

NGHIÊN CỨU HIỆN TRẠNG VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP HOÀN THIỆN TÍNH TOÁN BIÊN DẠNG CÁNH QUẠT CHO QUẠT HƯỚNG TRỰC MỎ THAN HÀM LÒ

TS. Lê Thùy Dương, ThS. Lê Văn Lợi – Viện Cơ khí Năng lượng và Mỏ - Vinacomin

Tóm tắt: Quạt gió cục bộ trong mỏ than hầm lò hiện nay chủ yếu là loại quạt hướng trục. Biên dạng 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 biên 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, giảm khối lượng tính toán và nhanh chóng xác định biên dạng cánh quạt, tác giả tiến hành tối ưu hóa phương pháp tính toán biên dạng cánh cục bộ bằng việc xây dựng lý thuyết tính toán kết hợp phần mềm lập trình. Đây là phương pháp lựa chọn tối ưu và hiệu quả, cho phép người thiết kế nhanh chóng, trực quan xác định biên dạng cánh cũng như cánh cũng như góc xoắn của quạt.

Từ khóa: Biên dạng, cánh quạt gió, mỏ hầm lò, quạt hướng trục.

1 Hiện trạng thông gió và sử dụng thiết bị quạt gió mỏ hầm lò

1.1 Sơ đồ thông gió chung

Sơ đồ thông gió phổ biến tại các mỏ khai thác than hầm lò là sơ đồ trung tâm-sườn và sơ đồ thông gió sườn. Sơ đồ thông gió tại các mỏ khai thác than hầm lò được tìm hiểu và khảo sát về cơ bản phù hợp với hệ thống các đường lò mở vỉa và chuẩn bị khai thác của mỏ. Tuy nhiên do diện sản xuất rộng (tại mỗi mỏ hầm lò trung bình có từ 6÷10 khu vực khai thác lò chợ, 8÷12 mũi đào lò xây dựng cơ bản và chuẩn bị sản xuất) nên sơ đồ mạng gió tại các mỏ tương đối phức tạp, bao gồm nhiều nhánh, gây nhiều khó khăn cho quá trình điều tiết và phân phối lưu lượng gió.

Phương pháp thông gió chung tại các mỏ than hầm lò chủ yếu là thông gió hút, đây là phương pháp phù hợp với sơ đồ thông gió mỏ, sử dụng được quạt có công suất nhỏ đặt tại từng khu vực của mỏ. Ngoài ra, phương pháp này còn hạn chế được quá trình thoát khí từ than và đất đá vào hệ thống đường lò khi quạt gió ngưng hoạt động do chuyển nguồn hoặc mất điện. Tổng hợp sơ đồ thông gió và phương pháp thông gió tại các mỏ khai thác than hầm lò được cho trong bảng 1.

1.2 Quạt gió chính

Với sơ đồ thông gió phổ biến là sơ đồ trung tâm-sườn và sơ đồ thông gió sườn, thiết bị quạt gió chính của các mỏ hầm lò khá đa dạng. Khu vực trung tâm mỏ thường sử dụng các loại quạt có công suất lớn như 2K56-N⁰24, 2K56-N⁰30, 2K60-N⁰18. Khu vực ruộng mỏ thường được lắp đặt các loại quạt có công suất nhỏ hơn như FBCDZ-N⁰24, FBCDZ-N⁰20, FBCDZ-N⁰10. Tổng hợp đặc tính kỹ thuật của một số loại quạt gió chính đang được sử dụng tại các đơn vị mỏ hầm lò như ở bảng 2.

Việc lựa chọn và sử dụng các loại quạt trên về cơ bản đã đảm bảo hệ thống thông gió mỏ, tuy nhiên, các khu vực gần nhau trong sơ đồ mạng gió dễ xảy ra tình trạng giằng gió nếu không bố trí các cửa gió hợp lý. Trong thời gian sắp tới, các mỏ hầm lò sẽ tiến hành khai thác xuống sâu, mở rộng diện sản xuất nên cần có các giải pháp như tăng công suất động cơ, đầu tư quạt mới và điều chỉnh mạng gió phù hợp với điều kiện thực tế.

Việc lựa chọn thiết bị quạt hợp lý và đáp ứng yêu cầu thông gió cho mỏ khai thác hầm lò phải tiến hành trên cơ sở kế hoạch sản xuất hiện tại cũng như định hướng cho 15÷20 năm tiếp theo.

