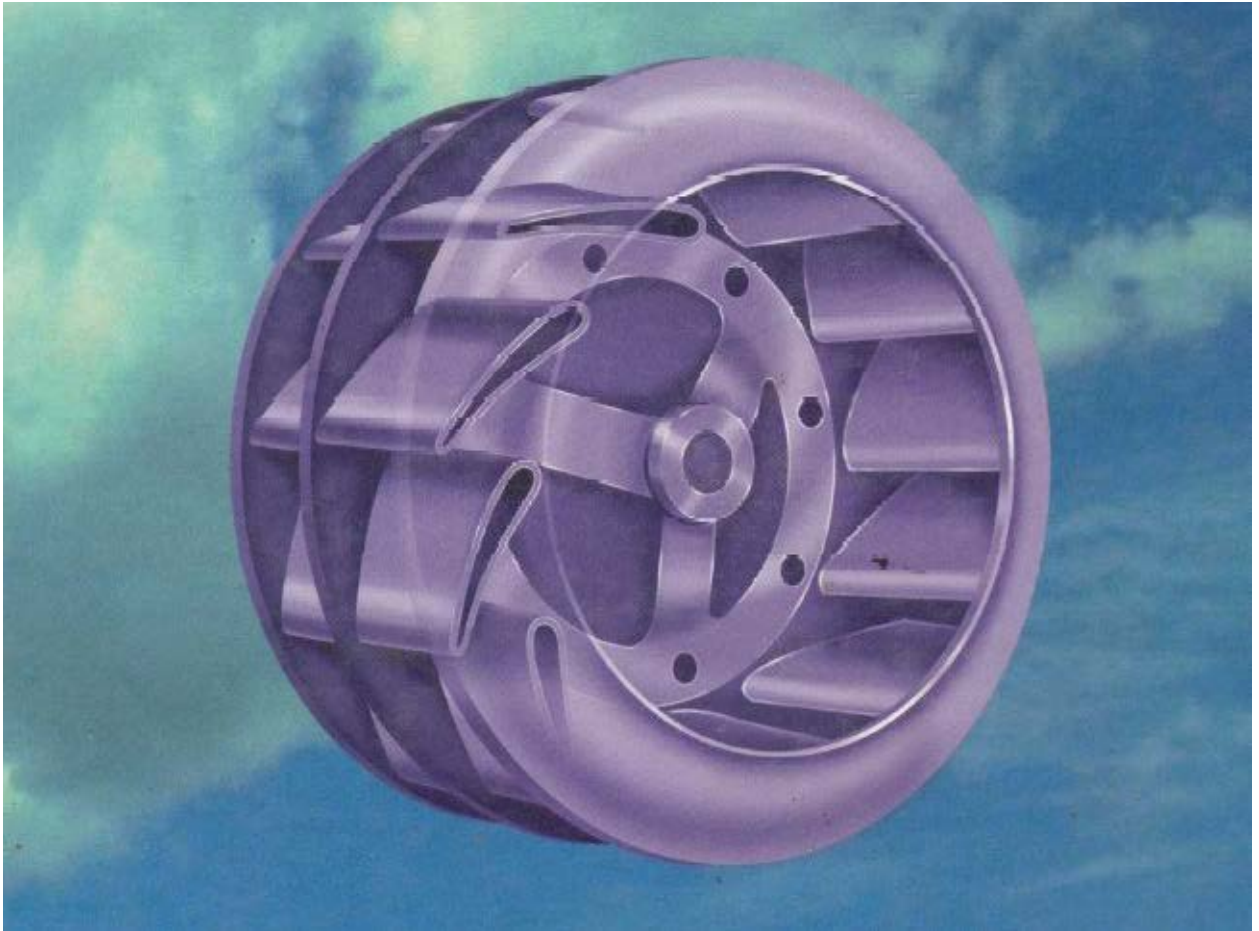


QUẠT VÀ HỆ THỐNG

LỰA CHỌN, SỬ DỤNG VÀ TÍNH TOÁN



NGUYỄN HÙNG TÂM

Hiệu đính và bổ sung

2006, 2011

MỤC LỤC

QUẠT và HỆ THỐNG.....	4
1 LỜI NÓI ĐẦU	4
2 CÁC KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI QUẠT	5
2.1 Quạt hướng trục (HT).....	6
2.2 Quạt ly tâm(LT).....	8
2.3 Quạt phối hợp (MF,mixed flow, còn dịch là hỗn lưu, hỗn hợp).....	10
2.4 Quạt dòng ngang trục (cross-flow fan).....	11
2.5 Chọn quạt ly tâm hay hướng trục ?.....	11
3 CÁC THÔNG SỐ CỦA QUẠT và KHẢO NGHIỆM QUẠT.....	12
3.1 Thông số hình học	12
3.2 Lượng gió (lưu lượng không khí).....	13
3.3 Cột áp (pressure).....	14
3.3.1 Các khái niệm.....	14
3.3.2 Đo tĩnh áp	15
3.3.3 Liên hệ giữa áp suất tĩnh bằng cột nước h_N , và bằng cột không khí h_{KK}	15
3.3.4 Áp kế với bầu rộng.....	16
3.3.5 Áp kế với nhánh nghiêng	16
3.3.6 Chất lỏng khác nước.....	16
3.4 Dụng cụ đo : Ống pitot	17
3.5 Công thức gần đúng để tính lưu lượng gió từ động áp.....	17
3.6 Công suất quạt (power, P , N)	20
3.7 Hiệu suất tĩnh (static efficiency).....	20
3.8 Hiệu suất cơ (mechanical efficiency)	20
3.9 Ý nghĩa của hiệu suất quạt.....	21
3.10 Độ ồn.....	21
3.11 Đường đặc tính quạt (fan performance curves)	22

	3
3.12	Khảo nghiệm quạt 22
3.13	Tầm quan trọng của quạt và khảo nghiệm quạt 24
4	TỒN ÁP CỦA HỆ THỐNG 25
4.1	Tồn áp trong ống 25
4.2	Tồn áp cục bộ 26
4.3	Tồn áp qua thiết bị đầu vào-ra: 28
4.4	Tồn áp qua sàn lỗ (Henderson, 1943; theo Brooker et.al.) 28
4.5	Tồn áp qua lớp hạt 29
5	CÁC ĐỊNH LUẬT VỀ QUẠT 30
6	CHỌN QUẠT PHÙ HỢP VỚI TỒN ÁP HỆ THỐNG 31
6.1	Đường đặc tính quạt – hệ thống 31
6.2	Chọn quạt: 33
7	TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHÍNH CỦA QUẠT 36
7.1	Tổng quan 36
7.2	Quạt hướng trục có hướng dòng (vane-axial fan) 36
7.3	Quạt ly tâm cánh nghiêng hoặc cong ra sau 38
8	MỘT SỐ LƯU Ý KHI LẮP ĐẶT QUẠT 38
8.1	Quạt HT: 38
8.2	Quạt LT 39
9	KHẢO NGHIỆM QUẠT & ĐO VẬN TỐC TRONG ỐNG 39
9.1	Ống khảo nghiệm quạt và vị trí đo (JIS B8330) 39
9.2	Tính toán 40
9.2.1	Theo phương pháp ống pitot 40
9.2.2	Theo phương pháp lỗ 41
10	TÀI LIỆU THAM KHẢO 42

QUẠT và HỆ THỐNG

1 LỜI NÓI ĐẦU

Quạt là một thiết bị cơ khí đã được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực với nhiều kiểu dạng khác nhau... nhằm vận chuyển không khí từ nơi này đến nơi khác đáp ứng các yêu cầu trong sinh hoạt thường ngày, các quá trình chế biến trong nông - công nghiệp; trong các hệ thống nung nóng và làm mát, và trong các nhà máy nhiệt điện.

Quạt đã được sử dụng rất nhiều, các thiết bị này hoạt động được là nhờ thông qua các bộ truyền động, nhận năng lượng từ các động cơ nổ hoặc mô tơ điện với công suất từ vài Watt đến vài trăm kWatt, vì vậy chi phí năng lượng cần để chúng hoạt động là không nhỏ, tại Mỹ chiếm khoảng 17% trong 80 triệu kWh điện tiêu thụ hằng năm trong lĩnh vực công nghiệp (USDOE-2006), do đó, nhằm sử dụng hiệu quả và giảm chi phí năng lượng tiêu thụ này cần phải nâng cao hiệu suất của quạt và vận hành hệ thống có sử dụng quạt một cách hợp lý.

Từ lâu để hoàn thiện các đặc tính của quạt các Trường Đại học, Viện nghiên cứu, Công ty chế tạo và các kỹ sư thiết kế luôn cố gắng hoàn thiện quạt để có hiệu suất cao hơn bằng cách sử dụng các kỹ thuật-công nghệ mới nhất như các phần mềm thiết kế, các vật liệu và công nghệ chế tạo. Ngày nay với sự hỗ trợ của máy tính và các phần mềm mô phỏng động học của lưu chất đã giúp các kỹ sư tối ưu quá các dòng chảy của không khí trong quạt từ đó thiết kế nhiều dạng-kiểu máy khác nhau với hiệu suất thủy lực tốt nhất.

Tuy nhiên, việc chọn lựa, lắp đặt, sử dụng và vận hành thiết bị hợp lý trong một hệ thống cũng ảnh hưởng rất lớn đến hiệu suất của thiết bị này. Khi chọn và lắp đúng thiết bị trong một hệ thống, các quạt này cần được vận hành tại điểm hoạt động (FOP) gần với điểm có hiệu suất cao nhất (BEP) của quạt do vậy hệ thống hoạt động sẽ hiệu quả hơn, làm giảm chi phí năng lượng tiêu thụ, giảm ồn và tăng tuổi thọ cho thiết bị.

Vì vậy bài viết này nhằm cung cấp cho các sinh viên Khoa Cơ khí Công nghệ trường đại học Nông Lâm TP HCM, các kỹ sư quan tâm, và người sử dụng vận hành có đủ kiến thức chính về quạt như cấu tạo, nguyên lý hoạt động, phạm vi sử dụng; các *thông số hình học và đặc tính* cũng như các yếu tố ảnh hưởng và các tính toán cần thiết để chọn quạt và vận hành chúng trong một hệ thống tương ứng hiệu quả nhất; và các hiểu biết nhằm kiểm tra các thông số kỹ thuật dựa theo các tiêu chuẩn quốc tế thường dùng nếu cần.

Bài viết nhằm phục vụ giảng dạy và chia sẻ thông tin, đã sử dụng rất nhiều thông tin từ kinh nghiệm thiết kế khảo nghiệm lắp đặt sử dụng quạt trong các hệ thống máy của tác giả, cũng như từ các nguồn tài liệu được nêu trong phần tài liệu tham khảo, dù đã cố gắng vẫn có thể thiếu sót, mọi ý kiến đóng góp xin gửi về

Thạc sỹ Nguyễn Hùng Tâm, GVC Khoa Cơ Khí Công nghệ, trường Đại học Nông Lâm TP HCM, email hungtamng@yahoo.com hoặc hungtamng@hcmuaf.edu.vn, hoặc điện thoại di động số 0913 900 676.

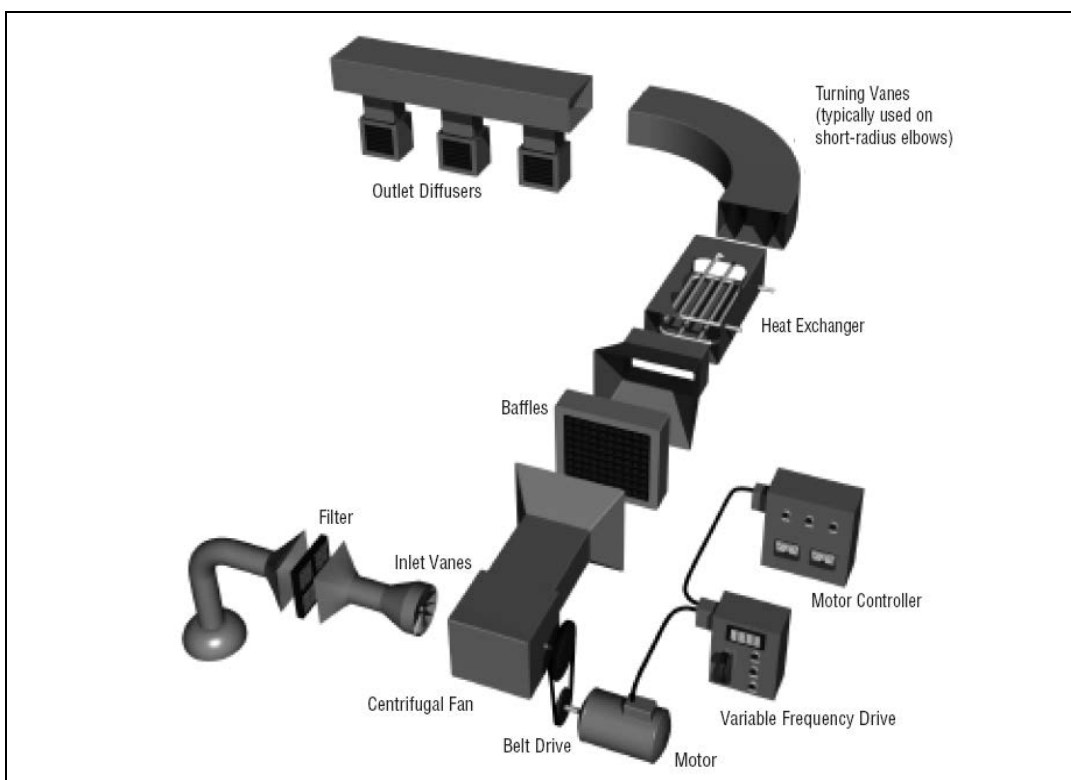
2 CÁC KHÁI NIỆM VÀ PHÂN LOẠI QUẠT

Có 4 loại quạt thường gặp:

- Quạt hướng trục (axial-fan)
- Quạt ly tâm (centrifugal fan)
- Quạt phối hợp (mixed-flow fan)
- Quạt dòng ngang trục (cross-flow fan)

Trong đó hai loại quạt hướng trục và ly tâm được sử dụng nhiều nhất trong các hệ thống.

Một hệ thống sử dụng quạt có thể bao gồm nhiều cụm chi tiết được mô tả như Hình 1.



Hình 1: Hệ thống quạt

Cụm 1: Quạt với mô tơ + truyền động+ bộ biến tần điều khiển tốc độ.

Cụm 2: Thiết bị đầu vào: bộ lọc bụi, cyclon, bộ trao đổi nhiệt...

Cụm 3: Thiết bị đầu ra: bộ lọc bụi, cyclon, hoặc các vật liệu khác.như lớp hạt.

Cụm 4: Hệ thống đường ống: đường ống, co, nối chuyên tiếp, và các van...

Một hệ thống có thể có đủ các cụm kể trên hoặc một phần, vì vậy cần nắm rõ về hệ thống để có thể sử dụng vận hành quạt hiệu quả nhất.

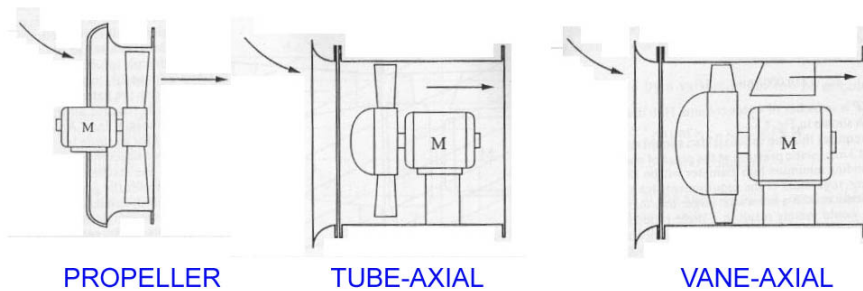
2.1 Quạt hướng trục (HT)

Như tên gọi, dòng khí chuyển động song song dọc theo hướng trục quạt, hướng vào song song với hướng ra. Nếu dùng điện, rô-tô quạt có thể được lắp trực tiếp trên trục động cơ điện (Hình 2.1). Nếu dùng động cơ nổ, phải truyền động qua dây đai (Hình 2.2). Thực tế, dù có điện, đôi khi vẫn phải truyền động gián tiếp, vì một số yêu cầu đặc biệt không thể để mô-tơ điện trong dòng không khí.

