phần dọc trục càng lớn và ảnh hưởng của thành phần tiếp tuyến sẽ giảm đi. Độ lớn cực đại của thành phần vận tốc hướng kính bằng khoảng 30% so với thành phần vận tốc tiếp tuyến và bằng khoảng 50% thành phần vận tốc dọc trục. Kết quả này cho thấy thành phần vận tốc hướng kính dự đoán từ mô phỏng lớn hơn nhiều so với kết quả dự đoán theo Erdal [7,8] và kết luận trong nghiên cứu Chang [14], chỉ khoảng 1,5% .

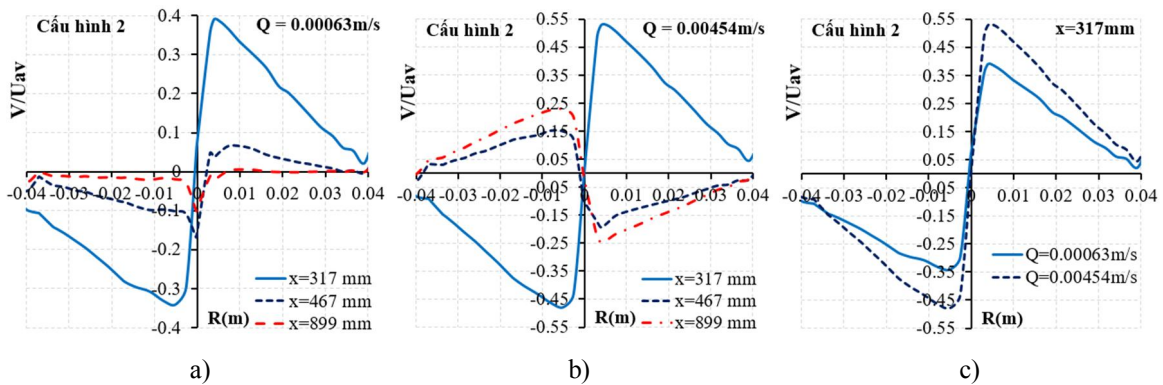


Hình 7. So sánh biên dạng vận tốc hướng kính (tại $x = 757$ mm) ứng với các giá trị lưu lượng đầu vào khác nhau

Kết quả trình bày trong Hình 7a khi so sánh phân bố của thành phần vận tốc hướng kính ứng với các lưu lượng đầu vào khác nhau (đo tại vị trí $x = 757$ mm). Kết quả cho thấy càng tăng vận tốc đầu vào thì cường độ cực đại của thành phần vận tốc hướng kính càng giảm. Thực tế cho thấy, khi tăng vận tốc đầu vào thì lực ly tâm sẽ tăng, lượng chất lỏng đồn trú trong lòng GLCC sẽ tăng và sẽ cản trở dòng chảy ngược và việc hội tụ lõi khí ở tâm. Việc này sẽ làm giảm cường độ thành phần vận tốc hướng kính.

3.2. Trường hợp cửa vào vát (Cấu hình 2)

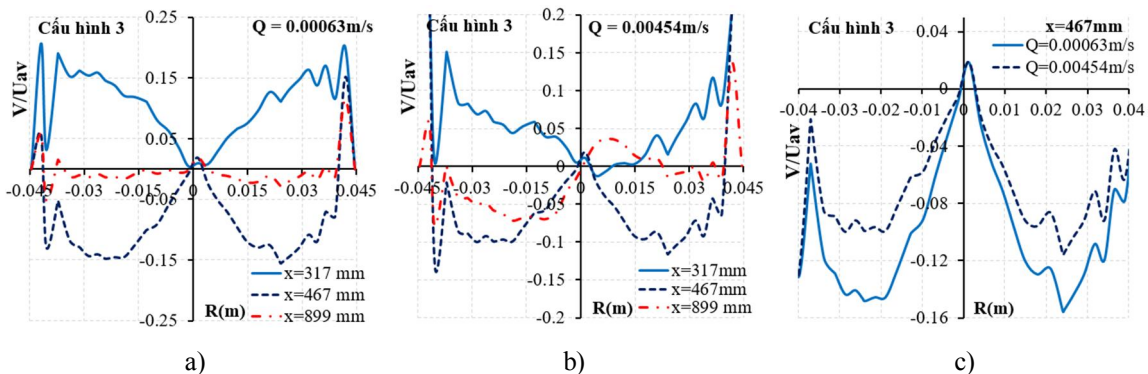
Hình 8 biểu diễn phân bố thành phần vận tốc hướng kính trong trường hợp cửa vào bị vát góc. Mục đích của việc vát góc là ổn định dòng vào GLCC theo phương tiếp tuyến với thân GLCC. Thành phần vận tốc hướng kính có độ lớn thay đổi theo chiều sâu x khác với trường hợp đầu vào thông thường (Cấu hình 1). Kết quả cho thấy tại vị trí gần cửa vào thành phần vận tốc hướng kính đạt cực đại và giảm rất nhanh khi xa cửa vào. Độ lớn của thành phần vận tốc này cũng nhỏ hơn ở trường hợp 1. Ảnh hưởng của lưu lượng dòng chảy đầu vào cũng ảnh hưởng rõ rệt đến độ lớn của thành phần vận tốc hướng kính. Độ lớn của thành phần vận tốc hướng kính chỉ bằng 25% thành phần vận tốc tiếp tuyến và bằng 35% thành phần vận tốc dọc trục (Hình 8c).



