TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN

NGUYỄN VĂN MAY

Nguyễn Văn Tâm

BƠM, QUẠT, MÁY NÉN

(Giáo trình dùng cho sinh viên các trường đại học, cao đẳng kỹ thuật...)

(In lần thứ năm)

Hiệu đính: PGS. NGUYỄN NHƯ THUNG

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

LỜI NÓI ĐẦU

"Bơm, quạt, máy nén" là một trong những môn học quan trọng của sinh viên ngành máy và thiết bị thực phẩm, máy và thiết bị hóa chất. Cuốn sách "Bơm, quạt, máy nén" này được viết dựa trên giáo trình cùng tên đã được dùng làm tài liệu học tập chính cho sinh viên các ngành trên của Trường đại học Bách khoa Hà Nội trong những năm gần đây.

Nội dung cuốn sách đề cập đến lý thuyết của các loại bơm, quạt và máy nén. Trên cơ sở những lý thuyết đã nêu, đưa ra những dạng kết cấu tối ưu của từng loại. Ngoài ra, sách còn đề cập đến cấu tạo cụ thể của một số bơm, quạt và máy nén hiện đang lưu hành trên thị trường. Sách còn đề cập đến hệ thống bơm, quạt và máy nén thường dùng trong thực tế sản xuất ở các nhà máy hóa chất, thực phẩm, sinh học, các nhà cao tầng, các trạm bơm v.v.

Sách sẽ phục vụ tốt cho việc nghiên cứu, giảng dạy, học tập trong các trường đại học, trung học chuyên nghiệp, dạy nghề, đồng thời cũng có ích cho những người đang công tác ở các viện nghiên cứu và các cơ sở có sản xuất và sử dụng các loại máy trên.

Thứ nguyên của các đại lượng chủ yếu sử dụng hệ đo lường quốc tế (SI).

Trong quá trình biên soạn, tuy đã có nhiều cố gắng song không tránh khỏi những sơ suất, mong các bạn đồng nghiệp và bạn đọc xa gần góp ý kiến để hoàn chỉnh trong các lần tái bản sau.

Tác giả

NGUYỄN HỮNG TÂN

Chương 1

KHÁI NIỆM CHUNG VÀ PHÂN LOẠI

Bơm, quạt, máy nén là nhóm máy công tác trong các loại máy thủy lực.

Khi đi qua máy công tác, lưu thể thu nhận năng lượng. Ngược lại khi đi qua máy động lực (tuabin thủy lực) thì lưu thể cho năng lượng. Trong quá trình nhận hay cho năng lượng của lưu thể đều tuân theo định luật Becnuli. Mô hình hoạt động của máy công tác được thể hiện ở hình 1.1.

Năng lượng E mà lưu thể đi qua máy công tác đã nhận được, thể hiện ở phương trình:

$$E = [P_2 + \rho \frac{C_2^2}{2} + \rho g H_2] - [P_1 + \rho \frac{C_1^2}{2} + \rho g H_1], \text{ N/m}^2, \qquad (1.1)$$

trong đó:

P_1, P_2 - áp suất của lưu thể tại điểm *1* và *2*, N/m^2;

C_1, C_2 - vận tốc của lưu thể tại điểm *1* và *2*, m/s;

g - gia tốc trọng trường, m/s^2;

ρ - khối lượng riêng của lưu thể, kg/m^3;

H_1, H_2 - chiều cao tại điểm *1* và *2* so với mặt thoáng của bể hút, m.

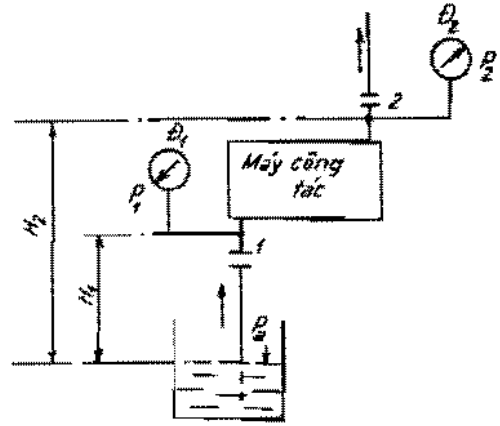
Áp suất của lưu thể đo bằng các thứ nguyên khác nhau:

1 kG/cm^2 = 10m H_2O = $9,81 N/cm^2$;

1 mm Hg = 13,6 mm H_2O;

1 átmốtphe kỹ thuật = 10m H_2O;

1 átmốtphe vật lý = 10,33 m H_2O.