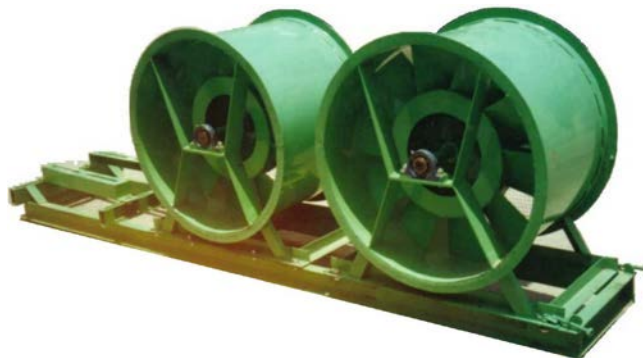
Quạt HT có 3 dạng (Hình 2.1):

- Quạt trục chong chóng (propeller fan): Dạng giống quạt trần, không có vỏ (bọc) quạt hoặc vỏ quạt rất ngắn. Dùng cho thông gió chuồng trại, nhà xưởng, có áp suất tạo ra rất thấp ($h < 20\text{mmH}_2\text{O}$).
- Quạt trục ống (tube-axial fan, TAF): Rô-tô quạt nằm trong vỏ quạt là một ống dài (Hình 2.1 và 2.2); tạo được áp suất trung bình ($h = 20\text{-}50\text{mmH}_2\text{O}$).
- Quạt trục có hướng dòng (vane-axial fan, VAF): Không khí qua khỏi rô-tô được nắn dòng chảy cho thẳng, tránh rối, nhờ thế đạt tĩnh áp và hiệu suất cao hơn.

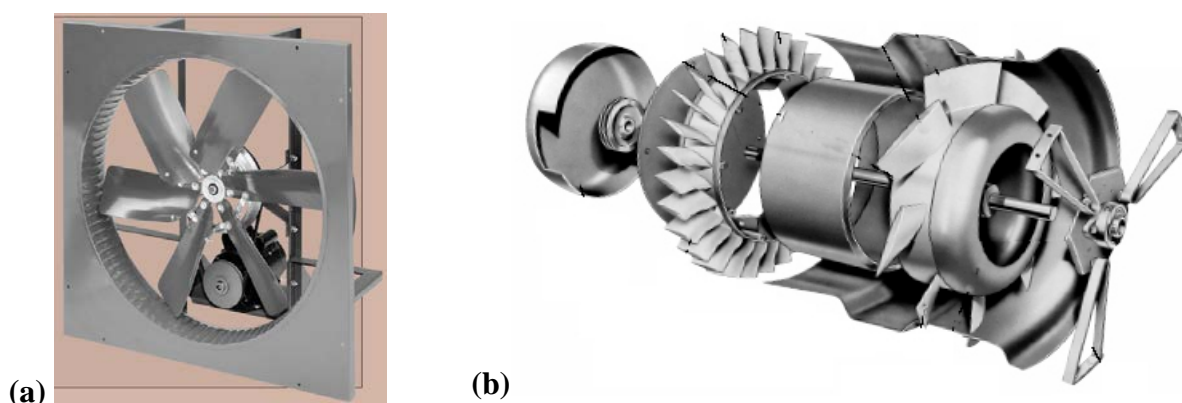
Với dạng có hướng dòng, để tạo áp suất cao, có thể ghép nối tiếp 2 rô-tô, thành quạt hướng trục 2 tầng cánh (two-stage VAF). Hoặc với quạt tube axial fan có thể ghép 2 rô to quay ngược chiều (Hình 2.4).



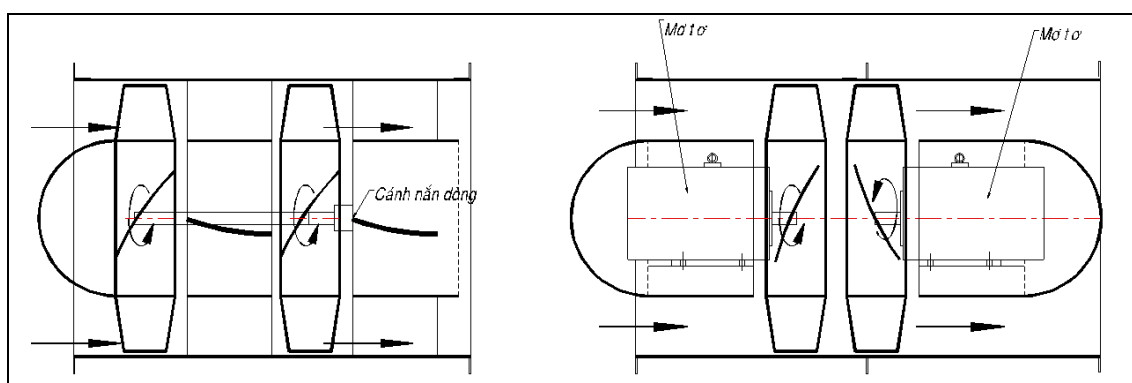
Hình 2.1: Ba dạng quạt hướng trục (trục chong chóng ; trục ống ; và trục có hướng dòng)



Hình 2.2: Quạt hướng trục dạng trục ống



Hình 2.3: Quạt hướng trục : (a) quạt trục chong chóng; (b) quạt trục có hướng dòng



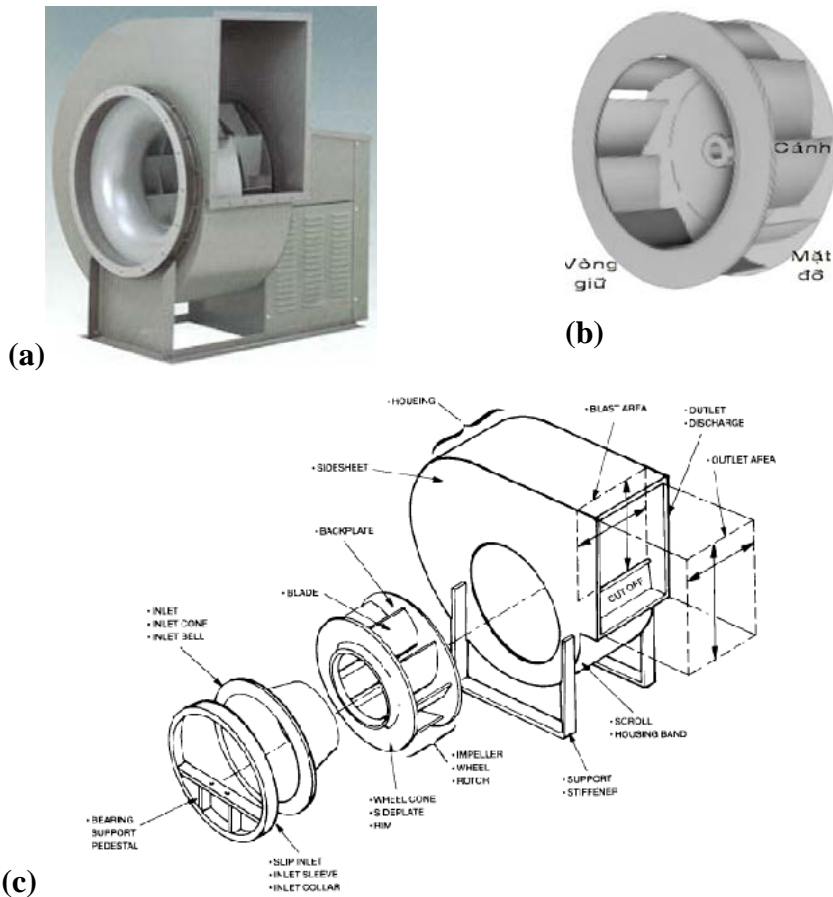
Hình 2.4: Quạt hướng trục 2T: (a) quạt VAF-2T; (b) quạt TAF-2T

Một số thông số của quạt HT (theo Bleier 1998).

Loại quạt	Propeller	TAF	VAF	2 tầng VAF
Vỏ quạt	-	Vỏ trụ ngắn	Vỏ trụ	Vỏ trụ dài
Vị trí Mô tơ	Phía hút vào	Phía đáy	Phía đáy	Giữa 2 roto
Hướng dòng	Không	Không	Sau ro to	Giữa 2 roto
Tỷ số Dh/Dr	<40%	30 – 50%	45 – 80%	50 – 80%
Tĩnh áp, mmWC	< 25	12 – 62	25 – 200	100 – 400
Góc đặt cánh, độ				
Chân cánh	30 – 50	30 – 50	30 – 60	30 – 60
Đầu cánh	10 – 25	10 – 25	10 – 35	10 – 35
Hiệu suất cơ, Max, %	70	75	90	70

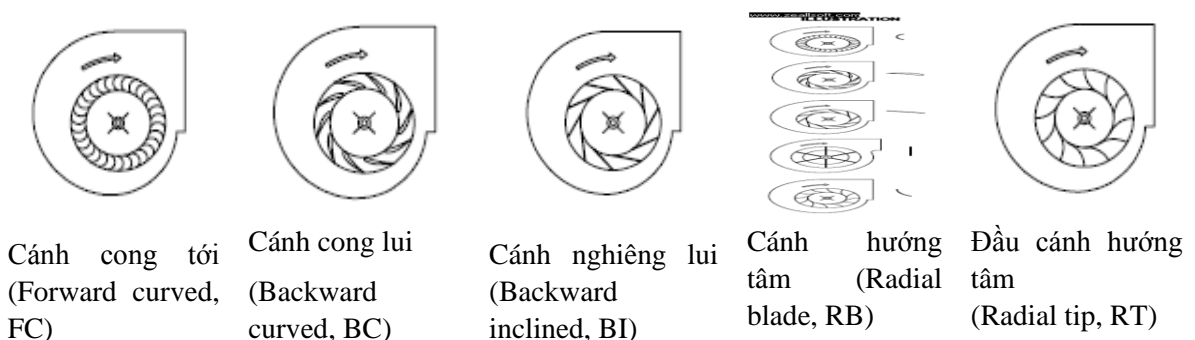
2.2 Quạt ly tâm(LT).

Các cánh của rô-to của quạt ly tâm được giữ giữa mặt đỡ và vòng giữ đỡ. Rô-to nằm trong vỏ quạt với chu vi theo dạng xoắn ốc. Không khí vào từ miệng hút qua vòng đỡ, được các cánh ly tâm ra vỏ quạt, và theo vỏ thoát ở cửa ra. Như vậy, phương của dòng khí vào thẳng góc với phương của dòng khí ra (Hình 3).

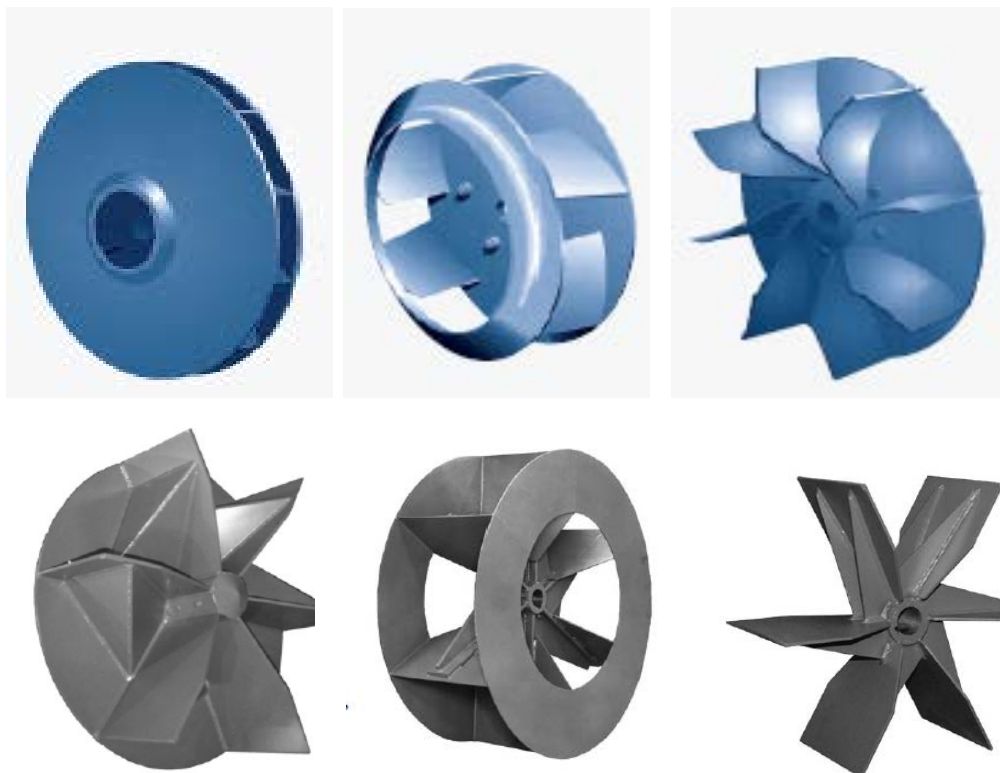


Hình 3: Quạt ly tâm: (a) hình lắp ; (b) rô-to ; (c) hình tháo rời

Nhằm đáp ứng cho nhiều công dụng khác nhau, quạt ly tâm có nhiều dạng cánh cho rô-to liệt kê như (Hình 4a) sẽ được nhắc lại trong phần chọn quạt.



Hình 4a: Một số dạng cánh của quạt ly tâm:



Hình 4b: Một số dạng rô to của quạt ly tâm:

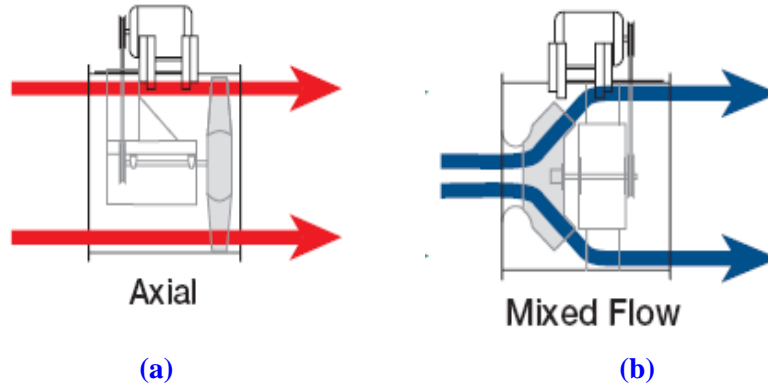
<p>a/ Quạt plenum (không có vỏ ngoài)</p>	<p>b/ Quạt ly tâm có 2 miệng hút (DWDI)</p>	<p>c/ Quạt cánh cong tới rộng Sirocco (WFC)</p>

Hình 4c: Một số dạng khác của quạt ly tâm.

Plenum fan (Hình 4c) là trường hợp đặc biệt của quạt ly tâm không có vỏ ngoài thường gặp trong điều hòa không khí hoặc các kho lạnh, máy sấy. Quạt ly tâm DWDI hoặc WFC thường dùng với các yêu cầu lưu lượng lớn.

2.3 Quạt phối hợp (MF, mixed flow, còn dịch là hỗn lưu, hỗn hợp)

Là dạng quạt kết hợp ưu điểm của hai loại quạt hướng trục (lưu lượng lớn) và ly tâm (áp suất cao, ít ồn). Không khí đi vào như với quạt hướng trục, được rô-to ly tâm ra vỏ, và theo vỏ thoát ở cửa ra (Hình 5). Khác với quạt ly tâm, hướng không khí ra trùng với hướng vào (giống quạt hướng trục). Loại quạt này được sử dụng cho một số yêu cầu dung hòa giữa quạt hướng trục và quạt ly tâm, nghĩa là cả lưu lượng và áp suất đều khá cao



Hình 5: Dòng chảy không khí khác nhau giữa quạt hướng trục (a), và quạt phối hợp (b).

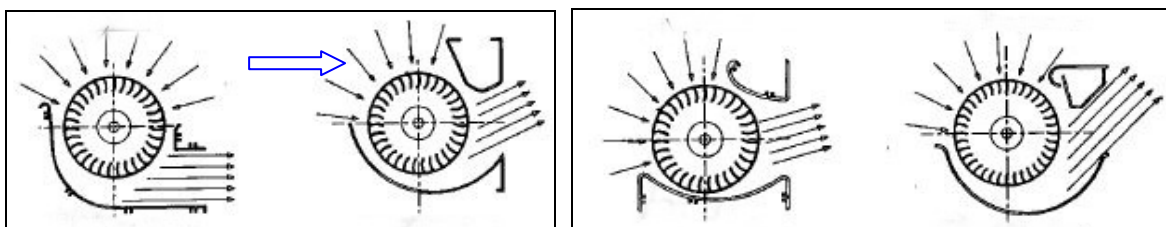
Rô-to của quạt phối hợp có hai dạng: Dạng 1 có vòng giữ. Dạng 2 không vòng giữ (Hình 6)



Hình 6: Quạt phối hợp và rô-to dạng 1 có vòng giữ (a); và rô-to dạng 2 (b) không vòng giữ

2.4 Quạt dòng ngang trục (cross-flow fan)

Rô-to giống như ở quạt ly tâm, với cánh cong tới rộng (wide forward curved). Nhưng vỏ quạt được xẻ dọc (Hình 7) nên dòng không khí không đổi hướng thẳng góc như ở quạt ly tâm, mà chảy ngang qua trục quạt. Loại quạt này được sử dụng khá nhiều trong điều hòa không khí; đặc điểm là lưu lượng lớn, tĩnh áp thấp và ít ồn, nhưng hiệu suất thấp.



