

MÔ PHỎNG ẢNH HƯỞNG CỦA GÓC ĐẶT VÀ GÓC XOẮN CÁNH QUẠT GIÓ CỤC BỘ DÙNG TRONG MỎ THAN HẦM LÒ

Nguyễn Đăng Tấn, Kiều Đức Thịnh
 Trường Đại học Thủy lợi
 Trần Việt Linh
 Trường Đại học Mỏ- Địa chất
 Email: nguyendangtan@tlu.edu.vn

TÓM TẮT

Quạt gió cục bộ trong mỏ than hầm lò hiện nay chủ yếu là quạt hướng trục. Góc nghiêng đặt và góc xoắn của cánh quạt hướng trục ảnh hưởng trực tiếp đến vận tốc của không khí đi qua quạt, nghĩa là ảnh hưởng đến lưu lượng và áp suất đẩy của quạt. Các thành phần vận tốc của không khí tại điểm vào và điểm ra của cánh quạt thông thường xác định bằng phương pháp Hình Học. Do biến dạng cánh quạt cong trong không gian nên việc khảo sát các thành phần vận tốc tại một số tiết diện đặc trưng không thể hiện chính xác được vận tốc trung bình của không khí ra khỏi cánh. Nhằm đơn giản hóa và giảm khối lượng tính toán và nhanh chóng xác định lưu lượng, áp suất không khí đi qua quạt, tiến hành mô phỏng cho quạt cục bộ bằng việc xây dựng mô hình 3D và lắp ghép để có thể điều chỉnh nhanh chóng góc nghiêng đặt cánh để tiến hành mô phỏng dòng chảy của không khí qua quạt. Phương pháp này cho phép người thiết kế nhanh chóng, trực quan xác định góc đặt cánh cũng như góc xoắn của quạt.

Từ khóa: quạt hướng trục, mô phỏng động học dòng chảy, áp suất động, góc đặt cánh, góc xoắn

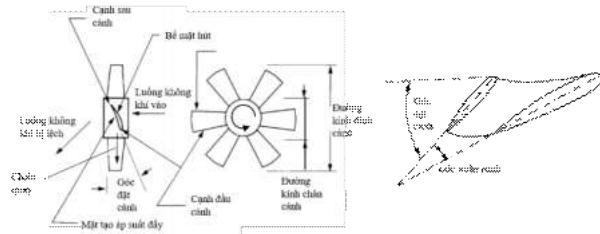
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, quạt cục bộ, là quạt hướng trục, được sử dụng nhiều trong khai thác than hầm lò. Góc nghiêng và góc xoắn của cánh quạt của bánh công tác ảnh hưởng đến lưu lượng và áp suất của quạt. Chính vì vậy, các thông số này rất quan trọng trong thiết kế và cả sử dụng quạt. Ngày nay, các phần mềm mô phỏng được sử dụng nhiều trong thiết kế máy và có hiệu quả trong việc giảm thời gian tính toán thiết kế, có thể hoàn thiện kết cấu thông số máy ngay trong giai đoạn thiết kế. Chính vì vậy việc mô phỏng ảnh hưởng của góc nghiêng và góc xoắn của cánh quạt cục bộ là vấn đề cần quan tâm.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên lý làm việc quạt cục bộ

Quạt cục bộ là quạt hướng trục, khi làm việc dòng không khí chuyển động dọc trục. Cấu tạo quạt cục bộ thể hiện trên Hình H.1. Cánh quạt được lắp lên bánh công tác với góc nghiêng- góc đặt nhất định. Cánh quạt có dạng xoắn ốc. Vận tốc luồng không khí đi qua cánh quạt có thể được phân thành hai thành phần: vận tốc dọc trục và vận tốc tiếp tuyến. Vận tốc dọc trục là thành phần hữu ích. Nó di chuyển không khí theo hướng cần thiết [2].