Hình 8. So sánh phân bố vận tốc hướng kính tại 3 vị trí đo và các lưu lượng khác nhau

3.3. Trường hợp hai cửa vào (Cấu hình 3)

Hình 10 trình bày phân bố thành phần vận tốc hướng kính tại các vị trí đo và lưu lượng khác nhau trong trường hợp có hai cửa vào đối xứng. Phân bố vận tốc hướng kính khác so với hai trường hợp trên. Giá trị cực đại của vận tốc hướng kính không gần tâm GLCC mà có xu hướng ở giữa phần trục tâm và thành tường GLCC. Khác với hai trường hợp trên, khi lưu lượng tăng thì giá trị cực đại của thành phần vận tốc hướng kính giảm rất lớn. Giá trị vận tốc hướng kính chỉ bằng 2,14% vận tốc tiếp tuyến và bằng 4,2% so với thành phần vận tốc dọc trục. Ở trường hợp hai cửa vào đối xứng có thành vận tốc tiếp tuyến rất lớn so với hai trường hợp còn lại mà góp phần làm tăng hội tụ pha nhẹ ở phần tâm GLCC. Nó sẽ ảnh hưởng đến dòng chảy ngược mà làm giá trị cực đại của thành phần hướng kính giảm rất lớn trong trường hợp này.



Hình 9. So sánh phân bố vận tốc hướng kính tại các vị trí đo và các lưu lượng khác nhau

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã trình bày phương pháp rút trích thành phần vận tốc hướng kính và đặc trưng động học của nó đối với dòng chảy trong GLCC với các thông số vận hành khác nhau. Mô hình mô phỏng được thiết lập dựa trên sự phân tích tỉ mỉ mô hình chảy rối và các điều kiện biên ảnh hưởng đảm bảo độ chính xác kết quả mô phỏng so với kết quả thực nghiệm. Mô hình này có thể hỗ trợ trong phân tích động học dòng chảy bên trong GLCC và hiệu suất tách của nó. Từ nghiên cứu này ta thấy trường hợp cấu hình 1 và 2, thành phần vận tốc hướng kính không thể bỏ qua trong quá trình thành lập mô hình tính toán động học như các giả sử trước đây vì nó có độ lớn

tương đối lớn và có ảnh hưởng nhất định đến hiệu quả tách pha. Phương trình (2) mà giả sử tính gần đúng giá trị thành phần vận tốc hướng kính theo hai thành phần còn lại cho sai lệch rất lớn (khoảng 25,2% - 37,6%) so với kết quả mô phỏng CFD từ nghiên cứu này. Đối với trường hợp hai cửa vào, giá trị của thành phần vận tốc hướng kính khá nhỏ và giảm rất nhanh khi xa cửa vào, nên có thể bỏ qua trong quá trình tính toán thành lập mô hình động học dòng chảy.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ovadia Shoham, Gene E.Kouba (1998), “State of the art of gas/liquid cylindrical-cyclonecompact-separator technology”, *SPE*, Vol 2-5, 462-471.
- [2] G. E. Kouba, O. Shoham (1996). “A review of gas-liquid cylindrical cyclone (GLCC) technology”. *International Conference of Production Separation Systems*, Aberdeen, UK.
- [3] Le Van Sy (2017), Influence of Inlet Angle on Flow Pattern and Performance of Gas Liquid Cylindrical Cyclone Separator, *Journal Particulate Science and Technology*, Vol. 35-5, 555-564.
- [4] Dang Thuc Van, Studying on influence of inlet configuration on hydrokinetic of flow of GLCC separators by FEM, *Master Thesis, PetroVietnam University*, 2016.
- [5] Rainier H, Caroline G, Noël M. (2011). Numerical investigation of swirling flow in cylindrical cyclones. *Chemical engineering research and design* 89, 2521–2539.
- [6] L. E. Gomez, R.S. Mohan, Ovadia Shoham, G.E. Kouba. “Enhanced Mechanistic Model and Field-Application Design of Gas/Liquid Cylindrical Cyclone Separators”. *SPE*, Vol 2-5, 462-471.
- [7] F. M. Erdal, S. A. Shirazi (2002). "Effect of inlet configuration on flow behavior in a cylindrical cyclone separator". *ASME 2002 Engineering Technology Conference on Energy*, USA, pp. 521-529.
- [8] F. M. Erdal, S. A. Shirazi (1997). “CFD Simulation of Single-Phase and Two-Phase Flow in Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators”, *SPE*, Vol 2-04, 436 – 446.
- [9] Marti, S.K. et al.: “Analysis of Gas Carry-Under in Gas-Liquid Cyclones,” *Proc., Intl. Conference on Hydrocyclones*, Cambridge, U.K. 399.
- [10] Arpandi, I. (1996). “Hydrodynamics of Two-Phase Flow in Gas/Liquid Cylindrical-Cyclone Separators,” *SPE*, 427-433.
- [11] A. Gupta, R. Kumar (2007). “Three-dimensional turbulent swirling flow in a cylinder: Experiments and computations”. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol 28, 249–261.
- [12] Kitoh, O. (1991), Experimental study of turbulent swirling flow in a straight pipe. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 225, 445–479.
- [13] Algifri, A., Bhardwaj, C., Rao, Y. (1988), Turbulence measurements in decaying swirl flow in a pipe. *Applied Scientific Research*. Vol. 45, 233–235.
- [14] Chang, F., Dhir, V.K. (1994), Turbulent flow field in tangentially injected swirl flows in tubes. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. Vol. 15, 346–356.