Hình 7: Quạt dòng ngang trục (cross-flow fan)

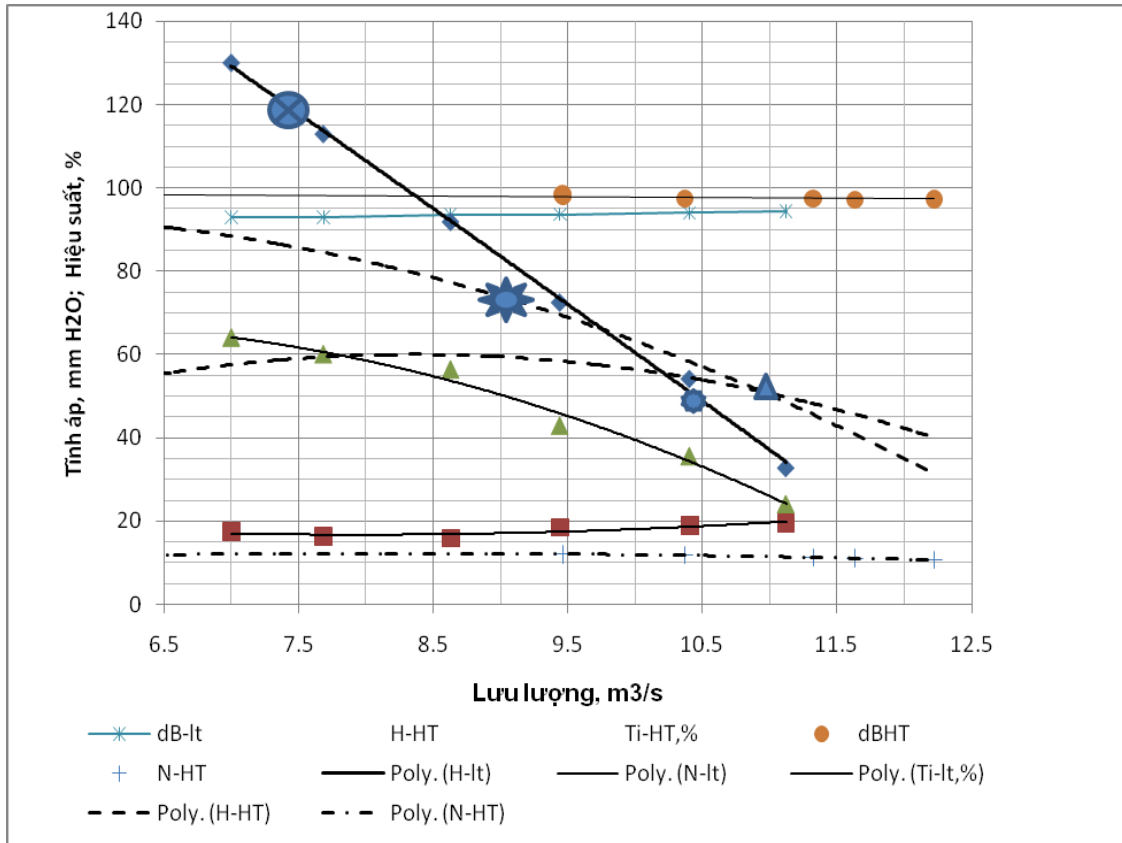
2.5 Chọn quạt ly tâm hay hướng trục ?

Đây là vấn đề thường được đặt ra nhiều nhất cho hệ thống. Câu trả lời là tùy lưu lượng, áp suất và số vòng quay. Với thiết kế đơn giản và chế tạo thủ công, thì cùng công suất, nếu tĩnh áp nhỏ hơn 500 Pa như trường hợp máy sấy tĩnh, quạt hướng trục cho lượng gió cao hơn, nghĩa là nhỏ gọn hơn mà hiệu suất cao hơn. Sử dụng quạt ly tâm khi cần áp suất lớn hơn 600Pa, ví dụ ở máy sấy với lớp hạt dày hơn 2 m, hoặc máy sấy tầng sôi... Hình 8 minh họa với các quạt LT có cánh thẳng nghiêng lui (BI) và HT 2 tầng cánh có cùng đường kính là 1100mm và cùng vòng quay $n = 960$ v/ph.

Nhận xét:

Quạt HT nhỏ gọn có hiệu suất tĩnh cao nhất 55-60% ứng với tĩnh áp 70-80mmH₂O. thích hợp cho các hệ thống có tổn áp nhỏ hơn 70mm H₂O với lưu lượng 9-11m³/s. nếu vượt qua mức áp này quạt HT hoạt động không ổn định. Quạt LT có hiệu suất tĩnh cao nhất 60-65% ứng với tĩnh áp 110-120mmH₂O. phù hợp với hệ thống có tổn áp 100-120mmH₂O với lưu lượng 7-9m³/s, nếu sử dụng ở mức tổn áp thấp 50-70mmH₂O nhằm đạt lưu lượng 9-10m³/s sẽ có hiệu suất thấp hơn (40%) và ít ổn định.

Ngoài ra, một số yếu tố khác cũng ảnh hưởng đến sự lựa chọn. Giá thành chế tạo quạt hướng trục rẻ hơn quạt ly tâm, góp phần hạ chi phí đầu tư, ngược lại, quạt hướng trục gây tiếng ồn lớn hơn quạt ly tâm.



Hình 8: Đặc tuyến quạt LT và HT có cùng D và n (NH Tâm 2010)

(Quạt LT nét liền đậm; quạt HT nét đứt đoạn)

Với H, N, Ti, dB là tĩnh áp, Công suất, Hiệu suất tĩnh và độ ồn.

3 CÁC THÔNG SỐ CỦA QUẠT VÀ KHẢO NGHIỆM QUẠT

Để chọn và sử dụng quạt cho phù hợp với hệ thống, cần hiểu một số nguyên tắc và các thông số cơ bản, gồm các thông số hình học (kích thước) và các *thông số đặc tính* (lượng gió, tĩnh áp, công suất, hiệu suất...). Các phương pháp khảo nghiệm quạt nhằm xác định đường đặc tính mô tả mối quan hệ của các *thông số đặc tính*, bằng các dụng cụ đo thích hợp.

Ghi chú: Để viết gọn, ta gọi "*GIÓ*" là luồng không khí chuyển động do quạt tạo ra.

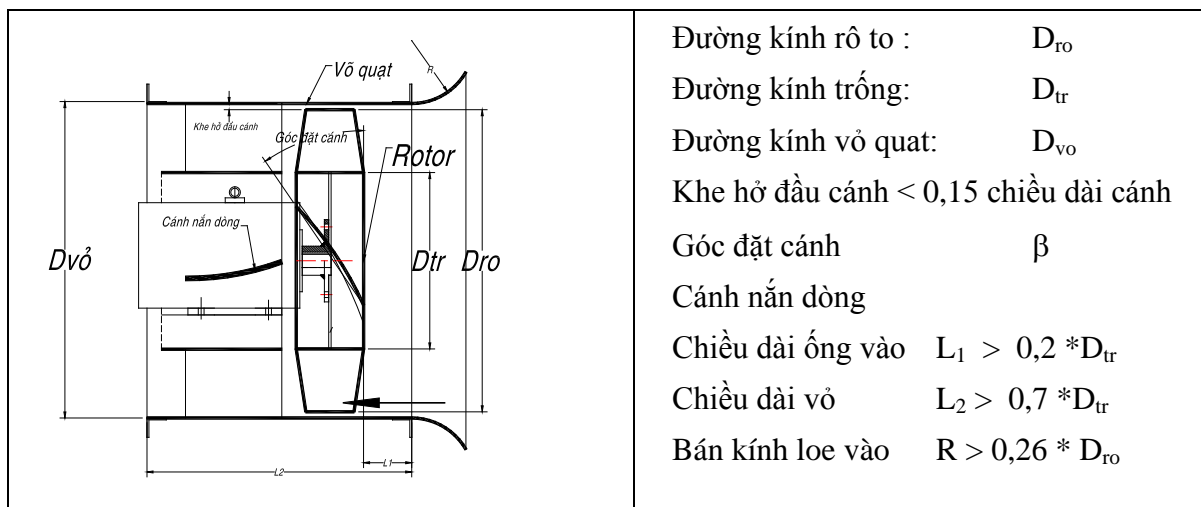
3.1 Thông số hình học

Các thông số hình học của quạt thể hiện ở Hình 9, 10, bao gồm các kích thước chính như:

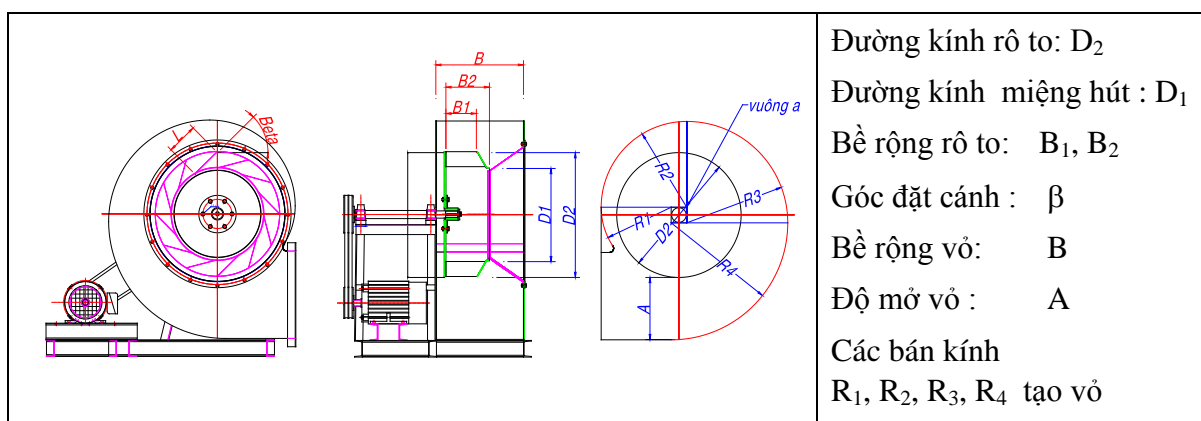
Với quạt HT là Đường kính rotor D_{ro} , Đường kính trống D_{tr} , Đường kính vỏ D_{vo} , tỷ số D_{tr}/D_{ro} , Khe hở đầu cánh, góc đặt cánh β .

Với quạt Li tâm là Đường kính rotor D_2 , Đường kính miệng hút D_1 , tỷ số D_1/D_2 , Bề rộng rô to B_1, B_2 , Góc đặt cánh β , Bề rộng vỏ B, Độ mở vỏ A.

Các thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến các thông số đặc tính của quạt như lưu lượng Q , cột áp H , công suất N , độ ồn và hiệu suất η .



Hình 9: Các thông số hình học của quạt hướng trục



Hình 10: Các thông số hình học của quạt ly tâm

Với quạt HT có cùng đường kính D_{ro} , và số vòng quay n : tĩnh áp của quạt tăng khi tỷ số D_{tr}/D_{ro} tăng, lưu lượng tăng khi tăng góc đặt cánh β , và hiệu suất giảm khi khe hở đầu cánh tăng; khe hở này càng nhỏ càng tốt tuy nhiên bị giới hạn phụ thuộc vào vật liệu và công nghệ chế tạo. Ngược lại với quạt ly tâm có cùng đường kính D_2 , và số vòng quay n tĩnh áp giảm lưu lượng tăng khi tỷ số D_1/D_2 tăng, và tĩnh áp tăng còn tùy theo dạng cánh và góc nghiêng cánh về phía trước. Khi tăng bề rộng rô to lưu lượng tăng, tĩnh áp không đổi.

3.2 Lượng gió (lưu lượng không khí)

Lưu lượng (không khí) thể tích thường gọi là lưu lượng Q là thể tích không khí chuyển động qua quạt trong một đơn vị thời gian. Đơn vị đo là m^3/s , $m^3/giờ$, hoặc cfm ($ft^3/phút$) trong hệ Anh Mỹ cũ, qui đổi $1000 \text{ cfm} = 0,47 \text{ m}^3/s \approx 0,5 \text{ m}^3/s$.

$$Q = v * A$$

với: v = vận tốc trung bình của dòng khí tại mặt đo, m/s.

A = diện tích mặt đo vận tốc, vuông góc với dòng khí, m²

Qui đổi từ lưu lượng Q [m³/s] ra lưu lượng khối \dot{G} [kg/s] :

$$\text{Lưu Lượng Khối } \dot{G} \text{ [kg/s]} = \text{Lưu Lượng } Q \text{ [m}^3\text{/s]} / \text{Thể Tích Riêng [m}^3\text{/kg]}$$

3.3 Cột áp (pressure)

3.3.1 Các khái niệm

Tĩnh áp (Δp hoặc p_s , static pressure) là áp suất cần thiết để dòng khí thắng sức cản của đường ống, và của khối vật liệu... Tĩnh áp trong buồng cũng tương tự như tĩnh áp làm căng trái bóng hoặc ruột xe đạp. Đơn vị đo tĩnh áp là pascal (Pa); không viết Pascal hoặc paxocan. Nếu biểu thị với đơn vị đo là mm nước (mmH₂O), dùng ký hiệu h hoặc h_{H_2O} .

1 pascal (1 Pa) = 1 N/m² ; 1mm H₂O = 9,8 Pa \approx 10 Pa.

Động áp (p_d , dynamic pressure) là áp suất cần để dòng không khí di chuyển được với vận tốc v .

Động áp và tĩnh áp được tính xuất phát từ phương trình Bernoulli tại hai vị trí 1 và 2:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_k g} + Z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho_k g} + Z_2$$

với: ρ : dung trọng không khí ; g : gia tốc trọng trường.

Z_1 và Z_2 : vị trí cao độ của điểm 1 và điểm 2

$$\text{Gọi: Tổng áp [m]} = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho_k g} = \text{Động áp [m]} + \text{Tĩnh áp [m]}$$

Với chất khí $Z_1 \approx Z_2$

$$\text{Tổng áp [m]} = \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho_k g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho_k g}$$

Đơn vị : Áp suất = đo bằng chiều cao cột không khí [m]

v = vận tốc dòng khí [m/s]

p = áp suất tĩnh [Pa]

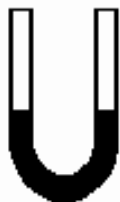
ρ_k = khối lượng riêng lưu chất, ở đây là không khí, [kg/m³]

Suy từ công thức này: Khi vận tốc giảm, động áp giảm, thì tĩnh áp tăng.

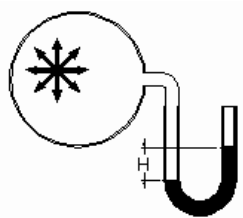
Công thức tương đương: $Tổng\ áp\ [Pa] = \rho \frac{v^2}{2} + \rho g h$

Đơn vị : $Áp\ suất =$ [Pa]
 $h =$ chiều cao cột không khí [m]
 $g = 9,81\ m\ s^{-2}$

3.3.2 Đo tĩnh áp



Hình 10.a : Áp kế chữ U



Hình 10.b : Áp kế chữ U đo tĩnh áp

Tĩnh áp là hiệu số giữa áp suất trong buồng và áp suất khí trời. Tĩnh áp tác dụng theo mọi hướng. Đo tĩnh áp bằng áp kế chữ U. Cấu tạo đơn giản nhất (Hình 10.a và 10.b) là một ống bằng nhựa trong hoặc thủy tinh uốn thành hình chữ U, chất lỏng chứa giữa hai nhánh, thường là nước tinh khiết. Tĩnh áp trong buồng thường cao hơn áp suất khí trời, nên đẩy khối nước tạo độ chênh lệch h giữa hai nhánh (áp suất dương), và ngược lại nếu trong buồng có tĩnh áp thấp hơn áp suất khí trời, độ chênh lệch h ngược lại (áp suất chân không).

Tĩnh áp, ký hiệu Δp , đơn vị = pascal = Pa = N/m²

$$\Delta p = \rho g h$$

với ρ = khối lượng riêng chất lỏng (nước: $\rho = 1000\ kg/m^3$)

$$g = 9,81\ m.s^{-2}$$

h = độ chênh lệch chất lỏng [m].

Chuyển đổi : $\Delta p [Pa] = 9,8\ h [mm\ H_2O]$

Lưu ý Δp là hiệu số giữa áp suất trong buồng và áp suất khí trời. Áp suất khí trời ở điều kiện chuẩn và cao độ 0 m là 101 325 Pa; giảm trung bình 12 Pa khi độ cao tăng 1m.

3.3.3 Liên hệ giữa áp suất tính bằng cột nước h_N , và bằng cột không khí h_{KK}

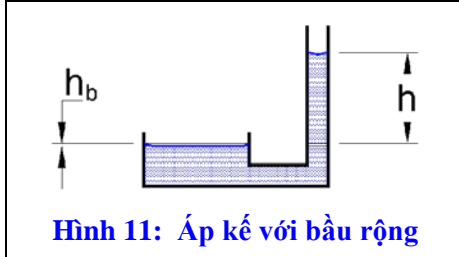
$$\rho_N g h_N = \rho_{KK} g h_{KK} . \text{ Ở điều kiện bình thường: } \rho_{KK} \approx 1,2\ kg/m^3$$

$$\Rightarrow h_{KK} = (\rho_N / \rho_{KK}) h_N = (1000 / 1,2) h_N$$

$$h_{KK} = 833 h_N$$

Ví dụ: Đo được $h_N = 30 \text{ mm nước} = 0,03 \text{ m} \Rightarrow h_{KK} = 833 * 0,03 = 25 \text{ m}$ cột không khí

3.3.4 Áp kế với bầu rộng



Để tiện đọc, tiết diện bầu nước một bên A_b lớn hơn nhiều so với bên kia A . (Hình 11)

$$h_b * A_b = h * A \quad (\text{với } A \ll A_b)$$

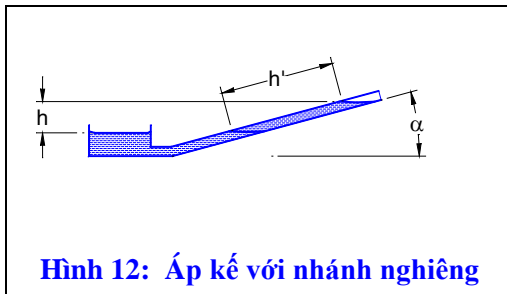
$$h_b = h * A / A_b$$

Áp suất thực sự $h_{thực}$:

$$h_{thực} = (h + h_b) = h (1 + A / A_b) \approx h$$

nghĩa là chỉ cần đọc ở phía cột nước dâng lên.