H.1. Cấu tạo bánh công tác quạt cục bộ [2]

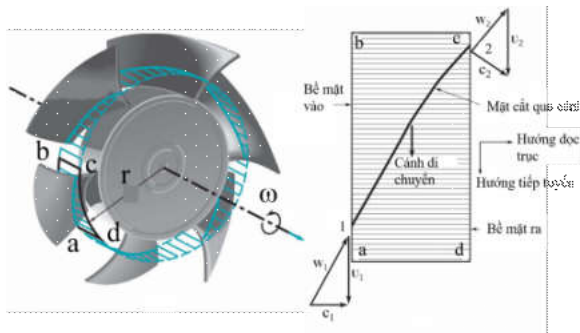
Hiện nay, tùy theo yêu cầu cụ thể của các loại quạt mà góc đặt và góc xoắn cánh bánh công tác khác nhau. Thông thường góc đặt cánh đến 55° và góc xoắn đến 45° [3].

2.2. Cơ sở lý thuyết tính toán các thành phần vận tốc gió đi qua cánh bánh công tác

Để tính toán bánh công tác và xây dựng biên dạng cánh quạt hướng trục, sử dụng các phương pháp: phương pháp hình học; phương pháp lực nâng; phương pháp dùng phương trình tích phân và phương pháp phân bố xoáy. Phương pháp tương tự hình học là phương pháp đơn giản nhất, dựa vào máy mẫu có sẵn hoặc các máy mô hình có số vòng quay đặc trưng tương tự. Theo phương pháp này, người ta chỉ việc nhân các kích thước của máy mẫu với một hệ số xác định theo các thông số

làm việc của máy thực và máy mẫu. Tuy nhiên, để tính toán thiết kế theo phương pháp này cần phải có bản thiết kế chuẩn của máy mẫu hoặc máy mô hình và đặc tính của máy để trên cơ sở đó xác định các hệ số chuyển đổi. Phương pháp lực nâng là phương pháp được sử dụng rộng rãi, ở đây bánh công tác được tính toán theo 2 thông số của tọa độ cho một số tiết diện từ bầu cánh đến đỉnh cánh trên các mặt cắt bởi các hình trụ đồng trục với trục của bánh công tác. Hình H.2 thể hiện các thành phần vận tốc của không khí khi đi qua cánh quạt khí cắt bởi hình trụ có bán kính bất kỳ r . Phần diện tích cắt qua một cánh $abcd$ với cạnh ab thể hiện bề mặt vào của không khí và cạnh cd thể hiện mặt ra của không khí ứng với điểm vào và điểm ra tương ứng 1 và 2. Vận tốc dài của cánh quạt ở điểm vào và điểm ra như nhau nên $u_1 = u_2$, vận tốc chuyển động tương đối w_1 và w_2 luôn tiếp tuyến với biên dạng cánh, vận tốc chuyển động tuyệt đối c_1, c_2 được xác định bằng phép cộng véc tơ:

$$\vec{c}_1 = \vec{u}_1 + \vec{w}_1, \quad \vec{c}_2 = \vec{u}_2 + \vec{w}_2 \quad (1)$$



H.2. Xác định các thành phần vận tốc của không khí tại điểm vào và điểm ra cánh quạt [8]

Áp suất của quạt hướng trục được xác định theo công thức [4]:

$$\Delta p = \rho u (c_{2u} \pm c_{1u}) = \rho u \Delta c_u \quad (2)$$

Với $\Delta c_u = c_{2u} \pm c_{1u}$ (dấu + khi c_{1u} ngược chiều với chiều quay của trục, dấu - khi c_{1u} cùng chiều với chiều quay của trục).

Để đảm bảo áp suất không thay đổi dọc theo chiều dài từ bầu cánh đến đỉnh cánh, nghĩa là mức vận xoắn của bánh công tác trên các tiết diện cánh sẽ khác nhau, góc nghiêng của các tiết diện cánh sẽ khác nhau. Như vậy khi xếp các tiết diện cánh thành biên dạng toàn cánh cần đảm bảo sự suôn đều của lá cánh. Trong quá trình thiết kế phải vẽ và điều chỉnh các thông số hình học của biên dạng

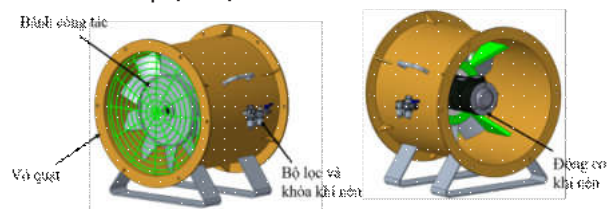
cánh nhiều lần, gây khó khăn và mất nhiều thời gian của người thiết kế.