Hình 1.1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của máy công tác.

Khi áp suất P_1, P_2 được đo bằng mét cột chất lỏng thì phương trình (1.1) chuyển thành:

$$E = \rho \frac{C_2^2 - C_1^2}{2} + \rho g \left[P_2 - P_1 + (H_2 - H_1)\right], \text{ N/m}^2. \quad (1.2)$$

Năng lượng E mà chất lỏng nhận được theo phương trình (1.1) hoặc (1.2) cộng thêm tổn thất năng lượng ΔE do chất lỏng chảy trong máy công tác sẽ là năng lượng lý thuyết E_{lt}.

Hệ số hiệu dụng năng lượng của máy công tác sẽ là:

$$\eta_{lt} = \frac{E}{E + \Delta E} = \frac{E}{E_{lt}} = \frac{H}{H + \Delta H} = \frac{H}{H_{lt}}. \quad (1.3)$$

Các máy công tác làm việc theo các nguyên lý chính sau đây:

- nguyên lý thể tích;
- nguyên lý ly tâm;
- nguyên lý cánh năng;
- nguyên lý phun tia .

Chương 2

CÁC NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA BƠM, QUẠT VÀ MÁY NÉN

2.1. NGUYÊN LÝ THỂ TÍCH

Nguyên lý thể tích được ứng dụng để thiết kế và chế tạo bơm và máy nén. Đối với bơm thì lưu thể là các chất lỏng, còn đối với máy nén thì lưu thể là các chất khí hay hơi. Nguyên lý chính của máy là tạo ra một dung tích thay đổi từ nhỏ đến lớn và ngược lại. Khi dung tích của máy từ giá trị bằng không tăng dần đến giá trị lớn nhất có thể được là quá trình hút lưu thể. Khi dung tích giảm dần về giá trị không là quá trình nén và đẩy lưu thể. Cứ mỗi lần hút và đẩy, máy vận chuyển được một lưu lượng lưu thể nhất định. Dung tích này phụ thuộc vào cấu tạo và vòng quay của máy cũng như tính chất và áp lực của lưu thể. Trong quá trình máy hoạt động sự thay đổi trạng thái của lưu thể luôn tuân theo định luật sau đây:

$$PV = \text{const và } PV^k = \text{const}, \tag{2.1}$$

trong đó:

P - áp suất lưu thể;

V - thể tích lưu thể;

k - hệ số; $k = 1,4$.

Khi máy làm việc với lưu thể không co dãn (khi $V = \text{const}$) cần tránh tăng hay giảm quá nhanh thể tích làm việc của máy để không làm hư hỏng máy hoặc cháy động cơ do quá tải. Muốn thế cần chú ý:

- trước khi cho máy chạy phải mở van chặn phía cửa đẩy;
- lắp van an toàn để xả nhanh lưu thể từ không gian nén sang không gian hút của máy.

Từ nguyên lý thể tích có thể thiết kế và chế tạo ra rất nhiều kiểu máy bơm và máy nén, sẽ được đề cập đến ở các phần sau.

2.2. NGUYÊN LÝ LY TÂM

Nguyên lý này được ứng dụng cho cả bơm, quạt và máy nén. Hình 2.1 giúp ta nghiên cứu chuyển động của lưu thể chứa đầy trong kênh nằm giữa hai vách hình vành

khuyên song song nhau, cách nhau một khoảng b và hai vách chắn có chiều cao bằng b.

Kênh chứa đầy lưu thể có khối lượng riêng ρ, quay chung quanh tâm O với vận tốc góc ω. Ta xét thành phần của lưu thể có khối lượng dm trong kênh giới hạn bởi mặt cong có bán kính r và $r + dr$ (phần được gạch chéo).

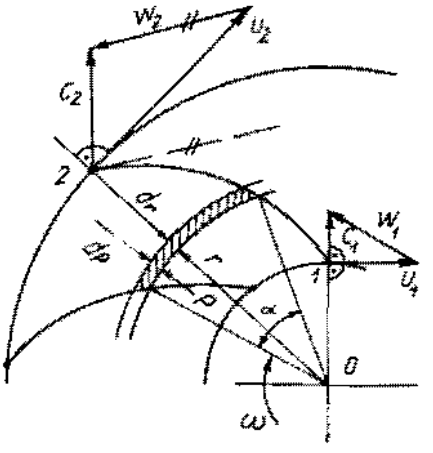
$$dm = \rho.a.b.r.dr = \rho.f.dr, \qquad (2.2)$$

$f = ab$ - diện tích mặt cong có bán kính r.