3.3.5 Áp kế với nhánh nghiêng



Để dễ đọc và chính xác hơn, một nhánh của áp kế được đặt nghiêng để tăng độ nhạy, đọc theo nhánh nghiêng (Hình 12).

Thường góc nghiêng $\alpha = 5-10^\circ$;

$$\text{vậy: } h = h' \sin \alpha$$

$$h_{thực} = h (1 + A / A_b) = h' \sin \alpha (1 + A / A_b) \approx h' \sin \alpha$$

$$h' = h_{thực} / \sin \alpha$$

Ví dụ: $\alpha = 5^\circ 44'$; $1 / \sin \alpha = 10$; $h' = 10 h_{thực}$; độ nhạy tăng gấp 10 lần.

3.3.6 Chất lỏng khác nước

Để khoảng đọc nhạy hơn nữa, có thể chọn chất lỏng nhẹ hơn nước.

ρ_L = khối lượng riêng chất lỏng, kg/m^3 . ρ_{H_2O} = khối lượng riêng nước = 1000 kg/m^3 .

$$\gamma = \text{tỷ trọng} = \rho_L / \rho_{H_2O} < 1$$

Đo được độ chênh cột chất lỏng h_L . Qui ra cột nước như sau:

$$\rho_L g h_L = \rho_{H_2O} g h_{H_2O}, \text{ suy ra } \boxed{h_{H_2O} = h_L \gamma}$$

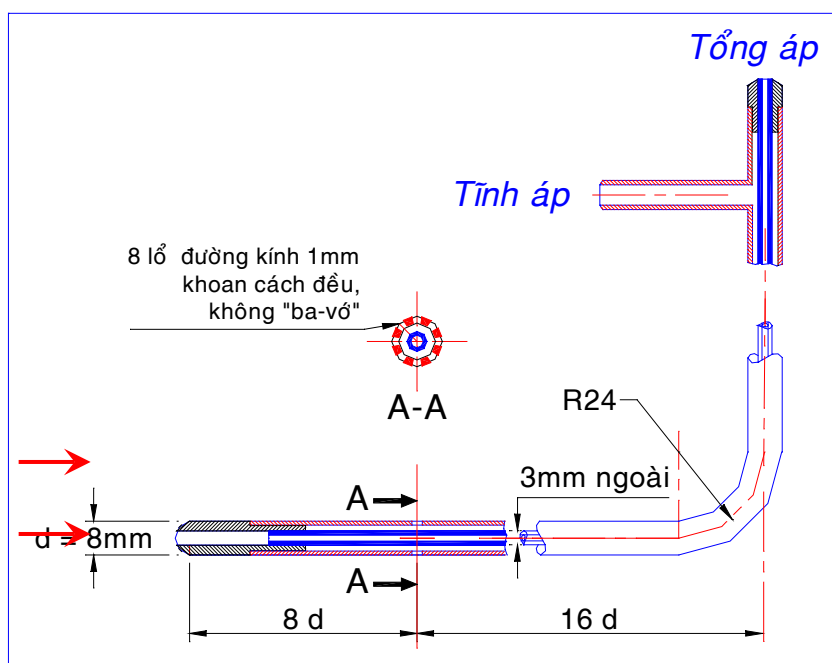
Do $h_L = h_{H_2O} / \gamma > h_{H_2O}$ nên khoảng đọc nhạy hơn.

Hoặc với áp suất lớn hơn, có thể chọn thủy ngân thay nước, $1 \text{ mmHg} = 13,6 \text{ mmH}_2\text{O}$

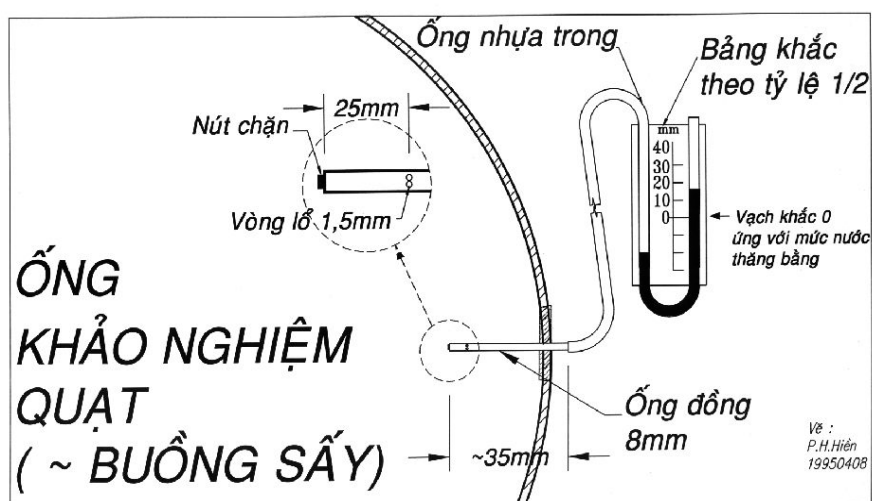
3.4 Dụng cụ đo : Ống pitot

Ống pitot (Hình 13) dựa trên nguyên tắc: mặt lõm ống thẳng góc với luồng gió sẽ đo tổng áp; lỗ ống song song với luồng gió chỉ đo phần tĩnh áp.

Hình 14 là bố trí để đo tĩnh áp trong buồng sấy. Có thể bố trí nối ống để có thể đọc được cả tổng áp, tĩnh áp, và động áp (Hình 15).



Hình 13: Ống pitot



Hình 14: Dụng cụ đo tĩnh áp trong buồng sấy (hoặc ống khảo nghiệm quạt)

3.5 Công thức gần đúng để tính lưu lượng gió từ động áp

- Tính Vận tốc gió v từ động áp H_d

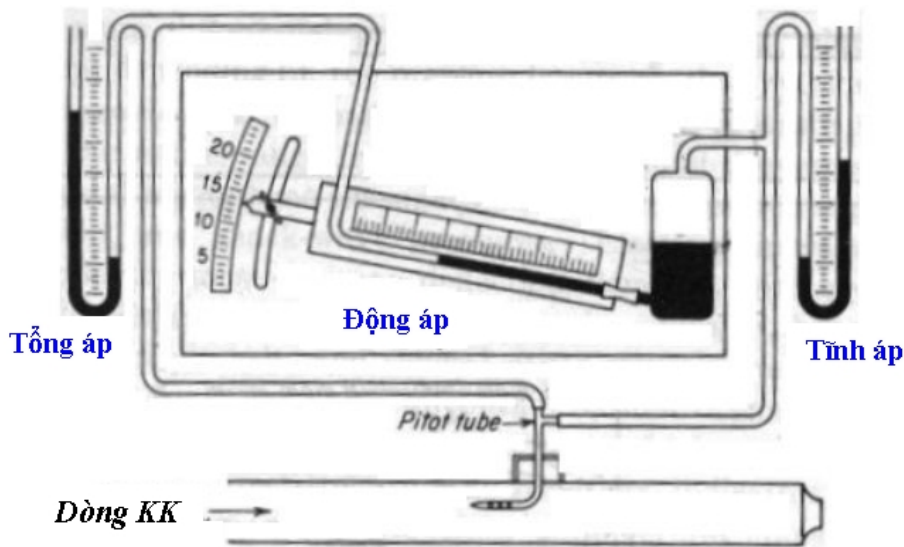
$$v \text{ [m/s]} = (4,0 - 4,30) * \sqrt{H_d \text{ [mmH}_2\text{O]}}$$

Hệ số 4,0- 4,3 tùy nhiệt độ

Lưu ý:

Tính v từ mỗi số đo của H_d , rồi mới lấy số trung bình của v .

Không được lấy trung bình của các số đo H_d , rồi tính v theo công thức trên.



Hình 15: Dụng cụ đo tĩnh áp và động áp

Chứng minh công thức tính lưu lượng gió trên như sau (Phần đọc thêm)

Gọi : ρ = Khối lượng riêng không khí , kg/m^3
 v = Vận tốc dòng khí , m/s
 p = Áp suất động , $\text{Pa} (= \text{N/m}^2)$
 H = Áp suất động , $\text{mm H}_2\text{O}$

Công thức cơ bản : $p = \rho v^2 / 2$

hay : $v = \sqrt{2/\rho} * \sqrt{p}$ /Ct.01/

Khối lượng riêng không khí ρ tùy thuộc nhiệt độ T [$^{\circ}\text{C}$] và áp suất khí trời p_{atm} [Pa].

Do ở điều kiện chuẩn 25°C và $101\,325\text{ Pa}$, $\rho = 1,225\text{ kg/m}^3$

(áp suất ở điều kiện chuẩn biểu thị bằng $101\,325\text{ Pa}$ hoặc 760 mmHg)

nên khối lượng riêng không khí ρ ở nhiệt độ T là :

$$\rho = 1,225 * \frac{15 + 273,15}{T + 273,15} * \frac{p_{atm}}{101325}$$

Giả thiết áp suất trong ống $P_{atm} = 101325$ Pa. Điều này có thể chấp nhận được, vì $101325 \text{ Pa} \approx 10000 \text{ mmH}_2\text{O}$; phần cộng thêm do áp suất tĩnh trong ống chỉ khoảng

20- 200 mmH₂O là không đáng kể. Nên:
$$\rho = \frac{352,984}{T + 273,15}$$

Thế vào /Ct.01/ và rút gọn:
$$v = 0,075273 * \sqrt{T + 273,15} * \sqrt{p}$$

[m/s] [°C] [Pa]

Có thể đổi để dùng với đơn vị áp suất là mmH₂O, như sau:

Biết 1 mmH₂O = 9,81 Pa nên $P = 9,81 * H$

$$\Rightarrow v = 0,075273 * \sqrt{T + 273,15} * \sqrt{9,81 * H}$$

[Pa] [mmH₂O]

hay:
$$v = 0,23576 * \sqrt{(T + 273,15)} * \sqrt{H}$$

[m/s] [°C] [mmH₂O]

Ở cao độ mặt biển:

Nếu $T = 15$ °C, thế số vào phương trình trên: $v = 4,00 * \sqrt{H}$

Nếu $T = 60$ °C: $v = 4,30 * \sqrt{H}$

Nếu $T = 30$ °C (ban ngày ở TP Hồ Chí Minh): $v [m/s] = 4,10 * \sqrt{H [mmH_2O]}$

Lưu lượng gió là tích số của vận tốc và tiết diện ống khảo nghiệm A:

$$Q [m^3/s] = v [m/s] * A [m^2]$$

Lưu ý:

Trị số p hoặc H là trung bình của n phép đo (n điểm 1, 2, ..., n) trong ống khảo nghiệm.

Đúng: $\sqrt{p} = [\sqrt{p_1} + \sqrt{p_2} + \dots + \sqrt{p_n}] / n$

Sai: $\sqrt{p} = \sqrt{[p_1 + p_2 + \dots + p_n] / n}$

nghĩa là phải lấy căn từng phép đo, cộng lại, rồi chia lấy số trung bình. Không được cộng các phép đo, lấy trung bình, rồi lấy căn hai.

Ví dụ:

Khảo nghiệm trong điều kiện A:

Áp suất p_{atmA}

Nhiệt độ T_A

với kết quả: Lượng gió \dot{V}_A

Tĩnh áp p_A

Ví dụ: = 630 mmHg ở Đà Lạt

= 60 °C trong ống sậy

= 3,2 m³/s

= 400 Pa

Tính lượng gió \dot{V}_0 và tĩnh áp p_0 ở điều kiện chuẩn,

nghĩa là ở $T_0 = 25$ °C và $p_{atm0} = 760$ mmHg (mặt biển).

Giải:

Lượng gió: $\dot{V}_0 = \dot{V}_A$

(ở ví dụ trên = 3,2 m³/s)

Tĩnh áp : tỷ lệ thuận với khối lượng riêng của không khí,
nghĩa là : tỷ lệ thuận với áp suất khí quyển P_{atm} , và
tỷ lệ nghịch với nhiệt độ tuyệt đối T_k với $T_k = T + 273,15$ [kelvin].

$$\frac{P_0}{P_A} = \frac{P_{atm0}}{P_{atmA}} * \frac{T_{kA}}{T_{k0}}$$

Ở ví dụ trên :

$$\frac{p_0}{400} = \frac{760}{630} * \frac{(60 + 273,15)}{(25 + 273,15)}$$

$$\Rightarrow p_0 = 400 * 1,348 = 540 \text{ Pa}$$

Dĩ nhiên, công suất cần thiết để thắng áp suất tĩnh cũng thay đổi theo tỷ lệ p_0 / p_A .

Tóm tắt : Nhà sản xuất khảo nghiệm quạt với điều kiện và kết quả : p_{atmA} , T_A , \dot{V}_A , p_A
và in catalogue với số liệu ở điều kiện chuẩn : p_{atm0} , T_0 , \dot{V}_0 , p_0

3.6 Công suất quạt (power, P , N)

- Công suất lý thuyết (air power) P_{LT} là công suất tối thiểu để tạo lượng gió và tĩnh áp trên, giả sử hiệu suất là 100%.

$$P_{LT} [kW] \approx \frac{Q [m^3 / s] * \Delta p [mmH_2O]}{102}$$

- Công suất thực tế P_{te} là công suất do động cơ cần để kéo quạt, như vậy bao gồm các hao hụt khí động, hao hụt do bộ truyền động từ động cơ đến quạt, hao hụt do bản thân động cơ chạy không. Để khách quan, không tính hao hụt do bản thân động cơ, ta thường dùng động cơ điện để đo và trừ công suất chạy không tải.

3.7 Hiệu suất tĩnh (static efficiency)

$$\eta_t [\%] = (\text{Công suất lý thuyết} / \text{Công suất thực tế}) * 100 \%$$

hay

$$\text{Công suất thực tế } P_{te} = (\text{Công suất lý thuyết } P_{LT} / \eta_t) * 100 \%$$

3.8 Hiệu suất cơ (mechanical efficiency)

Công thức tương tự trên, nhưng thay tĩnh áp Δp bằng tổng áp (= tĩnh áp + động áp) để tính công suất lý thuyết.

3.9 Ý nghĩa của hiệu suất quạt

Minh họa bằng ví dụ sau:

Yêu cầu quạt hướng trục với $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ và $50 \text{ mm H}_2\text{O}$

Công suất lý thuyết: $P_{LT} = 10 * 50 / 102 = 4,9 \text{ kW} = 6,57 \text{ HP}$ (mã lực, “ngựa”).

Nếu thiết kế và chế tạo đạt $\eta_t = 50\% = 0,50$ (các hãng nổi tiếng),

$$P_{tte} = 6,57 / 0,50 = 13,1 \text{ HP} \quad \Rightarrow \text{Động cơ dầu } 22 \text{ HP là đủ dùng.}$$

Nếu đạt $\eta_t = 30\% = 0,30$

$$P_{tte} = 6,57 / 0,30 = 21,8 \text{ HP} \quad \Rightarrow \text{Cần động cơ dầu } > 30 \text{ HP.}$$

Nếu đạt $\eta_t = 10\% = 0,10$ (phần lớn quạt do tự chế),

$$P_{tte} = 6,57 / 0,10 = 65,7 \text{ ngựa} \quad \Rightarrow \text{Động cơ dầu } 65 \text{ HP bị quá tải.}$$

Chênh lệch tiêu thụ diesel 1 Lit/h (giả sử 20 000 đ/Lít), nghĩa là mất thêm vài chục triệu đồng nhiên liệu mỗi năm. Giá trị hiệu suất này càng có ý nghĩa hơn nữa nếu dùng quạt cho các hệ thống có lưu lượng và cột áp lớn hơn.

3.10 Độ ồn

Độ ồn của quạt N_o phụ thuộc lưu lượng Q và cột áp H . có thể ước lượng theo công thức

$$N_o = 10 \log Q + 20 \log H \quad [\text{dB(A)}]$$

trong đó $Q[\text{cfm}]$ và $H[\text{in H}_2\text{O}]$

Với cùng Q & H quạt ly tâm ít ồn hơn quạt HT. và độ ồn tăng khi quạt làm việc xa vùng có hiệu suất cao.