2.2. Xây dựng mô hình 3D và mô phỏng dòng chảy động học dòng không khí cho quạt hướng trục

2.2.1. Mô hình quạt thông gió cục bộ sử dụng động cơ khí nén

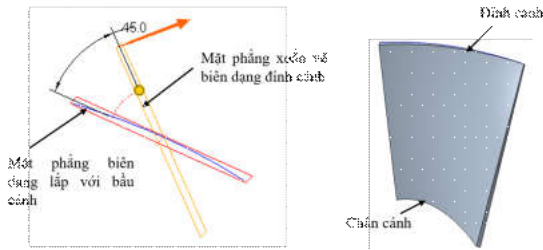
Mô phỏng CFD (còn được gọi là mô phỏng động lực học dòng chảy) là một nhánh của cơ học chất lưu, sử dụng phương pháp số để phân tích và giải quyết các bài toán liên quan đến chuyển động dòng chảy của chất lưu (khí, lỏng). Các phương trình mô tả dòng chảy này thông thường rất khó để có thể giải bằng phương pháp giải tích nên thường được giải trên máy tính. Quy trình cơ bản của mô phỏng CFD chia ra làm các bước như: Tạo hình dáng hình học, đơn giản hóa hình học, rời rạc hóa miền tính toán – được gọi là quá trình chia lưới, thiết lập thông số mô hình, chạy mô phỏng, kiểm tra tính hội tụ của phương pháp số, và phân tích kết quả mô phỏng.

Mô hình quạt thông gió cục bộ sử dụng động cơ khí nén được thể hiện như trên Hình H.3. Động cơ khí nén được lắp vào giá đỡ trên vỏ quạt, bánh công tác gồm nhiều cánh quạt được lắp lên trục ra của động cơ khí nén. Các thành phần của quạt khí nén cũng như kích thước phải đảm bảo như kích thước của quạt thực tế.



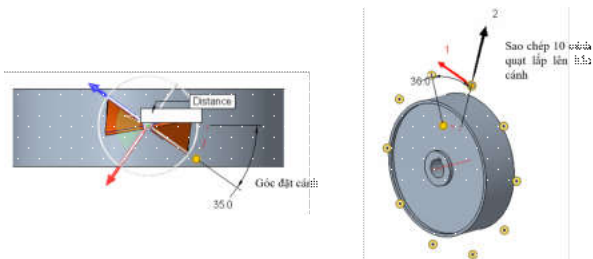
H.3. Cấu tạo quạt thông gió cục bộ mô phỏng

Để xác định ảnh hưởng của góc đặt cánh và góc xoắn đến vận tốc không khí, góc xoắn và góc đặt cánh cần phải có khả năng hiệu chỉnh nhanh trên mô hình dùng làm mô phỏng. Lấy mặt phẳng biên dạng chân cánh làm chuẩn, mặt phẳng vẽ biên dạng đỉnh cánh nghiêng với nó một góc xác định (xem Hình H.4). Nhờ xây dựng hai mặt phẳng nghiêng với nhau cho phép biên dạng xoắn trên hai mặt phẳng được thay đổi nhanh chóng trong quá trình mô phỏng và chạy chương trình. Trên Hình H.4, góc xoắn của cánh được xác định bằng 45° .