Lực ly tâm dR tác động lên thành phần chất lỏng dm được thể hiện ở công thức:

$$dR = - \omega dm = -r\omega^2 dm. \qquad (2.3)$$

Mặt khác do có chênh lệch áp suất giữa hai mặt cong của thành phần chất lỏng nên có một lực hướng tâm dF tác dụng lên dm. Lực hướng tâm được thể hiện ở công thức:



Hình 2.1. Nguyên lý ly tâm.

$$dF = f(p + dp) - fp = fdp \qquad (2.4)$$

Điều kiện cân bằng của khối dm thể hiện công thức:

$$dR + dF = 0 \qquad (2.5)$$

Thay các giá trị ở đầu trên vào ta có:

$$- r.\omega^2.\rho.a\ b.r.dr + a.r.b.dp = 0$$

hay

$$dp = \rho.\omega^2 r.dr \qquad (2.6)$$

Tính tích phân trên từ *1* (cửa vào của kênh) đến *2* (cửa ra) ta sẽ thu được hiệu áp suất $P_2 - P_1$ của kênh. Đó chính là năng lượng mà các lưu thể thu được do đi qua kênh quay. Nếu chúng ta chế tạo các kênh liên tiếp trên vòng tròn sẽ có guồng động của bơm, quạt hoặc máy nén. Cấu tạo của từng loại guồng sẽ được đề cập đến ở các phần sau.

$$P_2 - P_1 = \rho.\omega^2 \int_{r_1}^{r_2} r.dr = \rho \frac{U_2^2 - U_1^2}{2}, \text{ N/m}^2, \qquad (2.7)$$

trong đó: $\omega = \dfrac{\pi.n}{30}$;

$U_1 = \omega.r_1$;

$U_2 = \omega.r_2$;

n - số vòng quay của kênh, vg/ph.

Công thức (2.7) cho ta thấy các kết luận sau đây:

1) Hiệu $P_2 - P_1$ (năng lượng mà lưu thể thu được) phụ thuộc vào ρ. Khối lượng của các lưu thể rất khác nhau. Ở điều kiện áp suất khí quyển (áp suất không khí gần mặt

nước biển) thì khối lượng riêng của nước lớn gấp 830 lần khối lượng riêng của không khí. Vì vậy phải làm đầy guồng động (mồi) của bơm ly tâm trước khi khởi động.

2) Muốn $P_2 - P_1$ lớn thì cửa *1* càng phải gần O và cửa 2 thì ngược lại.

3) Hiệu $P_2 - P_1$ phụ thuộc vào bình phương giá trị của số vòng quay n và bán kính cửa ra r_2.

Tam giác vận tốc $\vec{C}_1 = \vec{U}_1 + \vec{W}_1$; $\vec{C}_2 = \vec{U}_2 + \vec{W}_2$ không những phụ thuộc vào số vòng quay n, bán kính r_1, r_2 mà còn phụ thuộc vào hình dạng của vách ngăn giữa các kênh (cánh) của guồng động. Sự tăng của động năng không phụ thuộc vào sự gia tăng của áp suất vì tam giác vận tốc ở cửa vào nhỏ hơn ở cửa ra, tức là $C_1 < C_2$.

U_1, U_2 - vận tốc vòng, m/s;

W_1, W_2 - vận tốc tương đối giữa lưu thể và cánh guồng động, m/s;

C_1, C_2 - vận tốc tuyệt đối của lưu thể, m/s.

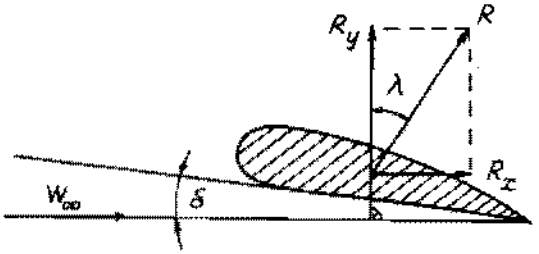
Cánh của guồng động có thể cong về trước, về sau; cong nhiều hoặc ít.

Cánh có thể thẳng theo hướng kính hay nghiêng về trước, sau; cánh có thể cong mặt trụ hoặc cong xoắn.