Theo Occupational Safety and Health Administration (OSHA) và Environmental Protection Agency (EPA) thời gian cho phép khi làm việc với các mức ồn là:

Thời gian tiếp xúc / ngày (giờ)	Mức độ ồn dB(A)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1.5	102
1	105
0,5	110

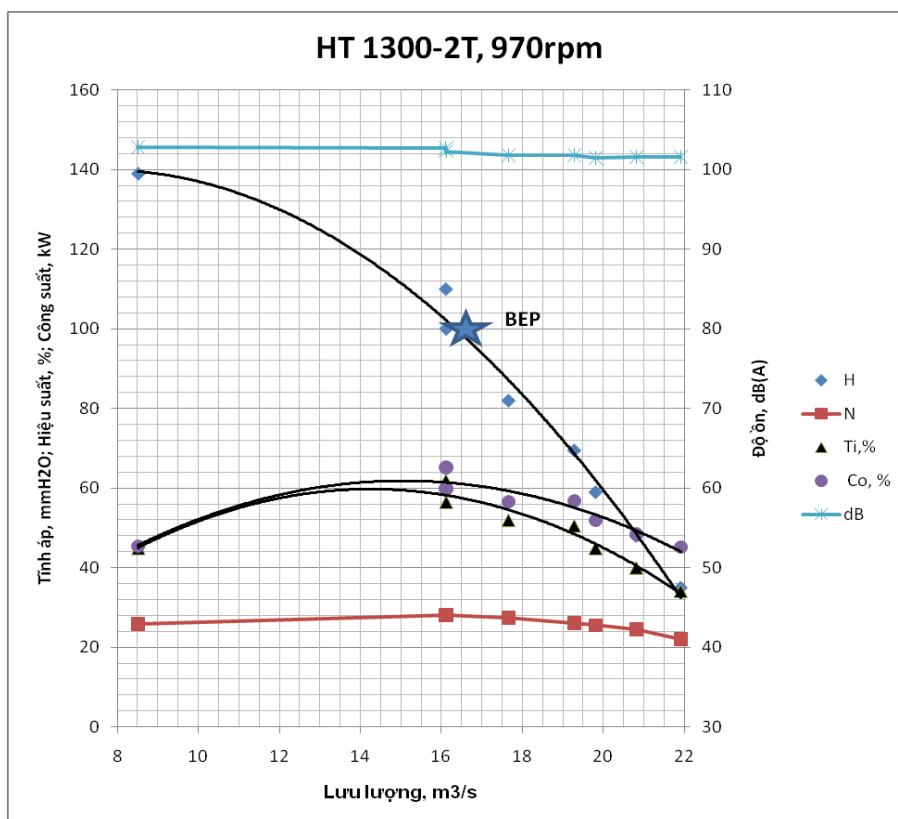
3.11 Đường đặc tính quạt (fan performance curves)

Các quan hệ giữa các thông số trên (áp suất, hiệu suất, công suất, với lượng gió) thường được thể hiện trên đồ thị các đường đặc tính quạt. Hình 15 là đường đặc tính quạt thu được từ khảo nghiệm của quạt HT 130-2T dùng trong máy sấy tinh. Điểm có hiệu suất cao nhất (BEP) là vùng trên đường đặc tính mô tả khoảng hoạt động có hiệu suất cao về cả mặt năng lượng và bảo dưỡng. Quạt khi làm việc xa vùng hiệu suất cao này sẽ tăng ồn và tăng tải lên các bạc đạn.

3.12 Khảo nghiệm quạt

Để biết các thông số trên của quạt, có thể dùng hai phương pháp đo phổ biến là dùng ống pitot, và phương pháp vật cản (orifice, venturi, nozzle).

Với phương pháp dùng ống pitot, người ta dùng bộ thiết bị đo gọi là “*Ống khảo nghiệm quạt*” (Fan test duct), Hình 17 và 18. Các dụng cụ cần có (Hình 16) là: ống pitot, dụng cụ đo áp suất (dùng nước, hoặc điện tử), dụng cụ đo vòng quay, đo công suất điện, nhiệt kế. Ống khảo nghiệm quạt là một ống dài, tạo luồng gió ổn định và một sức cản gió thay đổi tùy theo mức điều chỉnh. Các nước Mỹ, Đức, Nhật...đều có tiêu chuẩn về thiết bị này, ví dụ như tiêu chuẩn JIS B8330 của Nhật; ANSI/AMCA 210-99 của Mỹ. Thường ống này có tiết diện tròn với tiết diện ống bằng 0,7- 1,3 lần tiết diện miệng quạt. Với đường kính ống không nhỏ hơn 300 mm, chiều dài tối thiểu gấp 10 lần đường kính ống. Khi đường kính ống nhỏ hơn 300mm thường chuyển qua sử dụng phương pháp đo đĩa lỗ (orifice plate)

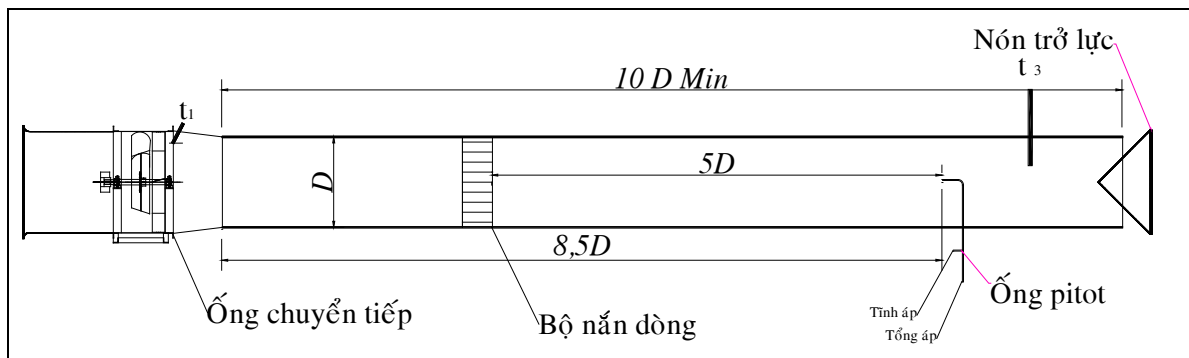


Hình 15: Đường đặc tính quạt HT 1300 - 2T (NH Tâm 2010)

Đường đặc tính quạt HT 1300-2T(Hình 15) cho thấy, quạt đã được khảo nghiệm khá đầy đủ, ở các mức tĩnh áp từ 140 – 40 mmH₂O có lưu lượng gió thay đổi từ 8 – 22 m³/s, tuy nhiên, điểm có hiệu suất cao nhất (BEP) ở mức 100mmH₂O. Vậy Quạt sẽ hoạt động hiệu quả ở vùng lân cận điểm (BEP) này về phía bên phải tương ứng với Q= 17-19 m³/s@ 90-70mm H₂O với hiệu suất tĩnh từ 50-55% và hiệu suất cơ từ 55-60%. Độ ồn của quạt khá cao > 100dB(A) vượt ngưỡng cho phép tiếp xúc lâu dài vì vậy cần có biện pháp giảm ồn hoặc cách ly.



Hình 16: Các dụng cụ đo: ống pitot, dụng cụ đo độ ồn, công suất, tĩnh áp, số vòng quay



Hình 17: Ống khảo nghiệm quạt



Hình 18: Quạt HT 1500 (truyền động đai) lắp với ống khảo nghiệm quạt

3.13 Tầm quan trọng của quạt và khảo nghiệm quạt

Không ai có thể bảo đảm các thông số của quạt chỉ nhờ thiết kế. Rất ít sách báo về thiết kế quạt với đầy đủ chi tiết. Nếu có thì cũng đầy đầy các hệ số mà kỹ sư tha hồ tùy chọn. Dù thiết kế đúng, trong chế tạo cũng “sai một ly đi một dặm”. Hàn cánh quạt nghiêng chệch tới hay lui “chút xíu” có thể làm giảm 30 % hiệu suất. Nhưng không dễ thấy điều này, vì cứ hàn cánh quạt một góc nào đó với hướng gió là thấy “gió ào ào”, yên tâm!

Vì thế có thể khẳng định mà không sợ quá trớn: Khảo nghiệm là cách duy nhất để bảo đảm các thông số đạt yêu cầu. Chế tạo mà không khảo nghiệm cũng như tiện trục mà không có thước cặp hoặc palmer. Như người mù tìm đường. Dĩ nhiên có khi cũng đi đến nơi, nhưng biết bao mò mẫm! và dĩ nhiên từ các kết quả khảo nghiệm này có thể sử dụng vào các hệ thống phù hợp và hiệu quả nhất.

4 TỖN ÁP CỦA HỆ THỐNG

Mục đích tính tổn áp là để chọn quạt thích hợp. Tổn áp thường bao gồm 4 thành phần sau:

1/ tổn áp trong đường ống, 2/ tổn áp cục bộ, 3/ tổn áp thiết bị đầu vào-ra 4/ tổn áp do vật liệu của các quá trình nếu có (như bề dày lớp hạt trong sây).

4.1 Tổn áp trong ống

Với dòng chảy trong ống, trước hết xét Chuẩn số Reynolds = $Re = \frac{v\rho D}{\mu}$

với: ρ = khối lượng riêng không khí, $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$

μ = độ nhớt không khí $\approx 1,845 \cdot 10^{-5} \text{ N s/m}^2$ ($\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$)

v = tốc độ trung bình trong ống, m/s

D = đường kính ống (tròn), m

Nếu ống chữ nhật $a \text{ [m]} \cdot b \text{ [m]}$, thay D bằng $(4 D_H)$

với: D_H = Bán kính thủy lực = Diện tích / Chu vi = $(a b) / [2(a + b)]$

Tổn áp trong ống Δp [pascal] : $\Delta p_{ong} = f \frac{\rho V^2}{2} \frac{L}{D}$

với L = chiều dài ống, m.

f = hệ số ma sát, tùy trường hợp tính theo một trong 3 công thức sau:

➤ Chế độ chảy tầng (laminar), khi $Re < 2300$ $f = \frac{64}{Re}$ (đ1)

➤ Chế độ chảy rối trong ống tròn, khi $10^4 < Re < 5 \cdot 10^4$: $f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (đ2)

➤ Chế độ chảy rối với ống có độ nhám tuyệt đối ε [mm] :

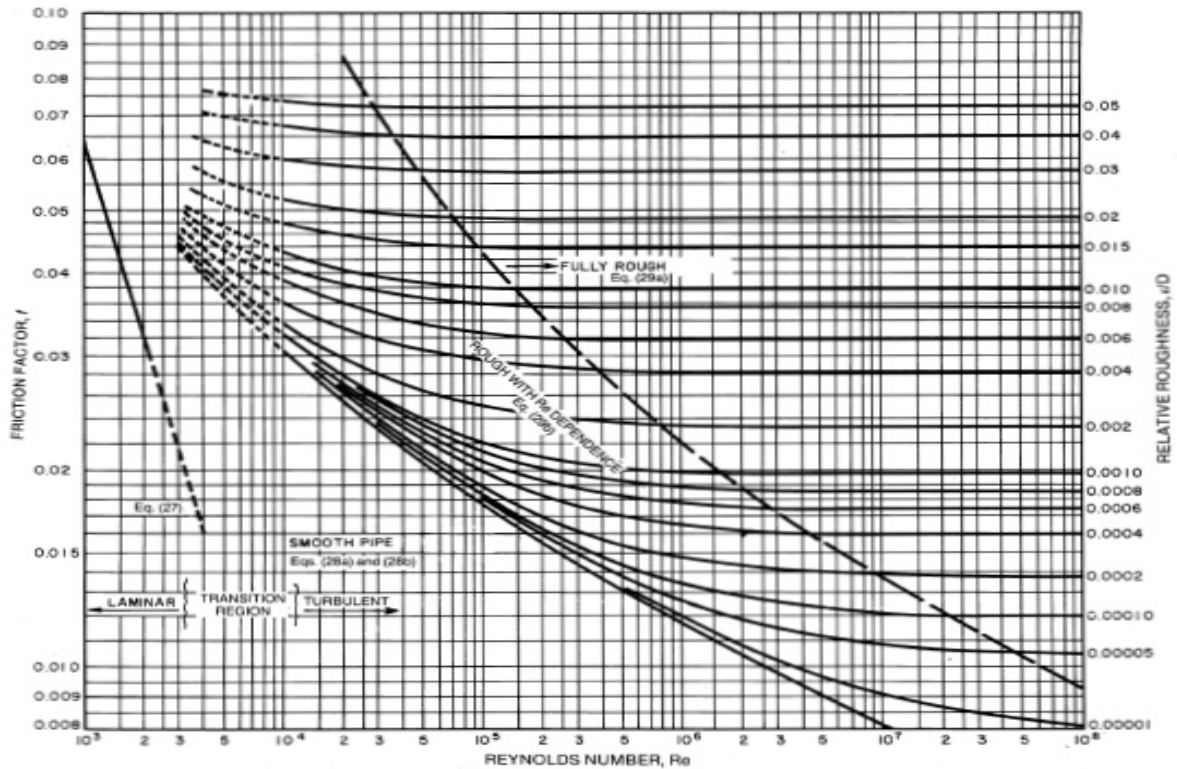
$\varepsilon = 0,05 \text{ mm}$ với ống thép thường ; $\varepsilon = 0,3- 3 \text{ mm}$ với ống bê-tông.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (\text{Phương trình Colbrook}) \quad (\text{đ3})$$

Thực tế, có thể xác định f bằng đồ thị Moody (Hình 3.23).

Trị số tiêu biểu: $f = 0,02- 0,03$ (với không khí trong ống)

$f = 0,04$ (với khói lò trong ống)



Hình 19: Đồ thị Moody xác định hệ số ma sát của không khí chảy trong ống.

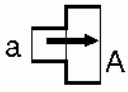

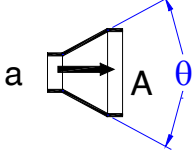
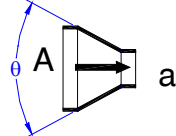
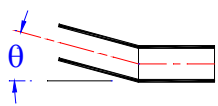
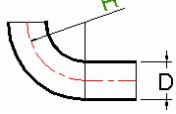
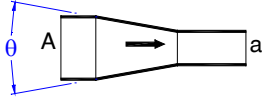
4.2 Tổn áp cục bộ

Do dòng khí gặp thay đổi tiết diện, đổi hướng chảy, hoặc phân dòng.

Các sách về cơ lưu chất thường liệt kê đủ. Sau đây trích dẫn vài trường hợp thường gặp:

- Gọi: Δp_{cb} = Tổn áp cục bộ, Pa.
- $P_{\bar{n}_L}$ = Áp suất động của dòng khí vận tốc LỚN = $\rho v^2 / 2$, Pa.
- C_L = Hệ số tổn áp = $\Delta p_{cb} / (\rho v^2 / 2)$, không đơn vị.
- a = Tiết diện ống nhỏ, m^2
- A = Tiết diện ống lớn, m^2
- θ = Góc mở rộng, độ. (hoặc góc thu hẹp, hoặc góc bẻ gấp, Bảng.2)

Bảng 2: Tổn áp cục bộ

Tên gọi dòng chảy /kết cấu	$\Delta p_{cb} = C_L * P_{\bar{v}_L}$																			
Đột mở 	$C_L = (1 - a/A)^2$																			
Đột thu 	$C_L = 0,40 * (1 - a/A)$																			
Mở rộng đều 	$C_L = K_\theta (1 - a/A)^2$																			
	<table border="1"> <tr> <td>θ:</td> <td>3</td> <td>5-8</td> <td>10</td> <td>14</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>>90</td> </tr> <tr> <td>K_θ:</td> <td>0,18</td> <td>0,14</td> <td>0,16</td> <td>0,25</td> <td>0,45</td> <td>0,70</td> <td>0,95</td> <td>1,1</td> <td>1,0</td> </tr> </table>	θ :	3	5-8	10	14	20	30	45	60	>90	K_θ :	0,18	0,14	0,16	0,25	0,45	0,70	0,95	1,1
θ :	3	5-8	10	14	20	30	45	60	>90											
K_θ :	0,18	0,14	0,16	0,25	0,45	0,70	0,95	1,1	1,0											
Thu hẹp đều 	$C_L = 0,05$ với $\theta < 30^\circ$																			
	$C_L = 0,10$ với $\theta < 45^\circ$																			
Ống bẻ góc 	$C_L = K_\theta$																			
	<table border="1"> <tr> <td>θ:</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>K_θ:</td> <td>0,02</td> <td>0,07</td> <td>0,18</td> <td>0,36</td> <td>1,00</td> </tr> </table>	θ :	15	30	45	60	90	K_θ :	0,02	0,07	0,18	0,36	1,00							
θ :	15	30	45	60	90															
K_θ :	0,02	0,07	0,18	0,36	1,00															
Ống cong 	$C_L = K_{rD}$																			
	<table border="1"> <tr> <td>r/D:</td> <td>0,5</td> <td>0,75</td> <td>1,0</td> <td>1,5</td> <td>2,0</td> <td>4,0</td> </tr> <tr> <td>K_{rD}:</td> <td>1,0</td> <td>0,75</td> <td>0,6</td> <td>0,47</td> <td>0,40</td> <td>0,30</td> </tr> </table>	r/D :	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	4,0	K_{rD} :	1,0	0,75	0,6	0,47	0,40	0,30					
r/D :	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	4,0														
K_{rD} :	1,0	0,75	0,6	0,47	0,40	0,30														
Ống chuyển tiếp cùng tiết diện $A = a$ 	$C_L = 0,15$																			

Tham khảo thêm:

ASHRAE. 2001. *ASHRAE Handbook Fundamentals*, Chapter F02: Fluid Flow.

Lê Chí Hiệp. 2001. *Kỹ thuật điều hòa không khí*: Chương 10: Thiết kế ống dẫn không khí, trang 325- 416. Nxb Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.

4.3 Tổn áp qua thiết bị đầu vào-ra:

Trước và sau quạt thường có các lưới lọc nhằm làm sạch khí, các bộ trao đổi nhiệt (TĐN) nhằm làm mát hoặc nung nóng không khí, cần lưu ý chọn lựa diện tích làm việc đủ lớn để gió có vận tốc thấp có số Re nhỏ: chảy tầng nhằm giảm trở lực. Nên chọn tổng diện tích của lưới vải lọc bụi lớn nhằm giảm tổn áp với vận tốc gió từ 1- 2m/ph; tổn áp là hàm bậc nhất

$$\Delta p = K * Q \quad \text{với } K \text{ là hệ số tùy theo lưới lọc}$$

Trở lực của lưới còn phụ thuộc cỡ hạt bụi và thời gian sử dụng, làm sạch.

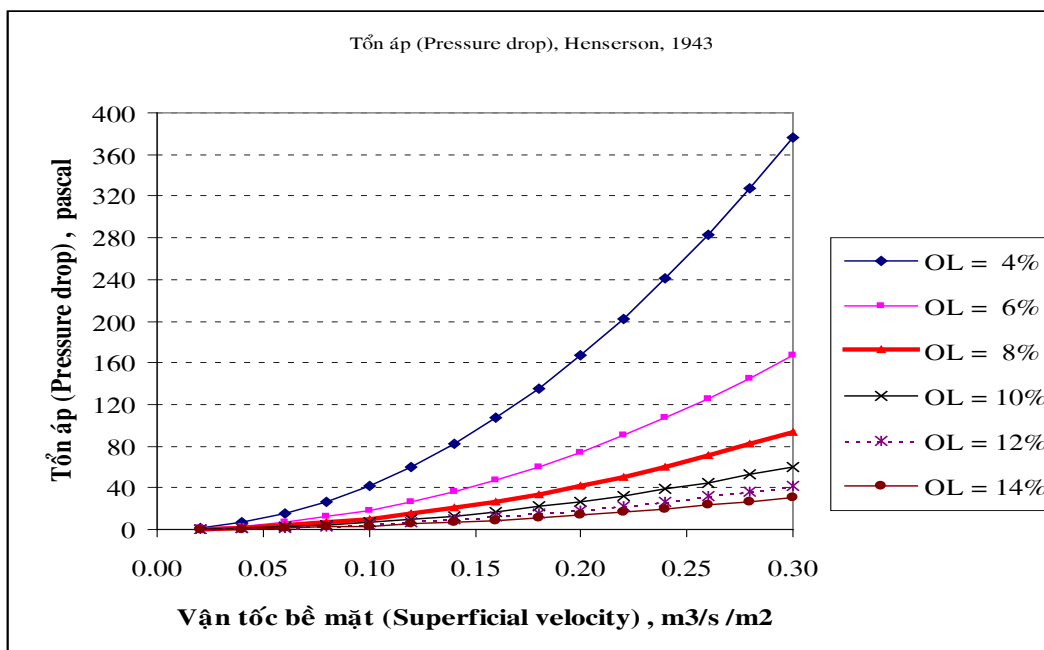
Với các bộ TĐN hoặc tấm làm mát (cooling pad) nên chọn vận tốc gió từ 0,5-2,5m/s có trở lực từ 10- 30Pa tùy theo nhà sản xuất. Cần chính xác hơn nên tra cứu cụ thể các thông số từ nhà cung cấp.

Ngoài ra các cyclon lắng lọc cũng thường được sử dụng, tùy theo yêu cầu lắng lọc với các cỡ hạt bụi khác nhau với hiệu suất lắng từ 80-95% thường có trở lực từ 400 – 700Pa. Tra các sổ tay để chọn cyclon phù hợp hoặc tính toán thiết kế tùy yêu cầu.

4.4 Tổn áp qua sàn lỗ (Henderson, 1943; theo Brooker et.al.)

$$\Delta p_{lo} = 1,07 * \left(\frac{V_m}{\varepsilon O_L} \right)^2 \quad \text{(Hình 20)}$$

với:	Δp_{lo}	= tổn áp qua sàn lỗ,	Pa
	V_m	= vận tốc qua bề mặt, = lưu lượng gió [m ³ /s] / diện tích sàn [m ²]	m/s
	ε	= tỷ lệ khoảng trống của khối hạt, Ví dụ: 40% khoảng trống, $\varepsilon = 0,40$	số thập phân
	O_L	= tỷ lệ lỗ của sàn, Ví dụ: 6% diện tích lỗ, $O_L = 0,06$	số thập phân



Hình 20: Tổn áp qua sàn lỗ, $\epsilon = 40\% = 0,40$ (nhận xét: OL > 8 %, tổn áp qua sàn lỗ khá nhỏ)

4.5 Tổn áp qua lớp hạt

Gọi: V_m = vận tốc bề mặt lớp hạt (superficial velocity) , m/s

= Lưu lượng gió / Tiết diện lớp hạt thẳng góc với dòng không khí.

Giản đồ Shedd biểu diễn quan hệ tổn áp qua lớp hạt tính trên 1 m lớp hạt Δp_{hat} Giản đồ tập hợp hơn 15 loại nông sản, mỗi loại biểu thị bằng một phương trình hồi qui

$$\Delta p_{hat} = f(V_m) = \Delta p_{hat/m} = \frac{a V_m^2}{Ln(1 + b V_m)} \quad [\text{Pa} / \text{m hạt}]$$

Ví dụ:	Lúa:	$a = 2,57 * 10^4$;	$b = 13,2$
	Bắp	$2,07 * 10^4$;	30,4
	Đậu nành	$1,02 * 10^4$;	16,0

Công thức đảo: $V_m = \exp[A + B Ln \Delta p_{hat/m} + C (Ln \Delta p_{hat/m})^2]$

Ví dụ:	Lúa:	A = -7,68 ;	B = 1,10 ;	C = -2,79 * 10 ⁻²
	Bắp:	-6,55	1,01	-3,25 * 10 ⁻²
	Đậu nành:	-6,53	1,07	-3,45 * 10 ⁻²

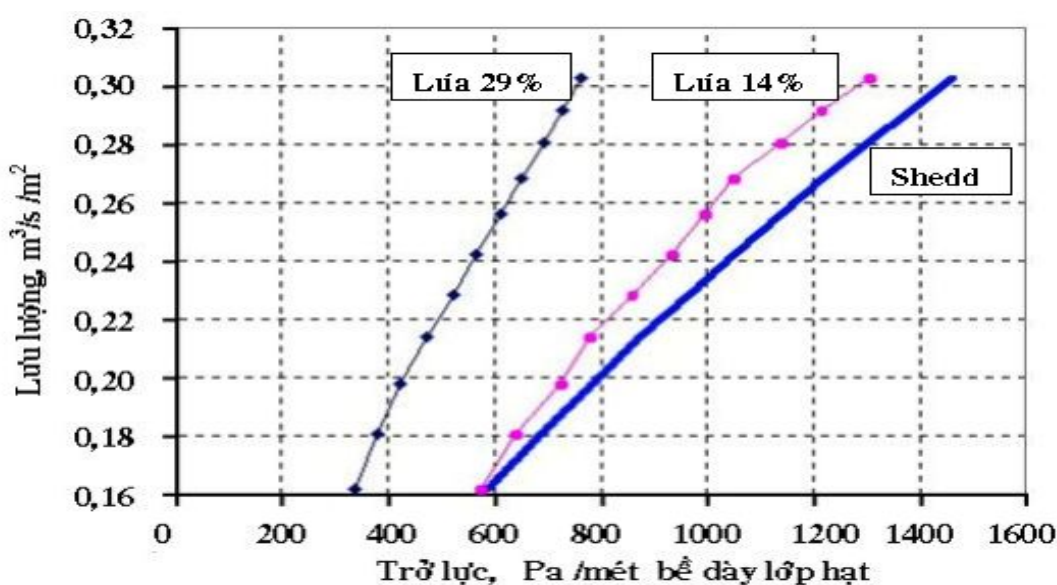
Tổn áp qua lớp hạt còn tùy thuộc:

- ✓ Các phần tử mịn lẫn trong khối hạt: Nhiều tạp chất mịn, Δp tăng.
- ✓ Ẩm độ hạt: Hạt khô hơn (ẩm độ giảm), Δp tăng.

✓ Cách đổ hạt vào bị nén chặt: Hạt bị nén, Δp tăng.

Bù trừ bằng cách nhân Δp_{hat} tính từ đồ thị Shedd với hệ số tính đến các yếu tố trên.

Thực ra, đồ thị Shedd chỉ tổng kết số liệu ở nước ngoài. Khi nghiên cứu sâu sẽ thấy một số khác biệt do vật liệu địa phương. Ví dụ: với lúa ở Đồng bằng Sông Cửu Long, mức sai lệch tương đối giữa công thức tính của Shedd và số đo thực nghiệm nằm trong khoảng 3- 12 % với lúa có ẩm độ 14%, nhưng khác biệt lớn tới mức 75- 90 % lúa ẩm độ cao 29 %. Cả hai trường hợp, Shedd đều tính cao hơn thực tế (Hình 21).



Hình 21: So sánh trở lực qua lớp lúa với công thức Shedd (PH Hiền và ctv, 2003).

5 CÁC ĐỊNH LUẬT VỀ QUẠT

Gọi: Q [m^3/s] = lưu lượng quạt

Δp [Pa] = áp suất quạt

P [watt] = công suất quạt

n [vg/phút] = tốc độ quay của quạt

N_o [decibel] = độ ồn của quạt

Chỉ số dưới 1 = quạt mà ta biết đường đặc tính (qua khảo nghiệm)

(Subscript) 2 = quạt mà ta muốn biết tính chất

Các công thức áp dụng với quạt 2 đồng dạng với quạt 1, với kích thước bằng hoặc nhỏ hơn quạt 1. Với kích thước quạt 2 lớn hơn quạt 1, nên giới hạn chỉ lớn gấp rưỡi, và chấp nhận sai số; quá tỷ lệ này, các công thức hết chính xác, vì những phức tạp của khí động học.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right) \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$$

$$\frac{\Delta p_2}{\Delta p_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$$

$$N_{o2} - N_{o1} = 50 \log_{10} \frac{D_2}{D_1} + 50 \log_{10} \frac{n_2}{n_1}$$

Đảo từ các công thức trên:

$$\frac{D_2}{D_1} = \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}\right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \boxed{\frac{n_2}{n_1} = \left(\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2}\right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{và} \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$$

6 CHỌN QUẠT PHÙ HỢP VỚI TỒN ÁP HỆ THỐNG

Nguyên tắc: Chọn sao cho lưu lượng và áp suất phù hợp, điểm hoạt động (FOP) gần với điểm hiệu suất cao nhất (BEP).

Thực tế, vẽ đường “cung” và “cầu” về lưu lượng gió với áp suất tương ứng.

“Cung” là đường đặc tính quạt do nhà sản xuất cung cấp, hoặc do khảo nghiệm.

“Cầu” là sự thay đổi tổn áp tùy theo lưu lượng gió cung cấp, tính từ cấu tạo và bố trí cụ thể của hệ thống.

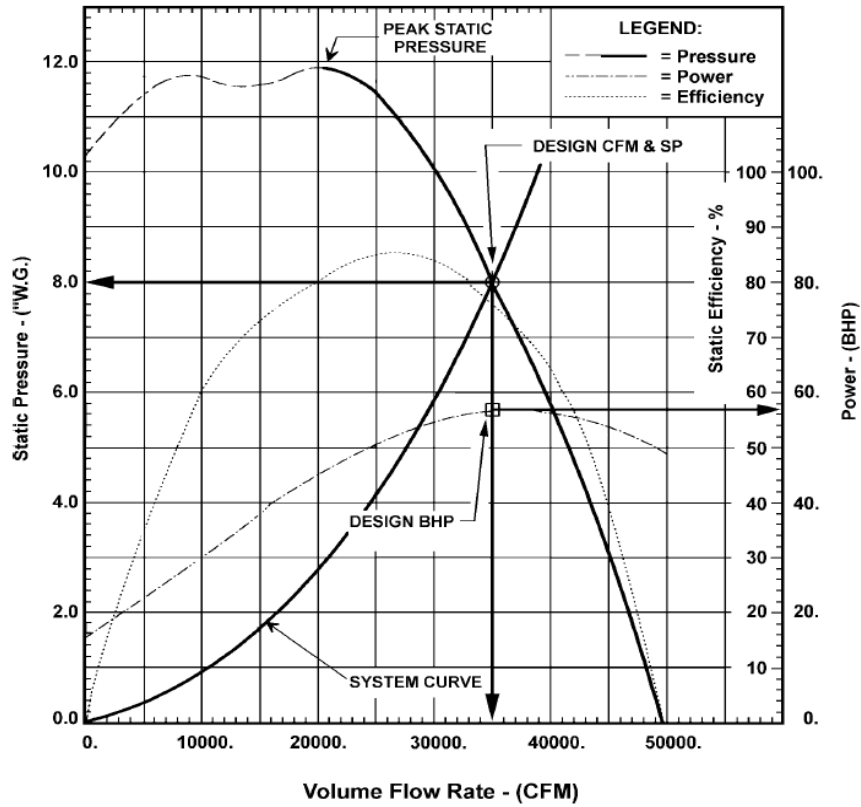
Một lưu ý nhỏ, sau khi xác định chọn được quạt, việc xác định kích thước miệng ra của quạt cần tương ứng để tránh những tổn thất, tiết diện miệng ra của quạt nên từ 0,7 -1,3 tiết diện của đường ống, tránh chọn quạt quá nhỏ quay nhanh hay quá lớn quay chậm.

6.1 Đường đặc tính quạt – hệ thống

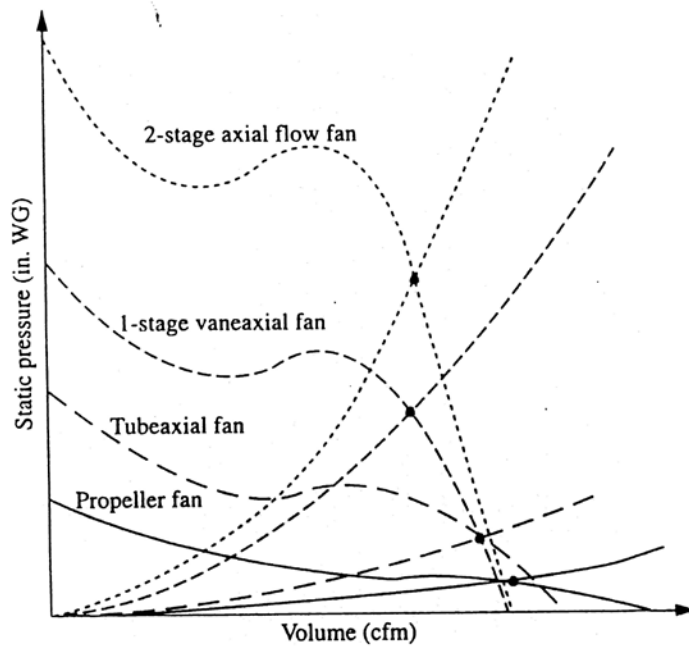
Tùy theo loại quạt có đường đặc tính khác nhau, có điểm hiệu suất tĩnh cao nhất (BEP), quạt sẽ hoạt động hiệu quả và ổn định ít ồn nhất ở vùng lân cận về phía bên phải với điểm BEP. Cần lưu ý với 1 yêu cầu có thể chọn được hơn 1 quạt, khi có 2 quạt cùng đường đặc tính nhưng có điểm BEP khác nhau chế độ hoạt động sẽ khác.