H.4. Thiết lập biên dạng cánh với góc xoắn điều chỉnh

Các cánh quạt được lắp lên bầu cánh tạo thành bánh công tác. Góc hợp giữa mặt phẳng thẳng đứng của biên dạng chân cánh và mặt phẳng dọc bầu cánh là góc đặt cánh. Góc đặt cánh được điều chỉnh nhanh chóng trong quá trình mô phỏng bằng cách thay đổi giá trị góc. Hình H.5 minh họa góc đặt cánh bằng 35°. Số lượng cánh trên bầu cánh của quạt thông gió mỏ có thể đến 12 cánh [4], trong ví dụ minh họa mô phỏng, số lượng cánh được chọn bằng 10 cánh. Nhằm nhanh chóng lắp ghép cũng như điều chỉnh, các cánh từ thứ 2 đến thứ 10 được ghép bằng cách sao chép từ cánh số 1 (Hình H.5 bên trái) quanh đường tâm trục quay của bầu cánh.



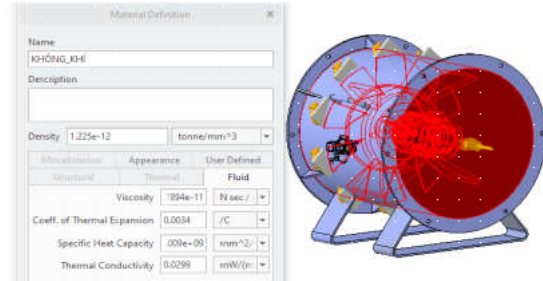
H.5. Thiết lập góc đặt cánh của các cánh quạt lên bầu cánh

2.2.2. Ràng buộc của bài toán mô phỏng

Trong bài toán mô phỏng động học dòng chảy, đường dòng chảy vào và ra, loại dòng chảy cần phải được xác định.

Với yêu cầu an toàn trong hầm lò, các mỏ hầm lò khi khai thác phải phân loại ra các mỏ có nguy hiểm về khí, bụi nổ và phải xác định được nồng độ các loại khí và bụi này. Các vỉa có thể phân chia ra nguy hiểm về nổ hoặc tự cháy. Không khí trong các hầm lò có người làm việc phải đảm bảo nồng độ oxy không nhỏ hơn 20% (khi đó cho phép nồng độ khí CO₂ tại vị trí làm việc không lớn hơn 0,5%) và nhiệt độ không lớn hơn 300C. Nồng độ khí CO₂ trong luồng gió thải chung của mỏ phải nhỏ hơn 0,75%. Do vậy, các tính chất của không khí trong mỏ hầm lò không khác biệt nhiều với không khí

bên ngoài môi trường. Các thuộc tính của không khí dùng trong mô phỏng được khai báo như trên Hình H.6. Trong đó, khối lượng riêng của không khí bằng 1,225 kg/m³.



H.6. Định nghĩa thông số của không khí nơi lắp đặt quạt

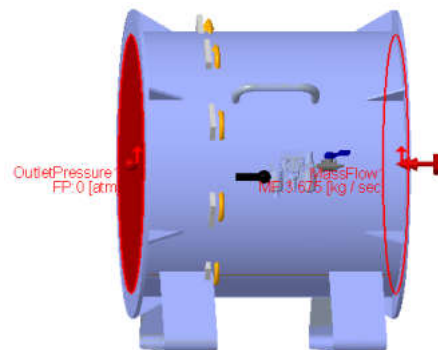
Áp suất không khí trước và sau quạt bằng áp suất khí quyển $p_a = 1atm = 101325 Pa$ nên không khí không gây ra cản trở áp suất của quạt, trong khai báo chọn áp suất đầu ra bằng không. Quạt thiết kế với lưu lượng $Q=3 m^3/s$, đường kính trong ống 0,488 m; do đó vận tốc gió vào quạt được xác định [7]:

$$c = \frac{Q}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{3}{3,14 \frac{0,488^2}{4}} = 16 \frac{m}{s} \quad (3)$$

