

NGHIÊN CỨU DÒNG PHUN TIA TÁC ĐỘNG VUÔNG GÓC LÊN BỀ MẶT ỨNG DỤNG TRONG HỆ THỐNG LÀM MÁT CHU TRÌNH KÍN

Nguyễn Văn Lập¹, Nguyễn Anh Tuấn²

¹ Bộ môn Đồ Họa Kỹ Thuật - Trường ĐH Thủy lợi. Email: lapnv@wru.edu.vn

² Bộ môn Máy Xây Dựng - Trường ĐH Thủy lợi. Email: tuan_na_mxd@wru.edu.vn

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Dòng phun tia trong những năm gần đây đang được nghiên cứu rộng rãi do nó có khả năng ứng dụng lớn trong các qui trình xử lý nhiệt trong nhiều lĩnh vực công nghiệp, ví dụ như: Làm mát cánh tuabin, làm mát trong sản xuất thép, làm mát linh kiện điện, điện tử, CPU máy tính (trong các máy trạm). Trong quân sự dòng phun tia được sử dụng để làm mát bộ phận tên lửa, sàn tàu sân bay, gương phản xạ vũ khí laser, trong y tế nó được dùng để làm mát thiết bị chụp X-quang, sấy khô giấy, vải và ủ thủy tinh. Một dòng phun tia tác động vào một bề mặt có khả năng loại bỏ một lượng nhiệt lớn trên diện tích bề mặt tương đối nhỏ. Thêm vào đó, một trong những ưu điểm nổi bật của dòng phun tia đó là nó có khả năng điều chỉnh và kiểm soát hiệu suất truyền nhiệt. Bằng cách điều chỉnh các thông số thiết kế như biên dạng bề mặt, tốc độ phun, khoảng cách từ vòi phun tới bề mặt và chất lỏng sử dụng, khả năng truyền nhiệt có thể được tăng cường.

Nói chung, cấu hình của một dòng phun tia tác động lên bề mặt phẳng khá phức tạp, và khả năng truyền nhiệt phụ thuộc rất nhiều vào chất lỏng và cấu trúc dòng chảy. Dưới quan điểm lý thuyết, cấu hình dòng phun tác động trực tiếp trên bề mặt nhận được quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu vì nó là tổ hợp của nhiều bài toán dòng như dòng phun tự do, dòng lớp biên. Tuy nhiên việc nghiên cứu dòng phun tia tác động trực tiếp lên bề mặt và ứng dụng của nó trong thực tế vẫn còn chưa nhiều ở Việt Nam. Bài báo này tập trung vào nghiên cứu, mô phỏng số một cấu hình dòng phun tia tác dụng trực tiếp lên bề mặt phẳng vuông góc bằng phần mềm ANSYS. Các kết quả mô phỏng sẽ được so sánh, đánh giá với các kết quả thí nghiệm đã công bố.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

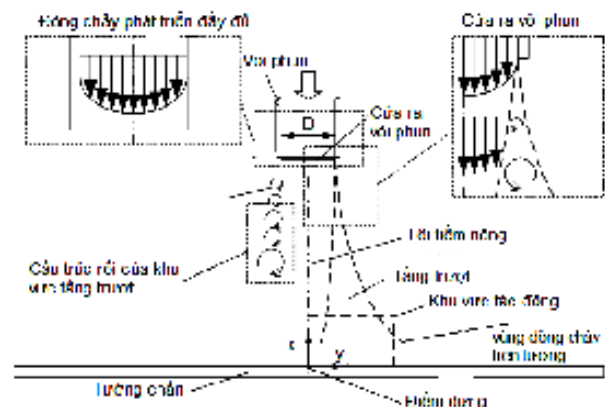
Phương pháp nghiên cứu cơ sở lý thuyết về dòng phun tia tác động trực tiếp lên bề mặt phẳng, các mô hình rối kết hợp sử dụng mô hình toán và phần mềm ứng dụng để giải quyết bài toán.

Sử dụng phần mềm ANSYS để mô phỏng một số cấu hình dòng. So sánh, đánh giá kết quả mô phỏng với thí nghiệm.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

a) Cấu hình dòng phun tia tác động trực tiếp lên mặt phẳng

Trong nghiên cứu này sẽ nghiên cứu cấu hình dòng phun tia đập tác động vào một bề mặt phẳng.