Đường đặc tính của hệ thống (system curve) được vẽ nên từ tính toán tổn áp, giao điểm giữa 2 đường này là điểm làm việc của quạt (FOP). FOP càng gần với BEP quạt hoạt động

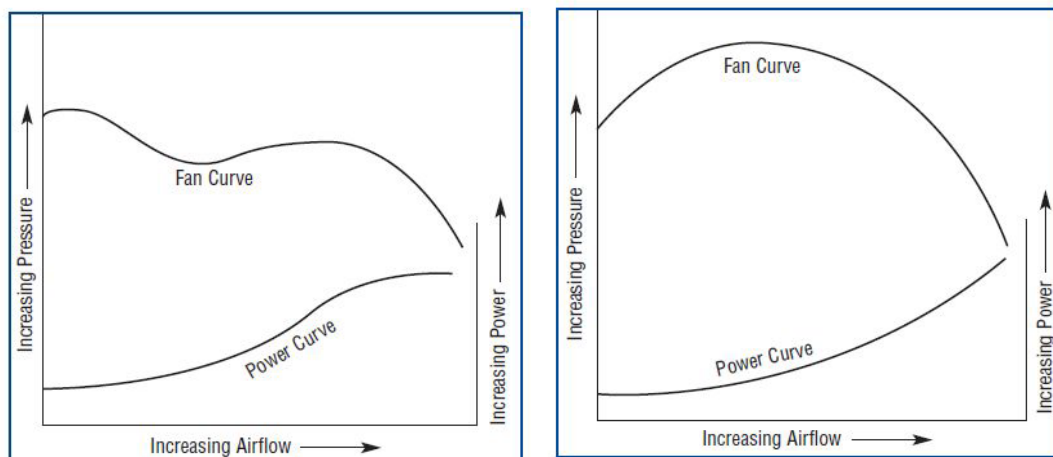
càng hiệu quả. Vì vậy việc xác định tổn thất của hệ thống và chọn quạt phù hợp giúp cho hệ thống hoạt động hiệu quả nhất cần được thực hiện một cách cẩn thận và cần kiểm tra lại khi hệ thống hoạt động để điều chỉnh nếu cần.



Hình 21: Đường đặc tính quạt – hệ thống



Hình 22a: So sánh đường đặc tính của 4 dạng quạt HT với cùng D và n (Bleier, 1985)



Hình 22b: Đường đặc tính quạt ly tâm a/ quạt FC, b/ quạt RB –và đặc tính công suất

Hình 22a cho thấy đường đặc tính của 4 loại quạt HT có cùng đường kính và số vòng quay có lưu lượng và cột áp khác nhau. Vì vậy tùy tổn áp của hệ thống chọn quạt HT phù hợp (cùng Q với Δp khác nhau, chọn VAF hay VAF-2T...).

Hình 22b cho thấy đường đặc tính công suất quá tải (công suất tiêu thụ tăng khi giảm áp) của quạt ly tâm có cánh cong về trước (FC) và cánh hướng tâm (RB) nên lưu ý khi khởi động quạt tránh quá tải mô tơ.

6.2 Chọn quạt:

Tùy theo yêu cầu về đặc tính cũng như việc bố trí, độ ồn... có thể chọn quạt khác nhau. Theo Bleier (1998) có thể căn cứ vào hệ số quay nhanh n_s để chọn quạt (Bảng 3.).

$$n_s = \frac{n_{rpm} \sqrt{Q[m^3/s]}}{h^{3/4} [mmH_2O]}$$

trong đó: n_{rpm} : tốc độ quay, vòng/phút.

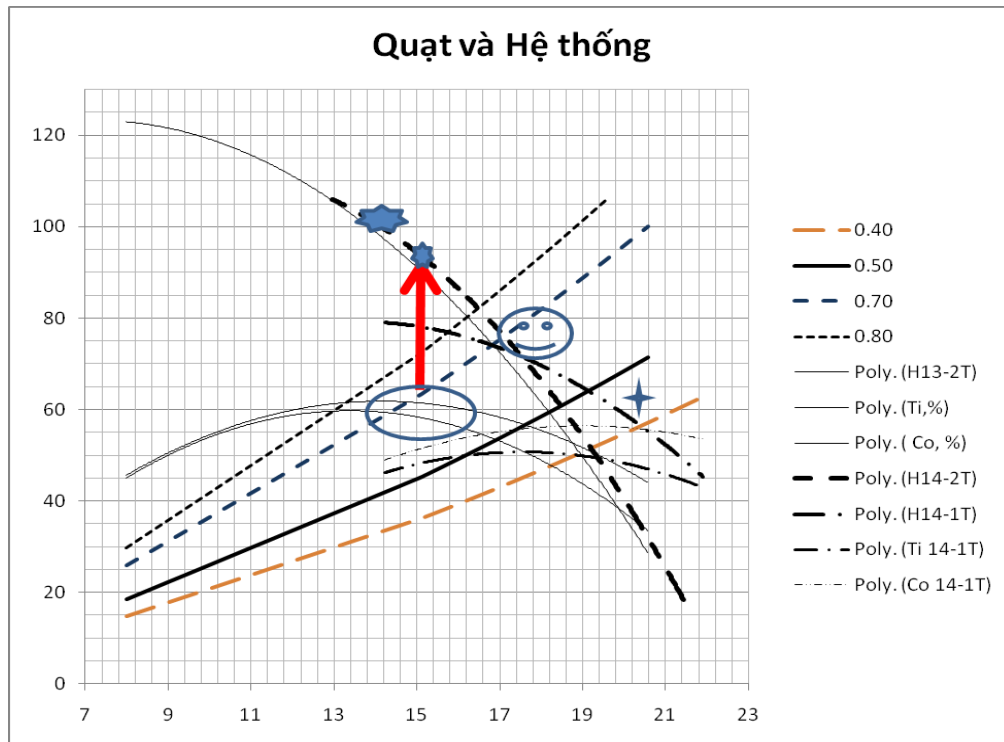
Q : lưu lượng, m^3/s .

h : tĩnh áp, mmH_2O

Lưu ý: Nhiều tác giả dùng các định nghĩa khác nhau nên các trị số n_s cũng khác, ví dụ :

$$n_s = 3,65 \frac{n_{rpm} \sqrt{Q[m^3/s]}}{H^{3/4} [mKK]} \quad \text{hoặc hệ đơn vị Anh Mỹ cũ} \quad n_s = \frac{n_{rpm} \sqrt{Q[cfm]}}{H^{3/4} [inchH_2O]}$$

nên cẩn thận để khỏi nhầm số.



Hình 23: Chọn Đường đặc tính quạt và trở lực của hệ thống (NH Tâm 2010)

Bảng 3: Chọn quạt theo hệ số quay nhanh n_s (Bleier, 1998)

	n_s	Lưu lượng	Tĩnh áp	Hiệu suất	Độ ồn	Kích thước Kh.lượng	Giá thành
Quạt hướng trục							
Chong chóng	962 -192	Lớn	Thấp	Thấp	Thấp	Nhỏ	Thấp
Trục ống	577- 115	Lớn	Thấp	Thấp	Cao	Nhỏ	Thấp
Có hướng dòng, 1 tầng	250 – 96	Lớn	TB		Cao	Nhỏ	TB
Có hướng dòng, 2 tầng	173 -67	Lớn	TB	TB	Cao	TB	TB
Quạt phối hợp	154 – 19	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Quạt ly tâm							
Cánh cong tới	135 -48	Lớn	Cao	TB	Thấp	Lớn	TB
Cánh cong lui.và BI	135 – 38	TB	TB	Cao	Thấp	TB	TB
Đầu cánh hướng tâm	125 – 48	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Cánh hướng tâm	48 – 19	TB	TB	TB	TB	TB	TB
Quạt nhiều tầng	15 - 2	Thấp	Rất cao	Thấp	cao	Lớn	Cao

(TB = trung bình)

Hình 23 cho thấy đường đặc tính của 3 quạt HT 13-2T, 14-2T và 14-1T với đường kính 1300, 1400mm 2 tầng cánh và 1400mm 1 tầng cánh, có tỷ số d_i/d_{ro} và số vòng quay/phút là 0,5-920; 0,6-820; 0,6-1020 có BEP khác nhau tương ứng với đường đặc tính (trở lực) của hệ thống sấy tĩnh với lớp lúa dày 40, 50,70 và 80cm.

Với quạt HT14-1T, hiệu suất cao nhất chỉ tương ứng với lớp lúa dày 40-50cm, vượt qua lớp dày này gió giảm nhanh, hiệu suất thấp và chạy không ổn định.

Đường đặc tính H13-2T, H14-2T của quạt 1300 1400 gần giống nhau chỉ khác nhau điểm BEP có thể sử dụng cho lớp lúa dày 70 – 80cm (mặt cùi). tuy nhiên vùng hoạt động của quạt HT 13-2T gần với BEP nên hiệu quả và ổn định hơn.

Với quạt ly tâm tùy theo công dụng để vận chuyển khí sạch, khí có lẫn bụi, khói hay các vật rắn có kích thước nhỏ... có thể chọn dạng cánh theo bảng 4

Bảng 4: Chọn quạt ly tâm theo công dụng (Bleier, 1998)

	Nhóm 1			Nhóm 2				RT	FC	RE	Turbo	
	AF	BC	BI	AH	MH	LS	LSO				Blower	Compressor
Cỡ ĐK roto, mm	300-3300	300-3300	300-3300	500-2500	500-2500	500-2500	500-2500	600-2700	50-1800	300-3000	200-2400	200-2400
Tỷ số d_i/d_2 , %	65-80	60-80	60-80	60	60	20	20	50-80	75-90	30-60	40-60	40-60
Góc đặt cánh, độ												
β1	10-30	10-30	10-30	20-25	30	30	90	20-35	80-120	90	30-90	30-90
β2	40-50	35-50	35-50	60-70	90	90	90	80-90	120-160	90	65-90	65-90
Cỡ vỏ xoắn ốc, %	100	100	100	80	80	80	80	90	100	100	90	80
1 miệng hút, SISW	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6	C6
2 miệng hút, DIDW	C6	C6	C6	Không	Không	Không	Không	C6	C6	C6	C6	Không
Nhiệt độ làm việc Max, oC	420	420	420	420	420	850	850	420	800	650	600	600
Tạp chất	Không	Bụi	Bụi	Không	Bụi-hạt	Bụi-hạt	Bụi-hạt	Bụi-hạt	Không	Bụi-hạt	Bụi-hạt	Bụi-hạt
Số cánh	9-12	9-12	9-12	10	6	6	6	12-24	24-64	0.40	0.22	0.22
b_{max}/d_2	0.35	0.35	0.35	0.30	0.35	0.35	0.35	0.20	0.55			
Vách ngoài: phẳng (P)-côn(C)	P	P-C	P-C	C	C	không	không	C	P	Không	P-C	P-C
Tính áp, mmWC	125-880	125-1500	125-750	125-500	125-500	125-500	125-750	250-1000	25-250	500-1000	250-1250	1000-7250
Đặc tính công suất quá tải Có (C) không (K)	K	K	K	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Hiệu suất cơ Max, %	92	85	80	80	70	65	65	70	65	60	80	55

Trong đó: AF, BC, BI là dạng cánh khí động, dạng cánh cong lui, dạng cánh thẳng nghiêng lui có hiệu suất chung cao, ít ồn và đường đặc tính không quá tải khi chạy không, thích hợp với khí sạch hoặc ít bụi dùng nhiều trong hệ thống thoáng, hệ thống sấy, tồn trữ....

Dạng cánh AH dùng hút khói, MH dùng vận chuyển mặt cưa dăm bào, vật liệu dạng hạt rời; LS, LSO cũng giống MH nhưng không có đĩa trước hoặc cả đĩa sau.

7 TÍNH TOÁN CÁC KÍCH THƯỚC CHÍNH CỦA QUẠT

7.1 Tổng quan

Thiết kế quạt đòi hỏi các hiểu biết cơ bản về cánh khí (airfoil), lực cản và lực nâng lên cánh khí, các thành phần vận tốc dòng không khí đi vào và ra khỏi quạt, các hệ số không thứ nguyên liên hệ các thông số của quạt... Từ đó, tính toán được đường kính rô-to, kích thước vỏ quạt, số cánh quạt, biên dạng cánh...

Phương pháp thiết kế đòi hỏi nhiều ước lượng về các hệ số, mặc dù các công thức tính trông khá chắc chắn.

Cần đi sâu vào thiết kế quạt, xem “Bruno Eck. 1973. *Fans: Design and operation of centrifugal, axial, and cross-folw fans*. Pergamon Press”. Một tài liệu khác nên tham khảo là “Bleier F.P. 1998. *Fan handbook: selection, application, and design*. McGraw-Hill Co. Inc”. được đúc kết súc tích với nhiều kinh nghiệm của chính tác giả này.

Không thừa khi nhắc lại các tài liệu trên, cũng như một số tài liệu khác, chỉ là bước khởi đầu cho thiết kế. Hầu như sau thiết kế chế tạo phải điều chỉnh lại thông qua khảo nghiệm kiểm chứng.

Trong phạm vi sách này, chỉ cung cấp các công thức để tính sơ bộ một kích thước cơ bản của quạt, đó là đường kính rô-to quạt. Tính toán xuất phát từ yêu cầu về lưu lượng gió, áp suất, và có thể cả khống chế về tốc độ quay; ví dụ, động cơ điện 50 Hz là 1450 vòng/phút; một nhà sản xuất động cơ diesel khuyến cáo sử dụng động cơ của họ ở 2000 vòng/phút để có hiệu suất nhiên liệu cao nhất...

Mục đích của tính toán là ước lượng được kích cỡ quạt, để thu hẹp khoảng tra cứu các catalogue của các nhà sản xuất quạt.

Một lưu ý nhỏ, các catalogue của nhà sản xuất thường chỉ cung cấp số liệu về lưu lượng, cột áp, công suất và số vòng quay, ít cung cấp đường đặc tính quạt, hoặc có cũng không chỉ rõ điểm BEP, vì vậy cần kiểm tra cẩn thận, đặc biệt lưu ý khi sử dụng quạt có công suất lớn để tránh giảm hiệu suất chung gây hao tổn năng lượng chạy quạt.

7.2 Quạt hướng trục có hướng dòng (vane-axial fan)

Đường kính tối thiểu của rô-to quạt:

$$D_{\min} [mm] = \sqrt{\left(\frac{30600}{N_{rpm}}\right)^2 \Delta p [Pa] + 83400 \frac{Q [m^3 / s]}{(N_{rpm} / 1000)}}$$

Ví dụ: $Q = 4 \text{ m}^3 / \text{s}$; $\Delta p = 300 \text{ Pa}$; $N_{rpm} = 1450 \text{ vòng/phút}$

Tính ra: $D_{\min} = 603 \text{ mm}$. Ta tra cứu catalogue quạt có đường kính lớn hơn 600 mm.

Hoặc theo Bleier (1998) công thức 4.1 trang 4.7.

Đường kính trống quạt d là hàm số của tốc độ quay N_{rpm} (tỷ lệ nghịch), và áp suất yêu cầu Δp (tỷ lệ thuận với căn bậc hai)

Hệ Anh :

$$d'' [inch] = \frac{19000}{N_{rpm}} \sqrt{\Delta p'' [inchH2O]}$$

Đổi qua hệ S.I:

$$d [mm] = \frac{30596}{N_{rpm}} \sqrt{\Delta p [Pa]}$$

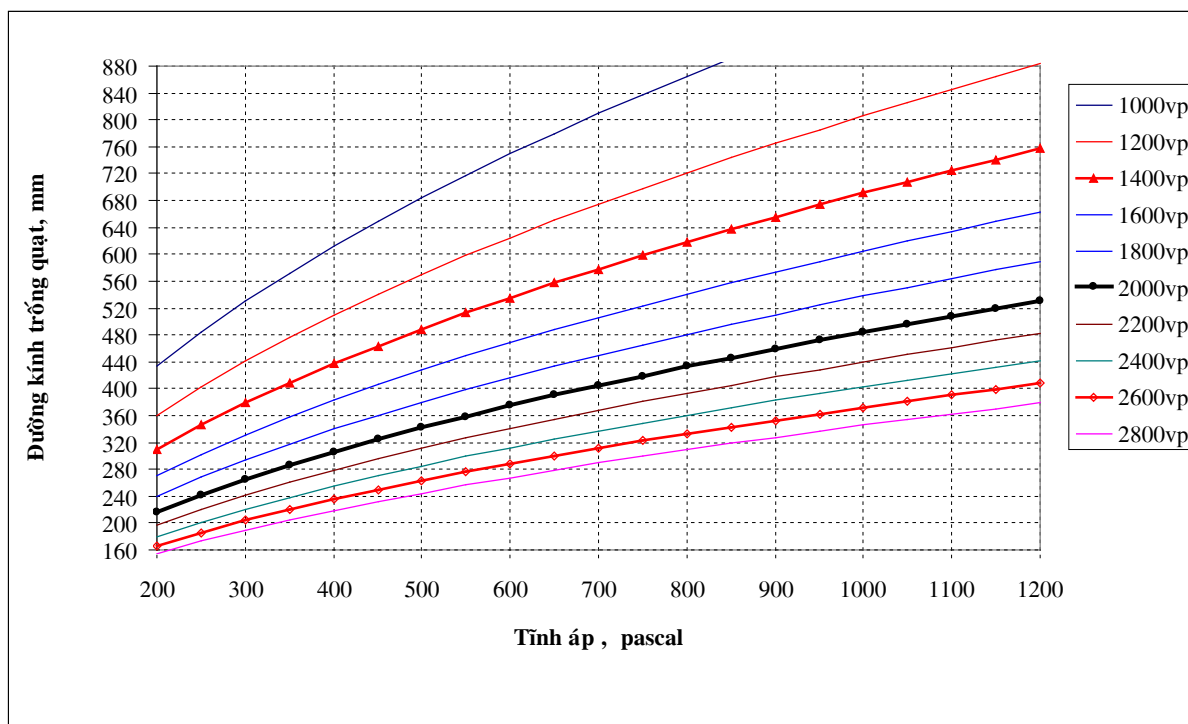
Đường kính rô-to quạt tối thiểu:

Hệ Anh :

$$D_{min}'' [inch] = \sqrt{d'' [inch] + 61 \frac{Q[cfm]}{N_{rpm}}}$$

Đổi qua hệ S.I:

$$D_{min} [mm] = \sqrt{d[mm] + 83400 \frac{Q[m^3/s]}{N_{rpm}}}$$



Hình 23: Tính đường kính trống quạt từ số liệu tĩnh áp và tốc độ quay

7.3 Quạt ly tâm cánh nghiêng hoặc cong ra sau

Đường kính trong tối thiểu của cánh D_t :
$$D_{ttoithieu} [mm] = 3300 \sqrt[3]{\frac{Q [m^3 / s]}{N_{rpm}}}$$

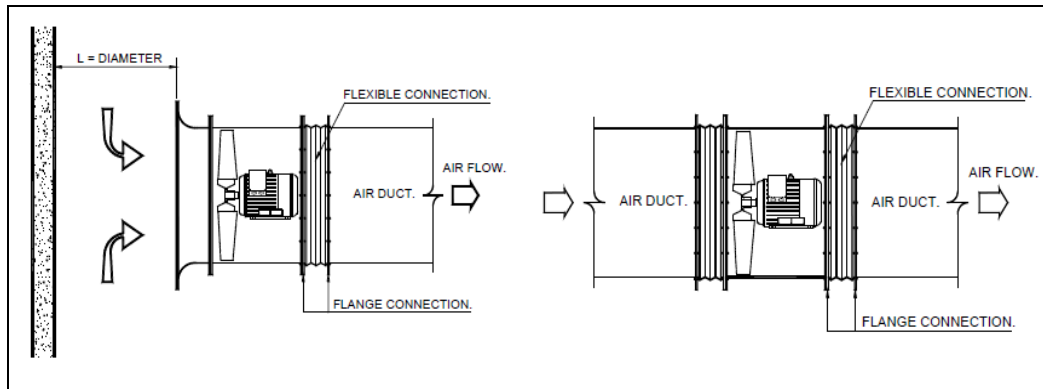
Đường kính ngoài tối thiểu của cánh D :
$$D_{toithieu} [mm] = \frac{29000}{N_{rpm}} \sqrt{\Delta p [Pa]}$$

Kiểm tra tỷ số $D_t / D = 0,50 - 0,85$. Áp suất yêu cầu càng cao, tỷ số này càng nhỏ.
 Thường $D_t / D = 0,70 - 0,76$.

Bề rộng cánh b :
$$b \leq 0,46 D_t$$

8 MỘT SỐ LƯU Ý KHI LẮP ĐẶT QUẠT

8.1 Quạt HT:



Hình 24a: Lắp quạt HT

Tránh để vật cản trước quạt, nên cách xa lớn hơn 1 lần đường kính, nên có ống nối mềm giữa quạt và đường ống, cần lắp quạt trên nền-khung vững chắc và giảm rung.

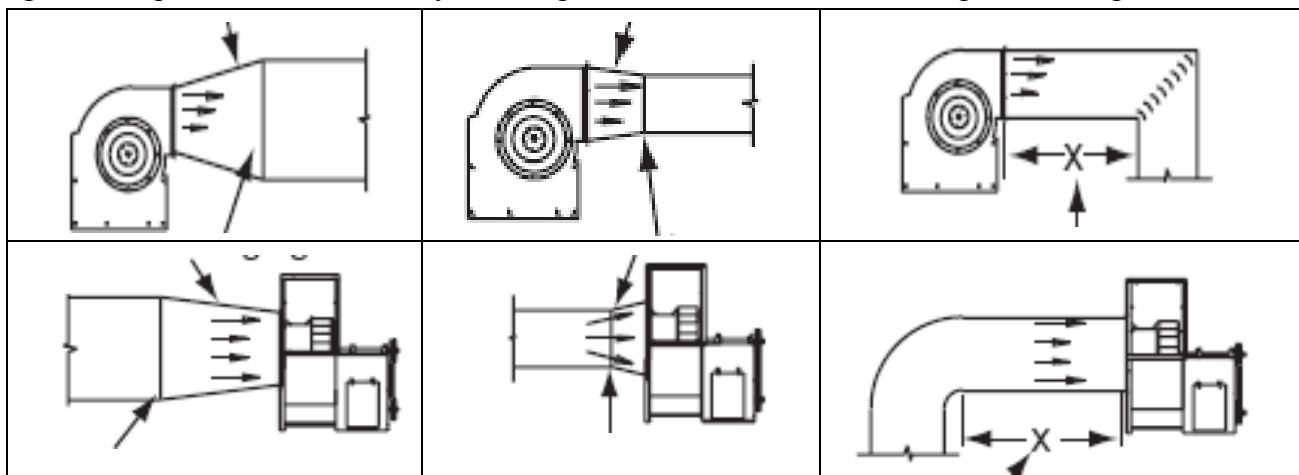
H3 trường hợp nên tránh khi lắp quạt

<p>a/ Co cong quá gần có bán kính nhỏ gây rối dòng và ồn</p>	<p>b/ Chuyển tiếp gắt gây rối và ồn</p>	<p>c/ Quạt đặt không trùng tâm đường ống cũng gây rối</p>

Hình 24b: Lắp quạt HT

8.2 Quạt LT

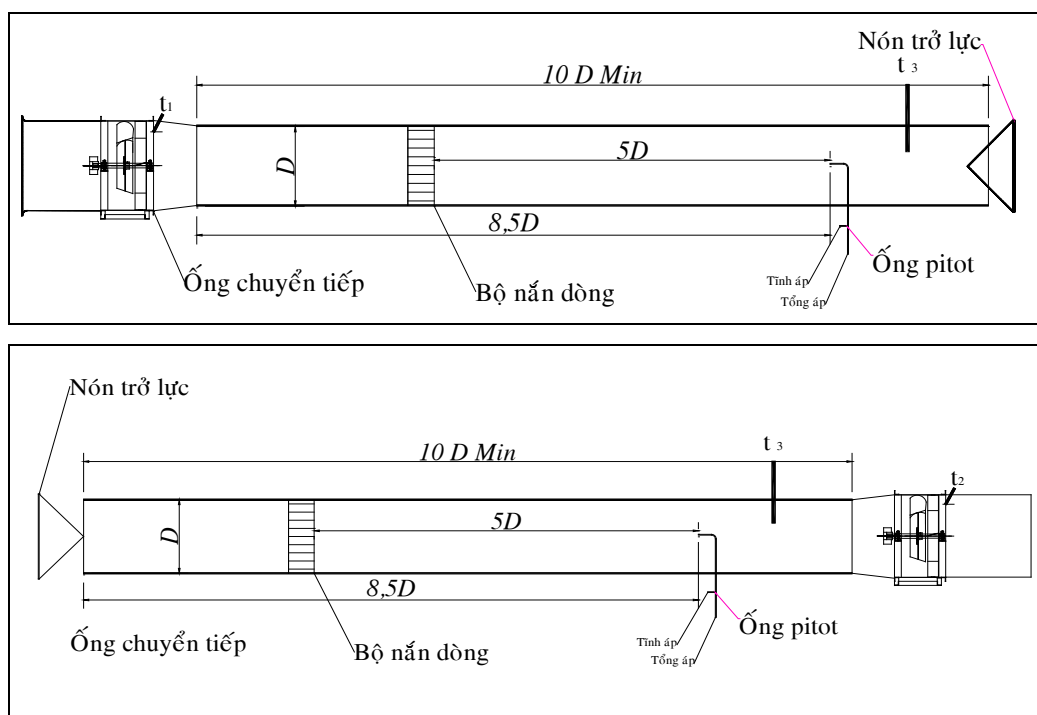
Quạt và đường ống nên có tiết diện tương ứng (tiết diện đường ống tốt nhất từ 95 – 105% tiết diện miệng hút hoặc thổi của quạt), với góc nghiêng chuyển tiếp mở rộng nhỏ hơn 7° và góc thu hẹp nhỏ hơn 15° , co chuyên hướng nên cách xa hơn 2,5 lần đường kính miệng ra



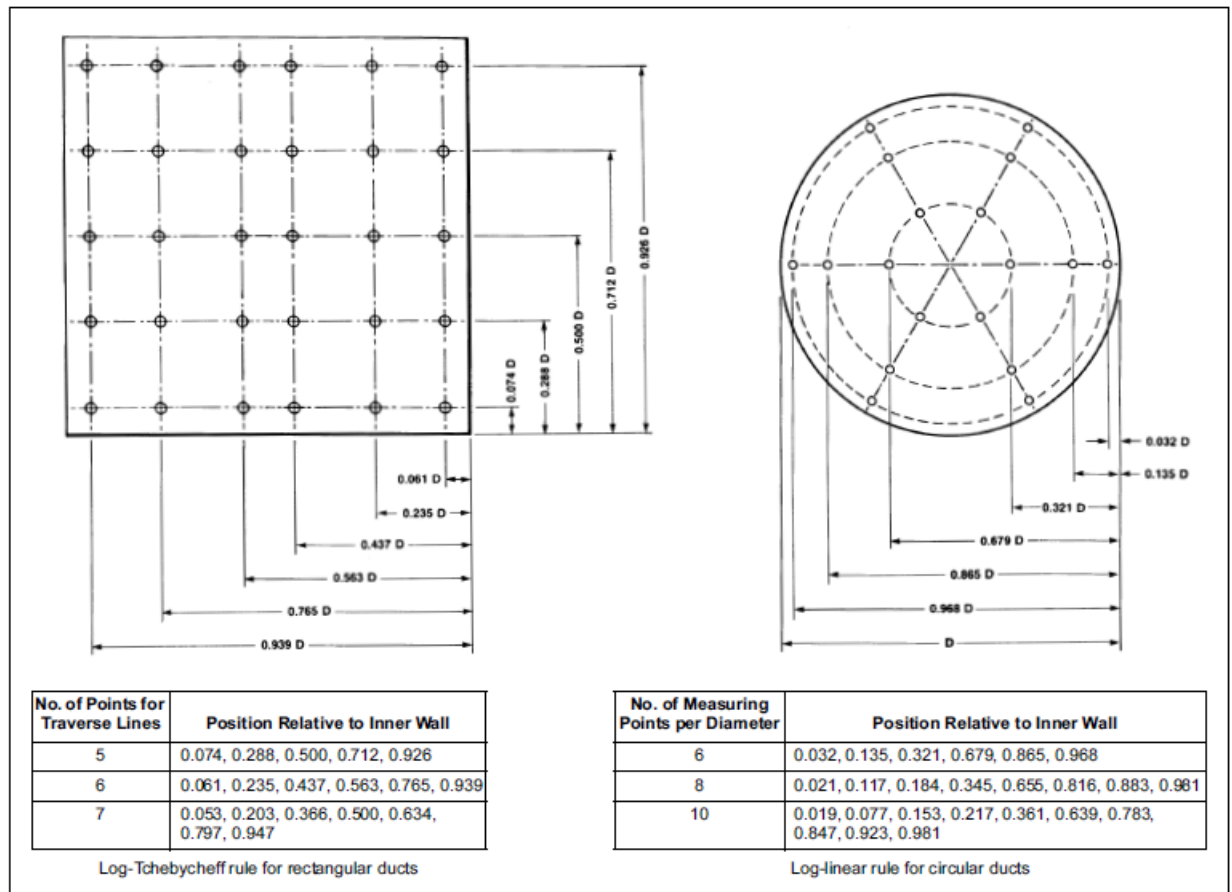
Hình 25: Lắp quạt LT

9 KHẢO NGHIỆM QUẠT & ĐO VẬN TỐC TRONG ỐNG

9.1 Ống khảo nghiệm quạt và vị trí đo (JIS B8330)



Hình 26a: Bố trí khảo nghiệm đẩy (a) và hút (b)



Hình 26b: các vị trí đo động áp (vận tốc) trong ống tròn và chữ nhật

9.2 Tính toán

9.2.1 Theo phương pháp ống pitot

Tĩnh áp trung bình:
$$P_s = \frac{\sum P_{sr}}{n} \quad [mmH_2O]$$

Động áp trung bình tại vị trí đo:
$$P_v = \left[\frac{\sum \sqrt{P_{vr}}}{n} \right]^2 \quad [mmH_2O]$$

Vận tốc trung bình:
$$V = 0,23576 * \sqrt{P_v} * \sqrt{(t + 273)}$$

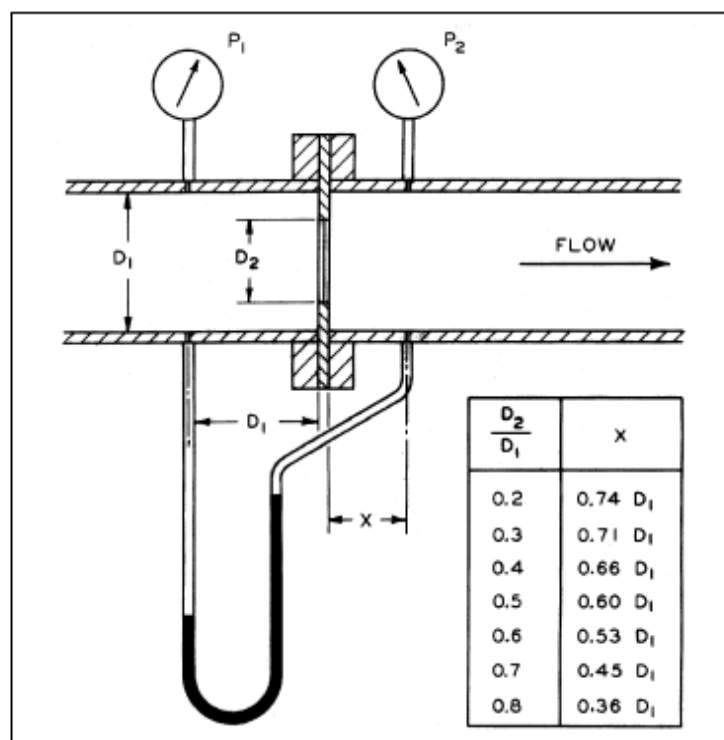
Lưu lượng:
$$Q = V * A \quad [m^3/s]$$

Công suất khí:
$$P = (Q * P_s) / 102 \quad [kW]$$

Hiệu suất tĩnh: $\eta = P / P_{tt}$ [%]

Công suất điện tiêu thụ: $P_{tt} = P_{mt} - P_{ck}$ [kW]

9.2.2 Theo phương pháp lỗ (orifices)



(Theo ASME PTC 19.5)

$$\text{Lưu lượng } Q = Q = A_0 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad [m^3/s]$$

$$\text{Trong đó: } C_d = 0.5959 - 0.0312\beta^{2.1} - 0.184\beta^8 + \frac{91.71\beta^{2.5}}{Re^{0.75}}$$

$$\text{Với } Re > 30\,000 \quad C_d = 0.61$$

A_0 : tiết diện ống, [m²]; ρ : khối lượng riêng [kg/m³]; $\beta = d_2/d_1$ (tỷ số đường kính lỗ/ đường kính ống); p_1, p_2 : tĩnh áp tại vị trí 1, 2 [mmH₂O].

10 TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

LÊ CHÍ HIỆP. 2010. *Giáo trình Điều Hòa Không Khí*. NXB KH&KT

NGUYỄN HÙNG TÂM. 2006. *Bài giảng bơm quạt dùng trong nhiệt lạnh*. Sử dụng nội bộ.

NGUYỄN MINH TUYỀN. 2005. *Bơm, máy nén, quạt trong công nghệ*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà nội

PHAN HIẾU HIỀN, N. V. XUÂN, N.H. TÂM, L.V.BẠN, T.VĨNH. 2000. *Máy sấy hạt ở Việt Nam*. NXB Nông nghiệp, TP Hồ Chí Minh, Việt nam.

VÕ CHÍ CHÍNH. 2005. *Giáo trình Điều Hòa Không Khí*. NXB KH&KT Hà Nội

TCVN 5965–1995. Âm học và đo tiếng ồn môi trường, áp dụng các biện pháp giới hạn.

Tiếng Anh

ASAE (American Society of Agricultural Engineers).1995. *Yearbook 1994*

ASHRAE handbook. 2004. *Systems and Equipment*; 2005. *Fundamental*.

BLEIER, FRANK P. 1997. *Fan Handbook: selection, application, and design*. McGraw-Hill 1998.

CENGEL Y. A. 2006. *Fluid mechanics: Fundamentals and Applications*. McGraw-Hill. Singapore.

ECK B. 1973. *Fans: Designs and operation of centrifugal, axial-flow, and cross-flow fans*. Pergamon Press, Oxford, England.

JAPANESE MINISTRY OF TRADE AND INDUSTRY. 1968. *Japanese Industrial Standards: Testing methods for fans and blowers*. Tokyo, Japan.

US Department of Energy, 2003. *Improving Fan system performance*. A sourcebook for industry.