Thay số, ta được:

$$c = \frac{3}{3,14 \frac{0,488^2}{4}} = 16 m/s$$

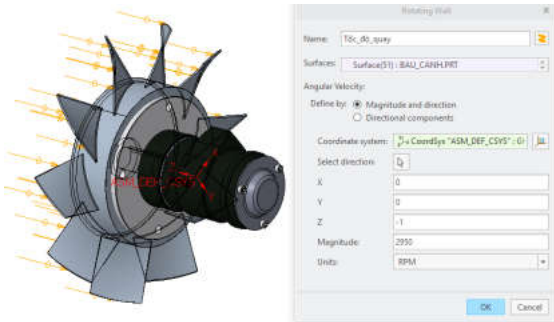
Lưu lượng khối lượng tương ứng $Q_m = Q \rho = 3 \cdot 1,225 = 3,675 kg/s$. Do đó, các thông số vận tốc đầu vào và áp suất khí quyển đầu ra được khai báo theo phương và độ lớn như Hình H.7.



H.7. Khai báo vận tốc đường vào và áp suất

Bánh công tác bao gồm các cánh và bầu cánh quay quanh trục của động cơ khí nén. Điều kiện

biên cho quay của các vách (bề mặt) của các cánh cũng như bầu cánh phải được khai báo. Hình H.8 khai báo cho bánh công tác quay quanh trục z trong hệ tọa độ Đề các oxyz với tốc độ quay 2950 r/min.



H.8. Tốc độ quay và chiều chuyển động của cánh quạt

Áp suất động được xác định theo công thức [2]:

$$p_d = \frac{1}{2} \rho c^2, N/m^2 \quad (4)$$

Trong đó: ρ - khối lượng riêng của không khí, kg / m^3 ; c - vận tốc tuyệt đối của không khí, m/s ;

Áp suất tổng được xác định:

$$p = p_t + p_d \quad (5)$$

Trong đó p_t – áp suất tĩnh, N/m^2

Theo [9], áp suất tĩnh được tạo ra bởi quạt hướng trục có thể tính toán cho mỗi bán kính theo công thức sau:

$$p_t = 3,13 \cdot 10^{-9} \cdot n \cdot z_B \cdot C_L \cdot l \cdot w_m, mmH_2O \quad (6)$$

Trong đó:

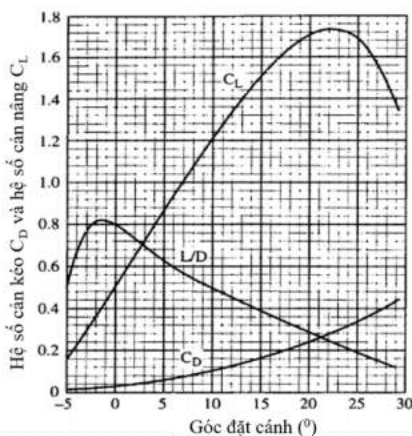
z_B – số lượng cánh;

n – tốc độ quay của bánh công tác, r/min;

C_L – hệ số nâng của dòng chảy ở góc đặt cánh (xem Hình H.9);

l – chiều rộng cánh, inch;

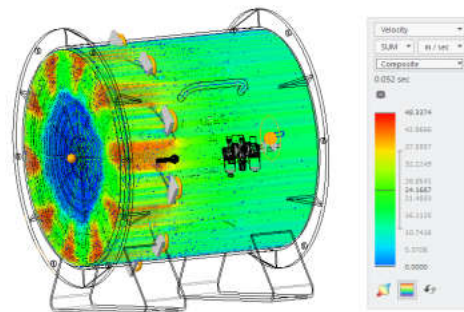
w_m – vận tốc trung bình tương đối của không khí, ft/min (feet per minute)



H.9. Bảng tra hệ số cản nâng C_L [9]

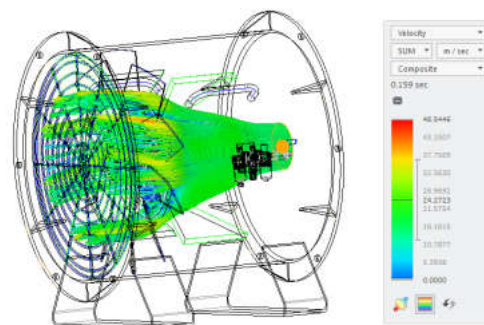
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Sau khi thiết lập mô hình 3D và định nghĩa các ràng buộc, kết quả mô phỏng động học quạt hướng trục được thể hiện trên Hình H.10 và Hình H.11. Phần bầu cánh không có không khí chuyển động qua nên vận tốc không khí đi qua đây rất thấp. Vận tốc chuyển động của không khí tăng dần lên sau khi đi qua cánh quạt. Xét tại thời điểm tức thời khi cánh quạt đẩy không khí ra phía trước, sự phân bố vận tốc không khí cũng không đều nhau. Các phần tử không khí phía trước cánh quạt sẽ được đẩy với vận tốc lớn hơn.