2.3. NGUYÊN LÝ CÁNH NÂNG

Đây là nguyên lý được dùng trong thiết kế và chế tạo cánh máy bay. Hình 2.2 thể hiện tiết diện ngang của cánh, chiều chuyển động của lưu thể cùng các lực tác dụng lên cánh.

Dòng lưu thể chuyển động từ xa đến cánh với vận tốc W_∞ (xem như ổn định hướng và vận tốc) trùm lên cánh. Do cánh đặt nghiêng một góc δ so với dòng lưu thể nên phía trên lưng cánh tạo ra các xoáy lưu thể, chính vì vậy mà dòng lưu thể đã tác động lên cánh một lực R có phương tạo với phương thẳng đứng một góc λ. Lực R được phân tích thành R_y (lực nâng) và R_x (lực cản):



Hình 2.2. Nguyên lý cánh nâng.

$$\left.\begin{aligned} R_y &= C_y S \frac{\gamma}{2g} W_\infty^2; \\ R_y &= C_x S \frac{\gamma}{2g} W_\infty^2, \end{aligned}\right\} \qquad (2.8)$$

trong đó:

C_y - hệ số tỷ lệ của lực nâng;

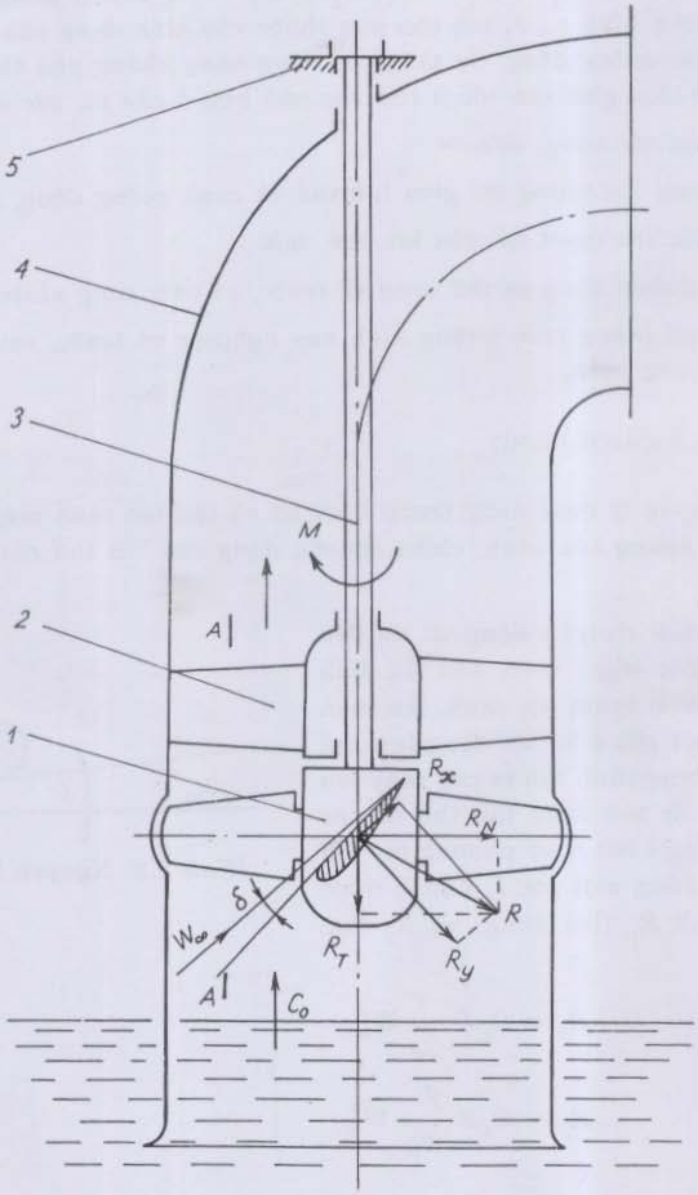
C_x - hệ số tỷ lệ của lực cản;

S - bề mặt cánh, m^2;

γ - trọng lượng riêng của lưu thể, N/m^3;

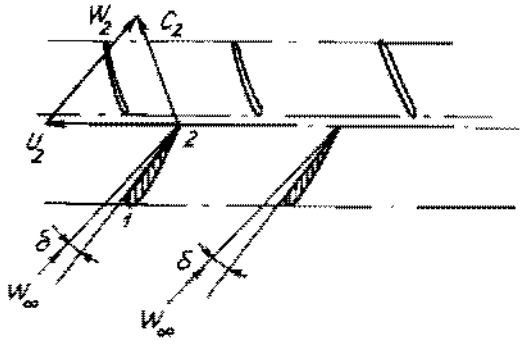
g - gia tốc trọng trường, m/s^2.

Nguyên lý cánh nâng còn được áp dụng trong việc thiết kế chế tạo tuabin máy phát điện, guồng động của bơm và cánh quạt hướng trục, máy nén hướng trục.

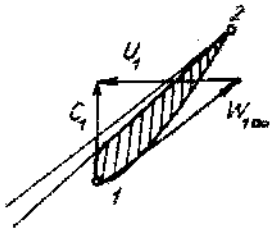


Hình 2.3. Nguyên lý cấu tạo bơm cánh nâng:
1- guồng động; 2- guồng khuếch tán; 3- trục;
4- vỏ bơm; 5- ổ đỡ.

Hình 2.3 thể hiện nguyên lý cấu tạo của bơm cánh nâng (quen gọi là bơm trục đứng hay bơm hướng trục).



Hình 2.4. Khai triển mặt cắt hình trụ đi qua A - A ở hình 2.3.



Hình 2.5. Tam giác vận tốc.

Hình 2.4 thể hiện mặt cắt hình trụ quanh guồng động đi qua A - A ở hình 2.3 và khai triển ra - hình 2.5 - thể hiện tam giác vận tốc ở cửa vào của guồng động. Tam giác vận tốc ở cửa ra thể hiện ở hình 2.4.

$$\vec{C}_1 = \vec{W}_1 + \vec{U}_1; \vec{C}_2 = \vec{W}_2 + \vec{U}_2 \qquad (2.9)$$

Từ hình 2.3 ta thấy: khi guồng động quay dưới tác dụng của mômen quay M thì nước sẽ được hút và đẩy lên qua guồng khuếch tán (cánh tĩnh) chảy vào ống đẩy. Lực R tác dụng lên guồng động qua các cánh guồng. Lực này được phân tích thành lực thẳng đứng R_T và lực ngang R_N. Lực R_T tác dụng lên gối đỡ chặn; lực R_N tạo ra mômen cản có xu hướng bắt guồng động quay theo chiều ngược lại.

Guồng khuếch tán có tác dụng biến động năng của chất lỏng lúc rời guồng động thành thế năng.

Cấu tạo cụ thể của guồng động cũng như guồng khuếch tán được đề cập ở phần sau.

2.4. NGUYÊN LÝ PHUN TIA

Nguyên lý này dựa trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng của dòng lưu thể mà Becnuli đã thể hiện qua phương trình sau:

$$P + \rho . \frac{C^2}{2} + \rho g.(Z + H_\delta) = \text{const}, \qquad (2.10)$$

trong đó:

P - áp suất dòng chảy, N/m^2;

ρ - khối lượng riêng của lưu thể, kg/m^3;

C - vận tốc dòng chảy, m/s;

g - gia tốc trọng trường, m/s;

Z - chiều cao cột chất lỏng;

H_0 - trở lực đường ống, m.

Từ phương trình (2.10) ta thấy: khi vận tốc tăng lên thì áp suất sẽ giảm đi hoặc ngược lại. Như vậy tại chỗ dòng chảy của lưu thể có vận tốc lớn (miệng ra của vòi phun) ta tạo ra không gian có ống thông với nơi cần hút chất lỏng hoặc hơi; chất lỏng hay hơi sẽ được hút và cuốn theo dòng chảy. Năng suất và áp suất của thiết bị loại này tùy thuộc vào vận tốc của dòng chảy.

Thiết bị làm việc theo nguyên lý này được áp dụng để hút chân không cho các thiết bị cô đung dịch. Về mặt lý thuyết thì nó có thể tạo ra được chân không hoàn toàn. Khi đó trong điều kiện áp suất khí quyển tác dụng lên mặt thoáng của bể hút thì thiết bị này có chiều cao hút tối đa đối với nước là:

$$H_h = 760.133,322\frac{N}{m^2} = 10,33mH_2O.$$

Thiết bị này cần phải có phương tiện để tạo ra chuyển động liên tục của dòng lưu thể chính (thường dùng bơm ly tâm). Để biến năng lượng động năng thành thế năng thì sau khoảng hút phải lắp thêm ống côn.

Phương pháp tính toán thiết bị này sẽ đề cập ở phần sau.