Hình 1: Cấu trúc dòng phun tia tác động trực tiếp lên bề mặt phẳng

Dòng phun tác động trực tiếp lên bề mặt phẳng được chia thành ba vùng chính:

Vùng dòng phun tự do là khu vực mà tường chắn không ảnh hưởng đến trường dòng chảy. Khu vực này có thể được chia nhỏ hơn thành 2 vùng: 1) Vùng lõi nơi dòng chảy cơ bản duy trì vận tốc ban đầu của nó (tốc độ của chất lỏng chảy trong vòi phun) 2) Tầng trượt (shear layer) là nơi dòng phun tương tác, trao đổi năng lượng với chất lỏng môi trường xung quanh. Tùy thuộc vào cấu hình mà có thể tồn tại hay không tồn tại các vùng này.

Vùng tác động là khu vực mà dòng phun tác động trực tiếp lên bề mặt (tường chắn) tại đây dòng phun buộc phải thay đổi đột ngột của hướng chuyển động. Vận tốc tại chính giữa điểm mà dòng phun tác động vào bề mặt sẽ bằng không. Điểm này được gọi là điểm dừng.

Vùng dòng chảy trên tường chắn là khu vực dòng chảy rời khỏi khu vực tác động và phát triển thành một dòng mới chảy dọc theo bề mặt, dòng chảy ban đầu chảy tầng sau đó chuyển sang chế độ chảy rối.

b) Các phương trình về dòng

Đối với một dòng chảy không nén được ổn định, các phương trình chủ đạo cơ bản gồm:

- Phương trình liên tục

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0$$

- Phương trình động lượng

$$\frac{\partial(U_j U_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{u_i u_j} \right)$$

- Phương trình năng lượng

$$\frac{\partial(U_j \Theta)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu}{Pr} \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} - \overline{u_j \theta} \right)$$

Trong đó: Các hằng số ρ , ν và Pr lần lượt gồm mật độ, hệ số nhớt động và hằng số Prandt của chất lỏng.

c) Mô hình rối

Hiện nay có rất nhiều mô hình rối đang được sử dụng. Với mỗi bài toán cụ thể sẽ có một mô hình cho kết quả tối ưu nhất. Mô hình rối $k-\epsilon$ được sử dụng rất rộng rãi đó là mô hình rối $k-\epsilon$ Launder and Sharma (1974). Trong mô hình rối này được dựng trên giả thiết tồn tại sự tương đồng giữa tác động của ứng suất nhớt và ứng suất Reynolds lên dòng. Với lưu chất không nén được thì ứng suất nhớt tỉ lệ với biến dạng của phần tử lưu chất:

$$\tau_{ij} = \mu_i q_{ij} = \mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

Phương trình chuyển động của mô hình $k-\epsilon$ chính tắc:

- Phương trình vận chuyển năng lượng rối

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \text{div}(\rho k U) \\ &= \text{div} \left[\frac{\mu_T}{\sigma} \text{grad} k \right] + 2\mu_T E_{ij} E_{ij} - \rho \end{aligned}$$

* Phương trình vận chuyển năng lượng tiêu tán ϵ

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \text{div}(\rho \epsilon U) \\ &= \text{div} \left[\frac{\mu_T}{\sigma} \text{grad} \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} 2\mu_T E_{ij} E_{ij} - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned}$$

Trong đó:

k : động năng rối;

ρ : khối lượng riêng;

ϵ : tốc độ tiêu tán năng lượng do rối động.

$$\epsilon = \rho C_\mu \frac{k^2}{\mu} \left(\frac{\mu_1}{\mu} \right)$$

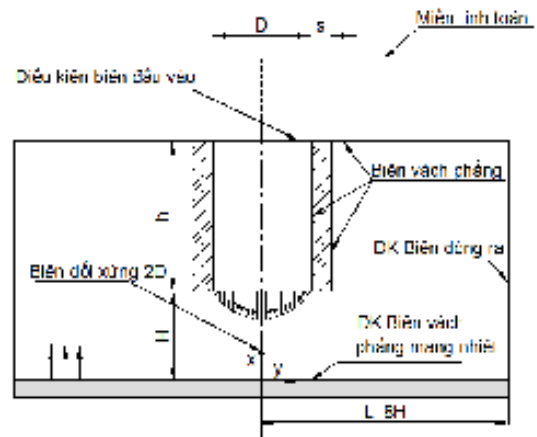
- Các hằng số hiệu chỉnh

C_{1v}	C_{2v}	C_{3v}	σ_ϵ	σ_k
1.44	1.92	0.09	1.3	1.0

- Độ nhớt rối $\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$

- E_{ij} : biến dạng trung bình của phần tử lưu chất

d) Mô hình bài toán và điều kiện biên



Hình 2: Mô hình và điều kiện biên

Hình 2 mô tả mô hình hình học và điều kiện biên của bài toán 2D đối xứng cho cấu hình dòng phun tia tác động trực giao lên bề mặt phẳng. Các thông số mô phỏng được chọn như sau:

- Đường kính vòi phun $D = 6,35 \text{ mm}$
- Khoảng cách từ miệng vòi tới bề mặt $H = 2D$
- Chiều dài vòi phun $h = 5H$
- Chiều dày vòi phun $s = 0.381 \text{ mm}$

Chất lỏng sử dụng là nước với các thông số vật lý tại nhiệt độ $t = 30^\circ\text{C}$ là khối lượng riêng $\rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$ độ nhớt động $\nu = 0,804 \text{ Nm}^2/\text{s}$.

Điều kiện biên cho bài toán 2D:

Điều kiện dòng vào: dòng vào trong ống là dòng phát triển đầy đủ, ở bài toán này $U_b = 2,01 \text{ m/s}$.

Điều kiện biên dòng ra: điều kiện biên dòng ra được ấn định theo áp suất đầu ra (Pressure outlet).

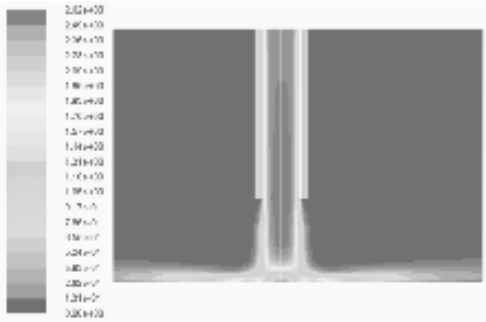
Điều kiện biên cho tường chắn: điều kiện biên sử dụng khai báo trong Ansys là biên vách phẳng mang nhiệt với thông lượng nhiệt $= 1300 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Do mô hình bài toán là 2D đối xứng, nên ta sẽ lựa chọn điều kiện biên đối xứng cho trục ống. Ngoài ra ta còn có điều kiện biên tường cho thành ống, bề mặt giới hạn trên của cấu hình.

e) Kết quả và thảo luận

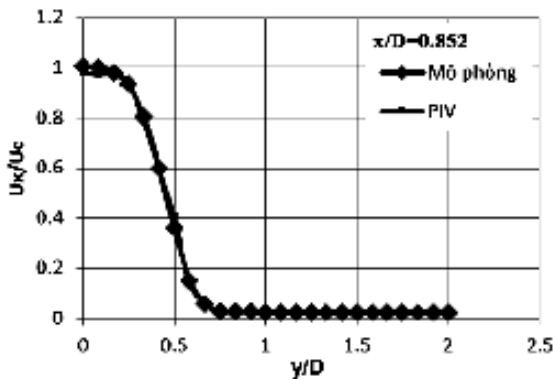
Hình 3 biểu diễn trường vận tốc của dòng phun tác động trực giao lên bề mặt phẳng. Kết quả cho thấy tại trung tâm tác động có một điểm mà tại đó vận tốc xấp xỉ bằng không. Đó chính là điểm dừng, vị trí mà có sự tương tác

mạnh của dòng phun với bề mặt gây ra sự giảm tốc. Sau khi tác động vào bề mặt tường chắn, dòng chất lỏng sẽ bị đổi hướng trên bề mặt tường chắn theo phương hướng kính và bắt đầu tăng tốc trong khu vực tác động. Khi ra khỏi vùng tác động, dòng chất lỏng giảm tốc dọc theo hướng song song với bề mặt phẳng và chuyển từ chế độ chảy tầng sang chảy rối.



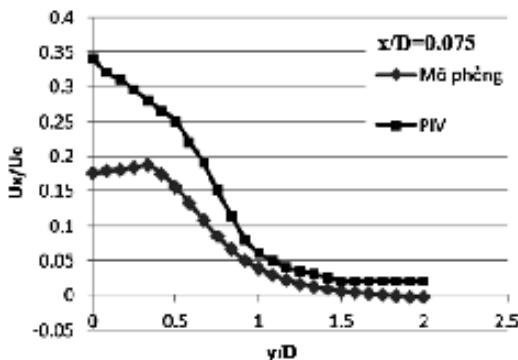
Hình 3: Trường vận tốc dòng phun

Hình 4 là biểu đồ biểu diễn sự thay đổi vận tốc (giá trị không thứ nguyên) U_x/U_c (với U_x là vận tốc theo phương x , và U_c là vận tốc tại tâm vòi phun) tại $x/D=0.852$. Khi so sánh với kết quả của thí nghiệm PIV [4], kết quả mô phỏng số gần như trùng với kết quả thí nghiệm.



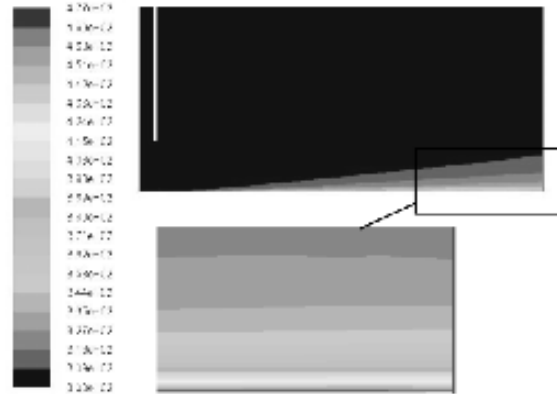
Hình 4: Giá trị vận tốc dọc trục tại vị trí $x/D=0.852$

Tuy nhiên, kết quả này có sự sai khác rất lớn khi giá trị x/D càng nhỏ, tức là càng gần điểm dừng thì độ chính xác giảm. Đồ thị hình 5 mô tả kết quả giá trị vận tốc theo phương dọc trục U_x/U_c tại $x/d = 0.075$. Ta thấy kết quả trong trường hợp này có sự sai khác rất lớn so với kết quả đo PIV.



Hình 5: Giá trị vận tốc dọc trục tại vị trí $x/D=0.075$

Hình 6 mô tả phân bố nhiệt trên bề mặt tác động của dòng phun. Kết quả cho thấy tại khu vực tác động trực tiếp của dòng phun cho hiệu suất truyền nhiệt cao nhất. Tại đây nhiệt độ của bề mặt của tường chắn đối diện với vòi phun gần bằng với nhiệt độ dòng môi chất, càng ra xa theo phương hướng kính thì hiệu suất truyền nhiệt càng giảm.



Hình 6: Phân bố nhiệt độ trên tường chắn

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trong nghiên cứu này, dòng phun tia ngạt tác dụng trực giao lên bề mặt phẳng đã được mô phỏng số sử dụng gói phần mềm ANSYS. Kết quả mô phỏng số đã được so sánh với kết quả thí nghiệm PIV từ một số các nghiên cứu đã được công bố. Kết quả mô phỏng có sự phù hợp tốt về định tính so với kết quả PIV. Như vậy gói phần mềm thương mại ANSYS đã chứng tỏ có thể sử dụng hiệu quả trong nghiên cứu cho các cấu hình dòng phun tia tác dụng trực giao lên bề mặt. Tuy nhiên, vẫn còn có sự sai số về định lượng giữa kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm PIV, đặc biệt tại khu vực gần sát với điểm dừng. Sự sai số này có thể là do việc chia lưới khi tính toán, hoặc có thể do việc lựa chọn mô hình rối, v.v.. Những thông số này có ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán. Tuy nhiên chúng cũng làm tăng chi phí tính toán. Do đó cần tiếp tục nghiên cứu để xây dựng mô hình tính toán phù hợp cho cấu hình dòng phun tia tác dụng trực giao lên bề mặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đặng Quốc Phú, Trần Thế Sơn, Truyền nhiệt, Nhà xuất bản Giáo dục, 2000.
- [2]. Zuckerman N, Lior N, Jet impingement heat transfer: Physics, Correlations, and Numerical modeling, Adv. in Heat Transfer, 2006.
- [3]. Nguyen Anh Tuan and Hiroshi MIZUNUMA, Laminar and Turbulent Impinging Jet in Drag Reducing Surfactant Solutions, 2012