H.10. Phân bố vận tốc của gió đi vào và ra khỏi quạt

Do phần diện tích chắn của động cơ khí nén, của bầu cánh nên không khí không đi qua các phần diện tích chắn này. Dòng chảy không khí sẽ bao quanh động cơ khí nén và bầu cánh, sự chuyển động theo dòng thể hiện rõ trên Hình H.11. Nhờ kết quả mô phỏng trên Hình H.9 và Hình H.10, người thiết kế có thể dễ dàng quan sát dòng chảy không khí cũng như vận tốc của không khí.



H.11. Phân bố dòng chảy không khí khi vào và ra khỏi quạt

Để đánh giá ảnh hưởng của góc nghiêng đặt cánh và góc xoắn, nghiên cứu này sẽ điều chỉnh lần lượt các góc này để khảo sát, đánh giá. Các thông số đầu vào khảo sát như sau: Số vòng quay quạt $n = 2950 \text{ vg/ph}$, đường kính chân cánh quạt

Bảng 1. Vận tốc và áp suất của không khí thay đổi theo góc xoắn cánh

Góc nghiêng đặt cánh (°)	Góc xoắn (°)	Vận tốc gió trung bình (m/s)	Vận tốc gió lớn nhất (m/s)	Áp suất động đầu ra p_t (N/m ²)	Áp suất tĩnh đầu ra	Áp suất tổng đầu ra p (N/m ²)
25	5	24,20	48,50	1440,75	28,60	1469,36
25	25	23,96	48,12	1418,26	28,32	1446,58
25	45	23,07	46,60	1330,08	27,27	1357,35

Bảng 2. Vận tốc và áp suất của không khí thay đổi theo góc nghiêng đặt cánh

Góc nghiêng đặt cánh (°)	Góc xoắn (°)	Vận tốc gió trung bình (m/s)	Vận tốc gió lớn nhất (m/s)	Áp suất động đầu ra p_t (N/m ²)	Áp suất tĩnh đầu ra	Áp suất tổng đầu ra p (N/m ²)
5	5	29,02	60,12	2213,82	34,30	2248,13
15	5	25,06	52,15	1665,76	29,62	1695,39
30	5	24,14	48,35	1431,85	28,53	1460,39

$D_i = 280\text{ mm}$, đường kính đỉnh cánh $D_a = 420\text{ mm}$, số lượng cánh quạt $z = 10$. Bảng 1 chỉ ra ảnh hưởng của góc xoắn khi góc đặt cánh có giá trị cố định bằng 25° . Theo kết quả mô phỏng, khi tăng góc xoắn thì vận tốc gió và áp suất gió giảm dần do không khí qua bánh công tác chuyển động rối, tăng tổn thất khi đi qua quạt.

Khi giữ nguyên góc xoắn cánh quạt và thay đổi góc đặt cánh, kết quả vận tốc và áp suất gió khi đi vào và ra khỏi quạt được chỉ trên Bảng 2. Góc nghiêng đặt cánh ảnh hưởng rất rõ ràng đến sự thay đổi áp suất của quạt, khi góc này tăng lên thì áp suất tổng của quạt giảm đi nhanh chóng.