Bảng 1: Tổng hợp sơ đồ và phương pháp thông gió tại các mỏ than hầm lò

TT	Tên đơn vị khai thác hầm lò	Sơ đồ	Phương pháp
1	Mạo Khê	Mặt bằng mức +120	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Mặt bằng mức +25	
		Mặt bằng mức +69	
		Mặt bằng mức +45	
2	Uông Bí	Hồng Thái	Thông gió sườn Thông gió hút
		Tràng Bạch - Tràng Khê	
		Đồng Vông - Bắc Đồng Vông	
3	Nam Mẫu	Mặt bằng mức +210	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Mặt bằng mức +279	
4	Vàng Danh	Khu Giếng Vàng Danh	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Khu Cánh gà	
5	Hà Lâm	Mặt bằng +90 khu VI - V10	Thông gió sườn Thông gió hút
		Mặt bằng giếng gió mức +29	
6	Hòn Gai	Giáp Khẩu	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Thành Công, Đông Bình Minh	
		Bắc Bàng Danh	
		Cao Thắng	

TT	Tên đơn vị khai thác hầm lò	Sơ đồ	Phương pháp
7	Thông Nhất	MB+52 khu Lộ Trí (2)	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		MB+52 khu Lộ Trí (3)	
8	Khe Châm	Mặt bằng mức +35	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Mặt bằng mức +112	
9	Quang Hanh	Mặt bằng mức +27 Giếng phụ	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Mặt bằng mức +30	
		Mặt bằng mức +17	
		Mặt bằng mức +35	
10	Duong Huy	Mặt bằng mức +40 khu TT	Trung tâm - sườn Thông gió hút
		Mặt bằng mức +100 khu TT	
		Mặt bằng mức + 95 khu TT	
		Mặt bằng mức +50 khu TT	
		Mặt bằng mức +84V11 khu TT	
11	Mông Dương	Khu Bắc Mông Dương	Trung tâm - sườn Thông gió hỗn hợp
		MB mức +20 khu Cánh Đông	
		MB mức +15 khu Vũ Môn	
12	Hạ Long	Hà Ráng	Thông gió sườn Thông gió hút
		Cầm Thành	
		Khe Tam	
		Tân Lập	
13	Núi Béo	Mặt bằng +20 ĐB	Thông gió sườn Thông gió hút
		Mặt bằng +20	

Bảng 2: Đặc tính kỹ thuật một số loại quạt gió

TT	Mã hiệu quạt	Đường kính bánh công tác (mm)	Tốc độ quay (v/p)	Lưu lượng gió (m ³ /s)	Hạ áp quạt (mmH ₂ O)	Công suất động cơ (kW)
1	2K56-N ^o 18	1800	-	20÷80	82÷367	2x140
2	2K56-N ^o 24	2400	1000	90	332	560
3	2K60 – N ^o 18	1800	1000	10÷90	20,4÷367	200
4	2K60-44-N ^o 16	1600	1000	12÷70	90÷400	175
5	2K56-N ^o 30	3000	-	30÷300	40÷560	1000
6	FBCDZ-N ^o 35	3500	-	200	424	2x720
7	FBCDZ-N ^o 15	1500	-	3÷30	15÷110	2x55
8	FBCDZ-N ^o 17	1700	-	39	178	2x110
9	FBCDZ-N ^o 13	1300	-	21,7	59	2x37
10	FBCDZ-N ^o 20	2000	980	20÷90	20÷450	2x160
11	FBCDZ-N ^o 27	2700	-	82	316	2x280
12	FBCDZ-N ^o 24	2400	1000	82÷152	163÷469	710
13	DB-II-4 N ^o 11	1100	1000	10÷90	20,4÷367	200
14	DB-II-4 N ^o 12	1200	1000	30÷300	40÷560	1000
15	DB-II-6-N ^o 12	1200	-	16÷28	60÷200	2x30
16	DB-II-6-N ^o 16	1600	980	27÷65	80÷265	150
17	BOД-1,1	1100	1460	7÷33	115÷390	125

Năng lực công tác của quạt cần tạo ra hạ áp đảm bảo đưa vào mỏ lưu lượng gió cần thiết cho các hộ tiêu thụ. Ngoài ra, thiết bị quạt gió chính cần có khả năng điều chỉnh chế độ làm việc theo kế hoạch phát triển sản xuất của mỏ. Trong các năm tới, nhiều mỏ khai thác hầm lò sẽ tăng sản lượng khai thác và chuyển diện sản xuất ở các mức sâu hơn. Đối với các mỏ đang khai thác, việc đơn giản hoá mạng gió mỏ không phải vấn đề đơn giản. Không ít các đường lò dẫn gió sẽ được sử dụng lại cho các mức khai thác sâu hơn. Thực tế những năm gần đây cho thấy, đa số các mỏ than hầm lò đã giảm bớt số lượng các trạm quạt gió hút (Công ty Than Quang Hanh, Hồng Thái, Khe Chàm...). Đây là giải pháp tất yếu khi đã kết thúc khai thác phần nông của ruộng mỏ.

Ở các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh khi khai thác ở độ sâu lớn hơn, độ chứa và xuất khí mêtan (CH_4) sẽ tăng lên. Nếu không áp dụng giải pháp thu hoặc tháo khí, để đảm bảo an toàn về nguy cơ cháy nổ khí cần phải tăng đáng kể lưu lượng thông gió cho mỏ. Đồng thời, mỏ cũng cần phải được cung cấp lượng không khí cao hơn, tỷ lệ với sản lượng khai thác than nguyên khai. Bên cạnh đó, nếu ở mỗi mỏ không quy hoạch tập trung hoá khai thác, tăng tiến độ chuẩn bị diện sản xuất..., lưu lượng gió đưa vào mỏ sẽ yêu cầu ở mức mà các quạt hiện tại không còn đủ năng lực đáp ứng yêu cầu thông gió mỏ.

2 Giải pháp hoàn thiện tính toán biên dạng cánh quạt hướng trục

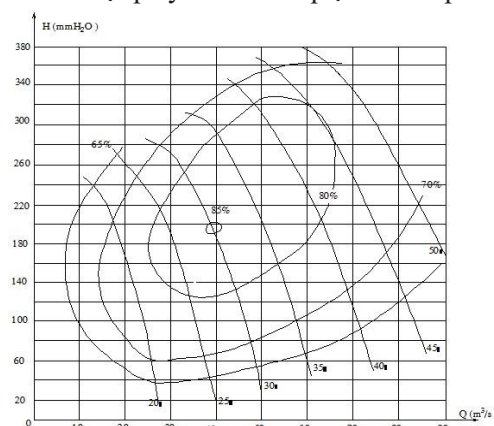
2.1 Xác định thông số đầu vào tính toán

Từ những yêu cầu đối với việc chọn lựa phương pháp thông gió thì lựa chọn mạng gió, thiết bị thông gió phù hợp với sơ đồ khai thác chung của các mỏ than hầm lò có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng. Tuy nhiên, trong khuôn khổ của báo cáo này, chúng tôi chỉ đi sâu vào vấn đề lựa chọn phương án thiết kế cánh cho thiết bị quạt gió (như tăng hiệu suất thông gió, tăng lưu lượng, giảm chi phí sản xuất và giảm thời gian sửa

chữa). Đối với các quạt 2K56 nói riêng cũng như các loại quạt gió cục bộ loại khác, biên dạng cánh quạt, vật liệu chế tạo cánh là yếu tố quyết định đến năng lực hoạt động của quạt cũng như đảm bảo độ tin cậy trong quá trình thiết bị làm việc. Giảm chi phí sửa chữa trong quá trình vận hành quạt cần dựa trên kết quả tối ưu hoá tính toán thiết kế và kiểm tra độ bền của thiết bị.

Để tối ưu hóa tính toán thiết kế cũng như kiểm tra bền cho quạt, nhiệm vụ đặt ra là lựa chọn thông số đầu vào thật hợp lý để có thể xác định và thiết kế được biên dạng cánh một cách tối ưu nhất và đưa vào phần mềm chuyên dụng xây dựng lập trình mô phỏng. Trong khuôn khổ của bài báo này, chúng tôi chỉ đưa ra dữ liệu cần thiết để tối ưu hóa tính toán cho quạt gió giềng chính loại 2K56 N⁰24 với thông số cánh quạt:

- Đường kính bánh công tác: 2400 mm;
- Lưu lượng gió định mức: 72 m³/s;
- Áp suất tĩnh định mức: 3100 Pa;
- Lưu lượng gió vùng làm việc: 37÷120 m³/s;
- Hiệu suất quạt: 80%;
- Tốc độ quay của cánh quạt: 980 v/p.



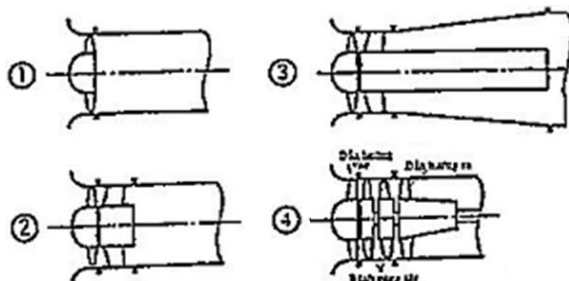
Hình 1: Đường đặc tính của quạt gió chính 2K56- N⁰18

2.2 Hoàn thiện tính toán biên dạng cánh quạt hướng trục

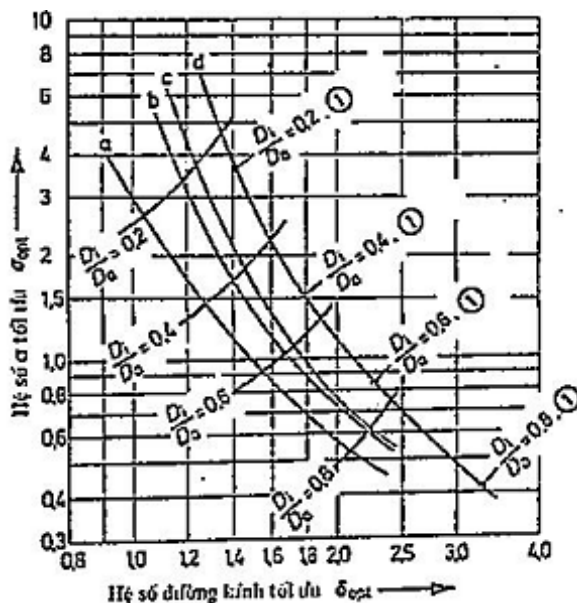
* Hệ số đặc trưng – số vòng quay đặc trưng σ

$$\sigma = n \frac{\sqrt{Q}}{\left(2 \frac{\Delta p}{\rho}\right)^{3/4}} 2\sqrt{\pi} = 980 \frac{\sqrt{105}}{\left(2 \frac{9,81 \times 250}{1,2}\right)^{3/4}} 2\sqrt{\pi} = 1,16 \quad (1)$$

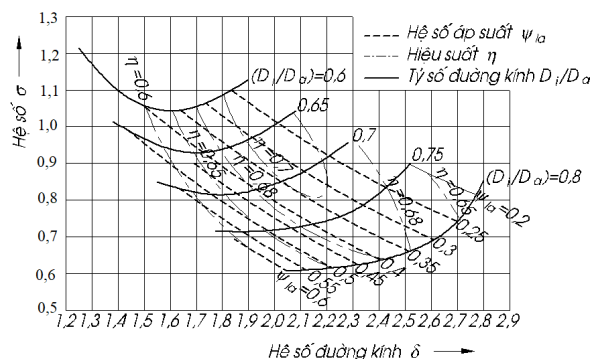
Trong đó: n – số vòng quay, $n = 980$ v/p; Q – lưu lượng gió định mức của quạt, $Q = 105$ m³/s; Δp – áp suất tĩnh định mức, $\Delta p = 250$ mmH₂O = 9,81×250 [Pa]; ρ – khối lượng riêng của khí, $\rho = 1,2$ kg/m³.



Hình 2: Các dạng quạt thông thường



Hình 3: Biểu đồ lựa chọn δ và tỉ số D_f/D_a (a, b cho dạng 2, 3 và 4; c và d cho dạng 1)



Hình 4: Quan hệ giữa các đại lượng δ , σ , D_f/D_a và hiệu suất η

Sau khi chọn δ , kiểm tra lại tỷ số D_f/D_a theo hình 3 để nhận được hiệu suất η lớn nhất:

- Hệ số đường kính tối ưu: $\delta = 1,65$;
- Tỷ số đường kính chân và đỉnh cánh:

$D_f/D_a = 0,65$.

* Đường kính đỉnh D_a và chân D_f bánh công tác

- Đường kính đỉnh cánh:

$$D_a = \delta \frac{\sqrt{Q}}{\left(2 \frac{\Delta p}{\rho}\right)^{1/4} \sqrt{\pi}} = 2,4 \text{ m} \quad (2)$$

- Đường kính chân cánh:

$$D_f = \left(\frac{D_f}{D_a}\right) D_a = 1,344 \text{ m} \quad (3)$$

* Diện tích toàn phần A_m của bánh công tác quạt

$$A_m = \frac{\pi}{4} (D_a^2 - D_f^2) = 3,105 \text{ m}^2 \quad (4)$$

* Công riêng lý thuyết và áp suất lý thuyết khi số cánh vô hạn

- Công riêng lý thuyết khi số cánh vô hạn:

$$Y_{lt,\infty} = \frac{Y}{\eta_i \cdot \mu \cdot \Omega} = \frac{\Delta p / \rho}{\eta_i \cdot \mu \cdot \Omega} = 2849,58 \text{ J/kg} \quad (6)$$

Trong đó: μ – hệ số tính toán, $\mu = 0,9 \cdot 0,95 \cong 1$, lấy $\mu = 0,925$; Ω – hệ số ảnh hưởng của tốc độ dòng chảy không đồng đều,

$$\Omega \cong 1 - 0,28 \left(\frac{D_f}{D_a}\right)^2 = 0,912; \eta_i - \text{hiệu suất trong}$$

mạng cánh, $\eta_i = \sqrt{\eta} - (0,01 \cdot 0,02) \cong (0,8 \cdot 0,9)$,

lấy $\eta_i = 0,85$; i – thứ tự chỉ số tiết diện, $i = 1 \dots m+1$.

- Áp suất lý thuyết khi số cánh vô hạn:

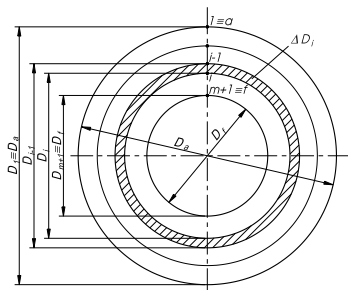
$$\Delta p_{lt,\infty} = \frac{\Delta p}{\eta_i \cdot \mu \cdot \Omega} = 3149,496 \text{ Pa} \quad (7)$$

* Đường kính tại mặt cắt thứ i

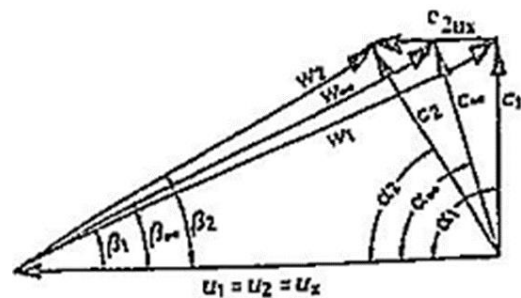
$$D_i = \sqrt{D_{i-1}^2 - \frac{4A_m}{m \cdot \pi}}$$

Bảng 3: Giá trị đường kính tại các mặt cắt

Mặt cắt	1	2	3	4	5
Đường kính tại mặt cắt thứ i , m	2,4	2,184	1,945	1,672	1,344



Hình 5: Phân bố các tiết diện cánh



Hình 6: Tam giác vận tốc

* Các thành phần tốc độ tuyệt đối của quạt

Bảng 4: Kết quả tính toán các thành phần tốc độ tuyệt đối của quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Thành phần tốc độ hướng dọc trục, m/s	$c_m = \frac{Q}{A_m}$	33,814				
Tốc độ vòng tại các tiết diện đã chia, m/s	$u_i = n \cdot \pi \cdot D_i$	123,150	112,067	99,803	85,795	68,964
Thành phần tốc độ hướng quay vòng ($c_{2u,i}$), m/s	$c_{2u,i} = \frac{Y_{lt,\infty}}{u_i}$	23,139	25,427	28,552	33,214	41,320
Thành phần tốc độ ($c_{2,i}$), m/s	$c_{2,i} = \sqrt{c_m^2 + c_{2u,i}^2}$	40,973	42,308	44,256	47,400	53,392
Thành phần tốc độ ($c_{\infty,i}$), m/s	$c_{\infty,i} = \sqrt{c_m^2 + \left(\frac{c_{2u,i}}{2}\right)^2}$	35,739	36,125	36,704	37,672	39,626

* Các thành phần tốc độ tương đối của quạt

Bảng 5: Kết quả tính toán các thành phần tốc độ tương đối của quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Thành phần tốc độ $w_{1,i}$, m/s	$w_{1,i} = \sqrt{c_m^2 + u_i^2}$	127,708	117,057	105,376	92,218	76,808
Thành phần tốc độ $w_{2,i}$, m/s	$w_{2,i} = \sqrt{c_m^2 + (u_i - c_{2u,i})^2}$	105,573	93,005	78,868	62,515	43,676
Kiểm tra tỷ số tốc độ $w_{2,i}/w_{1,i}$	$\left(\frac{w_{2,i}}{w_{1,i}}\right) = f(i) > 0,75$	0,83	0,79	0,75	0,68	0,57
Thành phần tốc độ ($w_{\infty,i}$) của quạt, m/s	$w_{\infty,i} = \sqrt{c_m^2 + \left(u_i - \frac{c_{2u,i}}{2}\right)^2}$	116,592	104,95	91,969	77,009	58,963

* Các góc nghiêng của véc tơ tốc độ tương đối của quạt

Bảng 6: Kết quả tính toán các vector tốc độ tương đối của quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Góc nghiêng $\beta_{1,i}$, độ	$\beta_{1,i} = \arctan\left(\frac{c_m}{u_i}\right)$	15,354	16,7905	18,717	21,511	26,119
Góc nghiêng $\beta_{2,i}$, độ	$\beta_{2,i} = \arctan\left(\frac{c_m}{u_i - c_{2u,i}}\right)$	18,681	21,320	25,388	32,744	50,733
Góc nghiêng $\beta_{\infty,i}$, độ	$\beta_{\infty,i} = \arctan\left(\frac{c_m}{u_i - \frac{c_{2u,i}}{2}}\right)$	16,859	18,796	21,572	26,046	34,993

* Các góc nghiêng véc tơ tốc độ tuyệt đối của quạt

Bảng 7: Kết quả tính toán các vector tốc độ tuyệt đối của quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Góc nghiêng $\alpha_{1,i}$, độ	$\alpha_{1,i} = 90^\circ$	Nếu dòng chảy vào thẳng bánh công tác				
Góc nghiêng $\alpha_{2,i}$, độ	$\alpha_{2,i} = \arctan\left(\frac{c_m}{c_{2u,i}}\right)$	90	55,616	53,058	49,823	45,513
Góc nghiêng $\alpha_{\infty,i}$, độ	$\alpha_{\infty,i} = \arctan\left(\frac{c_m}{\frac{c_{2u,i}}{2}}\right)$	71,112	69,395	67,111	63,843	58,576

* Số cánh và các kích thước của bánh công tác

Chọn số cánh $z = 12$, với điều kiện: $0,5 < t/l < 1,5$ đối với quạt lớn; $0,5 < t/l < 2$ đối với quạt nhỏ.

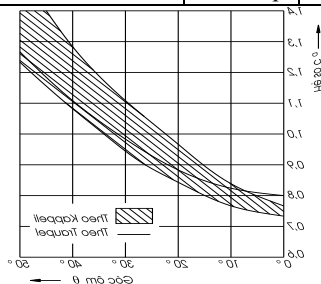
Bảng 8: Kết quả tính toán lựa chọn các kích thước của bánh công tác quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Bước cánh t_i , m/cánh	$t_i = \frac{\pi \cdot D_i}{z}$	0,628	0,572	0,509	0,438	0,352
Tỷ số chiều dài cánh trên bước cánh $(l/t)_i$	$\left(\frac{l}{t}\right)_i = \frac{\Delta w_{u,i}}{(0,4 \sim 0,5) w_{\infty,i}}$ Với: $\Delta w_{u,i} = w_{1,i} - w_{2,i}$, m/s	0,397 ÷ 0,496	0,485 ÷ 0,606	0,621 ÷ 0,776	0,863 ÷ 1,078	1,402 ÷ 1,752
Chiều dài tính toán tiết diện cánh l_i , m	$l_i = \left(\frac{l}{t}\right)_i \cdot t_i$	0,249 ÷ 0,312	0,277 ÷ 0,346	0,316 ÷ 0,395	0,378 ÷ 0,472	0,493 ÷ 0,617
Chọn chiều dài tiết diện cánh l_i , m	$l_i = \frac{\Delta w_{u,i}}{\left(0,4 + \frac{0,1}{m} \cdot (i-1)\right) \cdot w_{\infty,i}} \cdot t_i$	0,312	0,349	0,390	0,437	0,493
Kiểm tra hệ số Reynold Re_i	$Re_i = \frac{w_{\infty,i} \cdot l_i}{\nu}$ Với: $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	2425114	2441837	2391194	2243529	1937917

* Hệ số góc c_a của quạt

Bảng 9: Kết quả tính toán hệ số c_a của quạt

Mặt cắt		1	2	3	4	5
Tích $(c_a/t)_i$	$\left(c_a \frac{1}{t}\right)_i = \frac{2Y_{lt,\infty}}{u_i w_{\infty,i}}$	0,397	0,485	0,621	0,863	1,402
Hệ số $c_{a,i}$	$c_{a,i} = \left(c_a \frac{l}{t}\right)_i \frac{t_i}{l_i}$	0,794	0,799	0,810	0,865	1,001
Kiểm tra giá trị của c_a	Đối chiếu với hình 7	Hơi thấp	Đạt	Đạt	Đạt	Đạt



Hình 7: Phụ thuộc giữa hệ số góc c_a và θ

* Các góc xác lập biên dạng cánh

- Góc xác lập cánh sơ bộ $\gamma_{m,i}$:

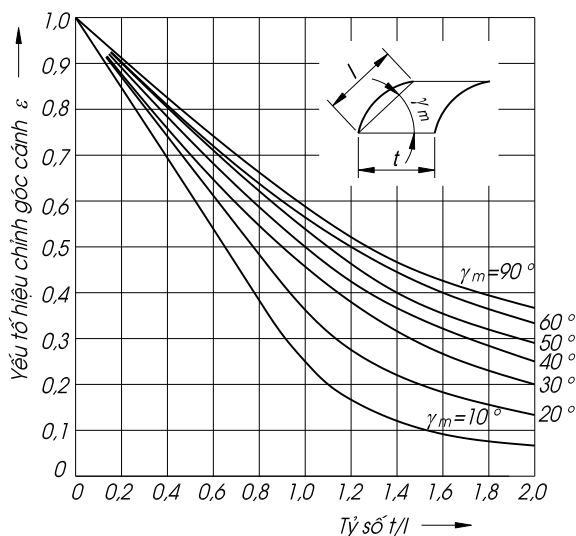
$$\gamma_{m,i} = \frac{\beta_{1,i} + \beta_{2,i}}{2} \quad (8)$$

Bảng 10: Góc xác lập lắp cánh sơ bộ

Mặt cắt	1	2	3	4	5
Góc xác lập cánh sơ bộ $\gamma_{m,i}$	17,017	19,055	22,052	27,128	38,426

Bảng 11: Giá trị xác lập biên dạng cánh lắp cánh sơ bộ

Mặt cắt	1	2	3	4	5
t_i	0,628	0,572	0,509	0,438	0,352
l_i	0,312	0,349	0,390	0,437	0,493
t_i/l_i	2,013	1,639	1,305	1,002	0,714



Hình 8: Giản đồ $\varepsilon = f(t/l, \gamma_m)$

Bảng 12: Góc xác lập biên dạng cánh lắp cánh sơ bộ

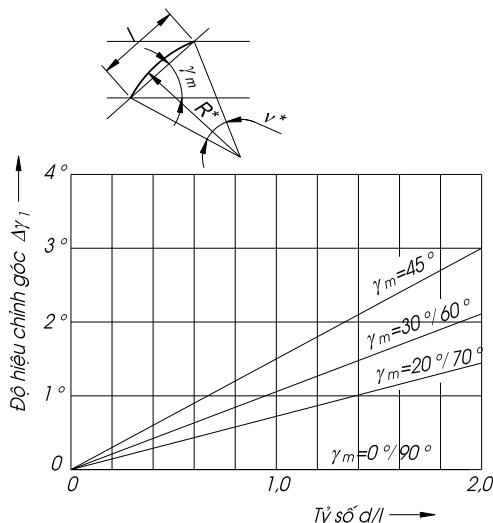
Mặt cắt		1	2	3	4	5
Tra hệ số mở rộng cánh ε_i	$\varepsilon_i = f(t_i/l_i, \gamma_{m,i})$	0,120	0,160	0,250	0,440	0,560
Góc ôm cung θ_i	$\theta_i = \beta_{2,i} - \beta_{1,i}$	3,327	4,530	6,671	11,234	24,614
Góc chính tâm có hiệu chỉnh ϑ_i	$\vartheta_i = \frac{\theta_i}{\varepsilon_i}$	27,724	28,310	21,520	22,468	36,196

* Bán kính cong trắc diện của cánh

Bán kính cong trắc diện của cánh quạt R_i được xác định theo công thức:

$$R_i = \frac{l_i}{2 \sin(\vartheta_i/2)} \quad (9)$$

* Góc xác lập cánh γ_i



Hình 9: Giản đồ $\Delta\gamma_i = f(d/l, \gamma_m)$

- Độ hiệu chỉnh góc $\Delta\gamma_{1,i}$ tra theo hình 9, độ:

$$\Delta\gamma_{1,i} = f\left(\frac{d_i}{l_i}, \gamma_{m,i}\right)$$

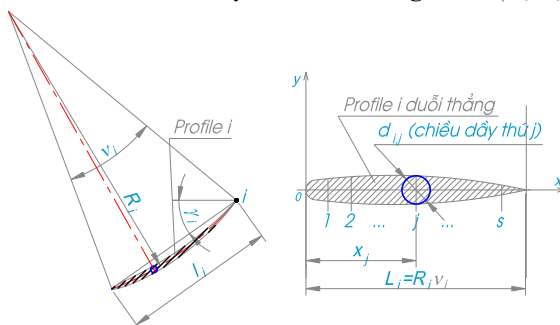
- Độ hiệu chỉnh góc tính toán $\Delta\gamma_i$, độ:

$$\Delta\gamma_i = \Delta\gamma_{1,i} \left(\frac{l_i}{t_i}\right)^2$$

- Góc xác lập cánh γ_i , độ:

$$\gamma_i = \gamma_{m,i} + \Delta\gamma_i$$

* Phân bố chiều dày của biên dạng cánh (d_{ij}, x_{ij})



Hình 10: Phân bố chiều dày biên dạng cánh

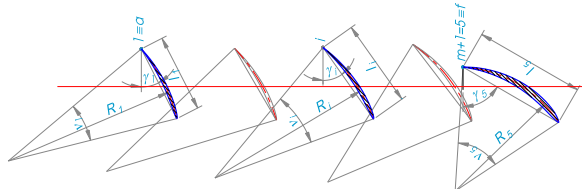
Bảng 13: Phân bố chiều dày biên dạng cánh thứ i lấy theo tiêu chuẩn NACA 0009

STT	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x_{ik} [% L_i]	0	$\frac{1,25 \cdot L_i}{100}$	$\frac{2,5 \cdot L_i}{100}$	$\frac{5 \cdot L_i}{100}$	$\frac{7,5 \cdot L_i}{100}$	$\frac{10 \cdot L_i}{100}$	$\frac{15 \cdot L_i}{100}$	$\frac{20 \cdot L_i}{100}$	$\frac{30 \cdot L_i}{100}$
y_{ik} [% L_i]	$\frac{0,33 \cdot L_i}{100}$	$\frac{1,42 \cdot L_i}{100}$	$\frac{1,96 \cdot L_i}{100}$	$\frac{2,67 \cdot L_i}{100}$	$\frac{3,15 \cdot L_i}{100}$	$\frac{3,51 \cdot L_i}{100}$	$\frac{4,01 \cdot L_i}{100}$	$\frac{4,30 \cdot L_i}{100}$	$\frac{4,50 \cdot L_i}{100}$
STT	9	10	11	12	13	14	15	16	
x_{ik} [% L_i]	$\frac{40 \cdot L_i}{100}$	$\frac{50 \cdot L_i}{100}$	$\frac{60 \cdot L_i}{100}$	$\frac{70 \cdot L_i}{100}$	$\frac{80 \cdot L_i}{100}$	$\frac{90 \cdot L_i}{100}$	$\frac{95 \cdot L_i}{100}$	L_i	
y_{ik} [% L_i]	$\frac{4,35 \cdot L_i}{100}$	$\frac{3,97 \cdot L_i}{100}$	$\frac{3,42 \cdot L_i}{100}$	$\frac{2,75 \cdot L_i}{100}$	$\frac{1,97 \cdot L_i}{100}$	$\frac{1,09 \cdot L_i}{100}$	$\frac{0,6 \cdot L_i}{100}$	$\frac{0,1 \cdot L_i}{100}$	

Trong đó: L_i – chiều dài đuôi thẳng tiết diện thứ i của cánh, $m, L_i \equiv \bar{l}_i = R_i \vartheta_i$; k – thứ tự chỉ số chiều dày cánh trên profile đuôi thẳng, $k = 0..s$.

L_i	1	2	3	4	5
Giá trị	0,315	0,322	0,244	0,255	0,411

* Các biên dạng trắc diện cánh



Hình 11. Xây dựng các biên dạng cánh (profile, $i = 1..m+1$)

Từ các thông số xác lập biên dạng cánh cho trong bảng kết quả tính toán thiết kế do chương trình xuất ra, có thể xây dựng được các biên dạng cánh tại $m+1$ mặt cắt, đánh số từ đỉnh xuống chân cánh như hình 11. Dữ liệu đã được tối ưu hóa phù hợp cho những tính toán sơ bộ trước đó, nhằm mục đích đưa bài toán tính toán biên dạng cánh quạt và cánh dẫn hướng quạt hướng trục được thuận lợi và tối ưu hơn trong thiết kế. Tác giả đã sử dụng các chương trình lập trình tính toán thiết

kế để hiệu chỉnh và tối ưu hóa các giá trị sao cho thỏa mãn yêu cầu, bao gồm:

1) Ngôn ngữ phát triển ứng dụng C#, kết hợp với HTML và CSS để thiết kế giao diện người dùng.

2) Phần mềm phát triển trên nền web (Mô hình Client-Server, người dùng chỉ cần cài đặt trình duyệt web Chrome/Firefox/Microsoft Edge... là có thể sử dụng được).

3) Công nghệ phát triển ứng dụng Asp.net Core Blazor (Framework mã nguồn mở của Microsoft giúp hạn chế sự phụ thuộc vào JavaScript, cải thiện tốc độ xử lý của phần mềm).

3. Kết luận

Bằng phương pháp hoàn thiện lý thuyết tính toán dựa trên các lý thuyết về quạt hướng trục, cùng với lý thuyết tối ưu và xây dựng phần mềm tính toán chuyên nghiệp trên nền tảng số hóa đã giải quyết được nhiệm vụ tối ưu hóa các thông số và hiệu chỉnh thông số trực tiếp trên phần mềm để tìm ra được giá trị của biên dạng cánh quạt hợp lý và đưa nó vào phần mềm mô phỏng lập trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. **Nguyễn Đức Sương, Vũ Nam Ngạn.** Hướng dẫn đồ án môn học Máy thủy khí. Trường Đại học Mở - Địa Chất, 2014.
2. **Nguyễn Đức Sương, Vũ Nam Ngạn.** Giáo trình Máy thủy khí. Trường Đại học Mở - Địa chất, 2012.
3. QCVN 01:2011/BCT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác mỏ than hầm lò.