KẾT LUẬN

➤ Mô phỏng động học chất lỏng (CFD) là công cụ hữu ích giúp cho người thiết kế có thể nhanh chóng xác định các thông số cơ bản của chất lỏng

hoặc chất khí khi đi qua bánh công tác. Với mô hình 3D-CAD với kích thước và kết cấu cần thiết kế của quạt, có thể điều chỉnh góc xoắn và góc đặt cánh nhanh chóng, dễ dàng, cho phép thay đổi góc này trong quá trình mô phỏng;

➤ Khi giữ nguyên các điều kiện ràng buộc (chất lưu là không khí, lưu lượng đầu vào, áp suất đầu ra, số vòng quay của bánh công tác) thay đổi góc xoắn hoặc góc đặt cánh thì vận tốc và áp suất của gió đi qua thay đổi, các giá trị và miền phân bố được hiển thị bằng màu sắc trên hình kết quả mô phỏng. Trên cơ sở đó có thể lựa chọn thông số phù hợp;

➤ Kết quả minh họa phân bố vận tốc và dòng chảy qua quạt cho thấy vận tốc của không khí qua cánh quạt tăng lên nhanh chóng, dòng chảy không khí bị thay đổi theo góc nghiêng đặt cánh và góc xoắn. Sự chảy rối tăng nhanh khi các góc này tăng lên □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Cheng-Hung Huang; Chung-Wei Gau (2012), An optimal design for axial-flow fan blade: theoretical and experimental studies, Journal of Mechanical Science and Technology 26 (2), p.p. 427~436.
2. D. Almazo, C. Rodríguez, and M. Toledo (2013), Selection and Design of an Axial Flow Fan, International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, Vol. 7, No. 5, 2013
3. Sheam-Chyun Lin, Ming-Chiou Shen, Hao-Ru Tso, Hung-Cheng Yen, Yu-Cheng Chen (2017), Numerical and Experimental Study on Enhancing Performance of the Stand Fan, Appl. Sci. 2017, 7, 267; doi:10.3390/app7030267.
4. Nguyễn Đức Sương, Vũ Nam Ngạn (2014), Hướng dẫn đồ án môn học Máy thủy khí, Trường Đại học Mỏ-Địa chất.



5. Nguyễn Đức Sướng, Vũ Nam Ngạn (2012), Giáo trình Máy thủy khí, Trường Đại học Mỏ-Địa chất.
6. QCVN 01:2011/BCT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác mỏ than hầm lò.
7. Nguyễn Minh Tuyển (2005), Bơm máy nén quạt trong công nghiệp, Nhà xuất bản Xây dựng.
8. Cherng Shieh (2013), "Fundamentals of fluid mechanics", National Taiwan University.
9. Frank P. Bleie (1997), Fan handbook, selection, application and design, McGraw-Hill.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung trong bài báo được hỗ trợ kinh phí từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Công Thương "Nghiên cứu thiết kế và chế tạo quạt gió cục bộ dẫn động bằng khí nén phục vụ công tác thông gió trong mỏ hầm lò", mã số ĐT.BC.179/21.

SIMULATION OF INFLUENCE OF SETTING AND TWIST ANGLES OF LOCAL FAN USED IN UNDERGROUND COAL MINES

Nguyen Dang Tan, Kieu Viet Thinh, Tran Viet Linh

ABSTRACT

Local fans in underground coal mines are now mainly axial fans. The setting and twist angles of the axial fan blade directly affect the velocity of the air passing through the fan, that is, affect the flow and thrust pressure of the fan. The velocity components of the air at the entry and exit points of the blades are normally determined by geometric methods. Due to the curved blade profile in space, the survey of velocity components at some characteristic cross-sections does not accurately represent the average velocity of the air leaving the blades. In order to simplify and reduce the calculation volume and quickly determine the flow and air pressure passing through the fan, conduct simulation for the local fan by building 3D models and assembly for quick adjustment. Quickly set the blade angle to simulate the flow of air through the fan. This method allows the designer to quickly and intuitively determine the blade angle as well as the fan setting angle.

Keywords: axial fan, computational fluid dynamics, dynamic pressure, setting angle, twist angle.

Ngày nhận bài: 25/3/2022;

Ngày gửi phản biện: 25/3/2022;

Ngày nhận phản biện: 18/4/2022;

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2022.

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo: Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam.