

PGS. TS. HOÀNG ĐỨC LIÊN

GIÁO TRÌNH **KỸ THUẬT THỦY KHÍ**



HÀ NỘI - 2007

SachDeThi.Com

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG NGHIỆP HÀ NỘI**

PGS.TS. HOÀNG ĐỨC LIÊN

Giáo trình
KỸ THUẬT
THỦY KHÍ

HÀ NỘI – 2007

LỜI NÓI ĐẦU

Nhằm đáp ứng yêu cầu giảng dạy và học tập của giáo viên và sinh viên thuộc ngành Kỹ thuật cơ khí nông nghiệp của các trường đại học kỹ thuật, chúng tôi biên soạn cuốn giáo trình “KỸ THUẬT THỦY KHÍ” Theo chương trình khung Giáo dục Đào tạo đã được Bộ Giáo dục và Đào tạo duyệt, với khối lượng 3 tín chỉ (credits). Giáo trình được trình bày ngắn gọn, dễ hiểu, đề cập những nội dung cơ bản trọng tâm của môn học: Cơ học chất lỏng đại cương, Máy thủy khí. Trong mỗi chương của giáo trình có đưa thêm phần ví dụ và bài tập để sinh viên tham khảo, làm bài tập thực hành và củng cố lý thuyết..

Ngoài ra cuốn sách này có thể dùng làm tài liệu học tập, tham khảo cho sinh viên các ngành Đại học khác, sinh viên hệ cao đẳng kỹ thuật cơ khí..

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự đóng góp ý kiến quý báu của GS.TSKH. Vũ Duy Quang - nguyên trưởng bộ môn Thủy khí kỹ thuật và Hàng không, Trường đại học Bách khoa Hà Nội cùng các đồng nghiệp.

Tuy nhiên do trình độ có hạn nên không tránh khỏi thiếu sót, rất mong được các độc giả phê bình góp ý.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự đóng góp ý kiến của các độc giả!

Hà Nội, tháng 02 năm 2008

Tác giả

MỤC LỤC

Trang

PHẦN A : CƠ HỌC CHẤT LỎNG ĐẠI CƯƠNG

Chương I: MỞ ĐẦU	7
1.1. Đối tượng, phương pháp nghiên cứu môn học	7
1.2. Sơ lược về lịch sử phát triển môn học, ứng dụng	7
1.3. Một số tính chất cơ lý cơ bản của chất lỏng	8
1.4. Ví dụ và Bài tập	14
Chương II: TĨNH HỌC CHẤT LỎNG	16
2.1. Áp suất thủy tĩnh	16
2.2. Phương trình vi phân của chất lỏng cân bằng	17
2.3. Phương trình cơ bản của thủy tĩnh học	19
2.4. Tĩnh tương đối	22
2.5. Tĩnh áp lực thủy tĩnh	23
2.6. Một số ứng dụng của thủy tĩnh học	27
2.7. Tĩnh học chất khí	32
2.8. Ví dụ và Bài tập	35
Chương III: ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG	43
3.1. Khái niệm chung	43
3.2. Phương trình liên tục của dòng chảy	45
3.3. Phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng lý tưởng	
- phương trình Ôle động	48
3.4. Phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng thực	
- Phương trình Navie- Stokes	49
3.5. Phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố	
chất lỏng lý tưởng	52
3.6. Phương trình Becnuli viết cho dòng chất lỏng thực	56
3.7. Một số ứng dụng của phương trình Becnuli	59
3.9. Phương trình biến thiên động lượng đối với chuyển động dừng	60
3.10. Ví dụ và Bài tập	66
Chương IV: CHUYỂN ĐỘNG MỘT CHIỀU CỦA CHẤT LỎNG	
KHÔNG NÉN ĐƯỢC	76

4.1. Hai trạng thái chảy của chất lỏng. Số Raynôn	76
4.2. Tổn thất năng lượng dòng chảy	77
4.3. Dòng chảy tầng trong ống. Dòng Hagen - Poadoi	82
4.4. Dòng chảy rối trong ống	84
4.5. Dòng chảy tầng trong các khe hẹp	85
4.6. Dòng chảy trong khe hẹp do ma sát - Cơ sở lý thuyết bồi trơn thủy động	86
4.7. Ví dụ và Bài tập	89
Chương V: CHUYỂN ĐỘNG MỘT CHIỀU CỦA CHẤT KHÍ	96
5.1. Các phương trình cơ bản của chất khí	96
5.2. Các thông số của dòng khí : vận tốc âm, dòng hãm, dòng tới hạn	98
5.3. Chuyển động của chất khí trong ống phun	100
5.4. Tính toán dòng khí bằng các hàm khí động và biểu đồ	103
5.5. Ví dụ và Bài tập	108
Chương VI: TÍNH TOÁN THUỶ LỰC VỀ ĐƯỜNG ỐNG	112
6.1. Cơ sở lý thuyết để tính toán đường ống	112
6.2. Tính toán thủy lực đường ống đơn giản	114
6.3. Tính toán thủy lực đường ống phức tạp	115
6.4. Phương pháp dùng hệ số đặc trưng lưu lượng K	120
6.5. Phương pháp đồ thị để tính toán đường ống	122
6.6. Va đập thủy lực trong đường ống	124
6.7. Chuyển động của chất khí trong ống dẫn	126
6.8. Ví dụ và Bài tập	132
Chương VII: VẬT NGẬP TRONG CHẤT LỎNG CHUYỂN ĐỘNG	146
7.1. Lực nâng : công thức tổng quát - lực nâng - định lý Giucopski – Kútta	146
7.2. Lớp biên	148
7.3. Một số bài toán lớp biên	153
7.4. Lớp biên nhiệt độ	159
7.5. Ví dụ và Bài tập	164
Chương VIII: DÒNG TIA	172
8.1. Khái niệm về dòng tia	172
8.2. Các đặc trưng thủy khí động cơ bản của dòng tia	174
8.3. Một số ví dụ về tính toán dòng tia ngập đối xứng	176
8.4. Ví dụ và Bài tập	182
	187

Chương IX: CƠ SỞ LÝ THUYẾT THỨ NGUYÊN, TƯƠNG TỰ	187
9.1. Lý thuyết thứ nguyên - Định lý Pi và ứng dụng	190
9.2. Các tiêu chuẩn tương tự	192
9.3. Mô hình hoá từng phần	193
9.3. Ví dụ và Bài tập	

Phần B: MÁY THUỶ KHÍ

Chương X: KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BƠM	198
10.1. Vài nét về quá trình phát triển của máy bơm	198
10.2. Công dụng và phân loại	198
10.3. Các thông số cơ bản của máy bơm	199
10.4. Ví dụ và Bài tập	204
Chương XI: BƠM LY TÂM	208
11.1. Khái niệm chung	208
11.2. Lý thuyết cơ bản về bơm ly tâm	209
11.3. ứng dụng luật tương tự trong bơm ly tâm	213
11.4. Đường đặc tính của bơm ly tâm	216
11.5. Điểm làm việc, điều chỉnh bơm ly tâm	219
11.6. Ghép bơm ly tâm	221
11.7. Một số điểm chú ý trong kết cấu và sử dụng bơm ly tâm	223
11.8. Ví dụ và Bài tập	225
Chương XII: BƠM PISTON	234
12.1. Khái niệm chung	234
12.2. Lưu lượng của bơm piston	236
12.3. Phương trình chuyển động của chất lỏng trong bơm piston	239
12.4. Khắc phục hiện tượng không ổn định của chuyển động chất lỏng trong bơm piston	241
12.5. Đường đặc tính của bơm piston	243
12.6. Ví dụ và Bài tập	244
<i>Tài liệu tham khảo</i>	248
<i>Phụ lục</i>	249

Phần A

CƠ HỌC CHẤT LỎNG ĐẠI CƯƠNG

Chương I MỞ ĐẦU

1.1. ĐỐI TƯỢNG, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU MÔN HỌC

1.1.1. Đối tượng

Đối tượng nghiên cứu của môn học là chất lỏng. Chất lỏng ở đây được hiểu theo nghĩa rộng, bao gồm chất lỏng ở thể nước - chất lỏng không nén được (khối lượng riêng $\rho = \text{const}$) và chất lỏng ở thể khí - chất lỏng nén được (khối lượng riêng $\rho \neq \text{const}$)

Kỹ thuật thủy khí là một môn khoa học cơ sở nghiên cứu các qui luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng đồng thời vận dụng những qui luật ấy để giải quyết các vấn đề kỹ thuật trong thực tiễn sản xuất và đời sống. Chính vì thế mà nó có vị trí là nhịp cầu nối giữa những môn khoa học cơ bản với những môn kỹ thuật chuyên ngành.

Kỹ thuật thủy khí được chia thành phần chính:

+ **Cơ học chất lỏng đại cương:** Nghiên cứu những qui luật cân bằng, chuyển động của chất lỏng và ứng dụng những qui luật ấy để giải quyết các vấn đề trong thực tiễn kỹ thuật, sản xuất và đời sống. Các vấn đề về tính toán thủy lực đường ống, vật ngập trong chất lỏng chuyển động và cơ sở lý thuyết về thứ nguyên, tương tự.

+ **Máy thủy khí:** ứng dụng kiến thức đại cương về cơ học chất lỏng để phân loại, nghiên cứu lý thuyết cơ bản của một số loại máy thủy khí thông dụng như bơm Ly tâm, bơm Piston ...

1.1.2. Phương pháp nghiên cứu

Trong kỹ thuật thủy khí thường dùng 3 phương pháp nghiên cứu phổ biến sau đây:

Phương pháp lý thuyết: Sử dụng công cụ toán học, chủ yếu là toán giải tích, phương trình vi phân với các toán tử vi phân quen thuộc như: gradient, divergent, rotor, toán tử Laplas, đạo hàm toàn phần... Sử dụng các định lý tổng quát của cơ học như định lý bảo toàn khối lượng, năng lượng, định lý biến thiên động lượng, mô men động lượng ...

Phương pháp thực nghiệm: dùng trong một số trường hợp mà không thể giải bằng lý thuyết (xác định hệ số cản cục bộ, hệ số λ ...)

Phương pháp bán thực nghiệm: Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm.

1.2. SƠ LƯỢC VỀ LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN MÔN HỌC. ỨNG DỤNG

1.2.1. Sơ lược lịch sử phát triển môn học

Ngay từ thời xa xưa, loài người đã biết lợi dụng sức nước phục vụ cho sinh hoạt đời sống, làm nông nghiệp, thủy lợi, kênh đập, thuyền bè...

Nhà bác học Ácsimet (287-212, trước công nguyên) đã phát minh ra lực đẩy Ácsimet tác dụng lên vật nhúng chìm trong lòng chất lỏng.

Nhà danh họa ý - Lêôna Đơvanhxi (1452-1519) đưa ra khái niệm về lực cản của chất lỏng lên vật chuyển động trong nó. Ông muốn biết tại sao chim lại bay được. Nhưng phải hơn 400 năm sau, Jucopxki và Kutta mới giải thích được: đó là lực nâng.

1687 - Nhà bác học thiên tài người Anh I. Newton đã đưa ra giả thuyết về lực ma sát trong giữa các lớp chất lỏng chuyển động mà mãi hơn một thế kỷ sau nhà bác học Nga - Petrop mới chứng minh giả thuyết đó bằng biểu thức toán học, làm cơ sở cho việc nghiên cứu chất lỏng lực (chất lỏng nhớt) sau này.

Hai ông L.Ô le (1707-1783) và D.Becnuli (1700-1782) là những người đã đặt cơ sở lý thuyết cho thủy khí động lực, tách nó khỏi cơ học lý thuyết để thành lập một ngành riêng.

Tên tuổi của Navie và Stôc gắn liền với nghiên cứu chất lỏng thực. Hai ông đã tìm ra phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng (1821-1845).

Nhà bác học Đức - L.Prandtl đã sáng lập ra lý thuyết lớp biên (1904), góp phần giải quyết nhiều bài toán động lực học.

Ngày nay, ngành thủy khí động lực học đang phát triển với tốc độ vũ bão, thu hút sự tập trung nghiên cứu của nhiều nhà khoa học nổi tiếng trên thế giới và trong nước; nó can thiệp hầu hết tới tất cả các lĩnh vực đời sống, kinh tế, quốc phòng.. nhằm đáp ứng mọi nhu cầu cấp bách của nền khoa học công nghệ hiện đại của thế kỷ 21.

1.2.2. Ứng dụng

Phạm vi ứng dụng của môn học khá rộng rãi: có thể nói không một ngành nào trong các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật công nghệ và đời sống có liên quan đến chất lỏng và chất khí như giao thông vận tải, hàng không, cơ khí, công nghệ hoá chất, xây dựng, nông nghiệp, thủy lợi... mà lại không ứng dụng ít nhiều những định luật cơ bản của thủy khí.

1.3. MỘT SỐ TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA CHẤT LỎNG. KHÁI NIỆM VỀ CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG

1.3.1. Một số tính chất dễ nhận biết

Tính liên tục: vật chất được phân bố liên tục trong không gian.

Tính dễ di động: do lực liên kết giữa các phân tử chất lỏng rất yếu, ứng suất tiếp (nội ma sát) trong chất lỏng chỉ khác 0 khi có chuyển động tương đối giữa các lớp chất lỏng.

Tính chống kéo và cắt rất kém do lực liên kết và lực ma sát giữa các phân tử chất lỏng rất yếu.

Tính dính ướt theo thành bình chứa chất lỏng.

1.3.2. Sự trao đổi nhiệt lượng và khối lượng

Nhiệt lượng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian tỷ lệ với gradien nhiệt độ, còn khối lượng chất lỏng khuếch tán truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian tỷ lệ với gradien nồng độ của chất đó trong dòng chất lỏng.

Tính chất trên được biểu diễn bởi các định luật sau đây:

Định luật Furiê:

$$q = \lambda \frac{dT}{dn'} \quad (\text{W/m}^2)$$

Định luật Fich:

$$m = D \frac{dC}{dn'} \quad (\text{kg/m}^2\text{s})$$

trong đó: q và m – nhiệt lượng và khối lượng truyền qua một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian;

T và C – nhiệt độ và nồng độ vật chất;

λ và D – hệ số dẫn nhiệt và hệ số khuếch tán.

1.3.3. Khối lượng riêng và trọng lượng riêng

- *Khối lượng riêng*: là khối lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là ρ :

$$\rho = \frac{M}{W} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-1)$$

trong đó: M - Khối lượng chất lỏng (kg)

W - Thể tích chất lỏng có khối lượng M (m^3)

- *Trọng lượng riêng*: là trọng lượng của một đơn vị thể tích chất lỏng, ký hiệu là: γ

$$\gamma = \frac{G}{W} \quad (\text{N/m}^3; \text{KG/m}^3) \quad (1-2)$$

Quan hệ giữa ρ và γ : $\gamma = \rho g$; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Bảng 1.1

Trọng lượng riêng của một số chất lỏng

Tên chất lỏng	Trọng lượng riêng, N/m^3	Nhiệt độ
Nước cất	9810	4
Nước biển	10000 - 10100	4
Dầu hoả	7750 - 8040	15
Xăng máy bay	6380	15
Xăng thường	6870 - 7360	15
Dầu nhờn	8730 - 9030	15
điezel	8730 - 9220	15
Thuỷ ngân	132890	20
Cồn nguyên chất	7750 - 7850	15

Lưu ý: Khối lượng của chất lỏng là một đại lượng không thay đổi còn trọng lượng của chúng thì phụ thuộc vào vị trí của nó.

1.3.4. Tính nén ép và tính giãn nở vì nhiệt

- **Tính nén được:** biểu thị bằng hệ số nén được (β_p). Hệ số nén ép là số giảm thể tích tương đối của chất lỏng khi áp suất tăng lên một đơn vị:

$$\beta_p = -\frac{1}{W} \frac{dW}{dp} \quad (\text{m}^2/\text{N}) \quad (1-3)$$

trong đó: W - thể tích ban đầu của chất lỏng (m^3);

dW - Số giảm thể tích khi áp suất tăng lên (m^3);

dp - Lượng áp suất tăng lên (N/m^2).

Ví dụ: hệ số β_p của nước ở nhiệt độ 0°C đến 20°C có trị số trung bình là $\frac{1}{210000000} \text{m}^2/\text{N}$; ở nhiệt độ 100°C , áp suất 500 at là $\frac{1}{250000000} \text{m}^2/\text{N}$.

- **Tính giãn nở vì nhiệt:** Biểu thị bằng hệ số giãn nở vì nhiệt (β_t), là số thể tích tương đối của chất lỏng tăng lên khi nhiệt độ tăng lên 1 độ:

$$\beta_t = \frac{1}{W} \frac{dW}{dt} \quad (1/\text{độ}) \quad (1-4)$$

Ví dụ: Trong những điều kiện thông thường: Dầu hỏa có $\beta_t = 0,000600 - 0,00800$; Thủy ngân có $\beta_t = 0,00018$.

Lưu ý: Hệ số giãn nở vì nhiệt lớn hơn nhiều so với hệ số nén được, song chúng đều là những trị số rất nhỏ mà trong một số tính toán thông thường có thể bỏ qua.

1.3.5. Tính bốc hơi và độ hoà tan

Đối với chất lỏng thành hạt nếu nhiệt độ sôi càng lớn thì độ bốc hơi giảm. Đối với hệ thống thủy lực độ bốc hơi được đặc trưng bởi áp suất bão hoà P_H . Trong điều kiện nhiệt độ không đổi, nếu áp suất bão hoà P_H càng lớn thì độ bốc hơi càng lớn.

Độ hoà tan được biểu diễn bởi công thức

$$\frac{V_k}{V_n} = k \frac{p_1}{p_2}$$

Trong đó: V_k - thể tích của khí hoà tan trong điều kiện thường;

V_n - thể tích chất lỏng;

k - độ hoà tan;

p_1 và p_2 - áp suất khí trước và sau khi hoà tan.

Độ hoà tan ở 20°C của một số chất:

Nước	Dầu xăng	Dầu biến thế
0,016	0,127	0,083

1.3.6. Sức căng bề mặt của chất lỏng

Trong nội bộ chất lỏng, các phân tử được bao bọc bởi cùng một loại phân tử nằm trong nội bộ thể tích chất lỏng, còn gần mặt thoáng chỉ còn một phía, vì vậy năng lượng của các phân tử trên mặt thoáng khác với năng lượng của các phân tử nằm trong nội bộ chất lỏng một đại lượng nào đó. Năng lượng đó được gọi là năng lượng bề mặt, nó tỷ lệ với diện tích bề mặt phân cách S:

$$E_{bm} = \sigma S$$

Ở đây: σ là hệ số sức căng mặt ngoài, phụ thuộc vào bản chất thiên nhiên của hai môi trường tiếp xúc, được xác định:

$$\sigma = -R/l \quad (\text{N/m})$$

Trong đó: R – Sức căng mặt ngoài;

l – chiều dài của hai mặt tiếp xúc.

Ví dụ: Với mặt phân cách giữa nước và không khí khi nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$: $\sigma = 0,073 \text{ N/m}$; đối mặt phân cách giữa thủy ngân và không khí: $\sigma = 0,48 \text{ N/m}$.

1.3.7. Tính nhớt

Trong quá trình chuyển động các lớp chất lỏng trượt lên nhau phát sinh ra lực ma sát trong gây ra tổn thất năng lượng và chất lỏng như thế gọi là chất lỏng có tính nhớt (chất lỏng Newton).

Năm 1687 I. Newton dựa trên thí nghiệm: có hai tấm phẳng I - chuyển động với vận tốc V có diện tích S và II - đứng yên (Hình 1-1). Giữa hai tấm có một lớp chất lỏng h . Ông đã đưa ra giả thiết về lực ma sát trong giữa những lớp chất lỏng lân cận chuyển động là tỷ lệ thuận với tốc độ và diện tích bề mặt tiếp xúc, phụ thuộc vào loại chất lỏng và không phụ thuộc vào áp suất.

Sau đó Pêtrốp (1836-1920) đã biểu thị giả thuyết đó trong trường hợp chuyển động thẳng bằng biểu thức toán học:

$$T = \mu S \frac{dv}{dy} \quad (\text{N}) \quad (1-5)$$

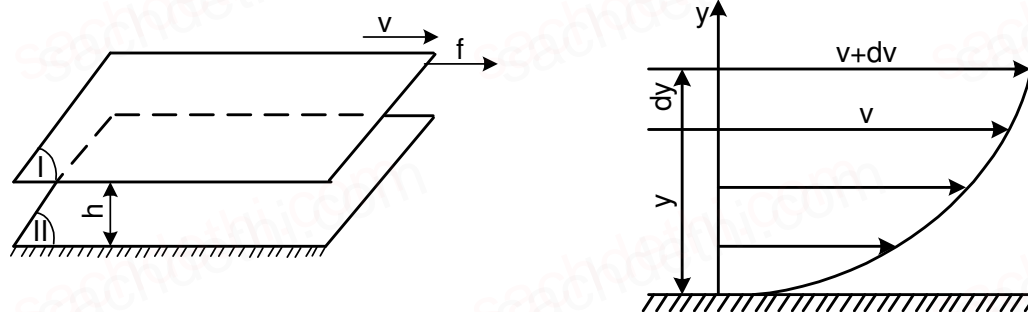
trong đó:

T - lực ma sát trong

μ - hệ số nhớt động lực, đặc trưng tính nhớt của chất lỏng;

S - diện tích tiếp xúc giữa hai lớp chất lỏng;

$\frac{dv}{dy}$ - gradien vận tốc theo phương y vuông góc với dòng chảy;



Hình 1-1. Minh họa tính nhớt của chất lỏng

Lực ma sát trong sinh ra ứng suất tiếp τ :

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-6)$$

Từ (1 - 6) rút ra công thức xác định hệ số nhớt động lực μ :

$$\mu = \frac{T}{S \frac{dv}{dy}} \quad (\text{NS/m}^2) \quad (1-7)$$

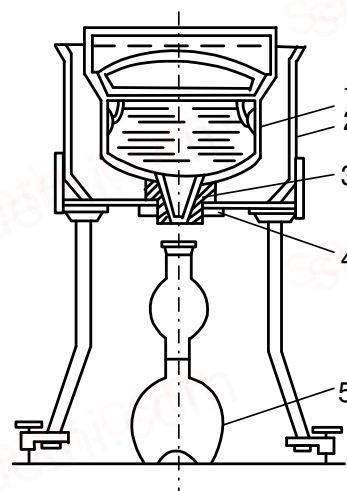
Ngoài μ , còn dùng hệ số nhớt động (ν) trong các biểu thức có liên quan đến chuyển động:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{m}^2/\text{S} \quad \text{hoặc} \quad (\text{stoc: } 1\text{st} = 10^{-4} \text{m}^2/\text{s})$$

Các hệ số μ và ν thay đổi theo nhiệt độ và áp suất. Nhìn chung μ và ν của chất lỏng giảm khi nhiệt độ tăng và tăng khi áp suất tăng ;

Ví dụ: hệ số nhớt động lực của nước ở nhiệt độ 0°C , $\mu = 0,0179$ còn ở 100°C , $\mu = 0,0028$; Dầu nhớt ở nhiệt độ 0°C , $\mu = 6,40$; ở 60°C , $\mu = 0,22$ và hệ số nhớt động của dầu nhớt sẽ tăng gấp đôi khi áp suất tăng từ 1 đến 300 at.

Để đo độ nhớt của chất lỏng, người ta dùng các loại dụng cụ khác nhau. Dưới đây giới thiệu một loại dụng cụ đo độ nhớt Engle thường dùng ở Việt Nam (Hình 1 - 2) để đo độ nhớt lớn hơn độ nhớt của nước. Máy gồm có bình hình trụ kim loại 1, có đáy hình cầu hàn vào nó một ống hình trụ bằng đồng thau 3. Ống hình trụ đặt trong bình chứa nước 2. Trong lỗ của ống hình trụ 3, đặt một ống bạch kim hình nón 4 để xả chất lỏng ra khỏi bình lỗ 1.



Hình 1-2. Máy đo độ nhớt Engle

Lỗ của ống 4 được đóng bằng một thanh đặc biệt có đường kính 3 mm Muốn xác định độ nhớt của một chất lỏng ở nhiệt độ nào đó, ta rót 200 cm³ chất lỏng cần đo vào bình 1 và giữ đúng nhiệt độ cần thiết.

Đo thời gian chảy t_1 của 200 cm³ chất lỏng đo qua lỗ đáy.

Sau đó đo thời gian chảy t_2 của 200 cm³ nước cất ở nhiệt độ 20⁰c (khoảng 50 giây).

Tỷ số t_1 / t_2 gọi là độ nhớt Engle (Ký hiệu ⁰ E)

$${}^0E = \frac{t_1}{t_2} \quad (1 - 8)$$

Ngoài các đơn vị Stóc và độ nhớt Engle, thường gặp các đơn vị đo độ nhớt khác nhau, quan hệ giữa chúng với đơn vị Stóc được trình bày trên bảng 1. 2.

Bảng 1. 2

Tên đơn vị	Ký hiệu	Trị số tính bằng Stóc
Độ Engle	⁰ E	$0,0731 {}^0E - \frac{0,0631}{{}^0E}$
Giây Rebon	" S	$0,00220 " S - \frac{1,80}{" S}$
Giây Redút	" R	$0,00260 " R - \frac{1,72}{" R}$
Độ Bache	⁰ B	$\frac{48,5}{{}^0B}$

1.3.8. Chất lỏng thực, chất lỏng lý tưởng

Trong thực tế, chất lỏng có đầy đủ tính chất cơ lý như đã trình bày ở trên gọi là chất lỏng thực.

Nhưng để thuận tiện cho công việc nghiên cứu, người ta đưa ra khái niệm chất lỏng lý tưởng (hay còn gọi là chất lỏng không nhớt).

Chất lỏng lý tưởng là chất lỏng có tính di động tuyệt đối; hoàn toàn không chống được lực cắt và lực kéo ; hoàn toàn không nén được không giãn nở và không có tính nhớt.

Chất lỏng ở trạng thái tĩnh trong những điều kiện thay đổi áp suất và nhiệt độ bình thường, thì thể tích và khối lượng xem như không đổi vì không có chuyển động nên không có lực ma sát trong (không có tính nhớt). Như vậy chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh rất gần với chất lỏng lý tưởng do đó có thể nghiên cứu các qui luật của chất lỏng thực ở trạng thái tĩnh trên chất lỏng lý tưởng thì kết quả thu được hoàn toàn phù hợp với thực tế.

Trong trường hợp chất lỏng thực ở trạng thái chuyển động vì có tính nhớt nên có lực ma sát trong, có tiêu hao năng lượng do đó nếu dùng khái niệm chất lỏng lý tưởng để

nguyên cứu thì kết quả sẽ không đúng với thực tế. Người ta phải dùng thực nghiệm, tiến hành các thí nghiệm chất lỏng thực. So sánh kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm để rút ra các hệ số hiệu chỉnh đưa vào các công thức lý thuyết cho phù hợp với thực tế.

1.4. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 1-1.

Để làm thí nghiệm thủy lực, người ta đổ đầy nước vào một đường ống có đường kính $d = 300 \text{ mm}$, chiều dài $l = 50 \text{ m}$ ở áp suất khí quyển.

Hỏi lượng nước cần thiết phải đổ vào ống là bao nhiêu để áp suất đạt tới 50 at?

Hệ số nén được $\beta_p = \frac{l}{20000} \cdot \frac{l}{at}$ Bỏ qua biến dạng của ống.

Giải:

Dung tích của đường ống:

$$W = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 50 = 3,53 \text{ m}^3$$

Từ công thức (1- 3), trong điều kiện cụ thể của bài toán, hệ số nén được β_p được tính như sau:

$$\beta_p = \frac{l}{(W + \Delta W)} \frac{\Delta W}{\Delta p}$$

Trong đó ΔW - lượng nước đổ thêm vào;

Δp - độ tăng áp suất.

$$\Delta W = \frac{\beta_p W \cdot \Delta p}{1 - \beta_p \Delta p} = \frac{l}{20000} \cdot \frac{3,53 \cdot 50}{\left(1 - \frac{50}{20000}\right)} = 0,00885 \text{ m}^3$$

Hay: $\Delta W = 8,85 \text{ lit}$

Ví dụ 1-2.

Xác định độ nhớt của dầu Diesel nếu biết khối lượng riêng của nó $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ và độ nhớt Engle ${}^0E = 8^0$.

Giải:

Độ nhớt động được tính theo công thức:

$$\nu = 0,0731 {}^0E - \frac{0,0631}{{}^0E} \quad (\text{cm}^2/\text{s})$$

Với ${}^0E = 8^0$ ta có: $\nu = 0,577 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} = 0,577 \text{ stoc}$

Độ nhớt động lực:

$$\mu = \nu \rho = 900.0,577.10^{-4} = 0,00529 \text{ kGs/m}^2$$

Bài tập 1-1.

Khi làm thí nghiệm thuỷ lực, dùng một đường ống có đường kính $d = 400 \text{ mm}$, dài $l = 200 \text{ m}$, đựng đầy nước ở áp suất 55 at. Sau 1 giờ áp suất giảm xuống 50 at.

Đáp số: $V = 6,28 \text{ lít}$

Bài tập 1-2.

Một bể chứa hình trụ đựng đầy dầu hoả ở nhiệt độ 5°C , mực dầu cao 4 m . Xác định mực dầu tăng lên, khi nhiệt độ tăng lên 25°C . Bỏ qua biến dạng của bể chứa.

Hệ số giãn nở vì nhiệt $\beta_t = 0,00072 \frac{1}{\text{do}}$

Đáp số: $h = 5,76 \text{ cm}$

Bài tập 1-3.

Dùng máy đo độ nhớt Engole xác định độ nhớt của dầu Diesel là $^0E = 5^0$. Tính hệ số nhớt động lực của dầu Diesel.

Trọng lượng riêng của dầu Diesel $\gamma = 9500 \text{ N/m}^3$.

Đáp số: $\mu = 0,0342 \text{ Ns/m}^2$

Câu hỏi ôn tập chương I

1. Tính chất của sự trao đổi nhiệt và khối lượng trong chất lỏng.
2. Phân biệt giữa khối lượng riêng và trọng lượng riêng.
3. Tính nén được và giãn nở vì nhiệt là gì ? cách xác định?
4. Tính bốc hơi và độ hoà tan – Cách xác định ?
5. Sức căng bề mặt là gì ? cách xác định ?
6. Tính nhớt (nguyên nhân và cách xác định).
7. Khái niệm về chất lỏng thực, chất lỏng lý tưởng. Tại sao lại phải dùng khái niệm về chất lỏng thực, chất lỏng lý tưởng?

Chương II

TĨNH HỌC CHẤT LỎNG

Tĩnh học chất lỏng nghiên cứu những qui luật cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh và ứng dụng những qui luật ấy để giải quyết các vấn đề trong thực tiễn kỹ thuật, sản xuất và đời sống.

Người ta phân ra 2 trạng thái tĩnh:

Tĩnh tuyệt đối: Chất lỏng không chuyển động so với hệ toạ độ cố định (gắn liền với trái đất)

Tĩnh tương đối: Chất lỏng chuyển động so với hệ toạ độ cố định, nhưng giữa chúng không có chuyển động tương đối.

2.1. ÁP SUẤT THỦY TĨNH

2.1.1. Lực tác dụng lên chất lỏng

Ở trạng thái tĩnh, chất lỏng chịu tác dụng của hai loại ngoại lực :

Lực khối lượng (hay lực thể tích) tác dụng lên chất lỏng tỉ lệ với khối lượng (như trọng lực, lực quán tính...)

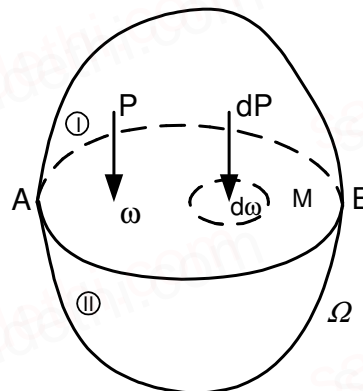
Lực bề mặt là lực tác dụng lên bề mặt của khối chất lỏng (như áp lực khí quyển tác dụng lên bề mặt tự do của chất lỏng ...)

2.1.2. Áp suất thủy tĩnh

a) Định nghĩa

Áp suất thủy tĩnh là những ứng suất gây ra bởi các lực khối và lực bề mặt. Ta hãy xét một thể tích chất lỏng giới hạn bởi diện tích Ω (Hình 2-1). Tưởng tượng cắt khối chất lỏng bằng mặt phẳng AB , chất lỏng phần I tác dụng lên phần II qua diện tích mặt cắt ω . Bỏ I mà vẫn giữ II ở trạng thái cân bằng thì phải thay tác dụng I lên II bằng lực P gọi là áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt ω . Áp suất

trung bình: $p_{tb} = \frac{P}{\omega}$



Hình 2-1. Sơ đồ xác định áp lực thủy tĩnh

Áp suất tại điểm M: $p_M = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta\omega}$

Đơn vị áp suất:

$$N/m^2 = Pa \text{ (pascal)}$$

$$1at = 9,8 \cdot 10^4 N/m^2 = 10^4 KG/m^2 = 10 mH_2O = 1 KG/cm^2.$$

b) Hai tính chất của áp suất thủy tĩnh

Tính chất 1: Áp suất thủy tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc (Hình 2-2) có thể tự chứng minh bằng phản chứng.

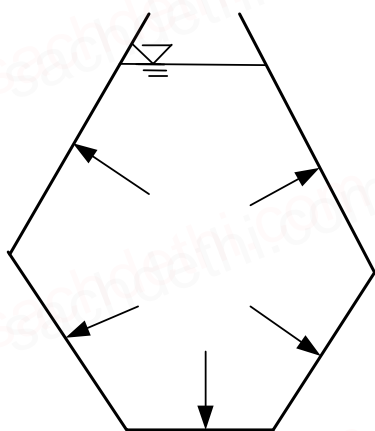
Tính chất 2: Áp suất thủy tĩnh tại mỗi điểm theo mọi phương bằng nhau.

Biểu thức: $p_x = p_y = p_z = p_n$ (2-1)

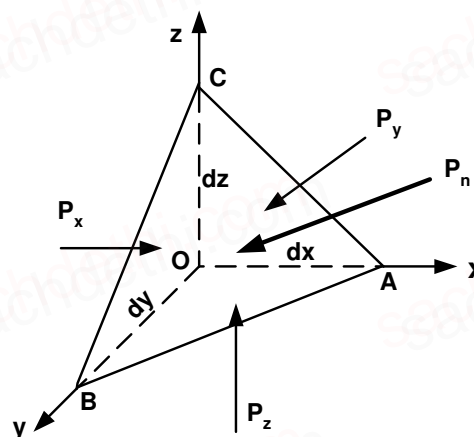
Có thể chứng minh bằng cách xét khối chất lỏng tứ diện có các cạnh d_x, d_y, d_z , vô cùng bé. Chứng minh biểu thức (2-1) khi $d_x, d_y, d_z \rightarrow 0$ (tham khảo thêm [10]).

Ta cũng nhận thấy áp suất thủy tĩnh tại một điểm chỉ phụ thuộc vào vị trí của nó:

$$p = f(x, y, z) \quad (2-2)$$



Hình 2-2. Biểu diễn áp suất thủy tĩnh vuông góc và hướng vào mặt tiếp xúc



Hình 2-3. Biểu diễn áp suất thủy tĩnh theo mọi phương đều bằng nhau

2.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CÂN BẰNG CỦA CHẤT LỎNG (PHƯƠNG TRÌNH ÔLÊ TĨNH)

Phương trình biểu diễn mối quan hệ giữa ngoại lực tác dụng vào một phần tử chất lỏng với nội lực sinh ra trong đó.

Xét một phần tử chất lỏng hình hộp cân bằng có các cạnh dx, dy, dz đặt trong hệ trục tọa độ $oxyz$ (Hình 2-4)

Ngoại lực tác dụng lên phần tử chất lỏng xét bao gồm:

Lực khối: $F \sim m = \rho dx dy dz$

X, Y, Z - hình chiếu lực khối đơn vị lên các trục x, y, z .

Lực mặt tác dụng lên phần tử chất lỏng là các áp lực thuỷ tĩnh tác dụng trên các mặt hình hộp chất lỏng.

Điều kiện cân bằng của phần tử chất lỏng hình hộp là tổng hình chiếu của tất cả các ngoại lực trên bất kỳ trục tọa độ nào cũng bằng không.

Hình chiếu các ngoại lực lên trục x :

$$\Sigma_x = P_x - P'_x + F_x = 0 \quad (2-3)$$

trong đó:

$$F_x = X \rho dx dy dz$$

$$P_x = \left(p - \frac{dx}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz$$

$$P'_x = \left(p + \frac{dx}{2} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) dy dz$$

Thay vào (2-3) ta có :

$$\frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz + X \rho dx dy dz = 0$$

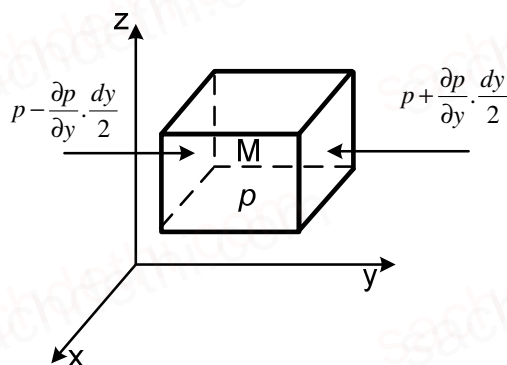
hay:

$$X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (2-4 a)$$

Tương tự đối với trục y và z :

$$Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (2-4 b)$$

$$Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2-4 c)$$



Hình 2-4. Thành lập phương trình vi phân của chất lỏng cân bằng

Các phương trình (2 - 4 a, b, c) là những phương trình Ôle tĩnh viết dưới dạng hình chiếu (do Ôle lập ra năm 1755).

Ta có thể viết phương trình Ôle tĩnh dưới dạng Véc tơ:

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0 \quad (2-5)$$

trong đó: $\vec{F} = iX + jY + kZ$

Mặt khác nếu nhân lần lượt (2-4a), (2-4b), (2-4c) với dx , dy , dz rồi cộng những phương trình này, lại biến đổi ta có:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz) \quad (2-6)$$

Vì dp là một vi phân toàn phần của áp suất p , $\rho = \text{const}$, do đó vế phải của (2-6) cũng phải là vi phân toàn phần. Như vậy ắt phải tồn tại một hàm U , với:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = X \quad ; \quad \frac{\partial U}{\partial y} = Y \quad ; \quad \frac{\partial U}{\partial z} = Z$$

Hàm như vậy gọi là hàm lực và lực được biểu thị bằng hàm trên gọi là lực có thế. Do đó chất lỏng có thể ở trạng thái cân bằng chỉ khi lực khối tác dụng lên nó là lực có thế.

2-3. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA THỦY TĨNH HỌC

2.3.1. Tích phân phương trình Ole tĩnh

Để giải quyết một số vấn đề thực tế ta viết phương trình Ole tĩnh dưới dạng :

$$dp = \rho \left(\frac{\partial U}{\partial x} dx + \frac{\partial U}{\partial y} dy + \frac{\partial U}{\partial z} dz \right) \quad (2-7)$$

$$\text{hay: } dp = \rho dU.$$

Tích phân (2-7) ta được:

$$p = \rho U + C \quad (2-8)$$

Để xác định hằng số tích phân C cần phải có điều kiện biên, giả sử biết áp suất p_o của 1 điểm nào đó trong chất lỏng và có trị số hàm số lực U_o tương ứng, thay vào (2-8) ta có:

$$C = p_o - \rho U_o \quad (2-9)$$

Thay (2-9) vào (2-8):

$$p = p_o + \rho (U - U_o) \quad (2-10)$$

Như vậy, dùng phương trình (2-10) có thể xác định được áp suất thủy tĩnh tại bất kỳ điểm nào trong chất lỏng, nếu biết được trị số của hàm U và điều kiện biên u_o ; p_o .

2.3.2. Mặt đẳng áp

Mặt đẳng áp là một mặt trên đó tại mọi điểm, áp suất đều bằng nhau, từ (2-6) ta có phương trình mặt đẳng áp:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

$$\text{trong đó: } X = \frac{\partial U}{\partial x} \quad ; \quad Y = \frac{\partial U}{\partial y} \quad ; \quad Z = \frac{\partial U}{\partial z} .$$

Mặt thoáng tự do là mặt đẳng áp, áp suất tác dụng trên nó có trị số bằng áp suất khí quyển.

2.3.2. Phương trình cơ bản của thủy tĩnh học

Xét trường hợp chất lỏng cân bằng dưới tác dụng của lực khối là trọng lực.

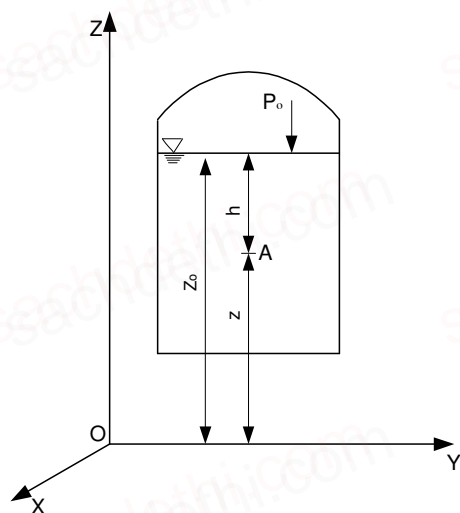
Giả sử khối chất lỏng đựng trong bình kín, đặt trong hệ trục tọa độ $oxyz$ (Hình 2-5).

Áp suất tác dụng bề mặt chất lỏng là p_o . Hình chiếu lực khối lên các trục x, y, z :

$$X = \frac{\partial U}{\partial x} = 0$$

$$Y = \frac{\partial U}{\partial y} = 0$$

$$Z = \frac{\partial U}{\partial z} = -g$$



Hình 2-5. Sơ đồ xác định phương trình cơ bản của thủy tĩnh học

Phương trình (2-6) trong trường hợp khảo sát ở đây có dạng:

$$dp = -\rho g dz = -\gamma dz \quad p = -\gamma Z + C \quad (2-11)$$

Để xác định C với điều kiện biên là trên bề mặt chất lỏng (Z_o, p_o) ta có:

$$C = p_o + \gamma Z_o$$

Thay C vào (2-11):

$$p = p_o + \gamma (Z_o - Z) \quad (2-12)$$

Như vậy với một điểm A bất kỳ trong chất lỏng có tọa độ Z và ở độ sâu $h = Z_o - Z$; ta có thể viết được phương trình cơ bản của thủy tĩnh học:

$$p = p_o + \gamma h \quad (2-13)$$

Nghĩa là áp suất tại bất kỳ một điểm nào của chất lỏng ở trạng thái tĩnh bằng áp suất ở mặt tự do cộng với trọng lượng cột chất lỏng (đây là một đơn vị diện tích, chiều cao là độ sâu của điểm đó).

2.3.4. Ý nghĩa của phương trình cơ bản của thủy tĩnh học

a. Ý nghĩa hình học hay thủy lực

Z - độ cao hình học;

$\frac{p}{\gamma}$ - độ cao đo áp;

$$Z + \frac{p}{\gamma} = H - \text{cột áp thủy tĩnh.}$$

Từ phương trình cơ bản của thủy tĩnh học ta dễ dàng nhận thấy rằng cột áp thủy tĩnh tại mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng là một hằng số.

b. Ý nghĩa năng lượng

Z - vị năng đơn vị;

$\frac{p}{\gamma}$ - áp năng đơn vị;

$$Z + \frac{p}{\gamma} = H = \text{const} - \text{thế năng đơn vị};$$

Vậy thế năng đơn vị của mọi điểm trong một môi trường chất lỏng cân bằng đều bằng nhau và bằng cột áp thủy tĩnh.

2.3.5. Phân biệt các loại áp suất

Áp suất thủy tĩnh được tính theo (2-13) là áp suất tuyệt đối (p_t)

Lấy áp suất khí quyển (p_a) để so sánh:

Nếu áp suất tuyệt đối lớn hơn áp suất khí quyển ta có áp suất dư (p_d)

$$p_d = p_t - p_a$$

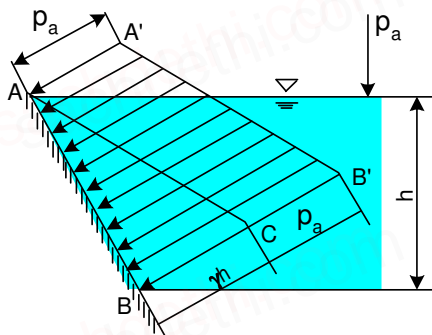
Nếu áp suất tuyệt đối nhỏ hơn áp suất khí quyển ta có áp suất chân không (p_{ck})

$$p_{ck} = p_a - p_t$$

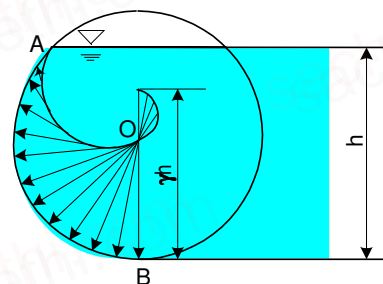
2.3.6. Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh

Biểu diễn sự phân bố áp suất theo chiều sâu trong chất lỏng. Từ phương trình cơ bản của thủy tĩnh học $p_t = p_o + \gamma h$ là dạng phương trình bậc nhất $y = ax + b$, ta có b tương ứng với áp suất trên mặt thoáng của chất lỏng (p_o), còn hệ số góc a tương ứng trọng lượng riêng của chất lỏng và γh thay đổi theo độ sâu trong chất lỏng.

Từ đó ta có thể dễ dàng vẽ được biểu đồ áp suất thủy tĩnh tuyệt đối và áp suất dư tác dụng lên mặt phẳng AB chìm trong chất lỏng có độ sâu h (Hình 2-6). Biểu diễn ABC và AA'B'B.



Hình 2-6. Biểu đồ áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt phẳng nghiêng



Hình 2-7. Biểu đồ áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt trụ tròn nằm ngang

Nếu trường hợp mặt chịu áp suất thủy tĩnh là một mặt cong thì cách vẽ cũng tương tự, chỉ có điều véc tơ biểu thị áp suất tại các điểm không song song với nhau nên phải vẽ từng điểm rồi nối lại. Vẽ càng nhiều điểm thì biểu đồ càng chính xác. Hình 2-7 vẽ biểu đồ áp suất dư tác dụng lên một thùng hình trụ tròn nằm ngang chứa chất lỏng ở độ sâu h .

2.4. TÌNH TƯƠNG ĐỐI

Chất lỏng chuyển động so với hệ tọa độ cố định, hệ tọa độ theo được gắn liền với khối chất lỏng chuyển động. Lực khối trong trường hợp này gồm trọng lực và lực quán tính của chuyển động theo. Ta xét hai dạng tình tương đối đặc trưng sau:

2.4.1. Bình chứa chất lỏng chuyển động thẳng thay đổi đều (gia tốc $\vec{a} = \text{const}$)

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (Hình 2-8)

Xuất phát từ phương trình (2-6):

$$dp = \rho(Xdx + Ydy + Zdz)$$

Lực khối: Trọng lực $\vec{G} = m\vec{g}$

Lực quán tính $\vec{F}_{qt} = -m\vec{a}$

Chiếu lực khối đơn vị lên các hệ trục tọa độ:

$$X = 0; Y = -a; Z = -g.$$

$$\text{do đó } dp = \rho(-ady - g dz)$$

$$\rightarrow p = -\rho ay - \rho gz + c$$

Tại $y = 0, z = 0$: $p = c = p_o$ - Áp suất tại mặt thoáng.

Vậy, phân bố áp suất tại mọi điểm trong chất lỏng:

$$p = p_o - \rho(ay + gz)$$

Phương trình mặt đẳng áp: $p = \text{const}, dp = 0$

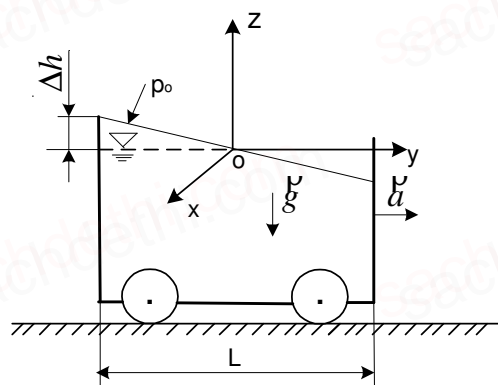
$$ady + g dz = 0 \rightarrow ay + gz = C$$

Vậy mặt đẳng áp là mặt phẳng nghiêng một góc α :

$$|\tan \alpha| = \frac{a}{g};$$

$$-\frac{a}{g} < 0 \rightarrow a > 0 : \text{ chuyển động nhanh dần đều;}$$

$$-\frac{a}{g} > 0 \rightarrow a < 0 : \text{ chuyển động chậm dần đều.}$$



Hình 2-8. Chuyển động thẳng thay đổi đều ($a = \text{const}$)

*Lưu ý: ứng dụng trường hợp trên để xác định được mực nước dâng lên cao bao nhiêu khi xe chứa chất lỏng chuyển động nhanh, chậm dần đều. Tìm những biện pháp cần thiết để đảm bảo việc cung cấp nhiên liệu được điều hoà ở bộ chế hoà khí của ô tô, máy bay v.v..

2.4.2. Bình chứa chất lỏng quay đều với vận tốc góc $\omega = \text{const}$

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (Hình 2-9)

Lực khối:

$$G = mg \quad - \text{Trọng lực;}$$

$$F_{qt} = m \omega^2 r \quad - \text{Lực quán tính ly tâm.}$$

Hình chiếu lực khối đơn vị:

$$X = \omega^2 x \quad ; \quad Y = \omega^2 y \quad ; \quad Z = -g$$

$$\text{do đó: } dp = \rho (\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz)$$

$$p = \rho \frac{\omega^2}{2} (x^2 + y^2) - \rho g z + C$$

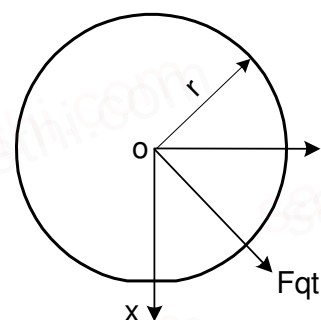
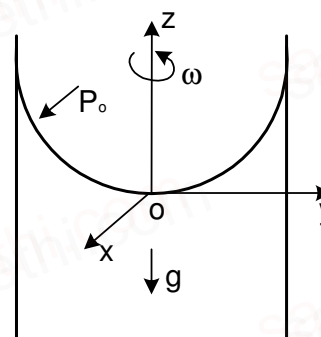
$$\text{Tại } 0: \quad x = y = z = 0 \quad : \quad p = c = p_0$$

$$\rightarrow p = \rho \frac{\omega^2}{2} r^2 - \rho g z + p_0$$

Phương trình mặt đẳng áp:

$$\rho \omega^2 \frac{r^2}{2} - \rho g z = C$$

Đó là phương trình mặt paraboloid tròn xoay quay quanh trục oz.



Hình 2-9. Bình chứa chất lỏng quay đều ($\omega = \text{const}$)

$$\text{Phương trình mặt thoáng (mặt tự do): } p = p_0$$

$$\rho \frac{\omega^2 r^2}{2} - \rho g z = 0$$

$$\text{do đó: } \Delta h = z = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2\gamma} = \frac{\omega^2 r^2}{2g}$$

*Lưu ý: Dựa trên hiện tượng này người ta chế tạo các máy đo vòng quay, các hệ thống bôi trơn ở trục, các hệ thống lắng li tâm, đúc các bánh xe, các ống gang, thép v.v..

2.5. TÍNH ÁP LỰC THỦY TĨNH

2.5.1. Xác định áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng

Tính áp lực P lên diện tích S (Hình 2-10), ta phải xác định 3 yếu tố: phương chiều, trị số và điểm đặt của P

Cách tính: tính dP tác dụng trên dS , sau đó tích phân trên toàn S sẽ được P .

- Phương chiều: $P \perp S$ và hướng vào mặt tác dụng.
- Trị số:

$$P = \int_S dP = \int_S p dS = \int_S (p_o + \gamma h) dS = \int_S p_o dS + \int_S \gamma h dS = p_o S + \gamma \sin \alpha \int_S y dS$$

$$P = p_o S + \gamma \sin \alpha y_c S = S (p_o + \gamma h_c) = p_c S \quad (2-14)$$

Trong đó:

h_c - độ sâu của trọng tâm hình phẳng;

p_c - áp suất tại trọng tâm;

$\int_S y dS = y_c S$ - mô men tĩnh của hình phẳng
xét đối với ox ;

Nếu $p_o = p_a \rightarrow$ áp lực thủy tĩnh dư:

$$P_d = \gamma h_c S \quad (2-15)$$

- Điểm đặt: xét trường hợp hình phẳng có trục đối xứng.

Gọi D là điểm đặt của P .

Áp dụng định lý Varinhong: Mô men của hợp lực (P) đối với một trục bằng tổng các mô men của các lực thành phần (dP) đối với trục đó.

Lấy mô men đối với trục x :

$$P_d y_D = \int_S y dP_d$$

$$P_d y_D = \gamma h_c S y_D = \gamma y_c \sin \alpha S y_D$$

$$\int_S y dP_d = \int_S y \gamma h dS = \int_S y \gamma y \sin \alpha dS = \gamma \sin \alpha \int_S y^2 dS = \gamma \sin \alpha J_x$$

vì $J_x = \int_S y^2 dS = J_o + y_c^2 S$ - mô men quán tính của S đối với trục x .

J_o - mô men quán tính trung tâm.

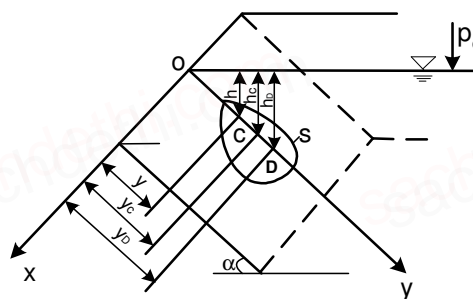
Thay các giá trị J_x vào biểu thức trên, ta rút ra điểm đặt của P :

$$y_D = y_c + \frac{J_o}{y_c S} \quad (2-16)$$

2.5.2 . Xác định áp lực thủy tĩnh lên hình cong

Ở đây ta xét một số trường hợp thành cong là hình cầu, hình trụ. Các lực phân tố không song song nhau.

Cách tính: Xác định những thành phần của áp lực thủy tĩnh có phương khác nhau không cùng nằm trong một mặt phẳng sau đó cộng hình học những lực thành phần, kết quả



Hình 2-10. Sơ đồ xác định áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng

sẽ cho ta trị số của áp lực thủy tĩnh lên mặt cong về trị số cũng như phương chiều. Điểm đặt của chúng thì được xác định theo phương pháp đồ giải.

$$P (P_x , P_y , P_z)$$

Xét trường hợp thành cong S của bình chứa có một mặt tiếp xúc với chất lỏng, còn mặt kia tiếp xúc với không khí.

Hệ trục tọa độ chọn như hình vẽ (Hình 2-11).

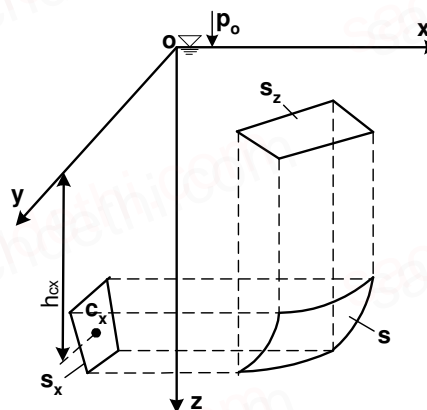
Lấy một vi phân diện tích dS (coi như phẳng), vi phân áp lực thủy tĩnh dP tác dụng lên dS ở độ sâu h được xác định:

$$dP = \gamma h dS; \quad dP \perp dS$$

$$P_x = \int dP_x = \int \gamma h dS_x = \gamma h_{cx} S_x$$

$$P_y = \int dP_y = \int \gamma h dS_y = \gamma h_{cy} S_y$$

$$P_z = \int dP_z = \int \gamma h dS_z = \gamma V$$



Hình 2-11. Sơ đồ xác định áp lực thủy tĩnh lên hình cong

trong đó:

S_x, S_y - Hình chiếu của S lên mặt phẳng vuông góc với ox, oy ;

h_{cx}, h_{cy} - Độ sâu của trọng tâm S_x, S_y .

V - Thể tích hình trụ có đáy dưới là hình cong S , đáy trên là hình chiếu của S lên mặt thoáng S_z (V còn gọi là vật thể áp lực).

$$\text{Vậy: } P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2} \quad (2-17)$$

Phương của áp lực thủy tĩnh P lập với hệ tọa độ $oxyz$ các góc xác định bởi các cosin định hướng sau:

$$\begin{aligned} \cos(P, x) &= \frac{P_x}{P} \\ \cos(P, y) &= \frac{P_y}{P} \\ \cos(P, z) &= \frac{P_z}{P} \end{aligned} \quad (2-18)$$

Điểm đặt là giao điểm của phương lực P vuông góc với mặt cong. Nếu mặt cong là một phần mặt trụ tròn nằm ngang thì áp lực thủy tĩnh P lên mặt đó lập thành một góc α với phương ngang:

$$\tan \alpha = \frac{P_z}{P_x}$$

Áp lực thủy tĩnh P đi qua trục tâm của mặt trụ tròn.

2.5.3. Phương pháp đồ giải

Ngoài cách xác định áp lực thủy tĩnh theo phương pháp giải tích đã trình bày ở trên, trong một số trường hợp đơn giản ta có thể xác định nhanh bằng phương pháp đồ giải.

Ví dụ 1: Tính áp lực thủy tĩnh tác dụng lên tấm phẳng thẳng đứng hình chữ nhật có chiều cao h , chiều rộng b (Hình 2-12).

- Phương pháp giải tích:

Theo công thức (2-15), ta tính áp lực thủy tĩnh dư: $P = \gamma h_c S$

Độ sâu của trọng tâm thành bể thẳng đứng $h_c = h/2$ và $S = bh$.

Thay vào phương trình trên ta có: $P = \frac{1}{2} \gamma b h^2 = \gamma \frac{h^2}{2} b$

Điểm đặt áp lực P tính theo công thức (2-16): $y_D = y_C + \frac{J_o}{y_C S}$

trong đó: $y_C = \frac{h}{2}$ và $J_o = \frac{bh^3}{12}$, $S = bh$

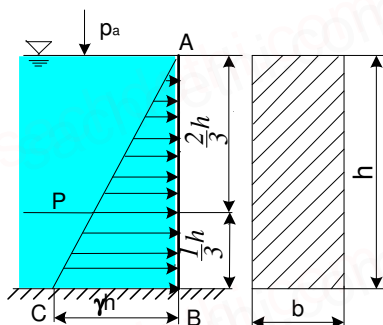
Thay vào ta có: $y_D = \frac{h}{2} + \frac{bh^3}{12h \frac{bh}{2}} = \frac{2}{3} h$

- Phương pháp đồ giải:

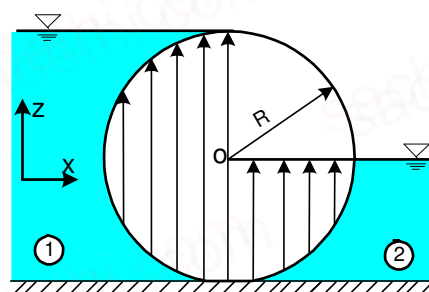
Vẽ biểu đồ áp suất thủy tĩnh dư tác dụng lên tấm phẳng ta được tam giác vuông ABC (đáy là γh , cao là h). Theo công thức tính áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng (2-15):

$$P = \gamma h_c S = \gamma \frac{h}{2} hb = \gamma \frac{h}{2} b = \Omega b$$

Trong đó: $\Omega = \gamma h \frac{h}{2}$ - diện tích tam giác biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh.



Hình 2-12. Biểu đồ phân bố áp suất định áp lực thủy tĩnh lên tấm phẳng



Hình 2-13. Biểu đồ phân bố áp suất xác định áp lực thủy tĩnh lên trụ tròn

Vậy áp lực thủy tĩnh có trị số bằng trọng lượng khối chất lỏng hình trụ có đáy là biểu đồ áp suất ($\gamma h \frac{h}{2}$) và chiều cao là bề rộng của cánh cửa (b)

Điểm đặt của P đi qua trọng tâm biểu đồ áp suất và vuông góc với mặt tác dụng (P đi qua trọng tâm ΔABC , cách A một khoảng $2/3 h$)

Ví dụ 2: Tính áp lực lên trụ tròn có bán kính R , chiều dài b

Chọn hệ trục tọa độ như hình vẽ (Hình 2-13). P ở trường hợp này chỉ bao gồm P_x và P_z $P_x = P_{1x} - P_{2x}$ được xác định theo biểu đồ áp suất :

$$P_x = \gamma 2R.R.b - \gamma R.(R/2).b = (3/2) \gamma R^2 b$$

$$P_z = P_{1z} + P_{2z} = \gamma V_1 + \gamma V_2 = \gamma \frac{\pi R^2}{2} b + \gamma \frac{\pi R^2}{4} b = \frac{3}{4} \gamma \pi R^2 b$$

vậy
$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

Phương của P đi qua trục tâm và nghiêng 1 góc α so mặt phẳng nằm ngang một góc α xác định bởi: $\cos \alpha = \frac{P_x}{P}$ hay $\sin \alpha = \frac{P_z}{P}$

Điểm đặt của P là giao điểm của phương P vuông góc với mặt cong.

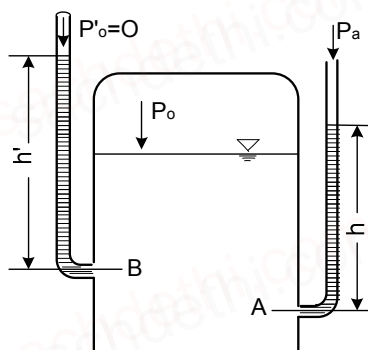
2.6. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA THUỶ TĨNH HỌC

2.6.1. Dụng cụ đo áp suất

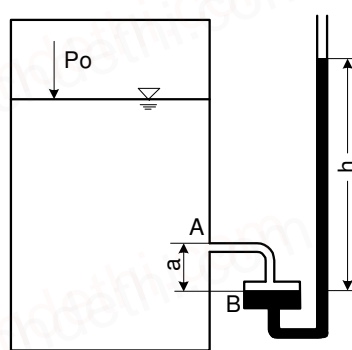
a - Ống đo áp: Là một ống thủy tĩnh đường kính không nhỏ hơn 10mm. Đầu dưới nối với nơi cần đo áp suất, đầu trên hở thông với khí quyển (để đo áp suất dư) hoặc kín được hút hết không khí trong ống ra (để đo áp suất tuyệt đối), (Hình 2-14).

Khi nối ống đo áp vào nơi cần đo, chất lỏng sẽ dâng lên trong ống với một độ cao nhất định ta sẽ xác định được áp suất tại điểm đó: $P_d = \gamma h$ và $P_t = \gamma h'$

Dùng ống đo áp để đo các áp suất nhỏ cần có độ chính xác cao, do đó người ta thường dùng ống đo áp trong các phòng thí nghiệm.



Hình 2-14. Ống đo áp



Hình 2-15. Áp kế thủy ngân kiểu chậu

b - Áp kế thủy ngân: Là một ống thủy tinh hình chữ U đựng thủy ngân (Hình 2-15); ở nhánh trái của ống nơi nối với chỗ cần đo áp suất có một bầu lớn mục đích để khi đo, thủy ngân di chuyển trong ống thì mức thủy ngân ở bầu hầu như không thay đổi.

Áp suất dư tại A được xác định: $P_d = \gamma_{Hg}h - \gamma a$

c - Chân không kế thủy ngân:

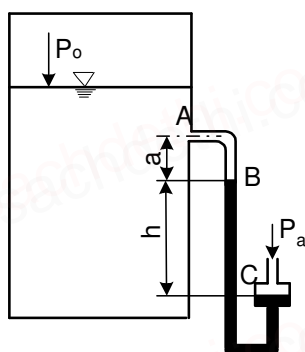
Cấu tạo (Hình 2-16). Tính áp suất chân không tại A ta có:

$$P_{CKA} = \gamma_{Hg}h + \gamma a$$

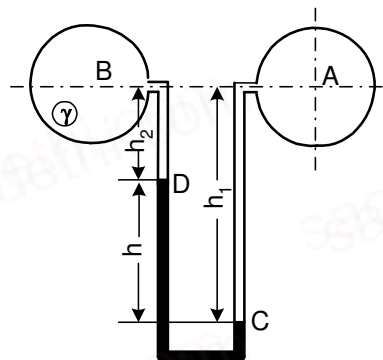
d - áp kế đo chênh: Để đo độ chênh lệch về áp suất tại hai điểm. Nó là một áp kế hình chữ U (Hình 2-17) $P_A - P_B = (\gamma_{Hg} - \gamma)h$

*Lưu ý: Ngoài thủy ngân ra còn có thể dùng các chất lỏng khác trong các áp kế, chân không kế như cồn, nước v.v..

Những loại áp kế dùng chất lỏng nói trên thường được dùng để đo trong các phòng thí nghiệm với độ cao chính xác cao.

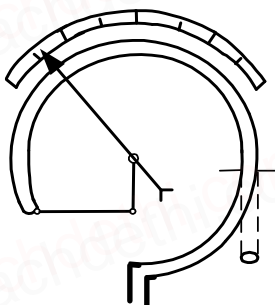


Hình 2-16. Chân không kế thủy ngân

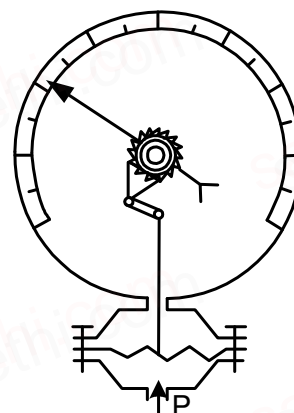


Hình 2-17. Áp kế đo chênh

Trong thực tế kỹ thuật thường dùng các loại áp kế bằng kim loại như áp kế lò xo (Hình 2-18), áp kế màng (Hình 2-19). Các áp kế này cho ta ngay trị số đọc được trên đồng hồ đo là áp suất dư đối với áp kế và áp suất chân không đối với chân không kế.



Hình 2-18. Áp kế lò xo hình ống



Hình 2-19. Áp kế màng

2.6.2. Định luật Pascal và ứng dụng thực tế

a - Định luật Pascal: “Trong một bình kín chứa chất lỏng ở trạng thái tĩnh, áp suất do ngoại lực tác dụng lên mặt thoáng được truyền nguyên vẹn tới mọi điểm của chất lỏng”.

Xét một bình đựng chất lỏng đầy kín bằng một Pítông có áp suất trên mặt thoáng là p_o (Hình 2-20). Tại hai điểm bất kỳ 1 và 2 ở độ sâu h_1 và h_2 áp suất lần lượt:

$$p_1 = p_o + \gamma h_1$$

$$p_2 = p_o + \gamma h_2$$

Nếu ta nén Pítông để làm tăng áp suất trên mặt thoáng lên một lượng Δp thì áp suất trên mặt thoáng trở thành:

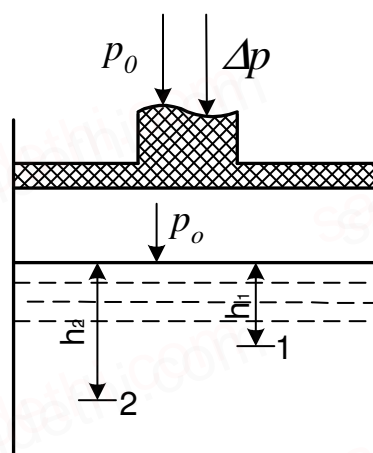
$$p_o' = p_o + \Delta p$$

và áp suất tại các điểm 1 và 2 lúc này bằng:

$$p_1' = p_o' + \gamma h_1 = p_1 + \Delta p$$

$$p_2' = p_o' + \gamma h_2 = p_2 + \Delta p$$

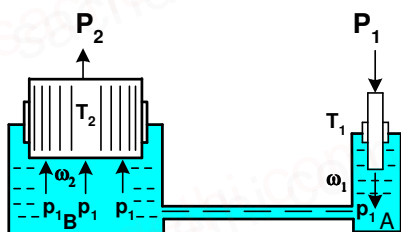
Rõ ràng lượng tăng áp suất Δp đã được truyền nguyên vẹn đến điểm 1 và 2. Vì hai điểm này được chọn bất kỳ nên kết luận trên đây cũng đúng cho mọi điểm khác trong chất lỏng.



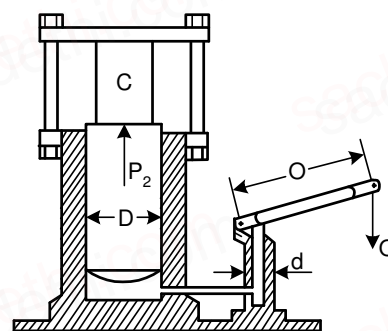
Hình 2-20. Sơ đồ minh họa định luật Pascal

b. Ứng dụng của định luật Pascal: Trong kỹ thuật, dựa trên nguyên tắc cơ bản là truyền áp suất bên trong chất lỏng, người ta đã chế tạo một số loại máy thủy lực: máy ép thủy lực, máy tích năng, máy tăng áp, kích, cơ, cần truyền lực và truyền động bằng thủy lực...

Ở đây ta chỉ xét một ứng dụng cụ thể: máy ép thủy lực. Sơ đồ làm việc của máy ép thủy lực (Hình 2-21) gồm hai bộ phận chính: một xi lanh B và pít tông lớn T_2 có tiết diện ω_2 , một xi lanh A và pít tông nhỏ T_1 có tiết diện ω_1 . Hai xi lanh thông nhau và đựng chất lỏng, một cánh tay đòn quay quanh trục O (Hình 2-22)



Hình 2-21. Sơ đồ nguyên tắc máy ép thủy lực đơn giản



Hình 2-22. Sơ đồ máy ép thủy lực đơn giản

Khi tác dụng vào cánh tay đòn lực Q , gây lên lực P_1 ở pittông nhỏ, áp suất ở xi lanh nhỏ là:

$$p_1 = \frac{P}{\omega_1}$$

Theo định luật Pascal, áp suất do pittông nhỏ tác dụng vào chất lỏng p_1 được truyền nguyên vẹn đến xi lanh lớn cũng là p_1 .

Áp lực tác dụng lên mặt pittông lớn là: $P_2 = \omega_2 p_1$
thay p_1 từ biểu thức trên ta được:

$$P_2 = \frac{P_1}{\omega_1} \omega_2 \quad \text{hay} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Nếu coi P_1, ω_1 không đổi thì muốn tăng P_2 ta phải tăng diện tích mặt pittông lớn ω_2 .

2.6.3. Định luật Acsimét - cơ sở lý luận về vật nổi

a. Định luật Acsimét: “Một vật ngập trong chất lỏng chịu một lực đẩy của chất lỏng thẳng đứng từ dưới lên trên bằng trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ và gọi là lực đẩy Acsimét”.

Để chứng minh, ta xét một hình trụ ngập trong chất lỏng (Hình 2-23), vật này chịu tác dụng của những lực sau:

- Áp lực P_1 tác dụng lên mặt hình trụ:

$$P_1 = \gamma h_1 \omega$$

- Áp lực P_2 tác dụng lên đáy hình trụ:

$$P_2 = \gamma h_2 \omega$$

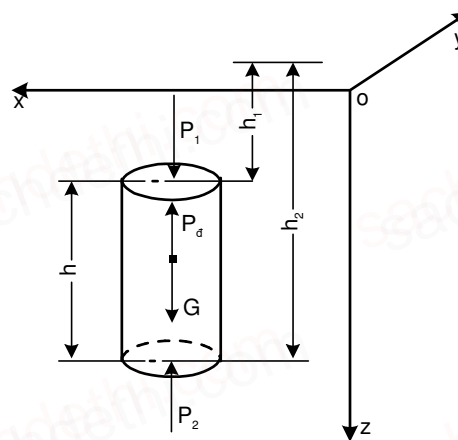
- Áp lực lên mặt xung quanh hình trụ: Có phương ngược nhau và có trị số bằng nhau nên triệt tiêu lẫn nhau.

Tổng hợp lại vật chịu tác dụng một lực đẩy P_d :

$$P_d = P_2 - P_1 = \gamma h_2 \omega - \gamma h_1 \omega = \gamma \omega h$$

hay: $P_d = \gamma V$

γV là trọng lượng của thể tích chất lỏng bị vật choán chỗ.



Hình 2-23. Sơ đồ minh họa định luật Acsimét

Điểm đặt của lực đẩy P_d là trọng tâm của thể tích chất lỏng bị choán chỗ gọi là tâm đẩy. Thông thường thì tâm đẩy không trùng với trọng tâm của vật, chỉ có trọng tâm của một vật rắn đồng chất mới trùng với tâm đẩy.

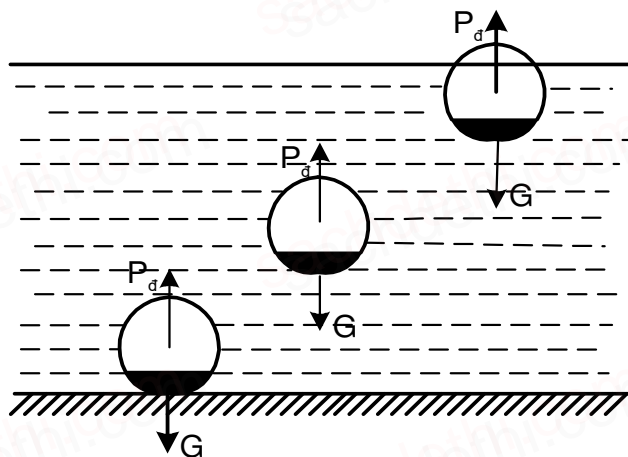
b. Điều kiện nổi của một vật

Căn cứ vào tương quan giữa lực đẩy Acsimet P_d và trọng lượng của vật G , ta có 3 trường hợp sau (Hình 2-24):

Nếu $G > P_d$ - Vật chìm xuống đáy;

Nếu $G = P_d$ - Vật lơ lửng trong chất lỏng;

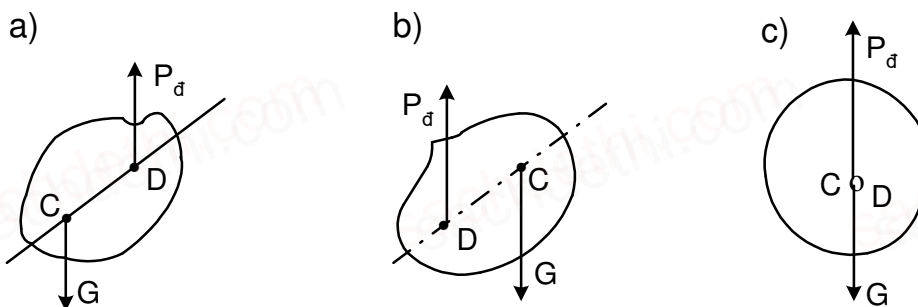
Nếu $G < P_d$ - Vật bị đẩy nổi lên khỏi mặt chất lỏng đến khi nào trọng lượng phần thể tích vật ngập trong chất lỏng (lực đẩy P_d) bằng trọng lượng vật G thì thôi.



Hình 2-24. Điều kiện nổi của vật

c. Tính ổn định của vật: Là khả năng khôi phục lại vị trí cân bằng của vật khi làm thay đổi vị trí của vật.

Ta thấy rằng một vật nổi trong chất lỏng muốn cân bằng thì ngoài điều kiện lực đẩy bằng trọng lượng của vật còn phải có điều kiện trọng tâm C và tâm đẩy D ở trên cùng một đường thẳng.



Hình 2-25. Ba trường hợp ổn định của vật

Thực tế có thể có những ngoại lực đặt vào vật nổi làm mất trạng thái cân bằng, vật bị nghiêng đi. Nghiên cứu tính ổn định của vật ta thấy:

- Nếu trọng tâm C thấp hơn tâm đẩy D (Hình 2-25a) thì vật ở trạng thái cân bằng bền. Khi vật bị ngoại lực làm nghiêng đi thì vật có khả năng khôi phục trạng thái cân bằng như cũ.

- Nếu trọng tâm C cao hơn tâm đẩy D (Hình 2-25b) thì vật ở trạng thái cân bằng không bền. Nếu vật bị đẩy ra khỏi trạng thái cân bằng thì không thể khôi phục lại trạng thái cân bằng cũ được mà càng nghiêng đi.

- Nếu trọng tâm C và tâm đẩy D trùng nhau (hình 2-25c), ta có vật ở trạng thái cân bằng phiếm định. Khi đó bất kỳ ở vị trí nào vật cũng vẫn được cân bằng.

Cơ sở lý luận về vật nổi nói trên được ứng dụng rộng rãi trong việc thiết kế và vận chuyển của tàu thuyền và những vật nổi khác (Tham khảo [10]).

2.7. TÍNH HỌC CHẤT KHÍ

Ở trên khảo sát chất lỏng không nén được. Đối với chất lỏng nén được ta khảo sát một số trường hợp sau đây:

2.7.1. Chất lỏng nén được

Khảo sát quá trình đẳng nhiệt ta có được phương trình xác định thể tích khối khí là:

$$V = V_0 [1 - \chi_0 (p - p_0)]$$

Hay là:
$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_0} [1 - \chi_0 (p - p_0)] \quad (2-19)$$

Trong đó: 0 - chỉ trạng thái đã xác định;

χ_0 - hệ số giãn nở đẳng nhiệt.

Chọn trục z' theo phương thẳng đứng hướng xuống ta có phương trình vi phân:

$$\frac{d\rho}{\rho} = g dz$$

Thay (2-19) vào phương trình trên, sau khi tích phân ta có:

$$p - p_0 - \frac{1}{2} \chi_0 (p - p_0)^2 = \rho_0 g z$$

Hay là:
$$(p - p_0) \left[1 - \frac{\chi_0}{2} (p - p_0) \right] = \rho_0 g z$$

Vì $\frac{\chi_0}{2} (p - p_0)$ quá nhỏ so với 1 cho nên ta có thể viết:

$$p = p_0 + \rho_0 g z' \left(1 + \frac{\chi_0}{2} \rho_0 g z' \right) \quad (2-20)$$

2.7.2. Khí quyển

Khảo sát phương trình trạng thái của không khí:

$$\frac{p}{\gamma} = h_T = 29,3T = RT \quad (2-21)$$

Ở nhiệt độ 0°C ta có chiều cao tương ứng: $h_0 = 7989\text{m} \approx 8000\text{m}$

$$\text{Ở nhiệt độ } T^\circ\text{K:} \quad h_T = h_0 \frac{T}{273} \quad (2-22)$$

Chọn trục z hướng lên từ mặt đất ta có phương trình vi phân:

$$dp = -\rho g dz$$

Kết hợp với biểu thức (2-21) – (2-22) ta suy ra:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{273}{T} \cdot \frac{dz}{h_0} = -\frac{dz}{h_T} = -\frac{dz}{8.000} \quad (dz - \text{tính bằng m}) \quad (2-23)$$

Dưới đây khảo sát các biểu thức xác định áp suất và khối lượng riêng theo chiều cao trong một số trường hợp.

- Trường hợp đẳng nhiệt:

Tích phân phương trình (2-23) với chú ý:

$T = T_m = \text{const}$ ta được:

$$\ln \frac{p}{p_{z0}} = -\frac{273}{T_m} \cdot \frac{z - z_0}{h_0} = -\frac{z - z_0}{h_{Tm}}$$

$$\begin{aligned} \text{Hay là:} \quad p_z &= p_{z0} \exp\left(-\frac{273}{T_m} \cdot \frac{z - z_0}{h_0}\right) \\ &= p_{z0} \exp\left(-\frac{z - z_0}{h_{Tm}}\right) \end{aligned} \quad (2-24)$$

Tương tự (2-24) ta có biểu thức xác định khối lượng riêng:

$$\begin{aligned} \rho_z &= \rho_{z0} \exp\left(-\frac{273}{T_m} \cdot \frac{z - z_0}{h_0}\right) \\ &= \rho_{z0} \exp\left(-\frac{z - z_0}{h_{Tm}}\right) \end{aligned} \quad (2-25)$$

- Trường hợp nhiệt độ thay đổi tuyến tính:

$$\begin{aligned} T_z &= T_{z0}[1 - B(z - z_0)] \\ B &= \text{hằng số} \end{aligned} \quad (2-26)$$

Thay (2-26) vào (2-23) với chú ý:

$$h_{T_{z0}} = h_0 \frac{T_{z0}}{273} = 29,3 T_{z0}$$

$$K = \frac{273}{h_0 B T_{z0}} = \frac{1}{B T_{z0}}$$

Ta có: $\ln \frac{p_z}{p_{z0}} = K \ln [I - B(z - z_0)]$

Hay là $p_z = p_{z0} [I - B(z - z_0)]^K = p_{z0} \left(\frac{T_z}{T_{z0}} \right)^K$ (2-27)

Từ phương trình trạng thái suy ra công thức tương tự:

$$\rho_z = \rho_{z0} [I - B(z - z_0)]^{K-1} = \rho_{z0} \left(\frac{T_z}{T_{z0}} \right)^{K-1}$$
 (2-28)

Thông thường đối với các bài toán trong khí quyển ta chọn gia tốc trọng trường g không đổi, trọng lượng riêng không khí trong điều kiện tiêu chuẩn là $1,293 \text{ kg/m}^3$, còn trọng lượng riêng của không khí ở áp suất 760 mmHg ở nhiệt độ 15°C (Hay 288°K) ở độ cao bằng không là $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Khi $0 < z < 11.000 \text{ m}$, nhiệt độ thay đổi tuyến tính theo công thức:

$$t_z = 15 - 0,0065z; (z - m, t_z - ^\circ\text{C})$$

hay là: $T = 288(1 - 22,6 \cdot 10^{-6}z); (z - m, T - ^\circ\text{K})$

Khi $z > 11000 \text{ m}$ ta có $t = -56,5^\circ\text{C}; (T = 216,5^\circ\text{K})$

Từ độ cao 300 km nhiệt độ $T \rightarrow 1500^\circ\text{K}$

2.7.3. Khí cầu

Gọi: G - trọng lượng khí cầu (kể cả trọng lượng khí trong khí cầu);

V - thể tích khí cầu;

γ - trọng lượng riêng của không khí

γ' - trọng lượng riêng của khí trong khí cầu. Ta sẽ có biểu thức xác định lực đẩy:

$$F_z = V\gamma_z - G_2 = V\gamma_z - (V\gamma' + G_o) = V\gamma_z (1 - \delta) - G_o$$

Trong đó: $\delta = \frac{\gamma'}{\gamma}$ - tỉ trọng chất khí;

G_o - trọng lượng của khí cầu (không kể khí bên trong).

Tại vị trí khí cầu đạt độ cao cực đại z_M ta có $F_z = 0$; nghĩa là:

$$G_o = V\gamma_{z_M} (1 - \delta)$$

Khảo sát môi trường khí quyển đẳng nhiệt, kết hợp với biểu thức (2-25) ta có:

$$G_0 V \gamma_{z_0} (z - \delta) \exp\left(-\frac{273}{T} \cdot \frac{z_M - z_0}{8000}\right)$$

$z_M - z_0$ – tính bằng m.

hay là :

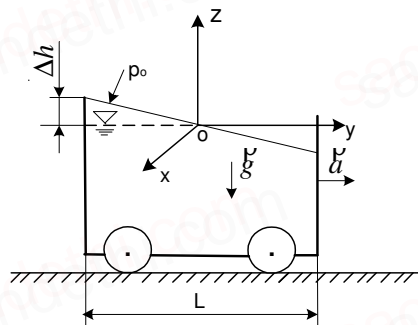
$$z_M - z_0 = 8000 \frac{T}{273} \cdot 2,3 \lg \left[\frac{V \gamma_{z_0} (1 - \delta)}{G_0} \right]$$

2-8. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 2-1.

Một toa tàu từ ga, đi với gia tốc đều, sau 3 phút đạt tới vận tốc 30 km/h.

Hãy viết phương trình mặt tự do của nước đựng trong toa tàu và mực nước Δh dâng lên ở phía cuối toa tàu.



Giải:

Lực khối tác dụng lên bình chứa chất lỏng chuyển động với gia tốc a bao gồm:

Lực quán tính: $F = -m\vec{a}$

Trọng lực: $G = m\vec{g}$

Chọn hệ trục tọa độ gắn lên bình chứa chất lỏng (hình vẽ), chiếu các thành phần lực khối đơn vị lên các trục tọa độ:

$$X = 0; \quad Y = -a; \quad Z = -g$$

Thay những trị số trên vào phương trình vi phân chất lỏng cân bằng:

$$dp = \rho (Xdx + Ydy + Zdz)$$

$$dp = \rho (-ady - g dz)$$

Tích phân phương trình vi phân trên:

$$p = -\rho ay - \rho gz + C \quad (1)$$

Xác định hằng số tích phân C tại 0 ($x = 0; z = 0$) trên bề mặt chất lỏng: $p = p_0$

Thay vào phương trình trên:

$$p = p_0 - \rho (ay + gz)$$

Viết phương trình cho mặt tự do ($p = p_0$)

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0$$

$$-a y - g z = 0$$

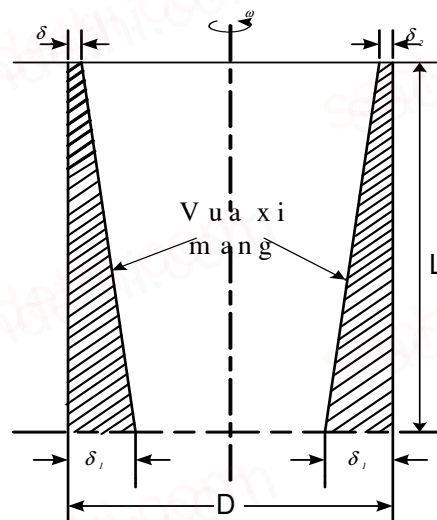
$$\text{Hay } z = \frac{a}{g} y$$

Ví dụ 2-2.

Một khuôn hình trụ có đường kính trong $D = 1120 \text{ mm}$ và chiều cao $L = 1000 \text{ mm}$, quay với số vòng quay $n = 500 \text{ vòng/phút}$ được dùng để đúc ống bằng phương pháp ly tâm. Vữa xi măng dùng đúc ống có $g = 1600 \text{ kg/m}^3$. Nếu chiều dày xi măng thành ống ở đáy dưới $\delta_1 = 60 \text{ mm}$.

Hãy:

- 1) xác định chiều dày xi măng thành ống ở đầu trên của ống δ_2 ?
- 2) Phải làm gì để giảm sự khác nhau giữa δ_1 và δ_2 ?



Giải:

- 1) Xác định chiều dày xi măng thành ống ở đầu trên của ống δ_2

- Vận tốc quay: $\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 500}{30} = 52 \text{ 1/s}$

$$\frac{\omega^2}{2g} = 139,5 \text{ 1/m}$$

- Tổng chiều cao paraboloid quay H được xác định theo công thức:

$$H = \frac{\omega^2 r^2}{2g} = 139,5 \cdot 0,56^2 = 43,8 \text{ m}$$

Chiều cao paraboloid quay h_1 khi:

$$r_1 = \frac{D}{2} - \delta_1 = 560 - 60 = 500 \text{ mm}$$

$$h_1 = \frac{\omega^2 r_1^2}{2g} = 139,5 \cdot 0,50^2 = 34,9 \text{ m}$$

- Xác định bán kính paraboloid quay r_2 ứng với chiều cao $h_2 = h_1 + L$ và chiều dày thành ống ở đầu trên δ_2 :

$$h_2 = h_1 + L = \frac{\omega^2 r_2^2}{2g}$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 + L)}{\omega^2}} = \sqrt{\frac{35,9}{139,5}} = 0,507$$

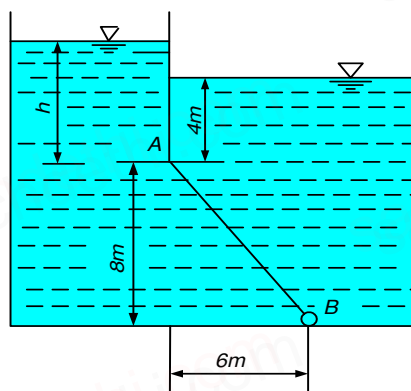
$$\delta_2 = R - r_2 = 560 - 507 = 53 \text{ mm}$$

- 2) Do đó chiều dày thành ống ở đầu trên nhỏ hơn dưới đáy là 7 mm. Trong trường hợp cần giảm sự khác nhau giữa δ_1 và δ_2 cần phải tăng số vòng quay n .

Ví dụ 2-3.

Một cửa van AB có bề rộng $b = 7 \text{ m}$; Trọng lượng $G = 3000 \text{ N}$ được nhúng chìm trong nước (Hình vẽ). Cửa van quay quanh khớp bản lề tại B và tựa lên tường phẳng tại A.

Hãy xác định mực nước h để cửa van sẽ bắt đầu mở?



Giải:

Xác định áp lực nước tác dụng lên van AB:

+ Từ phía bên phải:

$$F_1 = \gamma_{C1} \omega = 9810 \cdot 8 \cdot 70 = 5493 \text{ N}$$

Điểm đặt:

$$y_{D1} = y_C + \frac{j_0}{y_{C2} \omega} = 8 + \frac{7 \cdot 10^3 \cdot \sin 53,93^\circ}{12 \cdot 8 \cdot 70} = 8,833 \text{ m}$$

+ Từ phía trái:

$$F_2 = \gamma_{C2} \omega = 9810 \cdot h_{C2} \cdot 70 = 686700 h_{C2}$$

Điểm đặt :

$$y_{D2} = y_{C2} + \frac{j_0 \sin 53,93^\circ}{y_{C2} \omega} = h_{C2} + \frac{6,67}{h_{C2}}$$

Lấy mô men các lực tác dụng lên van đối với điểm B:

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0 &= F_2 \left(5 - \frac{6,67}{h_{C2}} \right) - F_1 (5 - 0,833) - G (5 \cos 53,93^\circ) = \\ &= 686700 h_{C2} \left(5 - \frac{6,67}{h_{C2}} \right) - 5493600 (5 - 0,833) - 3000 (5 \cos 53,93^\circ) \end{aligned}$$

Giải ra ta có: $h_{C2} = 8,412 \text{ m}$

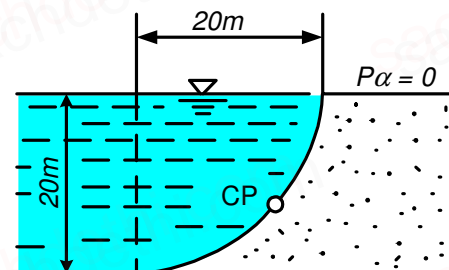
$$\rightarrow h = h_{C2} - 4 = 4,41 \text{ m}$$

Với mực nước $h = 4,41 \text{ m}$ thì cửa van bắt đầu mở.

Ví dụ 2-4.

Một đập nước là một phần tư mặt trụ bán kính $R = 20 \text{ m}$ (có kích thước như hình vẽ), rộng 50 m .

Xác định áp lực dư (trị số, phương, chiều, điểm đặt) của nước lên đập?



Giải:

- Xác định trị số áp lực thủy tĩnh lên đập:

+ Theo phương ngang:

$$P_{ng} = \gamma_C \cdot \omega_{oy} = 9810 \cdot 10 \cdot (20 \cdot 50) = 98\,100\,000 \text{ N}$$

+ Theo phương đứng:

$$P_d = \gamma \cdot V = 9810 \cdot \pi R^2 \cdot B / 4 = 9810 \cdot 3,14 \cdot 20^2 \cdot 50 / 4 = 15\,401\,700 \text{ N}$$

Áp lực tổng hợp tác dụng lên đập:

$$P = \sqrt{P_{ng}^2 + P_d^2} = \sqrt{98,1^2 + 154,017^2} = 182,6057126 \text{ MN}$$

- Phương áp lực theo phương hướng kính;
- Chiều hướng vào mặt cong;
- Điểm đặt của áp lực xác định như sau:

+ Điểm đặt P_{ng} đi qua trọng tâm biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh theo phương ngang cách mặt tự do : $2/3 R = 13,33 \text{ m}$

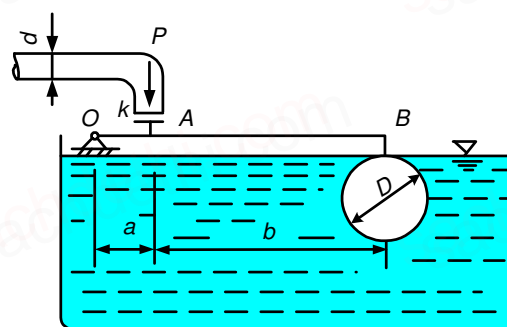
+ Điểm đặt P_d đi qua trọng tâm biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh theo phương đứng cách trục z : $\frac{4R}{3\pi} = \frac{4 \cdot 20}{3 \cdot 3,14} = 8,49 \text{ m}$

Giao điểm của P_d và P_{ng} cắt nhau tại 1 điểm (K) nối OK cắt đập tại C_p – là điểm đặt của hợp lực P – nghiêng với phương nằm ngang 1 góc $\alpha = 57^{\circ}30'$.

Toạ độ C_p ($x = 10,74 \text{ m}$; $z = 16,87 \text{ m}$)

Ví dụ 2-5.

Van K sẽ đẩy kín miệng ống dẫn nếu hệ thống đòn bẩy a, b ở vị trí nằm ngang (Hình vẽ). Tính xem với áp suất của nước trong ống dẫn bằng bao nhiêu thì van K sẽ mở ra được? Biết rằng cánh tay đòn $b = 5a$, đường kính ống $d = 50 \text{ mm}$, đường kính phao cầu $D = 200 \text{ mm}$. Trọng lượng phao và hệ thống đòn bẩy không đáng kể.



Giải:

Áp lực tác dụng lên van K :

$$P = p\omega = p \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Lực đẩy Acsimet tác động lên phao hình cầu:

Tổng mô men đối trục O:

$$\sum M_O = 0 = a \cdot P - (a + b) P_d$$

Thay giá trị P và P_d vào biểu thức trên ta có:

$$a \cdot p \cdot \frac{\pi d^2}{4} - 6a\rho g \cdot \frac{\pi D^3}{6} = 0$$

Vậy áp suất giới hạn p của nước để mở van K sẽ là:

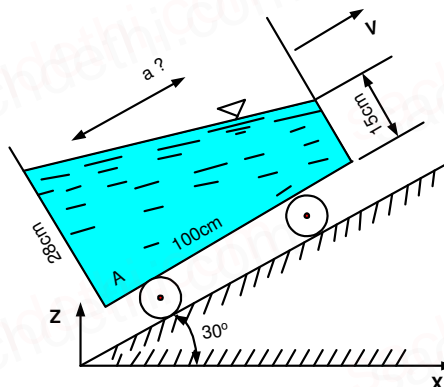
$$p \geq \frac{4D^3 \cdot \rho g}{d^2} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,2^3}{0,05^2} = 12,56 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

Bài tập 2-1.

Một bình chứa chất lỏng được chuyển động với gia tốc a theo mặt nghiêng dưới một góc 30° so mặt phẳng nằm ngang. Giả thiết rằng bình chuyển động như khối rắn.

Hãy tính:

- gia tốc a ?
- gia tốc a hướng lên trên hay xuống dưới?
- Xác định áp suất ở điểm A, nếu chất lỏng là thủy ngân ở 20°C ?



Đáp số: $a = 3,8 \text{ m/s}^2$ (a hướng xuống dưới)

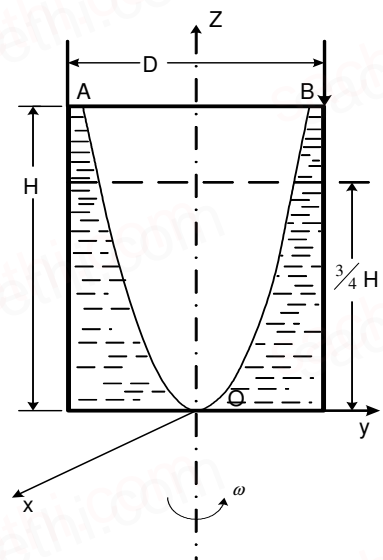
$$P_A = 32200 \text{ N/m}^2$$

Bài tập 2-2.

Bình hình trụ tròn đáy kín có chiều cao H và đường kính D chứa chất lỏng đến $3/4$ chiều cao.

Tính xem bình quay quanh trục thẳng đứng của nó với vận tốc góc ω bằng bao nhiêu để paraboloid tròn xoay của mặt thoáng chạm đáy bình.

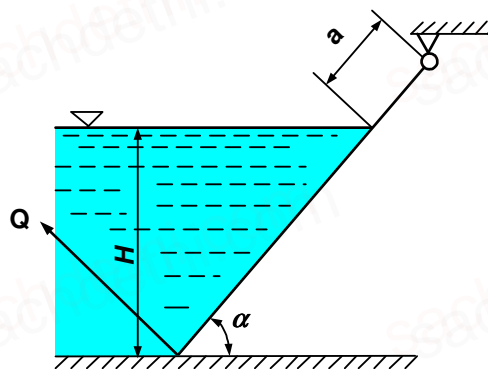
$$\text{Đáp số: } \omega = \frac{4}{D} \sqrt{gH}$$



Bài tập 2-3.

Xác định lực Q để nâng tấm chắn nghiêng một góc α , quay quanh trục O (Hình vẽ).

Chiều rộng tấm chắn $b = 1,50 \text{ m}$, khoảng cách từ mặt nước đến trục O , $a = 20 \text{ cm}$. Góc $\alpha = 60^\circ$, $H = 1,50 \text{ m}$. Bỏ qua trọng lượng tấm chắn và ma sát trên bản lề của trục O .



$$\text{Đáp số: } Q = 13\,000 \text{ N}$$

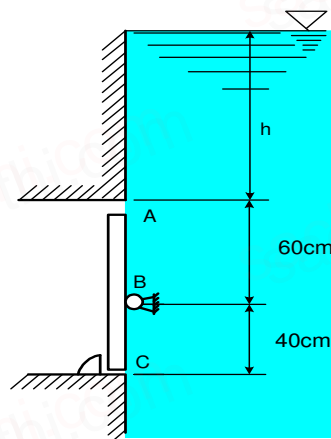
Bài tập 2-4.

Cửa van ABC (Hình vẽ) có diện tích 1 m^2 và điểm cao nhất là B .

Xác định độ sâu của nước trong bể chứa (h) đủ để mở van ABC quay quanh trục B nằm ngang. Kết quả tính toán có phụ thuộc vào khối lượng riêng của chất lỏng không?

(Bỏ qua ảnh hưởng của áp suất khí quyển).

Đáp số: $h > 0,333 \text{ m}$



Bài tập 2-5.

Xác định áp lực thủy tĩnh và phương của nó tác dụng lên một đập nước hình trụ nằm ngang (đường kính $D = 1 \text{ m}$, chiều dài $l = 3 \text{ m}$) chắn ngang một kênh dẫn nước có tiết diện hình chữ nhật (chiều sâu $H = 1 \text{ m}$; chiều rộng $B = 3 \text{ m}$).

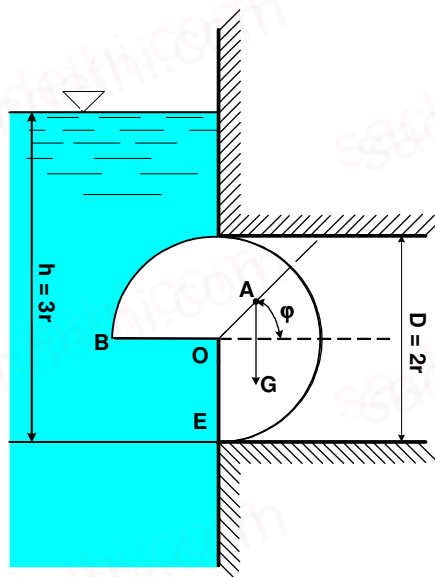
Đáp số: $P = 18740 \text{ N}$; $\alpha = 38^\circ$

Bài tập 2-6.

Một van hình trụ có thể quay xung quanh trục nằm ngang O . Trọng tâm của van nằm trên đường bán kính tạo thành góc $\varphi = 45^\circ$ theo phương ngang và cách trục quay một khoảng $OA = r/5$. Cho biết bán kính $r = 40 \text{ cm}$, chiều rộng van $b = 100 \text{ cm}$, $h = 3r$ (Hình vẽ).

Xác định trọng lượng của van để van ở vị trí cân bằng như hình vẽ.

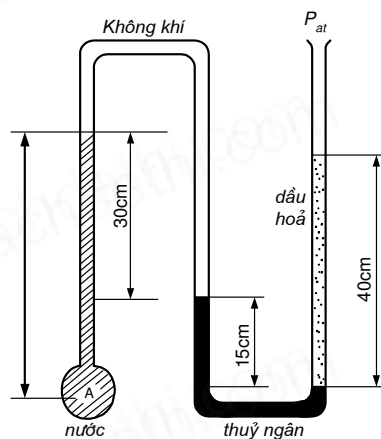
Đáp số: $G = 3685 \text{ N} = 3,7 \text{ kN}$



Bài tập 2-7.

Xác định áp suất dư tại A (tính bằng Pascals). Nó lớn hơn hay nhỏ hơn áp suất khí quyển?

Đáp số: $p_a = -12218 \text{ Pa}$

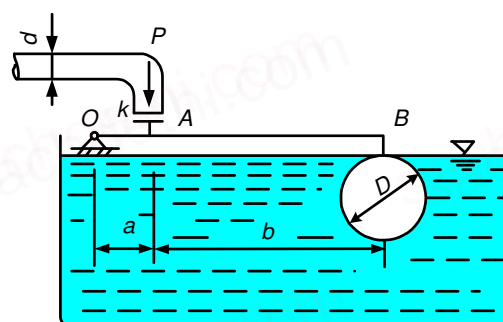


Bài tập 2-8.

Nước có áp suất $p = 2,5 \text{ at}$ chảy qua ống có đường kính $d = 15 \text{ mm}$ để vào bình chứa (Hình vẽ).

Đóng ống nước tự động bằng van qua hệ thống đòn bẩy và phao. Xác định đường kính của phao hình cầu để có thể đóng ống được, nếu $a = 100 \text{ mm}$, $b = 500 \text{ mm}$.

Bỏ qua trọng lượng của van, đòn bẩy và phao.



Đáp số: $D = 11,2 \text{ cm}$

Câu hỏi ôn tập chương II

1. Nêu định nghĩa và 2 tính chất cơ bản của áp suất thủy tĩnh.
2. Cách thành lập phương trình vi phân cân bằng của chất lỏng và ý nghĩa của nó.
3. Thế nào là mặt tự do, mặt đẳng áp?
4. Cách thành lập phương trình cơ bản của thủy tĩnh học và ý nghĩa của nó.
5. Phân biệt các loại áp suất thủy tĩnh.
6. Biểu đồ phân bố áp suất thủy tĩnh là gì? cách xác định.
7. Thế nào là tĩnh tương đối? Có gì khác so với tĩnh tuyệt đối?
8. Cách xác định áp lực thủy tĩnh lên hình phẳng, hình cong?
9. Cách xác định áp lực thủy tĩnh theo phương pháp đồ giải?
10. Cách đo áp suất của một số dụng cụ đo áp suất thông thường.
11. Định luật Pascal và ứng dụng thực tế.
12. Định luật Acsimet- cơ sở lý luận về vật nổi.
13. ứng dụng thủy tĩnh học trong chất khí.

Chương 3

ĐỘNG LỰC HỌC CHẤT LỎNG

3.1. CÁC KHÁI NIỆM CHUNG

Thủy động lực học (hay là động lực học của chất lỏng) nghiên cứu các qui luật đặc trưng chuyển động của chất lỏng như vận tốc, khối lượng riêng cũng như các qui luật chuyển động dưới tác dụng của lực và những ứng dụng của nó trong kỹ thuật.

Nhiệm vụ chủ yếu của thủy động lực học là xác lập liên hệ giữa những trị số cơ bản đặc trưng cho chuyển động như vận tốc dòng chảy U , độ sâu h và áp suất thủy động p sinh ra trong chất lỏng chuyển động. Cần chú ý rằng áp suất thủy động có hướng khác nhau tùy theo chất lỏng ta nghiên cứu là chất lỏng thực hay chất lỏng lý tưởng. Trong chất lỏng lý tưởng áp suất thủy động hướng theo pháp tuyến của mặt chịu tác dụng; còn trong chất lỏng thực áp suất thủy động vẫn hướng vào mặt tác dụng, nhưng không hướng theo pháp tuyến, vì nó là tổng hợp của thành phần ứng suất pháp tuyến và thành phần ứng suất tiếp tuyến do lực nhớt gây ra.

3.1.1. Phân loại chuyển động

Căn cứ vào tính chất chảy, người ta phân ra chuyển động dừng và không dừng:

Chuyển động dừng ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$): các yếu tố chuyển động không biến đổi theo thời gian

$$u = u(x, y, z); \quad p = p(x, y, z); \quad h = h(x, y, z) \dots$$

Trong chuyển động dừng được chia ra:

Chảy đều: trong đó những yếu tố chuyển động không thay đổi theo chiều dài dòng chảy, mặt cắt của dòng chảy đều không thay đổi, sự phân bố vận tốc trên mọi mặt cắt dọc theo dòng chảy không đổi ($\frac{\partial u}{\partial x} = \text{const}$);

Chảy không đều: những yếu tố chuyển động không thay đổi theo chiều dài dòng chảy ($\frac{\partial u}{\partial x} \neq \text{const}$).

Chuyển động không dừng ($\frac{\partial}{\partial t} \neq 0$): Các yếu tố chuyển động biến đổi theo thời gian

$$u = u(x, y, z, t); \quad p = p(x, y, z, t); \quad h = h(x, y, z, t) \dots$$

Theo điều kiện và nguyên nhân chảy người ta phân ra chảy có áp (chảy không có mặt thoáng) và chảy không có áp (chảy có mặt thoáng):

Chảy có áp là chảy trong ống kín hay trong hệ thống thủy lực kín. Chảy có áp là do sự chênh lệch về áp suất theo chiều dòng chảy;

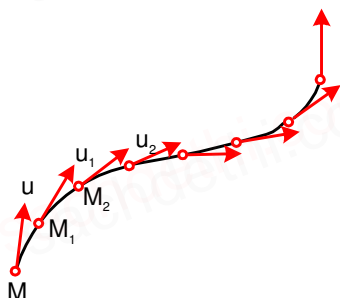
Chảy không áp là dòng chảy có mặt tự do tiếp xúc với khí quyển do đó áp suất trên mặt dòng chảy bằng áp suất khí quyển. Nguyên nhân của chảy không áp là do tác dụng của trọng lực.

3.1.2. Đường dòng, dòng nguyên tố

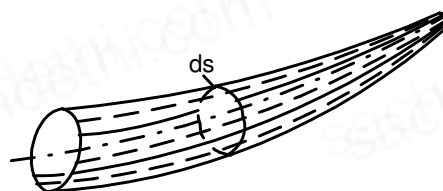
a) Trong một trường véc tơ vận tốc, ta có thể tìm được một đường cong sao cho nó tiếp tuyến với các véc tơ vận tốc qua các điểm của nó. Đường cong đó gọi là đường dòng (Hình 3-1).

Nếu gọi dr là một phân tố của đường dòng và u là véc tơ vận tốc tiếp tuyến với phân tố đó, ta có phương trình đường dòng:

$$\vec{u} // d\vec{r} \rightarrow \vec{u} \wedge d\vec{r} = 0 \rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \quad (3-1)$$



Hình 3-1. Sơ đồ xác định đường dòng nguyên tố



Hình 3-2. Sơ đồ ống dòng

Chú ý:

- Tại mỗi điểm trong không gian, ở mỗi thời điểm chỉ đi qua một đường dòng, nghĩa là các đường dòng không cắt nhau.

- Cần phân biệt quỹ đạo với đường dòng: Quỹ đạo đặc trưng cho sự biến thiên vị trí của phần tử chất lỏng theo thời gian, còn đường dòng biểu diễn phương vận tốc của các phần tử chất lỏng tại thời điểm. Trong chuyển động dừng thì chúng trùng nhau.

b) Các đường dòng tựa lên một vòng kín vô cùng nhỏ ta được một ống dòng (Hình 3-2). Chất lỏng không thể xuyên qua ống dòng.

c) Dòng chất lỏng chảy đầy trong ống dòng gọi là dòng nguyên tố. Dòng nguyên tố có những đặc tính sau:

- Dạng của dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian vì dạng của đường dòng tạo thành dòng nguyên tố trong chuyển động dừng;

- Bề mặt của những dòng nguyên tố do những đường dòng tạo thành là không xuyên qua được. Những chất điểm của chất lỏng trong các dòng lân cận trượt theo bề mặt các dòng chứ không xuyên vào trong dòng được;

- Vì mặt cắt của dòng nguyên tố vô cùng nhỏ nên vận tốc của các điểm trong mặt cắt đều bằng nhau.

3.1.3. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy.

Mặt cắt ướt (ω) là mặt cắt vuông góc với véc tơ vận tốc của dòng chảy.

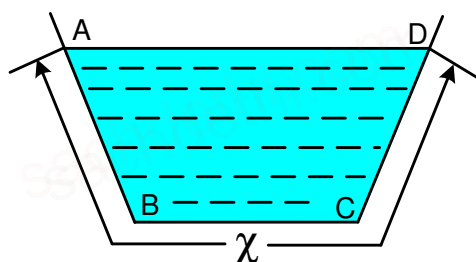
Chu vi ướt (χ) là phần chu vi của mặt cắt ướt tiếp xúc với thành rắn giới hạn dòng chảy (ví dụ AB + BC + CD, Hình 3-3).

Bán kính thủy lực (R) là tỷ số giữa diện tích mặt cắt ướt và chu vi ướt.

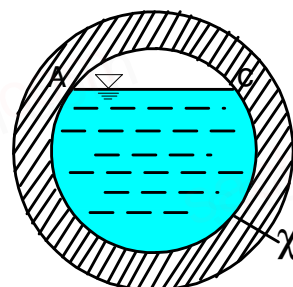
$$R = \frac{\omega}{\chi} \quad (3-2)$$

Lưu lượng (Q) là lượng chất lỏng chảy qua mặt cắt ướt trong một đơn vị thời gian:

$$Q = \int_{\omega} u d\omega \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3-3)$$



Hình 3-3. Xác định chu vi ướt của mặt cắt kênh hình thang



Hình 3-4. Xác định chu vi ướt của ống trụ tròn

Như ta đã biết, các vận tốc điểm trên mặt cắt ướt của dòng chảy không bằng nhau. Để thuận tiện cho việc nghiên cứu và giải quyết những vấn đề kỹ thuật, ta đưa vào khái niệm vận tốc trung bình mặt cắt v , tức là coi mọi điểm trên mặt cắt ướt có vận tốc bằng nhau. Lưu lượng tính theo vận tốc trung bình mặt cắt v cũng bằng lưu lượng tính theo sự phân bố vận tốc thực của dòng chảy (Hình 3-4).

$$Q = \int_{\omega} u d\omega = \int_{\omega} v d\omega = v \int_{\omega} d\omega = v\omega \quad (3-4)$$

Suy ra vận tốc trung bình:

$$v = \frac{Q}{\omega} \quad (3-5)$$

Như vậy vận tốc trung bình của dòng chảy bằng lưu lượng chia cho mặt cắt ướt.

3.2. PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC CỦA DÒNG CHẢY

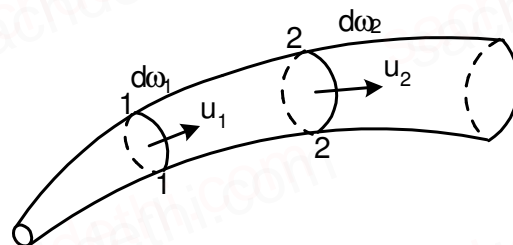
Đây là một dạng của định luật bảo toàn khối lượng: Khối lượng m của hệ cô lập không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động:

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

3.2.1. Phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Xét một dòng nguyên tố chuyển động dừng $\rho = \text{const}$ (Hình 3-5) xét đoạn giới hạn giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2.

Tại mặt cắt 1-1, có mặt cắt ướ $d\omega_1$, vận tốc u_1 . Tại mặt cắt 2-2, có mặt cắt ướ $d\omega_2$, vận tốc u_2 . Trong thời gian dt , thể tích chất lỏng chảy vào qua 1-1 là $u_1 d\omega_1 dt$, đồng thời thể tích chất lỏng chảy qua 2-2 là $u_2 d\omega_2 dt$.



Hình 3-5. Sơ đồ xác định phương trình liên tục của dòng nguyên tố

Theo tính chất của dòng nguyên tố trong chuyển động dừng: vì hình dạng của đoạn dòng nguyên tố không thay đổi theo thời gian, bề mặt của chất lỏng không xuyên qua được và chất lỏng không ép được nên trong thời gian dt , nên thể tích chất lỏng chảy qua mặt cắt 1-1 phải bằng thể tích chất lỏng chảy cùng thời gian ấy qua mặt cắt 2-2.

Vậy ta có:
$$u_1 d\omega_1 dt = u_2 d\omega_2 dt$$

$$u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 \quad (3-6)$$

hay :
$$dQ_1 = dQ_2 \quad (3-7)$$

3.2.2. Phương trình liên tục của toàn dòng chảy

Muốn lập phương trình liên tục của toàn dòng chảy trong khoảng xác định ứng với mặt cắt ω ta mở rộng phương trình liên tục của dòng nguyên tố cho toàn dòng bằng cách tích phân phương trình đó trên toàn mặt cắt ω .

$$\int_{\omega_1} u_1 d\omega_1 = \int_{\omega_2} u_2 d\omega_2$$

Rút ra:
$$Q_1 = Q_2 \quad (3-8)$$

hay:
$$v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 \quad (3-9)$$

Đó là phương trình liên tục của dòng chảy ổn định có kích thước xác định.

Chú ý mặt cắt 2-2 ta chọn tùy ý trong dòng nguyên tố và trong toàn dòng, do đó có thể kết luận rằng:

Trong dòng chảy dừng, lưu lượng qua mọi mặt cắt ướ đều bằng nhau, và vận tốc trung bình v tỷ lệ nghịch với diện tích mặt cắt ướ.

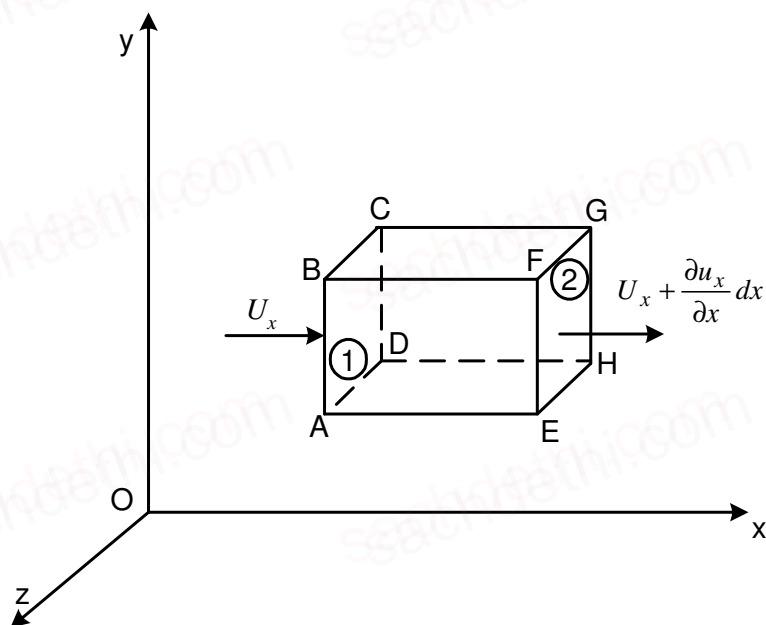
3.2.3. Phương trình vi phân liên tục của dòng chảy (dạng OIe)

Trong môi trường chất lỏng chuyển động ta tưởng tượng tách ra một phân tố hình hộp có thể tích $\Delta V = dx dy dz$ (Hình 3-6).

Theo định luật bảo toàn khối lượng:

$$\frac{d(\rho \Delta V)}{dt} = 0$$

$\rho = \rho(x, y, z, t)$ - Khối lượng riêng của chất lỏng.



Hình 3- 6. Mô hình thiết lập phương trình vi phân liên tục của dòng chảy

Lấy đạo hàm theo t:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{\Delta V} \frac{d\Delta V}{dt} = 0$$

$\frac{d\Delta V}{dt}$ - Vận tốc biến dạng tương đối của thể tích phân tử chất lỏng

Xét theo phương x: vận tốc tại mặt ABCD: u_x

$$\text{vận tốc tại mặt EFGH: } u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx$$

Sau thời gian dt: mặt ABCD di chuyển sang phải: $u_x dt$

$$\text{mặt EFGH: } \left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \right) dt$$

Thể tích của phân tử chất lỏng thay đổi theo hướng trục X một lượng tuyệt đối bằng:

$$\left(u_x + \frac{\partial u_x}{\partial x} dx \right) dydzdt - u_x dydzdt = \frac{\partial u_x}{\partial x} dx dydzdt$$

Tương tự viết cho hai phương y,z, tổng hợp lại ta có:

$$d\Delta V = \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) dx dydzdt$$

hay:
$$\frac{1}{\Delta V} \cdot \frac{d\Delta V}{dt} = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

Vậy:
$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

Đó chính là phương trình liên tục dạng tổng quát. có thể viết gọn hơn:

$$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} + \text{div } \vec{u} = 0 \quad (3-10)$$

Trong chuyển động dừng (dòng chảy ổn định) $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ nên $\text{div}(\rho \vec{u}) = 0$

Đối với chất lỏng không nén được ($\rho = \text{const}$) ta được $\text{div } \vec{u} = 0$

3.3. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG LÝ TƯỞNG (PHƯƠNG TRÌNH Ô LE ĐỘNG)

Trong chương Thủy tĩnh học, ta đã xây dựng phương trình vi phân cân bằng của chất lỏng (Phương trình Ô le tĩnh):

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0$$

Nếu chất lỏng chuyển động, phần tử chất lỏng hình hộp sẽ có vận tốc \vec{u} và gia tốc $\frac{d\vec{u}}{dt}$. Theo nguyên lý cơ bản của động lực học (định luật 2 Newton):

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = \frac{d\vec{u}}{dt} \quad (3-11)$$

Chiếu lên các trục toạ độ, phương trình (3-11) thành:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{du_x}{dt} \\ Y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{du_y}{dt} \\ Z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{du_z}{dt} \end{aligned} \quad (3-12)$$

Phương trình này có thể còn có thể đơn giản hơn trong một số trường hợp sau:

a) Chất lỏng chuyển động thẳng và đều: $\frac{d\vec{u}}{dt} = 0$. Hệ phương trình (3-12) sẽ giống như phương trình vi phân của chất lỏng cân bằng (2-5): sự phân bố áp suất trong dòng chảy đều tuân theo qui luật thủy tĩnh.

b) Chất lỏng chuyển động trong một ống dòng có độ cong không đáng kể.

Nếu chọn mặt phẳng Oyz thẳng góc với trục ống dòng thì véc tơ vận tốc \vec{u} và gia tốc $\frac{d\vec{u}}{dt}$ đều thẳng góc với mặt phẳng Oyz . Ta có:

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{du_z}{dt} = 0, \quad \frac{du_x}{dt} \neq 0$$

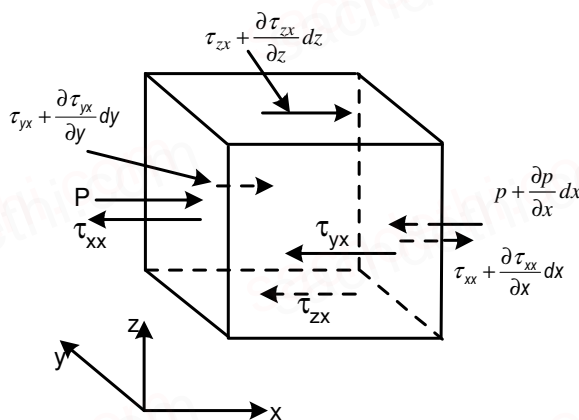
Suy ra:

$$\frac{dp}{dy} = \rho Y; \quad \frac{dp}{dz} = \rho Z$$

Vậy trong mặt cắt ướt của ống dòng có độ cong không đáng kể áp suất phân bố theo qui luật thủy tĩnh.

3.4. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG THỰC (PHƯƠNG TRÌNH NAVIER-STOKES)

Ta xét một khối hình hộp chất lỏng thực được tách ra từ một thể tích chất lỏng chuyển động có các cạnh là dx, dy và dz song với các trục tọa độ x, y, z (Hình 3-7), chuyển động với vận tốc u và gia tốc du/dt .



Hình 3-7. Thành lập phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng thực

Các lực tác dụng lên hình hộp bao gồm:

- Lực khối \vec{F}_K với các hình chiếu lên các trục x, y, z lần lượt là:

$$\begin{aligned} F_{Kx} &= \rho X dx dy dz \\ F_{Ky} &= \rho Y dx dy dz \\ F_{Kz} &= \rho Z dx dy dz \end{aligned} \quad (3-13)$$

trong đó X, Y, Z là hình chiếu của lực khối trên một đơn vị khối lượng chất lỏng.

- Lực bề mặt \vec{F}_m được xác định dựa theo các đại lượng áp suất và 9 thành phần ứng suất của lực nhót lập thành tenxơ ứng suất:

$$\begin{pmatrix} (-p + \tau_{xx}) & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & (-p + \tau_{yy}) & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & (-p + \tau_{zz}) \end{pmatrix}$$

trong đó áp suất được ký hiệu là p và các ứng suất nhót là τ_{ij} ; với ij trong τ_{ij} chỉ ra rằng thành phần ứng suất tác dụng theo phương j tại tiết diện vuông góc với phương i .

Phân tích hình chiếu của các lực mặt lên các trục tọa độ, chẳng hạn như hình chiếu các lực mặt lên trục x có dạng:

$$\begin{aligned} F_{mx} &= \left[(p - \tau_{xx}) dydz + \left(-p - \frac{\partial p}{\partial x} dx + \tau_{xx} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) dydz \right] + \\ &+ \left[-\tau_{yx} + \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right] dx dz + \left[-\tau_{zx} + \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right] dx dy = \\ &= \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) dx dy dz \end{aligned} \quad (3-14a)$$

Tiến hành tương tự với các trục y và z ta có:

$$F_{my} = \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (3-14b)$$

$$F_{mz} = \left(-\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) dx dy dz \quad (3-14c)$$

- Lực quán tính $M \frac{d\vec{u}}{dt}$, trong đó $M = \rho dx dy dz$ là khối lượng chất lỏng.

Theo nguyên lý bảo toàn động lượng, lực quán tính phải cân bằng với các lực tác dụng nên ta có:

$$M \frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F}_k + \vec{F}_m \quad (3-15)$$

Nếu chia cả hai vế cho $\rho dx dy dz$ ta có phương trình động lực dạng ứng suất:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} + \frac{1}{\rho} \vec{f}_m \quad (3-16)$$

trong đó: $\vec{F} = \frac{\vec{F}_k}{\rho dx dy dz}$ và $\vec{f}_m = \frac{\vec{F}_m}{\rho dx dy dz}$

hay dưới dạng hình chiếu lên các trục tọa độ x, y, z , hệ phương trình vi phân đối với chuyển động của chất lỏng thực dạng ứng suất sẽ là:

$$\frac{du_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (3-17a)$$

$$\frac{du_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \quad (3-17b)$$

$$\frac{du_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (3-17c)$$

Theo giả thiết của Niuton thì các thành phần ứng suất τ_{xx} , τ_{yy} , τ_{zz} là hàm của vận tốc biến dạng dài của chất lỏng:

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{u} \\ \tau_{yy} &= 2\mu \frac{\partial u_y}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{u} \\ \tau_{zz} &= 2\mu \frac{\partial u_z}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} \vec{u} \end{aligned} \quad (3-18)$$

Cũng theo giả thiết của Newton (ứng suất nhớt tiếp tỉ lệ với biến dạng góc) mở rộng cho trường hợp chuyển động không gian:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u_y}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial y} \right) \\ \tau_{xz} &= \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial x} + \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3-19)$$

Thay các biểu thức (3-18 và 3-19) vào hệ phương trình (3-17a-c) và thực hiện một số phép biến đổi ta được hệ ba phương trình vi phân sau:

$$\frac{du_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-20a)$$

$$\frac{du_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-20b)$$

$$\frac{du_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + \frac{\nu}{3} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \quad (3-20c)$$

hay dưới dạng vector:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} + \frac{\nu}{3} \text{grad}(\text{div } \vec{u}) \quad (3-21)$$

trong đó: $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - toán tử Laplas

Hệ phương trình (3-20a-c) chính là phương trình Navier-Stokes (1822). Đây là phương trình động lực dưới dạng tổng quát đối với chất lỏng thực.

Trong trường hợp chất lỏng không nén được ($\rho = \text{const}$) ta có $\text{div } \vec{u} = 0$ và phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng thực không nén được có dạng:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} \quad (3-22)$$

Trường hợp chất lỏng không nhớt ($\nu = 0$), ta có phương trình vi phân chuyển động Ôle của chất lỏng lý tưởng:

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \quad (3-11)$$

Trường hợp chất lỏng không chuyển động ($u = 0$) hay chuyển động thẳng đều ($du/dt = 0$) ta sẽ được phương trình Ôle tĩnh (2-5):

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = 0$$

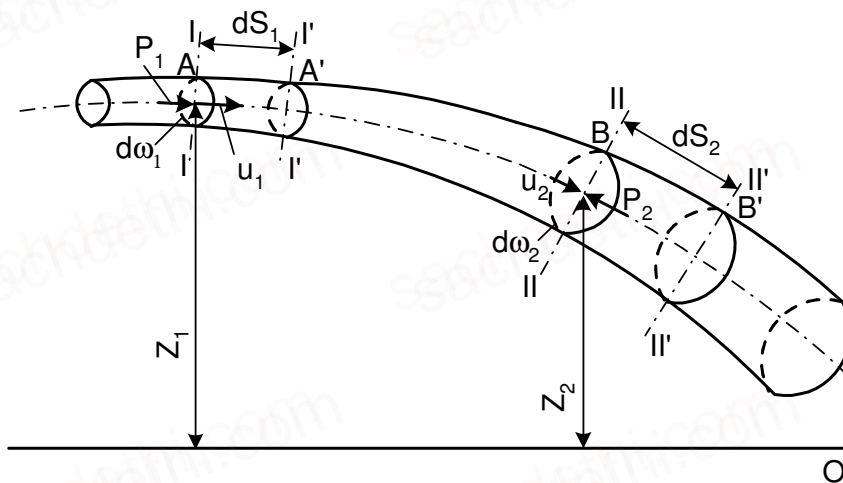
Lưu ý: Do tính chất phi tuyến của phương trình Navier - Stokes nên tích phân của nó hiện chỉ có thể thực hiện được trong một số ít trường hợp, ví dụ như bài toán về dòng chảy giữa hai bản phẳng song song. Trong số lớn các trường hợp khác, người ta thực hiện tuyến tính hoá phương trình bằng cách đơn giản bớt các điều kiện bài toán, bỏ bớt một vài số hạng có ảnh hưởng không đáng kể so với các số hạng còn lại...

3.5. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI VIẾT CHO DÒNG NGUYÊN TỐ CHẤT LỎNG LÝ TƯỜNG

Năm 1738, Becnuli đã tìm ra phương trình nổi tiếng về quan hệ giữa vận tốc và động áp lực của dòng chảy bằng cách ứng dụng định luật động năng vào chuyển động của chất lỏng. Phương trình Becnuli còn được gọi là phương trình năng lượng vì nó là một dạng của định luật bảo toàn năng lượng.

3.5.1. Phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng

Xét một đoạn dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chuyển động ổn định giới hạn bởi mặt cắt I-I và II-II (Hình 3-8).



Hình 3-8. Sơ đồ xác định phương trình Becnuli cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng

Tại trọng tâm của I-I và II-II ta có:

Độ cao hình học Z_1 và Z_2 ; Áp suất thuỷ động P_1 và P_2 ; Vận tốc v_1 và v_2 ; Diện tích mặt cắt $d\omega_1$ và $d\omega_2$.

Ta thấy rằng đoạn chất lỏng AB sau thời gian dt đã chuyển đến vị trí mới A'B'. Khi đó những chất điểm của chất lỏng từ mặt cắt I-I chuyển động với vận tốc u_1 đã dịch chuyển được một đoạn dS_1 đến mặt cắt I'-I'. Còn những chất điểm trong mặt cắt II-II chuyển động với vận tốc u_2 đã dịch chuyển được một đoạn dS_2 đến mặt cắt II'-II'.

Ta có: $dS_1 = u_1 dt$ và $dS_2 = u_2 dt$.

Theo phương trình liên tục của dòng nguyên tố ta viết được :

$$d\omega_1 u_1 = d\omega_2 u_2 = dQ$$

Theo định luật bảo toàn động năng: “Sự thay đổi động năng của khối lượng một vật chuyển động trong một khoảng thời gian nào đó bằng tổng công của tất cả những lực tác dụng lên vật ấy cũng trong khoảng thời gian đó”.

Ứng dụng định luật bảo toàn động năng vào chuyển động của đoạn chất lỏng AB. Trên hình 3-8 ta thấy khi đoạn chất lỏng chuyển động từ AB đến A'B', ta xem như phần đoạn AB ở tại chỗ, còn thể tích chất lỏng AA' dịch chuyển đến vị trí mới BB'. Do đó sự thay đổi động năng của tất cả đoạn AB sẽ bằng hiệu số động năng của thể tích BB' và AA'.

Ta có :

$$E_{KAA'} = \frac{mu_1^2}{2} = \frac{\rho d\omega_1 ds_1 u_1^2}{2}$$

$$E_{KBB'} = \frac{mu_2^2}{2} = \frac{\rho d\omega_2 ds_2 u_2^2}{2}$$

Thay $\rho = \gamma/g$, $ds_1 = u_1 dt$, $ds_2 = u_2 dt$ ta có :

$$E_{KAA'} = \frac{\gamma u_1^2 \omega_1 d\omega_1 dt}{2g} = \frac{\gamma u_1^2 dQ dt}{2g}$$

$$E_{KBB'} = \frac{\gamma u_2^2 \omega_2 d\omega_2 dt}{2g} = \frac{\gamma u_2^2 dQ dt}{2g}$$

Do đó sự thay đổi động năng sau thời gian dt của đoạn AB sẽ bằng:

$$\Delta E_K = E_{KBB'} - E_{KAA'} = \gamma dQ \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) dt \quad (3-23)$$

Công của các lực tác dụng lên khối chất lỏng AB gồm công của áp lực và công của trọng lực.

$$\begin{aligned} \text{Công của áp lực là: } \Delta E_p &= p_1 d\omega_1 ds_1 - p_2 d\omega_2 ds_2 \\ &= (p_1 - p_2) dQ dt \end{aligned} \quad (3-24)$$

Còn công của trọng lực, theo cách phân tích hiện tượng đã nói trên, bằng công của trọng lượng chất lỏng $\gamma dQ dt$ trong đoạn AA' đến BB' theo phương thẳng đứng từ Z_1 đến Z_2 :

$$\Delta E_g = \gamma dQ (Z_1 - Z_2) dt \quad (3-25)$$

Công của các lực khác vuông góc với trục chuyển động của ống dòng bằng 0. Vậy:

$$\Delta E_K = \Delta E_p + \Delta E_g \quad (3-26)$$

$$\gamma dQ \left(\frac{u_2^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g} \right) dt = (p_1 - p_2) dQ dt + \gamma dQ (Z_1 - Z_2) dt$$

rút gọn và sắp xếp lại:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}$$

Vì các mặt cắt I-I và II-II ta chọn tùy ý nên có thể viết:

$$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const} \quad (3-27)$$

Phương trình (3-27) là phương trình Bernoulli cho dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng, chảy ổn định; xác định mối liên hệ giữa vận tốc, áp suất thủy động và độ cao hình học của chất điểm trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng.

3.5.2. Ý nghĩa hình học và năng lượng của phương trình Bernoulli

a) Ý nghĩa thủy lực hay hình học

Để hiểu rõ ý nghĩa những thành phần của phương trình Bernoulli ta quan sát hình 3-9 vẽ dòng nguyên tố chất lỏng chuyển động. Tại trọng tâm mặt cắt 1-1 và 2-2 ở độ cao Z_1 và Z_2 trên mặt chuẩn $O-O$, ta đặt các ống Pito kép để xác định độ cao đo áp và độ cao vận tốc:

Ta có:

Z - độ cao hình học;

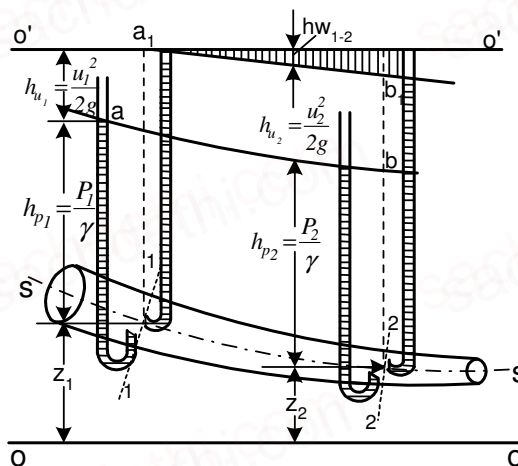
$\frac{p}{\gamma}$ - độ cao đo áp;

$\frac{u^2}{2g}$ - độ cao vận tốc;

$Z, \frac{p}{\gamma}, \frac{u^2}{2g}$ đều có thứ nguyên là độ dài;

$Z + \frac{p}{\gamma} = H_t$ - cột áp tĩnh;

$Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = H_d$ - cột áp thủy động.



Hình 3-9. Giải thích ý nghĩa hình học và năng lượng của phương trình Bernoulli

Trong dòng nguyên tố chất lỏng lý tưởng chuyển động dừng, cột áp thủy động là một hằng số:

$$H_d = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{Const}$$

b) Ý nghĩa năng lượng

Trong thủy tĩnh học ta đã xét ý nghĩa năng lượng của hai số hạng Z và $\frac{p}{\gamma}$

Z - vị năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng so với mặt chuẩn, gọi tắt là vị năng đơn vị hay tỷ vị năng;

$\frac{p}{\gamma}$ - áp năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là áp năng đơn vị hay tỷ áp năng;

$Z + \frac{p}{\gamma}$ - thế năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là thế năng đơn vị hay tỷ thế năng;

$\frac{u^2}{2g}$ - động năng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là động năng đơn vị hay tỷ động năng;

$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = E$ - năng lượng toàn phần của một đơn vị trọng lượng chất lỏng gọi tắt là năng lượng đơn vị hay tỷ năng toàn phần.

Đường biểu diễn thế năng đơn vị $(z + \frac{p}{\gamma})$ của dòng chảy gọi là đường đo áp. (đường ab trong hình 3-9);

Đường biểu diễn năng lượng đơn vị $(Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g})$ của dòng chảy tức là cũng biểu diễn cột áp thủy động H_d gọi là đường năng (đường a_1b_1 hình 3-9).

3.6. PHƯƠNG TRÌNH BECNULI ĐỐI VỚI DÒNG CHẤT LỎNG THỰC

3.6.1. Phương trình Becnuli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực

Ta biết rằng chất lỏng thực có tính nhớt do đó gây ra sức cản trong khi chuyển động và do đó có tổn thất một phần năng lượng của dòng nguyên tố, vì vậy năng lượng của một đơn vị trọng lượng của chất lỏng thực giảm dần theo chiều dài dòng chảy, nghĩa là $E_1 > E_2$.

$$\text{hay: } Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} > Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (3-28)$$

Gọi h'_{w1-2} là tổn thất năng lượng của một đơn vị trọng lượng chất lỏng khi chất lỏng di chuyển từ 1-1 đến 2-2 thì:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} + h'_{w1-2} \quad (3-29)$$

Phương trình (3-29) là phương trình Becnuli viết cho dòng nguyên tố chất lỏng thực chuyển động dừng.

Để đặc trưng cho điều kiện chảy của chất lỏng thực ta đưa ra những khái niệm về độ dốc hình học i , độ dốc đo áp I và độ dốc thủy lực J .

Độ dốc hình học là độ hạ thấp đáy dòng chảy trên một đơn vị chiều dài nghĩa là :

$$i = \frac{dZ}{dL} \approx \frac{Z_1 - Z_2}{L_{1-2}} = \sin \alpha \quad (3-30)$$

trong đó α - Góc nghiêng của dòng chảy so với mặt phẳng nằm ngang.

Độ dốc đo áp là độ hạ thấp của đường đo áp trên một đơn vị chiều dài của dòng chảy:

$$I = \frac{d\left(Z + \frac{p}{\gamma}\right)}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{L_{1-2}} \quad (3-31)$$

Độ dốc thủy lực là độ hạ thấp của đường năng trên một đơn vị chiều dài, hay nói cách khác là tổn thất năng lượng trên một đơn vị chiều dài dòng chảy :

$$J = \frac{dh_w}{dL} = \frac{\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g}\right)}{L_{1-2}} = \frac{h'_{w1-2}}{L_{1-2}} \quad (3-32)$$

Nhận xét:

Độ dốc đo áp có thể có trị số âm hay trị số dương tùy theo sự thay đổi áp suất trong dòng chảy. Còn độ dốc thủy lực bao giờ cũng có trị số dương vì tổn thất năng lượng h'_{wl} luôn tăng dọc dòng chảy.

Độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng thực khác độ dốc đo áp trong dòng chảy chất lỏng lý tưởng.

Trong trường hợp chuyển động đều, đường đo áp và đường năng song song do đó $I = J$.

Trường hợp dòng chảy đều trong kênh hở: $i = I = J$.

3.6.2. Phương trình Becnuli đối với toàn dòng chất lỏng thực

Bây giờ ta mở rộng phương trình Becnuli đối với dòng nguyên tố chất lỏng thực ra toàn dòng chất lỏng bằng cách cộng năng lượng của các dòng nguyên tố tạo thành dòng chảy và cộng tổn thất của những dòng ấy.

Nếu biểu thị trọng lượng chất lỏng của dòng nguyên tố chảy trong một đơn vị thời gian γdQ và nhân với cả hai vế của (3-29) ta có biểu thức năng lượng của dòng nguyên tố trong mặt cắt 1-1 và 2-2:

$$\left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQ = \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma dQ + h'_{wl-2} \gamma dQ \quad (3-33)$$

Tích phân biểu thức trên theo mặt cắt toàn dòng chảy:

$$\int_{\omega 1} \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma dQ = \int_{\omega 2} \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma dQ + \int_{\omega 2} h'_{wl-2} \gamma dQ \quad (3-34)$$

Ta biết rằng áp suất thủy động trong dòng chảy đều và dòng biến đổi chậm phân bố theo qui luật thủy tĩnh $Z + \frac{p}{\gamma} = const$ trên một mặt cắt ướt.

Với điều kiện hạn chế trên ta viết được:

$$\begin{aligned} \int_{\omega 1} \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \gamma dQ &= \gamma \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \int_{\omega 1} dQ = \gamma Q \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) \\ \int_{\omega 2} \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \gamma dQ &= \gamma \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \int_{\omega 2} dQ = \gamma Q \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) \end{aligned} \quad (3-35)$$

Các tích phân này biểu thị thế năng của lưu lượng γQ .

Tích phân $\int_{\omega 3} h'_{wl-2} \gamma dQ$ biểu thị tổng các tổn thất năng lượng đơn vị của tất cả các dòng nguyên tố trong toàn dòng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2. Nếu gọi h_{wl-2} là tổn thất năng lượng đơn vị trung bình trên đoạn dòng chảy đó, ta có:

$$\int_{\omega 3} h'_{wl-2} \gamma dQ = \gamma Q h_{wl-2} \quad (3-36)$$

Các tích phân có dạng $\int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ$ biểu thị tổng các động năng của các dòng nguyên tố, ký hiệu là E_{dn}^u :

$$E_{dn}^u = \int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ = \frac{\gamma}{2g} \int_{\omega} u^2 dQ \quad (3-37)$$

Việc tính tích phân này phức tạp vì chưa biết qui luật phân bố vận tốc u trong mặt cắt toàn dòng chảy. Để đơn giản ta thay vận tốc u của các dòng nguyên tố bằng vận tốc trung bình v của toàn dòng chảy. Ta có:

$$E_{dn}^v = \frac{\gamma}{2g} \int_{\omega} v^2 dQ = \gamma Q \frac{v^2}{2g} \quad (3-38)$$

Vì sự phân bố của u khác sự phân bố của v nên $E_{dn}^u \neq E_{dn}^v$.

Để thay $\int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ$ bằng $\int_{\omega} \frac{v^2}{2g} \gamma dQ$ ta đưa vào hệ số α là hệ số hiệu chỉnh sự phân bố vận tốc không đều trong tính toán động năng (hệ số hiệu chỉnh động năng - hệ số Coriolis)

$$\alpha = \frac{E_{dn}^u}{E_{dn}^v} \quad (3-39)$$

$\alpha = 1,01 \div 2$ tùy theo chế độ chảy (tầng, rối) và hình dạng kích thước dòng chảy.

Thay (3-39) vào (3-38) ta có:

$$E_{dn}^u = \int_{\omega} \frac{u^2}{2g} \gamma dQ = \alpha \frac{v^2}{2g} \gamma Q \quad (3-40)$$

Thay các trị số tính được ở (3-34), (3-35) và (3-40) vào (3-34) ta có:

$$\gamma Q \left(Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \gamma Q = \gamma Q \left(Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right) + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \gamma Q + \gamma Q h_{w1-2}$$

Hay đơn giản cho γQ :

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (3-41)$$

Phương trình (3-41) là phương trình Becnuli cho toàn dòng chất lỏng thực. Nó được dùng rộng rãi để giải các bài toán trong thủy lực và thủy khí động lực học.

Lưu ý: Việc mở rộng phương trình Becnuli không phải đối với loại dòng chảy nào cũng làm được. Ở trên ta đã tiến hành mở rộng được trong điều kiện dòng chảy đều và biến đổi chậm.

Trong trường hợp chuyển động tương đối hoặc chuyển động không đều (chảy không ổn định) thì trường hợp tổng quát phương trình Becnuli viết cho toàn dòng chất lỏng thực,

ngoài các số hạng của phương trình đã nêu trên còn phải kể thêm thành phần tổn thất cột áp quán tính.

3.7. MỘT SỐ ỨNG DỤNG CỦA PHƯƠNG TRÌNH BECNULI

Phương trình Becnuli được ứng dụng rất rộng rãi trong nhiều ngành kỹ thuật để giải quyết nhiều vấn đề trong thực tiễn. Một số chương tiếp theo của giáo trình có thể coi là những ứng dụng của phương trình Becnuli như : dòng chảy qua lỗ, vòi, đập tràn, trong ống, trong kênh ; trong hệ thống cung cấp nước, máy bơm...

Dưới đây chỉ nêu một số ứng dụng cụ thể của phương trình Becnuli.

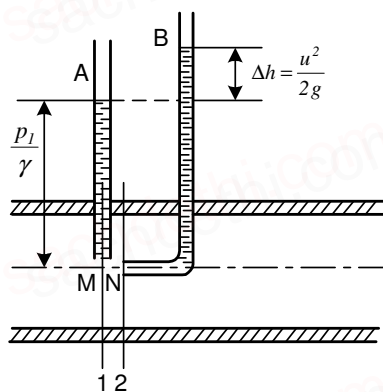
3.7.1. Dụng cụ đo vận tốc, ống Pito-Prandtl

Để đo vận tốc của một điểm trong dòng chảy ta cắm ống đo áp và ống Pito hình chữ L vào dòng chảy như hình vẽ (Hình 3-10).

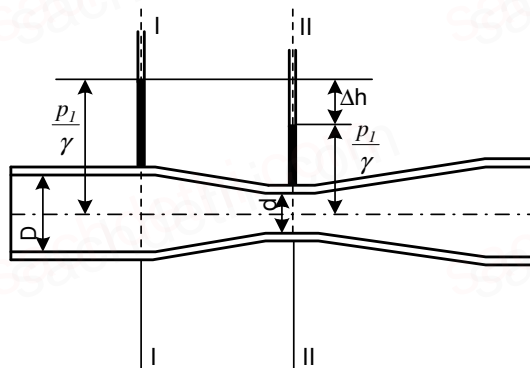
$$\text{Ống đo áp cho giá trị } \left(Z + \frac{p}{\gamma} \right) \text{ còn độ chênh } \Delta H = \frac{u^2}{2g}$$

$$\text{Suy ra } u = \sqrt{2g\Delta H}$$

Kết hợp hai ống này được ống Pito-Prandtl (hay còn gọi là ống Pitokép)



Hình 3-10. Ống Pito-Prandtl



Hình 3-11. Lưu lượng kế Venturi

3.7.2. Lưu lượng kế Venturi

Là một dụng cụ dùng để đo lưu lượng dòng chảy trong ống, gồm một đoạn ống hình côn thu hẹp và một đoạn ống hình côn mở rộng ghép với nhau bằng một đoạn ống ngắn hình trụ. Đặt hai ống đo áp, một ở đầu ống hình côn (mặt cắt 1-1) và một ở đoạn ống hình trụ (mặt cắt 2-2) (Hình 3-11).

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, mặt chuẩn trùng với trục ống, bỏ qua

$$h_w \text{ ta có : } \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

ở đây hệ số động năng $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

Theo phương trình liên tục của dòng chảy, có thể viết:

$$v_2 = v_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} = v_1 \frac{D^2}{d^2}$$

Thay vào phương trình trên:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{v_1^2}{2g} \left(\frac{D^4}{d^4} - 1 \right)$$

hay

$$v_1 = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}} = \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \cdot \sqrt{2g \Delta h}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \Delta h \text{ là độ chênh của hai độ cao đo áp, lưu lượng chất lỏng đi qua lưu lượng}$$

kế bằng:

$$Q = v_1 \omega_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{d^4}{D^4 - d^4}} \cdot \sqrt{2g \Delta h} = K \sqrt{\Delta h} \quad (3-42)$$

Dựa vào công thức (3-42) muốn xác định lưu lượng chảy qua lưu lượng kế chỉ cần đo độ chênh Δh là tính ra lưu lượng.

Đối với chất lỏng thực có tổn thất $h_{w1-2} = \zeta \frac{v_1^2}{2g}$, ζ là hệ số tổn thất cục bộ khi đó:

$$Q = K_1 \sqrt{\Delta h}$$

$$\text{Ở đây } K_1 = \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{\frac{2gd^4}{\alpha_2 D^4 - \alpha_1 d^4 + \zeta d^4}}.$$

3.8. PHƯƠNG TRÌNH BIẾN THIÊN ĐỘNG LƯỢNG ĐỐI VỚI DÒNG CHUYỂN ĐỘNG DỪNG

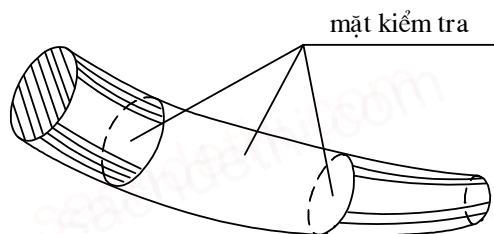
Trong cơ học lý thuyết ta đã nghiên cứu về định lý biến thiên động lượng còn gọi là định lý Ô le 1 hay phương trình động lượng:

$$\frac{d(m\vec{u})}{dt} = \vec{F}$$

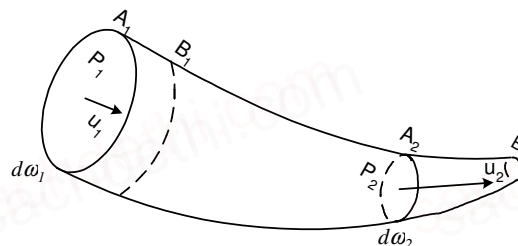
$$\text{hoặc: } m\Delta \vec{u} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad (3-43)$$

Việc vận dụng phương trình trên vào nghiên cứu biến thiên động lượng của chất lỏng chuyển động có thuận tiện là không phải xét đến nội lực của chất lỏng (lực nhớt), cũng không phải xét toàn bộ dòng chảy mà chỉ cần khảo sát thể tích chất lỏng trong một dòng chảy đi chuyển qua lòng dẫn bao bọc đoạn dòng chảy đó. Ta biết rằng toàn bộ bề mặt giới hạn thể tích

chất lỏng trong đoạn lòng dẫn đó – bao gồm mặt xung quanh và hai mặt cắt ngang ở hai đầu – gọi là mặt kiểm tra. Mặt kiểm tra này coi như cố định (Hình 3 - 12a).



Hình 3 - 12a



Hình 3 - 12b

Phương trình động lượng dùng cho chất lỏng do Ô le lập ra năm 1755. Đây là một phương trình cơ bản của thủy khí động lực, những bài toán không thể giải được bằng phương trình Bernoulli thường phải dùng đến phương trình động lượng.

3.8.1. Phương trình động lượng đối với dòng nguyên tố chuyển động dừng

Xét một đoạn dòng nguyên tố, trong đó ta khảo sát biến thiên động lượng của chất lỏng trong đoạn A_1A_2 (Hình 3-12b).

Tại thời điểm t , khối chất lỏng ở vị trí A_1A_2 .

Thời điểm $t + dt$, khối chất lỏng ấy di chuyển đến vị trí B_1B_2 .

Tại các mặt cắt A_1 và A_2 , các yếu tố chuyển động là u_1, p_1 và u_2, p_2 ; ρ không đổi; diện tích mặt cắt $d\omega_1$ và $d\omega_2$. Vì dòng chảy ổn định nên trong khi di chuyển từ vị trí A_1A_2 đến vị trí B_1B_2 dòng chảy trong đoạn B_1A_2 không có gì thay đổi. Ta có thể coi như sự biến thiên động lượng của khối chất lỏng trong đoạn A_1A_2 sau khi nó di chuyển đến vị trí B_1B_2 là biến thiên động lượng của chất lỏng trong đoạn A_1B_1 sau khi di chuyển đến A_2B_2 .

Nếu ký hiệu động lượng là K , ta có thể viết:

$$K_{A_1A_2} = K_{A_1B_1} + K_{B_1A_2}$$

$$K_{B_1B_2} = K_{B_1A_2} + K_{A_2B_2}$$

$$dK = K_{B_1B_2} - K_{A_1A_2} = K_{A_2B_2} - K_{A_1B_1}$$

Theo phương trình liên tục ta có $u_1 d\omega_1 = u_2 d\omega_2 = dQ$. Mặt khác ta có $A_1B_1 = u_1 dt$ và $A_2B_2 = u_2 dt$. Vậy khối lượng chất lỏng trong các đoạn dòng chảy A_1B_1 và A_2B_2 đều bằng $\rho dQ dt$.

$$\text{Do đó: } d\vec{K} = \rho dQ (\vec{u}_2 - \vec{u}_1) dt = d(m\vec{u})$$

$$\frac{d(m\vec{u})}{dt} = \rho dQ (\vec{u}_2 - \vec{u}_1) \quad (3-44)$$

Gọi \vec{F} là tổng của các ngoại lực tác dụng lên chất trong đoạn dòng chảy A_1A_2 , ta viết được theo nguyên lý bảo toàn động lượng:

$$\vec{F} = \rho dQ (\vec{u}_2 - \vec{u}_1)$$

Trong đó \vec{F} ta phân các lực thành hai loại:

- Lực khối (trọng lực, lực quán tính) đại diện bởi véc tơ chính \vec{K}_m ;
- Lực bề mặt đại diện bởi véc tơ chính \vec{K}_s .

\vec{K}_s gồm hai thành phần: \vec{K}_{sp} do áp suất tạo ra trên mặt bao quanh và hai mặt đáy, tức là mặt kiểm tra; \vec{K}_{st} - lực tiếp xúc của thành tác dụng lên chất lỏng.

Vậy có thể viết:

$$\rho dQ(\vec{u}_2 - \vec{u}_1) = \vec{K}_m + \vec{K}_s = \vec{K}_m + \vec{K}_{sp} + \vec{K}_{st} \quad (3-45)$$

Phương trình (3-45) là phương trình động lượng, hay phương trình Ô le1 đối với dòng nguyên tố chuyển động dừng.

3.7.2. Ý nghĩa thuỷ động lực

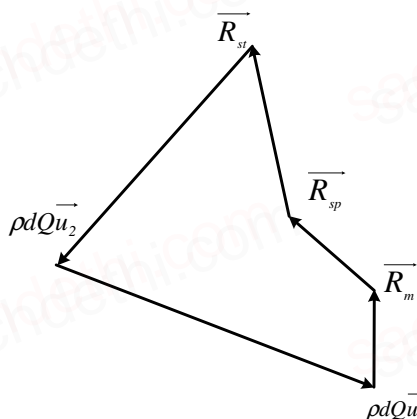
Ta gọi ρdQu_2 là động lượng lưu lượng ra, ρdQu_1 là động lượng lưu lượng vào, hoặc cả hai động lượng (ra và vào). Có thể viết phương trình dưới dạng véc tơ:

$$\vec{K}_m + \vec{K}_{sp} + \vec{K}_{st} + \rho dQu_1 + (-\rho dQu_2) = 0 \quad (3-46)$$

và biểu diễn tổng của các véc tơ này bằng đồ thị (Hình 3-13).

Ta phát biểu phương trình động lượng cho dòng nguyên tố, chảy ổn định như sau: “Khối chất lỏng trong một đoạn dòng nguyên tố chuyển động dừng được cân bằng dưới tác dụng của lực khối, lực bề mặt và động lượng”.

Thông thường đẳng thức véc tơ trên đây được thay thế bằng ba phương trình hình chiếu và ba phương trình mô men. Nhưng ta chỉ cần viết những phương trình nào liên quan.



Hình 3-13

3.7.3. Mở rộng phương trình động lượng ra cho toàn dòng

a) Hệ số phân bố động lượng không đều

Cũng giống như đối phương trình Becnuli, muốn vận dụng phương trình động lượng vào công tác kỹ thuật, ta cần mở rộng phương trình động lượng đối với dòng nguyên tố ra cho toàn dòng chảy (có kích thước hữu hạn). Ta vẫn xét khối khối chất lỏng chảy qua hai mặt cắt A_1 và A_2 (Hình 3-14).

Trong dòng nguyên tố, động lượng lưu lượng là:

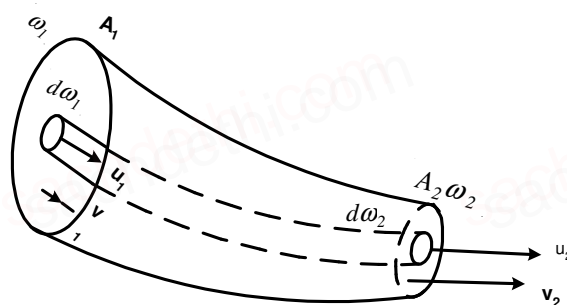
$$\rho dQu = \rho u^2 d\omega$$

Mở rộng cho toàn dòng chảy có mặt cắt ω , động lượng của khối chất lỏng trong mặt kiểm tra A_1A_2 là :

$$(K)_{\omega}^u = \rho \int_{\omega} u^2 d\omega \quad (3-47)$$

Do đó vận tốc u trong mặt cắt ω phân bố không đều nên động lượng của các dòng nguyên tố cũng phân bố không đều. Việc tích phân $\int_{\omega} u^2 d\omega$ cũng không phức tạp lắm, nhưng để đơn giản, ta có thể lập luận như sau:

Nếu ta tính động lượng của lưu lượng toàn dòng theo vận tốc trung bình v thì sẽ được:



Hình 3-14

$$(K)_{\omega}^v = \rho \int_{\omega} v^2 d\omega = \rho Qv$$

Giữa hai giá trị $(K)_{\omega}^u$ và $(K)_{\omega}^v$ tất nhiên có sự chênh lệch, do đó ta có thể viết:

$$(K)_{\omega}^u = \beta (K)_{\omega}^v$$

$$\rho \int_{\omega} u^2 d\omega = \beta \rho Qv$$

trong đó: $\beta = \frac{\rho \int_{\omega} u^2 d\omega}{\rho Qv}$ là tỷ số động lượng thực của lưu lượng dòng chảy và động lượng của lưu lượng tính theo vận tốc trung bình v .

β là hệ số hiệu chỉnh phân bố động lượng không đều, hay hệ số Butxinet (Boussinesq); trị số của nó phụ thuộc quy luật phân bố vận tốc trong dòng chảy. Theo thực nghiệm và lý thuyết, giá trị của hệ số β như sau:

$$\beta = \frac{3}{4} \text{ khi vận tốc phân bố theo qui luật parabol (trạng thái chảy tầng).}$$

$\beta = 1,01 \div 1,05$ khi vận tốc phân bố theo qui luật lôgarit (trạng thái chảy rối). Thông thường đối với dòng chảy có thể coi như $\beta = 1$.

Như vậy, sau khi dùng hệ số hiệu chỉnh phân bố động lượng β , ta có thể viết phương trình động lượng cho toàn dòng chuyển động dừng thành:

$$K_m + K_{sp} + K_{st} + \beta_1 dQv_1 + (-\beta_2 dQv_2) = 0$$

b) Biểu thức của hệ số hiệu chỉnh phân bố động lượng β .

Trong tích phân $\rho \int_{\omega} u^2 d\omega = (K)_{\omega}^u$ ta thay u bằng $v \pm \Delta u$:

$$\begin{aligned}\rho \int_{\omega} u^2 d\omega &= \rho \int_{\omega} (v \pm \Delta u)^2 d\omega = \\ &= \rho v^2 \int_{\omega} d\omega + 2\rho v \int_{\omega} \pm \Delta u d\omega + \int_{\omega} (\Delta u)^2 d\omega\end{aligned}$$

Ta biết là tích phân $\int_{\omega} \pm \Delta u d\omega = 0$

Vậy:

$$\rho \int_{\omega} u dQ = \rho \int_{\omega} u^2 d\omega = \rho v^2 \omega \left[1 + \frac{\int_{\omega} (\Delta u)^2 d\omega}{v^2 \omega} \right]$$

Đặt :

$$\beta = 1 + \frac{\int_{\omega} (\Delta u)^2 d\omega}{v^2 \omega}$$

Ta có:

$$\begin{aligned}(K)_{\omega}^u &= \rho \int_{\omega} u^2 d\omega = \rho v^2 \omega \beta = \rho v^2 Q \beta = \beta (K)^v \\ \beta &= \frac{(K)_{\omega}^u}{(K)_{\omega}^v} = \frac{\int_{\omega} u^2 d\omega}{v^2 \omega} = \frac{1}{\omega} \int_{\omega} \left(\frac{u}{v} \right)^2 d\omega\end{aligned}$$

Chú ý: Cần phân biệt hệ số hiệu chỉnh phân bố động lượng không đều β với hệ số hiệu chỉnh phân bố động năng không đều α , mặc dầu có trường hợp (trạng thái chảy rối) trị số của chúng có thể bằng nhau và ≈ 1 .

3.7.4. Ứng dụng phương trình động lượng

Phương trình động lượng được ứng dụng rất rộng rãi trong thủy khí động lực học:

- Tính lực đẩy của một động cơ phản lực hoặc của một tên lửa;
- Tính các cánh quạt của máy bay, chân vịt tàu thủy;
- Tính lực tác dụng lên cánh tuốc bin, cánh quạt;
- Nghiên cứu hiện tượng va đập thủy lực trong ống;
- Nghiên cứu dòng chảy biến đổi gấp (như thu hẹp, mở rộng đột ngột).

Dưới đây ta xét một ứng dụng cụ thể trong trường hợp xác định lực do chất lỏng tác dụng lên một đoạn ống cong:

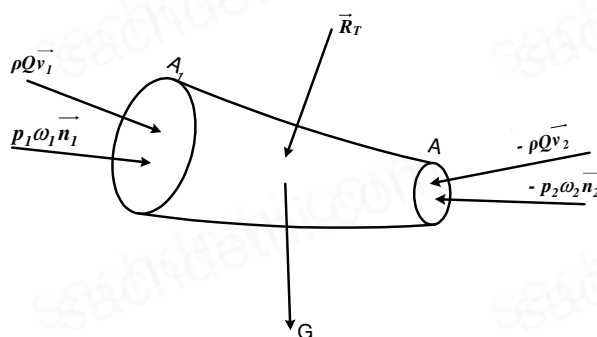
Trên hình 3-14 xét một đoạn dòng chảy cong, ta có:

Tại mặt cắt A_1 : vận tốc trung bình v_1 ; áp suất p_1 ; véc tơ đơn vị \vec{h}_1 ; diện tích mặt cắt ω_1 .

Tại mặt cắt A_2 : vận tốc trung bình v_2 ; áp suất p_2 ; véc tơ đơn vị \vec{h}_2 ; diện tích mặt cắt ω_2 .

Lực khối tác dụng lên chất lỏng là trọng lượng G và coi như hệ số sửa chữa phân bố động lượng không đều $\beta_1 = \beta_2 = 1$.

Ta có thể phân chia hợp lực \vec{K} lên mặt bao quanh chất lỏng trong đoạn ống thành các thành phần sau đây:



Hình 3-14

- Các áp lực $p_1 \omega_1 \vec{h}_1$ và $p_2 \omega_2 \vec{h}_2$ do chất lỏng tác dụng lên hai đáy của khối chất lỏng trong đoạn ống;
- Phản lực \vec{K}_{st} của thành ống lên chất lỏng, đối với lực \vec{K}_m do chất lỏng tác dụng lên thành.

Áp dụng phương trình (3-47), ta có thể viết:

$$\vec{K}_{st} + p_1 \omega_1 \vec{h}_1 - p_2 \omega_2 \vec{h}_2 + \rho Q \vec{v}_1 - \rho Q \vec{v}_2 + \vec{G} = 0$$

$$\vec{K}_m = p_1 \omega_1 \vec{h}_1 - p_2 \omega_2 \vec{h}_2 + \rho Q (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) + \vec{G}$$

Ta tính \vec{K}_m bằng các phương trình chiếu lên trục và phương trình mômen.

3.7.5. Phương trình momen động lượng (định lý Ô le 2)

$$\frac{dL}{dt} = \sum \vec{M}_0$$

Xét khối chất lỏng chuyển động trong rãnh bánh công tác (của tuabin chẳng hạn – Hình 3-15).

Gọi M_0 – mômen ngoại lực (mômen tác dụng của dòng chảy lên thành rãnh – mômen làm quay bánh công tác của tua bin);

$$dL = (m \vec{r})_2 - (m \vec{r})_1$$

$$dL_0 = \rho \omega_2 u_2 dt u_2 r_2 \cos \alpha_2 - \rho \omega_1 u_1 dt u_1 r_1 \cos \alpha_1$$

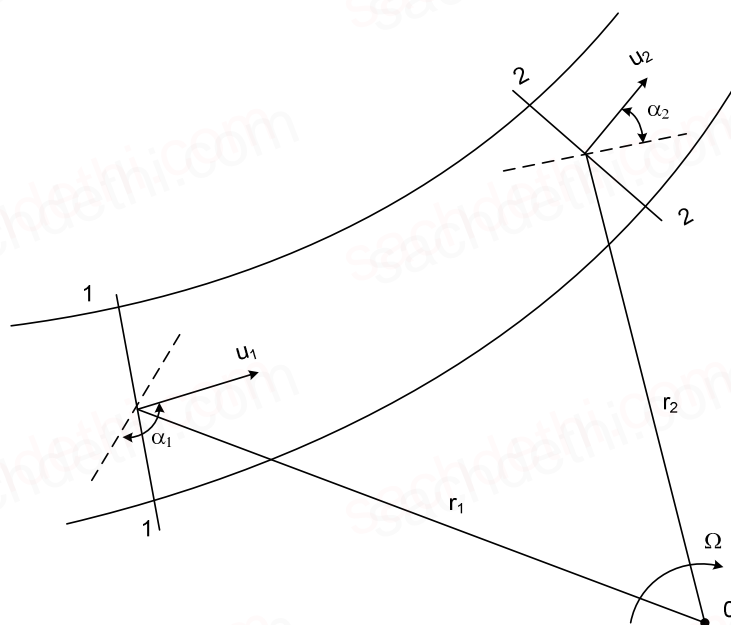
$$= \rho Q (u_2 r_2 \cos \alpha_2 - u_1 r_1 \cos \alpha_1) dt$$

Vậy mô men làm quay bánh công tác của tuabin, gây ra do tác dụng của dòng chất lỏng có lưu lượng Q :

$$M_0 = \rho Q (-u_2 r_2 \cos \alpha_2 + u_1 r_1 \cos \alpha_1) \quad (3-48)$$

Tuabin quay với vận tốc góc Ω thì công suất thực tế của nó là:

$$N = M_0 \Omega$$



Hình 3- 15

Trong thực tế : $N = \eta M_0 \Omega$

$H < 1$ - Hiệu suất chung của tuabin.

Vậy: $N = \eta \rho Q \Omega (u_1 r_1 \cos \alpha_1 - u_2 r_2 \cos \alpha_2)$

Với lưu ý : $r \Omega = v_e$ vận tốc theo.

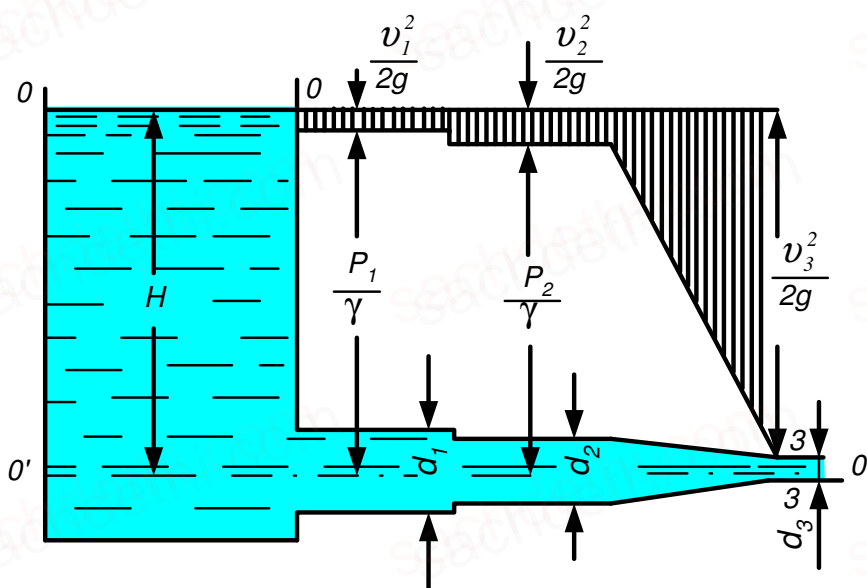
3.9. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 3-1.

Nước từ bể chứa hở, chảy qua đường ống có các đường kính $d_1 = 50 \text{ mm}$, $d_2 = 40 \text{ mm}$, $d_3 = 25 \text{ mm}$ (Hình vẽ).

Xác định cột nước cần thiết H để có lưu lượng $Q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$. Vẽ đường năng và đường đo áp.

Bỏ qua tổn thất năng lượng.



Giải:

Tính vận tốc trung bình của nước chảy ra khỏi ống ở mặt cắt 3-3:

$$v_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{Q}{\frac{\pi d_3^2}{4}} = \frac{10.4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,025^2} = 5,65 \text{ m/s}$$

Cột nước cần thiết H , được xác định từ phương trình Becnuli, viết cho mặt cắt 0-0 và 3-3, lấy mặt chuẩn 0-0:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2g} + h_{w0-3}$$

Ta lấy $\alpha_0 = \alpha_3 = 1$, $v_0 \approx 0$, $p_0 = p_a$, và theo giả thiết $h_{w0-3} = 0$

Ta có:

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}$$

Rút ra:

$$H = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{5,65^2}{2 \cdot 9,81} = 1,63 \text{ m}$$

Để vẽ được đường đo áp, cần phải xác định vận tốc trung bình và cột nước vận tốc ở các đoạn ống 1 và 2:

$$v_l = \frac{Q}{\omega_l} = \frac{10.4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,05^2} = 1,42 \text{ m/s}$$

$$\text{và } \frac{v_1^2}{2g} = \frac{1,42^2}{2 \cdot 9,81} = 0,1 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{10,4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,04^2} = 2,21 \text{ m/s}$$

$$\text{và } \frac{v_2^2}{2g} = \frac{2,21^2}{2 \cdot 9,81} = 0,25 \text{ m}$$

Vì bỏ qua tổn thất năng lượng nên đường năng là một đường thẳng nằm ngang đi qua 0-0.

Độ cao đo áp ở bất kỳ mặt cắt nào cũng được xác định bằng hiệu số giữa đường năng và cột nước vận tốc ở mặt cắt đó:

$$\frac{p}{\gamma} = H_0 - \frac{v^2}{2g}$$

Nổi tất cả độ cao đo áp ta được đường đo áp.

Ví dụ 3-2.

Một ống hút của quạt gió hình trụ dùng để hút không khí ($\rho = 1,254 \text{ kg/m}^3$) từ khí quyển, được gắn vào đó ống đo áp, phần dưới của ống nhúng trong chậu nước ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$). Mực nước dâng lên trong ống $h = 350 \text{ mm}$.

Hãy xác định lưu lượng của không khí, nếu ống hút có đường kính $D = 250 \text{ mm}$.

Giải:

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, lấy mặt chuẩn 0-0:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

Trong đó: $z_1 = 0$; $p_1 = p_a$; $v_1 \approx 0$; $\alpha = 1$.

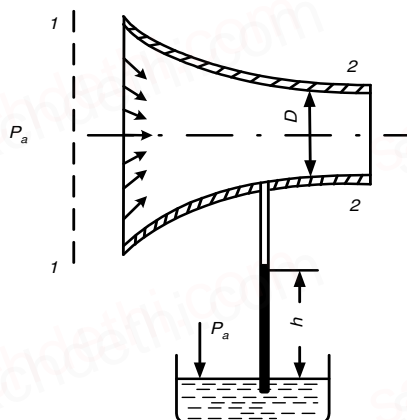
$h_{w1-2} \approx 0$ vì đoạn dòng chảy ngắn, không có chương ngại vật;

p_2 : áp suất tuyệt đối, tính được khi biết áp suất chân không:

$$h_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma} = \frac{p_a - p_2}{\gamma}$$

$$\text{Suy ra } p_2 = \frac{p_a}{\gamma} - h_{ck}$$

Thay các giá trị trên vào phương trình:



$$\frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - h_{ck} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ta tính được: $\frac{v_2^2}{2g} = h_{ck}$

Nhưng ở đây yêu cầu tính lưu lượng không khí, vậy vận tốc cũng phải tính cho không khí và độ cao chân không h_{ck} cũng phải đổi thành độ cao của một cột không khí gây ra áp suất tương đương với cột nước h_{ck} .

Ta có: $h_{ck} \cdot \gamma_{ck} = h_{kk} \cdot \gamma_{kk}$

Hay: $h_{kk} = h_{ck} \frac{\gamma_n}{\gamma_{kk}} = 0,25 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81}{1,29 \cdot 9,81} = 194 \text{ m}$

Vậy: $v_2 = \sqrt{2gh_{kk}} = \sqrt{19,62 \cdot 194} = 61,6 \text{ m/s}$

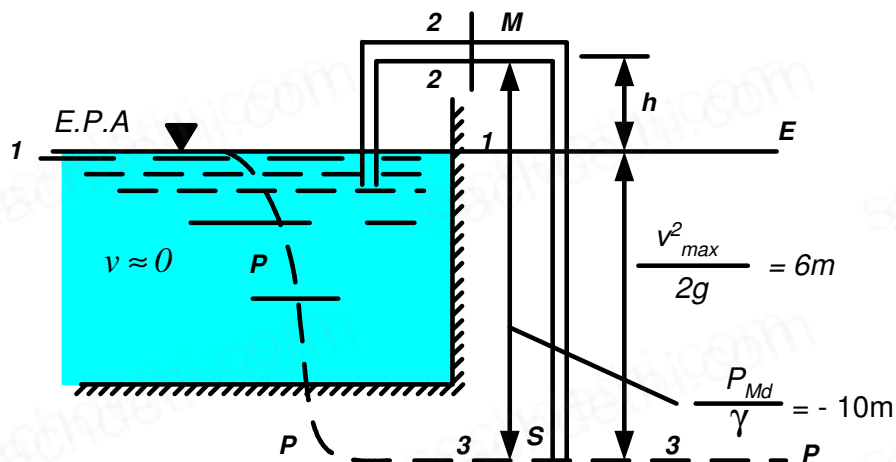
$$Q = \omega_2 v_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot v_2 = \frac{3,14 \cdot 0,30^2}{4} \cdot 61,6 = 4,35 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lưu lượng không khí do quạt gió cung cấp là $4,35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ví dụ 3-3.

Một ống xi phông có đường kính $d = 100 \text{ mm}$ được dùng để tháo nước từ bể chứa hở vào không khí. Đỉnh xi phông cao hơn mực nước trong bể $h = 4 \text{ m}$ (hình vẽ). Cho biết $p_a = 10^5 \text{ Pa}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$. Bỏ qua tổn thất năng lượng.

- 1- Nếu áp suất tuyệt đối trong ống được xem là bằng không ($p_{\min} = 0$), tính lưu lượng tháo lớn nhất.
- 2- Lúc đó miệng ra của ống xi phông phải ở độ cao nào?
- 3- Vẽ đường năng, đường đo áp.



Giải:

1- Tại đỉnh xi phông áp suất là nhỏ nhất. áp dụng phương trình Becnuli cho 2 mặt cắt (1-1) và (2-2) ta có:

$$z_1 + \frac{p_a}{\gamma} + 0 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Trong đó: $p_1 = p_a$ là áp suất tuyệt đối tại (1-1);

p_2 - áp suất tuyệt đối tại mặt cắt (2-2) đã được giả thiết bằng không nên ta có:

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{2g \left(z_1 - z_2 + \frac{p_a}{\gamma} \right)} = \sqrt{2g \left(-h + \frac{p_a}{\gamma} \right)} = \\ &= \sqrt{2,10 \left(-4 + \frac{10^5}{10^3 \cdot 10} \right)} = \sqrt{120} = 10,95 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Q = v \cdot \omega = v \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 10,95 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,10^2}{4} = 0,086 \text{ m}^3/\text{s} = 86 \text{ l/s}$$

2- Để xác định độ cao miệng ra của ống xi phông khi $Q = Q_{\max} = 86 \text{ l/s}$, viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (3-3) lấy áp suất dư $p_1 = p_3 = 0$

$$z_1 + 0 + 0 = z_2 + 0 + \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Từ đó } z_3 - z_1 = -\frac{v^2}{2g} = -\frac{120}{2 \cdot 10} = -6 \text{ m}$$

Vậy miệng ra của xiphông nằm thấp hơn mặt nước trong bể 6 m.

3- Đường năng $E-E$ và đường đo áp $P-P$ được thể hiện trên hình vẽ.

Ví dụ 3-4.

Hãy xác định nước dâng lên ở độ cao nào trong ống, nếu một đầu của ống được nối với mặt cắt thu hẹp của ống dẫn, còn đầu kia được thả vào nước. Lưu lượng ở trong ống $Q = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$; áp suất dư $p_1 = 49 \cdot 10^3 \text{ Pa}$, các đường kính $d_1 = 100 \text{ mm}$ và $d_2 = 50 \text{ mm}$ (Hình vẽ).

Giải :

Viết phương trình Becnuli đối mặt cắt (1-1) và (2-2), mặt chuẩn đi qua trục ống (bỏ qua tổn thất), lấy $\alpha_1 = \alpha_2$ có dạng:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Vì $v_1 = \frac{4Q}{4d_1^2}$ và

$$v_2 = \frac{4Q}{4d_2^2}$$

Sau khi biến đổi ta có:

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{\rho g} &= \frac{p_1}{\rho g} + \frac{4^2 Q^2}{2g\pi^2} \left(\frac{1}{d_1^4} + \frac{1}{d_2^4} \right) = \\ &= \frac{49 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81} + \frac{16 \cdot 0,025^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 3,14^2} \left(\frac{1}{0,1^4} + \frac{1}{0,05^4} \right) = -2,7 \text{ m} \end{aligned}$$

Ta được chiều cao với dấu âm và chính là chiều cao chân không. Nước trong ống sẽ dâng lên chiều cao $h_{ck} = 2,7 \text{ m}$.

Ví dụ 3-5.

Trên trục ống dẫn nước người ta đặt một ống Pitô với vi áp kế thủy ngân. Xác định vận tốc nước chảy trong ống u_{max} nếu hiệu số mực thủy ngân trong áp kế $\Delta h = 18 \text{ mm}$ (hình vẽ).

Bài giải:

Ống Pitô đo cột nước vận tốc:

$$H = \frac{u_{max}^2}{2g} \quad (1)$$

Hệ số kiểm định ϕ giả thiết bằng 1.

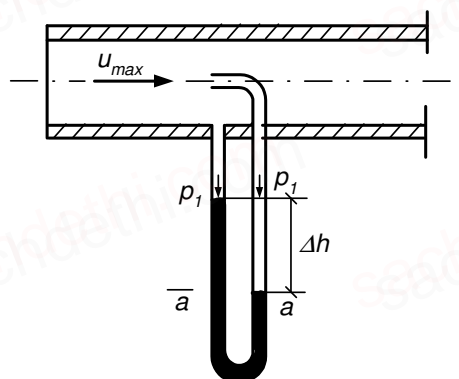
Để xác định H ta viết phương trình cân bằng trong áp kế thủy ngân đối với mặt phẳng $a-a$ (hình vẽ):

$$P_1 + \Delta h \cdot \rho_m \cdot g = p_2 + \Delta h \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

Trong đó p_1 và p_2 - áp suất trong các ống áp kế thủy ngân ở độ cao ứng với mực thủy ngân cao;

ρ và ρ_m - mật độ của nước (1000 kg/m^3) và thủy ngân (13600 kg/m^3).

Do đó:



$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} = \Delta h \left(\frac{p_m}{p} - 1 \right) \quad (3)$$

Thay số vào công thức (2) ta được:

$$H = 0,018 \left(\frac{13600}{1000} - 1 \right) = 0,227 \text{ m}$$

Từ công thức (1) ta có vận tốc cực đại trong ống:

$$u_{\max} = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,227} = 2,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ví dụ 3-6.

Một đoạn ống cong nằm ngang chuyển chất lỏng với lưu lượng $Q = 20 \text{ l/s}$ (Hình vẽ). Đường kính trong của ống $d = 100 \text{ mm}$. áp suất dư của chất lỏng trong ống bằng 2 at . Tính thành phần nằm ngang của lực do chất lỏng tác dụng lên ống cong.

Giải:

- Tính lực bề mặt:

$$\omega_1 = \omega_2 = 0,785 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 = 78,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$|p_1 \omega_1| = |p_2 \omega_2| = 2 \cdot 10^4 \cdot 9,81 \cdot 78,5 \cdot 10^{-4} = 1540 \text{ N}$$

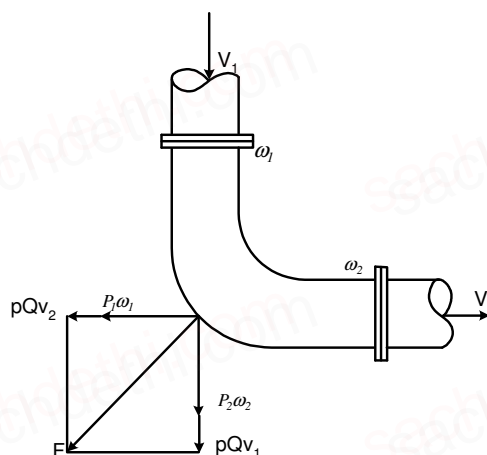
- Tính xung lực thủy động:

$$v_1 = v_2 = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{78,5 \cdot 10^{-4}} = 2,55 \text{ m/s};$$

$$\rho = 10^3 \text{ Kg/m}^3;$$

$$\rho Q v_1 = \rho Q v_2 = 10^3 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2,55 = 51 \text{ N}$$

- Chiều lên trục ngang (theo phương chiều trên hình vẽ):



$$F_x = -p_2 \omega_2 - \rho Q v_2 = - (1540 + 51) = -1591 \text{ N}$$

- Tính hợp lực trong mặt phẳng ngang:

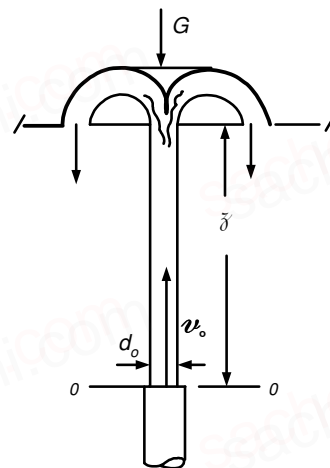
$$\text{Vì lý do đối xứng nên } F = |F| \sqrt{2} = 2250 \text{ N}$$

Chú ý: Nếu bỏ qua xung lực thủy động $\rho Q v$ thì bài toán này có thể giải theo phương pháp tính áp lực thủy tĩnh.

Bài tập 3-1.

Tia chất lỏng phun lên theo phương thẳng đứng từ ống có đường kính d_0 với vận tốc v_0 và gặp phải vật cản trên đường đi có dạng hai nửa quả cầu (Hình vẽ). Biết trọng lượng vật cản là G , trọng lượng riêng chất lỏng γ . Xác định độ cao z mà vật được nâng lên so với miệng ống (theo v_0).

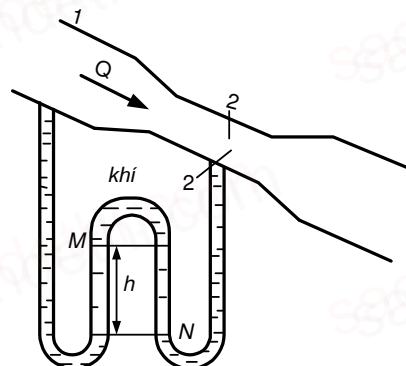
$$\text{Đáp số: } z = \frac{v_0^2}{2g} - \left(\frac{G}{\pi d_0^2 \gamma} \right)^2 \cdot \frac{2g}{v_0^2}$$



Bài tập 3-2.

Một ống Venturi để đo lưu lượng gồm hai đoạn ống ngắn có đường kính khác nhau $d_1 = 300 \text{ mm}$ và $d_2 = 150 \text{ mm}$. Hai đoạn ống được nối vào một áp kế. Cho biết độ chênh trong ống đo áp $h = 100 \text{ mm}$.

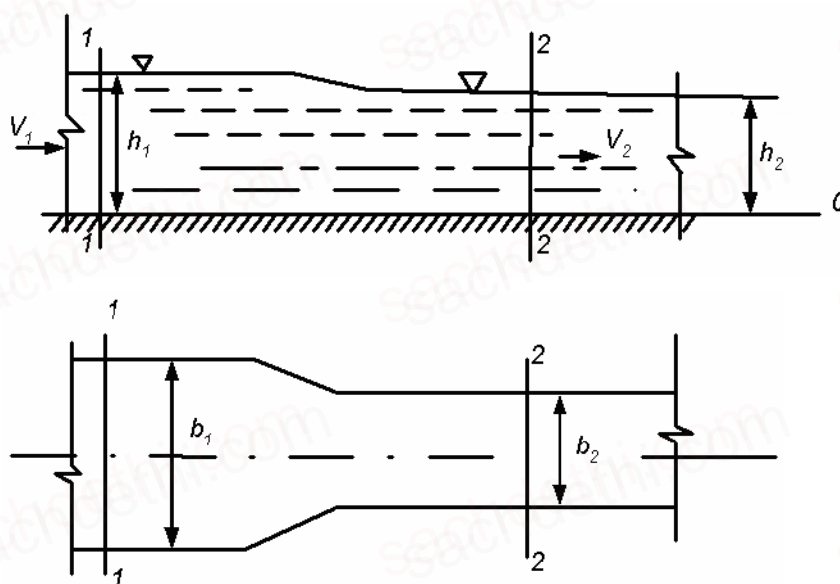
Lập biểu thức tính lưu lượng Q chảy trong ống theo độ chênh h và tính Q nếu chất lỏng chảy trong ống là nước.



$$\text{Đáp số: } Q = \mu K \sqrt{2gh}$$

Bài tập 3-3.

Một kênh có mặt cắt hình chữ nhật $b_1 = 12 \text{ m}$; $h_1 = 3 \text{ m}$, đáy nằm ngang. Trên kênh có một đoạn thu hẹp với chiều rộng $b_2 = 8 \text{ m}$. Bỏ qua tổn thất cột nước, tính độ sâu và vận tốc tại phần co hẹp của kênh (h_2, v_2). Cho biết vận tốc nước chảy trong đoạn kênh không thu hẹp $v_1 = 0,5 \text{ m/s}$ (Hình vẽ).



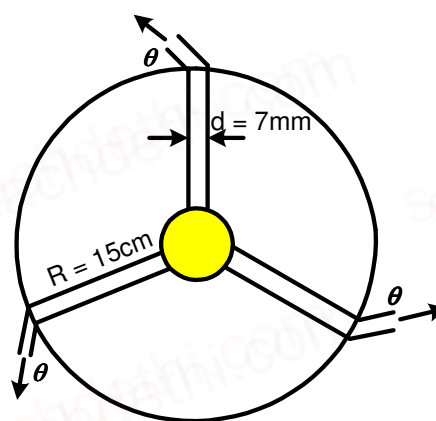
Đáp số: $h_2 = 3 \text{ m}$; $v_2 = 0,75 \text{ m/s}$

Bài tập 3-4.

Một vòi phun mưa 3 nhánh (hình vẽ) dòng nước chảy xuyên tâm, lưu lượng $Q = 2,7 \text{ m}^3/\text{h}$, nhiệt độ của nước là 20°C , bỏ qua ma sát ở khuỷu vòng.

Hãy xác định vận tốc quay của vòi phun trong 2 trường hợp:

- $\theta = 0^\circ$
- $\theta = 40^\circ$

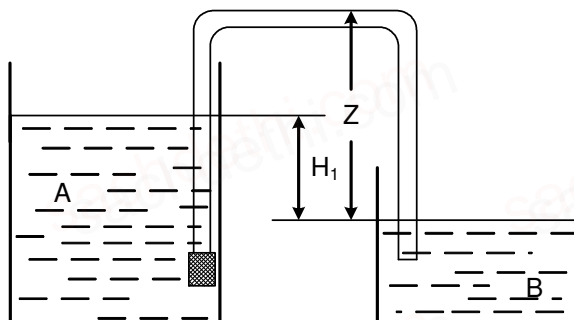


Bài tập 3-5.

Dùng ống xi phông để dẫn nước từ bể chứa *A* sang bể chứa *B* (hình vẽ). Xác định đường kính ống cần thiết và độ chân không ở điểm cao nhất của ống xi phông nếu $H_1 = 3 \text{ m}$; $z = 6 \text{ m}$.

Lưu lượng cần phải chảy qua ống là $100 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bỏ qua tổn thất năng lượng.



Đáp số: $d = 68 \text{ mm}$;

$h_{ck} = 442 \text{ mmHg}$

Câu hỏi ôn tập chương III

1. Phân biệt các loại chuyển động trong chất lỏng.
2. Định nghĩa đường dòng, ống dòng, dòng nguyên tố. Nêu đặc tính của dòng nguyên tố.
3. Các yếu tố thủy lực của dòng chảy – cách xác định.
4. Phương trình liên tục của dòng chảy.
5. Thành lập và phân biệt rõ giữa phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng lý tưởng và chất lỏng thực.
6. Phương trình Bernoulli viết cho dòng chất lỏng lý tưởng và chất lỏng thực. Ý nghĩa hình học và năng lượng của nó.
7. Nêu một số ứng dụng cụ thể của Phương trình Bernoulli.
8. Phương trình biến thiên động lượng và mô men động lượng trong chuyển động dừng.

Chương 4

CHUYỂN ĐỘNG MỘT CHIỀU CỦA CHẤT LỎNG KHÔNG NÉN ĐƯỢC

Nội dung chương này đi vào tìm hiểu trạng thái chảy của chất lỏng, tổn thất năng lượng trong dòng chảy và xét cụ thể một số dạng chuyển động một chiều của chất lỏng không nén được như nước chảy trong ống, dầu trong các khe hẹp ... từ đó rút ra những ứng dụng vào kỹ thuật.

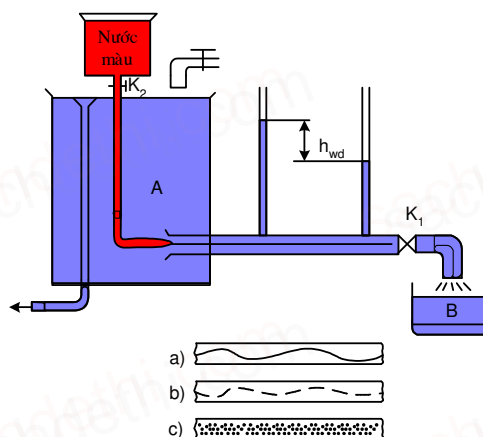
4.1. HAI TRẠNG THÁI CHẢY CỦA CHẤT LỎNG. SỐ REYNOLDS

4.1.1. Thí nghiệm Reynolds

Năm 1883 O.Reynolds bằng thực nghiệm đã phát hiện ra sự tồn tại hai trạng thái chảy khác biệt nhau của chất lỏng và chứng minh rằng chúng có liên quan mật thiết với tổn thất năng lượng của nó.

Thí nghiệm của Reynolds gồm có một bình nước lớn A, một bình nước màu C, một ống thủy tinh trong suốt (Hình 4-1). Điều chỉnh khoá để nước màu đỏ chảy thành một sợi chỉ đỏ căng xuyên suốt ống thủy tinh, nghĩa là các lớp chất lỏng chảy thành tầng riêng rẽ, đó là trạng thái chảy tầng (Hình 4-1a). Tăng vận tốc dòng chảy, đầu tiên sợi chỉ nước màu đỏ bị đứt đoạn (Hình 4-1b) - chảy quá độ, sau đó chúng hoà trộn hỗn loạn vào nhau (Hình 4-1c), đó là trạng thái chảy rối.

Làm thí nghiệm ngược lại, giảm dần vận tốc dòng chảy thì trạng thái chảy của chất lỏng biến đổi theo chiều ngược lại: từ chảy rối sang chảy tầng.



Hình 4-1. Sơ đồ thí nghiệm Raynôn

Qua thí nghiệm với nhiều ống có đường kính khác nhau và với nhiều loại chất lỏng, người ta nhận thấy trạng thái dòng chảy phụ thuộc vào vận tốc v , độ nhớt ν và đường kính ống d .

4.2.1. Số Reynolds và vận tốc phân giới

Reynolds đã tìm ra tổ hợp 3 đại lượng (vận tốc v , độ nhớt ν và đường kính ống d) là một số không thứ nguyên, mang tên ông - số Reynolds:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (4-1)$$

Vận tốc chuyển từ trạng thái chảy tầng sang chảy rối là vận tốc phân giới trên (v_{pgt}), tương ứng có số Reynolds phân giới trên (Re_{pgt}).

Vận tốc chuyển từ trạng thái chảy rối sang chảy tầng là vận tốc phân giới dưới (v_{pgd}), tương ứng có số Reynolds phân giới dưới (Re_{pgd})

Khi dòng chảy có : $Re < Re_{pgd}$ thì trạng thái của nó là chảy tầng;

$Re > Re_{pgt}$ thì trạng thái của nó là chảy rối;

$Re_{pgd} < Re < Re_{pgt}$ thì trạng thái của nó có thể là tầng hoặc rối, nhưng thường là chảy rối, vì ứng với giai đoạn trung gian này trạng thái chảy tầng rất không ổn định.

Qua nhiều thí nghiệm thấy rằng Re_{pgt} không có một trị số xác định (dao động từ 12000 đến 50000). Còn Re_{pgd} đối với mọi loại chất lỏng và đường kính khác nhau đều có một giá trị không đổi (2320).

Do đó $Re_{pgd} = 2320$ được dùng làm tiêu chuẩn xác định trạng thái chảy.

vậy $Re < 2320$ - Trạng thái chảy tầng;

$Re > 2320$ - Trạng thái chảy rối.

4.2. TỔN THẤT NĂNG LƯỢNG TRONG DÒNG CHẢY

4.2.1. Quy luật tổn thất năng lượng trong dòng chảy

a) Phân loại tổn thất

Khi chất lỏng thực chảy có tổn thất năng lượng do lực cản chuyển động. Căn cứ vào nguyên nhân phát sinh tổn thất năng lượng trong dòng chảy, người ta chia ra :

- Tổn thất dọc đường (h_{wd});
- Tổn thất cục bộ (h_{wc}).

Tổn thất năng lượng dọc đường là do lực ma sát trong tác dụng lên dòng chất lỏng, hay là do lực cản theo chiều dài của bề mặt bao quanh dòng chảy (bề mặt trong ống dẫn, bề mặt đáy, sườn kênh ...).

Tổn thất năng lượng cục bộ là do lực cản gây nên khi thay đổi đột ngột mặt cắt dòng chảy hay thay đổi đột ngột chiều dòng chảy như ở trong khoá nước ở các chỗ ngoặt...

b) Quy luật chung về tổn thất năng lượng

Bằng thực nghiệm người ta đã đưa ra qui luật phân bố tổn thất năng lượng dọc đường trong dòng chảy:

- Khu vực chảy tầng : $h_{wd} = k_1 v$
- Khu vực chảy rối : $h_{wd} = k_2 v^2$

trong đó : k_1, k_2 - hệ số tỷ lệ ; v - vận tốc dòng chảy.

- Trong khu vực quá độ, liên hệ giữa vận tốc và tổn thất năng lượng theo quan hệ bậc n với $1 < n < 2$.

4.2.2. Tổn thất năng lượng dọc đường

a) Tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy tầng

Trong chảy tầng, chất lỏng chảy thành những bó dòng riêng biệt song song với nhau. Trên thành ống, có dính chặt những chất điểm không chuyển động, vận tốc của

chúng bằng không. Tổn thất năng lượng trong chảy tầng do tác dụng của lực ma sát là tỷ lệ bậc nhất với vận tốc.

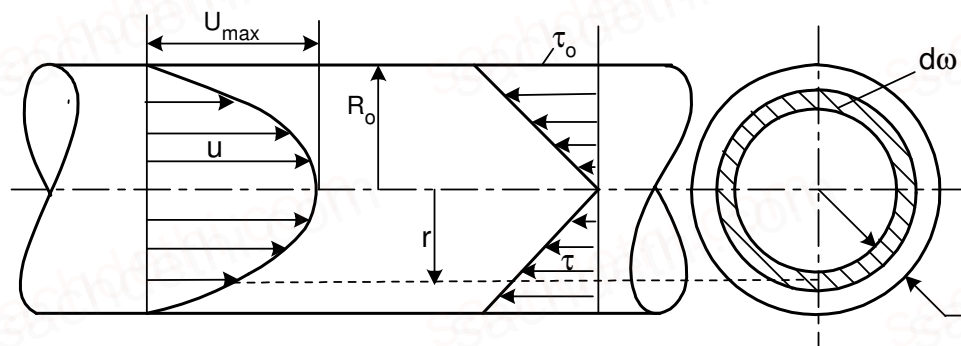
Nghiên cứu sự phân bố vận tốc, lực ma sát riêng và tổn thất năng lượng của chảy tầng trong ống tròn nằm ngang (Hình 4-2).

Tổn thất năng lượng trong ống:

$$h_{w_{l-2}} = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{L\tau}{\gamma R} \quad (\text{theo phương trình cơ bản của chảy đều})$$

$$\text{mà } \tau = -\mu \frac{du}{dr} \quad (r \text{ tăng } u \text{ giảm}) \text{ do đó:}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = -2 \frac{\mu}{\gamma} \frac{du}{dr} \frac{L}{r}$$



Hình 4-2. Phân bố vận tốc, ứng suất của chảy tầng trong ống tròn

Thay $R = r/2$ ta có:

$$du = -\frac{p_1 - p_2}{2\mu L} r dr \quad (4-2)$$

Tích phân (4-2) từ r đến R_o ta có;

$$\begin{aligned} \int_{u_r}^{u_{R_o}} du &= -\frac{p_1 - p_2}{2\mu L} \int_r^{R_o} r dr \\ u_{R_o} - u_r &= -\frac{p_1 - p_2}{4\mu L} (R_o^2 - r^2) \end{aligned}$$

Như đã biết ở trên, $u_{R_o} = 0$. Vậy đối với bất kỳ điểm nào trong mặt cắt dòng chảy ở khoảng cách r đối với trục ống có vận tốc:

$$u_r = \frac{\Delta p}{4\mu l} (R_o^2 - r^2) \quad (4-3)$$

Vận tốc cực đại khi $r = 0$:

$$u_{max} = \frac{\Delta p}{4\mu l} R_o^2$$

Ta tính được lưu lượng: $Q = \int_0^{R_o} dQ = \int_0^{R_o} 2\pi r dr = \frac{\pi}{2} R_o^2 u_{max}$

vận tốc trung bình: $v = \frac{Q}{\omega} = \frac{u_{max}}{2}$

Tổn thất năng lượng (độ chênh áp):

$$h_{wl-2} = \frac{\Delta p}{\gamma} = 32 \frac{\mu L v}{\gamma d^2} \quad (4-4)$$

ở đây $d = 2r$. Nhân trên và dưới với $2u$ và thay $\gamma = \rho g$, ta có:

$$h_{wl-2} = \frac{64\mu L v^2}{ud\rho d 2g}$$

Đặt $\frac{\mu}{\rho} = \nu$ và $\frac{\nu}{ud} = \frac{1}{Re}$ thì công thức tổn thất năng lượng trong chảy tầng sẽ là:

$$h_{wl-2} = \frac{64}{Re} \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (4-5)$$

Đặt $\frac{64}{Re} = \lambda$, ta sẽ có:

$$h_{wl-2} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (4-6)$$

trong đó λ – hệ số cản dọc đường.

Công thức (4-6) gọi là công thức Darcy (do Darcy thiết lập 1856)

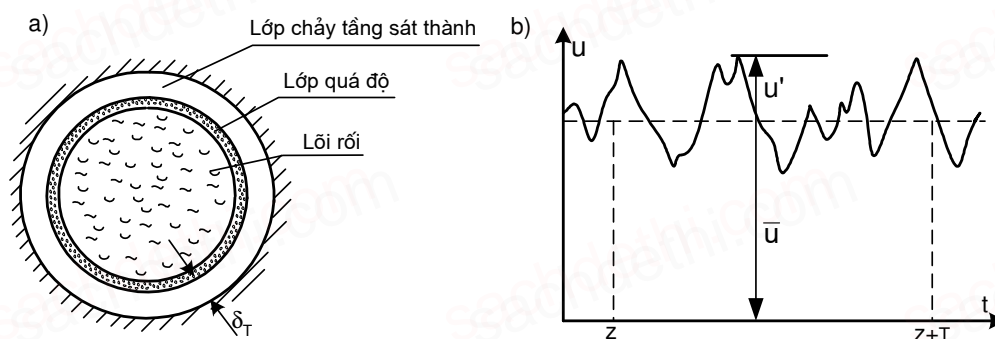
b) *Tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy rối*

Trong cấu trúc của dòng chảy rối trong ống gồm 2 phần chính (Hình 4-3a): lõi rối và lớp chảy tầng sát thành có chiều dày δ_r :

$$\delta_r = \frac{30d}{Re\sqrt{\lambda}}$$

Trong lõi rối, vận tốc điểm thay đổi về trị số và cả hướng theo thời gian. Nếu xét trong một khoảng thời gian tương đối dài T , thì thấy u dao động xung quanh một trị số không đổi \bar{u} (Hình 4-3b) gọi là vận tốc trung bình thời gian \bar{u} :

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_0^T u dt$$



Hình 4-3. a) Mặt cắt ngang dòng chảy rối trong ống tròn
b) Phân bố vận tốc mạch động trong chảy rối

Lúc đó vận tốc tức thời $u = \bar{u} + u'$, u' - vận tốc mạch động.

Trong thực tế để xác định tổn thất năng lượng dọc đường trong chảy rối, ta dùng phương pháp gần đúng với những giả định sau:

- + Liên hệ bình phương giữa tổn thất năng lượng và vận tốc;
- + Có quan hệ giữa độ nhám của thành với tổn thất năng lượng;
- + Coi trạng thái chảy rối với giả định những dòng nguyên tố song song.

Theo quan niệm trên ta coi lực cản của dòng chảy là gồm có lực cản gây nên từ bên trong chất lỏng tiếp xúc với thành dòng chảy. Vậy biểu thức cho lực ma sát riêng trên thành có thể xác định theo công thức:

$$\tau_0 = bv^2$$

trong đó: b – hệ số được xác định bằng thực nghiệm (phụ thuộc độ nhám của thành và dạng của dòng chảy).

Mặt khác, từ phương trình cơ bản của chảy đều: $\tau_0 = \gamma R J$

Vậy ta có: $bv^2 = \gamma R J$

Hay
$$v = \sqrt{\frac{\gamma}{b}} \sqrt{RJ}$$

Đặt $\sqrt{\frac{\gamma}{b}} = C$ ta có biểu thức tính vận tốc trung bình trong chảy đều:

$$v = C \sqrt{RJ} \quad (4-7)$$

Công thức (4-7) gọi là công thức Sedi, dùng để xác định vận tốc trung bình trong chảy đều của chất lỏng trong ống, trong kênh và trong thiên nhiên.

Hệ số C phụ thuộc hệ số nhám n và bán kính thủy lực R , phần lớn được xác định bằng công thức thực nghiệm (xem phụ lục 2, 3).

Thay $J = \frac{h_w}{L}$ vào (4-7):

$$v = C \sqrt{R \frac{h_w}{L}}$$

Do đó:

$$h_w = \frac{Lv^2}{C^2 R} = \frac{4Lv^2}{C^2 d} \quad (4-8)$$

Nhân trên và dưới với $2g$:

$$h_w = \frac{8gLv^2}{C^2 d 2g} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad (4-9)$$

ở đây $\lambda = \frac{8g}{C}$ gọi là hệ số cản dọc đường.

4.2.3. Tổn thất năng lượng cục bộ

Tổn thất năng lượng cục bộ sinh ra khi thay đổi đột ngột mặt cắt, hay hình dạng dòng chảy (trị số, phương, chiều của vận tốc). Ở chỗ có lực cản cục bộ có thể quan sát thấy hiện tượng va đập và chảy xoáy. Sự tương tác giữa dòng chảy và các chất điểm chảy xoáy. Đó là nguyên nhân phát sinh ra tổn thất năng lượng cục bộ.

Nhiều thực nghiệm đã chứng minh rằng tổn thất cục bộ cũng tuân theo các qui luật phân bố như đối với tổn thất dọc đường.

Thường dùng công thức Weisbach để tính tổn thất cục bộ:

$$h_{wc} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (4-10)$$

trong đó: v - vận tốc trung bình dòng chảy thường lấy ở sau chỗ có sức cản cục bộ;

ζ - hệ số tổn thất cục bộ thường được xác định bằng thực nghiệm (xem phụ lục 1).

Thực nghiệm cho biết tổn thất cục bộ khi chảy rối tỷ lệ với bình phương của vận tốc, lúc đó hệ số ζ không phụ thuộc vào số Re ; khi chảy tầng ζ phụ thuộc vào số Re . Mức độ phụ thuộc ấy tùy theo mức độ dòng chảy tầng bị phá hoại khi có sức cản cục bộ, có thể sử dụng công thức Antosul để tính ζ trong dòng chảy tầng:

$$\zeta = \frac{A}{Re} + \zeta_r \quad (4-11)$$

Trong đó: ζ_r - hệ số tổn thất cục bộ trong khu vực bình phương sức cản.

Giá trị của A và ζ_r cho trong bảng 4 - 1.

Bảng 4-1

Loại vật cản	A	ζr
Khoá hình nêm	150	0,40
Van thông dụng	3000	4,00
Van nghiêng	900	2,50
Van bi	5000	4,50
Ống ngoặt 90°	400	1,40
Chạc ba	150	0,30

Trong trường hợp tổng quát, tổn thất năng lượng giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2 của đường ống là bằng tổng số các tổn thất dọc đường và tổng số các tổn thất cục bộ :

$$h_{w1-2} = \sum_{i=1}^K h_{wd} + \sum_{i=1}^n h_{wc}$$

$$\text{hay } h_{w1-2} = \sum_{i=1}^K \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \frac{v_i^2}{2g} + \sum_{i=1}^n \zeta_i \frac{v_i^2}{2g}$$

$$\sum_{i=1}^K \frac{\lambda_i l_i}{d_i} \frac{v_i^2}{2g} \quad \text{là tổn thất dọc đường của k đoạn ống;}$$

$$\sum_{i=1}^n \zeta_i \frac{v_i^2}{2g} \quad \text{là tổn thất cục bộ của n chỗ gây ra sức cản cục bộ.}$$

4.3. DÒNG CHẢY TẦNG TRONG ỐNG (DÒNG HAGEN - POADƠI)

4.3.1. Phương trình vi phân của chất lỏng chuyển động

Xét chuyển động một chiều ($u \neq 0$) trong ống nằm ngang do độ chênh áp ($p_1 > p_2$) của chất lỏng chuyển động dừng $\left(\frac{\partial}{\partial t} = 0\right)$, bỏ qua lực khối $\left(\vec{F} = 0\right)$. Với những điều kiện đó xuất phát từ phương trình liên tục: $\text{div } \vec{u} = 0$ và phương trình Navier- Stokes:

$$-\frac{1}{\rho} \text{grad } p + \nu \Delta \vec{u} = \frac{d \vec{u}}{dt}$$

suy ra
$$-\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = 0$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} = C = \text{const} \quad (4-12)$$

ở đây cho hai vế bằng const, vì vế trái phụ thuộc vào y, z ; còn vế phải phụ thuộc vào x .

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{\Delta p}{l} = -\frac{\gamma h w}{l} = -\gamma J \quad (4-13)$$

J - độ dốc thủy lực

Để dễ tích phân (4-12), ta đưa về hệ tọa độ trụ với giả thiết dòng chảy đối xứng trục:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du}{dr} \right) = -\frac{1}{\mu} \frac{\Delta p}{l} \quad (4-14)$$

với điều kiện biên $r = 0$: u hữu hạn

$$r = R_o : u = 0$$

Phương trình (4-14) biểu diễn mối quan hệ về sự biến thiên vận tốc và áp suất thủy động của dòng chảy tầng trong ống.

4.3.2. Phân bố vận tốc

Tích phân (4-14) với các điều kiện biên ta sẽ tìm được sự phân bố vận tốc có dạng Parabol (Hình 4-2)

$$u = \frac{\Delta p}{4\mu l} (R_o^2 - r^2) \quad (4-15)$$

vận tốc max tại trục ống:

$$u_{max} = \frac{\Delta p}{4\mu l} R_o^2$$

Ta tính được lưu lượng:

$$Q = \int_0^{R_o} dQ = \int_0^{R_o} 2\pi r dr = \frac{\pi}{2} R_o^2 u_{max}$$

Vận tốc trung bình:

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{u_{max}}{2}$$

Độ chênh áp:

$$\Delta p = \frac{8\mu l V}{R_o^2} = \frac{8\mu l Q}{\pi R_o^4} \quad (4-16)$$

Đó là định luật Hagen-Poiseuille, được ứng dụng để tính độ nhớt.

Hệ số hiệu chỉnh động năng:

$$\alpha = \frac{\int u^3 d\omega}{V^3 Q} = 2$$

Phân bố ứng suất tiếp trong dòng chảy

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \frac{\Delta p}{l} \frac{r}{2} = \tau_o \frac{r}{R} \quad (4-17)$$

trong đó $\tau_o(r = R_o) = \frac{\Delta p}{l} \frac{R_o}{2} = \gamma JR$

R - Bán kính thủy lực.

4.4. DÒNG CHẢY RỐI TRONG ỐNG

Ở trạng thái chảy tầng, theo Newton $\tau = \mu \frac{du}{dy}$.

Ở trạng thái chảy rối, người ta đưa vào hệ số nhớt bổ sung $\tau_t = (\varepsilon + \mu) \frac{d\bar{u}}{dy}$

nhưng $\varepsilon \gg \mu$ nên $\tau_t = \tau = \varepsilon \frac{d\bar{u}}{dy}$

Theo Prandtl: $\varepsilon = \rho l^2 \frac{d\bar{u}}{dy}$

trong đó: $l = Ky$ - Chiều dài xáo trộn, đặc trưng cho sự chuyển động theo phương ngang của các phần tử chất lỏng ($K = 0,4$);

$\frac{d\bar{u}}{dy}$ - Gradient vận tốc trung bình thời gian

Do đó $\tau = \varepsilon \frac{d\bar{u}}{dy} = \rho l^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2$

$\frac{d\bar{u}}{dy} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \cdot \frac{1}{l} = u^* \cdot \frac{1}{l}$ với $u^* \equiv \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ vận tốc động lực

$d\bar{u} = \frac{u^*}{l} dy = \frac{u^* dy}{Ky}$

$\bar{u} = \frac{u^*}{K} \ln y + C$ Tại trục ống $y = r$, $\bar{u} = u_{max}$

$\rightarrow C = u_{max} - \frac{u^*}{K} \ln Y = u_{max} - \frac{u^*}{K} \ln r$

Vậy: $\bar{u} = u_{max} - \frac{u^*}{K} \ln \frac{r}{y}$ nghĩa là vận tốc biến thiên theo qui luật Logarit,

còn vận tốc trung bình $v = \frac{Q}{\omega} = 0,825 u_{max}$

4.5. DÒNG CHẢY TẦNG CÓ ÁP TRONG CÁC KHE HẸP

Trong kỹ thuật, giữa các chi tiết máy có những khe hở nên có sự rò rỉ của chất lỏng (xăng, dầu...) do chất lỏng làm việc dưới áp suất cao. Nên cần tính toán độ khít cần thiết của những khe hở đó, hạn chế lưu lượng rò rỉ...

4.5.1. Dòng chảy giữa hai tấm phẳng song song

Với những điều kiện như dòng chảy tầng trong ống (mục 4.2) và do khe hẹp nên $u = u(y)$; (Hình 4-4).

Phương trình vi phân chuyển động

có dạng:
$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

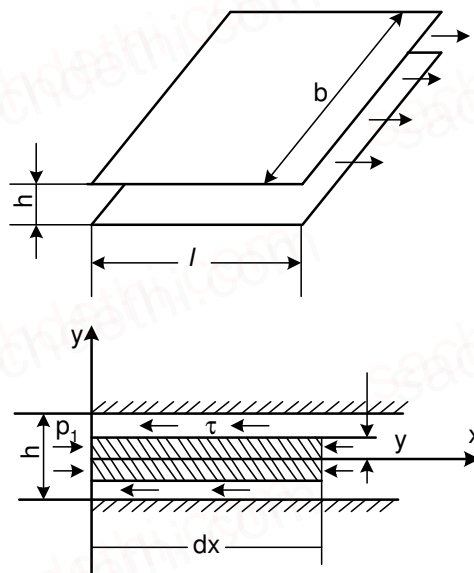
với điều kiện biên: tại $y = 0$ và $y = h$: $u = 0$

Sau khi tích phân ta sẽ được phân bố vận tốc có dạng Parabol

$$u = -\frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} y(h-y)$$

vận tốc max (tại $y = h/2$):

$$u_{\max} = \frac{1}{8\mu} \frac{dp}{dx} h^2$$



Hình 4-4. Dòng chảy giữa hai tấm phẳng song song

Lưu lượng
$$Q = \int_0^h u dy = -\frac{b}{12\mu} \frac{dp}{dx} h^3 = \frac{1}{12\mu} \frac{\Delta p}{l} h^3 b \quad (4-18)$$

Vận tốc trung bình:
$$v = \frac{Q}{bh} = \frac{2}{3} u_{\max}$$

ở đây: b - bề rộng tấm phẳng;

l - chiều dài của khe.

4.5.2. Dòng chảy dọc trục giữa hai trụ tròn

a) Mặt trụ đồng tâm

Ký hiệu: D_n - Đường kính ngoài, D_t - Đường kính trong

$$D = \frac{D_n + D_t}{2} \text{ - Đường kính trung bình.}$$

$$\delta = \frac{D_n - D_t}{2} \text{ - Chiều dày của khe.}$$

Xét $\delta \ll D/2$, l - Chiều dài của đoạn dòng chảy cần xét, áp dụng (4-18) tính lưu lượng thay $b = \pi D$; $h = \delta$ ta có:

$$Q \equiv Q_1 = \frac{\pi D \delta^2}{12\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l}$$

b) Mặt trụ lệch tâm (Hình 4-5)

Gọi δ - Chiều dày của khe hở khi mặt trụ đồng tâm;

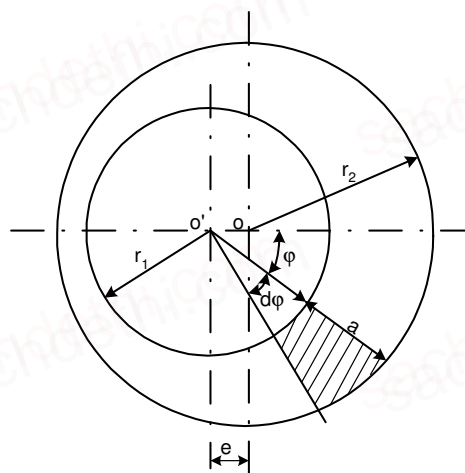
e - Độ lệch tâm;

φ - Góc của một bán kính véc tơ với đường qua tâm hai mặt trụ (toạ độ cực 0 là tâm);

$a(\varphi)$ - Khe hở theo bán kính véc tơ ứng với φ .

Xét $a \ll D$ nên

$$a = \frac{D_n}{2} - \frac{D_t}{2} + e \cos \varphi = \delta \left(1 + \frac{e}{\delta} \cos \varphi \right)$$



Áp dụng (4-18) cho phân tố hình thang vuông:

Hình 4-5. Dòng chảy giữa hai mặt trụ lệch tâm

$$b = \frac{D}{2} d\varphi \quad ; \quad \delta = a$$

$$dQ = \frac{\Delta p}{12\mu l} \frac{D}{2} \delta^3 \left(1 + \frac{e}{\delta} \cos \varphi \right)^3 d\varphi$$

$$Q \equiv Q_2 = \int_0^{2\pi} dQ = \frac{\pi D \Delta p}{12\mu l} \delta^3 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{e^2}{\delta^2} \right) = Q_1 \left(1 + \frac{3}{2} \frac{e^2}{\delta^2} \right) \quad (4-19)$$

Vậy $Q_2 > Q_1$ và $Q_2 = 2,5Q_1$ khi độ lệch tâm lớn nhất ($e = \delta$)

Ở đây có thể xét thêm bài toán lọc dầu, tức là dòng chảy tầng theo phương bán kính trong khi hẹp phẳng.

4.6. DÒNG CHẢY TRONG KHE HẸP DO MA SÁT - CƠ SỞ CỦA LÝ THUYẾT BÔI TRƠN THỦY ĐỘNG

Trong thực tiễn kỹ thuật ta gặp rất nhiều chuyển động do ma sát trong khe hẹp như chất lỏng chuyển động giữa pittông và xi lanh, giữa con trượt và bàn trượt, giữa trục và ổ trục... Cần phải tính lực ma sát và mô men cản.

4.6.1. Dòng chảy giữa hai mặt phẳng song song - Bài toán Cu-et

Dòng chảy do ma sát (do tấm phẳng trên chuyển động với vận tốc u_1 - hình 4-6) và do độ chênh áp $\frac{dp}{dx} \neq 0$. Lúc đó phương trình vi phân chuyển động giống như mục 4.5.1. nhưng điều kiện biên khác khi $y = h$; $u = U_1$; nên

$$u = \frac{U_1}{h} y - \frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} y(h-y) \quad (4-20)$$

$$\text{và} \quad Q = \int_0^h u dy = \frac{U_1 h}{2} - \frac{1}{12\mu} \frac{dp}{dx} h^3 \quad (4-21)$$

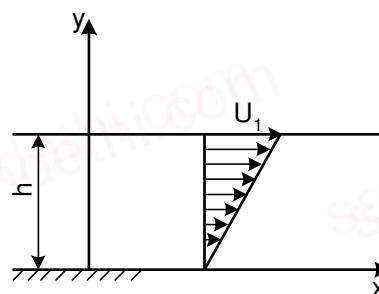
Khi không có độ chênh áp ($\frac{dp}{dx} = 0$):

$$u = U_1 \frac{y}{h}$$

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U_1}{h}$$

$$\text{Lực cản} \quad T = \tau.S = \mu \frac{U_1}{h} S ;$$

S - diện tích tấm phẳng



Hình 4-6. Dòng chảy giữa hai mặt phẳng song song do ma sát

4.6.2. Bôi trơn hình nêm

Khi một tấm phẳng nghiêng đi một góc nhỏ α , ta có hình nêm (Hình 4-7).

Lúc này, ngoài lực cản F còn có lực nâng P , nghĩa là cần tìm sự phân bố ứng suất tiếp và phân bố áp suất.

Tương tự như bài toán Cu-et (4.6.1) ta tính được lưu lượng qua mặt cắt chiều cao h theo (4-20)

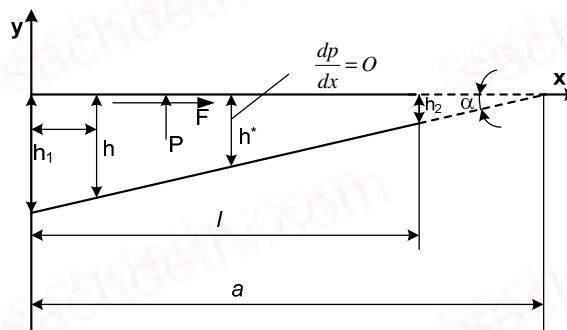
$$Q = \frac{U_1 h}{2} - \frac{1}{12\mu} \frac{dp}{dx} h^3$$

$$\text{với } h = h(x) = (a-x) \tan \alpha \approx (a-x) \alpha \quad (4-22)$$

Giả sử tương ứng với mặt cắt chiều cao h có áp suất cực đại, nghĩa là:

$$\frac{dp}{dx} = 0; \quad Q = \frac{U_1 h}{2}$$

Thay vào (4-21), ta tính được $\frac{dp}{dx}$



Hình 4-7. Dòng chảy giữa hai mặt phẳng không song song

$$\frac{U_l h^*}{2} = \frac{U_l h}{2} - \frac{1}{12\mu} \frac{dp}{dx} h^3$$

$$\rightarrow \frac{dp}{dx} = \frac{6\mu U_l (h - h^*)}{h^3} = 6\mu U_l \left(\frac{1}{h^2} - \frac{2Q}{U_l h^3} \right)$$

Khi $x = 0$ và $x = l$: $p = p_a$

Thay h bằng (4-22) và lấy $\int_0^x dx$, ta được

$$p = p_a + \frac{6\mu U_l x}{\alpha^2 a(a-x)} \left[1 - \frac{Q}{\alpha U_l} \frac{2a-x}{a(a-x)} \right]$$

Suy ra áp lực tác dụng lên bản phẳng:

$$P = \int_0^l (p - p_a) dx = C_p \frac{\mu U_l l^2}{h_2^2}$$

$$C_p = \frac{6}{(\eta - 1)^2} \left[\lg \eta - 2 \frac{\eta - 1}{\eta + 1} \right] \quad - \text{Hệ số nâng}, \quad \eta = \frac{h_l}{h_2}$$

Để tính lực cản F , ta phải tính ứng suất tiếp $\tau = \mu \frac{du}{dy}$, u lấy từ phân bố vận tốc

chuyển động Cu-et (4-20). Từ đó thay $y = h(x)$, ta có $\tau = \tau_h$. Lực cản tính theo một đơn vị bề rộng đối với bản phẳng chuyển động là:

$$F = \int \tau_h dx = C_f \frac{\mu U_l l}{h_2}$$

$$\text{Hệ số cản:} \quad C_f = \frac{2}{\eta - 1} \left[2 \lg \eta - 3 \frac{\eta - 1}{\eta + 1} \right]$$

$$\text{Hệ số ma sát:} \quad f = \frac{F}{P} = \frac{C_f}{C_p} \frac{h_2}{l}$$

4.6.3. Bôi trơn ổ trục

Tính lực ma sát và mô men của nó giữa trục và lớp dầu bôi trơn theo Petrop (Hình 4-8). Gọi r - bán kính trục; l - chiều dài trục; lớp dầu dày δ . Khi trục quay với vận tốc $U = r\Omega$ thì chất điểm dầu bám trên mặt trục cũng chuyển động với vận tốc đó, còn trên ổ trục bằng 0.

$$\text{Ứng suất tiếp của lớp dầu} \quad \tau = \mu \frac{du}{dr}$$

$$\text{Diện tích tiếp xúc giữa lớp dầu và mặt trục} \quad S = 2\pi r l$$

Lực ma sát : $T = \tau \cdot S = 2\pi r l \mu \frac{du}{dr} = 2\pi r l \mu \frac{u}{\delta}$

Mô men lực ma sát:

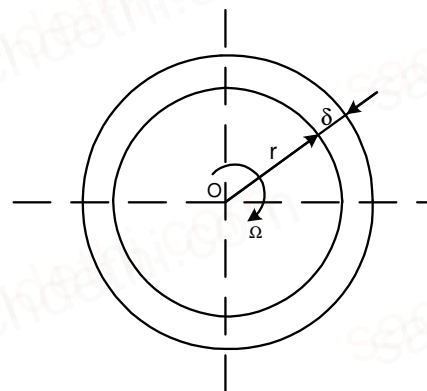
$$M = T \cdot r = 2\pi r l \mu \frac{\pi r}{30\delta} = \frac{\mu \pi^2 r^3 n l}{15\delta}$$

vì $u = r\Omega$, $\Omega = \frac{\pi n}{30}$

Do lệch tâm khi quay trục, nên phải nhân các kết quả trên với hệ số hiệu chỉnh

$$\beta = \frac{2(1+2C^2)}{(2+C^2)\sqrt{1-C^2}}; \quad C = \frac{e}{\delta}$$

Có thể tham khảo thêm tài liệu [10], [16].



Hình 4-8.

4.7. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 4-1.

Đường ống trong cấp và thoát nước có đường kính bé nhất $d_{\min} = 3500 \text{ mm}$. Vận tốc tính toán của nước trong đường ống là $v = 0,5 \div 4 \text{ m/s}$.

Xác định số Reynolds lớn nhất và bé nhất và trạng thái chảy của nước trong các ống này.

Giải:

Nhiệt độ của nước trong các hệ thống cấp và thoát nước có thể thay đổi từ 00 đến 300, còn độ nhớt động học $\nu_0 = 1,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ và $\nu_{30} = 0,81 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Số Reynolds bé nhất ứng với $d_{\min} = 3500 \text{ mm}$; $v_{\min} = 0,5 \text{ m/s}$ và $\nu_0 = 1,78 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ta có:

$$Re_{\min} = \frac{0,5 \cdot 0,012}{1,78 \cdot 10^{-6}} = 3370$$

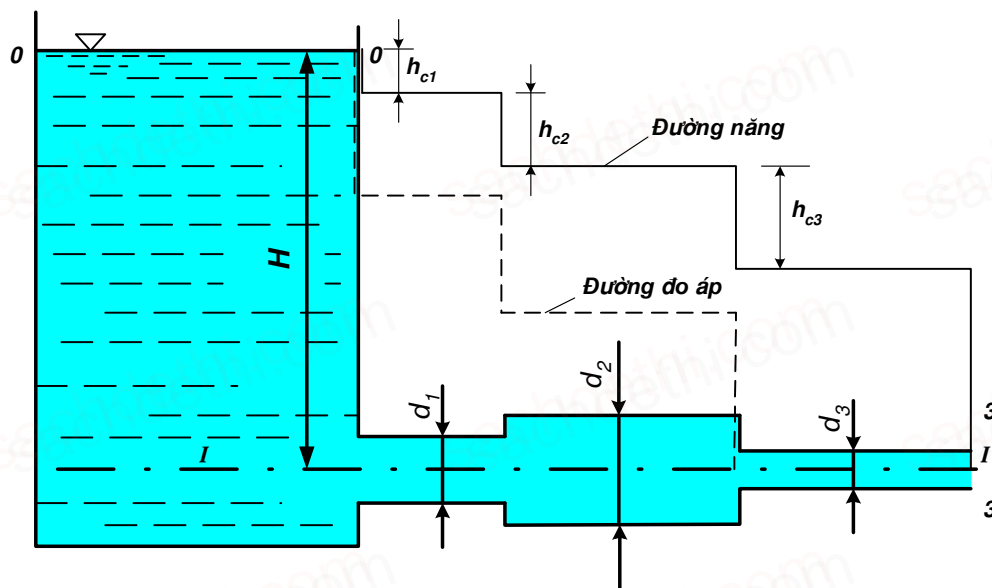
Tương tự : $Re_{\max} = \frac{4,3,5}{0,81 \cdot 10^{-6}} = 17260000$

Ngay cả số Reynolds Re_{\min} cũng lớn hơn số Reynolds phân giới dưới $Re_{fgd} = 2320$, vì vậy trong các đường ống cấp thoát nước, trạng thái chảy luôn luôn là chảy rối.

Ví dụ 4-2.

Nước chảy từ bình chứa qua một đường ống đặt nằm ngang có tiết diện thay đổi nối tiếp nhau $d_1 = 75 \text{ mm}$; $d_2 = 100 \text{ mm}$; $d_3 = 50 \text{ mm}$. Độ cao cột nước trong bình chứa kể từ trục ống là $H = 1 \text{ m}$. Giả thiết chỉ tính tổn thất cục bộ dòng chảy dừng.

- Tính lưu lượng chảy qua ống;
- Vẽ đường năng, đường đo áp;
- Nếu bỏ qua đoạn ống thứ 3 thì đường năng và đường đo áp có gì thay đổi?



Giải:

Chọn mặt cắt đi qua trục ống (I-I) làm mặt chuẩn, viết phương trình Bernoulli cho 2 mặt cắt (0-0) và (3-3), sau khi đơn giản và thay $z_0 = H$ ta có:

$$H = \frac{v_3^2}{2g} + h_w$$

Trong đó: $h_w = h_{c1} + h_{c2} + h_{c3}$

$$h_{c1} = 0,5 \frac{v_1^2}{2g} = \frac{4Q^2}{g\pi^2 d_1^4}$$

$$h_{c2} = \zeta_2 \frac{v_1^2}{2g} = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_1^4}$$

$$h_{c3} = \zeta_3 \frac{v_3^2}{2g} = 0,5 \left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2}\right)^2 \frac{8Q^2}{g\pi^2 d_3^4}$$

Từ đó suy ra:

$$\begin{aligned} H &= \frac{v_3^2}{2g} + h_{c1} + h_{c2} + h_{c3} = \\ &= \frac{16Q^2}{2g} \left\{ \left[0,5 + \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2 \right] \cdot \frac{1}{\pi^2 d_1^4} + \left[1 + 0,5 \left(1 - \frac{d_3^2}{d_2^2}\right)^2 \right] \cdot \frac{1}{\pi^2 d_3^4} \right\} \end{aligned}$$

Thay số vào các biểu thức trên ta tính được:

$$Q = 7,1 \text{ l/s}; \quad h_{c1} = 6,6 \text{ cm}; \quad h_{c2} = 26,4 \text{ cm}; \quad h_{c3} = 25 \text{ cm}$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = 13,4 \text{ cm}; \quad \frac{v_2^2}{2g} = 4,15 \text{ cm}; \quad \frac{v_3^2}{2g} = 42 \text{ cm}$$

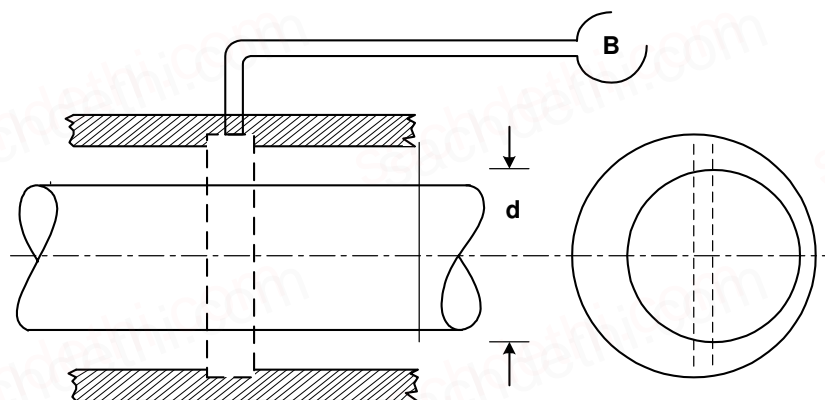
Đường năng và đường đo áp theo áp suất dư được biểu diễn trên hình vẽ. Từ hình vẽ cho ta thấy rằng trên mặt nước của bình chứa ta xem vận tốc v và áp suất dư bằng không; do đó đường năng và đường đo áp biểu diễn đại lượng $z = H$, nghĩa là chúng trùng với mặt thoáng. Vẽ đường năng hình bậc thang thấp dần có độ chênh từng bậc lần lượt là h_{c1} , h_{c2} , h_{c3} . Từ đó suy ra đường đo áp bằng cách hạ các bậc thang của đường năng các trị số lần lượt là $\frac{v_1^2}{2g} = 13,4 \text{ cm}$; $\frac{v_2^2}{2g} = 4,15 \text{ cm}$; $\frac{v_3^2}{2g} = 42 \text{ cm}$.

Nếu cắt bỏ đoạn ống thứ ba thì từ phương trình Bernoulli ta suy ra rằng lưu lượng Q sẽ tăng vì h_w giảm. Trong trường hợp này dạng tổng quát của đường năng sẽ không đổi còn đường đo áp ở đoạn ống 2 sẽ trùng trục ống. Ở đoạn cuối đường đo áp theo áp suất dư trùng trục ống.

Ví dụ 4-3.

Tính lưu lượng dầu trong ổ trục. Dầu được dẫn theo đường ống ($l_0 = 0,8 \text{ m}$; $d_0 = 6 \text{ mm}$) qua một rãnh vòng tròn bề rộng $b = 10 \text{ mm}$ để vào ổ đỡ; ổ đỡ dài $l = 120 \text{ mm}$, đường kính $d = 60 \text{ mm}$; chiều dày khe hẹp $b_0 = 0,1 \text{ mm}$.

Áp suất dư của dầu ở đầu ống dẫn $p = 15,6 \text{ N/cm}^2$, độ nhớt của dầu $\mu = 0,1375 \text{ Ns/m}^2$.



Coi dầu chảy trong ống và khe hở ở trạng thái chảy tầng và bỏ qua ảnh hưởng của trục khi quay, xác định lưu lượng dầu chảy ra từ hai đầu ổ đỡ trong hai trường hợp sau:

1. Trục và ổ đỡ đồng tâm;
2. Trục đặt lệch tâm với ổ đỡ với độ lệch tâm $e = \frac{2a}{D-d} = 0,5$ (d - đường kính trục; D - đường kính ổ đỡ; a - độ lệch tâm tuyệt đối).

Giải:

Áp suất tạo nên bơm dùng để khắc phục sức cản trên đoạn ống l_0 và trong khe giữa trục và ổ đỡ, vì vậy có thể biểu thị bằng hệ thức:

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{\Delta p_0}{\gamma} = \frac{\Delta p_l}{\gamma} \quad (1)$$

$\frac{\Delta p_0}{\gamma}$: tổn thất cột áp trên đoạn ống l_0 ;

$\frac{\Delta p_l}{\gamma}$: tổn thất cột áp trên đoạn khe hở dài $\frac{l}{2}$.

Giả thiết dòng chảy trong ống là chảy tầng:

$$\frac{\Delta p_0}{\gamma} = \frac{128 \nu l_0 Q}{\pi g d_0^4} = \frac{128 \mu l_0 Q}{\gamma \pi d_0^4} \quad (2)$$

a) Đối với khe hẹp trong đó có trục và ổ đỡ đồng tâm:

$$\frac{\Delta p_l}{\gamma} = \frac{12 \mu \left(\frac{l-b}{2} \right) \frac{Q}{2}}{\pi d b_0^3 \gamma} \quad (3)$$

Thay (2) và (3) vào (1) ta có:

$$p = \frac{128 \mu l_0 Q}{\pi d_0^4} + \frac{3(l-b)Q\mu}{\pi d b_0^3}$$

$$Q = \frac{\pi}{\mu} \cdot \frac{p}{\frac{128 l_0}{d_0^4} + \frac{3(l-b)}{d b_0^3}}$$

$$Q = \frac{3,14}{13,7 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{15,7}{\frac{128,80}{0,6^4} + \frac{3(12-1)}{6,0 \cdot 0,01^3}} = 0,65 \text{ cm}^3/\text{s}$$

b) Khi trục và ổ đỡ không đồng tâm, công thức tính lưu lượng qua khe có dạng:

$$Q_l = Q \left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right)$$

Trong đó: Q – lưu lượng qua khe hở trục và ổ đỡ đồng tâm.

Do đó:

$$\frac{\Delta p_l}{\gamma} = \frac{12 \mu \left(\frac{l-b}{2} \right) Q_l}{\gamma \pi d b_0^3 \left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right)} = \frac{3(l-b)\mu Q}{\gamma \pi d b_0^3 \left(1 + \frac{3}{2} e^2 \right)} \quad (4)$$

Thay (4) và (2) vào (1):

$$p = \frac{128Q\mu l_0}{\pi d_0^4 \left(1 + \frac{3}{2}e^2\right)} + \frac{3(l-b)\mu Q}{\pi db_0^3 \left(1 + \frac{3}{2}e^2\right)}$$

Rút ra

$$Q = \frac{\pi}{\mu} \cdot \frac{p}{\frac{128l_0}{d_0^4} + \frac{3(l-b)}{db_0^3(1+1,5e^2)}} =$$

$$= \frac{3,14}{13,7 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{15,7}{\frac{128 \cdot 80}{0,6^4} + \frac{3(12-1)}{6 \cdot 0,01^3(1+1,50,5^2)}} = 0,88 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Bài tập 4-1.

Có 2 ống như nhau: $d = 150 \text{ mm}$, $l = 100 \text{ m}$, độ nhám tuyệt đối của ống $\Delta = 0,1 \text{ mm}$. Một ống có nước chảy và một ống có dầu chảy với cùng lưu lượng khối lượng $M = 7500 \text{ kg/h}$. Khối lượng riêng của dầu $\rho_d = 860 \text{ kg/m}^3$ và của nước $\rho_n = 998 \text{ kg/m}^3$. Hệ số nhớt động của dầu $\nu_d = 0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$ và của nước $\nu_n = 0,0101 \text{ cm}^2/\text{s}$.

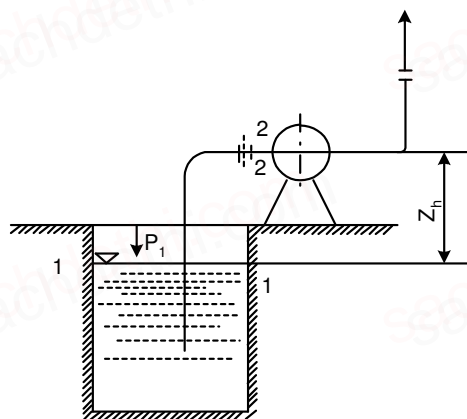
Xác định tổn thất dọc đường trong ống?

Đáp số: $h_{wn} = 0,0122 \text{ mH}_2\text{O}$;

$h_{wd} = 0,04 \text{ mH}_2\text{O}$;

Bài tập 4-2.

Một máy bơm lấy nước từ giếng với lưu lượng $Q = 50 \text{ l/s}$. Nước có nhiệt độ 20°C . Xác định chiều cao lớn nhất Z_h tính từ mặt nước đến trục máy bơm (hình vẽ) nếu áp suất trước máy bơm $p_2 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Trên đường ống hút bằng gang có đường kính $d = 0,25 \text{ m}$ và chiều dài $l = 50 \text{ m}$ có một lưới chắn rác, khuỷu ngoặt êm với bán kính $R = 0,5 \text{ m}$ và một khoá điều chỉnh được mở 45%.

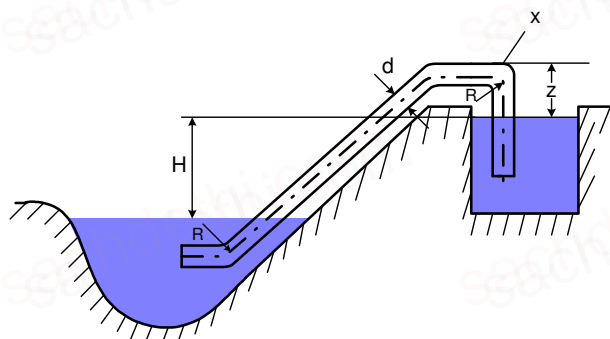


Đáp số: $H_1 \leq 6,2 \text{ m}$

Bài tập 4-3.

Nước từ giếng thải của nhà máy điện, có nhiệt độ $t = 55^{\circ}C$, qua ống xi phông chảy ra sông. Độ chênh mực nước $H = 3\text{ m}$ (hình vẽ).

Xác định lưu lượng tháo nước ra sông, nếu đường kính $d = 200\text{ mm}$, chiều dài tổng cộng $l = 100\text{ m}$, có một chỗ vòng 90° và hai chỗ vòng 45° , với bán kính vòng $R = 400\text{ mm}$. Hệ số cản $\lambda = 0,028$.



Tìm áp suất tại điểm cao nhất của ống xi phông, nếu $z = 2\text{ m}$ và chiều dài đoạn ống $l_x = 6\text{ m}$.

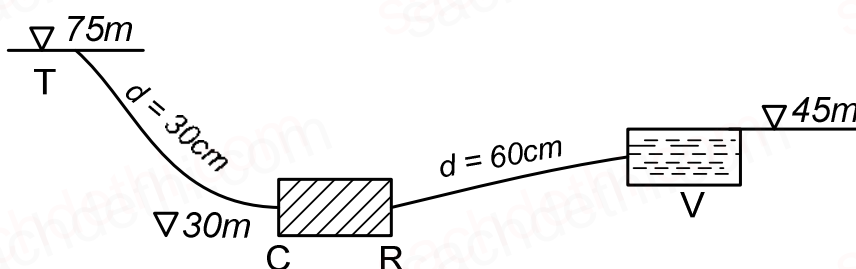
Đáp số: $Q = 218\text{ m}^3/\text{h}$;

$p_x = 75\,500\text{ N/m}^2$.

Bài tập 4-4.

Năng lượng tiêu thụ bởi tuabin CR (hình vẽ) là $60\text{ mH}_2\text{O}$ và áp suất tại T là $51\text{ mH}_2\text{O}$. Tổn thất cột nước giữa V và R là $2\frac{v_{60}^2}{2g}$ và giữa C và T là $2\frac{v_{30}^2}{2g}$, đường kính ống giữa V và R là 60 cm , giữa T và C là 30 cm .

Xác định: 1) Lưu lượng; 2) áp suất tại R; 3) Vẽ đường năng.



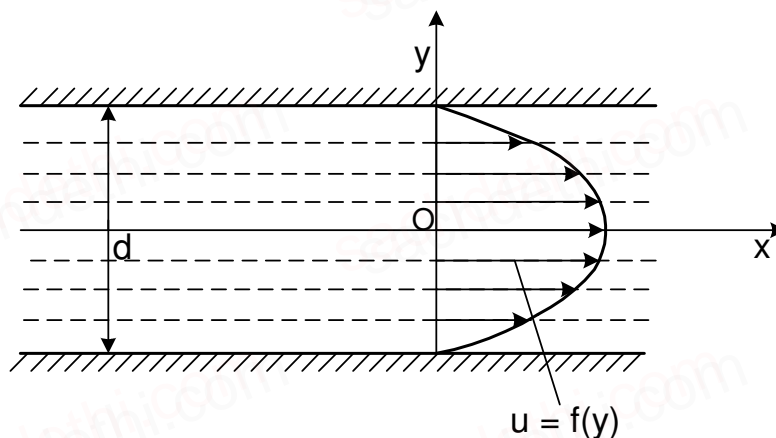
Đáp số: $Q = 0.98\text{ m}^3/\text{s}$;

$p_R = 15\,620\text{ N/m}^2$

Bài tập 4- 5.

Luật phân bố vận tốc của dòng chất lỏng thực, chảy tầng dừng giữa hai mặt phẳng cố định song song nằm ngang là: $u = -\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \left[\left(\frac{d}{2} \right)^2 - y^2 \right]$.

Tìm ứng suất tiếp tuyến τ_0 trên mặt phẳng và độ giảm áp trên đoạn l m dọc theo trục x . Biết $d = 10 \text{ mm}$, lưu lượng $Q = 1 \text{ l/s}$. Chất lỏng là dầu ép có $\mu = 0,102 \text{ kGs}^2/\text{m}^2$ ($1 \text{ Ns}^2/\text{m}^2$) ở nhiệt độ $t = 20^\circ\text{C}$.



$$\text{Đáp số: } \tau_0 = \frac{6\mu}{d^2} Q = 6,12 \text{ kG} / \text{m}^2 = 60,04 \text{ N} / \text{m}^2$$

$$\Delta p = -\frac{12\mu}{d^3} \Delta l = -1224 \text{ kG} / \text{m}^2 = -12.007 \text{ N} / \text{m}^2$$

Câu hỏi ôn tập chương IV

1. Phân biệt hai trạng thái chảy của chất lỏng thực – Số Raynôn.
2. Nêu định nghĩa và qui luật chung của các loại tổn thất năng lượng.
3. Dòng chảy tầng trong ống.
4. Dòng chảy rối trong ống
5. Dòng chảy tầng có áp trong các khe hẹp.
6. Dòng chảy tầng trong các khe hẹp do ma sát.

Chương 5

CHUYỂN ĐỘNG MỘT CHIỀU CỦA CHẤT KHÍ

Nội dung chương này nghiên cứu chuyển động một chiều của chất lỏng nén được – chất khí, nghĩa là $\rho \neq \text{const}$, nó thay đổi theo áp suất p và nhiệt độ T . Khi đó các phương trình có thay đổi.

5.1. CÁC PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CHẤT KHÍ

5.1.1. Phương trình trạng thái:

Biểu diễn mối quan hệ giữa trọng lượng riêng $\gamma = \rho g$, áp suất và nhiệt độ. Đối với chất khí hoàn hảo, ta có:

$$\frac{P}{\gamma} = RT \quad (5-1)$$

R - Hằng số khí, với không khí $R = 29,27 \text{ m/độ}$.

Biểu thức (5-1) vẫn còn phức tạp để áp dụng vào kỹ thuật, nên người ta cần tìm những quan hệ đơn giản hơn, phụ thuộc vào quá trình chuyển động.

Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$): $p = c\gamma$

Quá trình đoạn nhiệt : $p = c\gamma^n \quad (5-2)$

$$k = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\text{Nhiệt dung đang áp}}{\text{Nhiệt dung đang tích}}$$

Với không khí $k = 1,4$

Quá trình này được áp dụng trong kỹ thuật

$C_p - C_v = AR$ A - Đường lượng nhiệt của công

Từ (5-1) và (5-2) suy ra:
$$\frac{\gamma}{\gamma_1} = \left(\frac{P}{P_1} \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \quad (5-3)$$

Một cách tổng quát, ta có quá trình đa biến

$$P = c\gamma^n \quad n - \text{chỉ số của quá trình}$$

5.1.2. Phương trình lưu lượng:

Có dạng giống như đối với chất lỏng không nén được:

$$G = \gamma Q = \text{const}: \quad \gamma_1 v_1 \omega_1 = \gamma_2 v_2 \omega_2$$

$$\text{Hay là: } \frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{dv}{v} + \frac{d\omega}{\omega} = 0$$

5.1.3. Phương trình Becnuli

Đối với dòng nguyên tố của chất khí lý tưởng, chuyển động dừng

$$z + \int \frac{dp}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = \text{const}$$

Xét quá trình đoạn nhiệt $p = c\gamma^k : \int \frac{dp}{\gamma} = \frac{k}{k-1} \frac{p}{\gamma}$

Vậy phương trình Becnuli có dạng

$$z + \frac{k}{k-1} \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g} = C$$

Suy ra:
$$z_1 + \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\gamma_1} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{u_2^2}{2g} \quad (5-4)$$

Đối với quá trình đẳng nhiệt:

$$z + \frac{p_0}{\gamma_0} \ln p + \frac{u^2}{2g} = \text{const}$$

5.1.4. Phương trình Entanpi

Thành lập cho dòng nguyên tố của chất khí lý tưởng, chuyển động dừng. Khảo sát sự biến thiên năng lượng trong khối khí từ 1-1 đến 2-2 sau khoảng thời gian dt trong hệ tọa độ cố định (Hình 5 -1). Dựa vào định luật bảo toàn năng lượng: năng lượng thu vào hay sinh ra bằng biến thiên năng lượng của thể tích chất khí, nghĩa là:

Nhiệt hấp thụ + công của áp lực = thế năng + động năng + nội năng + công cơ học + công ma sát

Viết cho một đơn vị trọng lượng chất khí:

$$\frac{Q}{A} + \frac{p_1}{\gamma_1} - \frac{p_2}{\gamma_2} = (z_2 - z_1) + \frac{C_p T}{A} + \frac{C_v T}{A} + L + L_{ms}$$

Nhiệt lượng $Q = Q_n$ (toả nhiệt ra ngoài) + Q_t (nội nhiệt do ma sát)

$$Q_t = AL_{ms}$$

Tiếp tục biến đổi phương trình trên dựa vào các biểu thức sau đây :

$$\frac{p}{\gamma} = RT; \quad C_p T - C_v T = ART$$

Suy ra: $\frac{C_p T}{A} - \frac{C_v T}{A} = RT = \frac{p}{\gamma}$

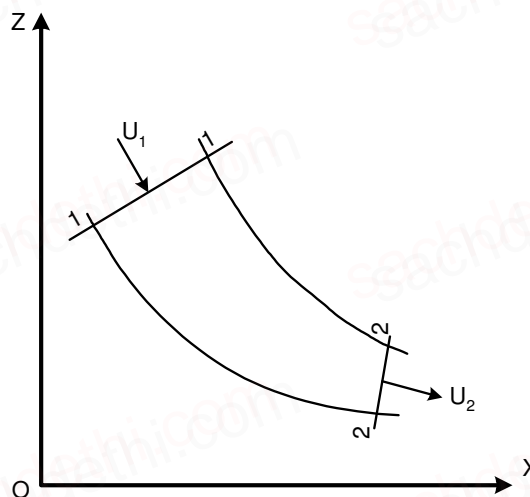
$$\frac{C_p T}{A} = \frac{p}{\gamma} + \frac{C_v T}{A}; \quad i = C_p T - \text{entanpi}$$

$$\frac{i}{A} = \frac{p}{\gamma} + \frac{U}{A}; \quad U = C_v T - \text{nội năng}$$

Nếu xét quá trình đoạn nhiệt ($Q_n = 0$) và bỏ qua công cơ học ($L = 0$), ta sẽ được phương trình Entanpi

$$i_1 + A \frac{u_1^2}{2g} = i_2 + A \frac{u_2^2}{2g} \quad (5-5)$$

Nghĩa là tổng entanpi và động năng là một đại lượng không đổi.



Hình 5-1. Thành lập phương trình Entanpi

5.2. CÁC THÔNG SỐ DÒNG KHÍ

5.2.1. Vận tốc âm

Theo định nghĩa $a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}} = \sqrt{\frac{gdp}{d\gamma}}$

Xét: $p = c^\gamma$; $a = \sqrt{k \frac{p}{\gamma}} = \sqrt{kgRT}$

$a \approx \sqrt{T}$: Vận tốc âm phụ thuộc vào nhiệt độ tuyệt đối.

Chẳng hạn : $t = 15^\circ C$: $T = 273 + 15 = 288^\circ K$; $k = 1,4$; $a = 341 m/s$

Để so sánh vận tốc dòng chảy v với vận tốc âm a ông Mác (người Áo) đưa vào số Mác: $M = v/a$.

Số Mác là tiêu chuẩn quan trọng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của tính nén được đến chuyển động, nó là tiêu chuẩn quan trọng của hai dòng khí tương tự.

$M < 1$: dòng dưới âm;

$M = 1$: dòng quá độ;

$M > 1$: dòng trên âm (siêu âm).

Trong dòng khí trên âm ($M > 1$) thường xảy ra hiện tượng sóng va (sóng va thẳng và sóng va xiên). Đó là một vấn đề rất thú vị được nghiên cứu trong các giáo trình hay chuyên đề.

5.2.2. Dòng hãm, dòng tới hạn

Khi chất khí ở trạng thái tĩnh $v = 0$, người ta nói chất khí ở trạng thái hãm, còn $p_0, T_0, \rho_0 \dots$ gọi là các thông số dòng hãm.

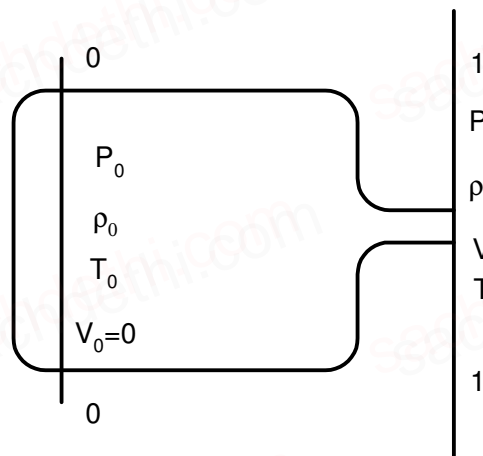
Tìm mối liên hệ giữa các thông số dòng hãm với các thông số dòng khí. Từ phương trình Entanpi (5-5) viết cho dòng hãm:

$$C_p T_0 = C_p T + A \frac{u^2}{2g}$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{A}{2g} \frac{u^2}{C_p T} = 1 + \frac{1}{2} \frac{C_p}{kRA} \frac{u^2}{kgRT}$$

vì $C_p - C_v = RT$; $a^2 = kgRT$ nên

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{1}{2} \frac{u^2}{a^2} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2$$



Hình 5-2

Biến đổi theo (5-3) sẽ được: $\frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$ (5-6)

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Ta có thể tính được vận tốc cực đại của dòng khí từ bình chứa ra (hình 5-2)

Theo phương trình Bécnuili (5-4) ta có :

$$\frac{k}{k-1} \frac{p_0}{\gamma_0} = \frac{k}{k-1} \frac{p}{\gamma} + \frac{u^2}{2g}$$

$$u = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \left(\frac{p_0}{\gamma_0} - \frac{p}{\gamma} \right)}$$

Từ biểu thức đó, ta thấy p giảm thì u tăng và $p = 0$ thì:

$$u = u_{max} = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} \frac{p_0}{\gamma_0}} = \sqrt{\frac{2a_0^2}{k-1}} = \sqrt{\frac{2gk}{k-1} RT_0}$$

Đối với không khí: $u_{max} \approx 44,8\sqrt{T_0}$

Với $T_0 = 300^\circ K$; $u_{max} = 776 \text{ m/s}$

Khi vận tốc dòng khí bằng vận tốc âm: $u = a$, ta có trạng thái tới hạn. Lúc đó có các thông số của dòng tới hạn: $u_* = a_*$, p_* , ρ_* , T_* , ...

Tìm mối liên hệ giữa các thông số dòng hãm và dòng tới hạn bằng cách từ các biểu thức (5-6) cho $M = 1$

$$\frac{T_0}{T_*} = 1 + \frac{k-1}{2} = \frac{k+1}{2}$$

$$\text{Hay là } T_* = \frac{2}{k+1} T_0; \quad p_* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} p_0; \quad (5-7)$$

$$\rho_* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \rho_0$$

Tính lưu lượng trọng lượng từ bình chứa ra ngoài (Hình 5-2)

$$G = \mu \omega$$

$$G = \omega \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_0 \gamma_0 \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

$$G_{max} = \gamma_* u_* \omega$$

Ngoài số Mác người ta còn đưa vào hệ số vận tốc $\lambda = \frac{u}{a_*}$, giữa chúng có mối liên hệ:

$$\lambda^2 = \frac{M^2 (k+1)}{M^2 (k-1) + 2} \quad (5-8)$$

5.3. CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT KHÍ TRONG ỐNG PHUN

Xét chuyển động một chiều của chất khí trong các loại ống phun khác nhau. Ống phun là loại ống mà chất khí trong đó có thể thay đổi chế độ chuyển động từ dưới âm sang trên âm hay ngược lại.

5.3.1. Các phương trình thông số của ống phun

Viết các phương trình cơ bản dưới dạng vi phân

- Phương trình trạng thái: $dp = d(\gamma RT)$

- Phương trình lưu lượng trọng lượng : $dG = d(\gamma \omega) = 0$
- Phương trình Bécnu-li khi kể đến công cơ học và công ma sát :

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{dv^2}{2g} + dL + dL_{ms} = 0$$

- Phương trình năng lượng : $\frac{dQ}{A} = d\left(\frac{p}{\gamma}\right) + \frac{dv^2}{2g} + \frac{dU}{A} + dL + dL_{ms}$

Trong 4 phương trình có 5 thông số : ρ, p, v, U, T và 5 yếu tố tác dụng lên dòng chảy : ω, G, Q, L, L_{ms}

Vì vậy từ 4 phương trình trên cùng với công thức tính nội năng $U = C_v T$, ta khử 4 thông số để thành lập phương trình liên hệ giữa thông số còn lại, chẳng hạn như vận tốc v , với 5 yếu tố. Kết quả cuối cùng ta được:

$$(M^2 - 1) \frac{dv}{v} = \frac{d\omega}{\omega} - \frac{dG}{G} - \frac{g}{a^2} \frac{k-1}{A} dQ - \frac{kg}{a^2} dL - \frac{kg}{a^2} dL_{ms} \quad (5-9)$$

Ở đây ta chỉ xét chủ yếu sự tăng vận tốc của dòng chảy trong ống phun (từ dòng dưới âm sang dòng trên âm), nên ta xét phương trình (5-9) tương ứng với các trường hợp riêng, nghĩa là xem như trong dòng chảy chỉ có một yếu tố ảnh hưởng còn các yếu tố khác có thể bỏ qua.

5.3.2. Ống phun hình học (ống Lavan, năm 1883)

Chỉ có tiết diện thay đổi ($d\omega \neq 0$), còn các yếu tố khác bỏ qua ($dG = dQ = dL = dL_{ms} = 0$). Từ phương trình (6-8) suy ra:

$$(M^2 - 1) \frac{dv}{v} = \frac{d\omega}{\omega}$$

Xét trường hợp tăng tốc $dv > 0$

Nếu $v < a, M < 1$ thì $d\omega < 0$: diện tích thu hẹp;

$v = a, M = 1, d\omega = 0$: diện tích không đổi gọi là mặt cắt tới hạn ω_* ;

$v > a, M > 1, d\omega > 0$: diện tích mở rộng.

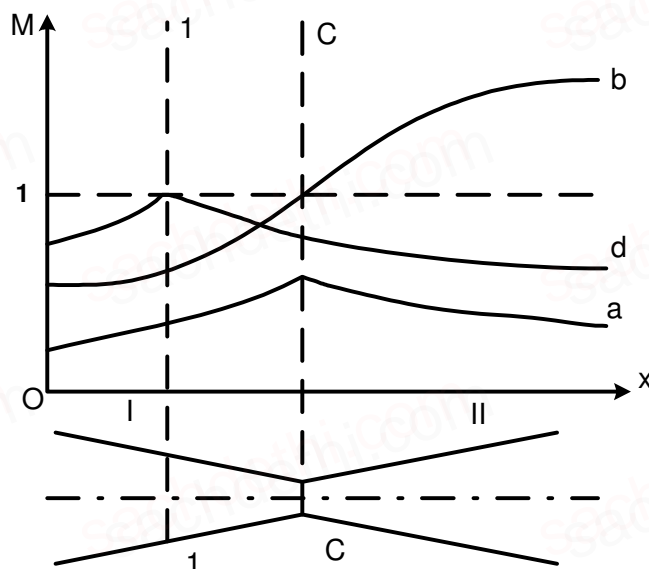
Như vậy ống phun hình học hay mang tên nhà thiết kế Lavan có dạng hình 5-3.

Có hai chú ý quan trọng:

a) Sự thay đổi thiết diện ở gần mặt cắt tối hạn $c-c$ ảnh hưởng rất lớn đến vận tốc v . Chẳng hạn như tiết diện ω thay đổi 1% thì số Mác (M) thay đổi từ 0,9 đến 1.

b) Dòng chất khí chuyển từ dưới âm sang trên âm chỉ có thể xảy ra với điều kiện là $v = a$ tại mặt cắt nhỏ nhất $c-c$ (hình 5-3).

Ta nhận xét thêm rằng ở dòng khí trên âm, khi tiết diện tăng, vận tốc cũng tăng. Đó là khác biệt nổi bật khi so sánh dòng nước và dòng khí chuyển động trong ống thẳng tiết diện biến đổi.



Hình 5-3. ống phun La van

5.3.3. Ống phun lưu lượng

Chỉ làm thay đổi lưu lượng $dG \neq 0$, nên phương trình (5-9) có dạng

$$(M^2 - 1) \frac{dv}{v} = - \frac{dG}{G}$$

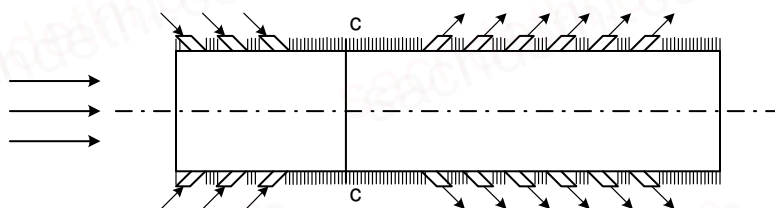
Xét trường hợp tăng tốc $dv > 0$

Khi $M < 1$; $dG > 0$: hút khí vào để G tăng

$M = 1$; $dG = 0$

$M > 1$; $dG < 0$: nhả khí ra để G giảm

Vậy, ống phun lưu lượng có dạng hình 5-4.



Hình 5-4. Ống phun lưu lượng

Nguyên lý làm việc của ống phun nhiệt ($dQ \neq 0$) và ống phun cơ học ($dL \neq 0$) hoàn toàn giống ống phun lưu lượng.

5.3.4. Ống phun ma sát $dL_{ms} \neq 0$

$$(M^2 - 1) \frac{dv}{v} = -\frac{kg}{a^2} dL_{ms}$$

Nếu dòng chảy có ma sát thì dòng khí trong ống sẽ sinh công để thắng lực ma sát nên công của lực ma sát luôn dương ($dL_{ms} > 0$), suy ra vế phải luôn âm.

Khi $M < 1 : dv > 0$

$M > 1 : dv < 0$

Nghĩa là khi dòng dưới âm thì lực ma sát làm tăng vận tốc còn khi dòng trên âm thì lực ma sát làm giảm vận tốc.

Vậy trừ ống phun ma sát, những ống phun còn lại muốn tăng tốc thì phải có tác dụng ngược (như ống phun hình học đầu tiên diện tích thu hẹp, sau đã mở rộng). Đó là nguyên lý “tác dụng ngược”.

5.4. TÍNH TOÁN DÒNG KHÍ BẰNG CÁC HÀM KHÍ ĐỘNG VÀ BIỂU ĐỒ

Hàm khí động là hàm có dạng : $f(k, \lambda)$ hay $f(k, M)$. Với giá trị k nhất định và các giá trị hệ số vận tốc λ và M , người ta tính giá trị các hàm đó và lập thành bảng, hay vẽ biểu đồ. Nhờ các bảng hàm khí động (phần phụ lục) và biểu đồ đó, có thể tính các thông số dòng khí một cách thuận tiện.

Có thể nêu ra những ưu điểm của phương pháp này:

- Rút ngắn các quá trình tính toán.
- Đơn giản rất nhiều các phép biến đổi khi cùng giải nhiều phương trình, nghĩa là tìm được lời giải chung của những bài toán phức tạp.
- Biết một cách định tính cơ bản những quy luật của chuyển động và mối liên quan giữa các thông số của dòng khí.

5.4.1. Tính các thông số dòng khí

Từ (5-6) và (5-8) ta tìm được các dòng khí động sau đây :

$$\tau(\lambda) = \frac{T}{T_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)$$

$$\pi(\lambda) = \frac{p}{p_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

5.4.2. Tính lưu lượng

$$G = \gamma \omega$$

Từ các biểu thức $\gamma = f(p_0, k, \lambda)$ và $v = \lambda a_*$, ta có :

$$G = \omega \frac{p_0}{\sqrt{T_0}} B q(\lambda)$$

trong đó $B = \sqrt{\frac{kg}{R} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} = 0,4$ với $k = 1,4$

$$q = \frac{\rho v}{(\rho v)_*} = f(\lambda)$$

q - Lưu lượng dẫn suất, hàm khí động lưu lượng

Tính lưu lượng qua áp suất tĩnh p : $p_0 = \frac{p}{\pi(\lambda)}$

$$G = \omega \frac{p}{\sqrt{T_0}} B y(\lambda)$$

Với $y(\lambda) = \frac{q(\lambda)}{\pi(\lambda)}$ một hàm khí động nữa.

5.4.3. Tính xung lực

$$I = \frac{G}{g} v + p \omega = \frac{G}{g} \left(v + \frac{p}{\rho v}\right) = \frac{k+1}{2k} \frac{G}{g} a_* Z(\lambda)$$

$$Z(\lambda) = \lambda + \frac{1}{\lambda}$$

Vậy biết λ (bằng số hay biểu thức) hay $f(\lambda, k)$ tra bảng hay đồ thị sẽ tìm được $f(\lambda, k)$ hay λ khác.

5.4.4. Kết luận

Để kết luận phần này ta điểm lại các hàm khí động và các biểu thức liên hệ giữa chúng với nhau.

a) Các hàm đơn giản biểu thị mối liên hệ giữa các thông số hãm:

$$\tau(\lambda) = \frac{T}{T_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right)$$

$$\pi(\lambda) = \frac{p}{p_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

Và

$$\pi(\lambda) = \tau(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda)$$

b) Các hàm biểu diễn lưu lượng khí qua áp suất toàn phần:

$$q(\lambda) = c \lambda \varepsilon(\lambda)$$

Hay là qua áp suất thủy tĩnh:

$$y(\lambda) = \frac{q(\lambda)}{\pi(\lambda)} = c \frac{\lambda}{\tau(\lambda)}$$

Nhờ các hàm đó ta có được hai biểu thức tính lưu lượng khí:

$$G = B \omega \frac{p_0}{\sqrt{T_0}} q(\lambda) = B \omega \frac{p}{\sqrt{T_0}} y(\lambda)$$

c) Nhờ hàm:

$$Z(\lambda) = \lambda + \frac{1}{\lambda}$$

Ta có thể biểu diễn xung lực dòng khí dưới dạng tích giữa nhiệt độ hãm và lưu lượng khí:

$$I = \frac{G}{g} v + p \omega = \frac{G}{g} \left(v + \frac{p}{\rho v} \right) = \frac{k+1}{2k} \frac{G}{g} a_* Z(\lambda)$$

d) Xung lực dòng khí biểu diễn qua áp suất toàn phần và áp suất tĩnh nhờ các hàm $f(\lambda)$ và $r(\lambda)$:

$$f(\lambda) = \frac{1}{c} q(\lambda) Z(\lambda); \quad r(\lambda) = c \frac{1}{y(\lambda) Z(\lambda)}$$

Bằng các biểu thức sau:

$$I = p_0 \omega f(\lambda) = \frac{p \omega}{r(\lambda)}$$

$$c = \frac{I}{\varepsilon(\lambda)} = \left(\frac{k+I}{2} \right)^{\frac{I}{k-I}}$$

Bằng 1,577 đối với $k = 1,4$ và 1,588 đối với $k = 1,33$.

e) Các hàm $q(\lambda, \alpha)$, $y(\lambda, \alpha)$ và $Z(\lambda, \alpha)$ cho phép áp dụng phương pháp tính toán và các công thức trên cho trường hợp chuyển động của chất khí có thành phần vận tốc hướng kính hay tiếp tuyến.

g) Khi giải một số bài toán cũng dùng đạo hàm của các hàm khí động. Bằng cách vi phân và qua một số phép biến đổi ta có thể nhận được biểu thức của chúng qua các hàm cơ bản.

Ví dụ:

$$\frac{d\pi(\lambda)}{d\lambda} = -k \left(\frac{2}{k+I} \right)^{\frac{k}{k-I}}$$

$$\frac{dq(\lambda)}{d\lambda} = q(\lambda) \left[\frac{I}{\lambda} - \left(\frac{2}{k+I} \right)^{\frac{k}{k-I}} y(\lambda) \right] \text{ v.v...}$$

Ý nghĩa của các phương trình cơ bản biểu diễn qua hàm khí động.

Từ các ví dụ ở trên ta thấy rằng ưu việt cơ bản của các biểu thức hàm khí động là ở chỗ nó chứa các thông số của dòng chảy mà sự thay đổi của chúng có thể dễ dàng thiết lập từ những điều kiện của bài toán. Ví dụ như sự không đổi của nhiệt độ hãm T_0 trong chuyển động đoạn nhiệt và tăng T_0 khi cung cấp nhiệt; việc bảo toàn áp suất toàn phần p_0 trong chuyển động đẳng entropi và sự giảm p_0 khi có tổn thất ... Bằng cách chọn các biểu thức thích hợp cho lưu lượng hay xung lực có thể dẫn tới công thức chứa ít nhất những thông số chưa biết và thường tìm được ẩn số trực tiếp từ các phương trình cơ bản mà không cần những biến đổi phức tạp.

Ta nêu ra một số qui tắc chung giúp ích cho việc giải các phương trình dưới dạng tổng quát nhờ các hàm khí động.

Trong tất cả các trường hợp khi nhận được biểu thức tổng quát hay biểu thức bằng số của hệ số vận tốc λ hoặc của một hàm khí động bất kỳ nào ta đều có thể coi là tất cả các hàm khí động và hệ số vận tốc đã biết (từ bảng hay đồ thị). Đó là điều kiện cơ bản để đơn giản việc tính toán, bởi vì nó loại trừ sự cần thiết phải viết dưới dạng cụ thể sự phụ thuộc giữa λ và các hàm của nó. Trong khi tính toán bằng số cần chú ý rằng các hàm $\pi(\lambda)$, $\pi(\lambda)$, $\varepsilon(\lambda)$ trong miền vận tốc nhỏ và các hàm $q(\lambda)$, $z(\lambda)$, $f(\lambda)$ trong miền vận tốc gần âm thay đổi rất ít khi λ thay đổi. Bởi vậy trong các miền đó chỉ cần sai số nhỏ của hàm cũng dẫn đến sai số lớn của hệ số vận tốc λ . Do đó trong các trường hợp đó nên cố gắng dùng các phương trình chứa các hàm $y(\lambda)$, $r(\lambda)$, còn nếu không được như vậy phải tính toán rất chính xác. Tất nhiên trong các miền đó không nên tính λ theo các hàm trên bằng đồ thị. Đặc biệt đối với hàm $z(\lambda)$ chỉ thay đổi có 10% trong khoảng λ lớn ($0,65 \div 1,55$). Vì vậy để tìm λ theo giá trị hàm $z(\lambda)$ trong miền chuyển động gần âm có thể tính trực tiếp từ phương trình:

$$Z(\lambda) = \lambda + \frac{1}{\lambda}$$

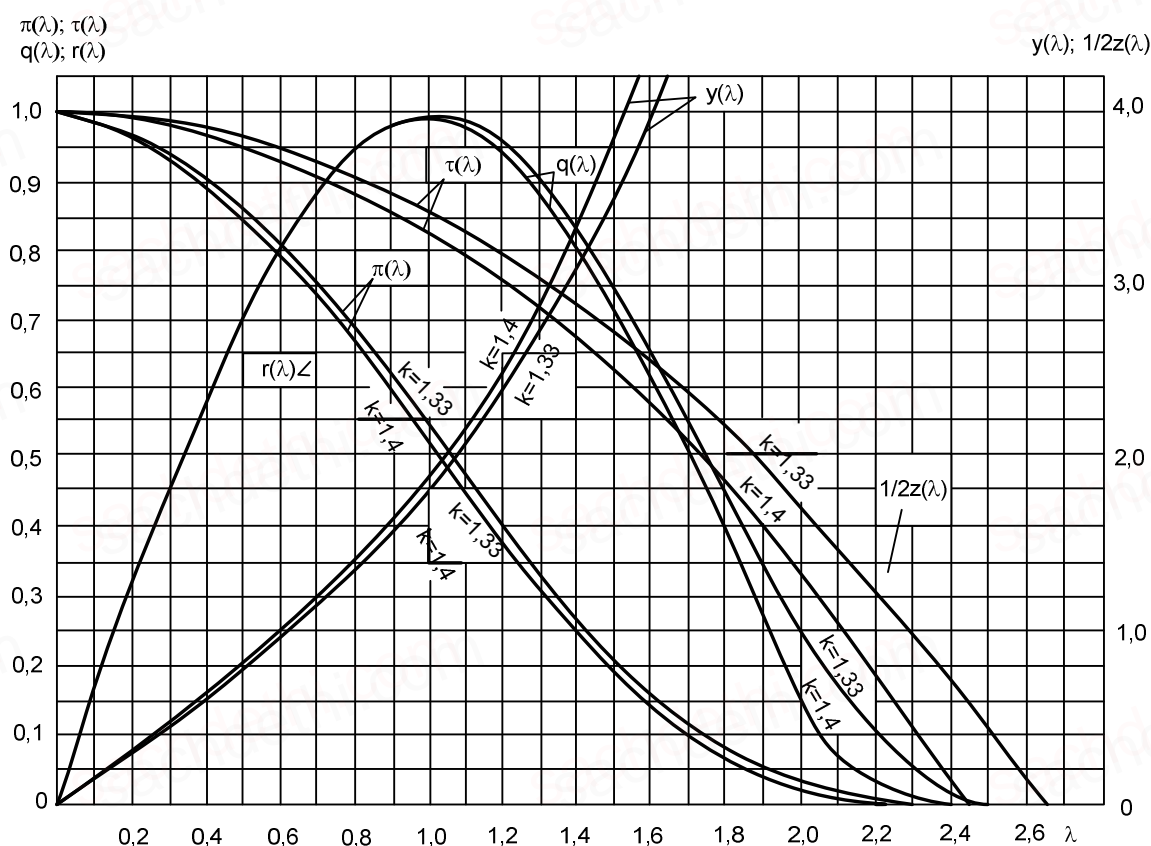
Từ đó:

$$\lambda = \frac{Z(\lambda) \pm \sqrt{Z^2(\lambda) - 4}}{2} = \frac{2}{Z(\lambda) \pm \sqrt{Z^2(\lambda) - 4}}$$

Để tránh sai số do khi trừ hai giá trị gần bằng nhau ta tìm nghiệm trên âm theo biểu thức đầu tiên, còn nghiệm dưới âm theo biểu thức thứ hai.

Qua các ví dụ đã khảo sát ta thấy phương pháp tính toán nhờ các hàm khí động rất có hiệu lực để giải các bài toán tương đối phức tạp và có ý nghĩa thực tế kỹ thuật.

Đồ thị các hàm khí động có dạng sau đây (Hình 5-5):



Hình 5-5. Đồ thị hàm khí động

5.5. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 5-1:

Trong mặt cắt 1-1 ở phần dưới âm của ống Lavan lý tưởng cho $p_1 = 16 \text{ kg/cm}^2$; $T_{o1} = 400^\circ\text{K}$, $\lambda_1 = 0,6$. Tính λ_2 và p_2 ở 2-2. Biết $T_2 = 273^\circ\text{K}$

Giải:

Trong ống phun Lavan lý tưởng : $T_{o2} = T_{o1}$

$$p_{o2} = p_{o1} (T_o = \text{Const}, p_o = \text{Const})$$

Tìm λ_2 :
$$\tau(\lambda_2) = \frac{T_2}{T_{o2}} = \frac{T_2}{T_{o1}} = \frac{273}{400} = 0,6825$$

Tra bảng (Phụ lục 8) ta tìm được $\lambda_2 = 1,38$. Vậy tiết diện 2-2 ở phần ống trên âm

Tìm p_2 :
$$\pi(\lambda) = \frac{p}{p_o} \rightarrow \frac{p_1}{\pi(\lambda_1)} = \frac{p_2}{\pi(\lambda_2)}$$

$$p_2 = p_1 \frac{\pi(\lambda_2)}{\lambda_1} = 16 \frac{0,2628}{0,8053} = 5,23 \text{ kG/cm}^2$$

Ví dụ 5.2:

Tính λ_2 , p_2 ở miệng ra của ống giảm tốc nếu biết ở miệng vào của ống giảm tốc:

$$p_{o1} = 3 \text{ kG/cm}^2; \lambda_1 = 0,85; \frac{\omega_2}{\omega_1} = 2,5 \text{ và hệ số áp suất toàn phần}$$

$$\delta = \frac{p_{o2}}{p_{o1}} = 0,94$$

Giải :

Từ công thức tính lưu lượng:

$$\omega_1 \frac{p_{o1}}{\sqrt{T_{o1}}} q(\lambda_1) = \omega_2 \frac{p_{o2}}{\sqrt{T_{o2}}} q(\lambda_2)$$

Bỏ qua sự trao đổi nhiệt qua thành ống giảm tốc, ta có $T_{o2} = T_{o1}$ suy ra:

$$q(\lambda_2) = \frac{1}{\sigma} \frac{\omega_1}{\omega_2} q(\lambda_1)$$

Tra bảng (Phụ lục 8): $q(\lambda_1) = q(0,85) = 0,9729$

Nên $q(\lambda_2) = 0,413 \rightarrow \lambda_2 = 0,27$ và $\pi(\lambda_2) = 0,9581$
 $p_2 = p_{02}(\lambda_2) = p_{01}\pi(\lambda_2) = 0,94.3.0,9581 = 2,7 \text{ kG/cm}^2$

Ví dụ 5-3:

Nếu biết rằng vận tốc không khí trong ống là 750 ft/s . Sử dụng áp kế thủy ngân trong hình vẽ để xác định áp suất tĩnh tuyệt đối trong ống.

Chú thích: $1 \text{ ft} = 0,3048 \text{ m}$; $1 \text{ in} = 0,0254 \text{ m}$; $1 \text{ lbf} = 4,4482 \text{ N}$;

Giải:

Xác định trọng lượng riêng của không khí bằng áp kế: $0,07 \text{ lbf/ft}^3$

$$p_0 - p|_{do} = (\rho_{Hg} g - \rho_{kh} g) h = (846 - 0,07) \frac{8}{12} \text{ ft} \approx 564 \text{ lbf / ft}^2$$

Với $T = 100^\circ \text{F} = 560 \text{K}$;

$$a = \sqrt{kRT} = \sqrt{1,4.1717.560} \approx 1160 \text{ ft / s}$$

$$\rightarrow M_a = \frac{V}{a} = \frac{750}{1160} \approx 0,646$$

Cuối cùng:

$$\frac{p_0 - p}{p} = \left[1 + 0,2(0,646)^2 \right]^{3,5} - 1 = 1,324 - 1 = 0,324 = \frac{564}{p}$$

$$\Rightarrow \text{áp suất tĩnh tuyệt đối trong ống } p_t = 1739 \text{ pbf} \approx 12,1 \text{ lbf/in}^2$$

Ví dụ 5-4:

Một dòng khí có vận tốc $V = 200 \text{ m/s}$, áp suất $p = 125 \text{ KPa}$ và nhiệt độ $T = 200^\circ \text{C}$. Hãy tính áp suất và vận tốc cực đại có thể đạt được khi dẫn hoặc nén trong hai trường hợp:

- Dòng khí là không khí;
- Dòng khí là khí Helium.

Giải:

a) Đối không khí

Xác định trị số Max:

$$M_a = \frac{V}{\sqrt{kRT}} = \frac{200}{\sqrt{1,4.287.(200 + 273)}} = 0,459$$

Áp suất cực đại (trạng thái hãm):

$$p_{max} = p_0 = p \left(1 + \frac{k-1}{2} M_a^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$= 125 \left(1 + 0,2(0,459)^2 \right)^{3,5} = 144 \text{ KPa}$$

$$\text{Nhiệt độ: } T^0 = (200 + 273) \cdot [1 + 0,2(0,459)^2] = 493 \text{ K}$$

$$\rightarrow V_{max} = \sqrt{2C_p T_0} = \sqrt{2 \cdot 1005 \cdot 493} = 995 \text{ m/s}$$

b) Đối với khí Helium: $k = 1,66$; $R = 2077 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$;

$$C_p = \frac{k \cdot R}{k-1} = 5224 \text{ m}^2/\text{s}^2\text{K}$$

$$M_a = \frac{V}{\sqrt{kRT}} = \frac{200}{\sqrt{1,66 \cdot 20077(473)}} \approx 0,157$$

$$p_0 = 125 \left[1 + 0,33(0,157)^2 \right]^{\frac{1,66}{0,66}} \approx 128 \text{ KPa}$$

$$T^0 = 473 \cdot [1 + 0,33(0,157)^2] = 477 \text{ K}$$

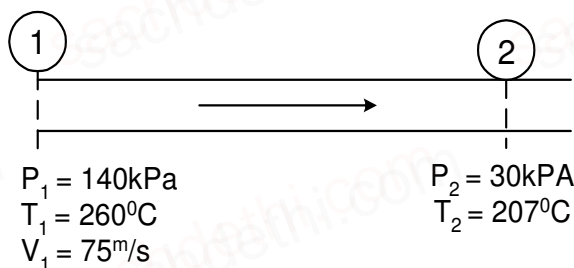
$$\rightarrow V_{max} = \sqrt{2 \cdot 5224 \cdot 477} \approx 2230 \text{ m/s}$$

Bài tập 5-1.

Một dòng khí lý tưởng chảy đoạn nhiệt qua một ống.

Tại mặt cắt 1: $p_1 = 140 \text{ kPa}$; $T_1 = 260^\circ\text{C}$; $V_1 = 75 \text{ m/s}$;

Tại mặt cắt 2: $p_2 = 30 \text{ kPa}$; $T_2 = 207^\circ\text{C}$.



Hãy tính V_2 (m/s) và $S_2 - S_1$ (J/Kg.K) trong hai trường hợp:

a) Dòng khí là không khí $K = 1,4$;

b) Dòng khí là khí argon $K = 1,67$.

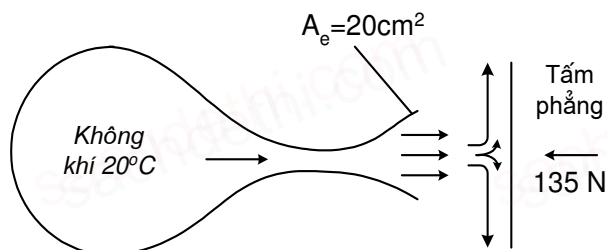
Đáp số: a) $V_2 = 326 \text{ m/s}$; $S_2 - S_1 = 337 \text{ J/Kg.K}$

b) $V_2 = 246 \text{ m/s}$; $S_2 - S_1 = 266 \text{ J/Kg.K}$

Bài tập 5-2.

Một dòng khí chuyển động từ trong một bình chứa ở nhiệt độ 20°C đi qua miệng vòi phun vào một tấm phẳng đặt thẳng đứng có diện tích 20 cm^2 (hình vẽ).

Dòng chảy dưới âm. Lực cần thiết giữ tấm phẳng đứng yên là 135 N.



Tính: a) V_e ; b) Ma_e ; c) p_0 nếu $p_a = 101\text{ kPa}$

Đáp số: a) $V_e = 226\text{ m/s}$;

b) $Ma_e = 0,69$;

c) $p_0 = 13900\text{ Pa}$

Câu hỏi ôn tập chương IV

1. Các phương trình cơ bản của chất khí.
2. Các thông số cơ bản của dòng khí.
3. Khảo sát chuyển động của chất khí trong một số ống phun thường gặp.
4. Cách tính toán dòng khí bằng các hàm khí động và biểu đồ.

Chương 6

TÍNH TOÁN THUỶ LỰC ĐƯỜNG ỐNG CÓ ÁP

Trong kỹ thuật và trong thực tiễn sản xuất ta gặp nhiều trường hợp các loại chất lỏng chảy trong các đường ống có áp khác nhau với các nhiệm vụ khác nhau (Như ống dẫn nước trong hệ thống cung cấp nước, ống dẫn nhiên liệu, dẫn hoá chất trong các thiết bị máy móc, hệ thống truyền động, truyền lực....)

Mục đích tính toán thuỷ lực đường ống là thiết kế hệ thống đường ống mới hoặc kiểm tra để sửa chữa, điều chỉnh hệ thống sẵn có cho phù hợp với yêu cầu cụ thể là xác định một trong các thông số: Lưu lượng Q ; Cột áp H tại đầu hoặc cuối đường ống, đường kính d hoặc cả d và H .

6.1. CƠ SỞ LÝ THUYẾT ĐỂ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG ỐNG

6.1.1. Phân loại

Dựa vào đặc điểm tổn thất năng lượng trong đường ống h_w , chia đường ống thành 2 loại:

Đường ống ngắn: Là đường ống có chiều dài không đáng kể, tổn thất năng lượng cục bộ là chủ yếu ($h_{wc} > 0,1 h_w$). Ví dụ ống hút bơm ly tâm, đường ống dẫn nhiên liệu, dẫn dầu bôi trơn trên các động cơ...

Đường ống dài: Là đường ống có chiều dài lớn; tổn thất năng lượng dọc đường là chủ yếu ($h_{wc} < 0,1 h_w$). Ví dụ các đường ống trong hệ thống cung cấp nước, dẫn nhiên liệu từ bể chứa tới các điểm phân phối...

Căn cứ vào điều kiện thuỷ lực và cấu trúc đường ống, chia ra:

Đường ống đơn giản: là đường ống có đường kính d hoặc lưu lượng Q không đổi dọc theo chiều dài đường ống (Hình 6 - 1a)

Đường ống phức tạp: d và Q thay đổi, nghĩa là gồm nhiều đường ống đơn giản ghép nối lại như đường ống có mạch rẽ (Hình 6 - 1c), đường ống chia nhánh song song (Hình 6 - 1b), đường ống có mạch vòng kín (Hình 6-1 d)...

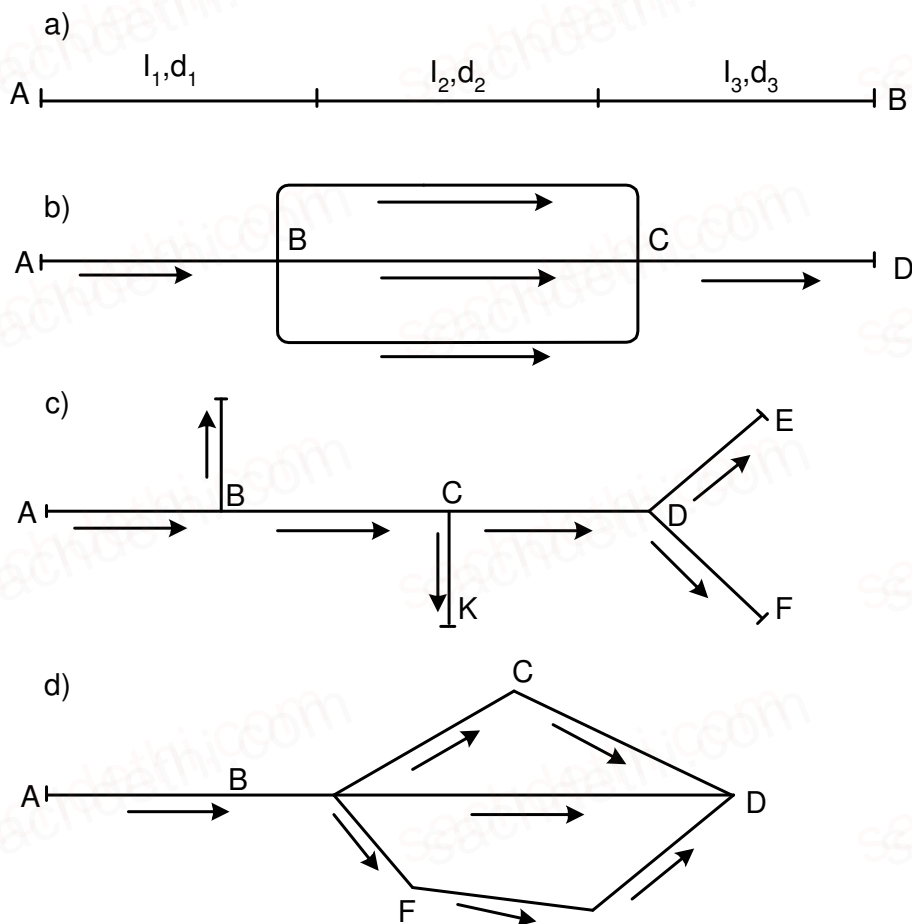
6.1.2. Những công thức dùng trong tính toán thuỷ lực đường ống

- Phương trình Becnuli đối với chất lỏng thực (h_w tổn thất cột áp = tổn thất năng lượng đơn vị).

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_w$$

Hay
$$H_1 = H_2 + h_w$$

Trong đó:
$$H_1 = Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \quad - \text{Cột áp đầu ống}$$



Hình 6-1. Các loại đường ống phức tạp

$$H_2 = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \quad \text{- Cột áp cuối ống}$$

- Phương trình lưu lượng: $Q = v \omega$

- Công thức tính h_w :

$$h_{wd} = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \quad ; \quad h_{wc} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad ;$$

Dựa vào các phương trình trên suy ra công thức chung: $f(H_1, H_2, d, Q, l) = 0$

6.2. TÍNH TOÁN THUỶ LỰC ĐƯỜNG ỐNG ĐƠN GIẢN

6.2.1. Tính H_1 khi biết H_2 , Q , l , d , n (độ nhám tương đối)

Từ phương trình Becnuli

$$H = H_1 - H_2 = h_w \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Suy ra
$$H_1 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} + H_2 \quad (6 - 1)$$

Công thức (6-1) dùng khi cần tính độ cao tháp nước hoặc cột áp đầu một đoạn ống.

6.2.2. Tính Q, biết H_1, H_2, l, d, n

Từ (6 - 1) ta rút ra:

$$Q = \sqrt{(H_1 - H_2) \frac{\pi^2 d^4 g}{8 \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right)}} \quad (6 - 2)$$

Dựa vào công thức (6 - 2) ta thấy dù đã biết H_1, H_2, l, d, n nhưng chưa xác định $\lambda = f(R_e)$. Bài toán phải giải theo phương pháp thử dần để chọn đúng λ từ đó giá trị Q cũng là đúng.

6.2.3. Tính d, biết H_1, H_2, Q, n

a) Phương pháp thử dần :

Từ (6-1) :

$$H_1 - H_2 = h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Ta giả thiết các giá trị khác nhau của d , từ đó xác định $\lambda, \sum \zeta$ rồi thay vào vế phải của phương trình trên. Nếu giá trị vế phải $f(d_i) = h + \frac{p_1 - p_2}{\gamma}$ thì d_i chính là đường kính ống cần tìm.

b) Phương pháp đồ thị:

Từ (6 - 1) suy ra:

$$d^4 = \frac{8}{\pi^2 g H} \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) Q^2$$

và đặt:

$$y_1 = d^4$$

$$y_2 = f(d) = \frac{8}{\pi^2 g H} \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) Q^2$$

Biểu diễn hai hàm số này trên cùng một đồ thị; Giao điểm của hai đường cong chiếu xuống trục d cho giá trị d cần tìm.

6.2.4. Tính d, H_1 , biết H_2, Q, l, n

Trường hợp này trước hết xác định d theo vận tốc cho phép (Vận tốc kinh tế) để đảm bảo lưu lượng Q sau đó tính H_1 như bài toán 1.

Ví dụ: Bơm bánh răng phải đẩy dầu với lưu lượng $Q = 0,2 \text{ l/s}$ vào trong bình chứa (thông với khí quyển) (Hình 5-2). Xác định áp suất đẩy cần thiết của bơm nếu biết: đường kính ống đẩy $d = 2 \text{ cm}$, chiều dài của nó $l = 1 \text{ m}$, $\zeta_K = 4$. Khoảng cách từ mặt thoáng bình

đến trục bơm $z = 1,4m$. Độ nhớt của dầu $\nu = 0,2 cm^2/s$, trọng lượng riêng của dầu $\gamma = 8450 N/m$.

Giải:

Xác định trạng thái chảy của dầu:

$$Re = \frac{4Q}{\pi d \nu} = \frac{4 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{\pi \cdot 2 \cdot 0,2} \cong 637 < 2320 \rightarrow$$

chảy tầng.

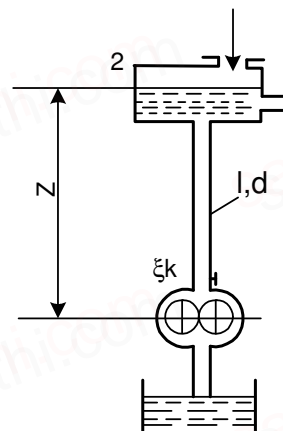
Bỏ qua $\frac{v^2}{2g}$ vì v bé:

$$H_1 - H_2 = \frac{8}{\pi^2 g} \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{Q^2}{d^4}$$

và nếu lấy mặt chuẩn qua tâm bơm thì ta có :

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} - Z = \left(\zeta_K + \zeta_{dm} + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4}$$

Hình 6-2. Xác định áp suất đẩy của bơm bánh răng



trong đó: p_1 , p_2 - áp suất của bơm và áp suất tại mặt thoáng trong bình tính theo áp suất dư;

ζ_{dm} - hệ số tổn thất tại chỗ nối vào bình

Do đó:

$$p_1 = p_2 + \gamma Z + \left(\zeta_K + \zeta_{dm} + \lambda \frac{l}{d} \right) \frac{8Q^2}{\pi^2 g d^4} = 13580 N/m^2$$

6.3. TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐƯỜNG ỐNG PHỨC TẠP

Tính toán đường ống phức tạp dựa trên cơ sở tính toán đường ống đơn giản. Sau đây ta xét một số hệ thống đường ống phức tạp thường gặp. Trên cơ sở đó suy ra cách tính toán các hệ thống khác.

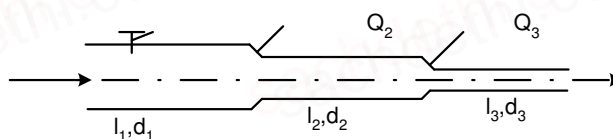
6.3.1. Hệ thống đường ống nối tiếp

a) Trường hợp nối tiếp kín (Hình 6 - 3)

Đặc điểm thủy lực: $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

$$H_{đầu} - H_{cuối} = H = \sum h_{w,d} + \sum h_{w,c}$$



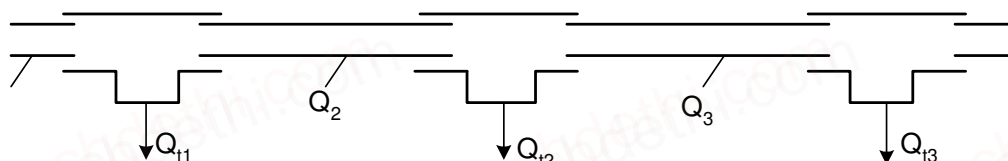
Hình 6-3. Sơ đồ đường ống nối tiếp kín

b) Trường hợp ống nối tiếp có rò rỉ chất lỏng ở các chỗ nối (Hình 6 - 4)

$$Q_1 = Q_2 + Q_{r1} = Q_3 + Q_{r1} + Q_{r2} = \dots = Q_i + \sum_{l=1}^{i-1} Q_{rl}$$

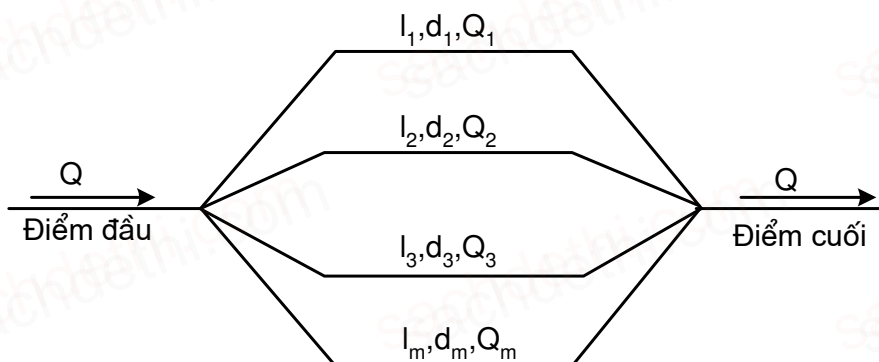
$$H = \sum h_{wd} + \sum h_{wc}$$

Chú ý : Đối với đường ống dài có thể lấy $\sum h_{wc} = (0,05 \div 0,1) \sum h_{wd}$



Hình 6 - 4. Sơ đồ ống nối tiếp có rò rỉ chất lỏng ở các chỗ nối

6.3.2. Hệ thống đường ống nối song song (Hình 6 - 5)



Hình 6-5. Sơ đồ đường ống mắc song song

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_m = \sum_{i=1}^m Q_i$$

$$H_{đầu} - H_{cuối} = H = H_1 = H_2 = \dots = H_i = \dots = H_m$$

$$H_i = h_{di} + \sum h_{ci} + h_{nvi} + h_{nri}$$

trong đó: h_{nvi} , h_{nri} - Tổn thất năng lượng tại nút vào và nút ra của dòng chảy qua ống thứ i

$\sum h_{ci}$ - Tổng tổn thất cục bộ trên đoạn ống thứ i ;

h_{di} - Tổn thất dọc đường trên đoạn ống thứ i .

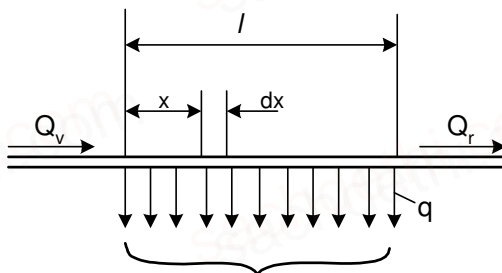
6.3.3. Hệ thống đường ống phân phối liên tục (Hình 6 - 6)

$Q_{ff} = q l$ (q - Lưu lượng trên một đơn vị dài)

$$Q_m = Q_v - \frac{Q_{ff}}{l} x = Q_r + Q_{ff} - \frac{Q_{ff}}{l} x$$

Tính tổn thất năng lượng dh trên dx (coi lưu lượng không đổi trên dx)

Nếu coi trên dx , $\sum \zeta = 0$



Hình 6 – 6. Đường ống phân phối liên tục

$$dh = \frac{8}{\pi_2 g} \lambda \frac{dx}{d^3} \left(Q_r + Q_{ff} - \frac{Q_{ff}}{l} x \right)^2$$

Suy ra:

$$h_d = \int_0^l dh = \frac{8}{\pi^2 g} \lambda \frac{l}{d^3} \left(Q_r^2 + Q_r Q_{ff} + \frac{1}{3} Q_{ff}^2 \right)$$

h_d - Chính là độ chênh cột áp trên đoạn l .

6.3.4. Hệ thống đường ống phân nhánh hở

Trong tính toán thủy lực đường ống phân nhánh hở thường gặp 2 loại bài toán: Thiết kế và kiểm tra.

- Bài toán kiểm tra là cho trước cột áp ở đầu đường ống, kiểm tra lại xem sau khi bị tổn thất năng lượng trong quá trình vận chuyển, cột áp còn lại cuối đường ống (nơi tiêu thụ) có đủ yêu cầu không?

- Bài toán thiết kế là tính được cột áp của nguồn, cần thiết đủ để thắng mọi sức cản trên đường ống, thỏa mãn yêu cầu cột áp và lưu lượng ở nơi tiêu thụ (cuối đường ống).

a) Các bước giải bài toán đường ống phân nhánh:

Thông thường trong một bài toán thiết kế người ta cho những số liệu sau:

- Lưu lượng cột áp yêu cầu tại các nơi tiêu thụ: Q_i ; H_i ;

- Độ cao hình học của các điểm trong hệ thống đường ống: Z_i (Tính từ một mặt chuẩn chung);

- Chiều dài các đoạn ống: l_i ;
- Hệ số nhám n hoặc độ nhám Δ của ống.

Yêu cầu xác định đường kính của các đoạn ống và cột áp của nguồn H_0 .

Bước 1: Tính đường ống cơ bản:

Chọn đường ống cơ bản (đường ống chính) là nhánh đường ống có yêu cầu về năng lượng vận chuyển chất lỏng cao nhất (thường chọn nhánh có Q lớn và l dài nhất).

- Xác định đường kính đường ống cơ bản theo vận tốc kinh tế:

$$d_i = \sqrt{\frac{4Q_i}{\pi v_{KT}}}$$

- Xác định cột áp nguồn H_0 .

Bước 2: Tính đường ống nhánh

Nhiệm vụ của việc tính đường ống nhánh là xác định được đường kính của nó. Tương tự như bài toán 3 (đường ống đơn giản) với điều kiện xác định được cột áp đầu nhánh.

b) Ví dụ: Tính toán thủy lực hệ thống đường ống phân nhánh (Hình 6-7)

Các số liệu cho

- Độ cao hình học : $Z_A, Z_B, Z_C, Z_D, Z_E, Z_K, Z_L, Z_N$;
- Lưu lượng yêu cầu : Q_K, Q_N, Q_L, Q_E ;
- Chiều dài từng đoạn ống : $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$;
- Cột áp yêu cầu : h_K, h_E, h_L, h_N .

Xác định đường kính ống và cột áp cần thiết H_A ở đầu hệ thống đường ống.

Theo sơ đồ trên chọn đường ống cơ bản là $ABCDE$.

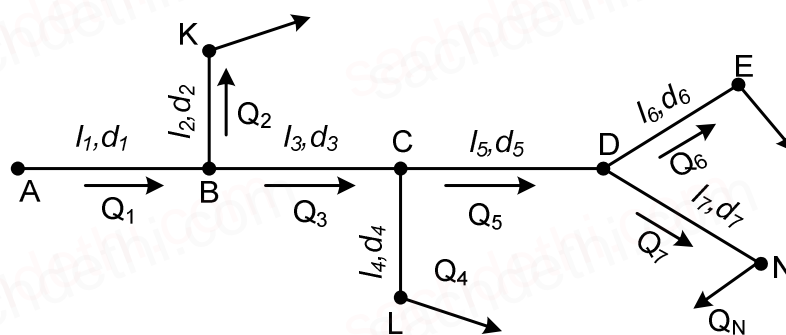
Xác định lưu lượng trên từng đoạn đường ống:

$$Q_7 = Q_N; Q_6 = Q_E; Q_5 = Q_E + Q_N; Q_4 = Q_L;$$

$$Q_3 = Q_L + Q_E + Q_N; Q_2 = Q_K; Q_1 = Q_K + Q_L + Q_E + Q_N;$$

Xác định đường kính các đoạn ống:

$$d_6 = 1,13 \sqrt{\frac{Q_6}{v_{KT}}}; \dots d_1 = 1,13 \sqrt{\frac{Q_1}{v_{KT}}};$$



Hình 6-7. Sơ đồ đường ống phân nhánh hở

Xác định tổn thất cột áp trên các đoạn ống:

$$H_6 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_6}{d_6} \right) \frac{8}{\pi^2 d_6^4 g} Q_6^2$$

$$H_5 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_5}{d_5} \right) \frac{8}{\pi^2 d_5^4 g} Q_5^2$$

$$H_1 = \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_1}{d_1} \right) \frac{8}{\pi^2 d_1^4 g} Q_1^2$$

Trị số cột áp cần thiết H_A ở đầu hệ thống đường ống được xác định:

$$H_A = H_1 + H_3 + H_5 + H_6 + (Z_E + h_E)$$

Để tính đường ống nhánh ta xác định cột áp ở các điểm B, C, D rồi tính tổn thất năng lượng trong các đường ống nhánh BK, CL và DN và cuối cùng chọn đường kính của các đường ống nhánh d_2 , d_4 và d_7 . Sau đó tiến hành kiểm tra:

Đoạn BK:
$$H_B - H_K \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_2}{d_2} \right) \frac{8}{\pi^2 d_2^4 g} Q_K$$

Đoạn CL:
$$H_C - H_L \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_4}{d_4} \right) \frac{8}{\pi^2 d_4^4 g} Q_L$$

Đoạn DN:
$$H_D - H_N \geq \left(\sum \zeta + \lambda \frac{l_7}{d_7} \right) \frac{8}{\pi^2 d_7^4 g} Q_N$$

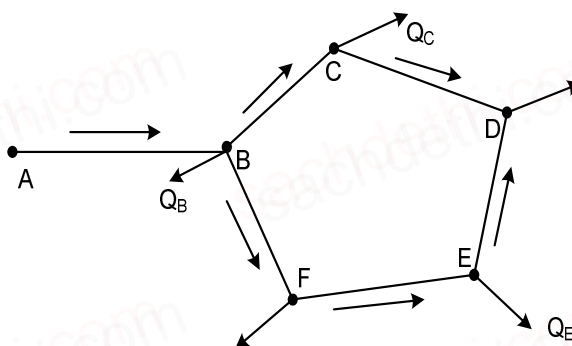
Nếu thoả mãn thì tốt, không thoả mãn thì phải chọn lại đường ống cơ bản và tính lại.

Trong trường hợp cho trước cột áp đầu hệ thống đường ống H_A , ta xem đường ống cơ bản ABCDE như đường ống đơn giản mắc nối tiếp có lưu lượng và đường kính ống khác nhau.

Tính xong đường ống cơ bản ta biết được tổn thất cột áp của từng đoạn ống và tính được cột áp ở các điểm đầu đường ống nhánh B, C, D ; rồi chọn đường kính các ống nhánh như ở trường hợp biết chiều dài l , lưu lượng Q và tổn thất năng lượng h_w ở ống đơn giản.

6.3.5. Hệ thống đường ống vòng kín

Giả sử xét một hệ thống đường ống vòng kín gồm có ống chính AB và một vòng kín $BCDEF$ (Hình 6-8). Lưu lượng tháo ra ở các điểm B, C, D, E, F là Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, Q_E và Q_F .



Hình 6-8. Sơ đồ hệ thống đường ống vòng kín

Trước hết ta chọn phương chuyển động của chất lỏng, Lấy điểm xa nhất làm điểm tháo nước cuối cùng. Ở sơ đồ này ta có thể lấy điểm D và như vậy chất lỏng sẽ chảy đến điểm D từ hai phía.

Sau khi xác định xong hướng chuyển động ta tính toán như ở trường hợp có mạch rẽ song song và tổn thất trong hai nhánh BCD và $BEFD$ bằng nhau:

$$h_{WBCD} = h_{WBEFD}$$

Nếu điều kiện trên không thoả mãn, phải chọn lại điểm tháo nước cuối cùng, hoặc thay đổi đường kính các đoạn ống.

6.4. PHƯƠNG PHÁP DÙNG HỆ SỐ ĐẶC TRƯNG LƯU LƯỢNG K

6.4.1. Nội dung

Phương pháp này dùng để tính toán cho đường ống dài, chảy rối và chảy đều có áp.

Do ống dài nên $H = h_w \approx h_{wd} = J l$.

trong đó: J - Độ dốc thuỷ lực; l - Chiều dài ống.

Vận tốc của dòng chảy đều được xác định theo công thức Sedi:

$$v = C \sqrt{RJ}$$

trong đó: R - Bán kính thủy lực; $C = \frac{1}{n} \left(\frac{d}{4} \right)^y$ - Hệ số Sedi

n - Độ nhám tương đối; y - Hệ số phụ thuộc R và n

Do đó lưu lượng qua ống là:

$$Q = \omega C \sqrt{RJ} = K \sqrt{J}$$

Với $J = 1$ thì $Q = K$ (m^3/s), có nghĩa K là lưu lượng của dòng chảy qua mặt cắt ướt khi độ dốc thủy lực bằng 1 đơn vị và được gọi là hệ số đặc trưng lưu lượng $K = K(d, n)$.

$$\text{Thay } J = h_{wd}/l \text{ vào } Q, \text{ ta có } H = h_{wd} = l \frac{Q^2}{K^2} \quad (6-3)$$

Các giá trị của K (hoặc $1/K^2$) được tính sẵn cho các loại đường ống có d và n khác nhau ứng với $v > 1,2$ m/s (chảy rối hay là khu vực sức cản bình phương). (Xem phần phụ lục 5,6).

Ứng với chảy tầng $v \leq 1,2$ m/s phải nhân (6-3) với hệ số hiệu chỉnh tổn thất a :

$$h_{wd} = a \frac{Q^2}{K^2} l \quad (6-4)$$

Bảng 6-1

v	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
a	1,41	1,2	1,15	1,115	1,085	1,06	1,04	1,03	1,015	1

6.4.2. Ứng dụng để giải 4 bài toán cơ bản

a) $H_1 = ?$ $H = H_1 - H_2 = h_{wd} = (Q/K)^2 l$

Suy ra $H_1 = (Q/K)^2 l + H_2$

b) $Q = ?$ Từ (6-2) : $Q = K \sqrt{\frac{H}{l}}$

K - Tra bảng theo trị số d và n đã cho.

c) $d = ?$ Theo đầu bài ta tính được $K = \frac{Q}{\sqrt{\frac{H}{l}}}$

Từ K và n đã cho, tra bảng ngược lại tìm d trong bảng trị số K .

d) $d, H_1 = ?$ Chọn trước d theo v_{KT} , sau đó dựa vào d và n tra bảng tìm K tương ứng.

Từ K, Q, l tìm được H, H_1 .

6.4.3. Ứng dụng để tính đường ống phức tạp

a) Đường ống nối tiếp: Q bằng nhau, $H = \sum H_i$

$$H = Q^2 \sum_{i=1}^m \frac{l_i}{K_i^2} \rightarrow Q = \sqrt{\frac{H}{\sum_{i=1}^m \frac{l_i}{K_i^2}}}$$

b) Đường ống song song: H bằng nhau; $Q = \sum Q_i$

$$Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{H}{l_1}}; \dots Q_m = K_m \sqrt{\frac{H}{l_m}}$$

Suy ra
$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i = \sqrt{H} \sum_{i=1}^m \frac{K_i}{\sqrt{l_i}}$$

c) Đường ống phân phối liên tục

$$H = \frac{l}{K^2} \left(Q_r^2 + Q_r Q_{ff} + \frac{1}{3} Q_{ff}^2 \right) \approx \frac{l}{K^2} (Q_r + 0,55 Q_{ff})^2$$

hay:
$$H = \frac{Q_{ff}^2}{K^2} l$$

d) Đường ống phân nhánh hở

Ta cũng chia hệ thống đường ống thành đường ống cơ bản và đường ống nhánh để tính (như đã trình bày trong mục 6.2.4) nhưng việc tính toán được đơn giản nhiều.

Khi tính đường ống cơ bản, đường kính các đoạn ống sẽ tính theo vận tốc kinh tế và lưu lượng yêu cầu, còn độ chênh cột áp đầu và cuối đường ống cơ bản sẽ là:

$$H = \sum_{i=1}^m h_{wdi} = \sum_{i=1}^m \frac{Q_i^2 l_i}{K_i^2}$$

m - Số đoạn đường ống đơn giản tạo nên đường ống cơ bản .

Chú ý rằng $H = (Z_o - Z_c) + h_o - h_c$

Trong đó: Z_o, Z_c - Độ cao hình học đầu và cuối đường ống.

h_o, h_c - Độ cao đo áp yêu cầu tại đầu và cuối đường ống cơ bản.

Khi tính đường ống nhánh, thông thường đường kính của nó không được tính theo vận tốc kinh tế. Nó được quyết định bởi lưu lượng yêu cầu, độ chênh cột áp đầu và cuối nhánh phụ, nghĩa là phải chọn đường ống có đường kính sao cho với lưu lượng yêu cầu, dòng chảy trong đó tổn thất cột áp phù hợp với độ chênh cột áp giữa đầu và cuối nhánh:

$$H_d - H_c = h_{wd}$$

6.5. PHƯƠNG PHÁP ĐỒ THỊ ĐỂ TÍNH TOÁN ĐƯỜNG ỐNG

Từ công thức cơ bản của đường ống (6 -3):

$$h_w = \frac{l}{K^2} l Q^2 = A Q^2$$

Ta nhận thấy với một đường ống xác định có l và d thì tổn thất h_w là hàm số của lưu lượng Q .

Đường đồ thị biểu diễn hàm số $h_w = A Q^2$ gọi là đường đặc tính ống dẫn.

Nếu tính cột áp của đường ống theo biểu thức:

$$H = z_c + h_c + h_w = H_o + A Q^2 \quad (6-5)$$

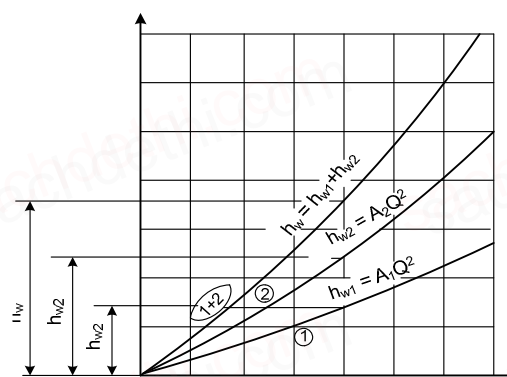
$H_o = z_c + h_c$ - Cột áp ở cuối đường ống (có trị số xác định)

Đường biểu diễn phương trình (6-5) gọi là đường đặc tính ống dẫn trong hệ thống (cách gốc tọa độ một đoạn H_o).

Trường hợp $H_o = 0$, đường đặc tính sẽ đi qua gốc tọa độ.

Để có đường đặc tính chung cho đường ống gồm nhiều đoạn ống mắc nối tiếp thì với mỗi lưu lượng chảy qua, tổn thất sẽ bằng tổng tổn thất các đoạn ống.

Vẽ đường đặc tính ống dẫn cho từng đoạn đường ống. Sau đó vẽ đường đặc tính ống dẫn tổng hợp chung cho toàn bộ hệ thống đường ống.

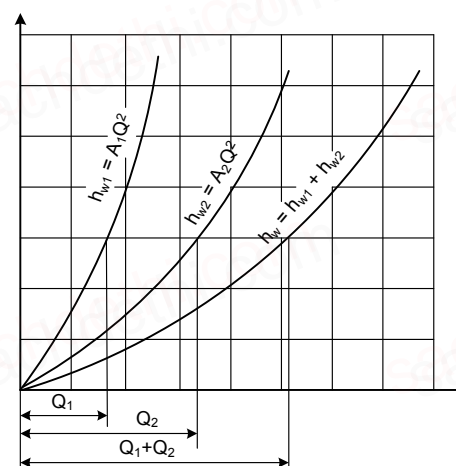


Hình 6-9. Đường đặc tính của đường ống gồm 2 đường ống đặt nối tiếp

Với mỗi giá trị Q nhất định ta xác định được ngay giá trị $\sum h_w$ của hệ thống đường ống trên đồ thị (Hình 6-9).

Nếu đường ống gồm nhiều đoạn mắc song song thì ứng với mỗi trị số của từng độ (tổn thất năng lượng h_w) ta cộng các trị số của hoành độ (lưu lượng Q) sẽ được lưu lượng chung cho cả đường ống. Lấy nhiều điểm như vậy sẽ vẽ được đường đặc tính chung cho đường ống (Hình 6-10).

Trong trường hợp đường ống phức tạp gồm nhiều đoạn ống mắc song song và nối tiếp thì ta vẽ đường đặc tính cho những đoạn mắc song song và sau cùng thì vẽ đường đặc tính tổng cộng gồm nhiều đoạn ống mắc nối tiếp.



Hình 6-10. Đường đặc tính của đường ống gồm 2 đường ống mắc song song

Dùng phương pháp đồ thị ta có thể xác định được tổn thất năng lượng của đường ống và do đó xác định được cột áp ở đầu đường ống khi biết lưu lượng hoặc ngược lại xác định được lưu lượng chảy qua đường ống khi cho trước cột áp.

6.6. VA ĐẬP THỦY LỰC TRONG ĐƯỜNG ỐNG

6.6.1. Hiện tượng

Va đập thủy lực là hiện tượng biến đổi áp suất đột ngột khi vận tốc của dòng chảy tăng hay giảm đột ngột.

Va đập thủy lực có thể chia ra va đập dương (thuận) trong đó vì vận tốc giảm mà gây ra tăng áp suất và va đập âm (nghịch) do vận tốc tăng làm áp suất giảm.

Chẳng hạn, nước chảy trong ống có áp. Nếu ngăn cản đột ngột dòng chảy, ví dụ đóng khoá lại thì áp suất trong ống sẽ tăng lên đột ngột. Áp suất ngay sát khoá sẽ tăng lên trước, nước sẽ bị nén lại. Sau đó theo mức độ dừng lại của các lớp nước mà sự tăng áp suất sẽ nhanh chóng truyền đi theo đường ống tạo thành sóng tăng áp suất.

Sự tăng áp suất truyền đi với tốc độ lớn sẽ làm ép chất lỏng lại và thành ống giãn ra. Sự biến dạng đàn tính của chất lỏng và của ống sẽ sinh ra cùng với tốc độ truyền tăng áp suất theo chiều dài ống. Tốc độ truyền biến dạng đàn tính gọi là tốc độ truyền sóng va đập. Sau khi lớp nước cuối cùng dừng lại thì tất cả nước trong ống đều bị ép. Lúc đó áp suất trong ống lớn hơn áp suất trong bình nên nước chảy ngược về bình, áp suất trong ống sẽ đột ngột hạ xuống. Sự giảm áp suất đó cũng sẽ từng lớp mà truyền tới khoá nước và gọi là sóng va đập nghịch. Thời gian chảy của sóng va đập thuận và va đập nghịch làm thành một pha của sóng va đập.

Quá trình sóng va đập xảy ra rất nhanh (bởi vì tốc độ truyền sóng va đập rất lớn). Sự phát sinh ra pha va đập được lặp đi lặp lại theo chu kỳ và giảm dần do có sự tiêu hao năng lượng. Sự tăng cao áp suất khi có va đập thủy lực phụ thuộc vào áp suất ban đầu của dòng chảy và lớn hơn rất nhiều so với cột áp tĩnh gây ra dòng chảy. Hiện tượng va đập thủy lực khá phức tạp, mãi đến năm 1898 mới được nhà bác học Nga Jucôpxki phân tích có lý luận chặt chẽ.

6.6.2. Tính độ tăng áp suất, tốc độ truyền sóng va đập

Quan sát đường ống có đường kính d , diện tích của các mặt cắt ống là ω và chiều dài l , nối với một bình chứa (Hình 6-11). Trước khi đóng khoá có vận tốc v_o và áp suất p_o .

Khi đóng khoá đột ngột cuối đường ống, lớp chất lỏng ở gần khoá trên đoạn Δx có khối lượng $\rho \omega \Delta x$ bị ép lại dưới tác dụng của lực quán tính. Do đó sau thời gian Δt , áp suất ở lớp đó tăng lên Δp và vận tốc bằng 0. Ta viết phương trình động lượng:

$$F \Delta t = m \Delta v$$

ứng dụng trong trường hợp xét ta có:

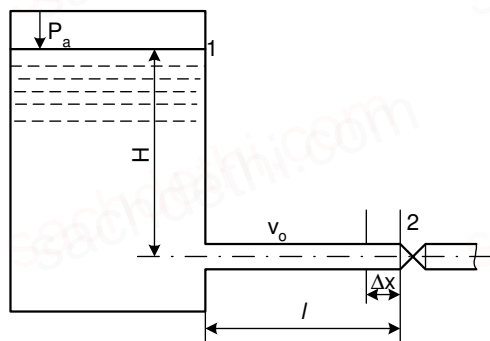
$$F = \Delta p \omega, \quad m = \rho \omega \Delta x, \quad \Delta v = v_o - 0$$

Thay vào phương trình trên:

$$\Delta p \omega \Delta t = \rho \omega \Delta x v_o$$

$$\text{Rút ra: } \Delta p = \rho \frac{\Delta x}{\Delta t} v_o \quad (6-6)$$

Nếu $\Delta t \rightarrow 0$ thì ta có áp suất cực đại ở gần chỗ khoá:



$$C = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

C - Tốc độ truyền sóng và đập thủy lực.

Thay C vào (6-6):

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = \frac{C}{g} v_0 \quad (6-7)$$

Công thức (6-7) do Jucôpxki đưa ra, dùng để xác định độ tăng áp suất khi va đập thủy lực.

Ứng dụng lý luận động lượng vào khối chất lỏng giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2,

Hình 6-11. Sơ đồ xác định va đập thủy lực trong ống

và tính sự thay đổi khối lượng chất lỏng trong đoạn ống cùng với sự biến dạng của thành ống (theo định luật Hook) Jucôpxki đã xác định được công thức để tính tốc độ truyền sóng và đập trong nước gọi là tốc độ truyền nước va:

$$C = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{E_o d}{E \delta}}}$$

trong đó: E_o - mô đun đàn hồi của nước ;

d - đường kính trong của ống ;

E - mô đun đàn hồi của vật liệu làm ống ;

δ - chiều dày thành ống.

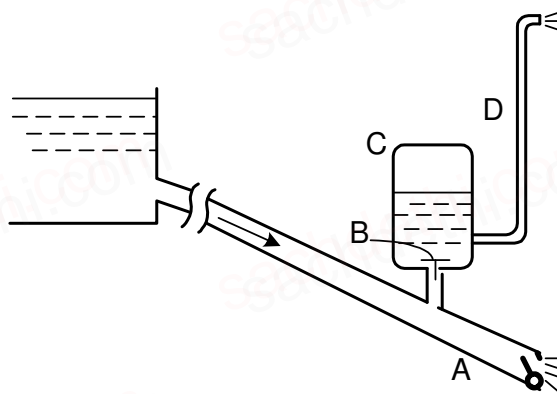
Khi có va đập thủy lực, áp suất sinh ra rất lớn có thể gây ra vỡ ống, nên phải tìm biện pháp để làm giảm hoặc ngăn ngừa, như đóng mở khoá van từ từ, dùng ống có đường kính lớn để làm giảm vận tốc, dùng vật liệu có mô đun đàn hồi bé, dùng những thiết bị tự động tháo chất lỏng khi áp suất vượt quá qui định ...

6.6.3. Ứng dụng hiện tượng va đập thủy lực

Hiện tượng va đập thủy lực được lợi dụng trong các bơm nước và (Hình 6-12). Nguyên lý làm việc của bơm nước va như sau:

Van A trên đường ống được điều chỉnh để cho nước từ một bể chứa chảy qua.

Khi nào vận tốc của dòng nước đạt tới một trị số định trước thì dòng nước đóng van A đột ngột, sinh ra hiện tượng va đập thủy lực; áp suất trong ống dẫn nước tăng vọt làm mở van B trong bình C, làm cho nước chảy vào trong bình C. Do áp suất bình C tăng đẩy nước lên ống đẩy D.



Hình 6-12 . Sơ đồ nguyên lý làm việc của bơm nước va

Khi nước chảy vào bơm thì áp suất trong đường ống giảm, van *B* đóng lại, van *A* tự động mở và hiện tượng tiếp tục lặp lại.

6.7. CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT KHÍ TRONG ỐNG DẪN

6.7.1. Phương trình chuyển động

Như ta đã biết, chất khí khác chất lỏng ở chỗ là chất khí nén được ($\rho \neq \text{const}$). Trong nhiều trường hợp như khí chất khí chuyển động với vận tốc trên âm ($M > 1$), rất cần thiết phải kể đến tình nén được. Đối với chuyển động dừng, dưới âm ($M < 1$) của chất khí thức trong ống dẫn ta có phương trình liên tục (phương trình lưu lượng).

$$G = \gamma \omega = \text{const} \quad (6-8)$$

Và phương trình Bécnuin viết dưới dạng vi phân có kể đến tổn thất năng lượng.

$$dz + \frac{dp}{\gamma} + d \frac{v^2}{2g} + dh = 0 \quad (6-9)$$

Tổn thất năng lượng dh trên một đoạn ống dx cũng tuân theo công thức Darcy:

$$dz = \lambda \frac{dx}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (6-10)$$

Ngoài ra ta còn có phương trình trạng thái:

$$\frac{p}{\gamma} = RT$$

Thay (6-10) vào (6-9) ta được:

$$dz + \frac{dp}{\gamma} + d \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{dx}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0 \quad (6-11)$$

Phương trình (6-11) tích phân được, nếu ta biết quá trình thay đổi trạng thái của chất khí trong ống và sự thay đổi của hệ số ma sát λ . Đối với chuyển động đẳng nhiệt ($T = \text{const}$) λ không thay đổi dọc theo ống dẫn. trong Trường hợp chuyển động dưới âm ($M < 1$), cũng giống như đối với chất lỏng, λ phụ thuộc vào số Raynôn và độ nhám tương đối n của ống. Nhưng số Raynôn $Re = \frac{vD\rho}{\mu}$ thay đổi theo nhiệt độ vì hệ số nhớt μ phụ thuộc vào nhiệt độ T . Đối với chất khí μ giảm khi T giảm. Nếu dọc theo ống nhiệt độ giảm thì cuối ống số Re tăng, do đó hệ số ma sát λ thay đổi.

Với quan điểm tính toán thủy lực đường ống dẫn khí người ta phân biệt hai trường hợp chuyển động của chất khí:

1 – Có thể bỏ qua tính nén được của chất khí khi dòng khí chuyển động với độ chênh áp tương đối bé;

2 - Phải kể đến tính nén được của dòng khí chuyển động với độ chênh áp tương đối lớn.

Độ chênh áp tương đối ở đây là tỉ số giữa hiệu áp suất tại mặt cắt đầu và mặt cắt cuối ống với áp suất tại mặt cắt đầu ống.

6.7.2. Chuyển động của chất khí trong ống hình trụ

Khảo sát chuyển động của chất khí trong ống trụ nằm ngang có tiết diện không đổi. Phương trình chuyển động (6-11) và phương trình liên tục (6-8) sẽ có dạng :

$$\frac{dp}{\gamma} + d \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{dx}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} = 0 \quad (6-12)$$

$$\gamma v = \text{const} \quad (6-13)$$

Đối với trường hợp thứ nhất của chuyển động chất khí (khi bỏ qua tính nén được), thì trọng lượng riêng của chất khí và suy ra vận tốc trung bình theo mặt cắt sẽ không đổi dọc theo chiều dài của ống khi giữ nguyên lưu lượng Q . Do đó tích phân phương trình (6-12) sẽ được :

$$p_1 - p_2 = \lambda \frac{l}{D} \cdot \frac{\gamma v^2}{2g}$$

Ở đây: chỉ số 1 và 2 ứng với mặt cắt đầu và cuối ống, l - chiều dài của ống.

Như vậy trong trường hợp này tính toán thủy lực đường ống dẫn khí không khác việc tính toán thủy lực ống dẫn nước.

Trong trường hợp thứ hai, chuyển động của chất khí có kèm theo sự giảm trọng lượng riêng và tăng vận tốc trung bình của mặt cắt dọc theo ống với lưu lượng Q cho trước.

Nhưng giá trị vận tốc của dòng khí $d \frac{v^2}{2g}$ thường nhỏ hơn rất nhiều so với các giá trị khác của các số hạng trong phương trình (6-12) nên có thể bỏ qua. Do đó phương trình Bécnuili có dạng :

$$\frac{dp}{\gamma} = -\lambda \frac{dx}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

vì

$$v = \frac{G}{\gamma \omega} \quad \text{nên} \quad -\frac{dp}{\gamma} = \lambda \frac{G^2}{2\gamma^2 g \omega^2} \cdot \frac{dx}{D}$$

$$-\gamma dp = \lambda \frac{G^2}{2\gamma^2 g \omega^2} \cdot \frac{dx}{D}$$

Xét quá trình đa biến :

$$\frac{p}{\gamma^n} = \frac{p_1}{\gamma_1^n} \quad \text{hay là} \quad \gamma = \gamma_1 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Do đó :

$$\gamma_1 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{1}{n}} dp = \lambda \frac{G^2}{2g \omega^2} \cdot \frac{dx}{D}$$

Giả sử $\lambda = \text{const}$ dọc ống dẫn, tích phân phương trình trên có dạng :

$$-\frac{n}{n+1} \gamma_1 p_1 \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{1+n}{n}} \right]_{p_1}^{p_2} = \lambda \frac{G^2}{2g \omega^2} \cdot \frac{l}{D}$$

$$\frac{n}{n+1} \gamma_1 p_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1+n}{n}} \right] = \lambda \frac{G^2}{2g \omega^2} \cdot \frac{l}{D}$$

Thay $\gamma_1 = \frac{p_1}{RT_1}$; $\omega = \frac{\pi D^2}{4}$, ta được biểu thức tính lưu lượng :

$$G = \sqrt{\frac{\pi^2 g D^5}{8 \lambda l} \cdot \frac{n}{n+1} \cdot \frac{p_1^2}{RT_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]}$$

Công thức trên đúng với điều kiện là λ không đổi dọc theo ống: Nó là công thức cơ bản để xác định lưu lượng trọng lượng khi cho biết đường kính ống và độ chênh áp suất hoặc tính đường kính nếu biết lưu lượng và độ chênh áp suất.

Đối với quá trình đẳng nhiệt ($n = 1$) và chảy tầng $\lambda = \frac{64}{Re}$ ta có:

$$G = \frac{\pi D^4}{256 \mu l} \cdot \frac{1}{RT_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^2 \right]$$

hay là:

$$G = \frac{\pi D^4}{256 \mu l} \cdot \frac{1}{RT_1} (p_1^2 - p_2^2)$$

Trường hợp đẳng nhiệt và chảy rối:

$$G^2 = \frac{\pi^2 g D^5}{16 \lambda l R T_1} (p_1^2 - p_2^2)$$

Có thể khảo sát chuyển động của chất khí trong ống hình trụ nhờ phương trình chuyển động viết dưới dạng hệ số vận tốc $\Lambda = \frac{v}{a}$. Thực vậy, kết hợp giải các phương trình (6-12), phương trình liên tục (6-8) viết dưới dạng vi phân:

$$\frac{d\gamma}{\gamma} + \frac{dv}{v} = 0 \quad (6-14)$$

và phương trình năng lượng viết cho vận tốc âm a:

$$\frac{v^2}{2} + \frac{a^2}{k-1} = \frac{k+1}{k-1} \cdot \frac{a_*^2}{2} \quad (6-15)$$

trong đó: a_* - vận tốc âm tới hạn;

k - chỉ số đoạn nhiệt, ta sẽ nhận được phương trình vi phân của sự phân bố vận tốc dọc theo ống có kể đến tổn thất năng lượng:

$$\left(\frac{1}{\Lambda} - 1 \right) \frac{d\Lambda}{\Lambda} = \frac{k}{k-1} \lambda d\bar{x} \quad (6-16)$$

trong đó: $\bar{x} = \frac{x}{D}$

Từ phương trình (6-16) có thể kết luận là vận tốc tới hạn của chuyển động chỉ có thể xuất hiện tại miệng ra của ống hình trụ. Thực vậy, theo phương trình (6-16) khi $\Lambda < 1$ và $d\Lambda > 0$ dòng chảy trong ống sẽ được tăng tốc, còn khi $\Lambda > 1$ và $d\Lambda < 0$ dòng chảy sẽ chậm dần; trường hợp $\Lambda = 1$ tại mặt cắt bất kỳ trong ống sẽ trái với phương trình (6-16) và không phù hợp với ý nghĩa vật lý.

Giả sử hệ số ma sát λ không đổi, khi đó tích phân của phương trình (6-16) có dạng:

$$\frac{1}{\Lambda_1^2} - \frac{1}{\Lambda^2} - \ln \frac{\Lambda^2}{\Lambda_1^2} = \frac{2k}{k+1} \lambda \bar{x} \quad (6-17)$$

trong đó: Λ_1 - hệ số vận tốc ở mặt cắt vào của ống;

Λ - hệ số vận tốc ở mặt cắt nào đó cách mặt cắt vào một đoạn x .

Để tiện việc tính toán ta dùng tọa độ không thứ nguyên.

$$x_s = \frac{2k}{k+1} \lambda \bar{x}$$

x_s được gọi là chiều dài dẫn suất của ống.

Khi đó phương trình (6-17) có thể viết:

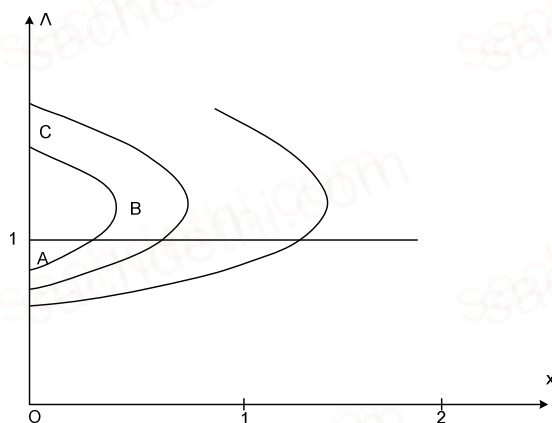
$$x_s = \frac{I}{A_1^2} - \frac{I}{A} - \ln \frac{A^2}{A_1^2} \quad (6-18)$$

Sự phụ thuộc giữa A và x_s khi giá trị A_1 không đổi được biểu diễn trên hình 6-13. Đại lượng x_s có cực đại tại $A = A_2 = I$. Giá trị cực đại của x_s được xác định theo công thức:

$$x_{s\max} = \frac{I}{A_1^2} - I + \ln A_1^2 \quad (6-19)$$

Các đường cong $x_s(A)$ gồm hai nhánh: một nhánh ứng với dòng dưới âm ($A < I$) còn nhánh kia ứng với dòng trên âm ($A > I$).

Những đường cong đó cũng cho ta thấy là trong ống hình trụ không có thể chuyển vận tốc từ dưới âm sang trên âm. Như đã nêu ở trên, trong ống này với giá trị vận tốc xác định ở miệng vào A_1 và độ dài tương ứng, vận tốc tối hạn sẽ đạt được tại miệng ra ($A_2 = I$).



Hình 6-13

Dòng dưới âm tại miệng vào ống ($A_1 < I$) ứng với đoạn AB (Hình 6-13), còn dòng trên âm ($A_1 > I$) ứng với đoạn CB. Điểm B xác định giá trị cực đại hàm x_s của A_1 cho trước.

Từ công thức (6-19) suy ra $x_{s\max} = 0$ khi $A_1 = I$

Như vậy, phương trình (6-19) cho thấy rằng đối với ống hình trụ có kích thước l , D cho trước với vận tốc ở miệng ra $A_2 = I$, giá trị k và A xác định, thì hệ số vận tốc ở miệng vào A_1 và lưu lượng dẫn xuất của chất khí q_1 có một giá trị hoàn toàn xác định.

Với chuyển động dừng và vận tốc dưới âm tại miệng vào, một lượng khí cực đại có thể chuyển động qua ống hình trụ dài l , có hệ số ma sát λ nếu $A_2 = I$.

Lưu lượng tuyệt đối của chất khí qua ống có chiều dài giới hạn sẽ bằng:

$$\begin{aligned} G_{\max} &= g\omega(\rho_1 v_1)_{\max} = g\omega q_{1\max} \rho_{*1} a_* = \\ &= g\omega \left(\frac{k+1}{2} \right)^{\frac{1}{k-1}} A_{1\max}^2 \left(1 - \frac{k+1}{k-1} A_{1\max}^2 \right)^{\frac{1}{k-1}} \rho_{*1} a_* \end{aligned}$$

Với chú ý:

$$\rho_{*1} a_* = \rho_{01} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1} RT_{01}}$$

$$= \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{(k+1)Rg}} \cdot \frac{p_{01}}{\sqrt{T_{01}}}$$

ta sẽ được:

$$G_{max} = \omega \sqrt{\frac{2gk}{(k+1)R}} A_{lmax} \left(1 - \frac{k-1}{k+1} A_{lmax}^2 \right)^{\frac{1}{k+1}} \frac{p_{01}}{\sqrt{T_{01}}}$$

Như vậy, để tăng lưu lượng tuyệt đối của chất khí qua ống hình trụ có kích thước xác định cần thiết phải tăng áp suất toàn phần tại miệng vào p_{01} hay là khi p_{01} cố định thì phải giảm nhiệt độ hãm T_{01} . Trong khi đó, tại miệng ra vận tốc sẽ đạt giá trị tới hạn và giá trị tuyệt đối của nó sẽ giảm khi T_{01} giảm. Nhưng lưu lượng sẽ tăng do khối lượng riêng tăng.

Thực nghiệm cho thấy rằng với vận tốc trên âm tại miệng vào sẽ xuất hiện một số tính chất mới của dòng chảy mà phương trình (6-18) không mô tả được. Có một điều nhận xét là theo phương trình (6-18), khi $A_1 > 1$ vận tốc trong ống phải giảm liên tục cho đến miệng ra theo đường cong CB trên hình 6-13, còn áp suất sẽ tăng liên tục.

Nhưng trong thực tế sự thay đổi vận tốc và áp suất trong ống ở nhiều trường hợp xảy ra một cách không liên tục (có bước nhảy).

6.7.3. Tính toán đường ống

a) *Tính toán đường ống dẫn khí* cũng tương tự như việc tính toán đường ống dẫn chất lỏng.

Tổn thất áp suất toàn bộ trong đường ống đơn giản được xác định bằng tổng tổn thất áp suất trong tất cả các đoạn:

$$p = \sum_i \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\gamma}{2g} v^2$$

Trong đó: x - số đoạn của ống dẫn.

Còn đối với đường ống phức tạp, tổn thất áp suất toàn bộ được xác định bằng tổn thất áp suất của những đoạn đường ống được chọn làm đường cơ bản:

$$p = \sum_i \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\gamma}{2g} v^2$$

Trong đó: y - số đoạn của đường ống cơ bản.

b) *Những bài toán cơ bản thường gặp:*

1. Cho biết lưu lượng, tính đường kính ống dẫn, vận tốc và tổn thất áp suất.
2. Cho biết lưu lượng và áp suất, tính đường kính và vận tốc hay ngược lại.
3. Cho biết đường kính và áp suất, tính lưu lượng và vận tốc.

Trường hợp thứ nhất thường đặc trưng cho việc tính toán đường ống khi có nguồn làm việc (quạt, máy nén v.v...). Trong khi tính toán nên lưu ý là lưu lượng, vận tốc và diện tích mặt cắt ống được liên hệ bằng phương trình lưu lượng:

$$Q = v\omega$$

c) Phương pháp tính toán

Đối với từng đoạn ống cho biết chiều dài l , tổng các hệ số tổn thất cục bộ $\sum \zeta$ và lưu lượng Q , đồng thời tính được vận tốc v , ta sẽ xác định được đường kính ống :

$$d = 1,13 \left(\frac{Q}{v} \right)^{\frac{1}{2}}$$

và tổn thất áp suất:

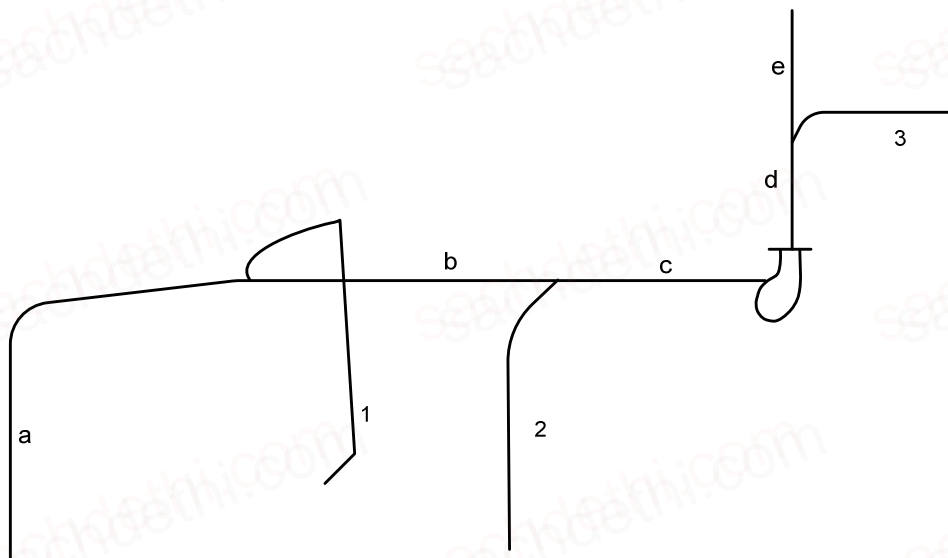
$$p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\gamma}{2g} v^2$$

Trong đó, nói chung hệ số ma sát λ phụ thuộc trạng thái chảy và tính chất của thành ống.

6.8. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 6-1.

Có hệ thống ống dẫn không khí như sơ đồ (hình vẽ). Khí được hợp lại từ ba nhánh dẫn đến quạt và sau đó khí được phân đi hai nơi. Những đoạn ống của đường chính ký hiệu bằng các chữ a, b, c, d, e ; còn những đoạn phân nhánh bằng các số 1, 2, 3. Chiều dài l của các đoạn ống, tổng giá trị các hệ số tổn thất cục bộ $\sum \zeta$ và lưu lượng q cho trong bảng. Hãy tính tổn thất áp suất toàn phần trong các đoạn ống.



Giải:

Vận tốc trung bình trong ống dẫn được xác định theo công thức Kalinuskin - gọi là vận tốc kinh tế:

$$v = 20 \left(\frac{ab\eta\alpha}{nreQ\gamma\beta} \right)^{\frac{2}{5}}$$

trong đó: a - phần khấu hao hàng năm;

b - giá tiền $1m^2$ bề mặt ống dẫn;

η - hiệu suất của quạt;

$\alpha = \sum_i^x Q^{\frac{1}{2}} l$; x - số các đoạn ống; Q - lưu lượng trong mỗi đoạn; l - độ dài mỗi đoạn;

n - thời gian sử dụng quạt;

r - giá tiền 1kWh;

e - hệ số tỉ lệ tiêu thụ điện;

γ - trọng lượng riêng của khí;

Q - tổng lưu lượng.

$$\beta = \sum_i^y \left(i \frac{l}{Q^{1/2}} + \sum \zeta \right); \quad i = \frac{\lambda v^{1/2}}{1,13} = const$$

đối với không khí $i = 0,04$.

Nếu chọn vận tốc kinh tế trong đường ống dẫn khí $v = 13m/s$ thì từ đó suy ra đường kính ống của đoạn a :

$$d = 1,13 \left(\frac{Q}{v} \right)^{\frac{1}{2}} = 1,13 \left(\frac{1000}{3600 \cdot 13} \right)^{\frac{1}{2}} = 0,165m$$

áp suất động:

$$\frac{\gamma}{2g} v^2 = \frac{1,2}{2 \cdot 9,81} 13^2 = 10,4 kG/m^2$$

Tổn thất áp suất toàn phần:

$$p = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{\gamma}{2g} v^2 = 17,78 kG/m^2$$

Tương tự, tính cho đoạn b được:

$$d = 235 mm; \quad \frac{\gamma}{2g} v^2 = 10 kG/m^2$$

$\frac{\lambda}{d}$ tính theo điều kiện tiêu chuẩn ($t = 20^\circ C$, $p = 760mmHg$, độ ẩm $\varphi = 0,5$; $\gamma = 1,2kG/m^2$).

Các đoạn khác cũng tính như vậy, kết quả tính được lập thành bảng 6-2.

Tổn thất áp suất toàn phần trong đường ống chính (a, b, c, d, e) bằng $65,3kG/m^2$. Theo áp suất đó và lưu lượng $3000m^3/h$ có thể chọn quạt thích hợp cho đường ống trên.

Bảng 6-2.

Số các đoạn ống	l (m)	$\Sigma\zeta$	Q (m^3/h)	d (mm)	v (m/s)	$\frac{\gamma}{2g}v^2$ (kG/m^2)	λ/d (1/m)	$\lambda \frac{l}{d}$	$\lambda \frac{l}{d} + \Sigma\zeta$	p (kG/m^2)
a	7	1,0	1000	165	13,0	10,4	0,102	0,71	1,71	17,8
b	5	-	2000	235	12,8	10,0	0,068	0,34	0,34	3,4
c	2,5	-	3000	285	13,1	10,5	0,053	0,13	0,13	1,4
d	2	0,1	3000	285	13,1	10,5	0,053	0,11	0,21	2,2
e	12	2,4	1500	195	14,0	12,0	0,084	1,0	3,40	40,5
1	6	1,0	1000	165	13,0	10,0	0,102	0,61	1,61	16,7
2	7	1,0	1000	165	13,0	10,4	0,102	0,71	1,71	17,8
3	4	1,3	1500	195	14,0	12,0	0,084	0,34	1,64	19,7

Ví dụ 6-2.

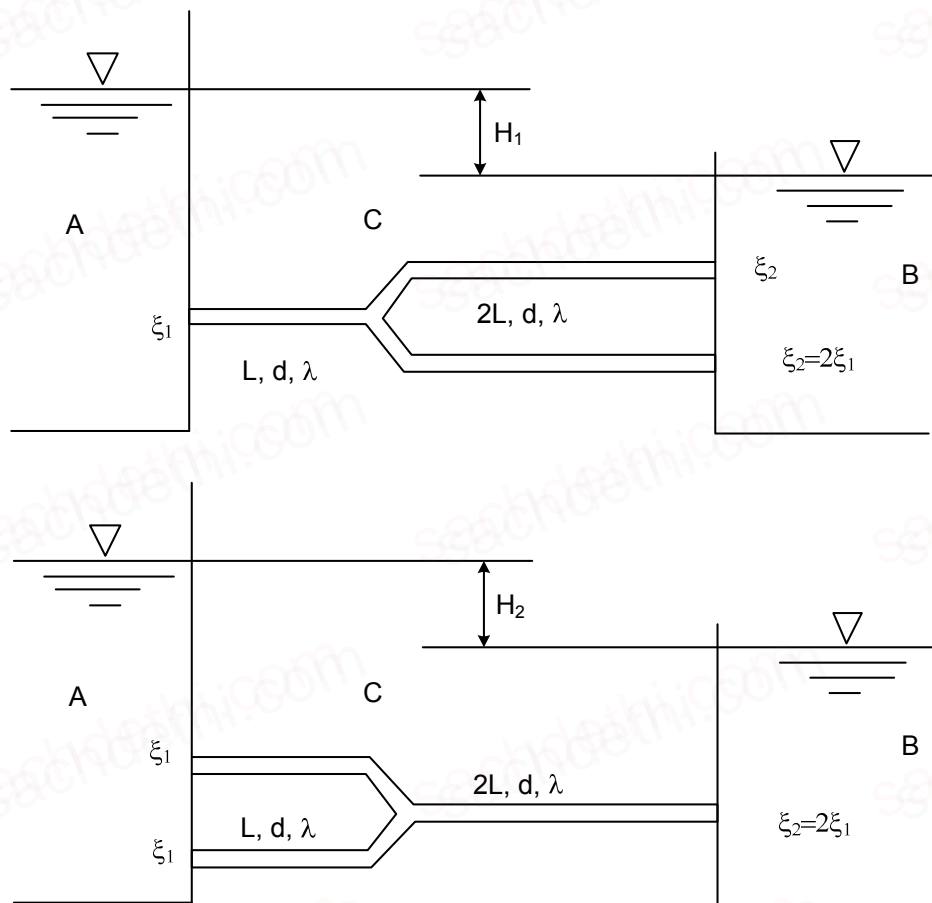
Người ta chuyển nước từ bể chứa A sang B có kích thước lớn theo một hệ thống đường ống đặt theo hai sơ đồ sau (hình vẽ).

1. Sơ đồ 1: ống đơn đặt trước, hai ống song song nhau đặt tiếp theo.
2. Sơ đồ 2: hai ống song song nhau đặt trước, ống đơn đặt tiếp theo.

Trên hình vẽ: L và $2L$ - chiều dài, d - đường kính trong của ống; λ - hệ số ma sát thủy lực, ξ_1 và ξ_2 - hệ số tổn thất cục bộ chỗ vào, ra đối với một ống.

Không tính tổn thất cục bộ chỗ nối ống. Các ký hiệu chữ giống nhau biểu thị các trị số bằng số giống nhau. Yêu cầu:

- 1) Xác định sơ đồ nào có lợi hơn về mặt sức cản thủy lực.
- 2) So sánh các trị số lưu lượng chuyển qua ống theo hai sơ đồ trên khi cột nước tác dụng H có cùng trị số.
- 3) Với cùng cột nước vẽ chung lên một hình đường năng ứng với hai sơ đồ này. Trên sơ đồ ghi rõ kích thước (các giá trị bằng chữ).



Giải:

1. So sánh tổn thất cột nước của hai sơ đồ.

Xét trường hợp khi tháo cùng một lưu lượng Q . Viết phương trình Becnuli cho hai mặt thoáng:

$$H = h_w - h_{vào} + h_{ra} + h_{d1} + h_{d2}$$

Ở đây: h_{d1} – Tổn thất do ma sát trong ống đơn;

h_{d2} – Tổn thất do ma sát chỉ của một trong hai ống nối song song;

$$h_{vào} = \zeta_1 \frac{v^2}{2g}; \quad h_{ra} = 2\zeta_1 \frac{v^2}{2g}; \quad h_d = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g};$$

Vậy với:

+ Sơ đồ 1:
$$H_1 = \frac{v_1^2}{2g} \left(\zeta_1 + \lambda \frac{l}{d} \right) + \frac{v_2^2}{2g} \left(2\zeta_1 + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

+ Sơ đồ 2:
$$H_2 = \frac{v_1^2}{2g} \left(2\zeta_l + \lambda \frac{l}{d} \right) + \frac{v_2^2}{2g} \left(\zeta_l + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

Trong đó: $v_1 = \frac{Q}{\omega} = \frac{4Q}{\pi d^2}$ (đối với ống đơn).

$v_2 = \frac{Q}{\omega} = \frac{v_1}{2}$ (đối với ống nối song song).

Vậy $H_2 > H_1$, do đó $h_{w2} > h_{w1}$.

Kết luận: Sơ đồ 1 có lợi hơn.

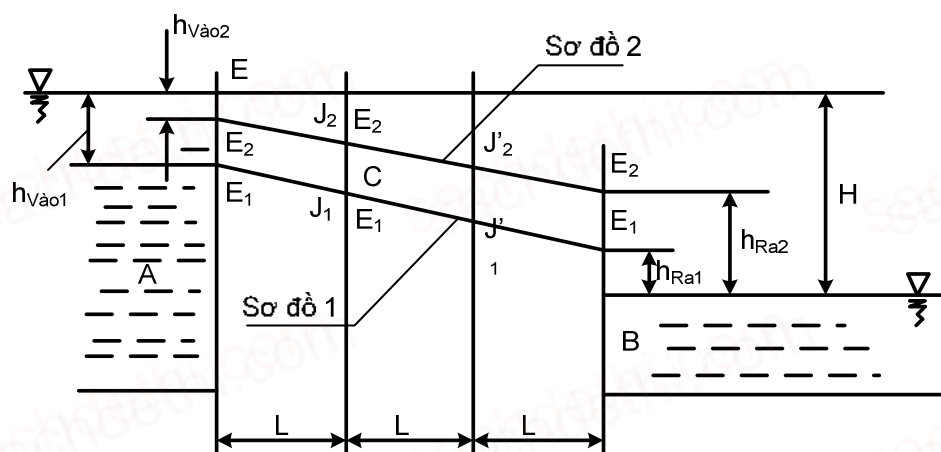
2. So sánh Q_1 và Q_2 khi $H_1 = H_2 = H = \text{const.}$

Từ (1):
$$H_1 = \frac{Q_1^2}{2g\omega^2} 1,5 \left(\zeta_l + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

Từ (2):
$$H_2 = \frac{Q_2^2}{2g\omega^2} 1 = 2,25 \left(\zeta_l + \lambda \frac{l}{d} \right)$$

Chọn $H_1 = H_2$ ta được:
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{3}{2}} \quad \text{hay} \quad Q_1 = \sqrt{\frac{3}{2}} Q_2$$

3. Vẽ đường năng (Hình vẽ)



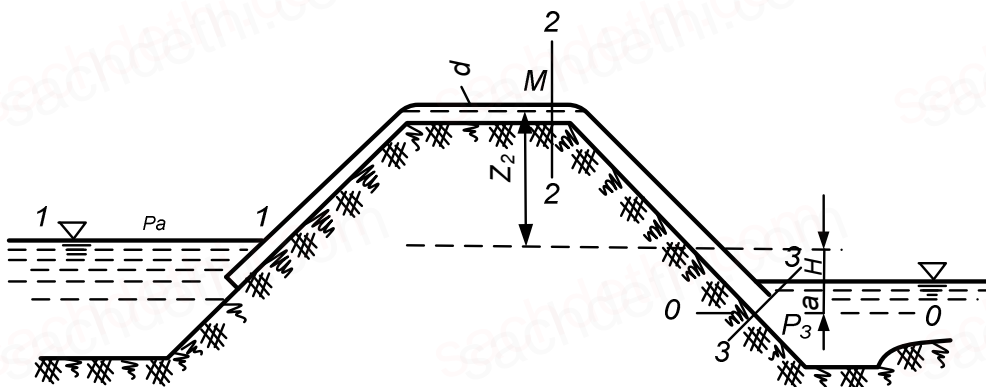
Ví dụ 6-3.

Dùng ống xiphông bằng kim loại dẫn nước từ kênh vào máng tưới (hình vẽ). Chiều dài ống xiphông $l = 20 \text{ m}$. Độ nhám tuyệt đối $\Delta = 0,2 \text{ mm}$. Trên ống xiphông có hai chỗ vòng 45° (với $\frac{d}{R} = 1$, $\zeta = \frac{0,29}{2} = 0,15$) và lưới chắn rác chỗ vào ống $\zeta = 5,0$.

Xác định:

1. Đường kính ống xiphông d , sao cho lưu lượng nước $Q = 45 \text{ l/s}$, độ chênh mực nước H không vượt quá $1,7 \text{ m}$.

2. Chiều cao của ống xiphông trên mực nước trong kênh, để độ chân không tại M không vượt quá $6,4 \text{ m}$ cột nước.



Giải:

Viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (3-3), lấy mặt chuẩn (0-0).

$$a + H + \frac{p_a}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} + h_w$$

mà: $\frac{p_3}{\gamma} = p_a + a$

do đó: $H = h_w$

Xác định h_w : $h_w = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g}$

Trong đó: $\sum \zeta = \zeta_{\text{lưới}} + 2\zeta_{\text{vòng}} + \zeta_{\text{chảy ra}} = 5 + 2 \cdot 0,15 + 1 = 6,3$

Để xác định sơ bộ, ta bỏ qua tổn thất dọc đường và tính vận tốc trong ống theo biểu thức sau:

$$H = h_w = \sum \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Rút ra: $v = \frac{l}{\sqrt{\sum \zeta}} \cdot \sqrt{2gH} = \frac{l}{\sqrt{6,3}} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,7} = 2,31 \text{ m/s}$

Diện tích mặt cắt ướt của ống:

$$\omega = \frac{Q}{v} = \frac{0,045}{2,31} = 0,0195 \text{ m}^2$$

và tính được đường kính ống $d = 15,8 \text{ cm}$.

Lấy đường kính ống theo qui chuẩn $d = 175 \text{ mm}$ (d tính toán là 173 mm), có mặt cắt $\omega = 0,0235 \text{ m}^2$.

Hệ số cản dọc đường λ , tính cho trường hợp chảy rối hoàn toàn (khu vực sức cản bình phương) theo công thức Nicuratz: $\lambda = 0,0204$.

Xác định lại vận tốc trong ống:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,045}{0,0235} = 1,92 \text{ m/s}$$

Bây giờ xác định lại tổn thất năng lượng trong ống, có tính cả tổn thất dọc đường:

$$h_w = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} = \left(\frac{0,0204 \cdot 30}{0,173} + 6,3 \right) \cdot \frac{1,92^2}{2 \cdot 9,81} = 1,64 \text{ m}$$

Như vậy tổn thất năng lượng trong phạm vi cho phép (không vượt quá $1,70 \text{ m}$).

Để xác định chiều cao của ống xi phông, viết phương trình Becnuli cho mặt cắt (1-1) và (2-2), lấy mặt chuẩn (1-1):

$$\frac{p_a}{\gamma} = z + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2}$$

Rút ra:

$$z = \frac{p_a - p_2}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g} \left(1 + \frac{0,0204 \cdot 15}{0,173} + 5,3 \right) \cdot \frac{1,92^2}{2 \cdot 9,81} = 4,98 \text{ m}$$

Ví dụ 6-4.

Xác định đường kính ống gang của mạng lưới phân phối nước (hình vẽ). Lưu lượng nước ở các điểm, viết trong vòng tròn, tính bằng l/s. Độ cao hình học tại các khâu dẫn và điểm dùng nước viết trong tam giác. Chiều dài các đoạn ống tính bằng mét, viết có gạch ở dưới.

Cột áp tự do ở các điểm dùng nước là 5 m ; Bỏ qua tổn thất cục bộ.

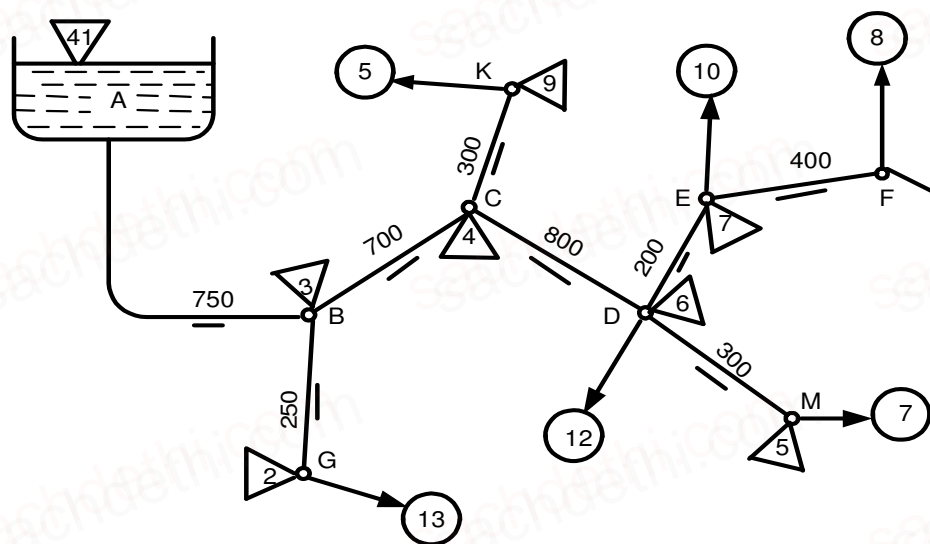
Giải:

Trước hết ta chọn đường ống chính là ABCDEF, và xác định tổn thất năng lượng:

$$\sum h_w = H_A - (H_F + 5) = 41 - (8 + 5) = 28 \text{ m}$$

Độ dốc thủy lực trung bình trong đường ống chính:

$$J = \frac{\sum h_w}{\sum l} = \frac{28}{750 + 700 + 800 + 200 + 400} = 0,00983$$



Đặc tính lưu lượng và đường kính các đoạn ống trên đường ống chính:

$$K_{EF}^2 = \frac{Q_{EF}^2}{J} = \frac{8^2}{0,00983} = 6510 \quad \text{và} \quad d_{EF} = 125 \text{ mm}$$

$$K_{DE}^2 = \frac{Q_{DE}^2}{J} = \frac{18^2}{0,00983} = 33000 \quad \text{và} \quad d_{DE} = 150 \text{ mm}$$

$$K_{CD}^2 = \frac{Q_{CD}^2}{J} = \frac{37^2}{0,00983} = 139000 \quad \text{và} \quad d_{CD} = 200 \text{ mm}$$

$$K_{BC}^2 = \frac{Q_{BC}^2}{J} = \frac{42^2}{0,00983} = 180000 \quad \text{và} \quad d_{BC} = 250 \text{ mm}$$

$$K_{AB}^2 = \frac{Q_{AB}^2}{J} = \frac{60^2}{0,00983} = 366000 \quad \text{và} \quad d_{AB} = 250 \text{ mm}$$

Vận tốc nước chảy trong các đoạn của đường ống chính:

$$v_{EF} = \frac{Q_{EF}}{\omega_{EF}} = \frac{0,008.4}{3,14.0,125^2} = 0,65 \text{ m/s}$$

$$v_{DE} = \frac{Q_{DE}}{\omega_{DE}} = \frac{0,018.4}{3,14.0,15^2} = 1,02 \text{ m/s}$$

$$v_{CD} = \frac{Q_{CD}}{\omega_{CD}} = \frac{0,037.4}{3,14.0,2^2} = 1,18 \text{ m/s}$$

$$v_{BC} = \frac{Q_{BC}}{\omega_{BC}} = \frac{0,042.4}{3,14.0,25^2} = 0,85 \text{ m/s}$$

$$v_{AB} = \frac{Q_{AB}}{\omega_{AB}} = \frac{0,06.4}{3,14.0,25^2} = 1,22 \text{ m/s}$$

Như vậy ta phải đưa vào hệ số β cho các đoạn ống có vận tốc nhỏ hơn 1,2 m/s, để tính lưu lượng của ống:

$$K'_{EF} = \frac{K_{EF}^2}{\beta_{EF}} = \frac{9025}{1,10} = 8200 \text{ l}^2/\text{s}$$

$$K'_{DE} = \frac{K_{DE}^2}{\beta_{DE}} = \frac{23890}{1,03} = 23200 \text{ l}^2/\text{s}$$

$$K'_{CD} = \frac{K_{CD}^2}{\beta_{CD}} = \frac{110750}{1,0} = 110750 \text{ l}^2/\text{s}$$

$$K'_{BC} = \frac{K_{BC}^2}{\beta_{BC}} = \frac{363400}{1,05} = 346000 \text{ l}^2/\text{s}$$

$$K'_{AB} = \frac{K_{AB}^2}{\beta_{AB}} = \frac{363400}{1,0} = 363400 \text{ l}^2/\text{s}$$

Tính lại tổn thất năng lượng thực tế trên các đoạn ống của đường ống chính:

$$h_{wAB} = \frac{Q_{AB}^2 \cdot l_{AB}}{K_{AB}^2} = \frac{60^2 \cdot 750}{363400} = 7,44 \text{ m}$$

$$h_{wBC} = \frac{Q_{BC}^2 \cdot l_{BC}}{K_{BC}^2} = \frac{42^2 \cdot 700}{346000} = 3,57 \text{ m}$$

$$h_{wCD} = \frac{Q_{CD}^2 \cdot l_{CD}}{K_{CD}^2} = \frac{37^2 \cdot 800}{110750} = 9,92 \text{ m}$$

$$h_{wDE} = \frac{Q_{DE}^2 \cdot l_{DE}}{K_{DE}^2} = \frac{18^2 \cdot 200}{23200} = 2,79 \text{ m}$$

$$h_{wEF} = \frac{Q_{EF}^2 \cdot l_{EF}}{K_{EF}^2} = \frac{8^2 \cdot 400}{8200} = 3,12 \text{ m}$$

Tổn thất năng lượng của cả đường ống chính:

$$\sum h_w = 7,44 + 3,57 + 9,92 + 2,79 + 3,12 = 26,84 \text{ m}$$

Như vậy không vượt quá điều kiện cho phép $\sum h_w = 28 \text{ m}$.

Đường kính các đoạn ống nhánh được xác định theo lưu lượng và tổn thất năng lượng cho phép.

Tính đặc tính lưu lượng và xác định đường kính ống:

Ống nhánh BG, CK, DM :

$$K_{BG}^2 = \frac{Q_{BG}^2 \cdot l_{BG}}{h_{wBG}} = \frac{18^2 \cdot 250}{41 - 7,41 - 2 - 5} = 3050 \quad \text{và} \quad d_{BG} = 125 \text{ mm.}$$

$$K_{CK}^2 = \frac{Q_{CK}^2 \cdot l_{CK}}{h_{wCK}} = \frac{5^2 \cdot 300}{41 - 7,41 - 3,57 - 9 - 5} = 470 \quad \text{và} \quad d_{CK} = 75 \text{ mm.}$$

$$K_{DM}^2 = \frac{Q_{DM}^2 \cdot l_{DM}}{h_{wDM}} = \frac{7^2 \cdot 300}{41 - 7,41 - 3,57 - 9,92 - 5 - 5} = 1460 \quad \text{và} \quad d_{DM} = 100 \text{ mm.}$$

Ví dụ 6-5.

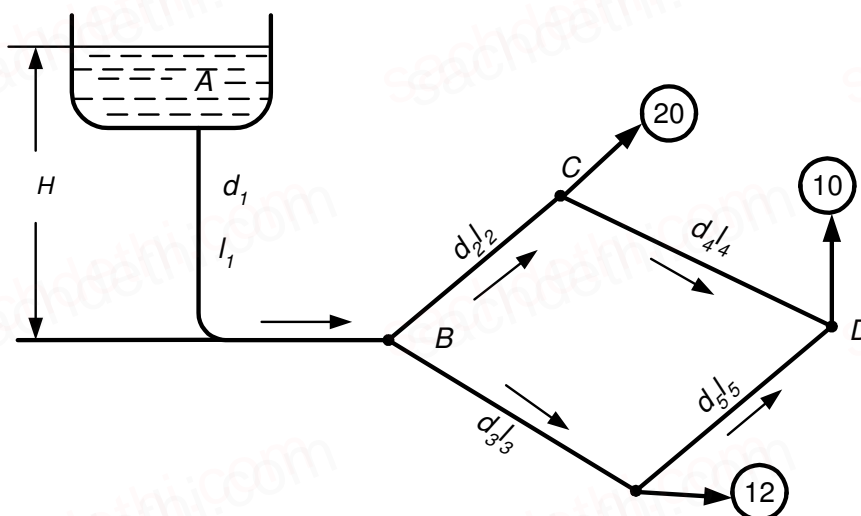
Xác định cột áp cần thiết H của bể chứa cung cấp nước cho mạng lưới vòng kín, bằng ống thép.

Lưu lượng ở các điểm C, D, E ghi ở hình vẽ.

Các số liệu cho: $d_1 = 250 \text{ mm}$; $d_2 = 200 \text{ mm}$; $d_3 = 150 \text{ mm}$; $d_4 = 80 \text{ mm}$; $d_5 = 100 \text{ mm}$; $l_1 = 800 \text{ m}$; $l_2 = 200 \text{ m}$; $l_3 = 300 \text{ m}$; $l_4 = 400 \text{ m}$; $l_5 = 500 \text{ m}$.

Cột áp tự do ở các điểm dùng nước là 5 m .

Bỏ qua tổn thất cục bộ.



Giải:

Ta chọn chiều nước chuyển động theo chiều mũi tên như hình vẽ, lực cản riêng của ống thép xác định theo phụ lục.

$$A_1 = 2,583.10^{-6} \text{ s}^2/\text{l}^2; A_2 = 9,273.10^{-6} \text{ s}^2/\text{l}^2; A_3 = 44,95.10^{-6} \text{ s}^2/\text{l}^2;$$

$$A_4 = 0,001168 \text{ s}^2/\text{l}^2; A_5 = 0,0002674 \text{ s}^2/\text{l}^2;$$

Lưu lượng trong các ống được xác định như sau:

$$Q_4 + Q_5 = 10 \quad (1)$$

$$Q_2 = Q_4 + 20 \quad (2)$$

$$Q_3 = Q_5 + 12 \quad (3)$$

Ta có thể xem đường ống BCD và đường ống BED là 2 nhánh mắc song song và có phương trình:

$$h_{w2} + h_{w4} = h_{w3} + h_{w5}$$

$$A_2.l_2.Q_2^2 + A_4.l_4.Q_4^2 = A_3.l_3.Q_3^2 + A_5.l_5.Q_5^2 \quad (4)$$

Thay số và giải hệ 4 phương trình (1) ÷ (4) trên ta có:

$$Q_2 = 24,1 \text{ l/s}; Q_3 = 17,9 \text{ l/s}; Q_4 = 4,1 \text{ l/s}; Q_5 = 5,9 \text{ l/s};$$

Lưu lượng chảy trong đoạn AB bằng tổng lưu lượng ở các điểm:

$$Q_1 = 20 + 12 + 10 = 42 \text{ l/s}$$

Xác định lại vận tốc trong các đoạn ống:

$$v_1 = \frac{Q_1}{\omega_1} = 0,855 \text{ m/s}; v_2 = \frac{Q_2}{\omega_2} = 0,770 \text{ m/s}; v_3 = \frac{Q_3}{\omega_3} = 1,01 \text{ m/s};$$

$$v_4 = \frac{Q_4}{\omega_4} = 0,82 \text{ m/s}; v_5 = \frac{Q_5}{\omega_5} = 0,75 \text{ m/s}$$

Các vận tốc đều nhỏ hơn $1,20 \text{ m/s}$, khi tính lực cản riêng của đường ống, cần đưa vào hệ số β , xác định theo bảng 6-1:

$$A'_1 = \beta_1 A_1 = 1.05.2,583.10^{-6} = 2,71.10^{-5} \text{ s}^2/\text{l}^2$$

$$A'_2 = \beta_2 A_2 = 1.067.9,273.10^{-6} = 9,89.10^{-5} \text{ s}^2/\text{l}^2$$

$$A'_3 = \beta_3 A_3 = 1.028.44,95.10^{-6} = 46,25.10^{-5} \text{ s}^2/\text{l}^2$$

$$A'_4 = \beta_4 A_4 = 1.056.1168.10^{-6} = 1233.10^{-5} \text{ s}^2/\text{l}^2$$

$$A'_5 = \beta_5 A_5 = 1.072.267,4.10^{-6} = 286.10^{-5} \text{ s}^2/\text{l}^2$$

Thay các trị số của lực cản riêng điều chỉnh được vào hệ thống phương trình trên và ta xác định được các trị số của lưu lượng trùng với phép tính trên:

$$Q_1 = 42 \text{ l/s}; Q_2 = 24,1 \text{ l/s}; Q_3 = 17,9 \text{ l/s}; Q_4 = 4,1 \text{ l/s}; Q_5 = 5,9 \text{ l/s};$$

Cột áp cần thiết của bể chứa được tính bằng tổn thất năng lượng từ A đến D cộng thêm cột nước tự do.

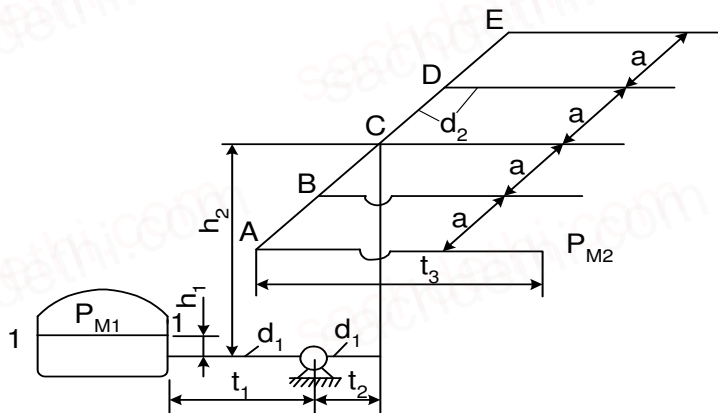
$$H = h_{w1} + h_{w2} + h_{w4} + 5 = A_1.l_1.Q_1^2 + A_2.l_2.Q_2^2 + A_4.l_4.Q_4^2 + 5$$

$$= 2,73.800.0,042^2 + 9,89.200.0,0241^2 + 46,25.300.0,0179^2 + 5$$

$$= 3,83 + 1,15 + 8,30 + 5 = 18,28 \text{ m}.$$

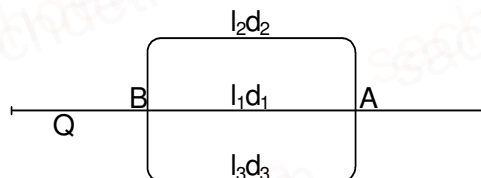
Bài tập 6-1.

Xác định cột nước và công suất máy bơm của một hệ thống tưới phun, biết $Q = 24$ l/s; trong tháp nước nguồn chịu áp suất là $P_{M1} = 0,6$ at, tại miệng vòi phun phải đảm bảo áp suất $P_{M2} = 3$ at, hiệu suất hữu ích của máy bơm $\eta = 0,8$; Các kích thước cho: $d_1 = 125$ mm; $d_2 = 50$ mm; $h_1 = 2$ m; $h_2 = 5$ m; $t_1 = 15$ m; $t_2 = 20$ m; $t_3 = 6$ m; $a = 3$ m.



Bài tập 6-2.

Trên đường ống nước bằng gang, tại điểm A chia 3 nhánh song song, có các chiều dài $l_1 = 100$ m; $l_2 = 120$ m; $l_3 = 150$ m (hình vẽ), đường kính $d_1 = d_3 = 300$ mm và $d_2 = 250$ mm.



Xác định lưu lượng nước trong mỗi ống nhánh, bỏ qua tổn thất cục bộ. Lưu lượng của đường ống chính $Q = 250$ l/s.

Đáp số: $q_1 = 0,105$ m³/s;

$q_2 = 0,059$ m³/s;

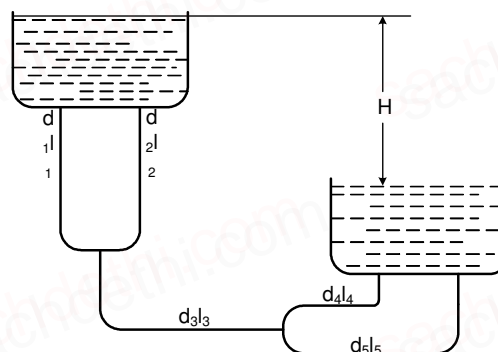
$q_3 = 0,086$ m³/s;

Bài tập 6-3.

Hai bể chứa có độ chênh mực nước $H = 1,5$ m; được nối với nhau bằng hệ thống đường ống gang (Hình vẽ). Xác định bằng phương pháp đồ thị lưu lượng nước chảy từ bể chứa cao xuống bể chứa thấp.

Các số liệu cho: $d_1 = 200$ mm, $d_2 = 75$ mm, $d_3 = 250$ mm, $d_4 = 150$ mm, $d_5 = 100$ mm, $l_1 = 40$ mm, $l_2 = 30$ mm, $l_3 = 80$ mm, $l_4 = 20$ mm, $l_5 = 50$ mm.

Tổn thất cục bộ lấy bằng 15 % tổn thất dọc đường.



Bài tập 6-4.

Trên một đường ống phân phối dọc đường dài $L = 1000 \text{ m}$, đường kính $D = 200 \text{ mm}$ ta có lưu lượng chảy qua (lưu lượng ra) $Q_r = 40 \text{ l/s}$ và suất lưu lượng lấy dọc đường $q = 2 \text{ l/s}$ trên một đoạn dài $l = 50 \text{ m}$.

1. Tính tổn thất h_w của đường ống khi $\lambda = 0,025$ (bỏ qua tổn thất cục bộ);

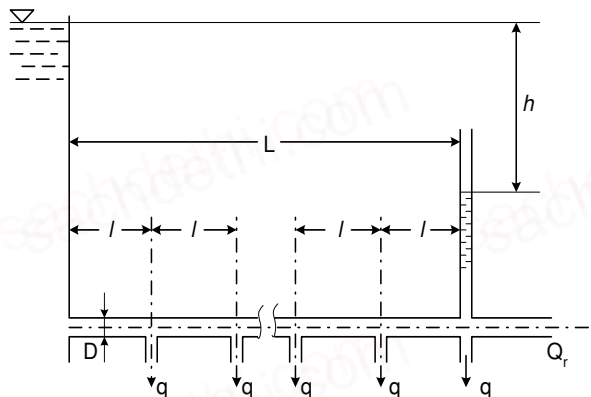
2. Tổn thất h_w thay đổi như thế nào nếu toàn bộ lưu lượng vào là 80 l/s và nếu:

a) Không lấy ra các suất lưu lượng dọc đường, chỉ có lưu lượng ra;

b) Không còn lưu lượng ra, chỉ có suất lưu lượng lấy dọc đường $q' = 4 \text{ l/s}$.

Đáp số: 1) $h_w = 24,2 \text{ m}$;

2) $h_{wa} = 41,5 \text{ m}$; $h_{wb} = 13,8 \text{ m}$



Bài tập 6-5.

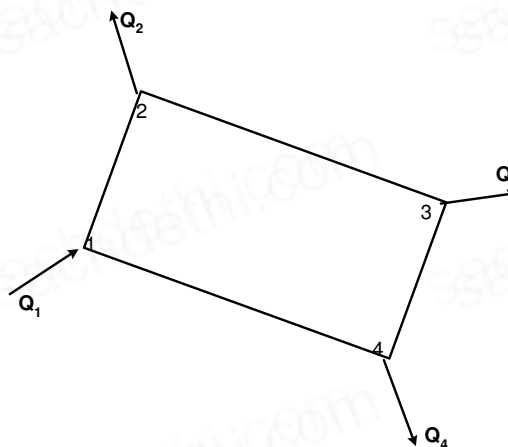
Xác định đường kính của các đoạn ống bằng thép của một mạng lưới vòng kín (hình vẽ). Lưu lượng trong các điểm nút $Q_2 = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_3 = 0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ và $Q_4 = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$. Chiều dài các đoạn ống $l_{1-2} = 500 \text{ m}$; $l_{2-3} = 1000 \text{ m}$; $l_{4-3} = 500 \text{ m}$. Áp suất nhỏ nhất tại các điểm 1: $p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Áp suất nhỏ nhất tại các điểm nút $p_{\min} = 5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$.

Đáp số: $d_{1-2} = 0,2 \text{ m}$;

$d_{2-3} = 0,175 \text{ m}$;

$d_{1-4} = 0,2 \text{ m}$;

$d_{4-3} = 0,175 \text{ m}$;



Bài tập 6-6.

Nước chảy với lưu lượng $Q = 95 \text{ l/s}$, trong đường ống thép dài $l = 100 \text{ m}$.

Xác định áp suất tăng lên trong ống, nếu đóng khoá ở cuối đường ống trong $0,1 \text{ s}$.

Thời gian đóng khoá là bao nhiêu, để áp suất trong ống không tăng quá $0,5 \text{ at}$.

Đường kính ống $d = 300 \text{ mm}$.

Đáp số: $\Delta p = 1340 \text{ kN/m}^2$; $t = 5,5 \text{ s}$

Câu hỏi ôn tập chương VI

1. Phân loại và các công thức dùng để tính toán đường ống.
2. Tính toán thủy lực đường ống đơn giản, phức tạp.
3. Phương pháp dùng hệ số đặc trưng lưu lượng K để tính toán thủy lực đường ống.
4. Tính toán thủy lực đường ống bằng phương pháp đồ thị.
5. Va đập thủy lực trong đường ống – nguyên nhân – cách khắc phục và ứng dụng.
6. Chuyển động của chất khí trong ống dẫn.

Chương 7

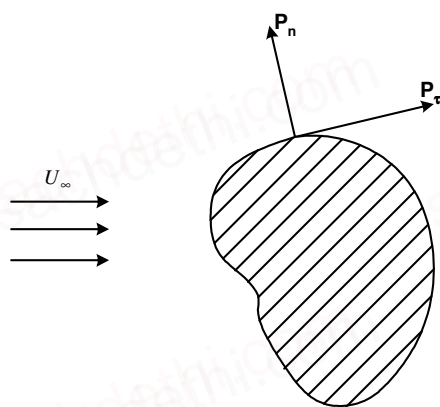
LỰC TÁC DỤNG LÊN VẬT NGẬP TRONG CHẤT LỎNG CHUYỂN ĐỘNG

Trong chương này giới thiệu tổng quát về lực cản và công thức tính lực cản của chất lỏng chuyển động tác dụng lên vật ngập trong nó, lý thuyết và phương pháp lớp biên.

7.1. LỰC NÂNG

7.1.1. Công thức tổng quát

Ta có dòng chất lỏng chuyển động với vận tốc U_∞ bao quanh vật rắn cố định (hay coi gần đúng là vật rắn chuyển động với vận tốc U_∞ trong chất lỏng tĩnh). Giả sử U_∞ không đổi về trị số và hướng. Chất lỏng chuyển động tác dụng lên vật cản, gây ra lực pháp tuyến và tiếp tuyến (hình 7-1). Tổng hợp các lực đó sẽ được một hợp lực P và một ngẫu lực M . Hợp lực P gồm 2 thành phần.



$$\vec{P} = \vec{P}_n + \vec{P}_\tau$$

\vec{P}_n vuông góc với phương của vận tốc ở vô cùng U_∞ gọi là lực nâng; \vec{P}_τ cùng phương với U_∞ nhưng ngược chiều, gọi là lực cản.

Về trị số, các lực đó có biểu thức sau:

$$P_r = C_x \frac{\rho U_\infty^2}{2} S$$

$$P_n = C_y \frac{\rho U_\infty^2}{2} S$$

Hình 7-1. Lực tác dụng lên vật cản

trong đó: C_x - hệ số lực cản, không thứ nguyên;

C_y - hệ số lực nâng, không thứ nguyên;

ρ - Khối lượng riêng của chất lỏng;

S - Tiết diện cản chính (hình chiếu của vật cản lên mặt phẳng vuông góc với U_∞)

Trong lực cản, thông thường có hai thành phần: một do ma sát trong lớp biên gây nên $P_{\tau ms}$ mà ta sẽ xét trong phần sau; một do phân bố của áp suất trên bề mặt vật cản gây nên $P_{\tau ap}$. Trong dòng phẳng ta có:

$$P_\tau = P_{\tau ms} + P_{\tau ap}$$

Khi vật rắn nằm trong dòng chảy nó sẽ gây ra các kích động. Do đó trong lớp biên các thông số của dòng chảy sẽ thay đổi. Phân bố áp suất và lực ma sát trên bề mặt vật phụ thuộc vào hình dạng, vào vị trí của nó ở trong dòng chảy và vào vận tốc ở vô cùng (dòng chưa bị kích động).

Phân bố áp suất và lực ma sát trên bề mặt vật được đặc trưng bằng các hệ số lực cản áp suất và ma sát C_{xap} , C_{xms}

$$C_x = C_{xap} + C_{xms}$$

Với vận tốc dòng chảy nhỏ, khi đó tính nén được của chất lỏng thực tế không có tác dụng, thì ảnh hưởng chính đến hệ số lực cản là hình dạng vật cản, góc tới và số Raynôn.

Các lực $P_{\tau ms}$ và $P_{\tau ap}$ lớn hay nhỏ chủ yếu phụ thuộc vào hình dáng của vật cản. Vật có hình dạng khí động xấu nghĩa là vật khi dòng bao quanh nó có điểm rời, không bao kín (như hình trụ tròn, thuyền thúng ...) thì $P_{\tau ap}$ lớn hơn $P_{\tau ms}$.

Với các vật như cánh máy bay, cánh tua bin, tấm phẳng ... lực cản có thể tính theo công thức:

$$P_{\tau} = P_{\tau ms} (1+k)$$

Với $k = 0,1 \div 0,25$

7.1.2. Lực nâng - định lý Giucốpski - Kutta

Khi nghiên cứu dòng thế của chất lỏng lý tưởng bao quanh trụ tròn, nghĩa là dòng bao quanh trụ tròn không có lưu số vận tốc ($\Gamma=0$) người ta thấy không có bất kỳ một lực nào tác dụng lên nó. Trong cơ học chất lỏng, kết luận này được gọi là nghịch lý Ô le - Đa lăm be. Điều này còn đúng cả đối với những vật có hình dáng bất kỳ.

Còn khi dòng bao quanh trụ tròn có lưu số vận tốc thì véc tơ chính của áp lực chỉ có một thành phần hướng vuông góc với vận tốc ở vô cùng U_{∞} và có trị số bằng $\rho U_{\infty} \Gamma$. Đây là trường hợp riêng của định lý Giu-cốp-xki về lực nâng.

Trong thực tế, khi các vật hình trụ hay tròn quay trong chất lỏng thực chuyển động ta có thể xem như dòng bao quanh chúng có lưu số vận tốc và do đó xuất hiện lực ngang vuông góc với vận tốc của chất lỏng tác dụng lên các vật đó. Đây là nội dung của hiệu ứng mang tên Mác nút. Dựa vào hiệu ứng này ta có thể giải thích một số hiện tượng như việc sinh ra các “phễu” xoáy nước khi tháo nước từ bể chứa ra, đạn đạo bị lệch ngang, chuyển động bị uốn cong, quả bóng xoáy ...

Định lý Giucốpski-Kutta

Nội dung của định lý nói về lực nâng của dòng chất lỏng lý tưởng tác dụng lên cánh đơn như cánh máy bay.

Định lý: Nếu dòng chảy có vận tốc ở vô cùng U_{∞} bao quanh profin cánh và lưu số vận tốc dọc theo profin cánh là Γ , thì hợp lực của áp lực chất lỏng tác dụng lên profin cánh sẽ có trị số $\rho U_{\infty} \Gamma$, còn phương chiều được xác định bằng cách quay véc tơ U_{∞} một góc 90° ngược chiều Γ .

Có thể chứng minh định lý bằng cách áp dụng định lý biến thiên động lượng cho khối chất lỏng nằm giữa vòng tròn khá lớn và profin cánh, hay nhờ lý thuyết hàm biến phức như Traplughin [17].

Về mặt vật lý: sức nâng một chiếc cánh bất động là do sự chuyển động tròn (xoáy) của dòng chất lỏng xung quanh cánh đó (lưu số vận tốc). Do ảnh hưởng chuyển động của dòng chất lỏng ấy, vận tốc trên lưng cánh lớn hơn vận tốc ở dưới bụng cánh. Từ đó sinh ra sự chênh lệch về áp suất, tạo thành một lực đẩy từ dưới lên.

7.2. LỚP BIÊN

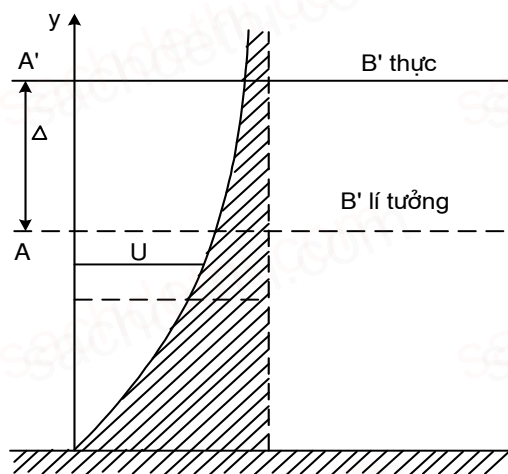
Như vừa nêu ở trên, muốn tính lực cản phải biết phân bố lực ma sát (ứng suất tiếp) dọc bề mặt của vật bị chất lỏng bao quanh, nghĩa là phải nghiên cứu lớp chất lỏng sát vật - lớp biên.

7.2.1. Định nghĩa

Khi chất lỏng thực bao quanh một vật đứng yên, do tính nhớt nên hình như nó dính vào bề mặt vật. Vì vậy, vận tốc của dòng chảy trên mặt vật bằng không. Khi ra xa vật theo phương pháp tuyến với bề mặt, vận tốc sẽ tăng dần và tại khoảng cách nào đó kí hiệu là δ nó sẽ gần bằng vận tốc của dòng bên ngoài $U_\infty (= 0,99U_\infty)$. Lớp chất lỏng có chiều dày là δ đó gọi là lớp biên. Trong lớp biên tập trung hầu hết ảnh hưởng của tính nhớt, có nghĩa chất lỏng là chất lỏng thực. Miền còn lại ảnh hưởng của tính nhớt không đáng kể và có thể xem nó như là miền chất lỏng lý tưởng.

Đại lượng δ phụ thuộc vào việc chọn ở đâu điểm quy ước chỉ rõ biên giới của lớp biên. Do đó trong khi tính toán người ta đưa vào những chiều dày đặc trưng khác của lớp biên: chiều dày bị ép δ^* , chiều dày tổn thất xung lực δ^{**} và chiều dày tổn thất năng lượng δ^{***} .

7.2.2. Chiều dày bị ép



Hình 7-2. Sơ đồ xác định chiều dày bị ép

Đối với chất lỏng lý tưởng: các đường dòng gần tường không thay đổi phương như khi ở xa tường. Còn đối với chất lỏng thực: các đường dòng gần tường sẽ bị uốn cong vì $u < U_\infty$ - tạo thành lớp biên. Như vậy, ở đây xét ảnh hưởng động học của tính nhớt lên vị trí của đường dòng, nghĩa là tính Δ bằng bao nhiêu (Hình 7-2).

Xác định khoảng cách dịch chuyển Δ của đường dòng do ảnh hưởng của tính nhớt dựa trên tính chất: đường dòng là đường lưu lượng bằng nhau. Tính lưu lượng Q_l chất lỏng thực qua mặt cắt giữa bề mặt vật và đường dòng cách thành một khoảng y .

$$Q_l = \int_0^y u dy$$

Đường dòng tương ứng của chất lỏng lý tưởng sẽ gần bề mặt vật hơn một đoạn Δ và được tính từ điều kiện cân bằng lưu lượng:

$$Q_l = U_\infty (y - \Delta) = U_\infty \int_0^y dy - U_\infty \Delta$$

$$Q_t = Q_l \rightarrow U_\infty \Delta = \int_0^y (u_\infty - u) dy$$

hay

$$\Delta = \int_0^y \left(1 - \frac{u}{u_\infty}\right) dy$$

khi $y \rightarrow \delta$, thì $\Delta = \Delta_{max} = \delta^* = \int_0^\delta \left(1 - \frac{u}{u_\infty}\right) dy$

hay viết dưới dạng không thứ nguyên:

$$\delta^* = \delta \int_0^1 (1 - \varphi) d\eta, \text{ với } \varphi = \frac{u}{u_\infty}; \eta = \frac{y}{\delta}$$

Đối với chất lỏng nén được: $\delta^* = \int_0^{\delta_0} \left(1 - \frac{\rho u}{\rho u_\infty}\right) dy$

Như vậy, δ^* đặc trưng cho sự dịch chuyển đường dòng của dòng ngoài khỏi phương của đường dòng trong chuyển động của chất lỏng lý tưởng. Lượng chất lỏng đi qua chiều dày δ^* bằng lượng chất lỏng đi qua $(\delta - \delta^*)$. Sự giảm lưu lượng đó gây ra do lớp biên “ép” chất lỏng, nên δ^* mang tên chiều dày bị ép. Đối với tấm phẳng: $\delta^* = 0,375 \delta$.

7.2.3. Chiều dày tổn thất xung lực

Xét ảnh hưởng động lực của tính nhớt lên dòng chảy bao quanh vật. Tính lực cản X theo định lý biến thiên động lượng (Định lý Ô le 1) cho khối chất lỏng chứa trong $ABA'B'$ (Hình 7-3).

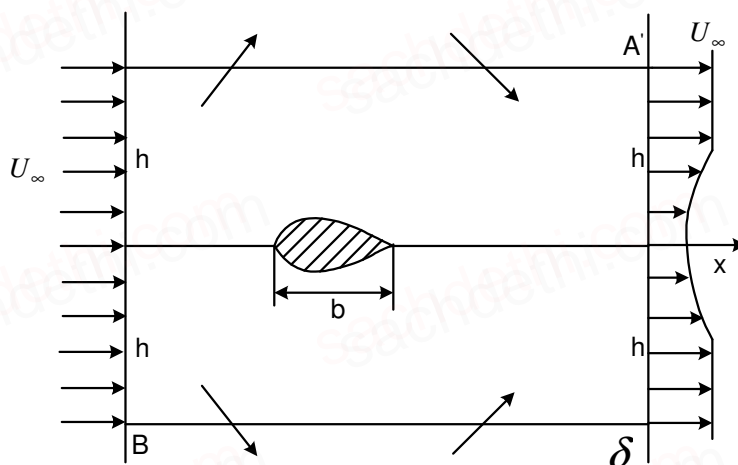
Động lượng chất lỏng chảy vào qua AB : $q_l = 2\rho h u_\infty^2$

Vì lượng chất lỏng vào qua AB gần bằng lượng chảy ra qua $A'B'$ nên:

$$2\rho h u_\infty = 2\rho \int_{-h}^{+h} u dy$$

suy ra:

$$q_l = u_\infty \rho \int_{-h}^{+h} u dy$$



Hình 7-3.

Động lượng chất lỏng chảy qua A'B': $q_2 = \rho \int_{-h}^{+h} u^2 dy$

Theo định lý biến thiên động lượng

$$X = u_{\infty} \rho \int_{-h}^{+h} u dy - \rho \int_{-h}^{+h} u^2 dy + q'$$

Trong đó q' - động lượng chất lỏng chảy qua AA', BB'. Khi $h \rightarrow \infty$ thì $q' \rightarrow 0$ nên:

$$X = u_{\infty} \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \left(1 - \frac{u}{u_{\infty}}\right) dy$$

Tìm hệ số lực cản:

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2 b} = \frac{2}{b} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u}{u_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{u_{\infty}}\right) dy = \frac{2\delta_{\infty}^{**}}{b}$$

Trong đó
$$\delta_{\infty}^{**} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u}{u_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{u_{\infty}}\right) dy$$

Hay là viết dưới dạng không thứ nguyên:
$$\delta_{\infty}^{**} = \delta \int_0^1 \varphi(1 - \varphi) d\eta$$

Như vậy, chiều dày tổn thất xung lực là chiều dày mà trong đó động lượng của chất lỏng lý tưởng (tương ứng với U_{∞}) bằng động lượng tiêu hao trong lớp biên:

$$\rho_{\infty} \delta_{\infty}^{**} u_{\infty} = \int_0^{\delta} \rho u (u_{\infty} - u) dy$$

Tính cho tấm phẳng: $\delta_{\infty}^{**} = 0,146 \delta$

Đối với chất lỏng nén được: $\delta^{**} = \int_0^{\delta} \frac{\rho u}{\rho_{\infty} u_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{u_{\infty}}\right) dy$

Trong một số tính toán, người ta còn dùng tỉ số các chiều dày:

$$H = \frac{\delta^*}{\delta^{**}}; \quad H^* = \frac{\delta^*}{\delta}; \quad H^{**} = \frac{\delta^{**}}{\delta}$$

7.2.4. Phương pháp lớp biên

a) *Giải chính xác:*

Vì lớp biên được hình thành chỉ khi số Reynolds lớn, nên phương trình chuyển động trong lớp biên có thể nhận được từ phương trình Navier-Stokes viết dưới dạng tổng quát không thứ nguyên, sau đó đánh giá bậc các thành phần trong phương trình ấy dựa trên điều kiện cơ bản: chiều dày lớp biên nhỏ hơn nhiều so với chiều dài của vật ($\delta \ll l$) nên suy ra giá trị các đại lượng theo phương y nhỏ hơn giá trị các đại lượng theo phương x (Hình 7- 4).

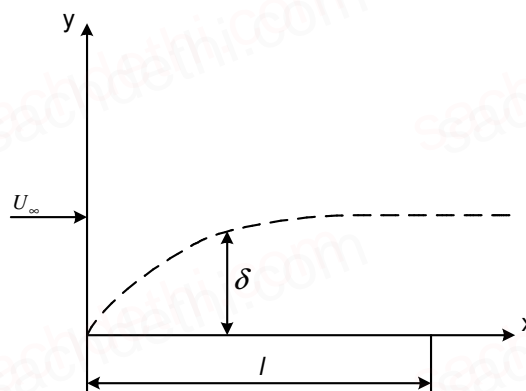
Bằng cách đó, năm 1904, L. Prandtl đã tìm ra hệ phương trình vi phân lớp biên cho trường hợp chuyển động phẳng, dừng của chất lỏng không nén được và bỏ qua lực khối [17].

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = u_{\infty} \frac{du_{\infty}}{dx} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (7-1)$$

Với các điều kiện: tại $y = 0$: $u = v = 0$;
 $y = \delta$: $u = u_{\infty}(x)$

Giải trực tiếp hệ phương trình (7-1) với các điều kiện biên tương ứng ta sẽ tìm được nghiệm $u(x,y)$, $v(x,y)$ trong toàn lớp biên và do đó có thể tính được ứng suất trên bề mặt vật.



Hình 7 – 4.

Lời giải điển hình là của Fokner và Skane tìm ra từ năm 1930 khi cho phân bố vận tốc ngoài lớp biên dưới dạng hàm số mũ:

$$u_{\infty}(x) = Cx^m$$

b) *Giải gần đúng:* Hệ thức tích phân T.Karman

Phương pháp giải chính xác vừa trình bày ở trên tương đối phức tạp và trong nhiều trường hợp không thể giải được. Do đó người ta áp dụng rộng rãi phương pháp giải gần đúng dựa trên việc đánh giá sự biến thiên động lượng trong lớp biên qua chiều dày ép δ^* và chiều dày tổn thất xung lực δ^{**} (Hình 7-5) Karman nhận được hệ thức tích phân:

$$\frac{\delta^{**}}{\rho_{\infty}} \frac{d\rho_{\infty}}{dx} + \frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{du_{\infty}}{u_{\infty} dx} (2\delta^{**} + \delta^*) = \frac{\tau_w}{\rho_{\infty} u_{\infty}^2} \quad (7-2)$$

Số hạng thứ nhất trong vế trái của phương trình (7-2) biểu diễn ứng suất ma sát với chuyển động của chất lỏng nén được. Đối với chất lỏng không nén được ($\rho_\infty = \text{const}$) ta có phương trình.

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{1}{u_\infty} \frac{du_\infty}{dx} (2\delta^{**} + \delta^*) = \frac{\tau_w}{\rho_\infty u_\infty^2} \quad (7-3)$$

Khi $u_\infty = \text{const}$, số hạng thứ hai bằng 0.

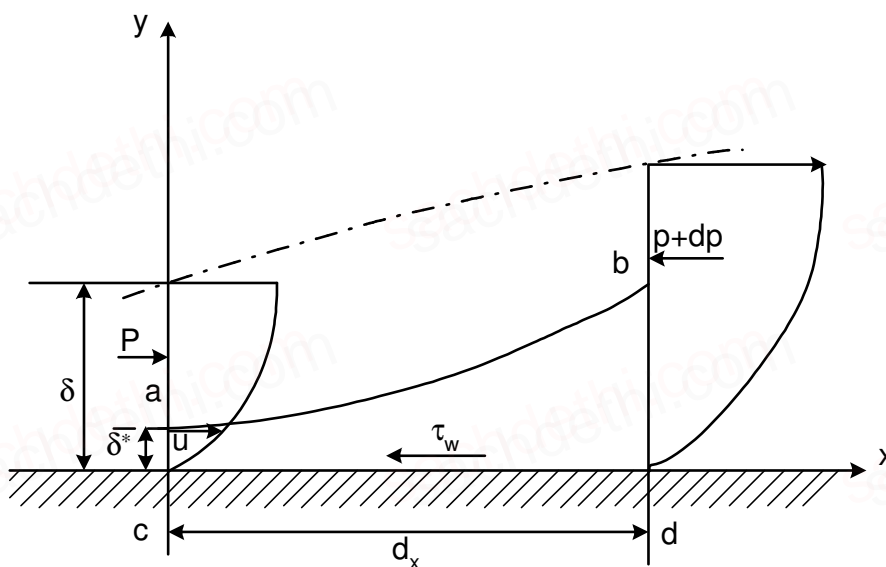
Phương trình (7-2), (7-3) gọi là hệ thức tích phân Karman vì nó chứa các tích phân δ^* , δ^{**} . Từ hệ thức tích phân đó ta sẽ xác định được τ_w , δ^* , δ^{**} . Khi cho biết dạng profin vận tốc trong lớp biên, chẳng hạn như Pônhauden cho profin vận tốc không thứ nguyên:

$$\varphi = \frac{u}{u_\infty} = A_0 + A_2 \eta^2 + A_3 \eta^3; \quad \frac{du_\infty}{dx} \neq 0$$

Bằng phương pháp này người ta đã giải cho lớp biên chảy tầng trên tấm phẳng và tìm ra được hệ số cản toàn bộ: $C_x = \frac{1,444}{\sqrt{Re}}$

$$\text{Hệ số cản cục bộ: } C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho u_\infty^2} = \frac{0,722}{\sqrt{Re_x}}$$

$$\text{Trong khi đó lời giải chính xác cho: } C_f = \frac{0,664}{\sqrt{Re_x}}$$



Hình 7- 4.

7.3. MỘT SỐ BÀI TOÁN LỚP BIÊN

Ta áp dụng hệ thức tích phân Karman (7-3) để giải một số trường hợp cụ thể.

7.3.1. Lớp biên chảy tầng trên tấm phẳng

Trong trường hợp này áp suất p , u_∞ không đổi: $\frac{dp}{dx} = 0, \frac{du_\infty}{dx} = 0$. Do đó phương trình (7-3) sẽ có dạng rất đơn giản: $\frac{d\delta^{**}}{dx} = \frac{\tau_w}{\rho u_\infty^2}$ (7-4)

Để giải phương trình đó ta cho dạng profin vận tốc:

$$\varphi = \frac{u}{u_\infty} = A_0 + A_1\eta + A_2\eta^2 + \dots + A_n\eta^n$$

Các hệ số A_0, A_1, \dots, A_n được xác định từ các điều kiện biên: mỗi hệ số ứng với một điều kiện biên. Giả sử có 3 điều kiện biên:

$$\eta = 0 \ (y = 0); \ \varphi = 0 \ (u = 0)$$

$$\eta = 1 \ (y = \delta); \ \varphi = 1 \ (u = u_\infty) \text{ và}$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \eta} = 0 \left(\frac{\partial u}{\partial y} = 0 \right)$$

thì profin vận tốc có dạng:

$$\varphi = A_0 + A_1\eta + A_2\eta^2$$

Từ các điều kiện biên ta xác định được:

$$A_0 = 0; A_1 = 2; A_2 = -1$$

Vậy dạng profin vận tốc sẽ là:

$$\varphi = 2\eta - \eta^2$$

Thay φ vào các biểu thức của δ^* , δ^{**} , τ_w

$$\delta^* = \delta \int_0^1 (1 - 2\eta + \eta^2) d\eta = \frac{1}{3} \delta$$

$$\delta^{**} = \delta \int_0^1 (2\eta - \eta^2)(1 - 2\eta + \eta^2) d\eta = \frac{2}{1.5} \delta$$

$$\tau_w = 2\mu \frac{u_\infty}{\delta}$$

Thay các giá trị của δ^{**} và τ_w vào phương trình (7.4) ta tìm được:

$$\delta = \sqrt{30 \frac{vx}{u_\infty}}$$

hay là:

$$\frac{\delta}{x} = \frac{5,48}{\sqrt{Re_x}}$$

nghĩa là δ tỉ lệ với \sqrt{x} : $\delta \approx \sqrt{x}$. Biết δ sẽ tính được τ_w và từ đó tính được hệ số lực cản.

Hệ số lực cản cục bộ:

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho u_\infty^2} = \frac{0,722}{\sqrt{Re_x}}$$

Hệ số lực cản toàn bộ:

$$C_x = \frac{x}{\frac{1}{2} \rho u_\infty^2 S} = \frac{1,444}{\sqrt{Re}}$$

Trong đó: $S = 2bl$ - diện tích hai phía của tấm phẳng;

b - chiều rộng;

l - chiều dài.

Lực ma sát trên toàn tấm phẳng:

$$x = 2b \int_0^l \tau_w dx = \frac{4b}{\sqrt{3}} \sqrt{\mu \rho l u_\infty^3}$$

7.3.2. Lớp biên chảy rối trên tấm phẳng

Với những điều kiện nhất định, lớp biên chảy tầng sẽ mất ổn định và chuyển sang chảy rối. Tương tự như việc khảo sát hai trạng thái chảy trong ống, tiêu chuẩn để xác định giới hạn sự mất ổn định của trạng thái chảy tầng là số Râyôn tới hạn. Đối với tấm phẳng, nếu số $Re > 3.10^5$ ta sẽ có lớp biên chảy rối.

Như ta đã biết, nếu lớp biên chảy tầng trên tấm phẳng, thì chiều dày lớp biên tỉ lệ với \sqrt{x} , x là khoảng cách từ đầu mũi tấm phẳng. Quá độ từ lớp biên chảy tầng sang chảy rối được rất nhiều người nghiên cứu và thấy rằng ở miền gần mũi tấm phẳng lớp biên luôn luôn chảy tầng, nhưng tiếp theo dọc dòng chảy với những điều kiện nhất định, lớp biên trở thành rối.

Khi dòng không khí bao quanh tấm phẳng có đầu mũi nhọn, lớp biên chuyển sang rối ở khoảng cách x được xác định từ biểu thức sau:

$$Re_{x^*} = \frac{u_\infty}{\nu} = 3,15.10^5 \div 5.10^5$$

Từ đó suy ra, khi vận tốc của dòng chảy u_∞ tăng thì điểm quá độ dịch dần lên phía đầu mũi tấm phẳng.

Ngoài số Râyôn tới hạn Re_{x^*} , còn có những yếu tố khác ảnh hưởng trực tiếp đến trạng thái quá độ, như gradien áp suất, độ nhám, độ cong của bề mặt vật v.v...

Khảo sát lớp biên chảy rối trên tấm phẳng.

Ta đã biết trong chuyển động rối, người ta đưa khái niệm giá trị trung bình thời gian và đã xét giả thuyết Prandtl đối với ứng suất tiếp:

$$\tau_w = \rho l^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dy} \right)^2$$

Trong đó: l - chiều dài đường rối (chiều dài xáo trộn).

Đối với tấm phẳng ta cũng có phương trình:

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} = \frac{\tau_w}{\rho u_\infty^2}$$

Nhưng với chú ý là các giá trị δ , δ^* , δ^{**} và τ_w sẽ khác trước.

Cơ sở lý thuyết bán thực nghiệm của lớp biên rối là sự tương tự giữa chuyển động rối trong ống và trong lớp biên. Đối với lớp biên chảy tầng và chuyển động trong ống ta đã có sự liên hệ giữa các thông số sau đây: bán kính của ống và vận tốc trên trục ống tương ứng với chiều dày lớp biên δ và vận tốc tại $y = \delta$. Những điều này cũng có thể áp dụng cho chuyển động rối. Khi đó profile vận tốc trong lớp biên rối có thể tìm dưới dạng hàm mũ hay làm lôgarít.

Ta tìm dưới dạng hàm số mũ:

$$\frac{u}{u_\infty} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^n \quad \text{hay là } \varphi = \eta^n$$

Thay giá trị φ vào biểu thức của δ^* , δ^{**} :

$$\delta^* = \delta \int_0^1 (1 - \varphi) d\eta = \frac{n}{n-1} \delta$$

$$\delta^{**} = \delta \int_0^1 \varphi(1 - \varphi) d\eta = \frac{n}{(n+1)(2n+1)} \delta$$

Nếu lấy $n = 1/7$ - gọi là profile vận tốc $1/7$ ta sẽ tính được:

$$\delta^* = \frac{1}{8} \delta; \quad \delta^{**} = \frac{7}{72} \delta$$

Để tính ứng suất tiếp trên tấm phẳng τ_w , ta áp dụng công thức của chuyển động rối trong ống:

$$\tau_w = 0,0225 \rho u_{max}^2 \left(\frac{u_{max} r_0}{\nu} \right)^{-1/4}$$

khi thay $u_{max} = u_\infty$; $r_0 = \delta$ ta có:

$$\tau_w = 0,0225 \rho u_\infty^2 \left(\frac{u_\infty \delta}{\nu} \right)^{-1/4}$$

thay τ_w và δ^{**} vào phương trình (7.4) ta sẽ được:

$$\delta = 0,037 x \left(\frac{u_{\infty} x}{\nu} \right)^{-1/5}$$

hay là: $\frac{\delta}{x} = 0,37 Re_x^{-1/5}$

suy ra, $\delta_{rối}$ tỉ lệ với $x^{4/5}$: $\delta_{rối} \sim x^{4/5}$, trong khi đó $\delta_{tầng} \sim x^{1/2}$ nghĩa là lớp biên rối tăng theo x nhanh hơn lớp biên chảy tầng.

Biết δ sẽ tìm được τ_w và suy ra lực cản

$$x = 2b \int_0^l \tau_w dx = 0,072 \rho u_{\infty}^2 b l Re^{-1/5}$$

Hệ số lực cản cục bộ:

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2} = 0,0576 Re_x^{-1/5}$$

Hệ số lực cản toàn phần:

$$C_x = \frac{x}{\frac{1}{2} \rho u_{\infty}^2 S} = 0,072 Re^{-1/5}$$

So sánh với thực nghiệm, người ta lấy 0,074.

7.3.3. Lớp biên trên mặt cong

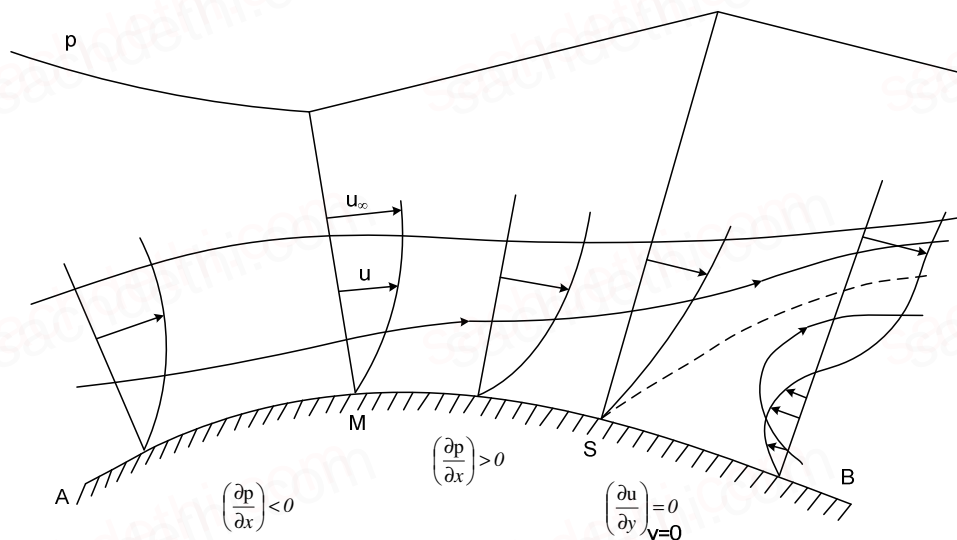
Ta đã khảo sát xong hai bài toán lớp biên trên tấm phẳng tương đối đơn giản. Nhưng trong các máy có cánh (tuabin, máy nén khí, quạt v.v...) thường gặp những vật có hình dạng cong như các dãy cánh. Khi dòng chảy bao quanh mặt cong thường xảy ra một hiện tượng khá quan trọng: xuất hiện điểm rời của lớp biên. Ta sẽ giải thích hiện tượng này dựa trên điều đã chứng minh trong phần hệ phương trình lớp biên $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$

Ta khảo sát dòng bao quanh mặt cong AB (Hình 7-5).

Giả sử áp suất của dòng ngoài dọc AB lúc đầu giảm, đạt giá trị cực tiểu ở M và sau đó sẽ tăng. Miền dòng ngoài mà tại đó gradien áp suất âm $\frac{\partial p}{\partial y} < 0$ gọi là miền thu hẹp dần.

Miền chuyển động sau điểm M có gradien áp suất dương $\frac{\partial p}{\partial y} > 0$ gọi là miền mở rộng dần.

Tại miền thu hẹp dần dòng ngoài sẽ tăng tốc, còn ở miền mở rộng dần dòng sẽ bị hãm. Vì trong lớp biên $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$, nên có thể kết luận là phân bố áp suất cũng sẽ tương tự như thế trong bất kỳ khoảng cách $y < \delta$ trong lớp biên trên đoạn AB.



Hình 7-5.

Trong phạm vi lớp biên vận tốc trước điểm M sẽ tăng, còn sau M sẽ giảm. Đến mặt cắt S nào đây, các phần tử chất lỏng ở sát bề mặt AB không thể thắng ảnh hưởng hãm của dòng ngoài và chúng bị dừng lại. Tại S sẽ có:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = 0$$

Sau điểm S , dưới tác dụng của độ chênh áp suất ngược chiều dòng chảy, các phần tử chất lỏng ở sát bề mặt AB sẽ bắt đầu chuyển động ngược, gọi là dòng thứ cấp. Gặp dòng chính dòng thứ cấp bị đẩy ra khỏi bề mặt AB , dẫn đến hiện tượng tách rời lớp biên. Điểm S là điểm rời của lớp biên.

Sau đây ta xét cách giải cụ thể bài toán lớp biên chảy tầng trên mặt cong dựa vào phương trình xung lượng (7-3) theo cách giải gần đúng của hai nhà bác học Nga Kôchin và Lôixianxki.

Vì trong phương trình (7-3) có 3 ẩn số δ^* , δ^{**} và τ_w , nên tất cả các phương pháp giải gần đúng đều tìm cách đưa về phương trình chứa một ẩn bằng cách chọn một họ các profin vận tốc chỉ phụ thuộc một thông số. Chọn profin vận tốc như thế sẽ có thể biểu diễn δ^* , δ^{**} và τ_w qua một thông số và như vậy sẽ được phương trình vi phân thường đối với thông số đã chọn.

Kôchin và Lôixianxki đã chọn thông số đó là đại lượng f gọi là thông số hình dáng:

$$f = \frac{\delta^{**} u_\infty}{\nu} \quad (7-5)$$

Khi đó họ profin trong lớp biên chảy tầng sẽ có dạng phụ thuộc sau đây:

$$\frac{u}{u_\infty} = \varphi \left(\frac{y}{\delta^{**}}, f \right) = \varphi(\eta, f)$$

Còn δ^* , δ^{**} và τ_w

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{u_{\infty}} \right) dy = \delta^{**} \int_0^{\eta_l} 1 - \phi(\eta_l, f) d\eta_l = \delta^{**} H(f)$$

$$\tau_w = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y=0} = \mu \left(\frac{\partial \phi}{\partial \eta_l} \right)_{\eta_l=0} \frac{u_{\infty}}{\delta^{**}} = \frac{\mu u_{\infty}}{\delta^{**}} \phi'(0, f)$$

Nếu ký hiệu $\phi'(0, f) = \zeta(f) = \frac{\tau_w \delta^{**}}{\mu u_{\infty}}$, thì phương trình (7-3) sẽ có dạng;

$$\frac{d\delta^{**}}{dx} + \frac{u'_{\infty}}{u_{\infty}} \delta^{**} [2 + H(f)] = \frac{\tau_w}{\rho u_{\infty}^2} = \frac{\nu}{u_{\infty} \delta^{**}} \zeta(f)$$

Nhân phương trình đó với $\frac{\delta^{**}}{\nu}$, ta sẽ được:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{\delta^{**2}}{\nu} \right) + \frac{u'_{\infty} \delta^{**2}}{u_{\infty} \nu} [2 + H(f)] = \frac{\zeta(f)}{u_{\infty}}$$

hay là, với chú ý:

$$\frac{u'_{\infty} \delta^{**2}}{u_{\infty} \nu} = \frac{f}{u_{\infty}}$$

và ký hiệu:

$$2[\zeta(f) - (2 - H)f] = F(f)$$

phương trình xung lượng sẽ có dạng:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{\delta^{**2}}{\nu} \right) = \frac{d}{dx} \left(\frac{f}{u'_{\infty}} \right) = \frac{F(f)}{u_{\infty}}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{f}{u'_{\infty}} \right) = \frac{1}{u'_{\infty}} \cdot \frac{df}{dx} - f \frac{u''}{u_{\infty}^2}$$

nên phương trình trên có dạng cuối cùng:

$$\frac{df}{dx} = \frac{u''_{\infty}}{u'_{\infty}} f + \frac{u'_{\infty}}{u_{\infty}} F(f) \quad (7-6)$$

Khi biết $F(f)$ và cho $u_{\infty}(x)$ có thể giải được phương trình đó và sẽ tìm được $f(x)$, từ đó suy ra δ^{**} và $\tau_w(x)$.

Từ các lời giải chính xác đã được thực nghiệm chứng minh, ta có thể biểu diễn $F(f)$ dưới dạng hàm tuyến tính:

$$F(f) = a - bf$$

Trên hình 7-6. biểu diễn các đường cong $H(f)$, $\zeta(f)$ và $F(f)$ ứng với lời giải chính xác của bài toán lớp biên chảy tầng khi vận tốc $u_{\infty} = cx^n$ và $a = 0,45$, $b = 5,35$.

Sau khi thay giá trị của $F(f)$ vào phương trình (7-6), ta sẽ được phương trình xung lượng dưới dạng:

$$\frac{df}{dx} = a \frac{u'_{\infty}}{u_{\infty}} + \left(\frac{u''_{\infty}}{u'_{\infty}} - b \frac{u'_{\infty}}{u_{\infty}} \right) f$$

Đó là phương trình vi phân thường tuyến tính bậc nhất và nghiệm của nó sẽ là:

$$f = \frac{au'_{\infty}}{u_{\infty}^b} \int_0^x u^{b-1}(\zeta) d\zeta + C \frac{u'_{\infty}}{u_{\infty}^b} \quad (7-7)$$

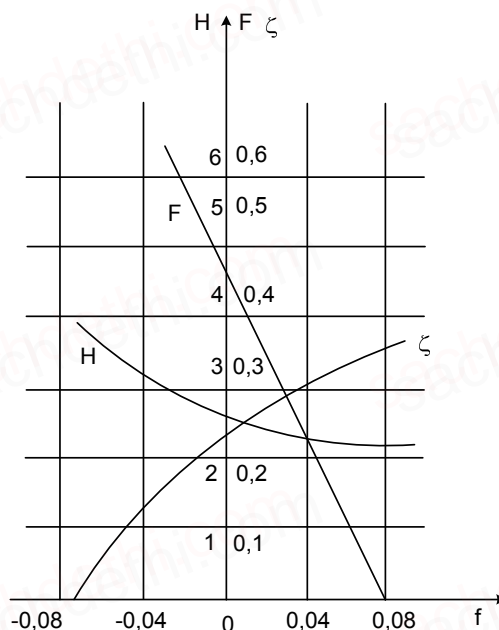
Hằng số tích phân C được xác định từ các điều kiện biên: $x = 0$; $u = 0$ và f hữu hạn, nên $C = 0$.

Biểu diễn δ^{**} qua thông số hình dáng f theo công thức (7-5) ta được:

$$\delta^{**} = \sqrt{\frac{fv}{u'_{\infty}}} = \sqrt{\frac{va}{u_{\infty}^b} \int_0^x u^{b-1}(\zeta) d\zeta} \quad (7-8)$$

Biết $f(x)$ và δ^{**} , theo đồ thị trên hình 7-6, có thể tìm được $H(f)$ và $\zeta(f)$, từ đó suy ra $\delta^* = \delta^{**} H$.

$$\tau_w(x) = \mu \frac{u_{\infty}(x)}{\delta^{**}(x)} \zeta(f)$$



Hình 7-6.

Tọa độ của điểm rời được xác định từ điều kiện $\tau_w = 0$. Nó ứng với $\zeta(f) = 0$. Từ hình 7-6 ta thấy $\zeta(f) = 0$ khi $f_s = -0,0681$. Dấu âm chứng tỏ điểm rời xảy ra trong vùng mở rộng dần.

Các kết quả tính toán trên hoàn toàn phù hợp với kết quả thực nghiệm khi $f > 0$, còn miền gần $f = f_s$, kết quả hơi khác nhau.

7.4. LỚP BIÊN NHIỆT ĐỘ

Trên cơ sở những kết quả vừa thu được, ta khảo sát một loại lớp biên khác gọi là lớp biên nhiệt độ, mà thường gặp ở trên các vật hay trong các máy có cánh chuyển động với vận tốc lớn.

7.4.1. Định nghĩa

Tương tự lớp biên đã xét ở trên - còn gọi là lớp biên động học hay lớp biên vận tốc - ta có lớp biên nhiệt độ.

Nếu nhiệt độ của vật bị bao quanh và nhiệt độ của dòng chảy khác nhau, thì chiều dày của miền mà tại đó xảy ra sự biến thiên từ nhiệt độ của vật đến nhiệt độ của dòng chảy sẽ phụ thuộc vào một đại lượng không thứ nguyên. Đại lượng đó, tương tự như số Râyôn trong lớp biên động học, gọi là số Râyôn nhiệt độ:

$$Re_T = \frac{ul}{a}$$

trong đó: $a = \frac{\lambda}{\rho C_p}$ - hệ số dẫn nhiệt độ;

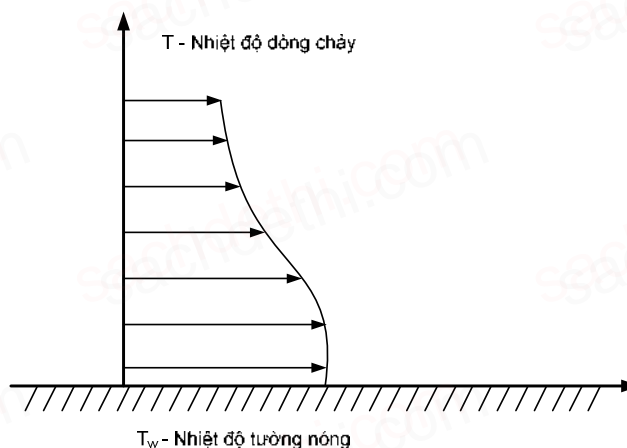
λ - hệ số dẫn nhiệt;

C_p - nhiệt dung đẳng áp.

Kí hiệu chiều dày đó là δ_T , còn chiều dày không thứ nguyên:

$$\bar{\delta}_T = \frac{\delta_T}{l}$$

Khi Re_T nhỏ thì $\bar{\delta}_T \gg 1$; còn khi Re_T lớn thì $\bar{\delta}_T \ll 1$. Định nghĩa: lớp biên nhiệt độ là lớp sát vật bị dòng chảy bao quanh, mà tại đó khi số Re_T lớn thì nhiệt độ sẽ biến thiên từ nhiệt độ của vật đến nhiệt độ của dòng chảy (Hình 7-7).



Hình 7-7.

7.4.2. Phương trình lớp biên nhiệt độ. Hệ thức tích phân của lớp biên nhiệt độ

Xuất phát từ phương trình dẫn nhiệt cho chuyển động phẳng, dừng:

$$u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

trong đó: T - nhiệt độ.

Tiến hành tương tự như đối với lớp biên động học ở phần 7.2, nghĩa là viết phương trình trên dưới dạng không thứ nguyên rồi đánh giá bậc các số hạng ta sẽ có phương trình lớp biên nhiệt độ.

$$u_x \frac{\partial T}{\partial x} + u_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

Từ đó có hệ thức tích phân của lớp biên nhiệt độ hay còn gọi là dòng nhiệt truyền qua lớp biên:

$$\frac{d\delta_T^{**}}{dx} = \frac{a}{u_{\infty} T_{\infty}} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}$$

trong đó: $\delta_T^{**} = \int_0^{\delta_T} \frac{u_x}{u_{\infty}} \left(1 - \frac{T}{T_{\infty}} \right) dy$

hay biến đổi

$$T_{\infty} - T = (T_{\infty} - T_w) - (T - T_w) \equiv \theta - \bar{\theta}$$

Ta sẽ được hệ thức tích phân của lớp biên nhiệt độ:

$$\frac{d\delta_T^{**}}{dx} = \frac{a}{\theta u_{\infty}} \cdot \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} \Big|_{y=0} \quad (7-9)$$

Trong đó:

$$\delta_T^{**} = \int_0^{\delta_T} \frac{u_x}{u_{\infty}} \left(1 - \frac{\bar{\theta}}{\theta} \right) dy$$

7.4.3. Lớp biên nhiệt độ trên tấm phẳng

Ta giải cụ thể một bài toán lớp biên nhiệt độ : dòng chất lỏng chảy tầng với vận tốc không đổi u_{∞} bao quanh tấm phẳng có nhiệt độ cố định T_w . Để sử dụng hệ thức tích phân (7-9) phải biết phân bố vận tốc và phân bố nhiệt độ trong lớp biên. Ta cho dạng phân bố nhiệt độ:

$$T(y) = b_0 + b_1 y + b_2 y^2 + \dots + b_n y^n \quad (7-10)$$

Số lượng các số hạng và giá trị các hệ số $b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$ có thể xác định theo các điều kiện biên cho trước. Ở đây, ta có các điều kiện biên:

$$\text{Khi } y = 0 \text{ (ở trên mặt vật): } T = T_w; \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0$$

$$y = \delta_T : T = T_{\infty}; \frac{\partial T}{\partial y} = 0$$

Thay các điều kiện trên vào (7-10) ta sẽ được một hệ phương trình với 4 ẩn: b_0, b_1, b_2, b_3 :

$$T_w = b_0; T_l = b_0 + b_1 \delta_T + b_2 \delta_T^2 + b_3 \delta_T^3$$

$$2b_2 = 0; b_1 + 2b_2 \delta_T + 3b_3 \delta_T^2 = 0$$

Giải hệ phương trình đó, sẽ tìm được:

$$b_0 = T_w; b_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{T_{\infty} - T_w}{\delta_T}$$

$$b_2 = 0; b_3 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{T_l - T_w}{\delta_T^3}$$

Do đó:

$$T = T_w + \frac{3}{2} (T_{\infty} - T_w) \frac{y}{\delta_T} - \frac{1}{2} (T_{\infty} - T_w) \left(\frac{y}{\delta_T} \right)^3$$

hay là:

$$\frac{\bar{\theta}}{\theta} = \frac{T - T_w}{T_\infty - T_w} = \frac{3}{2} \cdot \frac{y}{\delta_T} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta_T} \right)^3 \quad (7-11)$$

Prôfin vận tốc ta cũng chọn dưới dạng:

$$u_x \equiv u = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + a_3 y^3$$

Với các điều kiện biên:

$$y = 0 : u = 0; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$$

$$y = \delta : u = u_\infty; \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

Sẽ tìm được:

$$a_0 = 0; \quad a_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{u_\infty}{\delta} : a_2 = 0;$$

$$a_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_\infty}{\delta^3}$$

Suy ra, prôfin vận tốc có dạng:

$$\frac{u}{u_\infty} = \frac{3}{2} \cdot \frac{y}{\delta} - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3 \quad (7-12)$$

Thay các giá trị (7-11), (7-12) vào phương trình (7-9) và với giả thiết $\delta_T \leq \delta$ sau vài phép biến đổi ta sẽ được phương trình:

$$\left(\frac{\delta_T}{\delta} \right)^3 + \frac{4}{3} x \frac{d \left(\frac{\delta_T}{\delta} \right)^3}{dx} = \frac{1}{Pr} \quad (7-13)$$

Trong đó:

$$Pr = \frac{\nu}{a} \text{ - số Prandtl}$$

Nghiệm riêng của phương trình đó là:

$$\frac{\delta_T}{\delta} = \frac{1}{Pr^{1/3}} \text{ hay là } \delta_T = \frac{\delta}{Pr^{1/3}}$$

Trong phần 7.3 đã tính được:

$$\delta = 4,64 \sqrt{\frac{\nu x}{u_\infty}}$$

suy ra:

$$\delta_T = 4,64 \cdot \frac{1}{Pr^{1/3}} \sqrt{\frac{\nu x}{u_\infty}} \quad (7-14)$$

Như vậy, chiều dày lớp biên nhiệt độ trên tấm phẳng tỷ lệ với \sqrt{x} cũng giống như chiều dày lớp biên vận tốc.

Tương tự như tính hệ số lực cản trong lớp biên vận tốc, ở đây ta tính hệ số trao đổi nhiệt cục bộ $\alpha(x)$. Nó được xác định như sau:

$$\alpha(x) = \frac{q_w}{T_w - T_\infty} = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} \times \frac{l}{T_w - T_\infty} = \frac{\lambda}{\theta} \cdot \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} \bigg|_{y=0}$$

Từ (7-11) ta có:

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial y} \bigg|_{y=0} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\theta}{\delta_T}$$

Và với chú ý (7-14) ta được:

$$\alpha(x) = 0,323 \lambda^3 \sqrt{Pr} \sqrt{\frac{u_\infty}{\nu x}}$$

Có thể tính hệ số trao đổi nhiệt trung bình:

$$\alpha_{tb} = \frac{l}{x} \int_0^x \alpha(x) dx = 0,646 \lambda^3 \sqrt{Pr} \sqrt{\frac{u_\infty}{\nu x}} = 2\alpha$$

Thông thường trong trao đổi nhiệt người ta dùng tiêu chuẩn tương tự Nuxen:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$$

Số Nuxen cục bộ sẽ là:

$$Nu_x \frac{\alpha x}{\lambda} = 0,323 \sqrt{Pr} \sqrt{Re}$$

Số Nuxen toàn phần :

$$Nu = \frac{\alpha_{tb} l}{\lambda} = 0,646 \sqrt{Pr} \sqrt{Re}$$

Lượng nhiệt truyền từ một đơn vị chiều rộng của một mặt tấm phẳng trong một đơn vị thời gian:

$$Q = \alpha(T_w - T_\infty) l \cdot l = \lambda \frac{\alpha l}{\lambda} (T_w - T_\infty) = \lambda(T_w - T_\infty) Nu$$

Về cách biên đổi để có được phương trình (7-13):

Sau khi biết profin nhiệt độ (7-11) và profin vận tốc (7-12), ta có thể viết hệ thức tích phân (7-9) dưới dạng:

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_T} \left[1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{y}{\delta_T} + \frac{l}{2} \left(\frac{y}{\delta_T} \right)^2 \right] \times \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{y}{\delta} \cdot \frac{l}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^2 \right] dy = \frac{3}{2} \frac{a}{u_\infty \delta_T} \quad (7-15)$$

Dễ dàng tính được tích phân trên nếu giả thiết $\delta_T \leq \delta$. Trong trường hợp này, tích phân trong khoảng $(\delta - \delta_T)$ luôn luôn bằng không vì $\bar{\theta} = \theta$, suy ra giá trị của hàm dưới dấu tích phân trong biểu thức của δ_T^{**} trong khoảng $(\delta - \delta_T)$ luôn luôn bằng không.

Nếu ta đặt $h = \frac{\delta_T}{\delta}$, nghĩa là $\delta_T = h\delta$ thì tích phân trong phương trình (7-15) sẽ bằng:

$$\int_0^{\delta_T} \left(1 - \frac{\bar{\theta}}{\theta}\right) \frac{u}{u_\infty} dy = \delta \left(\frac{3}{20} h^2 - \frac{3h^4}{280} \right) = \frac{3}{20} \delta h^2 \left(1 - \frac{1}{14} h^2\right)$$

Số hạng thứ hai nhỏ hơn số hạng thứ nhất vì ta giả thiết $\delta_T \leq \delta$ nghĩa là $h \leq 1$. Bỏ qua số hạng thứ hai, cuối cùng ta sẽ có phương trình vi phân:

$$\frac{3}{20} \cdot \frac{d}{dx} \delta h^2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{a}{u_\infty \delta_T} = \frac{3}{2} \cdot \frac{a}{u_\infty h \delta}$$

hay là:
$$h^3 \delta \frac{d\delta}{dx} + 2h^2 \delta^2 \frac{dh}{dx} = 10 \frac{a}{u_\infty} \quad (7-16)$$

Thay các giá trị $\delta \frac{d\delta}{dx}$ và δ^2 từ lớp biên vận tốc:

$$\delta \frac{d\delta}{dx} = \frac{140}{3} \cdot \frac{v}{u_\infty} \quad \text{và} \quad \delta^2 = (4,64)^2 \frac{vx}{u_\infty}$$

Phương trình (7-16) có dạng :

$$\frac{14}{13} \cdot \frac{v}{a} \left(h^3 + 4xh^2 \frac{dh}{dx} \right) = 1$$

coi:
$$\frac{14}{13} \approx 1 \quad \text{và} \quad \frac{v}{a} = Pr \quad \text{ta được:}$$

$$h^3 + \frac{4}{3} x \frac{dh^3}{dx} = \frac{1}{Pr} \quad (7-17)$$

7.3. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 7-1:

Tính chiều dày mặt tăng vọt nén thẳng dựa vào phương trình truyền nhiệt:

$$u_\infty \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\lambda}{C_p \rho} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Trong đó có thể xem các đại lượng C_p , ρ , λ là không đổi, (theo lý thuyết động học chất khí ta có công thức gần đúng $\lambda = \rho C_p a l$; trong đó l - chiều dài chạy tự do trung bình của phân tử, a - vận tốc âm).

Giải:

Từ phương trình truyền nhiệt:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\lambda}{C_p \rho u_\infty} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

với các điều kiện biên:

$$\text{khi } x = -\infty : T = T_\infty$$

$$\text{khi } x = 0 : T = T_{2\infty}$$

$T_{2\infty}$ - nhiệt độ sau mặt tầng vọt nén. Suy ra:

$$T = T_\infty + (T_{2\infty} - T_\infty) \exp\left(C_p \rho u_\infty \frac{x}{\lambda}\right)$$

Chiều dày mặt tầng vọt nén d được xác định dựa vào gradient nhiệt độ tại $x = 0$ từ biểu thức sau:

$$d = \frac{T_{2\infty} - T_\infty}{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0}} = \frac{\lambda}{C_p \rho u_\infty} = \frac{l}{M}$$

$$M = \frac{u}{a} - \text{số Mác}$$

Ví dụ 7-2:

Dựa vào đồ thị trên hình vẽ hãy tính hệ số lực cản của tấm phẳng trong lớp biên chảy tầng khi số $Re = 3.10^5$ và số $M = 2,13$.

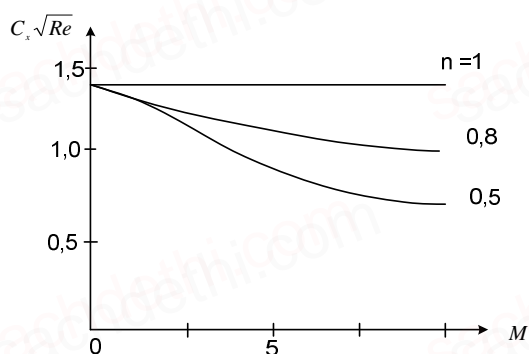
Giải :

Trên đồ thị, n là số mũ của biểu thức :

$$\frac{\mu}{\mu_l} = \left(\frac{T}{T_l}\right)^n$$

trong đó: μ - hệ số nhớt; T - nhiệt độ.

Cả 3 trường hợp ứng với số $Pr = 1$.



Dựa trên đồ thị, ta sẽ tìm được hệ số lực cản C_x .

$$C_x = \frac{1,3}{\sqrt{Re}} = 0,0024$$

(đối với không khí, lấy $n = 0,8$).

Ví dụ 7-3:

Hãy so sánh nhiệt độ trên tấm phẳng T_l bị dòng chảy bao quanh với nhiệt độ tại điểm tới hạn phía trước T_o khi số $M = 1; 3; 5$. Dòng bao có $T = 220^\circ K$, $Pr = 0,7$.

Giải :

Đối với trường hợp chuyển động dừng ta có các công thức sau:

$$T_o = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right) T_\infty$$

$$\frac{T_l}{T_\infty} - 1 = \left(\frac{T_o}{T_\infty} - 1\right) \sqrt{Pr}$$

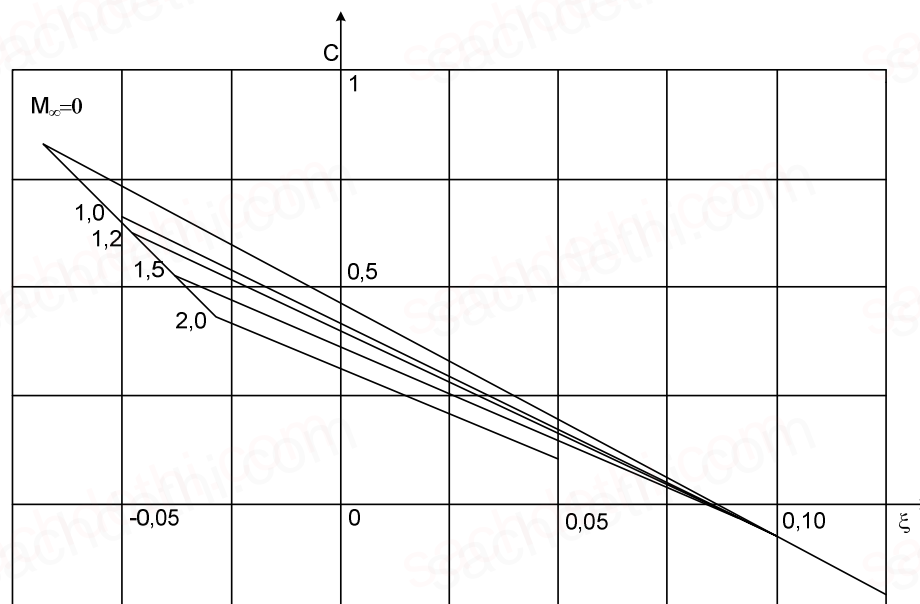
Từ các biểu thức đó ta tính được các giá trị sau đây của nhiệt độ:

M_∞	$T_o - 273^\circ$	$T_l - 273^\circ$
1	-9°	-17°
3	343°	282°
5	1037°	865°

Nhưng tại điểm tới hạn phía trước mà tại đó sự trao đổi nhiệt khá yếu do vận tốc nhỏ, trạng thái dừng đạt được rất chậm ; vì vậy những vật có đầu tù ít nguy hiểm so với những vật có mũi nhọn.

Ví dụ 7-4:

Dựa vào đồ thị trên hình vẽ, hãy tìm hệ số lực cản C_x của tấm phẳng bằng phương pháp Pônhausen mở rộng cho $n = 0,75$ và $n = 1$.



Giải :

Ta có hệ thức tích phân Karman :

$$\mu_l \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_l = \delta^* \rho_\infty u_\infty \frac{du_\infty}{dx} + \frac{d}{dx} (\delta^{**} \rho_\infty u_\infty^2)$$

Trong đó : δ^* , δ^{**} - chiều dày bị ép và chiều dày tổn thất xung lực.

Giả sử đặt:
$$C = u_\infty \frac{d}{dx} \left(\rho_\infty \frac{\delta^{**2}}{\mu_l} \right)$$

Khi đó với giá trị của thông số:

$$\xi = \frac{\rho_\infty \delta^{**2}}{\mu_l} \cdot \frac{du_\infty}{dx} = 0$$

từ hệ tích phân Karman trên ta được:

$$C_x \sqrt{Re_\infty} = 2 \sqrt{C \left(\frac{T_l}{T_\infty} \right)^n}$$

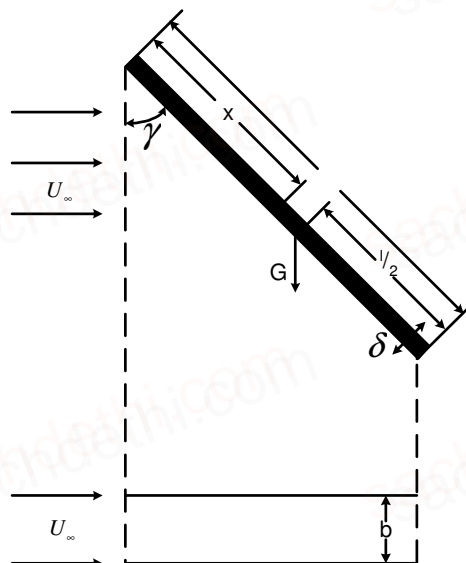
Từ đồ thị trên ví dụ 7-2 ta thấy các giá trị của biểu thức trên sẽ gần bằng 1,3. Đại lượng C được xác định nhờ đồ thị của phương pháp Pônhausen mở rộng (Hình đồ thị trong ví dụ). Kết quả cuối cùng ta sẽ tính được giá trị các thông số sau đây:

M_∞	C	$\frac{T_l}{T_\infty}$	$C_x \sqrt{Re_\infty}$	
			$n = 1$	$n = 0,75$
0	0,44	1,0	1,33	1,33
1	0,39	1,2	1,37	1,34
2	0,30	1,8	1,47	1,36

Ví dụ 7-5:

Kim chỉ vận tốc gió của chong chóng là bản phẳng hình khối chữ nhật có kích thước $b \times l \times \delta$ (b – chiều rộng, l – chiều dài, δ – độ dày) quay quanh trục O theo phương ngang. Trục này trùng với chiều rộng b của bản phẳng, bỏ qua lực ma sát.

Biểu diễn vận tốc U_∞ phụ thuộc vào góc lệch của tấm bản với phương thẳng đứng, khi lấy khoảng cách x từ tâm bản đến mũi trước của bản theo công thức thực nghiệm $x = l(0,2 + 0,3 \cos \alpha)$.



Giải:

Áp lực gió tác dụng lên tấm phẳng (có diện tích $l \times b$):

$$P = C_x l b \rho_{kk} \frac{U_\infty^2}{2}$$

Trong đó: C_x – hệ số cản của tấm;

ρ_{kk} – khối lượng riêng của không khí.

Trọng lượng của tấm báo tốc độ gió:

$$G = \gamma_d \cdot b \cdot l \cdot \delta$$

Phương trình cân bằng lực tác dụng lên tấm:

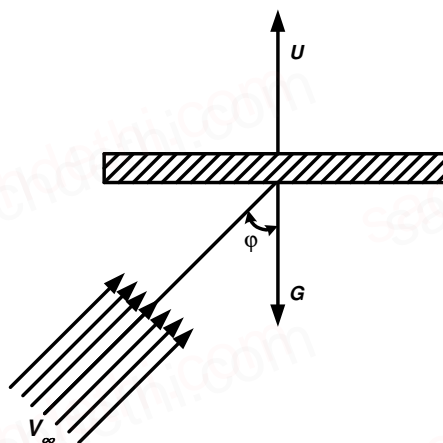
$$P \cdot x = G \cdot \sin \alpha$$

Sau khi thay giá trị của các đại lượng P , G và x vào; cuối cùng rút ra:

$$U_\infty = \sqrt{\frac{\delta \gamma_d \sin \alpha}{C_x \rho_{kk} l (0,2 + 0,3 \cos \alpha)}}$$

Ví dụ 7-6.

Dòng không khí thổi lên hợp với phương thẳng đứng một góc φ giữ cho bản phẳng nằm ngang có diện tích S và trọng lượng G luôn luôn ở vị trí bay lơ lửng ($U = 0$). Bỏ qua lực ma sát và giả sử hệ số cản toàn phần C_φ phụ thuộc vào góc φ , xác định vận tốc dòng không khí V_∞ và công suất cần thiết N .



Giải:

Áp lực P dòng khí tác dụng lên tấm phẳng sẽ hướng thẳng góc với tấm (vì bỏ qua ma sát):

$$P = C_\varphi \omega \gamma_{kk} \frac{U_\infty^2}{2g}$$

Trong đó: γ_{kk} - trọng lượng riêng của không khí.

Chú ý rằng ảnh hưởng của góc φ đến áp lực khi tác dụng lên tấm được kể đến trong hệ số cản C_φ .

Xét điều kiện cân bằng lực khi tấm phẳng nằm lơ lửng ta có: $G = P$

$$\text{Do đó: } G = C_\varphi \gamma_{kk} \omega \frac{U_\infty^2}{2g}$$

$$\rightarrow U_\infty = \sqrt{\frac{2gG}{C_\varphi \omega \gamma_{kk}}}$$

$$\text{Công suất dòng khí: } N = \frac{mU_\infty^2}{2}$$

Trong đó: m – khối lượng giây của dòng khí ($m = \omega \varphi_{kk} U_\infty \cos \varphi$)

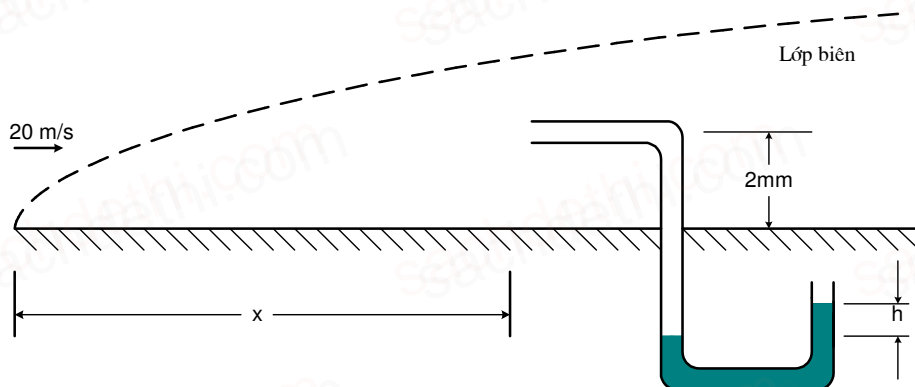
$$N = \frac{G}{C_\varphi} \sqrt{\frac{2gG}{C_\varphi \omega \gamma_{kk}}} \cos \varphi$$

Bài tập 7-1.

Không khí ở nhiệt độ 20°C , áp suất 1 atm chuyển động với vận tốc 20 m/s qua tấm phẳng (hình vẽ). Có ống đo áp đặt cách 2 mm so tấm phẳng, chiều cao cột dầu ($\rho = 825\text{ kg/m}^3$) $h = 16\text{ mm}$.

Xác định vị trí đặt của ống đo áp x theo chiều dòng chảy. Giả thiết dòng chảy tầng.

Đáp số: $x = 0,908\text{ m}$



Bài tập 7-2.

Có một bể chứa nước của hệ thống cấp nước sinh hoạt, độ sâu $2,5\text{ m}$, nhiệt độ 20°C dòng chảy qua bể liên tục với vận tốc 35 m/s .

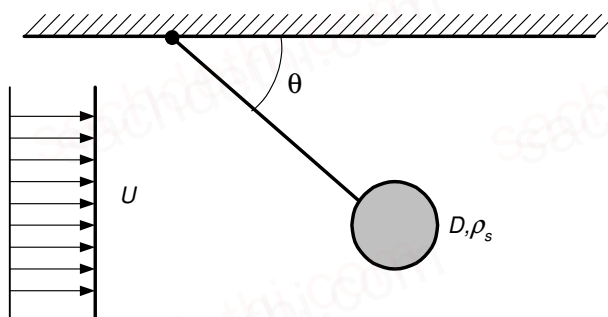
Xác định chiều dài nhỏ nhất L của bể chứa để cho cặn lắng ($\rho = 2545\text{ kg/m}^3$) lắng xuống đáy trong 2 trường hợp:

- Đường kính hạt cặn lớn hơn 1 mm ;
- Đường kính hạt cặn lớn hơn $100\text{ }\mu\text{m}$.

Đáp số: a) $L = 6,3\text{ m}$;
b) $L = 120\text{ m}$;

Bài tập 7-3.

Một quả cầu treo nghiêng 1 góc θ khi đặt trong dòng chảy với vận tốc u (hình vẽ). Xác định biểu thức θ biểu diễn quan hệ giữa quả cầu và dòng chảy ổn định. θ bằng bao nhiêu nếu quả cầu làm bằng thép ($\rho = 7844\text{ kg/m}^3$) đường kính 3 cm và vận tốc dòng khí $u = 40\text{ m/s}$. Bỏ qua ảnh hưởng của dây.



Đáp số: $\theta = 72^{\circ}$

Câu hỏi ôn tập chương VII

1. Lực cản.
2. Lớp biên (định nghĩa, chiều dày bị ép , chiều dày tổn thất xung lực).
3. Các phương pháp lớp biên.
4. Một số bài toán lớp biên.
5. Lớp biên nhiệt độ.

Chương 8

DÒNG TIA

Trong chương này tìm hiểu các đặc trưng thủy khí động cơ bản của dòng tia và cách tính toán một số trường hợp dòng tia đơn giản thường gặp trong kỹ thuật.

8.1. KHÁI NIỆM VỀ DÒNG TIA

8.1.1. Định nghĩa - phân loại

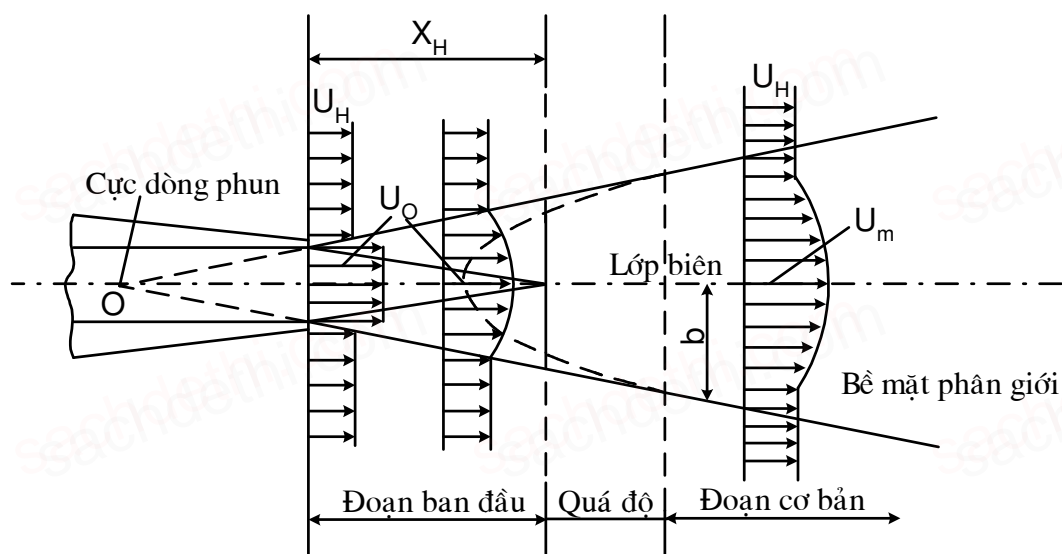
Dòng chất lỏng khi chảy ra khỏi vòi phun và được phun vào môi trường chất lỏng hay chất khí thì gọi là dòng tia.

Dòng tia chất lỏng chuyển động trong môi trường chất lỏng là dòng tia ngập (hay còn gọi là luồng). Ví dụ dòng tia nước từ vòi đặt ngầm dưới mặt nước sông để phá đất, nạo vét lòng sông.

Dòng tia chất lỏng chuyển động trong môi trường khí là tia tự do, ví dụ : dòng tia nước của vòi chữa cháy, của máy tưới ..

Trạng thái chảy trong dòng tia có thể là chảy tầng hoặc chảy rối, nhưng trong thực tế thường gặp chảy rối. Vì vậy dưới đây chúng ta chỉ nghiên cứu một số tính chất của dòng tia ở trạng thái chảy rối.

8.1.2. Dòng tia ngập



Hình 8-1 . Mô hình cấu trúc dòng tia ngập

Là dòng tia được phun vào trong môi trường cùng loại hoặc khác loại. Khi dòng tia chuyển động, do tính nhớt và sự mạch động vận tốc của dòng chảy rối xuất hiện các xoáy ốc ở chỗ tiếp giáp của dòng tia và môi trường xung quanh, các xoáy này làm cho một phần chất lỏng của môi trường bị lôi kéo theo dòng tia, đồng thời lại gây tác dụng kìm hãm

chuyển động của dòng tia. Vì vậy dòng tia ngập loc rộng dần rồi phân tán vào môi trường chất lỏng bao quanh (Hình 8-1).

a) Dựa vào biểu đồ phân bố vận tốc trên các mặt cắt ngang, người ta chia dòng tia ra làm 2 phần: lõi và lớp biên chảy rối.

Lõi: là phần trong cùng, trong đó vận tốc U_o trên các mặt cắt ngang dòng tia không đổi.

Lõi bắt đầu từ miệng vòi phun đến mặt cắt giới hạn (quá độ) trên đó chỉ có điểm trên trục dòng tia là có vận tốc bằng vận tốc ban đầu tại miệng vòi. Đường giới hạn lõi là đường thẳng (xác định theo thực nghiệm).

Lớp biên chảy rối: là phần được giới hạn bởi lõi và môi trường bao quanh dòng tia, trong đó vận tốc biến đổi liên tục cho đến khi bằng vận tốc môi trường bên ngoài. Đường giới hạn lớp biên chảy rối với môi trường bao quanh là đường gần như thẳng (theo thực nghiệm tính toán).

b) Theo chiều dài dòng tia ngập có thể chia làm 3 đoạn:

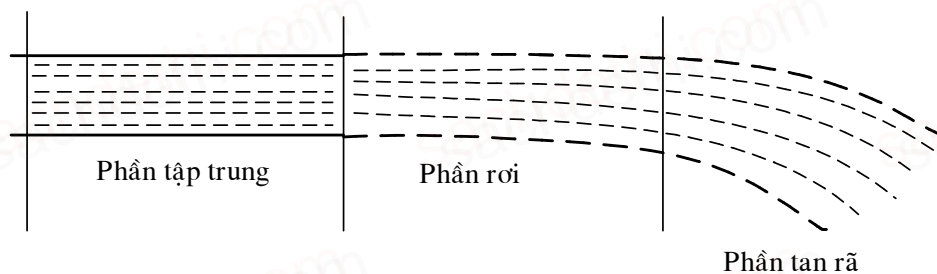
Đoạn đầu: từ miệng vòi phun cho đến mặt cắt quá độ tức là mặt cắt kết thúc lõi dòng tia. Trong đoạn đầu có lõi và một phần của lớp biên chảy rối quanh lõi.

Đoạn cơ bản: từ mặt cắt giới hạn trở đi. Dòng tia chỉ gồm lớp biên chảy rối trong đó vận tốc giảm dần dọc theo trục dòng tia.

Giữa đoạn đầu và đoạn cơ bản có một đoạn quá độ rất ngắn.

8.1.3. Dòng tia không ngập

Quan sát một dòng tia không ngập, ví dụ một tia nước từ một vòi hình trụ tròn phun vào không khí ta thấy có ba phần rõ rệt (Hình 8-2).



Hình 8-2. Sơ đồ cấu trúc dòng tia không ngập

Phần tập trung: dòng tia vẫn giữ nguyên hình trụ tròn, chất lỏng vẫn liên tục.

Phần rời rạc: dòng tia mở rộng hơn, sự liên tục của chất lỏng bị phá hoại.

Phần tan rã: dòng tia tan rã thành những hạt nhỏ, gián đoạn.

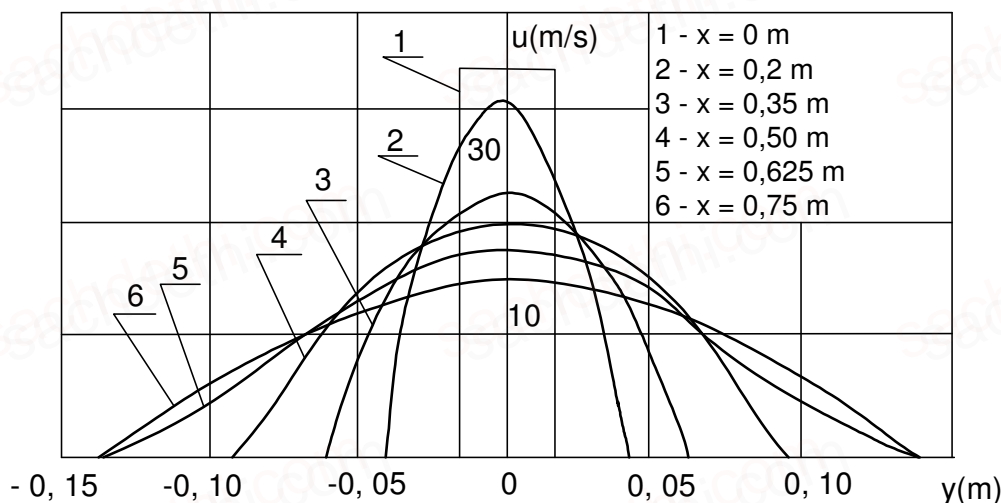
Dòng tia tự do được sử dụng nhiều trong kỹ thuật như súng thủy lực dùng phá đất, khai thác than, dòng tia chữa cháy..., những loại này cần dùng phần tập trung của dòng tia. Nhưng khi cần phun hạt nước nhỏ để tưới thì lại phải lợi dụng phần tan rã.

8.2. CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY KHÍ ĐỘNG CƠ BẢN CỦA DÒNG TIA

8.2.1. Sự phân bố các thông số thủy khí động theo tiết diện ngang của dòng tia

Nhiều nghiên cứu về lý thuyết tính toán cũng như những kết quả thực nghiệm đã rút ra những nhận xét về dòng tia rối tự do như sau:

- Tại mỗi điểm trên tiết diện dòng tia thành phần vận tốc theo phương ngang (y) rất nhỏ so với thành phần vận tốc theo phương dọc (x). Do đó trong tính toán thực tế có thể bỏ qua thành phần vận tốc theo phương ngang.
- Profil vận tốc biến dạng liên tục dọc theo trục x và kéo theo sự thay đổi liên tục các thông số thủy khí động khác. Ở những tiết diện càng xa so với tiết diện ban đầu của dòng tia thì profil vận tốc đồng dạng với profil vận tốc ở những tiết diện trước nó (theo Fetman, Gavin, Naumov..)



Hình 8-3. Phân bố profil vận tốc tại tiết diện khác nhau theo trục dòng phun

Trên hình 8-3 biểu diễn kết quả nghiên cứu thực nghiệm của Fetman về sự biến dạng của profil vận tốc tại những tiết diện khác nhau của dòng tia rối phẳng dọc theo trục dòng tia.

- Profil giá trị dư của vận tốc, nhiệt độ và nồng độ tạp chất được xây dựng theo các toạ độ không thứ nguyên, có thể dùng các hàm giải tích gần đúng viết dưới dạng đa thức có bậc của các toạ độ ngang không thứ nguyên để mô tả; chẳng hạn có thể dùng hàm giải tích gần đúng của silichting $f(\eta)$.

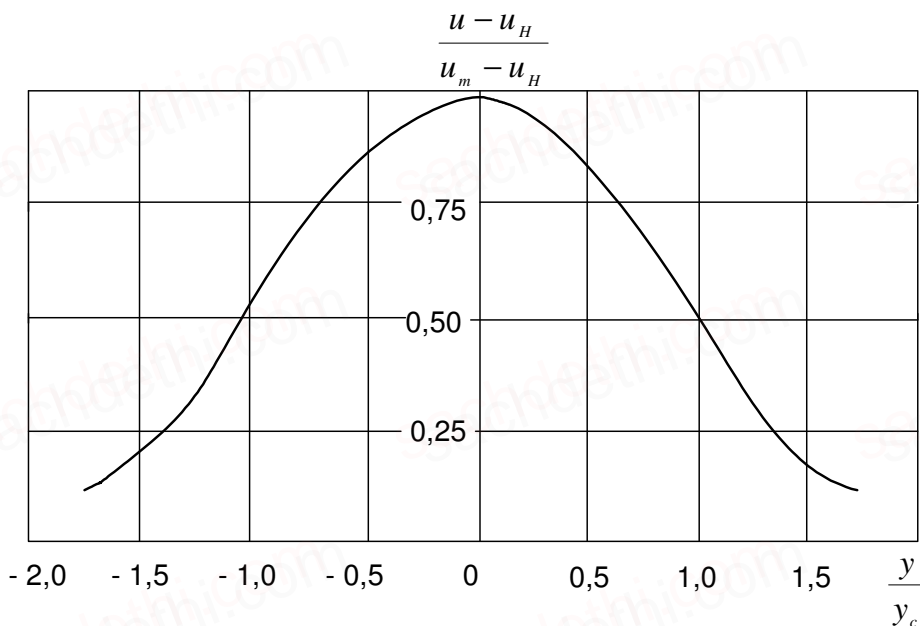
Trên hình 8-4 biểu diễn profil vận tốc dạng tổng hợp của dòng tia xây dựng theo các toạ độ không thứ nguyên.

Để mô tả profil dạng tổng hợp của vận tốc có thể dùng các hàm giải tích gần đúng viết dưới dạng đa thức có bậc của các toạ độ ngang không thứ nguyên, chẳng hạn dùng hàm giải tích gần đúng của Slichting $f(\eta)$.

Đối với đoạn cơ bản của dòng tia ta có:

+ Hàm biểu diễn profil vận tốc :

$$\frac{u - u_H}{u_m - u_H} = f(\eta) = (1 - \eta^{3/2})^2 \quad (8-1)$$



Hình 8-4. Biểu diễn profile vận tốc dòng phun theo tọa độ không thứ nguyên

trong đó: $\eta = \frac{y}{b}$

y – tọa độ ngang của điểm có vận tốc u ;

b – bề rộng (hoặc bán kính) của tiết diện dòng tia.

+ Hàm biểu diễn sự phân bố nhiệt độ:

$$\frac{T - T_H}{T_m - T_H} = (1 - \eta^{3/2})^{P_r} \quad (8-2)$$

trong đó: P_r - Trị số rớt Prandtl, phụ thuộc vào tỷ số giữa nhiệt lượng tiêu phí do ma sát rớt và nhiệt lượng sản sinh ra do sự xáo trộn.

Theo thực nghiệm: $P_r = 0,8$ đối dòng tia đối xứng.

$P_r = 0,5$ đối dòng tia phẳng.

+ Hàm phân bố nồng độ tạp chất trên tiết diện dòng tia.

$$\frac{\chi - \chi_H}{\chi_m - \chi_H} = \frac{T - T_H}{T_m - T_H} = (1 - \eta^{3/2})^{P_r} \quad (8-3)$$

Trong đó: $\chi = \frac{G_{tc}}{G + G_{tc}}$ - Nồng độ trọng lượng tạp chất

G_{tc} - Trọng lượng tạp chất.

$G + G_{tc}$ - Trọng lượng toàn hỗn hợp.

Chú ý: Qui luật phân bố nồng độ tạp chất dạng (8-3) chỉ phù hợp tốt với các số liệu thực nghiệm khi nồng độ tạp chất trong dòng tia tương đối bé.

8.2.2. Qui luật mở rộng dòng tia (dọc theo trục x)

Để giải quyết vấn đề này có thể tiến hành theo nhiều phương pháp. Tuy nhiên phương pháp thông dụng và đơn giản hơn cả là dùng lý thuyết tương tự kết hợp với các số liệu thực nghiệm.

Theo giả thuyết Prandtl đối với dòng rối ta có:

$$V' \sim l \frac{du}{dg} \sim \frac{db}{dt} \quad (8-4)$$

trong đó : V' - Thành phần mạch động vận tốc ngang;

l - Chiều dài đường rối;

u - Thành phần vận tốc dọc (theo trục x).

Từ đó xác định được qui luật tăng bề rộng của dòng tia biểu diễn dưới dạng:

$$\frac{1}{C} \frac{db}{dx} = \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|} \quad (8-5)$$

trong đó : C - Hệ số xác định bằng thực nghiệm.

- Trường hợp $u_1 = \text{Const}$, $u_2 = \text{Const}$ thì bề rộng dòng tia tỷ lệ với khoảng cách x:

$$\frac{db}{dx} = \text{const} \quad \rightarrow \quad b = c_1 x \quad (8-6)$$

trong đó :

$$C_1 = C \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|}$$

đối với dòng tia ngập ($u_2 = 0$) : $b_z = cx \quad (8-7)$

- Trường hợp tổng quát ($u_2 \neq 0$) thì bề rộng dòng tia được xác định theo các kết quả rút ra từ các biểu thức (8-5), (8-6) và (8-7):

$$\frac{b}{b_z} = \frac{c_1 x}{cx} = \frac{|u_1 - u_2|}{|u_1| + |u_2|} \quad (8-8)$$

(có thể xem thêm ở [5], [17])

8.3. MỘT SỐ VÍ DỤ VỀ TÍNH TOÁN DÒNG TIA NGẬP ĐỐI XỨNG

8.3.1. Dòng tia rối ngập tự do

Trên kia chúng ta đã tiến hành khảo sát tổng quát đối với dòng tia. Để cụ thể hoá chúng ta khảo sát một trường hợp dòng tia ngập đối xứng sau đây:

Điều kiện xét:

- Đồng nhiệt;
- Dòng tia đối xứng, miệng vòi phun tròn (bán kính R_o);
- Sự phân bố các thông số dòng chảy tại tiết diện ban đầu của dòng phun (tại miệng vòi phun) là đều;
- Dòng phun đồng chất (không có tạp chất);
- Dòng phun đẳng áp ($p = const$): thực tế điều kiện này thỏa mãn vì trong dòng phun áp suất tĩnh hầu như không đổi và bằng áp suất tĩnh trong môi trường ngoài.

a) Xét qui luật biến đổi vận tốc và sự mở rộng của lớp biên dọc theo trục dòng tia (xét trên đoạn cơ bản của dòng tia).

Vì áp suất tĩnh tại mọi điểm trong dòng tia là không đổi nên từ nguyên lý bảo toàn động lượng ta thấy rằng: động lượng của chất lỏng tính trên một đơn vị thời gian có trị số như nhau tại mọi mặt cắt:

$$\int_{\omega} \rho u^2 d\omega = \rho u \omega_o \quad (8-9)$$

trong đó : $\omega_o = \pi R_o^2 (2b_o.l)$ - diện tích tiết diện đầu (tiết diện vòi phun) ;

$\omega = \pi R^2 (2b_o.l)$ - diện tích tiết diện dòng tia tại điểm xét ;

$d\omega = 2\pi r dr$ ($2dy$) - diện tích tiết diện của dòng tia nguyên tố.

Do đó với dòng tia đối xứng ta có :

$$2\pi \int_o^R \rho u^2 r dr = \pi \rho u_o^2 R_o$$

Đặt $\eta = r/R$ phương trình trên dưới dạng không thứ nguyên sẽ là:

$$\begin{aligned} 2 \int_o^{R/R_o} \left(\frac{u}{u_o} \right) \left(\frac{r}{R_o} \right) d \left(\frac{r}{R_o} \right) &= 1 \\ 2 \left(\frac{u_m}{u_o} \right)^2 \left(\frac{R}{R_o} \right)^2 \int_o^1 \left(\frac{u}{u_m} \right) \left(\frac{r}{R} \right) d \left(\frac{r}{R} \right) &= 1 \\ 2 \left(\frac{u_m}{u_o} \right)^2 \left(\frac{R}{R_o} \right)^2 \int_o^1 \left(\frac{u}{u_m} \right)^2 \eta d\eta &= 1 \end{aligned} \quad (8-10)$$

Thay $\frac{u}{u_{\max}} = f_1(\eta)$ từ (8-1) vào tích phân trên ta sẽ tính được giá trị của tích phân:

$$\int_o^1 f_1(\eta) \eta d\eta = 0,0464$$

Thay giá trị của biểu thức tích phân trên vào (8-10) ta có:

$$\frac{R}{R_o} = 3,3 \frac{u_o}{u_m}$$

hay:
$$u_m = \frac{Const}{R} \quad (8-11)$$

Tương tự đối với luồng phẳng ta có:

$$\left(\frac{u_m}{u_o}\right)^2 \left(\frac{b}{b_o}\right)^2 \int_0^1 \left(\frac{u}{u_m}\right)^2 d\eta = 1$$

$$\frac{b}{b_o} = \frac{1}{1,65} \left(\frac{u_o}{u_m}\right)^2$$

hay:
$$u_m = \frac{Const}{\sqrt{b}} \quad (8-12)$$

b) Các đặc trưng động học của dòng tia rời ngập tự do

Lưu lượng của dòng tia:

$$Q = \int_{\omega} dQ = 2\pi \int_0^R u r dr$$

Biến đổi ta có:

$$Q = 2\pi u_m R^2 \int_0^1 \frac{u}{u_m} \frac{r}{R} d\left(\frac{r}{R}\right) = 2\pi R_o^2 u_o \frac{u_m}{u_o} \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \int_0^1 \frac{u}{u_m} \eta d\eta$$

trong đó: $Q_o = \pi R_o^2 u_o$ - lưu lượng qua tiết diện ban đầu của vòi phun.

Cuối cùng ta rút ra:

$$\frac{Q}{Q_o} = 2,13 \frac{u_o}{u_m} \quad (8-13)$$

Quy luật tắt dần của vận tốc dọc trục dòng tia:

Phương trình đường biên của dòng tia trong dòng tia ngập đối xứng có dạng:

$$R = Cx \quad (8-14)$$

Trong những nghiên cứu về dòng tia, người ta thường chia hệ số C ra hai phần tương ứng đoạn ban đầu (C không biến đổi) và đoạn cơ bản ($C = 3,4a$ - trong đó $a \approx 0,06 \div 0,09$ theo tài liệu thực nghiệm).

Từ phương trình (8-11) ta có:

$$\frac{R}{R_o} = \frac{3,4x}{R_o} = 3,3 \frac{u_o}{u_m} \quad (8-14)$$

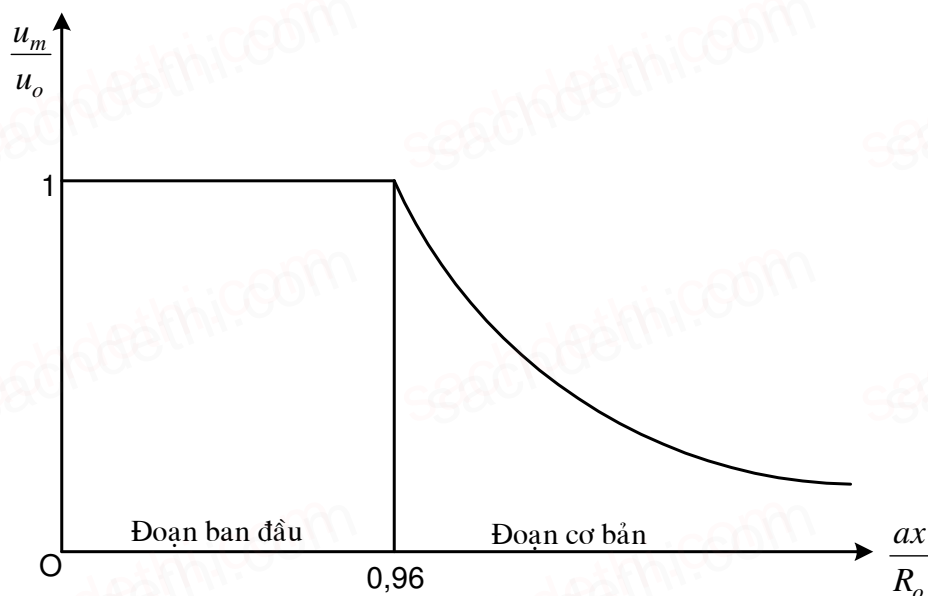
$$\frac{u_m}{u_o} = \frac{3,3R_o}{3,4ax} = 0,96 \frac{R_o}{ax} \quad (8-15)$$

Từ biểu thức (8-15) ta thấy vận tốc trên trục dòng tia tắt dần theo quy luật hypecbol (Hình 8-5).

Chiều dài giới hạn ban đầu x_{bd} và độ sâu h_o của cực dòng phun

Sử dụng phương trình (8-15) để xác định hoành độ x_{bd} với chú ý rằng tại tiết diện quá độ $u_m = u_o$, ta có:

$$x_{bd} = \frac{0,96}{a} R_o \quad (8-16)$$



Hình 8-5. Qui luật phân bố vận tốc dọc trục dòng tia

Chiều sâu cực dòng phun h_o được xác định từ biểu thức:

$$\frac{R}{R_o} = \frac{3,4ax}{R_o} \quad (8-17)$$

Chú ý đến điều kiện biên: Khi $x = h_o$ thì $R = R_o$; do đó ta rút ra:

$$h_o = \frac{R_o}{3,4a} = 4,15 R_o \quad (8-18)$$

trong đó: $a = 0,07$ - hệ số thực nghiệm.

Khoảng cách từ tiết diện mũi phun đến cuối lõi dòng tia (tiết diện quá độ):

$$x_H = x_{bd} - h_o = 9,57 R_o \quad (8-19)$$

Bảng dưới đây là công thức tính toán đối với dòng tia đối xứng và phẳng ngập theo công thức của Abramovich

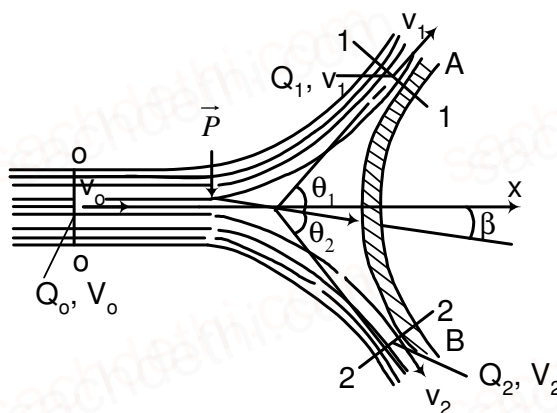
Bảng 8-1.

Các thông số	Trị số và công thức	
	Dòng tia đối xứng	Dòng tia phẳng
a	0,07	0,09

h_o	$0,29 \frac{R_o}{a}$	$0,41 \frac{b_o}{a}$
x_H	$0,67 \frac{R_o}{a}$	$1,03 \frac{b_o}{a}$
R, b	$\left[3,4 \frac{a(x-h_o)}{R_o} + 1 \right] R_o$	$\left[2,4 \frac{a(x-h_o)}{R_o} + 1 \right] b_o$
u_m	$\frac{0,96 u_o}{\frac{a(x-h_o)}{R_o} + 0,29}$	$\frac{1,2 u_o}{\sqrt{\frac{a(x-h_o)}{R_o} + 0,41}}$
Q	$2,2 Q_o \left[\frac{a(x-h_o)}{R_o} + 0,29 \right]$	$1,2 Q_o \left[\sqrt{\frac{a(x-h_o)}{R_o} + 0,41} \right]$

8.3.2. Áp lực của dòng tia lên mặt rắn

Dòng tia thoát ra từ lỗ hoặc vòi có trục nằm ngang $x-x$ gặp trên đường đi của nó vật cản dưới nước dạng mặt rắn cố định AB (Hình 8-6) sẽ chia thành hai nhánh chảy dọc theo vật rắn có phương hợp với trục x một góc θ_1 và θ_2 . áp lực \vec{P} của dòng tia tác dụng lên thành hợp với dòng tia một góc β , ngược lại dòng tia chịu một phản lực \vec{R} của vật chắn ($\vec{R} = -\vec{P}$).



Hình 8-6

Áp dụng phương trình động lượng cho đoạn dòng chảy được xác định bởi các mặt 0-0; 1-1 và 2-2 ta có:

$$\vec{R} + m_o \vec{v}_o = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (8-20)$$

hay hình chiếu lên trục x :

$$R \cos \beta = m_1 v_1 \cos \theta_1 + m_2 v_2 \cos \theta_2 - m_o v_o$$

trong đó $m_o = Q_o v_o$; $m_1 = Q_1 v_1$; $m_2 = Q_2 v_2$ là khối lượng chất lỏng đi qua mặt cắt 0-0; 1-1 và 2-2 trong một đơn vị thời gian.

Từ đó ta có:

$$P = -R = \frac{\rho(Q_o v_o - Q_1 v_1 \cos \theta_1 - Q_2 v_2 \cos \theta_2)}{\cos \beta} \quad (8-21)$$

• Trường hợp thành phẳng đặt vuông góc với trục x , khi đó $\theta_1 = \theta_2$ ta có $Q_1 = Q_2 = Q_o/2$; $v_1 = v_2 = v_o$ và:

$$P = \rho Q_o v_o \quad (8-22)$$

thực tế thì áp lực này bé hơn :

$$P_{thực} = (0,092 \div 0,95)P$$

- Trường hợp thành đối xứng với $\theta_1 = \theta_2 = 0$ ta có $Q_1 = Q_2 = Q_o/2$; $v_1 = v_2 = v_o$ và:

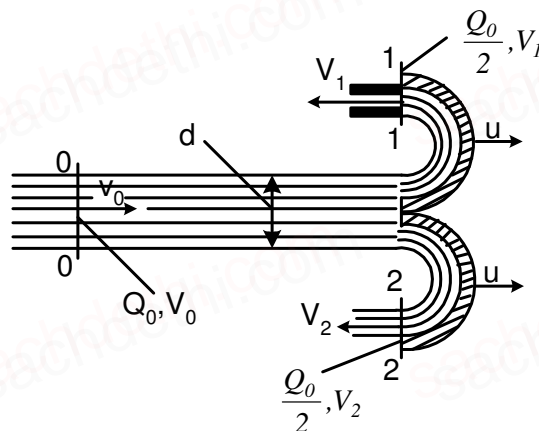
$$P = \rho Q_o v_o (1 - \cos \theta) \quad (8-23)$$

nếu $\theta = 180^\circ$ (Hình 8-7) khi đó :

$$P = 2\rho Q_o v_o \quad (8-24)$$

So sánh kết quả (8-22) với (8-24) ta thấy áp lực dòng tia tác dụng lên mặt lõm đối xứng gồm 2 nửa hình trụ (hay cầu) bằng 2 lần áp lực lên thành phẳng.

Áp lực luồng được sử dụng làm quay bánh xe nước và các tuabin kiểu xung kích (tuabin giàu).



Hình 8-7.

- Trường hợp thành chuyển động với vận tốc u theo phương của v_o ta có :

$$P = \rho Q(v_o - u) \quad (8-25)$$

Vì vật chắn vuông góc với dòng tia nên công suất N của dòng tia cung cấp cho vật chắn sẽ là:

$$N = Pu = \rho Q_o(v_o - u)u \quad (8-26)$$

Công suất này lớn nhất khi:

$$\frac{dN}{du} = \rho Q_o(v_o - 2u) \quad \text{hay} \quad u = \frac{v_o}{2}$$

và:

$$N_{max} = \frac{1}{4} \rho Q_o v_o^2 = \frac{1}{2} \frac{\rho Q_o v_o^2}{2} \quad (8-27)$$

Biểu thức này cho thấy: công suất truyền lớn nhất bằng nửa động năng dòng tia.

- Trong trường hợp cánh cong với $\theta_1 = \theta_2 = 180^\circ$; $u = v_o/2$; áp lực của dòng tia là:

$$P = \rho Q_o v_o^2 \quad (8-28)$$

và công suất lớn nhất là:

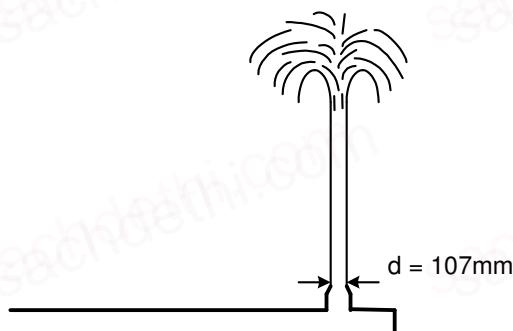
$$N_{max} = \rho Q_o \frac{v_o^2}{2} \quad (8-29)$$

cho thấy công suất dòng tia được sử dụng toàn bộ - tuabin cánh cong tận dụng được toàn bộ công suất dòng chảy.

8.4. VÍ DỤ – BÀI TẬP

Ví dụ 8-1:

Bỏ qua tổn thất cột nước do ma sát không khí, tính áp suất, lưu lượng và công suất cần thiết phải cấp để cho dòng nước phun có đường kính ban đầu $d = 107 \text{ mm}$, phun thẳng đứng lên tới độ cao $H = 156 \text{ m}$. Cho $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Hình vẽ).



Giải:

1- Bỏ qua động năng trong ống cấp nước (nằm ngang), áp dụng phương trình Bernoulli viết cho hai mặt cắt 1-1 và 2-2 ở đỉnh dòng phun mà tại đó $v = 0$, ta được:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + 0 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$$

Nếu p_1 là áp suất dư thì $p_{2\text{ dư}} = 0$, do đó:

$$\frac{p_1}{\gamma} = z_2 - z_1 = H = 156 \text{ m}$$

$$p_1 = \rho g H = 156 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 15,29 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

2- Lưu lượng nước được tính đối mặt cắt gốc của dòng tia (áp suất tuyệt đối tại mặt cắt này bằng áp suất môi trường khí bao quanh, tức là bằng áp suất khí quyển, do đó áp suất dư bằng không) và mặt cắt 2-2, ta được:

$$\frac{v_0^2}{2g} = H ; \quad v_0 = \sqrt{2gH} = 55,3 \text{ m/s}$$

$$\text{Lưu lượng : } Q = 55,3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,107^2}{4} \approx 0,500 \text{ m}^3/\text{s} \approx 500 \text{ l/s}$$

Kết quả này cũng có thể tính được bằng cách viết phương trình Bernoulli cho hai mặt cắt (mặt cắt 1-1 và mặt cắt gốc của dòng tia 3-3). Quả vậy, nếu coi $z_1 \approx z_3$, ta được:

$$\frac{p_1}{\rho g} = H = \frac{v_3^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

và đi đến kết quả trên.

3- Công suất thủy lực cần thiết được tính theo công thức:

$$N = \gamma Q H = p_1 Q = 15,29 \cdot 10^5 \cdot 0,5 = 765 \text{ kW}$$

Thực tế do có ma sát với không khí nên chiều cao nói trên của dòng phun chỉ đạt tới $H' \approx 130 \text{ m}$, do đó hiệu suất cột nước của dòng phun là:

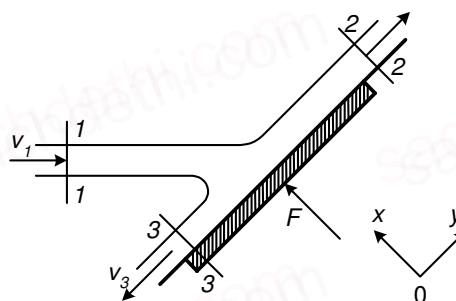
$$\frac{H'}{H} = \frac{130}{156} = 83,3\%$$

Mặt khác, công suất thực tế là $N' = 1020 \text{ kW}$, do đó hiệu suất năng lượng là:

$$\frac{N}{N'} = \frac{765}{1020} = 75\%$$

Ví dụ 8-2:

Một dòng tia có lưu lượng Q_0 , diện tích S , đập vào một tấm chắn tròn nhẵn cố (Hình vẽ). Bỏ qua tổn thất cột nước và trọng lượng khối chất lỏng. Xác định lực đẩy của tia nước lên tấm chắn.



Giải:

Xét khối chất lỏng nằm trong thể tích kiểm tra như hình vẽ. Khối chất lỏng chịu tác dụng của ngoại lực sau:

+ Trọng lực G ;

+ Áp lực tại các mặt cắt 1-1, 2-2 và 3-3. Dòng chảy tại 3 mặt cắt trên là dòng tia nên áp suất tại tâm bằng áp suất khí trời, áp lực dư $P = p_0 S = 0$.

+ Phản lực \vec{F} của tấm chắn tác dụng lên chất lỏng (vì tấm chắn trơn nhẵn nên nếu chọn hệ toạ độ như hình vẽ, lực \vec{F} chỉ có thành phần F_x , còn $F_y = 0$). Áp dụng phương trình động lượng:

$$\sum \vec{F} = \vec{F} = \rho (Q_2 \alpha_{02} \vec{v}_2 + Q_3 \alpha_{03} \vec{v}_3 + Q_1 \alpha_{01} \vec{v}_1)$$

Xem vận tốc phân bố đều trên mặt cắt ướt nên: $\alpha_{01} = \alpha_{02} = \alpha_{03} = 1$.

Phương trình Becnuli viết cho một đường dòng đi từ 1-1 đến 2-2 và một đường dòng đi từ 1-1 đến 3-3 là:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g};$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g}.$$

Bỏ qua trọng lượng nên $z = 0$; do đó: $p_1 = p_2 = p_3 = p_a$ và $v_1 = v_2 = v_3 = v_0 = Q_0/S$.

Chiếu phương trình động lượng lên trục Ox :

$$F_x = \rho (0 + 0 + Q_0 v_0 \sin \alpha) = \rho Q_0 v_0 \sin \alpha$$

Vậy \vec{F} cùng chiều với trục Ox . Gọi \vec{R} là lực đẩy của tia nước lên tấm chắn:

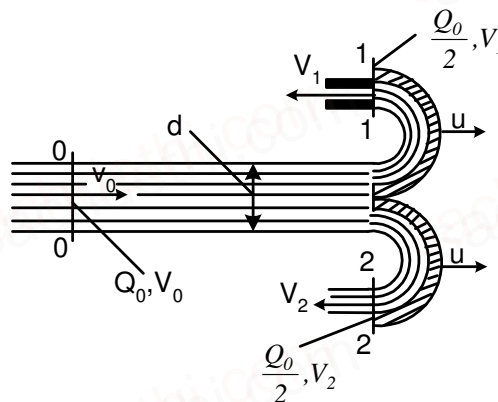
$$\vec{K} = -\vec{F}$$

Ví dụ 8-3:

Một tua bin Pelton làm việc dưới cột nước $H = 750 \text{ m}$. ở cuối đường dẫn cao áp có một vòi phun với đường kính $d = 180 \text{ mm}$ (Hình vẽ). Bỏ qua tổn thất cột nước, tính:

- 1- Lực đẩy của dòng tia lên gầu Pelton. Cho biết tốc độ của gầu là u .

Công suất hấp thụ bởi gầu Pelton. So sánh với công suất được tạo ra bởi cột nước



Giải:

- 1- Tính lực đẩy:

+ Vận tốc của dòng tia nước ra khỏi vòi được xác định bằng phương trình Becnuli viết cho hai mặt cắt 0-0 và 1-1:

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \frac{v_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$H + 0 + 0 = 0 + 0 + \frac{v_1^2}{2g}$$

$$v = v_1 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 750} = 121 \text{ m/s}$$

- + Lưu lượng nước ra khỏi vòi:

$$Q = v \cdot \omega = v \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 121,3 \cdot \frac{3,14 \cdot 1,18^2}{4} = 3,09 \text{ m}^3/\text{s}$$

- + Công suất tạo bởi cột nước:

$$N_n = \gamma Q H = 9810 \cdot 3,09 \cdot 750 = 22,7 \text{ kW}$$

Xét chuyển động của dòng tia đối với hệ tọa độ tương đối gắn liền với gầu: gầu đứng yên, tia nước đến gầu với vận tốc $v_0 = v - u$.

Viết phương trình động lượng cho chuyển động tương đối, ổn định của khối nước được giới hạn bởi các mặt cắt kiểm tra 0-0, 1-1 và 2-2:

Các lực tác dụng lên khối nước gồm:

+ Trọng lực \vec{G} theo phương z;

+ Phản lực \vec{F} lên tia nước.

Phương trình động lượng:

$$\vec{G} + \vec{F} = \rho(Q_1 \vec{v}_1 + Q_2 \vec{v}_2 - Q_0 \vec{v}_0)$$

Chiếu xuống hai trục x và y nằm ngang:

$$F_y = 0;$$

$$F_x = \rho(-Q_1 v_1 - Q_2 v_2 - Q_0 v_0)$$

Do bỏ qua tổn thất cột nước nên ta có:

$$v_0 = v_1 = v_2 = v - u$$

$$Q_1 = Q_2 = \frac{Q_0}{2} = \frac{(v-u)\omega}{2}$$

$$\text{Vậy } F_x = -2\rho Q_1 (v-u) = -2\rho \omega (v-u)^2$$

F_x mang dấu trừ nên ngược chiều với trục x. Vậy gầu bị đẩy bởi lực R có phương ngược chiều với F_x :

$$R = 2\rho \omega (v-u)^2$$

Với $v = u/2$

$$R = \frac{1}{2} \rho \omega v^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,18^2}{4} \cdot 121,3^2 = 187 \text{ kN}$$

2- Công suất hấp thụ bởi gầu Pelton

Gầu chịu lực đẩy R, chuyển động với vận tốc u.

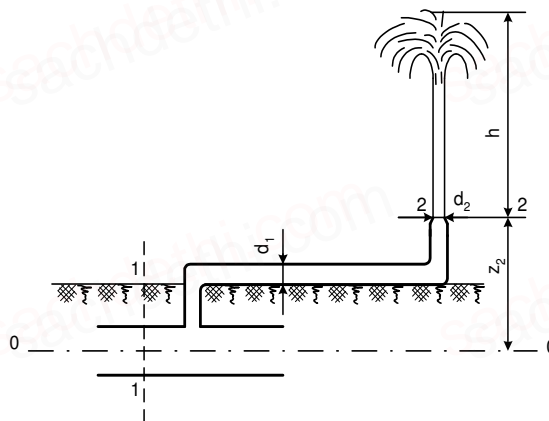
$$\text{Công suất của gầu là: } N_g = R \cdot u = 187 \cdot \frac{121,3}{2} = 11,3 \text{ kW}$$

$$\text{Công suất tạo bởi cột nước: } N_n = 22,7 \text{ kW}$$

Vậy công suất tạo nên bởi cột nước lớn gấp hai lần công suất hấp thụ bởi gầu.

Bài tập 8-1

Xác định chiều cao h của dòng tia vòi phun (Hình vẽ) và lưu lượng Q nếu áp suất dư trong đường ống có áp là $p = 2 \text{ at}$, khoảng cách từ đường ống có áp đến vòi phun $l = 50 \text{ m}$, đường kính ống dẫn $d_1 = 75 \text{ mm}$, đường kính vòi phun $d_2 = 25 \text{ mm}$, hệ số cản của vòi $\zeta = 0,08$. Vòi phun đặt cao hơn đường ống có áp $z_2 = 3 \text{ m}$.



Lưu lượng và chiều cao dòng tia sẽ thay đổi thế nào nếu lỗ vòi phun giảm xuống 19 mm , hay lấy hẳn vòi phun ra, chỉ còn ống dẫn.

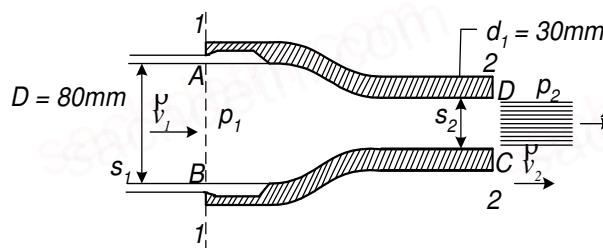
Bài tập 8-2:

Đầu vòi phun chữa cháy, có đường kính đầu vào $D = 80 \text{ mm}$, được vít chặt vào ống hình trụ có đường kính cũng bằng 80 mm . Khi đầu ra của vòi mở, lưu lượng nước thoát ra là $Q = 40 \text{ l/s}$ (Hình vẽ).

Xác định:

1- Cột nước làm việc của vòi;

Hợp lực của các lực tác dụng lên vít (lực này có khuynh hướng làm cho đầu vòi bật ra khỏi ống). Tính với hai trường hợp:



a - Khi đầu ra của vòi mở;

b - Khi đầu ra của vòi đóng.

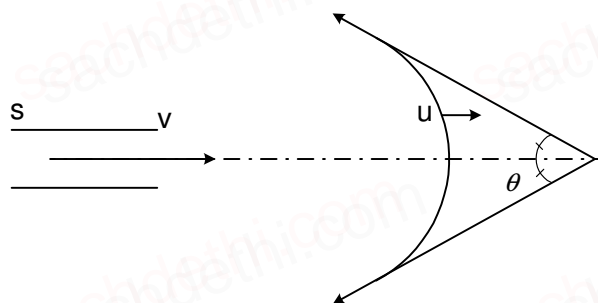
Bỏ qua trọng lượng nước và tổn thất cột nước trong đoạn đầu vòi. Lấy $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Đáp số: a - 5930 N

b - 8032 N

Bài tập 8-3:

Một dòng chất lỏng khối lượng riêng ρ , tiết diện s , phun thẳng góc vào một cánh cong nhẵn có dạng hình học đối xứng với dòng phun (Hình vẽ). Cánh cong có chuyển động với vận tốc u trên thiết bị hướng dòng, vận tốc dòng là v .



Xác định:

1- Lực tác dụng lên cánh F ; công suất N và hiệu suất η của dòng phun;

2- Quan hệ v/u ứng η_{\max} . Dạng hình học đơn giản của cánh để có η_{\max} .

Giải bài toán cho hai trường hợp:

- a- Cánh đơn;
- b- Dây cánh (dòng luôn đập vào 1 cánh)

Câu hỏi ôn tập chương VIII

1. Thế nào là tia ngập, không ngập?
2. Các đặc trưng thủy khí động cơ bản của dòng tia.
3. Một số ví dụ về tính toán dòng tia ngập đối xứng.

cf

Chương IX

CƠ SỞ LÝ THUYẾT THỨ NGUYÊN, TƯƠNG TỰ

Những lời giải chính xác (bằng phương pháp lý thuyết) của một số bài toán thủy khí động lực là rất hiếm. Trên thực tế, người ta sử dụng nhiều phương pháp thực nghiệm. Phương pháp mô hình hoá tương đối phổ biến. Nó dựa trên lý thuyết thứ nguyên và tương tự. Mô hình hoá là sự thay thế việc nghiên cứu hiện tượng của một đối tượng trên nguyên mẫu bằng việc nghiên cứu hiện tượng tương tự trên mô hình có kích thước bé hơn hay lớn hơn.

Ý nghĩa của phương pháp: dựa vào những kết quả thí nghiệm trên mô hình có thể kết luận về các hiện tượng xảy ra trên nguyên mẫu. Điều kiện sử dụng được những kết quả trên mô hình là khi tiến hành thí nghiệm phải tuân theo những qui luật nhất định của mô hình hoá. Những quy luật đó là những tiêu chuẩn tương tự.

Việc xác định các tiêu chuẩn tương tự hay là các đại lượng không thứ nguyên (các số) khi mô hình hoá các hiện tượng là một vấn đề rất phức tạp. Khi giải bài toán này có thể chia các hiện tượng nghiên cứu ra làm hai loại:

1. Những hiện tượng và các quá trình có thể được mô tả bằng các phương trình (như phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng trong ống trong khe hẹp v.v...). Khi đó các tiêu chuẩn tương tự được xác định dễ dàng như là các hệ số của phương trình viết dưới dạng không thứ nguyên.

2. Các quá trình và các hiện tượng chưa được mô tả bằng các phương trình. Khi đó lý thuyết duy nhất cho phép tìm các tiêu chuẩn tương tự là lý thuyết thứ nguyên.

9.1. LÝ THUYẾT THỨ NGUYÊN - ĐỊNH LÝ PI VÀ ỨNG DỤNG

9.1.1. Các đại lượng có thứ nguyên và không thứ nguyên

- Các đại lượng có thứ nguyên như độ dài, diện tích, vận tốc, áp suất ...
- Các đại lượng không thứ nguyên như góc đo bằng radiăng (rad), số Râyôn, Re, số Mack, M...

Định nghĩa: Đại lượng có thứ nguyên là đại lượng mà các giá trị bằng số của nó phụ thuộc vào hệ đơn vị đo lường do ta chọn.

Đại lượng không thứ nguyên là đại lượng mà các giá trị bằng số của nó không phụ thuộc vào hệ đơn vị đo lường do ta chọn.

Các định nghĩa nêu trên chỉ có tính chất tương đối (góc đo bằng radian và bằng độ).

9.1.2. Thứ nguyên

- Đơn vị cơ bản và đơn vị dẫn xuất

Các đại lượng vật lý được liên hệ với nhau bằng những biểu thức nhất định. Trong cơ học thường chọn 3 đại lượng cơ bản: độ dài L ; thời gian T ; khối lượng M và thiết lập cho chúng một đơn vị đo lường nào đó gọi là đơn vị cơ bản, như hệ đơn vị SI (m, s, kg), hệ đơn vị CGS (cm, gam, s)...

Đơn vị dẫn xuất là đơn vị biểu diễn qua đơn vị cơ bản như cm/s ; kg/m^3 ...

Thứ nguyên là biểu thức biểu diễn đơn vị dẫn xuất qua đơn vị cơ bản và được ký hiệu bằng dấu []. Ví dụ thứ nguyên của vận tốc $[L/T]$, của gia tốc $[L/T^2]$ v.v...

9.1.3. Công thức tổng quát của thứ nguyên

Lý thuyết thứ nguyên dựa trên hai định lý sau đây:

a) Tỷ số giữa hai giá trị bằng số của một đại lượng dẫn xuất bất kỳ nào đấy không phụ thuộc vào việc chọn các kích thước của hệ đơn vị cơ bản. Chẳng hạn như tỷ số giữa hai diện tích không phụ thuộc vào việc là chúng được đo trong hệ đơn vị nào.

Từ định lý này có thể suy ra công thức thứ nguyên tổng quát của các đại lượng vật lý:

$$a = L^l T^t M^m \quad (9-1)$$

Chẳng hạn như công thức thứ nguyên của vận tốc $[L/T]$ sẽ có $l = 1; t = 1; m = 0$; của gia tốc $[L/T^2]$: $l = 1, t = 2; m = 0$.

b) Biểu thức bất kỳ giữa các đại lượng có thứ nguyên có thể biểu diễn như biểu thức giữa các đại lượng không thứ nguyên. Đây chính là nội dung của định lý Pi (π) – Buckingham.

Biểu thức toán học của định lý này có thể biểu diễn dưới dạng sau: nếu đại lượng có thứ nguyên a là hàm của đại lượng độc lập với nhau có thứ nguyên $a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_n$, nghĩa là:

$$a = f(a_1, a_2, \dots, a_k, a_{k+1}, \dots, a_n) \quad (9-2)$$

Nếu $k \leq n$ là số các đại lượng có thứ nguyên cơ bản thì $(n+1-k)$ tổ hợp không thứ nguyên Pi của đại lượng có thứ nguyên ở trên có thể biểu diễn dưới dạng (theo (9-1)):

$$\pi = \frac{a}{a_1^{m_1} a_2^{m_2} \dots a_k^{m_k}};$$

$$\pi_1 = \frac{a_{k+1}}{a_1^{p_1} a_2^{p_2} \dots a_k^{p_k}}$$

.....

$$\pi_{n-k} = \frac{a_n}{a_1^{q_1} a_2^{q_2} \dots a_k^{q_k}},$$

Nghĩa là số tổ hợp bằng hiệu giữa số đại lượng có thứ nguyên và số thứ nguyên cơ bản.

Như vậy, trong hệ đơn vị mới biểu thức (9-2) có thể viết dưới dạng:

$$\pi = f(1, 1, \dots, 1, \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k})$$

Mỗi tổ hợp không thứ nguyên là một tiêu chuẩn tương tự. Có nghĩa là nếu đại lượng không thứ nguyên (ví dụ hệ số lực cản C_x) phụ thuộc n đại lượng, mà số thứ nguyên cơ bản của chúng bằng k , thì số tiêu chuẩn tương tự là $\pi = n - k$. Trong thủy khí động lực $k = 3$, vậy nên biểu diễn đại lượng nào đó qua bốn thông số.

Ví dụ: hãy xác định sự phụ thuộc hệ số lực cản C_x của cánh vào các thông số dòng chảy.

Bài giải:

Giả sử C_x phụ thuộc vào các đại lượng có thứ nguyên sau đây: khối lượng riêng ρ , độ nhớt μ , vận tốc v và chiều dài của cánh L . Khi đó:

$$C_x = f(\rho, \mu, v, L)$$

Dùng công thức thứ nguyên có thể tìm được một tổ hợp không thứ nguyên của các đại lượng vật lý trên:

$$[C_x] = [\rho]^b [\mu]^d [v]^c [L]^n = 1$$

Để tìm các số mũ b, d, c, n ta thay vào công thức trên thứ nguyên của các đại lượng vật lý:

$$[\rho] = [ML^{-3}]; [\mu] = [ML^{-1} T^{-1}]; [v] = [LT^{-1}]; [L] = [L]$$

Thay các giá trị đó vào biểu thức C_x :

$$[ML^{-3}]^b [ML^{-1} T^{-1}]^d [LT^{-1}]^c [L]^n = 1$$

Từ đó ta có 3 phương trình đối với 3 thứ nguyên cơ bản

$$M: \quad b + d = 0$$

$$L: \quad -3b - d + c + n = 0$$

$$T: \quad -d - c = 0$$

Xem rằng một trong 4 số mũ, chẳng hạn n đã biết, giải hệ phương trình trên, ta được: $b = c = n$; $d = -n$. Như vậy ta tìm được dạng phụ thuộc của C_x vào đại lượng không thứ nguyên:

$$C_x = f\left[\left(\frac{v\rho}{\mu}\right)^n\right] = f(Re^n)$$

Nghĩa là C_x phụ thuộc vào số Raynôn. Số mũ n có thể tìm bằng thực nghiệm hoặc từ các điều kiện phụ về sức cản của cánh.

Các bước cơ bản để giải một bài toán như sau:

- 1- Lập biểu thức phụ thuộc $(n+1)$ đại lượng a (9-2). Ghi thứ nguyên của chúng.
- 2- Chọn k đại lượng cơ bản (thông thường $k = 3$). Viết công thức thứ nguyên của các đại lượng vật lý. Như vậy ta có $(n + 1 - k)$ số hạng π .
- 3- Số hạng π đầu tiên có thể là tích của k đại lượng có số mũ chưa biết với một đại lượng khác có số mũ đã biết (thông thường cho số mũ đó bằng 1).
- 4- Lấy những đại lượng đã chọn ở mục 2 làm biến số (k đại lượng) và chọn một trong những biến số còn lại để lập số hạng π tiếp theo. Lập lại tương tự liên tiếp cho các số π sau.
- 5- Nhờ phân tích thứ nguyên ta sẽ có hệ k phương trình đại số và từ đó xác định được số mũ của mỗi số hạng π .

9.2. CÁC TIÊU CHUẨN TƯƠNG TỰ

Định nghĩa: Hai hiện tượng gọi là tương tự (hay đồng dạng) nếu dựa vào các đặc trưng của hiện tượng này có thể suy ra các đặc trưng của hiện tượng kia bằng một phép biến đổi đơn giản.

Điều kiện tương tự cơ bản của hai hiện tượng là các tiêu chuẩn tương tự phải bằng nhau (idem). Nếu ký hiệu n cho nguyên mẫu; m cho mô hình, thì $Re_n = Re_m, M_n = M_m \dots$

9.2.1. Tương tự hình học

Hai hệ thống thuỷ khí động lực tương tự hình học là khi các kích thước tương ứng của chúng tỷ lệ với nhau:

$$\frac{L_n}{L_m} = k_L; \frac{S_n}{S_m} = k_L^2; \dots$$

Trong đó k_L – Tỷ lệ tương tự hình học

9.2.2. Tương tự động học

Hai hệ thống thuỷ khí động lực tương tự động học phải tương tự hình học và có thời gian di chuyển của một phần tử chất lỏng từ điểm này sang điểm khác trên các đường dòng tương ứng tỷ lệ.

Ta có:
$$\frac{T_n}{T_m} = k_T$$

k_T – Tỷ lệ tương tự thời gian

Từ đó suy ra tỷ lệ vận tốc:
$$\frac{V_n}{V_m} = \frac{L_n T_n^{-1}}{L_m T_m^{-1}} = k_L k_T^{-1}$$

Tương tự động học áp dụng trong các máy thuỷ khí là các tam giác vận tốc đồng dạng.

9.2.3. Tương tự động lực học

Hai hệ thống thuỷ khí động lực tương tự động học và có các khối lượng tương ứng tỷ lệ thì gọi là tương tự động lực học.

$$K_p = \frac{\rho_n}{\rho_m} - \text{tỷ lệ tương tự động lực}$$

Tỷ lệ các lực:
$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n L_n^3 T_n^{-2}}{\rho_m L_m^3 T_m^{-2}} = \frac{k_\rho k_L^4}{k_T^2}$$

Hay tổng quát:
$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n L_n^2 V_n^2}{\rho_m L_m^2 V_m^2} = Ne = const$$

Tiêu chuẩn tương tự Newton hay số Newton.

Như vậy trong thực tế, hai hệ thống thuỷ khí động lực tương tự nhau phải thoả mãn các điều kiện sau đây:

- 1- Chúng phải tương tự hình học.
- 2- Có tính chất giống nhau và có cùng phương trình vi phân.

- 3- Chỉ có thể so sánh với nhau giữa các đại lượng đồng nhất tại những tọa độ không gian giống nhau và thời gian giống nhau.
- 4- Các hằng số tương tự của hai hiện tượng có mối liên quan chặt chẽ với nhau. Việc chọn bất kỳ một trong những đại lượng nào đó sẽ tạo nên sự phụ thuộc xác định đối với những đại lượng hằng số tương tự còn lại.

9.2.4. Tương tự của hai chuyển động phẳng

Để làm sáng tỏ những điều đã nêu ở trên, ta hãy tìm các điều kiện cần thiết để cho hai chuyển động phẳng tương tự. Muốn vậy, ta viết phương trình chuyển động Navier-Stokes (3-24) cho trường hợp chuyển động phẳng dưới dạng không thứ nguyên bằng cách chọn các đại lượng đặc trưng (tỷ lệ) sau đây: chiều dài l (như bán kính ống, cung của cánh...). Vận tốc v_0 (như vận tốc ở trên trục trục ống, ở vô cùng...) áp suất p_0 , khối lượng riêng ρ_0 , độ nhớt động học ν_0 , thời gian t_0 , lực khối viết cho 1 đơn vị khối lượng g (gia tốc trọng trường). Ký hiệu các đại lượng không thứ nguyên cũng bằng những chữ như các đại lượng có thứ nguyên. Khi đó ta sẽ có phương trình chuyển động và phương trình liên tục viết dưới dạng không thứ nguyên:

$$\begin{aligned} \frac{l}{v_0 t_0} \frac{\partial u}{\partial t} + \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) &= \frac{gl}{v_0^2} X - \frac{p_0}{\rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{v_0}{v_0 l} \nu \Delta u; \\ \frac{l}{v_0 t_0} \frac{\partial v}{\partial t} + \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) &= \frac{gl}{v_0^2} Y - \frac{p_0}{\rho_0 v_0^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{v_0}{v_0 l} \nu \Delta v; \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0 \end{aligned}$$

Từ hệ phương trình trên suy ra hai dòng chảy tương tự, có nghĩa là chúng được mô tả bằng những phương trình và các điều kiện biên giống nhau, thì phải có cùng giá trị các đại lượng không thứ nguyên sau đây:

$$\frac{l}{v_0 t_0}; \quad \frac{gl}{v_0^2}; \quad \frac{p_0}{\rho_0 v_0^2}; \quad \frac{v_0}{v_0 l}$$

Trong lý thuyết tương tự, những đại lượng đó có tên riêng và gọi là những số hay là tiêu chuẩn tương tự:

$$\frac{l}{v_0 t_0} = S_h - \text{Số Storouhan (Shtrouhal), đặc trưng cho quá trình không dừng};$$

$$\frac{v_0}{\sqrt{gl}} = Fr - \text{số Frút (Froud), đặc trưng cho lực trọng trường};$$

$$\frac{v_0 l}{\nu_0} = Re - \text{số Rây-nôn (Reynolds) quen thuộc, đặc trưng cho lực nhớt};$$

$$\frac{p_0}{\rho_0 v_0^2} = Eu - \text{số ơ le (L.Euler) đặc trưng cho áp lực}.$$

Điều kiện bằng nhau của các số tương tự được ký hiệu bằng chữ idem (là một), nghĩa là hai dòng phẳng của chất lỏng không nén được sẽ tương tự khi $Sh = idem$; $Fr = idem$; $Re = idem$; $Eu = idem$...

Số Ô le đối với chất lỏng nén được có dạng.

$$E_u = \frac{p_0}{\rho_0 v^2} = \frac{l}{k} \frac{a^2}{v_0^2} = \frac{l}{k} \frac{1}{M^2}$$

Trong đó $a = \sqrt{k \frac{p}{\rho}}$ - vận tốc âm; $k = \frac{C_p}{C_v}$ - chỉ số đoạn nhiệt,

$$M = \frac{v}{a} - \text{số Mác}$$

Như vậy, hai dòng chất lỏng nén được sẽ tương tự khi

$$Sh = idem; Fr = idem; Re = idem; M = idem; k = idem.$$

Trong thực tế còn rất nhiều những tiêu chuẩn tương tự khác nữa. Muốn có những tiêu chuẩn đó chỉ cần lấy phương trình vi phân mô tả quá trình đã cho viết dưới dạng không thứ nguyên. Chẳng hạn như khảo sát phương trình năng lượng ta sẽ có thêm các tiêu chuẩn tương tự:

$P_r = \frac{v \rho C_p}{\lambda}$ - số Prandtl, đặc trưng cho tỷ số giữa nhiệt lượng được truyền bằng dẫn nhiệt và đối lưu;

$G_r = \frac{g \beta l^3 \Delta T}{v_0^2}$ - số Grashop, đặc trưng cho tỷ số giữa lực Acsimét và lực nhớt.

Trong đó λ - hệ số dẫn nhiệt; β - hệ số nở thể tích; ΔT - độ chênh nhiệt độ.

9.3. MÔ HÌNH HOÁ TỪNG PHẦN

Khi khảo sát bài toán phẳng ở mục trên ta đã gặp 4 - 5 tiêu chuẩn tương tự. Nếu thoả mãn tất cả các tiêu chuẩn đó thì bài toán rất khó và trong thực tế không thể thực hiện được. Ngoài ra, không phải tất cả các tiêu chuẩn có tầm quan trọng như nhau. Trong những điều kiện cụ thể thường có thể xác định được mức độ ảnh hưởng của từng tiêu chuẩn tương tự, và lúc đó có những tiêu chuẩn ảnh hưởng rất lớn đến việc thay đổi điều kiện của quá trình vật lý - gọi là tiêu chuẩn quyết định, trong khi đó có những tiêu chuẩn hầu như không tham gia vào sự biến đổi đó - những tiêu chuẩn không quyết định. Do đó trong thực tế phải dùng mô hình hoá từng phần, nghĩa là chỉ cần tuân theo một số chỉ tiêu chuẩn quyết định.

Chẳng hạn như khi tìm điều kiện mô hình hoá của chuyển động tàu ngầm, ta thấy có thể bỏ qua tiêu chuẩn Frút, mà phải kể đến tiêu chuẩn Râynon, nghĩa là số Re đối với nguyên mẫu và mô hình phải như nhau. Thực vậy, đối với tàu ngầm số Fr chỉ có ý nghĩa khi tàu đi xuống và đi lên mặt nước, còn khi chạy, số Fr có thể bỏ qua. Lực cản khi chạy phụ thuộc vào độ nhớt của dòng bao quanh không có xâm thực. Nhưng trong thí nghiệm mô hình ca nô chuyển động với vận tốc lớn, tiêu chuẩn Fr có ảnh hưởng lớn, còn có thể bỏ qua lực nhớt, nghĩa là không thoả mãn tiêu chuẩn Re . Điều kiện mô hình hoá của những máy móc chuyển động trên âm, trước tiên là phải thoả mãn tiêu chuẩn Mác (M), còn số Re tuy khả năng, số Fr bỏ qua. Đây không phải là mô hình hoá toàn bộ mà chỉ là từng phần. Thỉnh thoảng lắm mới thành công khi thoả mãn cả hai tiêu chuẩn Fr và Re .

9.4. VÍ DỤ - BÀI TẬP

Ví dụ 9-1:

Xác định tổn thất năng lượng dọc đường theo dòng chảy trong ống.

Giải:

Tổn thất năng lượng dọc đường theo dòng chảy trong ống phụ thuộc vào d , v , ρ , μ , Δ :

$$\frac{\Delta p}{l} = C d^x v^y \rho^z \mu^\alpha \Delta^\beta$$

Hay viết dưới dạng thứ nguyên

$$\Delta p: F.L^{-2} = M.L^{-1}.T^{-2} \rightarrow \frac{\Delta p}{l} = M.L^{-2}T^{-2}$$

$$M.L^{-2}T^{-2} = L^x(T^{-1})^y.(M.L^{-3})^z.(M.L^{-1}T^{-1})^\alpha L^\beta$$

Cân bằng số mũ hai vế:

$$\text{Theo L:} \quad -2 = x + y - 3z - \alpha + \beta$$

$$\text{Theo M:} \quad 1 = z + \alpha$$

$$\text{Theo T:} \quad -2 = -y - \alpha$$

$$\text{Suy ra: } x = -1 - \alpha - \beta; y = 2 - \alpha; z = 1 - \alpha$$

$$\text{Do đó:} \quad \frac{\Delta p}{l} = C.d^{1-\alpha-\beta}v^{2-\alpha}\rho^{1-\alpha}\mu^\alpha\Delta^\beta$$

$$\text{Thay } \mu = \rho \cdot \nu \rightarrow \frac{\Delta p}{l} = C.\left(\frac{v^2}{d}\right).\left(\frac{\nu d}{\gamma}\right)^{-\alpha}\left(\frac{\Delta}{d}\right)^\beta$$

$$\text{Rõ ràng} \quad \frac{\nu d}{\gamma} = Re \quad \rightarrow \frac{\Delta p}{l} \frac{d}{C\rho.v^2} = \lambda = \left(\frac{\nu d}{\gamma}\right)^{-\alpha}\left(\frac{\Delta}{d}\right)^\beta = f\left(Re, \frac{\Delta}{d}\right)$$

Ta thấy hệ số ma sát λ trong trường hợp tổng quát đối với dòng chất lỏng trong ống phụ thuộc vào các số Re và $\frac{\Delta}{d}$

Ví dụ 9-2:

Áp dụng định lý Pi để lập biểu thức tính công suất N của bơm.

Biết N phụ thuộc vào lưu lượng Q , cột áp H và trọng lượng riêng γ .

Giải:

Quan hệ giữa các đại lượng trên có thể biểu diễn qua phương trình:

$$f(\gamma, Q, H) = N$$

Có 4 đại lượng có thứ nguyên và chỉ có 3 thứ nguyên của đơn vị cơ bản, do đó có $4 - 3 = 1$ số hạng π . Chọn γ, Q, H làm 3 đại lượng có thứ nguyên cơ bản, ta có thể lập số hạng π .

$$\pi = \frac{N}{Q^x \gamma^y H^z}$$

Viết dưới dạng thứ nguyên: $FLT^{-1} = [L^3 T^{-1}]^x [FL^{-3}]^y [L]^z$

Từ đó suy ra: $x = y = z = 1$

$$\text{Do đó: } \pi = \frac{N}{Q \cdot \gamma \cdot H} \quad \text{hay là } N = k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H$$

Ví dụ 9-3

Muốn có tương tự động học thì vận tốc chuyển động của dầu thô trong ống có đường kính 30 mm phải bằng bao nhiêu, khi vận tốc của nước trong ống có đường kính 5 mm ở nhiệt độ 20°C là 6 m/s. Cho biết $\rho_{\text{dầu}} = 84 \text{ KGs}^2/\text{m}^4$; $\mu_{\text{dầu}} = 0,2 \text{ P}$; $\rho_{\text{nước}} = 102 \text{ KGs}^2/\text{m}^4$; $\mu_{\text{nước}} = 0,013 \text{ P}$

Giải:

Điều kiện để cho hai dòng chất lỏng chuyển động trong ống tròn tương tự là số

$Re = \frac{vd\rho}{\mu}$ và số Ôle $Eu = \frac{p_0}{\rho v^2}$ bằng nhau. Nhưng theo điều kiện của bài toán, vì vận tốc của nước cho biết nên tiêu chuẩn tương tự chỉ là số Rây-nôn, còn số Ôle là hàm của số Re. Hay nói cách khác, vì đại lượng đặc trưng của áp suất p_0 không cho trước nên có thể chọn p_0 bằng giá trị bất kỳ. Để cho tiện, ta chọn $p_0 = \rho v^2$ từ điều kiện số Ôle:

$$Eu = \frac{p_0}{\rho v^2} = 1$$

Do đó ta suy ra: $Re_1 \equiv Re_{\text{dầu}} \equiv Re_{\text{nước}} \equiv Re_2$

$$\frac{v_1 d_1 \rho_1}{\mu_1} = \frac{v_2 d_2 \rho_2}{\mu_2}$$

$$\text{Suy ra: } v_1 = v_2 \frac{d_2 \rho_2 \mu_1}{d_1 \rho_1 \mu_2} = 24,2$$

Vậy vận tốc của dầu $v_1 = 24,2 \text{ m/s}$.

Ví dụ 9-4

Ứng dụng mô hình hoá từng phần để xét chuyển động của tàu ngầm. Ta biết khi tàu chạy trên mặt ngang có thể bỏ qua tiêu chuẩn Frut.

Giải:

Với điều kiện đầu bài ta có: $Re = const$

Hay:
$$\frac{v_N b_N \rho_N}{\mu_N} = \frac{v_M b_M \rho_M}{\mu_M}$$

Từ đó suy ra:
$$\frac{b_M}{b_N} = \frac{v_N}{v_M} \cdot \frac{\rho_N}{\rho_M} \cdot \frac{\mu_M}{\mu_N}$$

Từ biểu thức trên ta thấy rằng: nếu thử mô hình tàu ngầm trong nước bể thì cần mô hình rất lớn vì $\rho_N = \rho_M$; $\mu_N = \mu_M$.

Trong trường hợp này muốn giảm kích thước mô hình chỉ cần tăng tốc độ v_M (vì $\frac{b_M}{b_N} = \frac{v_N}{v_M}$), nhưng trường hợp này bị giới hạn do sự tăng nhanh lực cản và hiện tượng xâm thực. Vì vậy người ta thí nghiệm mô hình tàu ngầm trong ống khí động.

Muốn kích thước mô hình bé thì phải giảm tỷ số: $\frac{\rho_N}{\rho_M}$ và $\frac{\mu_M}{\mu_N}$.

Giả sử: $p = 15 \text{ at}$, $T = 273 \text{ K}$ ta có:

$$\frac{\rho_N}{\rho_M} = \frac{102}{1,9} \approx 55; \quad \frac{\mu_M}{\mu_N} = \frac{1,709 \cdot 10^{-6}}{102 \cdot 10^{-4}} \approx 1,7 \cdot 10^{-2}$$

Khi đó tỷ lệ mô hình là:

$$\frac{b_M}{b_N} = \frac{v_N}{v_M} \cdot 55 \cdot 1,7 \cdot 10^{-2} \approx \frac{v_N}{v_M}$$

Vì vậy muốn giảm kích thước mô hình cần tăng vận tốc dòng khí.

Nếu: $v_N = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$

$$v_M = (10 \div 20) \cdot v_N$$

$$b_M = \left(\frac{1}{10} \div \frac{1}{20} \right) b_N$$

Để khỏi xảy ra sóng va do xuất hiện dòng vượt âm cục bộ trong ống khí động thì cần có mô hình lớn (do đó công suất ống khí động lớn). Còn ống có áp suất cao, ngoài ra để giảm tỷ số có thể $\frac{\rho_N}{\rho_M}$ có thể thí nghiệm trong bể thuỷ ngân.

$$\frac{\rho_N}{\rho_M} = \frac{1}{13,6}; \quad \frac{\mu_M}{\mu_N} \approx \frac{1}{12} \quad \rightarrow \quad \frac{b_M}{b_N} = \frac{v_N}{v_M} \cdot \frac{1}{13,6} \cdot \frac{1}{12} = \frac{1}{163} \cdot \frac{v_N}{v_M}$$

Nếu chọn $v_N = v_M$ thì $b_M = \frac{1}{163} b_N$

Nghĩa là đối với tàu ngầm dài $82 \div 163 \text{ m}$ với tốc độ tương đương trong bể thủy ngân chỉ cần dùng mô hình dài: $50 \div 100 \text{ cm}$.

Qua đó ta thấy: trong trường hợp chỉ thỏa mãn 1 tiêu chuẩn tương tự mà quá trình xây dựng thí nghiệm cũng gặp khá nhiều khó khăn.

Bài tập 9-1:

Hãy xác định sự phụ thuộc hệ số lực cản C_x của cánh vào các thông số dòng chảy (khối lượng riêng ρ , độ nhớt ν , vận tốc v và chiều dài cánh L).

Bài tập 9-2:

Vận tốc của không khí trong ống có đường kính 25 cm ở nhiệt độ 20° C , áp suất 1 at là 10 m/s . Xác định vận tốc dòng nước chảy trong ống đường kính 6 cm ở mô hình tương tự động học. Nếu áp suất không khí là 200 kPa , hãy xác định áp suất dòng chảy trong trường hợp mô hình.

$$\text{Đáp số: } V_m = 2,76 \text{ m/s}; \quad \Delta p = 3166 \text{ kPa}$$

Bài tập 9-3:

Để xác định độ chênh áp suất của dòng khí trong ống người ta dùng thử mô hình dùng nước theo tỷ lệ hình học $1/30$. Cho biết khối lượng riêng và độ nhớt động lực của nước so với không khí theo thứ tự lớn hơn gấp 800 và 50 lần. Kết quả thí nghiệm mô hình cho $\Delta p_M = 227,5 \text{ N/m}^2$. Hỏi $\Delta p_N = ?$

$$\text{Đáp số: } \Delta p_N = 80,9 \text{ N/m}^2$$

Câu hỏi ôn tập Chương IX

1. Định nghĩa thứ nguyên, không thứ nguyên. Thế nào là đơn vị cơ bản, đơn vị dẫn xuất. Định lý Pi và ứng dụng.
2. Các tiêu chuẩn tương tự và ứng dụng phép mô hình hoá từng phần.

Phần B

MÁY THỦY KHÍ

Chương X

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ MÁY BƠM

Máy thủy lực là tên gọi chung cho tất cả các máy làm việc trên nguyên tắc trao đổi năng lượng với chất lỏng theo các nguyên lý thủy lực nói riêng và cơ học chất lỏng nói chung. Trong đó người ta phân ra hai loại chính :

- *Máy bơm*: biến đổi cơ năng thành năng lượng của dòng chảy (áp năng và động năng).
- *Tuabin*: nhận năng lượng của dòng chảy thành cơ năng kéo các máy công tác làm việc.

Trong phạm vi giáo trình này chúng ta chỉ nghiên cứu một số loại máy bơm chủ yếu.

10.1. VÀI NÉT VỀ QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN CỦA MÁY BƠM

Từ cổ xưa con người đã gắn liền cuộc sống của mình với nước, đã tìm cách khai thác và sử dụng nước. Ở Việt Nam, Ấn độ, Trung quốc..., từ lâu đời đã biết dùng năng lượng dòng nước kéo các cối xay lương thực, máy mài, khoan đá; guồng nước để cung cấp nước cho nương ruộng, đời sống sinh hoạt...

Mãi đến thế kỷ thứ XVII và sau này mới có nhiều nhà bác học nghiên cứu một cách khoa học cơ sở lý thuyết về máy thủy lực nói chung và máy bơm nói riêng.

Năm 1640 nhà vật lý học người Đức Otto-Henrich đã sáng chế ra bơm pittông đầu tiên để bơm khí và nước dùng trong công nghiệp. Lomonoxop (1711-1765) là người đầu tiên dùng lý luận cơ học chất lỏng để cải tạo kết cấu guồng nước có từ ngàn xưa, nâng cao hiệu suất và công suất của nó.

Ôle (1707-1783) đã viết về lý thuyết cơ bản của tuabin nước nói riêng và máy thủy lực cánh dẫn nói chung làm cơ sở cho các nhà bác học Phuocnayron, Xablucop, Jucopski... phát minh ra tua bin nước và bơm ly tâm ở đầu thế kỷ XIX là những bước nhảy lớn trong lịch sử các máy năng lượng.

Đặc biệt trong vòng 50 năm gần đây, lý thuyết về thủy khí động lực phát triển rất mạnh, có nhiều thành tựu to lớn và việc áp dụng những thành quả phát minh này trong lĩnh vực máy bơm vô cùng phong phú.

Ngày nay, với tốc độ phát triển vũ bão của KHKH, đặc biệt là khoa học công nghệ, máy bơm có rất nhiều loại với nhiều kiểu khác nhau có cấu trúc ngày càng hoàn thiện, có hiệu suất ngày càng cao nhằm đáp ứng ngày càng đầy đủ mọi yêu cầu đòi hỏi của mọi lĩnh vực sản xuất đời sống và quốc phòng.

10.2. CÔNG DỤNG VÀ PHÂN LOẠI

Máy bơm được ứng dụng rất rộng rãi trong các lĩnh vực sản xuất và sinh hoạt.

Trong công nghiệp: bơm để cấp thoát nước, bơm các loại nguyên liệu lỏng ở các nhà máy cơ khí hoá chất, bơm dùng trong các công trình khai thác và vận chuyển quặng, dầu mỏ.v.v... Trong công nghiệp cơ khí, bơm được sử dụng phổ biến trong các hệ thống bôi trơn, làm nguội, nâng hạ, điều khiển, truyền động thủy lực...

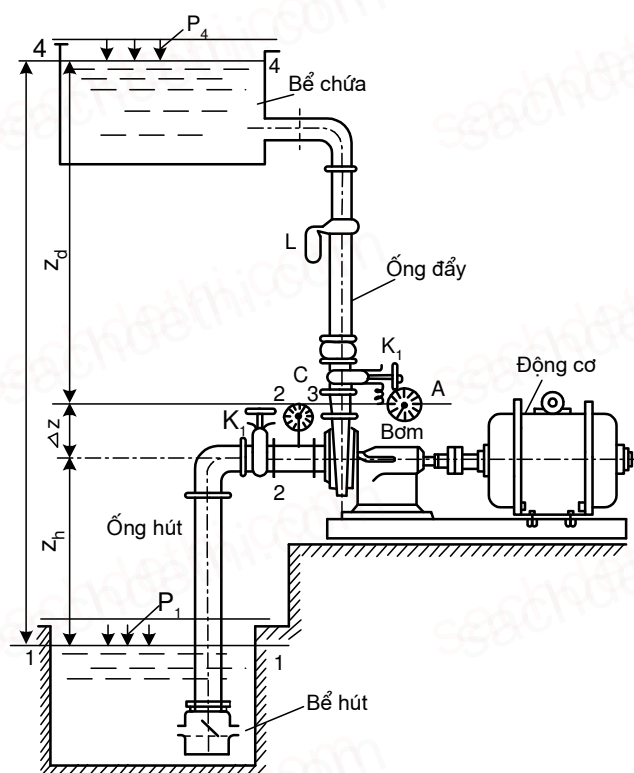
Trong nông nghiệp: bơm được dùng rộng rãi trong các hệ thống thuỷ lợi để tưới tiêu nước cho cây trồng, cung cấp nước cho chuồng trại chăn nuôi, cơ sở chế biến nông sản phẩm...

Ngoài ra bơm cũng được dùng rộng rãi trong các lĩnh vực giao thông vận tải, quốc phòng và sinh hoạt.

Để tiện cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng, bơm được phân loại như sau :

- Theo nguyên lý làm việc :
 - Bơm cánh dẫn : Bơm ly tâm, bơm hướng trục.
 - Bơm thể tích : bơm pittong, bơm rôto..vv...
 - Bơm làm việc theo nguyên lý đặc biệt: Bơm nước va, bơm khí ép, bơm phun tia...
- Theo công dụng, bơm được phân loại thành : Bơm cấp thoát nước; Bơm nhiên liệu; Bơm hoá chất; Bơm cứu hoả...
- Ngoài ra theo phạm vi cột áp hoặc lưu lượng, người ta còn chia bơm thành các loại: bơm có cột cấp cao, thấp, trung bình hoặc bơm có lưu lượng lớn, trung bình, nhỏ.

10.3. CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA BƠM



Hình 10-1

Ta xét một trường hợp cụ thể, bơm làm việc trong một hệ thống đường ống (Hình 10-1).

- Z_h - Chiều cao hút là chiều cao từ mặt thoáng bể hút đến trục bơm;
- Z_d - Chiều cao đẩy là chiều cao từ miệng ra của bơm đến mặt thoáng của bể chứa;
- ΔZ - Chênh lệch độ cao giữa miệng vào và miệng ra của bơm;
- Z - Cao trình của bơm (chiều cao dâng chất lỏng của bơm) là độ chênh lệch giữa hai mặt thoáng bể hút và bể chứa;

P_1 - áp suất trên mặt thoáng bể hút;

P_2 - áp suất tại miệng vào của bơm;

- P_3 - áp suất tại miệng ra của bơm;
 P_4 - áp suất trên mặt thoáng bể chứa;
 C - Chân không kế, lắp ở miệng vào của bơm;
 A - áp kế, lắp ở miệng ra của bơm;
 K_1 - Khoá trên ống hút;
 K_2 - Khoá trên ống đẩy;
 L - Dụng cụ đo lưu lượng.

Khi bơm làm việc, chất lỏng từ bể hút qua lưới chắn rác theo ống hút đi vào bơm. Sau khi đi qua bơm, chất lỏng được cung cấp thêm năng lượng chảy vào ống đẩy lên bể chứa.

10.3.1. Lưu lượng

Lưu lượng của bơm là lượng chất lỏng do bơm chuyển đi trong một đơn vị thời gian, ký hiệu là Q , đơn vị đo: m^3/h , m^3/s , l/s .

10.3.2. Cột áp

Cột áp của bơm là năng lượng đơn vị mà bơm truyền được cho chất lỏng (thường ký hiệu bằng chữ H , đơn vị đo: m cột chất lỏng).

Từ sơ đồ hệ thống làm việc của bơm (Hình 10-1) ta có :

$$\begin{aligned}
 H &= E_3 - E_2 \\
 H &= \left(\frac{p_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_h + \Delta Z \right) - \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_h \right) \\
 H &= \frac{p_3 - p_2}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g} + \Delta Z
 \end{aligned} \quad (10-1)$$

ở đây P_2, P_3 là những áp suất tuyệt đối, có thể được xác định thông qua dụng cụ đo áp suất dư (áp kế, chân không kế) như sau :

$$p_2 = p_a - p_{ck}$$

$$p_3 = p_a - p_{ak}$$

Thay vào (9-1) ta được :

$$H = \frac{p_{ak} + p_{ck}}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_2^2}{2g} + \Delta Z \quad (10-2)$$

Khi không có các số liệu đo được cụ thể của bơm đang làm việc (p_{ak}, p_{ck}) mà chỉ có các số liệu yêu cầu của hệ thống trong đó bơm sẽ làm việc (p_1, p_2, Z, \dots) thì có thể tính cột áp yêu cầu của bơm như sau :

$$\begin{aligned}
 \frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} &= Z_h + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_{wh} \\
 \text{hay : } \frac{p_2}{\gamma} &= \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \left(Z_h + \frac{V_2^2}{2g} + h_{wh} \right)
 \end{aligned} \quad (10-3)$$

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 3-3 và 4-4, mặt chuẩn là 3-3 có :

$$\frac{p_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = Z_d + \frac{p_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} + h_{wd}$$

Suy ra :

$$\frac{p_3}{\gamma} = \frac{p_4}{\gamma} + Z_d + \frac{V_4^2}{2g} + h_{wd} - \frac{V_3^2}{2g} \quad (10-4)$$

Thay (10-3), (10-4) vào (10-1) ta tìm được cột áp yêu cầu của bơm :

$$H = \frac{p_4 - p_1}{\gamma} + Z_d + Z_h + \Delta Z + \frac{V_4^2 - V_1^2}{2g} + h_{wd} + h_{wh}$$

hay :

$$H = \frac{p_4 - p_1}{\gamma} + Z + \frac{V_4^2 - V_1^2}{2g} + \sum h_w \quad (10-5)$$

Từ đây ta nhận thấy cột áp yêu cầu của bơm cần phải khắc phục được :

- Độ cao hình học của bơm (độ chênh lệch mặt thoáng chất lỏng ở bể chứa và bể hút)
- Độ chênh áp suất trên mặt thoáng ở bể chứa và bể hút
- Độ chênh động năng giữa mặt thoáng bể chứa và bể hút
- Tổn thất năng lượng trong ống đẩy và ống hút.

Phương trình (10-5) cho ta biết cột áp của bơm làm việc trong một hệ thống. Đó cũng chính là cột áp của hệ thống. Ta cũng có thể viết:

$$H = H_t + H_d \quad (10-6)$$

trong đó :

$$H_t = \frac{p_4 - p_1}{\gamma} + Z \quad \text{- Cột áp tĩnh của hệ thống.}$$

$$H_d = \sum h_w + \frac{V_4^2 - V_1^2}{2g} \quad \text{- Cột áp động của hệ thống.}$$

Trường hợp áp suất trên mặt thoáng bể hút và bể chứa đều bằng áp suất khí quyển và vận tốc trong ống đẩy và ống hút bằng nhau ta có :

$$H = Z + \sum h_w \quad (10-7)$$

Chúng ta thường dùng công thức (10-7) để xác định cột áp tính toán, khi thiết kế trạm bơm.

10.3.3. Công suất và hiệu suất

Công suất thủy lực N_{tl} (công suất hữu ích) của bơm là công suất dùng để truyền trọng lượng của lưu lượng Q với cột áp H :

$$N_{tl} = \frac{\gamma Q H}{1000} \quad (\text{Kw}) \quad (10-8)$$

trong đó :

γ - Trọng lượng riêng của chất lỏng (N/m³)

Q - Lưu lượng của bơm (m^3/S)

H - Cột áp toàn phần của bơm (mH_2O)

Công suất đòi hỏi trên trục của bơm cần phải lớn hơn công suất thủy lực N_{tl} vì bơm phải tiêu hao một phần năng lượng để bù vào các tổn thất thủy lực, tổn thất ma sát giữa các bộ phận làm việc của bơm...

$$N = \frac{N_{tl}}{\eta} = \frac{\gamma Q H}{1000 \eta} \quad [kw] \quad (10-9)$$

$\eta < 1$ - hiệu suất toàn phần của bơm (tính bằng %).

$$\eta = \frac{N_{tl}}{N} = \eta_H \eta_Q \eta_C \quad (10-10)$$

trong đó : η_H - hiệu suất thủy lực

η_Q - hiệu suất lưu lượng

η_C - hiệu suất cơ khí.

Khi chọn động cơ để kéo bơm, cần phải chọn công suất động cơ N_{dc} lớn hơn công suất tại trục bơm để đề phòng các trường hợp quá tải bất thường và bù vào tổn thất do truyền động từ động cơ đến bơm.

$$N_{dc} = \frac{kN}{\eta_{tr}} \quad (10-11)$$

trong đó :

$k > 1$ - Hệ số an toàn phụ thuộc vào từng loại bơm, động cơ và công suất làm việc.

η_{tr} - Hiệu suất truyền từ động cơ đến trạm bơm.

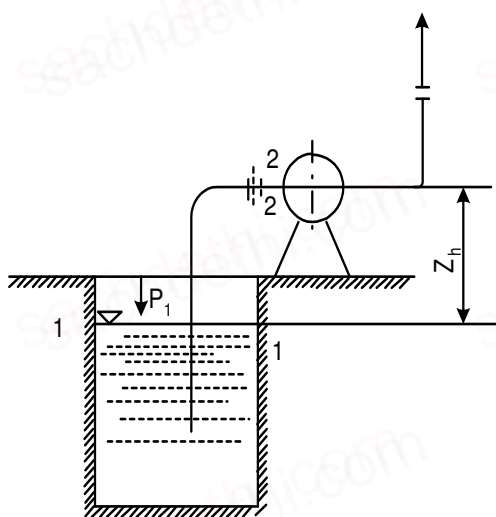
10.3.4. Chiều cao hút cho phép của bơm. Hiện tượng xâm thực

Bất kỳ một loại bơm nào khi làm việc cũng có hai quá trình hút và đẩy chất lỏng. Quá trình hút chất lỏng, bơm phải tạo được độ chênh áp suất nhất định giữa miệng hút của bơm và mặt thoáng bề hút.

$$H_h = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} \quad (10-12)$$

Nếu $p_1 = p_a$ thì cột áp hút chính bằng cột áp chân không tại lối vào của bơm:

$$H_h = H_{ck} = \frac{p_a - p_2}{\gamma} \quad (10-13)$$



Hình 10-2

Từ (9-3) có thể viết:

$$H_{CK} = \frac{p_a - p_2}{\gamma} = Z_h + \frac{V_2^2}{2g} + h_{wh} \quad (10-14)$$

Ta nhận thấy cột áp hút của bơm tùy thuộc vào trị số của áp suất trên mặt thoáng của bể hút mà áp suất này có giới hạn nhất định.

Trong trường hợp $p_1 = p_a$, theo (10-14) khả năng hút tối đa của bơm ứng với $p_2 = 0$ là: $H_h = H_{ckmax} = \frac{p_a}{\gamma} = 10 \text{ m H}_2\text{O}$.

Biết rằng áp suất khí quyển p_a phụ thuộc vào độ cao tại vị trí đó so với mặt nước biển (bảng 10-1).

Bảng 10-1

Độ cao trên mặt biển m	-600	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
$\frac{p_a}{\gamma}, m$	11,3	10,3	10,2	10,1	10,0	9,8	9,7	9,6	9,5	9,4	9,3	9,2	8,6	8,2

Thực tế thì cột áp hút lớn nhất của bơm (khi $p_1 = p_a$) không bao giờ đạt được đến $10 \text{ m H}_2\text{O}$ vì áp suất tại miệng vào của bơm không thể bằng 0 được. Khi p_2 nhỏ đến một mức nào đó bằng áp suất bay hơi bão hòa (p_H) của chất lỏng thì sẽ gây ra hiện tượng xâm thực trong bơm.

Trị giá của p_H phụ thuộc vào nhiệt độ của chất lỏng làm việc (bảng 10-2)

Bảng

10-2

Nhiệt độ t°C	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\frac{p_H}{\gamma}, m$	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,00	3,17	4,80	7,10	10,3 3

Vậy điều kiện để cho bơm làm việc được là :

$$H_h = Z_h + \frac{V_2^2}{2g} + h_{wh} < H_{CKmax} = \frac{p_a - p_H}{\gamma} \quad (10-15)$$

Từ đó ta xác định được chiều cao hút cho phép ($[Z_h]$) của bơm là

$$[Z_h] = \frac{p_a}{\gamma} - \left(\frac{p_H}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{wh} + \Delta h \right) \quad (10-16)$$

ở đây : Δh - cột áp chống xâm thực được xác định bằng thực nghiệm.

Trong trường hợp quan hệ (10-15) không thỏa mãn (nghĩa là $p_2 \leq p_H$), sẽ xảy ra hiện tượng chất lỏng bắt đầu bay hơi, gián đoạn dòng chảy và bơm không làm việc được. Hiện tượng đó gọi chung là hiện tượng xâm thực.

Sự xâm thực là quá trình hiện tượng phức tạp xảy ra trong bơm:

- Sự bay hơi và hoà tan hơi trong chất lỏng ở tất cả các vùng có áp suất bằng hay nhỏ hơn áp suất bay hơi bão hoà.
- Sự tăng cao tức thời tốc độ chuyển động của chất lỏng tại chỗ gây nên sự bay hơi và làm chất lỏng chuyển động hỗn độn.
- Ngừng tụ những bọt hơi nước chảy trong dòng chất lỏng ở vùng có áp suất cao. Sự ngừng tụ bọt hơi nước làm giảm đột ngột thể tích và gây ra va đập thuỷ lực trong những vùng cực nhỏ, phá hoại cơ học bộ phận làm việc của máy bơm.
- Sự ăn mòn hoá học kim loại trong vùng xâm thực bằng oxy của không khí, sinh ra từ chất lỏng, khi nó đi qua vùng có áp suất thấp.

Sự ăn mòn tác dụng đồng thời với phá hoại cơ học làm giảm độ bền các chi tiết của bơm bằng kim loại.

Sự xâm thực làm giảm hiệu suất, cột áp, năng suất bơm và dẫn đến bơm không làm việc được.

Để ngăn ngừa hiện tượng xâm thực, nâng cao chiều cao hút cho phép của bơm, từ (10-16) ta nhận thấy chiều cao hút của bơm giảm nếu:

- Hạ thấp áp suất trên mặt thoáng của chất lỏng trong bể hút.
- Tăng cao áp suất bay hơi bão hoà do tăng nhiệt độ chất lỏng hút
- Tăng vận tốc chất lỏng chỗ đi vào bánh công tác.
- Tăng cột áp chống xâm thực.

10.4. VÍ DỤ – BÀI TẬP

Ví dụ 10-1:

Một bơm cánh có đường kính ống hút $d_1 = 80 \text{ mm}$ và đường kính ống đẩy $d_2 = 60 \text{ mm}$. Khi khảo nghiệm bơm ta đo được các thông số:

- áp suất cửa ra $\frac{p_{ra}}{\gamma} = 12,8 \text{ m}$
- Chân không ở cửa vào $\frac{p_{1ck}}{\gamma} = 3 \text{ m}$;
- Khoảng cách giữa miệng vào và miệng ra của bơm $h = 8 \text{ cm}$;
- áp kế đặt cao hơn miệng ra $a = 12 \text{ cm}$;

- Lưu lượng của bơm $Q = 10 \text{ l/s}$;
- Mô men quay trên trục bơm $M = 10 \text{ Nm}$;
- Số vòng quay của bơm $n = 2000 \text{ v/ph}$.

Xác định cột áp, công suất trên trục và hiệu suất của bơm.

Giải :

- Xác định cột áp của bơm:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g} + z_2 - z_1$$

$$\text{áp suất ở miệng ra: } \frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_{ra}}{\gamma} + a$$

$$\frac{p_2}{\gamma} = 12,8 + 0,12 = 12,92 \text{ m}$$

$$\text{áp suất ở miệng vào: } \frac{p_1}{\gamma} = - \left[\frac{p_{lck}}{\gamma} - (h + a) \frac{\gamma_{kk}}{\gamma_n} \right]$$

Ở đây trọng lượng riêng của không khí γ_{kk} rất bé so với trọng lượng riêng của nước γ_n , nên ta bỏ qua đại lượng $(h + a) \frac{\gamma_{kk}}{\gamma_n}$

$$\frac{p_1}{\gamma} = - \frac{p_{lck}}{\gamma} = -3 \text{ m}$$

Hiệu động năng:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g} \left(\frac{1}{\frac{\pi^2 d_2^4}{16}} - \frac{1}{\frac{\pi^2 d_1^4}{16}} \right) = \frac{10^2 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 9,81} \cdot \frac{16}{\pi^2} \left(\frac{1}{6^4 \cdot 10^{-8}} - \frac{1}{8^4 \cdot 10^{-8}} \right) = 0,44 \text{ m}$$

$$\text{Cột áp: } H = 12,92 + 3 + 0,44 + 0,08 = 16,44 \text{ m}$$

- Xác định công suất trên trục:

$$N = M\omega; \omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi 2000}{30} = 209 \text{ 1/s}$$

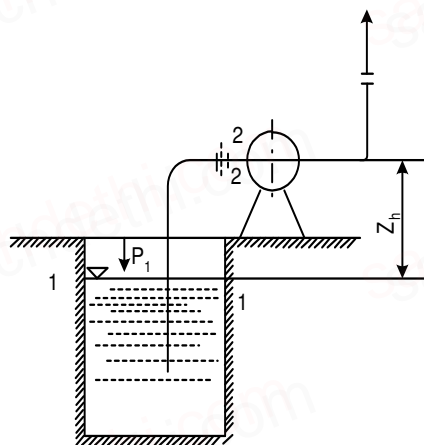
$$N = 10 \cdot 209 = 2090 \text{ Nm/s} = 2,09 \text{ kW}$$

- Xác định hiệu suất của bơm:

$$\eta = \frac{\gamma Q H}{102 N} = \frac{1000 \cdot 10^{-2} \cdot 16,44}{102 \cdot 2,09} = 0,77 = 77\%.$$

Ví dụ 10-2 :

Một máy bơm lấy nước từ giếng với lưu lượng $Q = 50 \text{ l/s}$. Nước có nhiệt độ 20°C . Xác định chiều cao lớn nhất Z_h tính từ mặt nước đến trục máy bơm (hình vẽ) nếu áp suất trước máy bơm $p_2 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. Trên đường ống hút bằng gang có đường kính $d = 0,25 \text{ m}$ và chiều dài $l = 50 \text{ m}$ có một lưới chắn rác, khuấy ngoặt êm với bán kính $R = 0,5 \text{ m}$ và một khoá điều chỉnh được mở 45° .



Giải:

Ta viết phương trình Becnuli cho 2 mặt cắt 1-1 và 2-2:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 + \rho g z_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g z_2 + \Delta p$$

Trong đó: v_1 - vận tốc trên mặt thoáng;

v_2 - vận tốc trung bình trong ống hút;

p_1 - áp suất khí quyển;

Δp - tổn thất áp suất tổng cộng (chiều dài và cục bộ).

Vì $z_1 = 0$; $v_1 \approx 0$, ta xem mặt cắt 1-1 là mặt chuẩn, ta có:

$$p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2 + \rho g Z_h + \Delta p$$

Chiều cao đặt bơm tính từ mặt nước trong giếng:

$$Z_h = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} - \frac{v_2^2}{2g} - \frac{\Delta p}{\rho g}$$

Vận tốc trung bình trong ống hút:

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 50 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,25^2} = 1,02 \text{ m/s}$$

Tổng tổn thất áp suất:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v_2^2}{2} + \sum \zeta \rho \frac{v_2^2}{2} = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \rho \frac{v_2^2}{2}$$

Trong đó: $\sum \zeta = \zeta_v + \zeta_{ng} + \zeta_k$

Tra bảng trong phụ lục ta có:

$\zeta_v = 5$ - Hệ số sức cản cục bộ khi vào ống hút;

$\zeta_{ng} = 2,64$ - Hệ số sức cản cục bộ tại chỗ ngoặt êm;

$\zeta_k = 5$ - Hệ số sức cản cục bộ của khoá;

$\lambda = 0,0278$

Vậy ta có:

$$\Delta p = h_w \rho g = \left(\lambda \frac{l}{d} + \zeta_v + \zeta_{ng} + \zeta_k \right) \rho \frac{v_2^2}{2} =$$

$$= \left(0,0278 \frac{50}{0,25} + 5 + 2,64 + 5 \right) 998,2 \frac{1,02^2}{2} = 0,91 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

Suy ra:
$$Z_h = \frac{10^5 (1 - 0,3)}{998,2 \cdot 9,8} - \frac{1,02^2}{2 \cdot 9,8} - \frac{0,91 \cdot 10^4}{998,2 \cdot 9,8} = 6,2 \text{ m}$$

Vậy chiều cao đặt bơm không được quá 6,2 m.

Bài tập 10-1:

Bơm ly tâm đặt với độ cao hút $[z] = 3,795 \text{ m}$. Tổn thất trong ống hút $\Sigma h_{wh} = 1,505 \text{ m}$. áp suất ở miệng ra $\frac{p_2}{\gamma} = 74,7 \text{ m}$.

Xác định cột áp của bơm và tổn thất trong đường ống đẩy. Biết độ cao giữa hai bể chứa $H_T = 68 \text{ m}$; đường kính ống hút và đẩy bằng nhau.

Đáp số: $H = 80 \text{ m}$; $\Sigma h_{wd} = 10,495 \text{ m}$

Bài tập 10-2:

Xác định chiều cao hút cho phép của bơm ly tâm, có lưu lượng $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ (không tính năng lượng dự trữ xâm thực), ở nhiệt độ nước 30°C và 80°C . Áp suất khí quyển bằng 760 mm cột thuỷ ngân. Đường kính ống hút $d_s = 100 \text{ mm}$, tổng hệ số cản trong ống hút $\Sigma \zeta = 8,4$.

Đáp số: $h_{s1} = 7,74 \text{ m}$; $h_{s2} = 3,34 \text{ m}$

Câu hỏi ôn tập chương X

1. Công dụng và phân loại máy thuỷ khí.
2. Các thông số cơ bản của máy thuỷ khí.

Chương XI

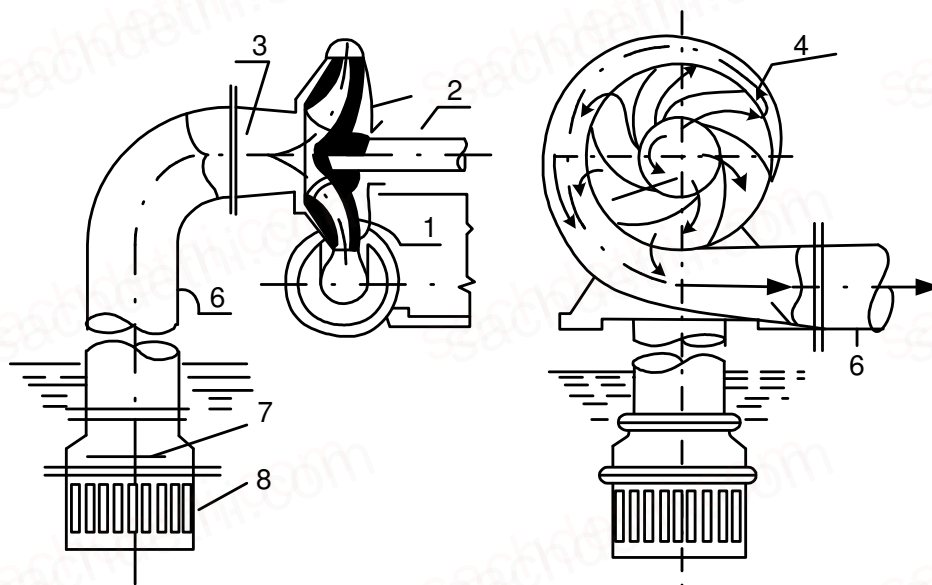
BƠM LY TÂM

11.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Bơm ly tâm thuộc loại bơm cánh dẫn được sử dụng rộng rãi do có những ưu điểm sau :

- Cấu tạo đơn giản và chắc chắn, tháo lắp tiện lợi, trọng lượng kích thước không lớn khi có năng suất lớn, diện tích đặt máy không lớn và nền máy đơn giản.
- Nối trực tiếp với động cơ điện hoặc tước bin hơi thích ứng với kích thước của tất cả trạm bơm và nâng cao hiệu suất của liên hợp bơm.
- Khởi động bơm nhanh và điều chỉnh đơn giản trong khoảng lưu lượng lớn.
- Truyền nước đều và liên tục. Có thể bơm được nhiều loại chất lỏng khác nhau, hỗn hợp chất lỏng và chất rắn.
- Giá thành tương đối rẻ, sử dụng đơn giản, tiện lợi.

Xét sơ đồ kết cấu của một bơm ly tâm đơn giản (Hình 11-1).



Hình 11-1. Nguyên lý cấu tạo bơm Ly tâm

Bộ phận cơ bản và quan trọng nhất là bánh công tác 1 đặt trên trục 2.

Bánh công tác gồm có những bản lá uốn cong đặt trong buồng xoắn cố định. Ở đầu bộ phận dẫn hướng vào 3 có ống hút 5 có lắp van một chiều 7 và lưới chắn rác 8. Ở bộ phận dẫn hướng ra của buồng xoắn 4 có ống đẩy 6.

Trước khi khởi động bơm, phải đổ đầy chất lỏng vào bơm (mỗi bơm) khi bơm làm việc bánh công tác quay, các phần tử chất lỏng ở trong rãnh của bánh công tác dưới ảnh hưởng của lực ly tâm bị dồn từ trong ra ngoài, chuyển động theo máng dẫn và đi vào ống đẩy với áp suất cao hơn. Đồng thời lối vào của bánh công tác tạo nên một vùng có chân không và dưới tác dụng của áp suất trong bể chứa lớn hơn áp suất ở lối vào của bơm, chất lỏng ở bể hút liên tục bị đẩy vào bơm theo ống hút. Quá trình hút và đẩy của bơm là quá trình liên tục, tạo nên dòng chảy liên tục qua bơm.

Để tiện cho việc thiết kế, chế tạo và sử dụng, bơm được phân loại như sau:

Phân loại theo cột áp của bơm:

- Bơm cột áp thấp : $H < 20m$ cột nước
- Bơm cột áp trung bình : $H = (20 \div 60)m$ cột nước
- Bơm cột áp cao : $H > 60m$ cột nước.

Phân loại theo số lượng bánh công tác lắp nối tiếp trong bơm:

- Bơm một cấp (một bánh công tác): cột áp của bơm hạn chế ($\leq 10m$ cột nước) bởi số vòng quay và sức bền vật liệu cánh dẫn.
- Bơm nhiều cấp: gồm 2 hay nhiều bánh công tác mắc nối tiếp nhằm nâng cao cột áp của bơm.

Phân loại theo cách dẫn chất lỏng vào bánh công tác:

- Bơm một miệng hút - bơm có bánh công tác hút chất lỏng từ 1 phía (còn gọi là bơm Congxon). Cách hút này lưu lượng hạn chế, phát sinh lực dọc trục.
- Bơm hai miệng hút - Bơm có bánh công tác hút chất lỏng từ hai phía, cách hút này lưu lượng bơm tăng gấp đôi, không gây lực hướng trục, bơm làm việc ổn định, bền vững hơn.

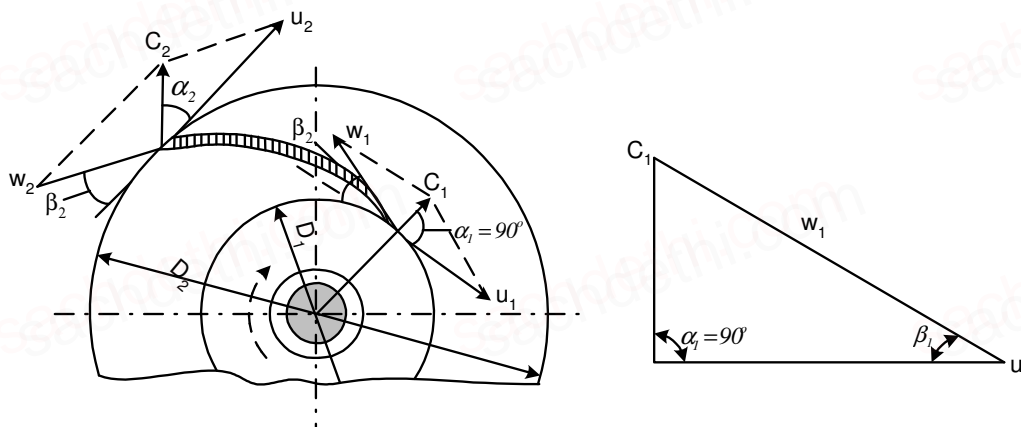
Ngoài ra còn phân loại theo sự bố trí của trục bơm: bơm trục ngang, bơm trục đứng. Theo điều kiện chảy của chất lỏng vào bơm: loại có cơ cấu dẫn hướng và không có cơ cấu dẫn hướng...

11.2. LÝ THUYẾT CƠ BẢN VỀ BƠM LY TÂM

11.2.1. Phương trình cơ bản của bơm ly tâm

Để thiết lập được phương trình cơ bản của bơm, ta giả thiết khi bơm làm việc không có tổn thất thủy lực và bánh công tác có vô số bản lá. Điều đó cho phép ta xem dòng chảy trong bánh công tác gồm những dòng nguyên tố và tốc độ của những chất điểm trên bề mặt dòng nguyên tố được xác định như nhau.

Ứng dụng phương trình mô men động lượng (đã đề cập đến ở Chương IV) Đối với bơm ta có biểu thức mô men quay của trục (Hình 11-2):



Hình 11-2

$$M = \rho Q_T (c_2 l_2 - c_1 l_1) = \rho Q_T (C_2 R_2 \cos \alpha_2 - C_1 R_1 \cos \alpha_1)$$

Công suất trên trục của bánh công tác: $N = M\omega$; ω - vận tốc góc.

Công suất thủy lực: $N_{tl} = \gamma Q H_T$; H_T - Cột áp lý thuyết.

Vì bỏ qua tổn thất thủy lực: $N = N_{tl}$, nghĩa là $\rho g Q_T H_T = M\omega$

Suy ra:

$$H_T = \frac{C_2 R_2 \cos \alpha_2 - C_1 R_1 \cos \alpha_1}{g} \omega$$

Vì: $\omega R_1 = u_1$; $\omega R_2 = u_2$ - vận tốc theo chiều quay

$\varphi \cos \alpha_1 = C_{1u}$; $C_2 \cos \alpha_2 = C_{2u}$ - Thành phần vận tốc tuyệt đối chiếu theo phương u , nên:

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u} - u_1 C_{1u}}{g} \quad (11-1)$$

Đó là phương trình cơ bản của bơm ly tâm hay còn gọi là phương trình Ôle của bơm.

Trong các bơm ly tâm hiện đại $\vec{C}_1 \perp \vec{u}_1 \rightarrow \alpha_1 = 90^\circ \rightarrow C_{1u} = 0$ (để cột áp của bơm có lợi nhất) nên ta có :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g} \quad (11-2)$$

Xét phương trình (11-2) ta thấy cột áp của bơm càng lớn khi tốc độ quay vành ngoài của bánh công tác càng lớn và hình chiếu của tốc độ tuyệt đối trên phương tốc độ quay càng lớn (α_2 nhỏ, β_2 lớn).

Cột áp thực tế của bơm ly tâm nhỏ hơn cột áp lý thuyết do 2 nguyên nhân:

Do tổn thất thủy lực trong bơm; Do có số bản lá nhất định nên không phải tất cả các chất điểm của chất lỏng đều chuyển động bằng nhau.

Nó làm giảm tốc độ tuyệt đối hay hình chiếu của tốc độ tuyệt đối trên phương tốc độ quay.

Vậy phương trình để tính cột áp thực tế của bơm có dạng.

$$H = K\eta_t \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

Trong đó: H - Cột áp toàn phần của bơm

η_t - Hiệu suất thuỷ lực của bơm, phụ thuộc vào cấu tạo bơm, chất lượng chế tạo các chi tiết bơm và kích thước bơm.

K - Hệ số có tính đến số bản lá nhất định.

11.2.2. Ảnh hưởng của kết cấu cánh dẫn đến cột áp của bơm ly tâm

Kết cấu của bánh công tác nói chung và cánh dẫn nói riêng có ảnh hưởng quyết định đến cột áp của bơm ly tâm. Hình dạng bố trí kết cấu của cánh dẫn chủ yếu phụ thuộc vào góc β_1 (góc vào) và β_2 (góc ra).

- Ảnh hưởng của β_1 :

Góc β_1 biểu thị phương của vận tốc tương đối ở lối vào của bánh công tác. Như ta đã biết, trường hợp có lợi nhất về cột áp của bơm là $\alpha_1 = 90^\circ$, do đó β_1 chỉ phụ thuộc vào u_1 và C_1 (Hình 11-2):

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{C_1}{u_1}$$

Theo (11-2) thì góc vào β_1 không ảnh hưởng trực tiếp đến cột áp của bơm. Nhưng nếu trị số góc β_1 không thích hợp thì sẽ gây va đập dòng chảy với cánh dẫn ở lối vào bánh công tác, ảnh hưởng xấu đến hiệu suất, cột áp của bơm (thường $\beta_1 \approx 15 \div 30^\circ$).

- Ảnh hưởng của β_2 :

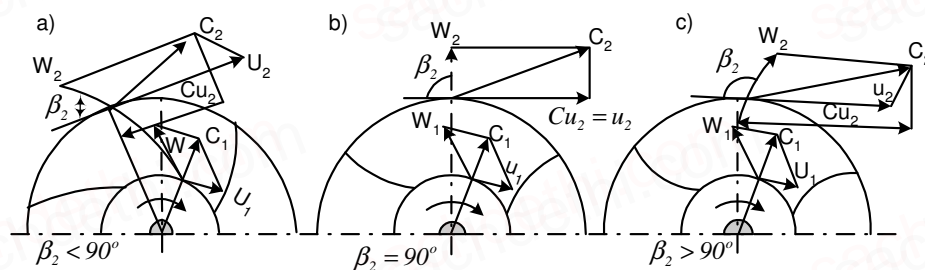
Góc β_2 biểu thị phương của vận tốc ở lối ra của bánh công tác (Hình 11-2). Lý thuyết và thực nghiệm chứng tỏ góc β_2 có ảnh hưởng trực tiếp đến phương và trị số các thành phần vận tốc của dòng chảy trong máng dẫn, do đó có ảnh hưởng quyết định đến cột áp toàn phần H_T và các cột áp thành phần H_v , H_d của bơm.

Tùy theo trị số của β_2 , bánh công tác có ba cách bố trí cánh dẫn sau đây :

$\beta_2 < 90^\circ$ - Cánh dẫn cong về phía sau (Hình 11-3a)

$\beta_2 = 90^\circ$ - Cánh dẫn hướng kính ở lối ra (Hình 11-3b)

$\beta_2 > 90^\circ$ - Cánh dẫn cong về phía trước (Hình 11-3c)



Hình 11-3. ảnh hưởng β_2 đến kết cấu bản lá bơm Ly tâm

Từ (11-2) ta xác định trị số cột áp động của bơm theo công thức :

$$H_d = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} \quad (11-3)$$

trong đó : C_1 và C_2 - tốc độ tuyệt đối của chất lỏng vào và ra khỏi bánh công tác.

Trong kết cấu của bơm, thường thiết kế sao cho $C_1 = C_{2r}$.

Phương trình (11-3) được viết lại như sau :

$$H_d = \frac{C_2^2 - C_{2r}^2}{2g} = \frac{C_{2u}^2}{2g}$$

Mà cột áp toàn phần của bơm từ (11-2) có dạng :

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

- Nếu $\beta_2 < 90^\circ$ thì $C_{2u} < u_2$ do đó $C_{2u}^2 < u_2 C_{2u}$

và

$$\frac{C_{2u}^2}{2g} < \frac{1}{2} \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

Nghĩa là $H_d < 1/2 H_T$ (Cột áp động học nhỏ hơn một nửa cột áp toàn phần)

- Nếu $\beta_2 = 90^\circ$ thì $C_{2u} = u_2$, do đó

$$\frac{C_{2u}^2}{2g} = \frac{1}{2} \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

hay $H_d = 1/2 H_T$ (Cột áp động học bằng cột áp tĩnh học)

- Nếu $\beta_2 > 90^\circ$ thì $C_{2u} > u_2$ do đó $C_{2u}^2 > u_2 C_{2u}$

$$\frac{C_{2u}^2}{2g} > \frac{1}{2} \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

$H_d > 1/2 H_T$ (cột áp động học lớn hơn một nửa cột áp toàn phần)

Nhiệm vụ của bơm là tạo thành cột áp tĩnh học để truyền nước đi xa hoặc lên cao. Vì vậy bánh công tác của bơm ly tâm có cánh dẫn cong về phía sau (Nếu $\beta_2 < 90^\circ$) có lợi hơn về cột áp tĩnh học. Tuy nhiên trị số β_2 xác định trong một giới hạn nhất định ($\beta_2 = 15 \div 30^\circ$).

11.3. ỨNG DỤNG LUẬT TƯƠNG TỰ TRONG BƠM LY TÂM

11.3.1. Định luật tương tự

Hai máy bơm tương tự phải thoả mãn các tiêu chuẩn tương tự sau đây:

- Tương tự hình học là hai máy bơm phải đồng dạng, nghĩa là các góc bố trí cánh dẫn phải bằng nhau và các kích thước tương ứng phải tỷ lệ với nhau.

- Tương tự động học là các tam giác vận tốc tương ứng của chất lỏng chảy trong 2 bánh công tác của 2 máy bơm phải đồng dạng, nghĩa là tỷ lệ giữa các vận tốc tương ứng phải bằng nhau.

Ta thấy rằng những bánh công tác tương tự có đường kính D_1 và D_2 với số vòng quay n_1 và n_2 tạo nên cột áp H_1 và H_2 .

Từ phương trình cơ bản của bơm ly tâm (xác định cột áp) và công thức xác định lưu lượng của bơm, ta xác định được các quan hệ tương tự của lưu lượng cột áp và công suất khi số vòng quay và đường kính bánh công tác của 2 bơm khác nhau :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1 D_1^3}{n_2 D_2^3} \quad (11-4)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1 D_1}{n_2 D_2} \right)^2 \quad (11-5)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^5 \quad (11-6)$$

Các quan hệ (11-4),(11-5),(11-6) thể hiện nội dung của định luật tương tự của bơm ly tâm.

Dựa vào định luật tương tự ta có thể tính toán với độ chính xác cao những thông số cơ bản của bơm thiết kế, nếu biết thông số của bơm tương tự và nghiên cứu bằng thực nghiệm loại bơm mới trên mô hình nhỏ làm giảm nhẹ công việc và tăng thêm sự hoàn chỉnh cấu tạo bơm.

Tuy nhiên định luật tương tự chỉ ứng dụng trong trường hợp kích thước của bơm không khác nhau quá 2 đến 3 lần và bơm làm việc với cùng một loại chất lỏng.

11.3.2. Số vòng quay đặc trưng n_s

Số vòng quay đặc trưng là số vòng quay của bánh công tác bơm ly tâm, có các chi tiết máy tương tự hình học với bánh công tác của bơm nghiên cứu, có lưu lượng $Q = 75 \text{ l/s}$ và cột áp $H = 1 \text{ m}$ cột nước, công suất $N = 0,736 \text{ kW} = 1$ mã lực.

Dùng định luật tương tự ta có:

$$\frac{l}{H} = \frac{n_s^2 D_s^2}{n^2 D^2} \quad \text{va} \quad \frac{0,075}{Q} = \frac{n_s D_s^3}{n D^3}$$

D_s và n_s là đường kính bánh công tác và số vòng quay bơm có lưu lượng $Q=75l/s$, cột $H = 1m$ cột nước.

Từ hai biểu thức trên ta tính được

$$\frac{D_s^2}{D^2} = \frac{n^2}{n_s^2 H} \Rightarrow \frac{D_s^3}{D^3} = \frac{n^3}{n_s^3 H^{\frac{3}{2}}}$$

$$\text{và :} \quad \frac{0,075}{Q} = \frac{n_s n^3}{n n_s^3 H^{3/2}} = \frac{n^2}{n_s^2 H^{3/2}}$$

$$\text{Rút ra :} \quad n_s = 3,65 \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (11-7)$$

Xét phương trình (11-7) ta thấy số vòng quay đặc trưng không phụ thuộc vào loại chất lỏng. Như vậy ta có thể xác định được số vòng quay đặc trưng của bất kỳ loại bơm nào, nếu biết được năng suất, cột áp của bơm ứng với số vòng quay n .

Dùng khái niệm về số vòng quay đặc trưng, ta có thể :

- Thành lập sự phân loại thủy lực bơm ;
- So sánh những loại bánh công tác khác nhau của bơm ly tâm ;
- Nghiên cứu những bơm lớn trên mô hình nhỏ ;
- Chọn bơm tiện lợi nhất khi biết năng suất và cột áp.

11.3.3. Sự liên hệ giữa lưu lượng, cột áp với số vòng quay của bơm ly tâm

Ta đã biết trong một bơm ly tâm khi số vòng quay làm việc (n) của bơm thay đổi thì các thông số làm việc khác của bơm Q , H , N cũng thay đổi theo. Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi một bơm ly tâm làm việc với số vòng quay n thay đổi ít (dưới 50% so với n định mức) thì hiệu suất của bơm η thay đổi ít có thể xem $\eta = const$. Mặt khác các vận tốc đều tỷ lệ với số vòng quay nên các tam giác vận tốc sẽ đồng dạng với nhau. Do đó các chế độ làm việc khác nhau của một bơm khi số vòng quay n thay đổi ít, xem như các trường hợp tương tự.

Ứng dụng các công thức xác định lưu lượng Q và cột áp H của bơm ly tâm :

$$Q = \pi D b C_2 \eta_v$$

$$H = \frac{K u_2 C_2 \cos \alpha_2 \eta_t}{g}$$

Gọi H_1 , Q_1 , N_1 là cột áp, lưu lượng và công suất ứng với số vòng quay n_1 ;

H_2 , Q_2 , N_2 là cột áp, lưu lượng và công suất ứng với số vòng quay n_2 ;

Ta xác định được các quan hệ tỷ lệ giữa lưu lượng, cột áp và công suất với số vòng quay của bơm ly tâm như sau :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (11-8)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 \quad (11-9)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \quad (11-10)$$

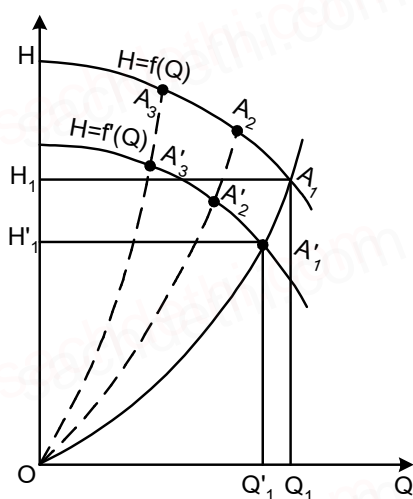
11.3.4. Xác định điểm làm việc và đường đặc tính khi chế độ làm việc của bơm thay đổi

a) Vẽ đường đặc tính mới của bơm khi số vòng quay làm việc thay đổi: Biết đường đặc tính làm việc $H = f(Q)$ với số vòng quay n (Hình 11-4) ứng với điểm làm việc $A_1(H_1, Q_1)$, dùng công thức (11-8)(11-9) có thể tính được H'_1, Q'_1 ứng với điểm làm việc $A'_1(H'_1, Q'_1)$ khi số vòng quay của bơm $n' \neq n$.

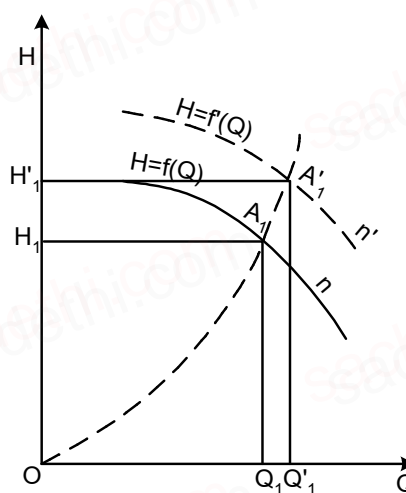
$$H'_1 = H_1 \left(\frac{n'}{n} \right)^2$$

$$Q'_1 = Q_1 \left(\frac{n'}{n} \right)$$

Cũng tương tự như vậy đối với các điểm khác A_2, A_3, \dots, A_i trên đường đặc tính $H = f(Q)$ ta có thể tìm ra các điểm tương ứng A'_2, A'_3, \dots, A'_i . Và ta có thể vẽ được đường đặc tính mới của bơm $H = f'(Q)$ ứng với số vòng quay làm việc n' của bơm.



Hình 11-4.



Hình 11-5.

b) Vẽ đường biểu diễn những điểm làm việc tương tự (đường cùng hiệu suất) từ các quan hệ tương tự (11-8)(11-9) ta có thể viết:

$$\frac{H_1}{H'_1} = \left(\frac{Q_1}{Q'_1} \right)^2 \quad \text{hoặc} \quad \frac{H_1}{Q_1^2} = \frac{H'_1}{Q'^2_1} = \text{const}$$

Như vậy các điểm làm việc A_1, A'_1, \dots ứng với các cặp trị số $H_1, Q_1; H'_1, Q'_1; \dots$ biểu diễn những chế độ làm việc tương tự. Các điểm làm việc tương tự biểu thị quan hệ bậc 2 giữa lưu lượng và cột áp - Quy luật Parabol: $H = KQ^2$ (K - hằng số). Đường cong này là đường biểu diễn các điểm làm việc có hiệu suất bằng nhau gọi là đường cùng hiệu suất.

c) *Xác định số vòng quay làm việc của bơm ứng với một điểm làm việc cho trước.*

Chẳng hạn cần xác định số vòng quay n' có đường đặc tính làm việc đi qua điểm $A'_1(H'_1, Q'_1)$ không nằm trên đường đặc tính cho trước $H = f(Q)$ ứng với số vòng quay n .

Muốn vậy, trước hết ta phải xác định đường cong cùng hiệu suất - biểu diễn các điểm làm việc tương tự với điểm $A'_1(H'_1, Q'_1)$.

$$\text{Như vậy có } H'_1 = KQ'^2_1 \text{ hay } K = \frac{H'_1}{Q'^2_1}$$

Khi biết K rồi, vẽ đường $H = KQ^2$ đi qua điểm cho trước A'_1 cắt $H = f(Q)$ tại điểm A_1 (Hình 11-5) đó chính là điểm làm việc tương tự với điểm A'_1 . Khi biết được điểm $A_1(H_1, Q_1)$ từ quan hệ tương tự (11-8), hoặc (11-9) ta có thể xác định được số vòng quay n' :

$$n' = \frac{Q'_1}{Q_1} n \quad \text{hoặc} \quad n' = n \sqrt{\frac{H'_1}{H_1}}$$

**Chú ý:* bơm có thể làm việc với số vòng quay giảm, nhưng tăng số vòng quay trong trường hợp cần phải theo qui định của nhà máy chế tạo.

11.4. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA BƠM LY TÂM

Các quan hệ $H = f_1(Q); N = f_2(Q); \eta = f_3(Q)$ biểu thị dưới dạng đồ thị gọi là các đường đặc tính của bơm.

Có 2 phương pháp xây dựng các đường đặc tính: bằng lý thuyết và thực nghiệm.

11.4.1. Đường đặc tính làm việc ($n = \text{const}$)

a - *Đường đặc tính lý thuyết :*

Từ phương trình cơ bản, ta có thể xây dựng đường đặc tính lý thuyết của bơm.

$$H_T = \frac{u_2 C_{2u}}{g}$$

Xét tam giác vận tốc (Hình 11-4) ta có :

$$C_{2u} = u_2 - C_{2r} \cotg \beta_2$$

$$\text{Mặt khác :} \quad C_{2u} = \frac{Q_T}{\pi D_2 b_2 \varphi_2}$$

φ_2 - Hệ số tính đến sự giới hạn mặt cắt đi ra do có các cánh dẫn ($\varphi_2 < 1$)

Do đó :

$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 \cot \beta_2}{\pi D_2 b_2 \varphi_2} Q_T$$

$$H_T = A - B \cot \beta_2 Q_T$$

trong đó A, B là những hằng số dương.

Đường biểu diễn phương trình này gọi là đường đặc tính cơ bản lý thuyết, đó là một đường thẳng không qua gốc toạ độ, hệ số góc của nó phụ thuộc vào trị số góc β_2 (Hình 11-7)

Nếu $\beta_2 < 90^\circ$ thì $\cot \beta_2 > 0$, ta có đường AD

Nếu $\beta_2 = 90^\circ$ thì $\cot \beta_2 = 0$, ta có đường AC

Nếu $\beta_2 > 90^\circ$ thì $\cot \beta_2 < 0$, ta có đường AB

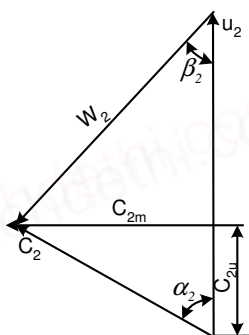
Như đã phân tích ở trên đối với bơm ly tâm thì $\beta_2 < 90^\circ$, do đó đường đặc tính lý thuyết của bơm là đường nghịch biến bậc nhất AD .

Cần chú ý đường đặc tính lý thuyết AD biểu diễn phương trình cơ bản (11-2) trong đó chưa kể tới ảnh hưởng của số cánh dẫn có hạn và các loại tổn thất. Khi kể tới ảnh hưởng do số cánh dẫn có hạn, đường đặc tính trở thành đoạn thẳng $A'D'$.

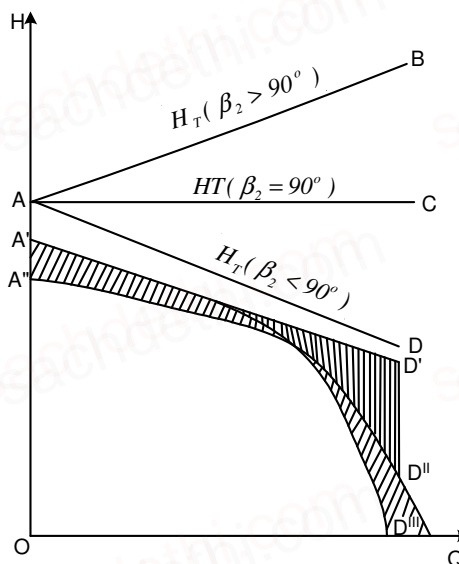
$$H'_T = KH_T$$

trong đó $K < 1$ - hệ số kể tới ảnh hưởng của số cánh dẫn có hạn.

Khi kể tới các loại tổn thất thủy lực của dòng chảy qua bánh công tác các loại tổn thất này đều tỷ lệ với bình phương của vận tốc, tức là với bình phương của lưu lượng, thì đường đặc tính là đường cong bậc hai $A'D''$.



Hình 11-6.



Hình 11-7.

Khi kể đến các loại tổn thất cơ học và lưu lượng thì đường đặc tính $A''D'''$ thấp hơn một chút so với $A'D'$. Đường $A''D'''$ chính là đường đặc tính cơ bản tính toán của bơm ly tâm.

Cách xây dựng đường đặc tính bằng tính toán rất phức tạp vì việc đánh giá chính xác các loại tổn thất của bơm hiện nay còn gặp nhiều khó khăn. Bởi vậy trong kỹ thuật thường xây dựng các đường đặc tính bằng các số liệu đo được khi khảo nghiệm trên các máy cụ thể - đường đặc tính thực nghiệm.

b - Đường đặc tính thực nghiệm.

Muốn xây dựng các đường đặc tính thực nghiệm của bơm ly tâm thì phải cho bơm làm việc trong một hệ thống thí nghiệm (Hình 11-8).

Trình tự khảo nghiệm như sau :

Đầu tiên mở khoá 2, cho bơm làm việc cho đến khi số vòng quay của trục bơm đạt tới trị số yêu cầu, trong khi đó khoá 5 vẫn đóng ($Q = 0$). Từ các trị số đo được lúc này ở áp kế và chân không kế ta xác định được cột áp H của bơm ở chế độ “không tải”.

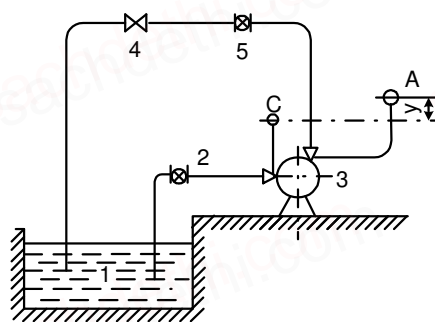
Sau đó mở dần khoá 5 để tăng lưu lượng của bơm (trong khi $n = \text{const}$). Ứng với mỗi vị trí mở của khoá 5 ứng với mỗi trị số lưu lượng Q , ta xác định được các trị số cột áp H , công suất của động cơ N_{dc} tương ứng.

Trình tự thí nghiệm cũng có thể tiến hành ngược lại từ chế độ làm việc có Q lớn nhất, sau đó giảm dần (bằng cách đóng dần khoá 5) cho đến chế độ “không tải” ($Q = 0$).

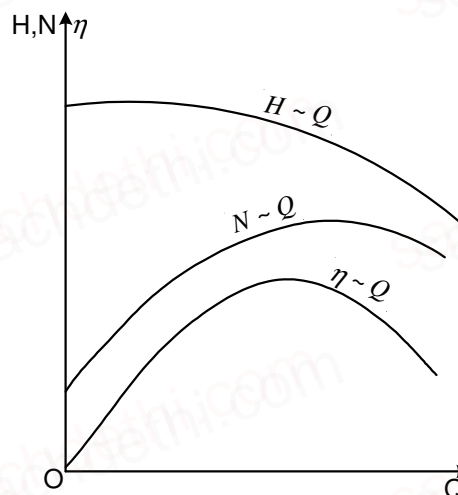
Tại mỗi điểm làm việc ứng với Q, H nhất định ta xác định được công suất thuỷ lực của bơm (N_{tl}) tương ứng. So sánh công suất thuỷ lực với công suất đo được trên trục bơm ta xác định được hiệu suất của bơm η .

Như vậy từ các số liệu thí nghiệm, ta có thể xây dựng được các đường đặc tính thực nghiệm của bơm $H - Q, N - Q, \eta - Q$ (Hình 11-9).

Các đường đặc tính thực nghiệm nói chung không trùng với đường đặc tính lý thuyết đối với một bơm cụ thể. Điều đó có thể lý giải là trong lý thuyết tính toán không thể đánh giá hoàn toàn chính xác các loại tổn thất trong bơm so với thực tế.



Hình 11-8.



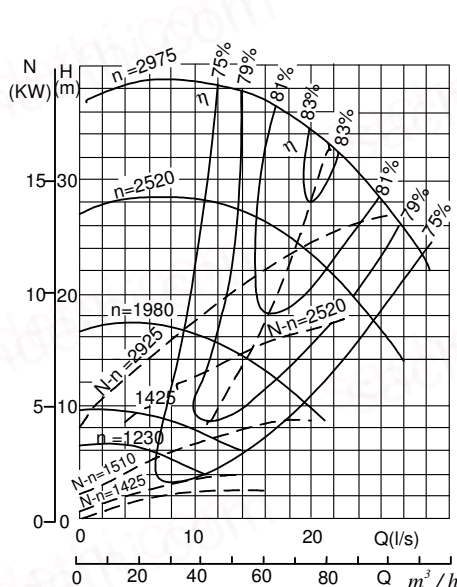
Hình 11-9.

Các đường đặc tính thực nghiệm trên thường được ghi trong các tài liệu kỹ thuật của bơm. Đối với bơm ly tâm, thường có thêm đường biểu diễn quan hệ độ chân không hút cho phép với lưu lượng $[H_{CK}] = f(Q)$.

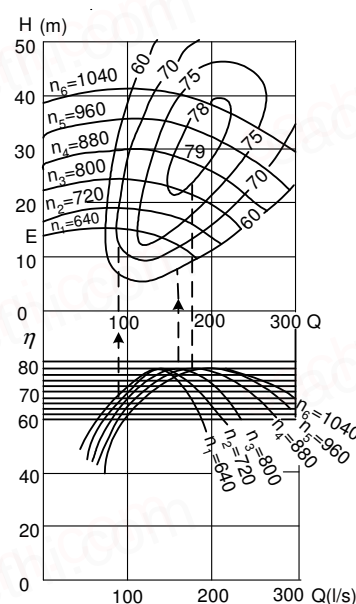
11.4.2. Đường đặc tính tổng hợp ($n = var$)

Để xác định được nhanh chóng các thông số Q , η , N của bơm thay đổi như thế nào khi số vòng quay làm việc của bơm thay đổi, người ta xây dựng đường đặc tính tổng hợp của bơm (Hình 11-10).

Đường đặc tính tổng hợp của bơm chính là đường biểu diễn quan hệ $Q - H$ với các số vòng quay làm việc của bơm khác nhau, trên đó các điểm làm việc cùng hiệu suất được nối với nhau thành những đường cong, gọi là đường cùng hiệu suất.



Hình 11-10.



Hình 11-11

Để xây dựng đường đặc tính tổng hợp, cần phải có các đường đặc tính làm việc ứng với nhiều số vòng quay khác nhau của bơm. Trên hình 11- 11 biểu thị các đường đặc tính $H - Q$, $\eta - Q$ ứng với nhiều số vòng quay.

Căn cứ vào đường đặc tính tổng hợp của bơm ly tâm, ta có thể chọn chế độ làm việc thích hợp nhất trong khi điều chỉnh bơm, xác định được khả năng làm việc của bơm khi chọn mua bơm.

11.5. ĐIỂM LÀM VIỆC, ĐIỀU CHỈNH BƠM

11.5.1. Điểm làm việc

Bơm bao giờ cũng làm việc trong một hệ thống đường ống cụ thể nào đấy. Do đó ta cần phải xác định chế độ làm việc của bơm. Theo (10 - 7) có thể xác định được cột áp của bơm làm việc trong một hệ thống (Đó cũng chính là cột áp của hệ thống):

$$H = Z + \sum h_w$$

trong đó :

Z - Độ cao hình học của bơm; $\sum h_w$ - Tổn thất năng lượng trong ống hút và ống đẩy của bơm. Như đã biết trong thuỷ lực $\sum h_w$ phụ thuộc vào đường kính, chiều dài ống dẫn, lưu lượng truyền trong ống dẫn, vật liệu và trạng thái ống dẫn.

$$\sum h_w = AQ^2$$

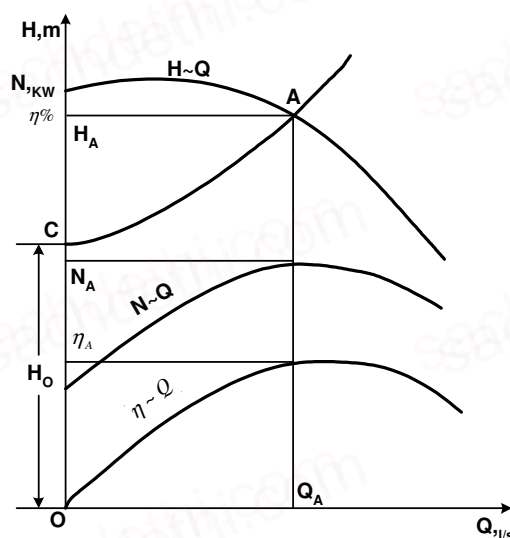
trong đó : A - hệ số tổn thất phụ thuộc vào các yếu tố đã nói ở trên.

Q - lưu lượng của bơm.

Do đó có thể viết :

$$H = Z + AQ^2 \quad (11 - 11)$$

Đường biểu diễn quan hệ (11 - 11) gọi là đường đặc tính ống dẫn (đường đặc tính lưới) trong hệ thống bơm với điều kiện cho trước. Vẽ đồ thị đường đặc tính ống dẫn lên cùng đồ thị đường đặc tính làm việc của bơm (Hình 11-12). Giao điểm của 2 đường đặc tính (của bơm và của hệ thống đường ống) chính là điểm làm việc của bơm ly tâm (điểm A trên hình 11-12). Tại đó bơm làm việc ổn định vì cột áp “đẩy” của bơm bằng cột áp “cản” của hệ thống (xem thêm [6], [7], [10]).



Hình 11-12

Điểm A cho ta biết những thông số biểu thị chế độ làm việc của bơm (lưu lượng Q_A , cột áp H_A , công suất N_A và hiệu suất η_A của bơm).

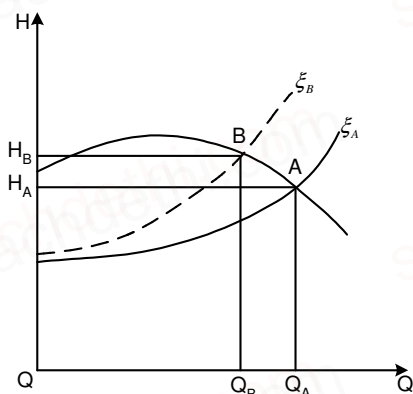
11.5.2. Điều chỉnh bơm

Điều chỉnh bơm sang chế độ làm việc khác nghĩa là thay đổi điểm làm việc của bơm theo một yêu cầu nào đó. Có nhiều phương pháp điều chỉnh.

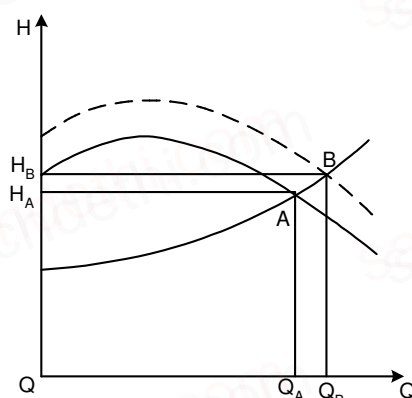
a - Điều chỉnh bằng khoá

Nội dung của phương pháp này là tạo nên sự thay đổi đường đặc tính lưới bằng cách điều chỉnh khoá ở ống đẩy để thay đổi lưu lượng Q của hệ thống (không điều chỉnh khoá ở ống hút vì có thể gây nên hiện tượng xâm thực trong bơm).

Trên hình 11-3: Khi mở khoá hoàn toàn có điểm làm việc A (H_A, Q_A).



Hình 11-13.



Hình 11-14.

Khi đóng bớt khoá lại thì tổn thất khoá sẽ tăng lên ($\xi_A \rightarrow \xi_B$) lưu lượng của hệ thống giảm đi, nghĩa là đường đặc tính lưới sẽ thay đổi (dốc hơn), trong khi đó đường đặc tính bơm vẫn không đổi và như vậy điểm làm việc ở chế độ mới là điểm B (H_B, Q_B)

Phương pháp điều chỉnh này đơn giản, thuận tiện nhưng không kinh tế vì gây thêm tổn thất ở khoá ($\sum h_{wk}$) khi điều chỉnh và chỉ điều chỉnh được trong phạm vi hạn chế.

b - Điều chỉnh bằng số vòng quay trục bơm

Nội dung phương pháp này là làm thay đổi chế độ làm việc của bơm bằng cách thay đổi đường đặc tính của bơm khi thay đổi số vòng quay của trục bơm.

Trên hình 11-14: Điểm làm việc A (H_A, Q_A) ứng với số vòng quay n_A .

Khi tăng số vòng quay đến $n_B > n_A$ thì đường đặc tính bơm sẽ thay đổi trong, trong khi đó đường đặc tính lưới không thay đổi, điểm làm việc từ điểm A chuyển đến điểm B (H_B, Q_B).

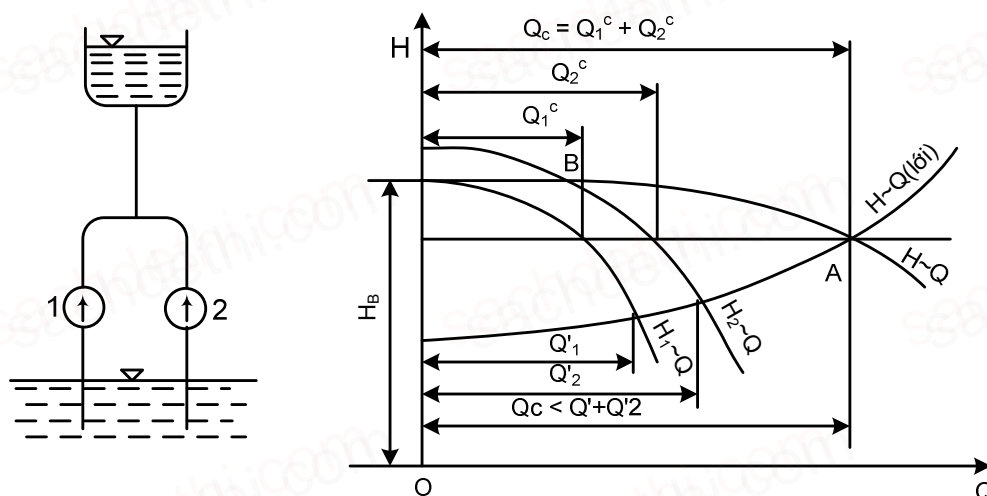
So với phương pháp điều chỉnh bằng khoá, phương pháp này kinh tế hơn (vì không mất tổn thất năng lượng vô ích do khoá) song phức tạp hơn vì phải có thiết bị thay đổi số vòng quay.

Ngoài ra nếu dùng lâu dài với năng suất nhỏ hơn ta có thể điều chỉnh đường đặc tính làm việc của bơm bằng cách ứng dụng định luật tương tự để gọt nhỏ bớt bánh công tác. Nhưng phương pháp này ít được sử dụng vì sẽ phá hoại bánh công tác không phục hồi lại được.

11.6. GHÉP BƠM LY TÂM

Trong thực tế có trường hợp phải ghép nhiều bơm làm việc trong cùng một hệ thống, khi hệ thống có yêu cầu cột áp hoặc lưu lượng lớn hơn cột áp và lưu lượng của một bơm. Có hai cách ghép sau đây :

11.6.1. Ghép song song



Hình 11-15.

Dùng trong trường hợp hệ thống có yêu cầu lưu lượng lớn hơn lưu lượng của một bơm.

Trên hình 11-15 biểu thị sơ đồ ghép song song 2 bơm. Để xác định điểm làm việc chung của hệ thống bơm ta vẽ đường đặc tính chung của các bơm ghép bằng cách cộng các lưu lượng của từng bơm ghép với cùng một cột áp. Giao điểm của đường đặc tính chung với đặc tính lưới là điểm làm việc của các bơm ghép trong hệ thống.

Rõ ràng tổng lưu lượng của 2 bơm làm việc song song sẽ lớn hơn lưu lượng một bơm nhưng nhỏ hơn lưu lượng của hai bơm làm việc riêng rẽ vì tổn thất trong ống dẫn tăng, làm tăng cột áp toàn phần của bơm.

Sau khi nghiên cứu nguyên tắc ghép bơm song song ta thấy:

- Sự điều chỉnh (thay đổi điểm làm việc) của hệ thống bơm ghép song song tương đối phức tạp khi các bơm ghép có đường đặc tính khác nhau nhiều. Vì vậy người ta thường ghép các bơm có đường đặc tính gần giống nhau hoặc như nhau để điều chỉnh thuận lợi.

- Cách ghép bơm song song chỉ có hiệu quả lớn khi đường đặc tính của các bơm ghép thoải (có độ dốc nhỏ) và đường đặc tính lưới không dốc lắm cách ghép này ứng dụng trong các hệ thống bơm cần có cột áp H thay đổi ít, khi lưu lượng Q thay đổi nhiều.

- Số lượng bơm ghép song song để tăng lưu lượng trong hệ thống có giới hạn nhất định, xác định bởi đường đặc tính chung của các bơm ghép và đặc tính lưới.

11.6.2. Ghép nối tiếp

Dùng trong trường hợp hệ thống có yêu cầu cột áp lớn hơn cột áp của một bơm. Điều kiện để các bơm ghép nối tiếp làm việc được bình thường trong hệ thống là các bơm ghép có cùng một lưu lượng.

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_i$$

Cột áp làm việc của hệ thống có ghép nối tiếp bơm khi $Q = \text{const}$ bằng tổng cột áp các bơm ghép:

$$H_c = H_1 + H_2 + \dots + H_i$$

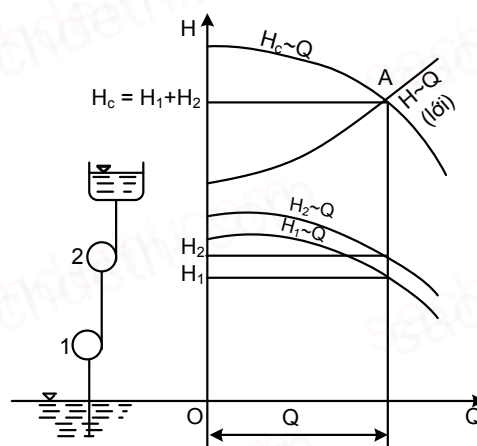
Xét hai bơm 1,2 ghép nối tiếp (Hình 11-16) làm việc trong một hệ thống.

Đường đặc tính chung của 2 bơm ghép ($H_c - Q$) được xây dựng bằng cách cộng các cột áp của riêng từng bơm ghép với cùng một lưu lượng. Giao điểm của đường đặc tính chung với đường đặc tính lưới là điểm làm việc của các bơm ghép trong hệ thống (điểm A - Hình 11-16). Từ đó ta xác định được lưu lượng Q và cột áp của hai bơm ghép ($H_1 + H_2$).

Chú ý :

- Khi ghép nối tiếp nên chọn bơm và hệ thống có đường đặc tính dốc nhiều mới có hiệu quả cao.

- Khi ghép nối tiếp, bơm thứ 2 phải làm việc với áp suất cao hơn bơm 1, do đó phải chú ý đến độ bền của bơm và hệ thống đường ống.

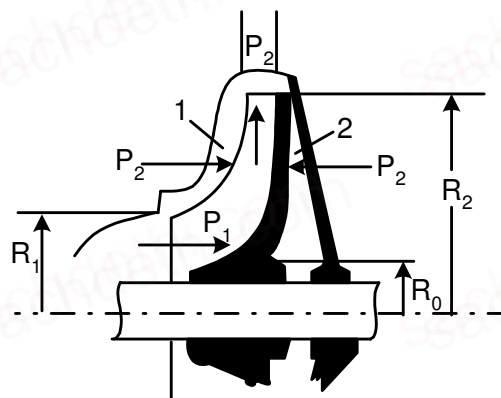


Hình 11-16.

11.7. MỘT SỐ ĐIỂM CHÚ Ý TRONG KẾT CẤU VÀ SỬ DỤNG BƠM LY TÂM

11.7.1. Lực hướng trục trong bơm ly tâm

Ở những bơm hút một phía, trong thời gian làm việc bánh công tác chịu tác dụng của lực hướng trục về phía ngược với hướng chuyển động của chất lỏng đi vào bơm. Lực đó sinh ra lực ma sát phụ làm tăng thêm tổn thất năng lượng, giảm năng suất và hiệu suất của bơm. Quan sát sơ đồ bánh công tác (Hình 11-17), khi chất lỏng đi vào bánh công tác có áp suất p_1 và khi đi ra áp suất tăng lên p_2 . Vì p_2 lớn hơn p_1 nên chất lỏng đi qua các kẽ hở giữa bánh công tác và thân bơm và các buồng trống 1 và 2 và có thể chạy ngược về ống hút làm giảm năng suất bơm.



Hình 11-17

Lực hướng trục là độ chênh áp lực tác dụng lên hai mặt trống 1 và 2 từ hai phía, nghĩa là:

$$P_{ht} = (\pi R_2^2 - \pi R_o^2) p_2 - (\pi R_2^2 - \pi R_1^2) p_2 - (\pi R_1^2 - \pi R_o^2) p_1$$

Sau khi biến đổi ta có:

$$P_{ht} = \pi (R_1^2 - R_o^2) (p_2 - p_1)$$

Nếu $p_2 - p_1 = \gamma H$ (cột áp của bơm) ta có:

$$P_{ht} = \pi \gamma H (R_1^2 - R_o^2) \quad (11-12)$$

Để làm cân bằng lực hướng trục, thường dùng các biện pháp sau đây :

- Với bơm có một bánh công tác: cho chất lỏng đi vào từ hai phía (bơm có 2 miệng hút) hoặc trên đĩa sau bánh công tác có khoan những lỗ, do đó làm giảm độ chênh áp suất tác dụng lên thành ngoài của bánh công tác.

- Với bơm có nhiều bánh công tác: có thể bố trí các bánh công tác đối xứng ngược nhau; hoặc dùng pittong cân bằng gắn vào phần cuối roto của bơm ; hoặc dùng đĩa cân bằng gắn vào trục bơm ở cấp cuối cùng.

11.7.2. Một số điểm chú ý khi sử dụng bơm

- Chọn bơm đúng theo yêu cầu kỹ thuật, dựa vào đường đặc tính của hệ thống và đường đặc tính của bơm, trong đó đặc biệt chú ý đường đặc tính cơ bản ($H - Q$);

- Các thiết bị và đồng hồ đo áp suất, đo chân không, đo điện nên có đầy đủ, phải có van một chiều ở ống hút để dễ dàng khi mỗi bơm và khởi động bơm;

- Trước khi khởi động bơm phải kiểm tra tình trạng bơm, dầu mỡ bôi trơn, động cơ, các mối ghép, hệ thống điện ..., sau đó đổ nước để mỗi bơm để cho nước điền đầy vào trong ống hút và bánh công tác của bơm, đóng khoá trên đường ống đẩy lại để tránh quá tải động cơ khi khởi động bơm;

- Khi khởi động bơm, cho động cơ quay ổn định rồi mới từ từ mở khoá ở ống đẩy cho đến khi đạt năng suất cần thiết;

- Trong khi bơm làm việc cần theo dõi đồng hồ đo, chú ý nghe tiếng máy để phát hiện những hiện tượng bất thường và có biện pháp xử lý kịp thời;

- Khi chuẩn bị tắt máy, làm thứ tự động tác ngược với khi cho máy chạy: đóng khoá trên ống đẩy trước, tắt máy sau.

- Khi bơm làm việc chất lỏng không lên hoặc lên ít, cần dừng máy và kiểm tra lại:

+ Các van hoặc khoá trên ống đẩy;

+ Ống hút không kín hoặc chưa đuổi hết không khí ra khi mỗi bơm;

+ Lưới chắn rác bị lắp kín hoặc miệng ống hút không ở đúng độ sâu cần thiết cách mặt thoáng bề hút;

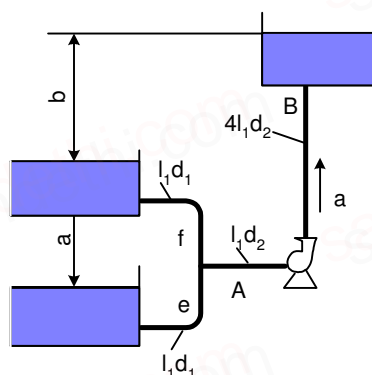
+ Bánh công tác quay ngược chiều (khi đấu dây ngược pha trong động cơ điện) hoặc số vòng quay bánh công tác tăng, giảm quá định mức cho phép...

11.8. VÍ DỤ – BÀI TẬP

Ví dụ 11-1:

Bơm ly tâm hút nước từ hai bể có mức nước chênh nhau một độ cao $a = 1m$ lên bể trên cùng (có độ cao $b = 5m$ so với mức nước sát bên dưới) với lưu lượng $Q = 10 \text{ l/s}$, theo các nhánh đường ống $l = 5m$; $d_1 = 50mm$; $d_2 = 75mm$.

Xác định cột áp của bơm, biết hệ số ma sát đường ống $\lambda = 0,03$; không tính tổn thất cục bộ.



Giải:

$$\text{Cột áp của bơm } H = a + b + \sum h_{AB} + \sum h_e = b + \sum h_{AB} + \sum h_f \quad (1)$$

trong đó $\sum h_{AB}$ - tổn thất trong đường ống từ A đến B;

$\sum h_e$ - tổn thất trong nhánh e;

$\sum h_f$ - tổn thất trong nhánh f.

Từ hệ phương trình (1) ta có

$$a + \sum h_e = \sum h_f$$

$$\sum h_e = \frac{\lambda}{d_1} l \frac{v_e^2}{2g} = \frac{\lambda}{d_1} l \frac{Q_e^2}{2gf_1^2} = K_l Q_e^2$$

$$\sum h_f = \frac{\lambda}{d_1} l \frac{v_f^2}{2g} = \frac{\lambda}{d_1} l \frac{Q_f^2}{2gf_1^2} = K_l Q_f^2$$

$$a + K_l Q_e^2 = K_l Q_f^2 \quad (2)$$

$$\text{Ta có: } Q = Q_f + Q_e \text{ hay } Q_e = Q - Q_f \quad (3)$$

$$\text{Thay } Q_e \text{ vào (2): } a + K_l Q_e^2 = K_l (Q - Q_f)^2 = K_l Q_f^2$$

$$\text{Rút ra: } a + K_l Q^2 + 2K_l Q Q_f = 0$$

$$Q_f = \frac{Q}{2} + \frac{a}{2QK_l} \quad (4)$$

$$K_l = \frac{\lambda}{d_1} l \frac{Q_e^2}{2gf_1^2} = \frac{0,03}{0,05} \cdot 5 \cdot \frac{16}{2,9,8 \cdot \pi^2 \cdot 0,05^5} = 3,97 \cdot 10^4$$

Thay các đại lượng K_l và Q vào (4) ta có:

$$Q_f = \frac{Q}{2} + \frac{a}{1QK_l} = 5 \cdot 10^{-3} + \frac{10}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 3,97 \cdot 10^4} =$$

$$= 5 \cdot 10^{-3} + 1,26 \cdot 10^{-3} = 6,26 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 6,26 \text{ l/s}$$

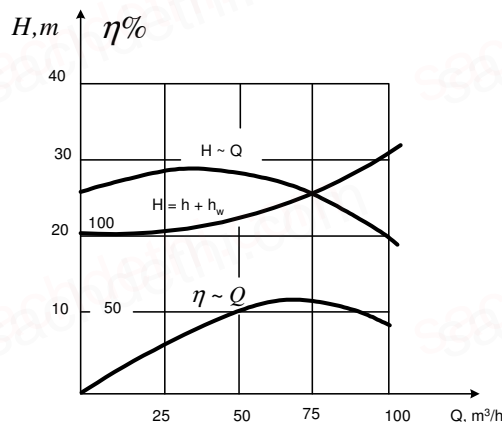
$$Q_e = Q - Q_f = 10 - 6,26 \cdot 10^{-3} = 3,74 \text{ l/s}$$

$$H = b + \sum h_{AB} + \sum h_f = 5 + \frac{0,03}{0,075} \cdot 5,5 \cdot \frac{10^2 \cdot 10^{-6} \cdot 16}{2 \cdot 9,8 \cdot \pi^2 \cdot 7,54^4 \cdot 10^{-8}} + 3,97 \cdot 10^4 \cdot 6,26^2 \cdot 10^{-6} = 5 + 2,65 + 1,55 = 9,2 \text{ m}$$

Ví dụ 11-2:

Một bơm ly tâm có đường đặc tính như hình vẽ, làm việc trong đường ống có đường kính $d = 150 \text{ mm}$, dài $l = 280 \text{ m}$, hệ số cản $\lambda = 0,03$; tổn thất cục bộ tương đương với tổn thất dọc đường có chiều dài $l_{td} = 85 \text{ m}$.

Xác định công suất trên trục của bơm, nếu độ cao hình học bơm $h = 20 \text{ m}$.



Giải:

Chiều dài tính tổn thất của đường ống kể cả tổn thất cục bộ:

$$l' = l + l_{td} = 280 + 85 = 365 \text{ m}$$

Tổn thất năng lượng của đường ống:

$$h_w = \lambda \frac{l' v^2}{d 2g} = 0,03 \cdot \frac{365}{0,15 \cdot 2 \cdot 9,81} v^2 = 3,72 v^2$$

Phương trình của đường đặc tính ống dẫn:

$$H = h + h_w = 20 + 3,72 \frac{Q^2}{\omega^2} = 20 + 11900 Q^2$$

Vẽ đường đặc tính ống dẫn theo phương trình trên lên đồ thị.

Giao điểm của đường đặc tính ống dẫn và đường đặc tính làm việc của bơm, ta xác định được chế độ làm việc của bơm:

$$Q = 75 \text{ m}^3/\text{h}; \quad H = 25,16 \text{ m} \quad \text{và} \quad \eta = 0,60$$

Công suất trên trục của bơm:

$$N = \frac{\gamma Q H}{1000 \eta} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 75 \cdot 25,16}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,6} = 8,56 \text{ kW}$$

Ví dụ 11-3:

Bơm ly tâm làm việc với số vòng quay $n = 950 \text{ vg/ph}$ bơm nước ở nhiệt độ 10°C vào bể có áp với lưu lượng $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$, cột áp của bơm $H = 32 \text{ m}$, áp suất khí quyển $p_2 = 742,0 \text{ mmHg}$.

Nếu muốn tăng năng suất của bơm bằng cách tăng số vòng quay $n_2 = 1450 \text{ v/ph}$ thì chiều cao hút của bơm phải giảm đi bao nhiêu?

Đường kính ống hút của bơm $d_s = 125 \text{ mm}$, hệ số cản của ống hút $\sum \zeta = 22,3$.

Giải:

Lưu lượng của bơm tính bằng m^3/s :

$$Q = \frac{Q}{3600} = \frac{60}{3600} = 0,0167 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Vận tốc trong ống hút:

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,0167.4}{3,14.0,125^5} = 1,36 \text{ m/s}$$

Tổn thất trong ống hút:

$$\sum h_w = \sum \zeta \frac{v^2}{2g} = 22,3 \cdot \frac{1,36^2}{2.9,81} = 2,10 \text{ m}$$

Hệ số xâm thực tính theo công thức:

$$\sigma = \frac{0,001218 n^{4/3} \cdot Q^{2/3}}{H} = \frac{0,001218.950^{4/3} \cdot 0,0167^{2/3}}{32} = 0,0234$$

Năng lượng dự trữ để tránh xâm thực:

$$\sigma_H = 0,0234.32 = 0,75 \text{ m}$$

Chiều cao hút cho phép của bơm tính theo công thức:

$$\begin{aligned} h_{s1} &= \frac{p_a - p_H}{\gamma} - \frac{v_1^2}{2g} - \sum h_w - \sigma H = \\ &= 10,1 - 0,12 - \frac{1,36^2}{2.9,81} - 2,10 - 0,75 = 7,04 \text{ m} \end{aligned}$$

Trong đó: ở 10° C , tra bảng 9-2: $p_H = 0,12 \text{ m}$.

Cột áp và năng suất bơm khi tăng số vòng quay $n_2 = 1450 \text{ v/ph}$:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1} = 0,0167 \frac{1450}{950} = 0,0255 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 = 32 \cdot \frac{1450^2}{950^2} = 75 \text{ m}$$

Vận tốc trong ống hút khi tăng số vòng quay:

$$v_2 = \frac{Q_2}{\omega} = \frac{0,0255.4}{3,14.0,125^5} = 2,08 \text{ m/s}$$

Tổn thất năng lượng trong ống hút:

$$\sum h_w = \sum \zeta \frac{v_2^2}{2g} = 22,3 \cdot \frac{2,08^2}{2 \cdot 9,81} = 4,92m$$

Hệ số xâm thực:

$$\sigma = 0,001218 \frac{n^{4/3} Q^{2/3}}{H} = 0,001218 \frac{1450^{4/3} 0,0255^{2/3}}{75} = 0,0228$$

Cột áp dự trữ để tránh xâm thực:

$$\sigma H = 0,0238 \cdot 75 = 1,71 m$$

Chiều cao hút cho phép của bơm khi làm việc ở số vòng quay $n_2 = 1450$ vg/ph:

$$\begin{aligned} h_{s2} &= \frac{p_a - p_H}{\gamma} - \frac{v_2^2}{2g} - \sum h_w - \sigma H = \\ &= 10,1 - 0,12 - \frac{2,08^2}{2 \cdot 9,81} - 4,92 - 1,71 = 3,13m \end{aligned}$$

Vậy chiều cao hút cần phải đảm bảo:

$$\Delta h_s = h_{s1} - h_{s2} = 7,04 - 3,13 = 3,91 m$$

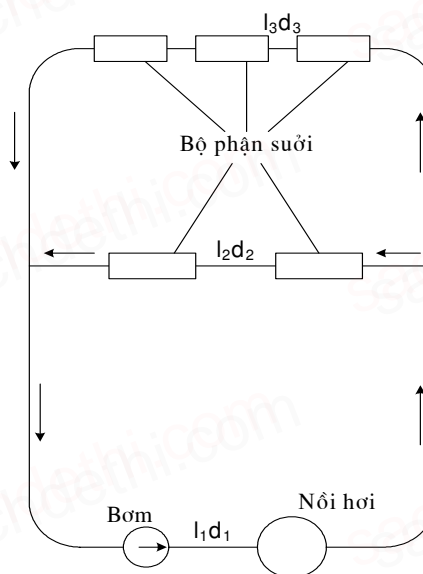
Ví dụ 11-4:

Trong một hệ thống sưởi nóng gồm có lò hơi, hệ số cản $\zeta_n = 15$ và 5 bộ phận sưởi nóng, hệ số cản $\zeta_b = 18$ và bơm ly tâm, có đường đặc tính làm việc (hình vẽ). Bơm nước theo chu trình (hình vẽ), nhiệt độ nước $t = 60^\circ C$.

Xác định lưu lượng qua nồi hơi và công suất trên trục của bơm.

Chiều dài và đường kính các đoạn bằng $l_1 = 45 m$; $d_1 = 75 mm$; $l_2 = 16 m$; $d_2 = 40 mm$; $l_3 = 20 m$; $d_3 = 50 mm$. Hệ số cản của tất cả các đoạn ống $\lambda = 0,03$.

Không tính tổn thất cục bộ trên các đoạn ống.



Giải:

Đường đặc tính của đoạn ống thứ nhất được xác định theo phương trình sau:

$$h_{w1} = \left(\lambda \frac{l_1}{d_1} + \zeta_1 \right) \frac{Q^2}{2g \cdot \omega_1^2} =$$

$$= \left(0,03 \cdot \frac{45}{0,075} + 15 \right) \frac{16 \cdot Q^2}{2,9,81,3,14^2 \cdot 0,075^4} = 15300Q^2$$

Đường đặc tính của đoạn ống thứ hai:

$$h_{w2} = \left(\lambda \frac{l_2}{d_2} + \zeta_2 \right) \frac{Q^2}{2g \cdot \omega_2^2} =$$

$$= \left(0,03 \cdot \frac{16}{0,04} + 2,18 \right) \frac{16 \cdot Q^2}{2,9,81,3,14^2 \cdot 0,04^4} = 1555000Q^2$$

Đường đặc tính của đoạn ống thứ ba:

$$h_{w3} = \left(\lambda \frac{l_3}{d_3} + \zeta_3 \right) \frac{Q^2}{2g \cdot \omega_3^2} =$$

$$= \left(0,03 \cdot \frac{20}{0,05} + 3,18 \right) \frac{16 \cdot Q^2}{2,9,81,3,14^2 \cdot 0,05^4} = 872000Q^2$$

Vẽ 3 đường đặc tính của 3 đoạn ống trên, lên đồ thị đường đặc tính của bơm, bắt đầu từ gốc toạ độ, vì bơm làm việc theo chu trình kín và độ cao hình học của bơm bằng 0.

Vẽ đường đặc tính chung của đoạn ống thứ 2 và thứ 3 bằng cách cộng các hoành độ (mắc song song), ta có đường đặc tính chung (2+3).

Vẽ đường đặc tính chung của đường (2 + 3) và đường đặc tính ống 1, bằng cách cộng các tung độ lại (mắc nối tiếp), ta được đường đặc tính của cả hệ thống (1 + 2 + 3).

Giao điểm của đường đặc tính tổng hợp (1 + 2 + 3) và đường đặc tính làm việc của bơm cho ta chế độ làm việc của bơm:

$$Q = 4,2 \text{ l/s}; \quad H = 7,8 \text{ m} \quad \text{và} \quad \eta = 0,65$$

Công suất trên trục của bơm:

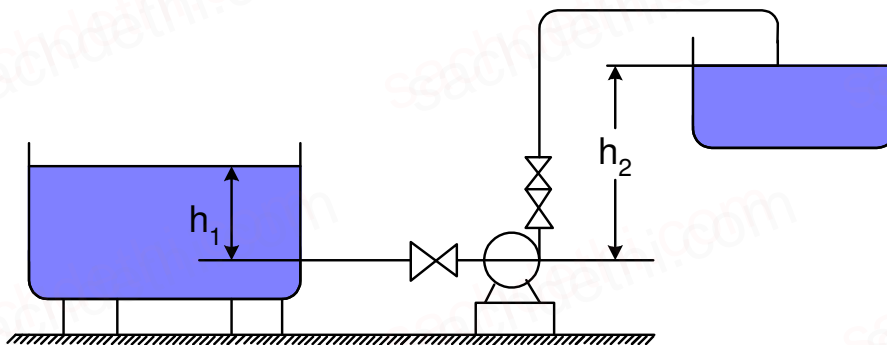
$$N = \frac{\gamma Q H}{1000 \eta} = \frac{983,9,81,0,0042 \cdot 7,8}{1000 \cdot 0,65} = 0,485 \text{ kW}$$

Bài tập 11-1:

Một bơm ly tâm chuyển nước ở nhiệt độ 20°C , từ một bể thu nước lên kênh tiêu (hình vẽ). Lưu lượng nước $Q = 24 \text{ m}^3/\text{h}$. Đường đặc tính ở số vòng quay $n_1 = 950 \text{ vg/ph}$, cho ở bảng sau:

$Q \text{ (l/s)}$	4,0	6,0	8,0	10,0
$H \text{ (m)}$	9,10	8,15	6,75	5,00

Xác định số vòng quay n_2 phải bằng bao nhiêu nếu mực nước trong bể thu trên trục bơm $h_1 = 2,0 \text{ m}$; mực nước trong kênh tiêu $h_2 = 3,2 \text{ m}$ (trên trục bơm).

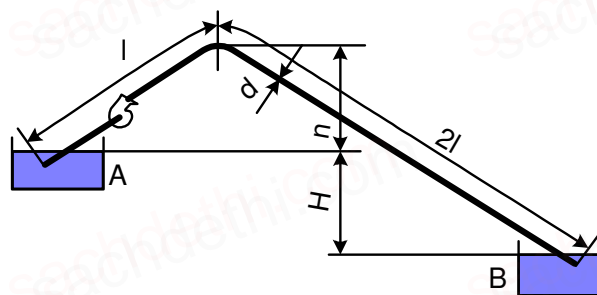
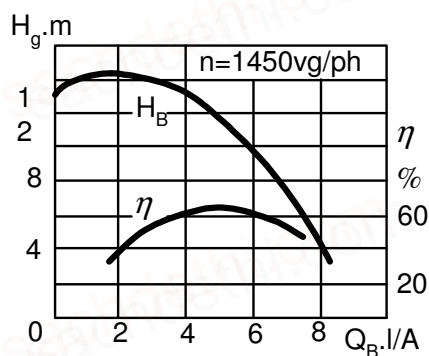


Chiều dài của ống $l = 28 \text{ m}$; đường kính ống $d = 75 \text{ mm}$; hệ số cản $\lambda = 0,03$; tổng hệ số cản cục bộ $\sum \zeta = 15,9$.

Đáp số: $n_2 = 773 \text{ vg/ph}$

Bài tập 11-2:

Bơm ly tâm có đường đặc tính đã cho với $n = 1450 \text{ vg/ph}$, bơm nước từ bể A đến bể B theo đường ống xi phông có độ dài $3l = 75 \text{ m}$, đường kính $d = 50 \text{ mm}$. Độ chênh mức nước trong hai bể $H = 8 \text{ m}$, điểm cao nhất của ống xi phông nằm cách mức nước bể A là $h = 5 \text{ m}$.



1. Xác định lưu lượng cột áp và hiệu suất của bơm. Biết rằng hệ số ma sát đường ống $\lambda = 0,025$; không tính tổn thất cục bộ và cột áp vận tốc.
2. Bơm đặt trước hay sau xi phông, tại sao ?
3. Xác định lưu lượng trong ống xi phông nếu bơm không làm việc.
4. Xác định áp suất ở điểm cao nhất của ống xi phông khi bơm làm việc và bơm không làm việc.

Đáp số: 1) $Q = 6 \text{ l/s}$; $H = 10 \text{ m}$; $h = 60\%$

2) Đặt trước; 3) $Q' = 4 \text{ l/s}$;

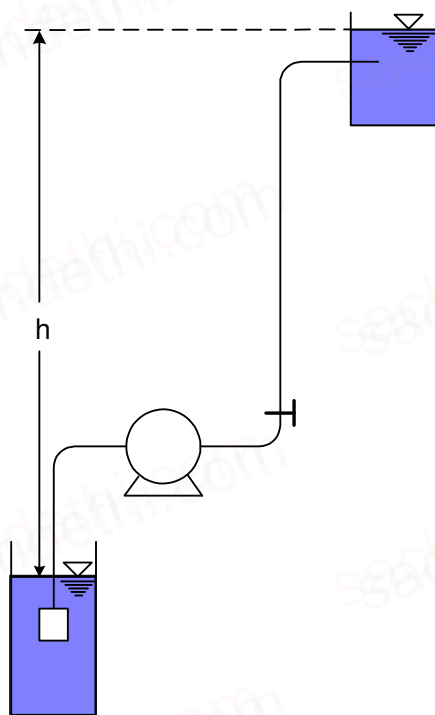
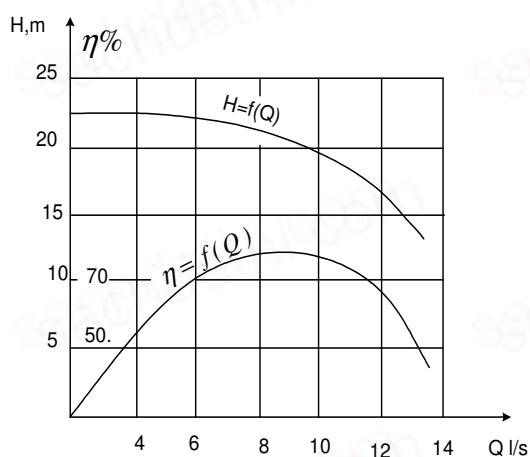
4) Độ chân không khi có bơm: 1 m ;

khi không có bơm: $7,67 \text{ m}$.

Bài tập 11-3:

Đường đặc tính của bơm ly tâm khi $n = 1450$ vg/ph cho ở hình vẽ. Bơm cấp nước từ giếng lên một bể chứa có áp hở với chiều cao $h = 12$ m, theo đường ống có đường kính $d = 100$ mm, chiều dài $l = 100$ m. Đường ống có 3 khuỷu, 1 van một chiều có lưới chắn rác và 1 khoá.

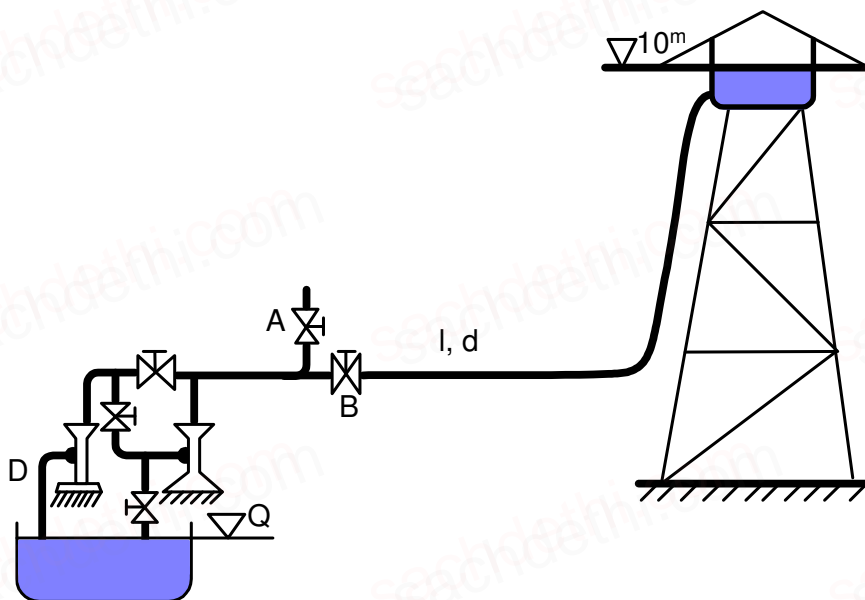
1. Xác định lưu lượng của bơm khi mở khoá hoàn toàn ($\zeta_k = 0$) và khi giảm lưu lượng bằng cách đóng khoá ($\zeta_k = 30$).
2. Xác định phải thay đổi số vòng quay bao nhiêu để cũng có lưu lượng như đóng khoá mà không phải đóng khoá.
3. Vẽ đường đặc tính của bơm ở số vòng quay mới.
4. Xác định công suất trên trục của bơm trong cả 3 trường hợp.



Đáp số: $Q_1 = 12$ l/s; $Q_2 = 11,3$ l/s;
 $n_2 = 1410$ vg/ph; $N_1 = 2,93$ kW;
 $N_2 = 2,93$ kW; $N_3 = 2,93$ kW;

Bài tập 11-4:

Một trạm bơm cứu hoả gồm có hai bơm giống nhau có đặc tính cho trong bảng với $n = 1600$ vg/ph. Nước được bơm từ giếng sâu có mức nước $\square 0$ lên một tháp dự phòng có mức nước $\square 20$ m theo một đường ống $l = 2$ km, $d = 130$ mm. Trong trường hợp cứu hoả thì đóng khoá B mở khoá A. Lưu lượng cần thiết cho cứu hoả $Q = 7 \div 7,5$ l/s và cột áp cứu hoả $H \geq 40$ m.



1. Trong trường hợp bơm nước dự phòng lên tháp, hai bơm làm việc song song hay nối tiếp sẽ kinh tế nhất? Biết hệ số ma sát đường ống $\lambda = 0,024$; tổn thất cục bộ = 5% tổn thất dọc đường.

2. Một bơm với $n = 1600$ vg/ph có thể bảo đảm được lưu lượng, cột áp trong trường hợp cứu hỏa không ?

3. Xác định số vòng quay n' để cho một bơm đảm bảo yêu cầu cứu hỏa.

$Q(l/s)$	0	2	4	6	8	10
$H(m)$	37	39	36	29	20,5	10
$\eta(\%)$	0	50	64	66	65	50

Đáp số: 1. Kinh tế nhất là hai bơm làm việc song song

($\eta_{ss} = 66\%$; $\eta_m = 60\%$);

2. Cần phải nối tiếp hai bơm;

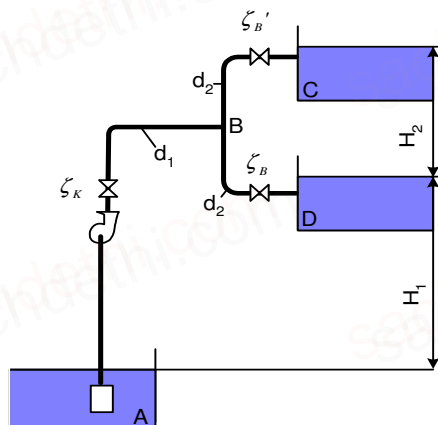
3. $n' = 1870$ vg/ph.

Bài tập 11-5:

Bơm ly tâm làm việc với số vòng quay $n = 1450$ vg/ph bơm nước từ bể A vào bể C và D. Độ chênh mức nước giữa các bể $H_1 = 25$ m; $H_2 = 15$ m. Hệ thống đường ống gồm đoạn AB có đường kính $d_1 = 100$ mm và khoá ζ_K và hai đoạn nhánh BC và BD có đường kính $d_2 = 60$ mm và có hai khoá ζ_B và ζ_D .

Trong bảng cho đường đặc tính bơm và đặc tính hệ thống lưới đối với trường hợp $\zeta_K = 0$ và $\zeta_B = \zeta_D = 4$.

1. Xác định lưu lượng vào bể C và D, công suất của bơm, cho trường hợp $\zeta_K = 0$ và $\zeta_B = \zeta_B = 4$.
2. Tính hệ số cản ζ_B' (nhánh BD) để cho lưu lượng vào 2 bể chứa bằng nhau.
3. Xác định số vòng quay sao cho lưu lượng vào bể C bằng không.



Đường đặc tính Bơm

$Q(l/s)$	0	4	8	12	16	20	24	28	32
$H(m)$	52	54	55	54	52	49	44	38	30
$\eta(\%)$	0	30	50	63	71	75	75	70	58

Đường đặc tính đường ống

$Q(l/s)$	5	10	15	20	25
$H_{AB}(m)$	0,25	1	2,25	4	6,25
$H_{BC}(m)$	1,25	5	11,25	20	31,25

Đáp số: 1) $Q_C = 4,6 l/s$; $Q_D = 18 l/s$; $N = 13,5 kW$.

2) $\zeta_B' = 27,6$; $Q_B' = 19,2 l/s$;

3) $n' = 1340 \text{ vg/ph}$

Câu hỏi ôn tập chương XI

1. Ưu nhược điểm – nguyên lý làm việc – phân loại bơm ly tâm.
2. Phương trình cơ bản của bơm ly tâm.
3. ảnh hưởng của kết cấu cánh dẫn đến cột áp của bơm ly tâm.
4. ứng dụng luật tương tự trong bơm ly tâm.
5. Cách xây dựng đường đặc tính của bơm ly tâm.
6. Cách xác định điểm làm việc và các phương pháp điều chỉnh bơm ly tâm.
7. Cách ghép bơm ly tâm.
8. Một số điểm chú ý trong kết cấu và sử dụng bơm ly tâm.

Chương XII

BƠM PITTÔNG

12.1. KHÁI NIỆM CHUNG

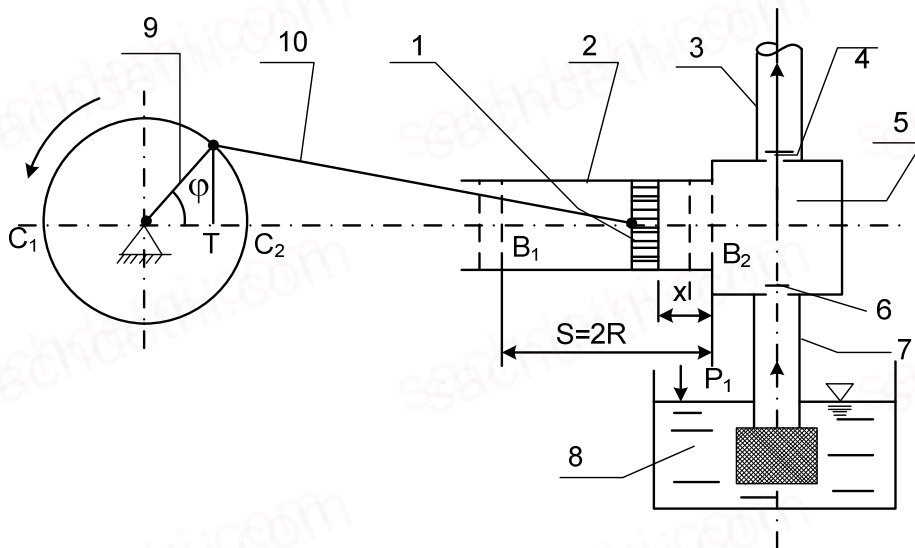
Năm 1640 - Nhà vật lý học người Đức Otto Henrich đã chế tạo thành công bơm pittông đầu tiên, nó là một dạng điển hình thuộc loại bơm thể tích làm việc theo nguyên tắc ép đẩy chất lỏng trong buồng kín.

Ưu điểm của bơm pittông là có thể tạo ra áp suất của chất lỏng bơm rất cao. Trị số cột áp của bơm không phụ thuộc vào lưu lượng mà chỉ phụ thuộc vào công suất động cơ truyền động cho bơm.

Nhược điểm của bơm pittông là kích thước lớn, giá thành cao, trọng lượng lớn, diện tích đặt máy lớn, cơ cấu của bơm phức tạp dễ hư hỏng và truyền chất lỏng không đều.

Sơ đồ cấu tạo của bơm pittông tác dụng đơn được chỉ ra trên hình 12-1.

Nếu bơm pittông được kéo bởi một động cơ, thì chuyển động quay của trục động cơ được biến đổi thành chuyển động tịnh tiến của pittông 1 trong xi lanh 2 nhờ hệ thống thanh truyền tay quay với hành trình $S = 2R$ (R - bán kính tay quay)



Hình 12-1. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của bơm pittông

Hai điểm B_1, B_2 của pittông tương ứng với hai vị trí C_1, C_2 của tay quay. Khi trong buồng làm việc 5 chứa đầy chất lỏng, nếu tay quay từ vị trí C_2 quay theo chiều mũi tên thì pittông di chuyển từ B_2 về phía trái. Thể tích buồng 5 tăng dần, áp suất p trong đó giảm đi và nhỏ hơn áp suất mặt thoáng bể hút $p_a (p < p_a)$. Do đó chất lỏng từ bể hút qua van hút 6 vào buồng làm việc 5, trong khi đó van đẩy 4 đóng. Khi pittông dịch chuyển từ B_2 đến B_1 bơm thực hiện quá trình hút. Sau đó, tay quay tiếp tục quay từ C_1 đến C_2 , pittông đổi chiều chuyển động từ B_1 đến B_2 . Thể tích buồng làm việc giảm dần, áp suất chất lỏng tăng lên, van hút 6 bị đóng, van đẩy 4 mở, chất lỏng đẩy vào ống dẫn. Quá trình pittông di chuyển

từ B_1 đến B_2 gọi là quá trình đẩy. Như vậy cứ một vòng quay của tay quay thì bơm thực hiện được hai quá trình hút và đẩy liên nhau. Nếu tay quay tiếp tục quay thì bơm lại lặp lại quá trình hút và đẩy như cũ. Một quá trình hút và đẩy kế tiếp nhau gọi là một chu kỳ làm việc của bơm.

Do kết cấu và nguyên lý làm việc như trên nên so với bơm ly tâm, bơm pittông không cần phải môi khi khởi động và có thể tạo nên được áp suất lớn ($> 200 \text{ at}$), nhưng chuyển động của chất lỏng qua bơm không đều, lưu lượng của bơm bị dao động.

Bơm pittông có nhiều loại khác nhau, thường phân loại theo các cách như sau:

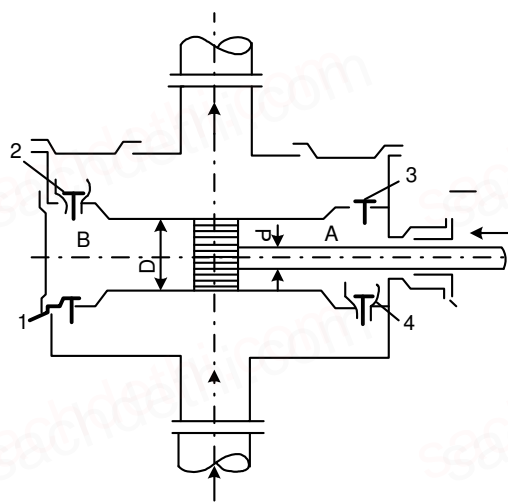
a) Theo số lần tác dụng trong một chu kỳ làm việc:

- *Bơm tác dụng đơn* (Hình 12-1) hay còn gọi là bơm tác dụng một chiều. Trong loại bơm này chất lỏng làm việc ở về một phía của pittông. Một chu kỳ làm việc của pittông chỉ có một quá trình hút và một quá trình đẩy nối tiếp nhau.

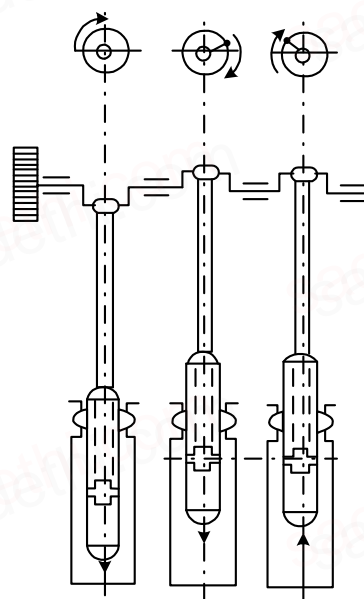
- *Bơm tác dụng kép* (Hình 12-2) hay còn gọi là bơm tác dụng hai chiều. Trong loại bơm này pittông làm việc cả hai phía, do đó có hai buồng làm việc A, B hai van hút 1,4 và hai van đẩy 2,3. Trong một chu kỳ làm việc của bơm có hai quá trình hút và hai quá trình đẩy.

Lưu ý: Bơm sai động là một trường hợp riêng của bơm tác dụng kép. Trong bơm sai động chỉ có một van hút và một van đẩy, thể tích chất lỏng làm việc ở buồng A chỉ bằng $1/2$ ở buồng B .

- *Bơm tác dụng nhiều lần:*



Hình 12-2



Hình 12-3

+ Bơm tác dụng 3 lần chính là do 3 bơm tác dụng đơn ghép lại với nhau, các tay quay bố trí lệch nhau trên trục khuỷu một góc 120° (Hình 12-3). Trong một chu kỳ làm việc của bơm có 3 quá trình hút và 3 quá trình đẩy.

+ Bơm tác dụng bốn lần có thể do 2 bơm tác dụng kép hoặc 4 bơm tác dụng đơn (có tay quay bố trí lệch nhau một góc 90°) ghép lại với nhau.

b) Theo đặc điểm kết cấu của pittông

- *Bơm pittông đĩa* (Hình 12-1), pittông có dạng hình đĩa, mặt xung quanh của pittông tiếp xúc với xi lanh. Nhược điểm của loại bơm này là pittông và xi lanh phải chế tạo với độ chính xác cao (thường làm tăng độ kín khít bằng các vòng găng lắp trên pittông).

- *Bơm pittông trụ* (Hình 12-3), pittông có dạng hình trụ, mặt xung quanh của pittông không tiếp xúc với xi lanh, nên khi làm việc xi lanh không bị mài mòn. Bộ phận lót kín là những đệm lót không gắn liền với pittông, nên có khả năng chế tạo chính xác, lót kín được tốt hơn. Loại bơm này thường được dùng với áp suất lớn.

Ngoài ra người ta còn phân loại bơm pittông theo áp suất, lưu lượng, vị trí...

12.2. LƯU LƯỢNG CỦA BƠM PITTÔNG

Lưu lượng lý thuyết (hay lý thuyết trung bình) của bơm pittông bằng tổng thể tích làm việc của bơm trong một đơn vị thời gian. Còn lưu lượng tức thời phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của pittông, mà vận tốc này lại thay đổi theo thời gian t .

12.2.1. Lưu lượng trung bình

$$a) \text{ Lưu lượng lý thuyết trung bình : } Q_l = \frac{qn}{60} \quad (12-1)$$

q - Thể tích làm việc trong một chu kỳ

n - Số vòng quay của bơm

$$\text{Đối với bơm tác dụng đơn : } q = FS = \frac{\pi D^2}{4} S \quad (12-2)$$

$$\text{Đối với bơm tác dụng kép : } q = FS + (F-f)S = \frac{\pi}{4} (2D^2 - d^2) \quad (12-3)$$

trong đó : F, f - diện tích mặt pittông, cần pittông

D, d - đường kính pittông, cần pittông

b) *Lưu lượng thực tế trung bình* $Q < Q_l$ vì bộ phận lót kín ; van không kín ; van hút van đẩy đóng mở chậm ; không khí lọt vào bơm...

$$Q = \eta_Q Q_l \quad ; \quad (\eta_Q < 1)$$

12.2.2. Lưu lượng tức thời

Lưu lượng của bơm pittông tác dụng đơn tại một thời điểm bất kỳ (tức thời) được xác định :

$$Q = FV \quad (12-4)$$

V - Vận tốc tức thời của dòng chất lỏng trong bơm cũng chính là vận tốc tức thời của pittông.

Vậy sự biến đổi lưu lượng của bơm phụ thuộc vào sự biến đổi của vận tốc pittông.

Khảo sát chuyển động của pittông (Hình 12-1), nếu $\frac{R}{l} \leq 0,1$ thì :

$$x \approx C_2 T = R - R \cos \varphi = R(1 - \cos \varphi)$$

trong đó $\varphi = \omega t$ (ω - vận tốc góc , t - thời gian)

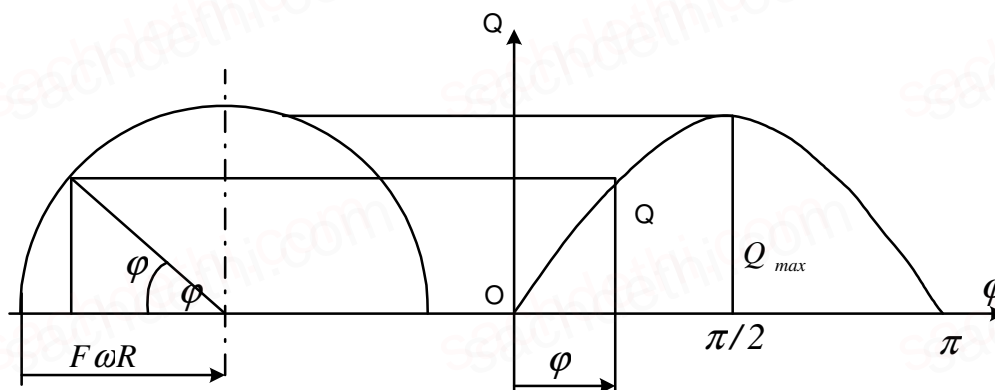
Vận tốc tức thời của pittông :

$$v = \frac{dx}{dt} = R \omega \sin \varphi$$

Lưu lượng tức thời của bơm tác dụng đơn là :

$$Q = F R \omega \sin \varphi \quad (12-5)$$

Ta thấy Q dao động theo hình sin : Q_{\max} khi $\varphi = \pi/2$; $Q_{\min} = 0$ khi $\varphi = 0$ (Hình 12-4).



Hình 12-4. Biểu đồ lưu lượng tức thời của bơm pittông tác dụng đơn

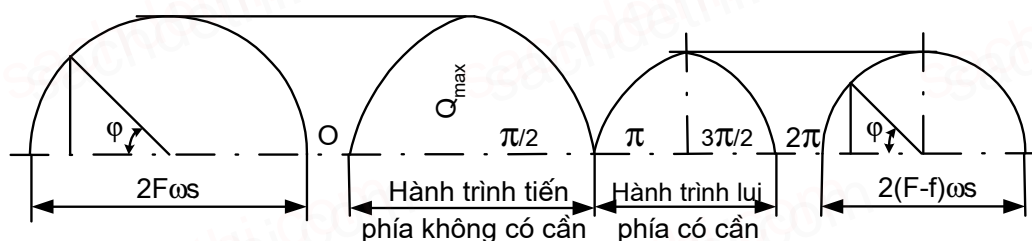
Tương tự như trên ta có thể vẽ được biểu đồ lưu lượng tức thời của bơm pittông tác dụng kép (Hình 12-5), bơm tác dụng 4 lần (Hình 12-6) và bơm tác dụng 3 lần (Hình 12-7).

Để đánh giá mức độ không đều của lưu lượng, người ta dùng hệ số không đều về lưu lượng:

$$\psi = \frac{Q_{\max}}{Q_l} \quad (12-6)$$

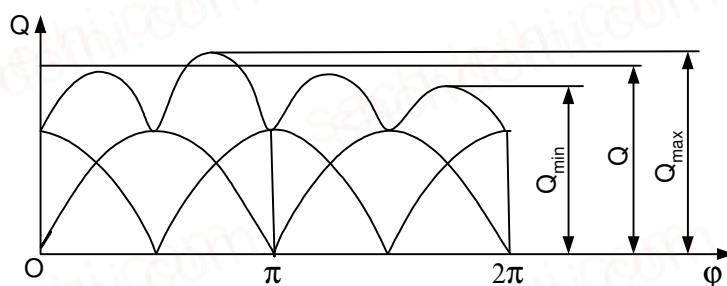
Ta tính được hệ số không đều của:

- Bơm tác dụng đơn : $\psi = \pi$;
- Bơm tác dụng kép và bơm tác dụng 4 lần: $\psi = \pi/2$
- Bơm tác dụng 3 lần: $\psi = \pi/3$.

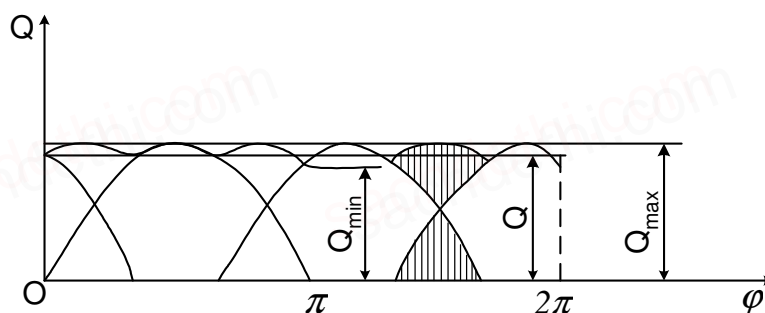


Hình 12-5. Biểu đồ lưu lượng tức thời của bơm pittông tác dụng kép

Vậy ta thấy bơm pittông tác dụng ba lần có ψ nhỏ nhất trong các bơm pittông đã nêu trên, điều này cũng phù hợp với nhận xét qua các biểu đồ lưu lượng vẽ ở trên.



Hình 12-6. Biểu đồ lưu lượng tức thời của bơm pittông tác dụng bốn lần



Hình 12-7. Biểu đồ lưu lượng tức thời của bơm pittông tác dụng ba lần

12.2.3. Điều chỉnh lưu lượng

Lưu lượng của bơm pittông được điều chỉnh bằng các biện pháp sau:

- Thay đổi số vòng quay trục động cơ nghĩa là thay đổi số chu kỳ làm việc của bơm trong một đơn vị thời gian;
- Điều chỉnh khoá để tháo chất lỏng từ buồng đẩy về buồng hút;
- Thay đổi diện tích mặt làm việc của pittông bằng các cơ cấu đặc biệt;

- Thay đổi chiều dài hành trình pittông S bằng các thay đổi chiều dài làm việc của tay quay hoặc thanh truyền.

12.3. PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG CỦA CHẤT LỎNG TRONG BƠM PITTÔNG, ÁP SUẤT CỦA BƠM PITTÔNG TRONG QUÁ TRÌNH HÚT VÀ ĐẨY

12.3.1. Phương trình Becnuli của dòng không ổn định trong bơm pittông ; cột áp quán tính

Như đã phân tích ở trên vận tốc chuyển động của chất lỏng trong bơm phụ thuộc vào vận tốc chuyển động của pittông $v = f(t)$, có gia tốc $\frac{dv}{dt} \neq 0$, do đó phát sinh ra lực quán tính làm ảnh hưởng đến quá trình chuyển động của chất lỏng trong bơm pittông.

Ứng dụng phương trình Benuli viết cho dòng chảy không ổn định trong bơm pittông như sau:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2} + h_{qt} \quad (12-7)$$

h_{qt} - Cột áp quán tính

$$h_{qt} = \frac{l}{g} \int \frac{\partial v}{\partial t} dl$$

vì vận tốc v chỉ phụ thuộc vào thời gian: $\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{dv}{dt} = R\omega^2 \cos \varphi$

$$\text{do đó} \quad h_{qt} = \frac{L}{g} R\omega^2 \cos \varphi \quad (12-8)$$

Cột áp quán tính có thể gây ra hiện tượng xâm thực và làm hư hỏng các thiết bị của bơm. Vì vậy ta cần phải nghiên cứu qui luật biến thiên áp suất của bơm trong quá trình hút và đẩy.

12.3.2. Áp suất của bơm pittông trong quá trình hút

Xét bơm pittông tác dụng đơn làm việc trong hệ thống (Hình 12-8)

Viết phương trình Benuli cho mặt cắt $a-a$ và $b-b$, mặt chuẩn $a-a$:

$$\frac{p_a}{\gamma} = Z_h + \frac{p_{xl}}{\gamma} + \frac{V_{xl}^2}{2g} + \sum h_{wh} + h_{qth}$$

trong đó :

p_{xl} - Áp suất buồng làm việc trong quá trình hút;

v_{xl} - Vận tốc chất lỏng trong buồng làm việc, cũng chính là vận tốc của pittông;

$\sum h_{wh}$ - Tổng tổn thất trên toàn bộ chiều dài ống hút.

h_{qth} - Cột áp quán tính trên ống hút.

$$h_{qth} = \left(\frac{L_h + x}{g} \right) \frac{dV_{x1}}{dt}$$

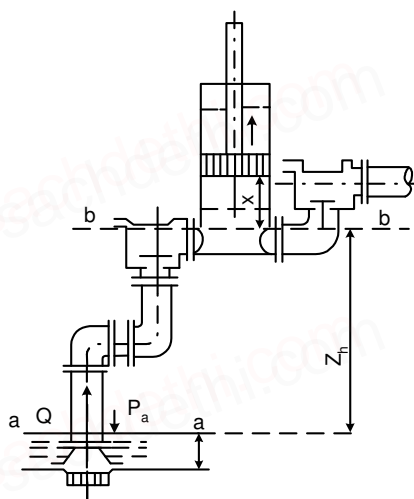
suy ra :

$$\frac{p_{x1}}{\gamma} = \frac{p_a}{\gamma} - \left[Z_h + \frac{V_{x1}^2}{2g} + \sum h_{wh} + h_{qt} \right] \quad (12-9)$$

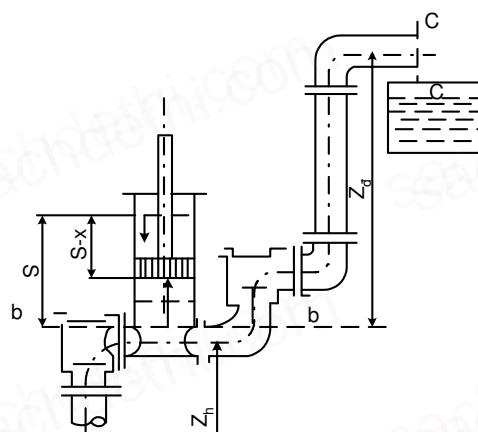
Áp suất ở buồng làm việc trong quá trình hút p_{x1} (nếu $h_{qt} > 0$) sẽ nhỏ hơn áp suất trên mặt thoáng của bể hút p_a : $p_{x1} < p_a$

Cột áp quán tính là đại lượng đổi dấu trong quá trình hút và đẩy của bơm. Khi pittong bắt đầu quá trình hút chất lỏng, v_{x1} tăng dần thì h_{qt} đóng vai trò cản ($h_{qt} > 0$) làm ảnh hưởng xấu đến khả năng hút của bơm. Khi v_{x1} giảm ($h_{qt} < 0$) thì cột áp quán tính đóng vai trò tích cực, tăng thêm cột áp, có ảnh hưởng tốt đến khả năng hút của bơm.

Điều kiện chống xâm thực $\left(\frac{p_{x1}}{\gamma} \right)_{x=0} \geq \frac{p_H}{\gamma} + \Delta h$ (12-10)



Hình 12-8.



Hình 12-9.

12.3.3. Áp suất của bơm trong quá trình đẩy

Để nghiên cứu sự biến thiên áp suất tại buồng làm việc của bơm trong quá trình đẩy, ta viết phương trình Benuli cho mặt cắt b-b và c-c, mặt chuẩn b-b (Hình 12-9):

$$\frac{p_{x2}}{\gamma} + \frac{v_{x2}^2}{2g} = Z_d + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{v_c^2}{2g} + \sum h_{wd} + h_{qtd}$$

suy ra :

$$\frac{p_{x2}}{\gamma} = \frac{p_c}{\gamma} + \left[Z_d + \frac{v_c^2}{2g} + \sum h_{wd} + h_{qtd} \right] - \frac{v_{x2}^2}{2g} \quad (12-11)$$

trong đó :

$$h_{qtd} = \left(\frac{L_d + S - x}{g} \right) \frac{dv_{x2}}{dt}$$

Áp suất trong buồng làm việc p_{x2} cực đại khi pittong bắt đầu đẩy ($x = s$) và có trị số nhỏ nhất ở cuối quá trình đẩy ($x = 0$): $h_{qtd} = (-h_{qtd})_{max}$:

$$\left(\frac{p_{x2}}{\gamma} \right)_{min} = \frac{p_c}{\gamma} + [Z_d + \sum h_{wd} - h_{qtd max}] \quad (12-12)$$

Trong lúc đó buồng làm việc có thể xuất hiện chân không ($\frac{p_{x2}}{\gamma} < 10,3 \text{ mH}_2\text{O}$) và xảy ra hiện tượng xâm thực. Điều kiện không xảy ra xâm thực:

$$\left(\frac{p_{x2}}{\gamma} \right)_{x=0} \geq \frac{p_H}{\gamma} + \Delta h \quad (12-13)$$

12.3.4. Số vòng quay giới hạn (n_{max})

Ta cần phải hạn chế áp suất nhỏ nhất ở buồng làm việc của bơm trong quá trình hút và đẩy để đảm bảo không xảy ra hiện tượng xâm thực theo các điều kiện (12-10)(12-12). Số vòng quay của bơm ảnh hưởng quan trọng đến các điều kiện đó. Do đó cần phải xác định số vòng quay giới hạn của bơm n_{max} .

Thay $\omega = \frac{\pi n}{30}$ vào (12-10)(12-12) ta được :

$$n_{max,h} = \sqrt{\frac{895}{L_h R} \left(\frac{p_a - p_H}{\gamma} - \Delta h - Z_h - h_{wh} \right)}$$

$$n_{max,d} = \sqrt{\frac{895}{L_d R} \left(\frac{p_c - p_H}{\gamma} - \Delta h + Z_d + h_{wd} \right)}$$

Số vòng quay cho phép $[n]$ của bơm phải :

$$[n] \leq n_{max,d}$$

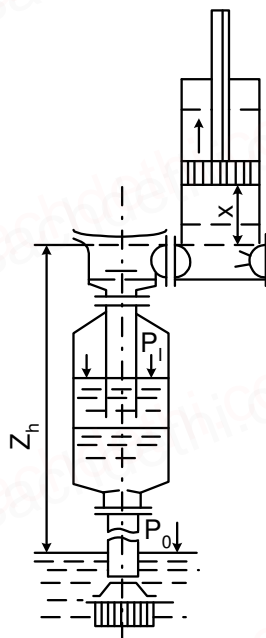
Với bơm nước, thường $[n] = 100 \div 200$ v/ph

12- 4. KHẮC PHỤC HIỆN TƯỢNG KHÔNG ỔN ĐỊNH CỦA CHUYỂN ĐỘNG CHẤT LỎNG TRONG BƠM PITTONG

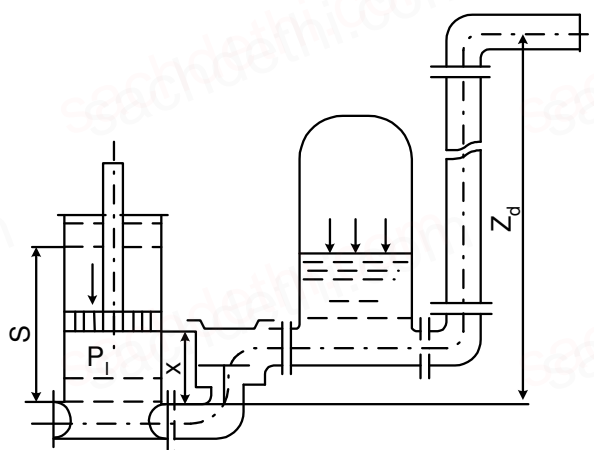
Sự chuyển động không ổn định của chất lỏng trong quá trình làm việc của bơm do lưu lượng và áp suất thay đổi gây ra đã làm tăng tổn thất thủy lực, gây chấn động và nếu bơm làm việc trong thời gian dài, có thể xuất hiện va đập thủy lực làm hỏng các bộ phận làm việc và của hệ thống. Trong trường hợp nhiều bơm cùng làm việc trong một hệ thống, biên độ dao động của áp suất trong hệ thống có thể tăng lên rất lớn vì cộng hưởng. Ngoài ra, dao động của áp suất và lưu lượng của bơm còn ảnh hưởng xấu đến chất lượng làm việc

của hệ thống thuỷ lực. Do đó cần phải có biện pháp để hạn chế tính chất không ổn định của dòng chảy trong bơm pittong. Nói chung có 3 biện pháp sau đây:

- Dùng bơm tác dụng hai chiều (bơm tác dụng kép)
- Dùng bơm ghép vì hệ số không đều về lực lượng của các bơm pittong ghép nhỏ hơn bơm tác dụng đơn rất nhiều.
- Dùng bình không khí để điều hoà lưu lượng và áp suất gọi là bình điều hoà. Đó là những bình chứa kín đặt trên ống hút và ống đẩy.



Hình 12-10.



Hình 12-11.

Cách làm việc của bình điều hoà hút (Hình 12-10) như sau: Trong quá trình hút của bơm một phần chất lỏng được tích lũy lại trong bình điều hoà. Nếu kích thước của bình đủ lớn thì dao động mực chất lỏng trong bình sẽ nhỏ. Mặt khác do có sự chênh lệch áp suất giữa mặt thoáng của chất lỏng trong bình và mặt thoáng bể hút mà chất lỏng chảy từ bể hút lên bình một cách liên tục và có thể xem như dòng chảy ổn định. Chuyển động không ổn định của dòng chảy chỉ xuất hiện ở đoạn từ bình điều hoà đến mặt pittong. Do đó lực quán tính trong ống hút chỉ xuất hiện trên đoạn ngắn từ bình điều hoà đến bơm, giảm được tổn thất năng lượng trong ống hút.

Cách làm việc của bình điều hoà đẩy (Hình 12-11) như sau: Trong quá trình đẩy một phần lưu lượng của bơm (lớn hơn lưu lượng trung bình) được tích lũy lại trong bình, mức chất lỏng sẽ dâng lên nén khối không khí ở phần trên của bình, tạo nên áp suất lớn. Khi van đẩy đóng, nhờ có áp suất lớn của khối không khí bị nén trong bình, nên chất lỏng được tiếp tục đẩy ra ống đẩy, vì vậy dao động của lưu lượng và áp suất trên ống đẩy được giảm đi, dòng chảy điều hoà hơn.

Cũng như bình điều hoà hút, bình điều hoà đẩy có tác dụng làm giảm lực quán tính trong ống đẩy của bơm pittong. Lực quán tính chỉ còn xuất hiện trên đoạn ngắn từ bơm đến bình điều hoà, giảm được tổn thất năng lượng trên ống đẩy.

Để bình điều hoà đẩy có tác dụng, cần phải đảm bảo thường xuyên một lượng không khí cần thiết nhất định ở trong bình.

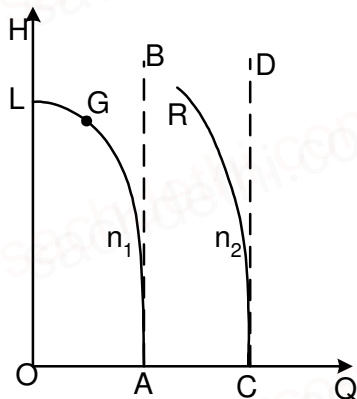
12-5. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH CỦA BƠM PITTONG

Bơm pittong cũng có các đường đặc tính thể hiện đặc điểm và khả năng làm việc của bơm.

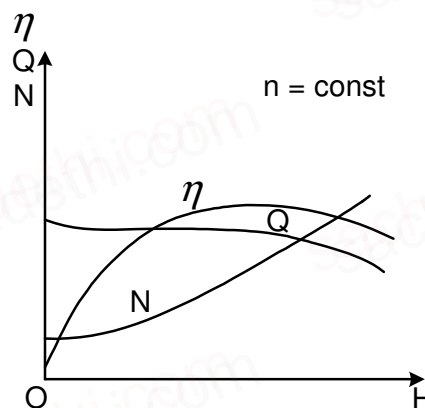
Trên hình 12-12 là đường đặc tính làm việc cơ bản của bơm pittong $H = f(Q)$ với hai số vòng quay n_1 và n_2 ($n_2 > n_1$)

Đối với bơm pittong cột áp không phụ thuộc vào lưu lượng, nên đường đặc tính lý thuyết của bơm được biểu diễn bằng các đường thẳng song song với trục tung (OH) ứng với các lưu lượng không đổi (đường AB, CD). Nhưng đường đặc tính thực nghiệm của bơm thì không hoàn toàn như vậy (đường AG, CR). Khi cột áp của bơm tăng lên thì lưu lượng có giảm đi vì tổn thất lưu lượng tăng.

Sự chênh lệch giữa đường đặc tính cột áp lý thuyết và thực nghiệm càng nhiều khi số vòng quay làm việc n càng lớn, vì khi đó tổn thất lưu lượng tăng không phải chỉ do rò rỉ mà còn do sự đóng mở của van đẩy và hút không kịp thời.



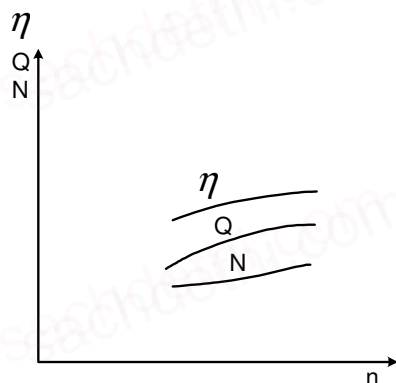
Hình 12-12



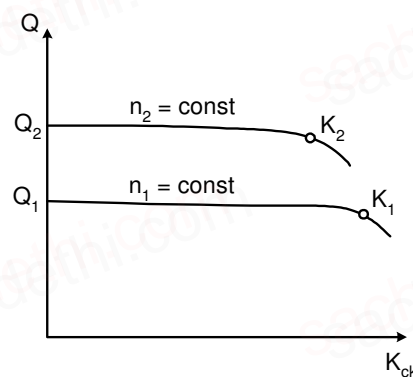
Hình 12-13

Trên hình 12-13 biểu diễn các đường đặc tính làm việc $Q = f(H)$; $N = f(H)$; $\eta_Q = f(H)$ ứng với số vòng quay $n = const$. Đối với bơm pittong có $n = const$, thường biểu diễn các thông số làm việc theo H vì khi lưu lượng Q không đổi thì việc điều chỉnh chế độ làm việc của các bơm thường được thực hiện bằng cách thay đổi áp suất làm việc.

Khi áp suất làm việc H của bơm không đổi, nếu số vòng quay n tăng lên thì Q, N, η_Q cũng tăng (Hình 12-14).



Hình 12-14



Hình 12-15

Hình 12-15 thể hiện các đường đặc tính xâm thực của bơm theo hai số vòng quay khác nhau n_1 và n_2 ($n_1 > n_2$). Từ đường đặc tính xâm thực có thể xác định chiều cao hút cho phép của bơm pittong.

12 - 6. VÍ DỤ VÀ BÀI TẬP

Ví dụ 12-1:

Xác định các thông số làm việc cơ bản của bơm pittông tác dụng đơn cho biết: Đường kính pittông $D = 145 \text{ mm}$, hành trình pittông $S = 450 \text{ mm}$, công suất trên trục động cơ $N_{dc} = 56,8 \text{ kW}$, số vòng quay làm việc của động cơ $n_{dc} = 75 \text{ vg/ph}$. Hiệu suất của bơm $\eta_Q = 0,98$; $\eta_{ck} = 0,96$.

Giải:

Các thông số làm việc cơ bản của bơm là lưu lượng của bơm Q_b , áp suất chất lỏng làm việc p , công suất của bơm N_b . Theo điều kiện bài toán ta có:

Lưu lượng riêng của bơm:

$$q_b = FS = \frac{\pi D^2}{4} S = \frac{3,14 \cdot 14,5^2}{4} \cdot 4,5 = 7400 \text{ cm}^3 / \text{vg}$$

Lưu lượng của bơm:

$$Q_b = q_b \cdot n \cdot \eta_Q = 7,4 \cdot 75 \cdot 0,98 = 53,5 \text{ l/ph}$$

Công suất của bơm:

$$N_b = N_{dc} \eta_Q \eta_{ck} = 56,8 \cdot 0,98 \cdot 0,96 = 53,5 \text{ kW}$$

áp suất của chất lỏng làm việc:

$$p = \frac{612 N_b}{Q_b} = \frac{612 \cdot 53,5}{545} \approx 60 \text{ at}$$

Ví dụ 12-2:

Bơm pittông tác dụng kép có đường kính xi lanh $D = 200 \text{ mm}$, đường kính cần pittông $d = 40 \text{ mm}$, hành trình pittông $S = 200 \text{ mm}$, số vòng quay của trục bơm $n = 70 \text{ vg/ph}$.

Bơm nước ở nhiệt độ 50°C , áp suất khí quyển $p_a = 707 \text{ mmHg}$. Ống hút của bơm có đường kính $d_s = 150 \text{ mm}$, chiều dài ống hút $l_s = 8 \text{ m}$, có 3 khuỷu ($\zeta = 0,5$), 1 khoá ($\zeta_k = 1,0$) và van nhận ($\zeta_v = 2,5$), hệ số cản $\lambda = 0,03$. Tổn thất ở van hút của bơm $h_{wv} = 0,6 \text{ m}$ cột nước.

Xác định chiều cao hút cho phép của bơm và sẽ thay đổi thế nào nếu đặt hộp không khí hút, chia ống hút thành 2 phần $l_1 = 7 \text{ m}$ và $l_2 = 1 \text{ m}$.

Giải:

Vận tốc góc của trục bơm:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 70}{30} = 3,72 \text{ } 1/s$$

Chiều cao hút cho phép của bơm, khi không có hộp không khí được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} h_{s1} &= \frac{p_a - p_H}{\gamma} - \frac{l_s F \omega^2 r}{g f_s} - h_{ws} = \\ &= 9,61 - 1,26 - \frac{8,0 \cdot 0,20^2}{9,81 \cdot 0,15^2} \cdot 7,32^2 \cdot 0,1 - 0,6 = 0,31 \text{ m} \end{aligned}$$

Khi có hộp không khí, tổn thất năng lượng phải tính cả tổn thất trong ống hút.

Tính vận tốc trong ống hút:

$$\begin{aligned} c &= \frac{Q_T}{f_s} = \frac{(2F - f)S \cdot n}{f_s \cdot 60} = \frac{(2D^2 - f^2)S \cdot n}{f_s^2 \cdot 60} = \\ &= \frac{(2 \cdot 0,2^2 - 0,04^2) \cdot 2,70}{0,15^2 \cdot 60} = 0,812 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Tổn thất năng lượng trong ống hút:

$$\begin{aligned} h_{ws} &= \left(\lambda \frac{l_s}{d_s} + \sum \zeta \right) \frac{c^2}{2g} = \\ &= \left(0,03 \frac{7}{0,15} + 3 \cdot 0,5 + 1,0 + 2,5 \right) \frac{0,812^2}{2 \cdot 9,81} = 0,215 \text{ mH}_2\text{O} \end{aligned}$$

Chiều cao hút cho phép của bơm khi có hộp không khí:

$$h_{s2} = \frac{p_a - p_H}{\gamma} - \frac{l_2 F \omega^2 r}{g f_s} - h_{ws} - h_v =$$

$$= 9,61 - 1,26 - 0,215 - 0,6 - \frac{1,0,20^2}{9,81 \cdot 0,15^2} \cdot 7,32^2 \cdot 0,1 = 6,60 \text{ m}$$

Bài tập 12 -1:

Xác định các kích thước cơ bản và công suất của bơm pittông tác dụng đơn cho biết: Lưu lượng của bơm $Q_b = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$; áp suất chất lỏng làm việc $p = 200 \text{ at}$; số vòng quay làm việc của động cơ $n_{dc} = 195 \text{ vg/ph}$. Hiệu suất thiết kế $\eta_{Qb} = 0,85$; $\eta_{ckb} = 0,95$.

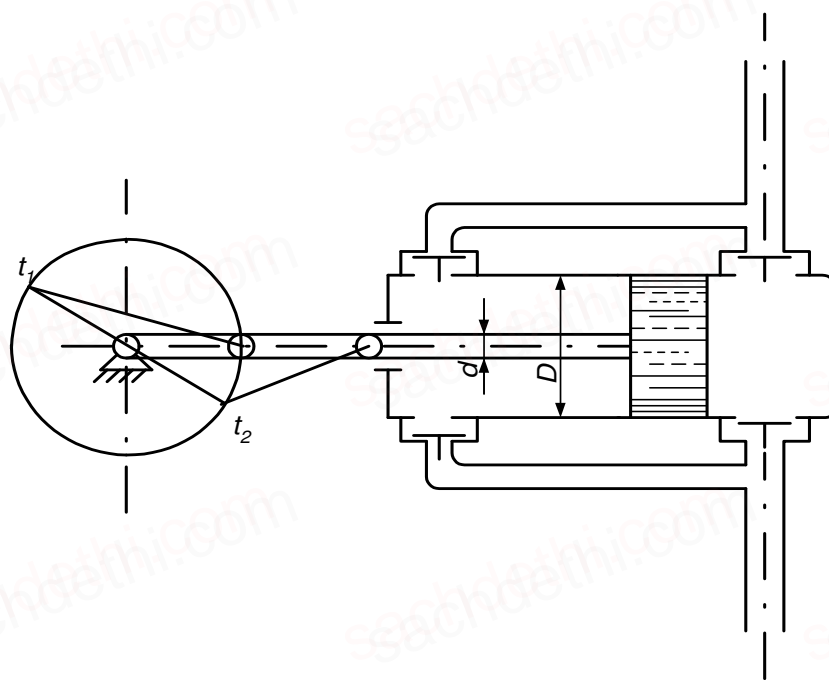
Đáp số: Chọn $K_s = 4$; khi đó: $D = 25 \text{ mm}$;

$d = 20 \text{ mm}$; $S = 123 \text{ mm}$; $N = 3,27 \text{ kW}$;

$N_{dc} = 4,04 \text{ kW}$.

Bài tập 12 -2:

Xác định lưu lượng tức thời thực của bơm pittông tác dụng kép tại các thời điểm $t_1 = 5\frac{1}{3} \text{ s}$ và $t_2 = t_1 + \frac{1}{2} \text{ s}$. Biết đường kính pittông $D = 75 \text{ mm}$, đường kính cần pittông $d = 25 \text{ mm}$, bán kính tay quay $R = 75 \text{ mm}$. Bơm làm việc với số vòng quay không đổi $n = 60 \text{ vg/ph}$. Hiệu suất lưu lượng của bơm $\eta_{Qb} = 0,85$.



Đáp số: Tại thời điểm $t_1 = 5\frac{1}{3} \text{ s}$, $Q_1 = 1,36 \text{ l/s}$;

Tại thời điểm $t_2 = t_1 + \frac{1}{2} \text{ s}$, $Q_2 = 1,53 \text{ l/s}$

Bài tập 12 -3:

Xác định số vòng quay cho phép của bơm pittông tác dụng đơn, có đường kính xylanh $D = 200 \text{ mm}$, hành trình pittông $S = 250 \text{ mm}$, Chiều cao hút $h_s = 3,5 \text{ m}$, Nhiệt độ nước $t = 30^\circ \text{ C}$, áp suất khí quyển $p_a = 760 \text{ mmHg}$.

Số vòng quay cho phép là bao nhiêu, nếu đặt hộp không khí chia ống hút, $l_s = 11 \text{ m}$ thành 2 phần $l_1 = 10 \text{ m}$ và $l_2 = 1 \text{ m}$. Đường kính ống hút $d_s = 150 \text{ mm}$. Hệ số cản của ống hút $\sum \zeta = 12,0$. Tổn thất năng lượng của van hút $h_{wv} = 0,8 \text{ m}$.

Đáp số: $n = 139 \text{ v/ph}$

Câu hỏi ôn tập chương XII

1. Ưu, nhược điểm, nguyên lý làm việc và phân loại bơm pittông.
2. Lưu lượng của bơm piston.
3. Phương trình chuyển động của chất lỏng trong bơm piston.
4. Cách khắc phục hiện tượng không ổn định của chuyển động chất lỏng trong bơm piston.
5. Đường đặc tính của bơm piston, so sánh có gì giống và khác so với bơm ly tâm.

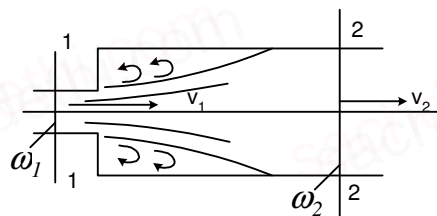
PHỤ LỤC 1

Tổn thất cục bộ trong ống có áp

1) Trị số hệ số tổn thất cục bộ trong trường hợp mở rộng đột ngột (H. PL1-1)

$$h_w = \zeta \frac{v_2^2}{2g} ; \zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2$$

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ζ	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

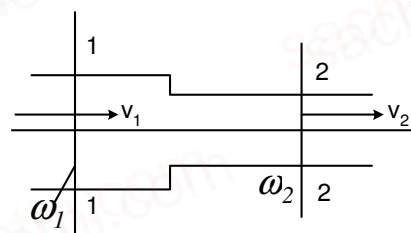


Hình PL1-1

2) Thu hẹp đột ngột (H. PL1-2)

$$h_w = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$$

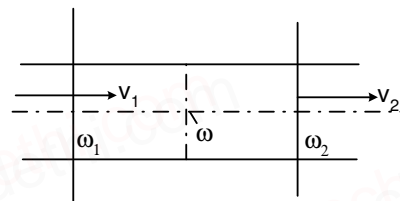
$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
ζ	0,5	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00



Hình PL1-2

3) Lá chắn trong ống (H. PL1-3)

$$h_w = \frac{v_2^2}{2g} ; \zeta = \left[1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{\omega}{\omega_2}}} \right]^2 \left(\frac{\omega_2}{\omega} - 1 \right)^2$$

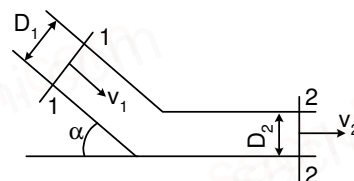


Hình PL1-3

$\frac{\omega}{\omega_2}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ	1070	245	51,1	18,4	8,2	4,0	2,0	0,97	0,41	0,26	-

4) Trị số ζ khi $d_1 = d_2$ phụ thuộc góc ngoặt đột ngột của ống có tiết diện tròn (H. PL1-4).

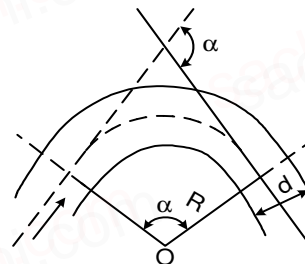
Góc ngoặt của ống: α	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Hệ số tổn thất ζ	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10



Hình PL1-4

5) Trị số ζ phụ thuộc đường kính ống khi ngoặt đột ngột với góc $\alpha = 90^\circ$ (H. PL1-5)

Đường kính ống $d, \text{ mm}$	20	25	34	39	49
Hệ số tổn thất ζ	1,7	1,3	1,1	1,0	0,83



Hình PL1-5

6) Trị số ζ khi ống ngoặt dần với góc α .

$$\zeta = \left[0,131 + 0,163 \left(\frac{d}{R} \right)^{3,5} \right] \frac{\alpha}{90^\circ} = \zeta' \frac{\alpha}{90^\circ}$$

ζ' là hệ số sức cản khi $\alpha = 90^\circ$.

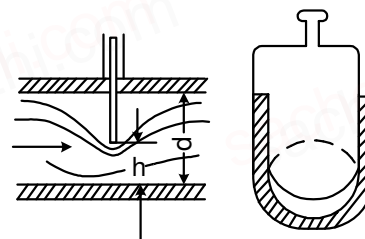
Bảng cho ζ' khi góc ngoặt là 90° với các tỷ số $\frac{d}{2R}$ khác nhau.

$\frac{d}{2R}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ'	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98	1,41	1,98

7) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ phụ thuộc theo độ mở khoá $\frac{d-h}{d}$ và $\frac{\omega_c}{\pi d^2} = \frac{\omega_c}{\omega}$

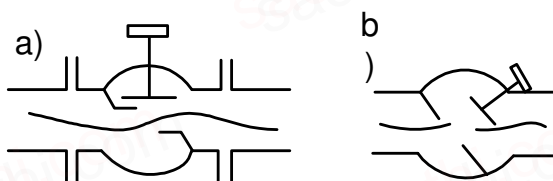
(H. PL1-6)

$\frac{d-h}{d}$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{\omega_c}{\omega}$	1,0	0,948	0,856	0,74	0,609	0,466	0,315	0,159
ζ'	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8



Hình PL1-6

8) Trị số ζ của van (H. PL1-7).



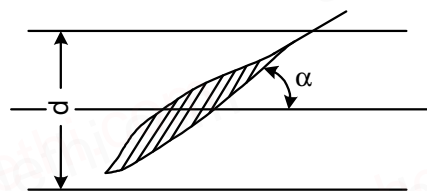
Hình PL1-7

a- van nhỏ, trục thẳng đứng, $\zeta = 3 \div 5,5$.

b- van nhỏ, có trục nghiêng, $\zeta = 1,4 \div 1,85$.

9) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ của khoá hình đĩa phụ thuộc góc α (H. PL1-8).

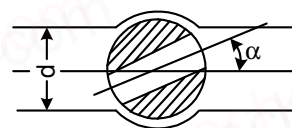
α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	
ζ	0,24	0,52	0,90	1,54	2,51	3,91	6,22	
α	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	90°
ζ	1,08	18,7	32,6	58,8	118	256	751	∞



Hình PL1-8

10) Trị số hệ số tổn thất cục bộ của khoá phụ thuộc góc ngoặt α (H. PL1-9).

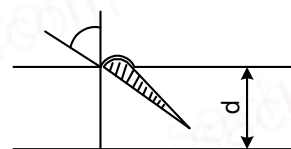
α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
ζ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	9,68	17,3	31,2	52,6	106



Hình PL1-9

11) Trị số hệ số tổn thất cục bộ ζ của khoá bản lề phụ thuộc góc ngoặt α (H. PL1-10).

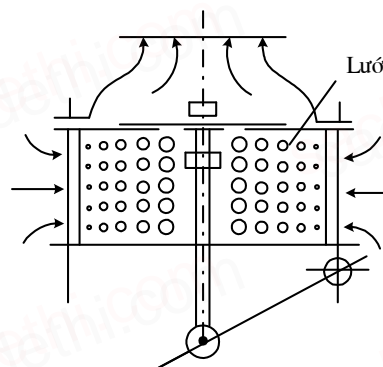
α	70°	65°	60°	55°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°
ζ	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5	14	20	30	42	62	92



Hình PL1-10

12) Trị số hệ số ζ đối với van ống có lưới (H. PL1-11).

$d = 40$	70	100	150	200	300
$\zeta = 12$	8,5	7	6	5,2	3,7



Hình PL1-11

13) Chạc ba hợp nhánh (H. PL1-12): $\omega_1 = \omega_2$.
Hệ số tổn thất ζ_{2-3} và ζ'_{2-3} được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{2-3}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 2-2 đến mặt cắt 2-3 :

$$\zeta_{2-3} = \frac{h_{n_{2-3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} ;$$

$$\zeta'_{2-3} = \frac{h_{n_{2-3}}}{\frac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{2-3}}{\left(\frac{Q_2}{Q_3} \frac{\omega_3}{\omega_2} \right)} ,$$

ở đây, ζ_{2-3} được cho sẵn trong bảng PL1-1, phụ thuộc các tỷ số $\frac{\omega_2}{\omega_3}$ và $\frac{Q_2}{Q_3}$ (các ký hiệu có ghi trên hình vẽ)

Bảng PL1-1. Giá trị hệ số tổn thất ζ_{2-3} đối với chạc ba hợp nhánh

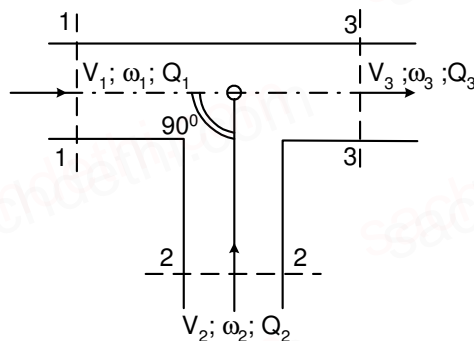
$\frac{\omega_2}{\omega_3}$	$\frac{Q_2}{Q_3}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	-0,50	2,97	9,90	19,70	32,40	48,80	66,50	86,90	110,00	136,00
0,19	-0,53	0,53	2,14	4,23	7,30	11,40	15,60	20,30	25,80	31,80
0,27	-0,69	0,00	1,11	2,18	3,76	5,90	8,38	11,30	14,60	18,40
0,35	-0,65	-0,69	0,59	1,31	2,24	3,52	5,20	7,28	9,23	12,20
0,44	-0,80	-0,27	0,26	0,84	1,59	2,66	4,00	5,73	7,40	9,12
0,55	-0,83	-0,48	0,00	0,53	1,15	1,89	2,92	4,00	5,36	6,60
1,00	-0,65	-0,40	-0,24	0,10	0,50	0,83	1,13	1,47	1,86	2,30

Hệ số tổn thất ζ_{1-3} và ζ'_{1-3} được tính theo tổn thất cột áp h_{n1-3} khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 3-3 (H. PL1-12).

$$\zeta_{1-3} = \frac{h_{n1-3}}{\frac{v_3^2}{2g}}$$

$$\zeta'_{1-3} = \frac{h_{n1-3}}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{\zeta_{2-3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_3}\right)^2}$$

ở đây, ζ_{1-3} được cho sẵn trong bảng PL1-2, phụ thuộc tỷ số $\frac{Q_1}{Q_3}$.



Hình PL1-12

Bảng PL1-2. Giá trị hệ số tổn thất ζ_{1-3} đối với chạc ba hợp nhánh

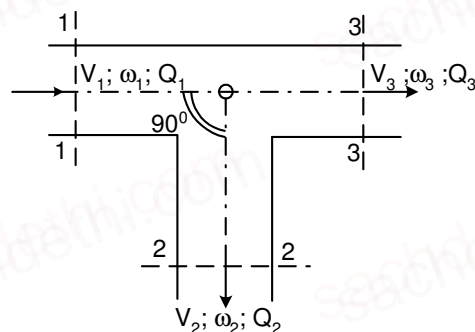
$\frac{Q_1}{Q_3}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{1-3}	0,7	0,64	0,60	0,65	0,75	0,85	0,92	0,96	0,99	1,00

14) Chạc ba phân nhánh (H. PL1-13) ; $\omega_1 = \omega_3$. Hệ số tổn thất ζ_{1-2} và ζ'_{1-2} được tính theo tổn thất cột áp h_{n1-2} khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 2-2 :

$$\zeta_{1-2} = \frac{h_{n_{1-2}}}{\frac{v_1^2}{2g}}; \zeta'_{1-2} = \frac{h_{n_{1-2}}}{\frac{v_2^2}{2g}} = \frac{\zeta_{2-3}}{\left(\frac{Q_2}{Q_1} \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2}$$

ở đây, ζ_{1-2} được cho trong bảng PL1-3, phụ thuộc tỷ số $\frac{\omega_2}{\omega_1}$ và $\frac{Q_2}{Q_1}$ (ký hiệu trên hình vẽ).

Hệ số tổn thất ζ_{1-3} và ζ'_{1-3} được tính theo tổn thất cột áp $h_{n_{1-3}}$ khi dòng chất lỏng chảy từ mặt cắt 1-1 đến mặt cắt 3-3 (H. PL1-13).



Hình PL1-13

Bảng PL1-3. Giá trị hệ số tổn thất ζ_{1-2} đối với chạc ba phân nhánh

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	$\frac{Q_2}{Q_1}$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,09	2,80	4,50	6,00	7,88	9,40	11,10	13,00	15,80	20,00	24,70
0,19	1,41	2,00	2,50	3,20	3,97	4,95	6,50	8,45	10,80	13,30
0,27	1,37	1,81	2,30	2,83	3,40	4,07	4,80	6,00	7,18	8,90
0,35	1,10	1,54	1,90	2,35	2,73	3,22	3,80	4,32	5,28	6,53
0,44	1,22	1,45	1,67	1,89	2,11	2,38	2,58	3,04	3,84	4,75
0,55	1,09	1,20	1,40	1,59	1,65	1,77	1,94	2,20	2,68	3,30
1,00	0,90	1,00	1,13	1,20	1,40	1,50	1,60	1,80	2,06	2,30

$$\zeta_{1-3} = \frac{h_{n_{1-3}}}{\frac{v_1^2}{2g}}; \zeta'_{1-3} = \frac{h_{n_{1-3}}}{\frac{v_3^2}{2g}} = \frac{\zeta_{1-3}}{\left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right)^2},$$

ở đây, ζ_{1-3} lấy theo bảng PL1-4 phụ thuộc tỷ số $\frac{Q_3}{Q_1}$

Bảng PL1-4. Giá trị hệ số tổn thất ζ_{1-3} đối với chạc ba phân nhánh

$\frac{Q_3}{Q_1}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{1-3}	0,7	0,64	0,60	0,57	0,55	0,51	0,49	0,55	0,62	0,70 ^(*)

Chú ý : Trị số ζ_{1-3} này (khi $Q_1 = Q_3$) không phù hợp với trị số ζ_{1-3} trong bảng PL1-2 vì thí nghiệm không chính xác.

PHỤ LỤC 2

Trị số C tính theo công thức của N.N. Pavolôpski

$$C = \frac{I}{n} R^y$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75(\sqrt{n} - 0,10)\sqrt{R}$$

(dùng cho hệ mét)

n R, (m)	0,011	0,013	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,01	50,0	38,0	24,0	19,0	12,0	8,0	6,0	5,0
0,02	54,4	42,4	26,8	21,2	14,14	10,6	7,78	3,36
0,03	57,1	45,0	30,0	23,1	16,16	12,12	9,24	6,93
0,04	59,5	47,0	32,0	25,0	17,5	13,0	10,0	8,0
0,05	61,3	48,7	33,2	26,1	18,6	13,9	10,9	8,7
0,06	62,8	50,1	34,4	27,2	19,5	14,7	11,5	9,3
0,07	64,1	51,3	35,5	28,2	20,4	15,5	12,2	9,9
0,08	65,2	52,4	36,4	29,0	21,1	16,1	12,8	10,3
0,10	67,2	54,3	38,1	30,6	22,4	17,3	13,8	11,2
0,12	68,8	55,8	39,5	32,6	23,5	18,3	14,7	12,1
0,14	70,3	57,2	40,7	33,0	24,5	19,1	15,4	12,3
0,16	71,5	58,4	41,8	34,0	25,4	19,9	16,1	13,4
0,18	72,6	59,5	42,7	34,8	26,2	20,6	16,8	14,0
0,20	73,7	60,4	43,6	35,7	26,9	21,3	17,4	14,5
0,22	74,6	61,3	44,4	36,4	27,6	21,9	17,9	15,0
0,24	75,5	62,1	45,2	37,1	28,3	22,5	18,5	15,5
0,26	76,3	62,9	45,9	37,8	28,8	23,0	18,9	16,0
0,28	77,0	63,6	46,5	38,4	29,4	23,5	19,4	16,4
0,30	77,7	64,8	47,2	39,0	29,9	24,0	19,9	16,8
0,35	79,3	65,8	48,6	40,3	31,1	25,1	20,9	17,8
0,40	80,7	67,1	49,8	41,5	32,2	26,0	21,8	18,6
0,45	82,0	68,4	50,9	42,5	33,1	26,9	22,6	19,4
0,50	83,1	69,5	51,9	43,4	34,0	27,8	23,4	20,1
0,55	84,1	70,4	52,8	44,4	34,8	28,5	24,0	20,7
0,60	85,3	71,4	53,7	45,2	35,5	29,2	24,7	21,3
0,70	86,8	73,0	55,2	46,6	36,9	30,4	25,8	22,4
0,80	88,3	74,5	56,5	47,9	38,0	31,5	26,8	23,4
0,90	89,4	75,5	57,5	48,8	38,9	42,3	27,6	24,1
1,00	90,9	76,9	58,8	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0
1,50	95,7	81,5	62,9	53,9	43,6	36,7	31,7	28,0
2,00	99,3	84,8	65,9	56,6	46,0	38,9	33,8	30,0
3,00	104,4	89,4	69,8	60,3	49,3	41,9	36,1	32,5
4,00	108,1	92,6	72,5	62,5	51,2	43,6	38,1	33,9

PHỤ LỤC 3

Trị số C tính theo công thức của Manning

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

$\begin{matrix} n \\ R, (m) \end{matrix}$	0,010	0,013	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040
0,05	60,7	46,7	43,4	35,7	30,4	24,3	20,2	17,3	15,2
0,06	62,6	48,1	44,7	36,8	31,3	25,0	20,9	17,9	15,6
0,07	64,2	49,4	45,9	37,8	32,1	25,7	21,4	18,3	16,0
0,08	65,6	50,7	46,9	38,6	32,8	26,3	21,9	18,8	16,4
0,10	68,1	52,4	48,7	40,1	34,1	27,3	22,7	19,5	17,0
0,12	70,2	54,0	50,2	41,3	35,1	28,1	23,4	20,1	17,6
0,14	72,1	55,4	51,5	42,4	36,0	28,8	24,0	20,6	18,0
0,16	73,7	56,7	52,6	43,3	36,8	29,5	24,5	21,1	18,4
0,18	75,1	57,8	53,7	44,2	37,6	30,1	25,0	21,5	18,8
0,20	76,5	58,8	54,6	45,0	38,2	30,6	25,5	21,8	19,1
0,22	77,7	59,8	55,5	45,7	38,8	31,1	25,9	22,2	19,4
0,24	78,8	60,6	56,3	46,4	39,4	31,5	26,3	22,5	19,7
0,26	79,9	61,5	57,1	47,0	39,9	32,0	26,6	22,8	20,0
0,28	80,9	62,2	57,8	47,6	40,4	32,4	27,0	23,1	20,2
0,30	81,8	63,0	58,4	48,1	40,9	32,7	27,3	23,4	20,4
0,35	83,9	64,6	59,9	49,4	42,0	33,6	28,0	24,0	21,0
0,40	85,8	66,0	61,3	50,5	42,9	34,3	28,6	24,5	21,4
0,45	87,5	67,3	62,5	51,5	43,8	35,0	29,2	25,0	21,9
0,50	89,1	68,5	63,6	52,4	44,5	35,6	29,7	25,5	22,3
0,55	90,5	69,6	64,6	53,3	45,3	36,2	30,2	25,9	22,6
0,60	91,8	70,6	65,6	54,0	45,9	36,7	30,6	26,2	23,0
0,65	93,1	71,6	66,5	54,7	46,5	37,2	31,0	26,6	23,3
0,70	94,2	72,5	67,3	55,4	47,1	37,7	31,4	26,9	23,6
0,80	96,4	74,1	68,8	56,8	48,2	38,5	32,1	27,5	24,1
0,90	98,3	75,6	70,2	57,8	49,1	39,3	32,8	28,1	24,6
1,00	100,0	77,0	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3	28,6	25,0
1,10	101,0	78,2	72,6	59,8	50,8	40,6	33,9	29,0	25,4
1,20	103,1	79,3	73,6	60,6	51,5	41,2	34,4	29,5	25,8
1,30	104,5	80,4	74,6	61,5	52,2	41,8	34,8	29,8	26,1
1,50	107,0	82,3	76,4	62,9	53,5	42,8	35,7	30,6	26,8
1,70	109,3	84,1	78,0	64,3	54,6	43,7	36,4	31,2	27,3
2,00	112,3	86,3	80,2	66,0	56,1	44,9	37,4	32,1	28,1
2,50	116,5	89,6	83,2	68,5	58,3	46,6	38,8	33,3	29,1
3,00	120,1	92,4	85,8	70,6	60,0	48,0	40,0	34,3	30,0
3,50	123,2	94,8	88,0	72,5	61,6	49,3	41,1	35,2	30,3
4,00	126,0	97,0	90,0	74,1	63,0	50,4	42,0	36,9	31,5
5,00	130,8	100,0	93,4	76,9	65,4	52,3	43,6	37,4	32,7
10,00	146,8	112,9	104,8	86,3	73,4	58,7	49,0	41,9	

PHỤ LỤC 4

Hệ số λ đối với ống tròn phụ thuộc đường kính d và hệ số nhám n khi C tính theo công thức của Viện sĩ N.N. Pavolôpski

d(mm)	Hệ số nhám n				
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015
200	0,021	0,026	0,033	0,039	0,050
300	0,019	0,024	0,029	0,035	0,044
400	0,017	0,022	0,026	0,033	0,039
500	0,016	0,020	0,025	0,030	0,036
600	0,016	0,019	0,024	0,028	0,034
700	0,015	0,019	0,023	0,027	0,032
800	0,015	0,018	0,022	0,026	0,031
900	0,014	0,017	0,021	0,025	0,029
1000	0,013	0,017	0,020	0,023	0,028
1200	0,013	0,016	0,019	0,022	0,026
1500	0,012	0,015	0,018	0,021	0,025
2000	0,011	0,014	0,016	0,019	0,022
2500	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021
3000	0,010	0,012	0,014	0,017	0,020

PHỤ LỤC 5

Trị số đặc trưng lưu lượng $K = \omega C \sqrt{R}$ của các ống dẫn nước có tiết diện tròn khi tính theo công thức đầy đủ của N.N. Pavolôpski

$$C = \frac{I}{R} R^y ; y = f(n, R) \quad (\text{dùng cho hệ mét})$$

Đường kính d(m)	Diện tích $\omega(\text{m}^2)$	Trị số đặc trưng lưu lượng $K (\text{m}^3/\text{s})$ với các trị số hệ số nhám n khác nhau			
		0,011	0,020	0,030	0,040
1,0	0,7854	29,806	14,707	8,934	6,185
1,5	1,7672	86,664	44,307	27,638	19,716
2,0	3,1416	184,573	96,618	61,747	44,644
2,5	4,9087	328,123	174,196	112,663	82,338
3,0	7,0690	535,310	288,900	188,636	140,020
3,5	9,6210	801,700	436,920	288,762	215,180
4,0	12,5660	1140,000	628,320	418,670	314,160
5,0	19,6350	2049,870	1142,710	707,210	582,860
6,0	28,2740	3311,980	1865,370	1270,160	969,020
7,0	38,4840	4961,790	2813,880	1926,710	1479,880
8,0	50,2660	7052,810	4025,730	2766,800	2133,780
9,0	63,6170	9609,390	5501,310	3795,180	2935,300
10,0	78,5400	12702,260	7302,860	5051,050	3918,910
12,0	113,0970	20427,940	11798,900	8198,570	6359,270
14,0	153,9380	30628,300	17703,390	12320,400	9585,740
16,0	201,0620	43469,170	25132,500	17532,430	13632,000

PHỤ LỤC 6

Bảng tính các ống dẫn nước. Trị số đặc trưng lưu lượng $K = \omega C \sqrt{R}$ của các ống dẫn nước khi C tính theo công thức của Manning

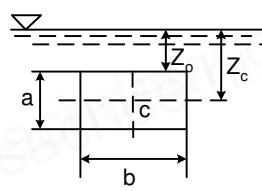
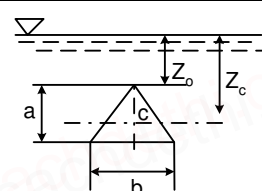
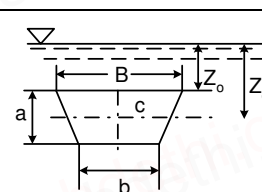
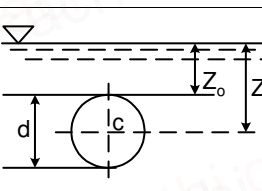
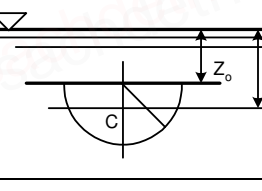
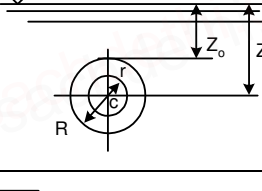
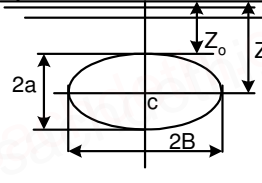
$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

(dùng cho hệ thống mét)

d, (mm)	ω , (m ²)	K, (l/s)		
		Ống sạch $C_o = \frac{1}{n} = 90$ (n \approx 0,01)	Các điều kiện tính toán bình thường $C_o = \frac{1}{n} = 80$ (n \approx 0,0125)	Ống bẩn $C_o = \frac{1}{n} = 70$ (n \approx 0,0143)
50	0,00196	9,624	8,460	7,403
75	0,00442	28,37	24,94	21,83
100	0,00785	61,11	53,72	47,01
125	0,01227	110,80	97,40	85,23
150	0,01767	180,20	158,40	138,60
175	0,02405	271,80	239,90	209,00
200	0,03142	388,00	341,10	298,50
225	0,03976	531,20	367,00	408,60
250	0,04909	703,50	418,50	541,20
300	0,07068	1,144.10 ³	1,006.10 ³	880,00
350	0,09621	1,726.10 ³	1,517.10 ³	1,327.10 ³
400	0,12566	2,464.10 ³	2,166.10 ³	1,895.10 ³
450	0,15904	3,373.10 ³	2,965.10 ³	2,594.10 ³
500	0,19635	4,467.10 ³	3,927.10 ³	3,436.10 ³
600	0,28274	7,264.10 ³	6,386.10 ³	5,587.10 ³
700	0,38435	10,96.10 ³	9,632.10 ³	8,428.10 ³
750	0,44179	13,17.10 ³	11,580.10 ³	10,13.10 ³
800	0,50266	15,64.10 ³	13,75.10 ³	12,03.10 ³
900	0,63617	21,42.10 ³	13,83.10 ³	16,47.10 ³
1000	0,78540	28,36.10 ³	24,93.10 ³	21,82.10 ³
1200	1,13090	46,12.10 ³	40,55.10 ³	35,48.10 ³
1400	1,5394	69,57.10 ³	61,16.10 ³	53,52.10 ³
1600	2,0106	99,33.10 ³	87,32.10 ³	76,41.10 ³
1800	2,5447	136,00.10 ³	119,50.10 ³	104,6.10 ³
2000	3,1416	180,10.10 ³ .10 ³	158,30.10 ³ .10 ³	138,5.10 ³

PHỤ LỤC 7

Mô men quán tính J_0 (đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm C). Toạ độ trọng tâm z_c và diện tích ω của những hình phẳng

Hình và ký hiệu	J_0	z_c	ω
	$\frac{ba^3}{12}$	$z_0 + \frac{a}{2}$	ba
	$\frac{ba^3}{36}$	$z_0 + \frac{2}{3}a$	$\frac{ba}{2}$
	$\frac{a^3(B^2 + 4Bb + b^2)}{36(B + b)}$	$z_0 + \frac{a(B + 2b)}{3(B + b)}$	$\frac{a(B + b)}{2}$
	$\frac{\pi d^4}{64}$	$z_0 + \frac{d}{2}$	$\frac{\pi r^2}{4}$
	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} r^4$	$z_0 + \frac{4\pi}{3\pi}$	$\frac{\pi r^2}{2}$
	$\frac{9\pi^2 - 64}{72\pi} r^4$	$z_0 + R$	$\pi(R^2 + r^2)$
	$\frac{\pi a^3 b}{4}$	$z_0 + a$	πab

PHỤ LỤC 8 CÁC HÀM KHÍ ĐỘNG

$$\frac{T}{T_o} = \tau = 1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda$$

$$f = \frac{1}{c} q(\lambda) \left(\lambda + \frac{1}{\lambda} \right) \quad q = c \lambda \varepsilon(\lambda)$$

$$\frac{p}{p_o} = \pi = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$r = \frac{c}{y(\lambda) \left(\lambda + \frac{1}{\lambda} \right)} \quad c = \frac{1}{\varepsilon(l)}$$

$$\frac{\rho}{\rho_o} = \varepsilon = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda^2 \right)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$y = \frac{q(\lambda)}{\pi(\lambda)}$$

k = 1,4

λ	τ	π	ε	q	y	f	r	M
0,00	1,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000
0,01	1,0000	0,9999	0,9999	0,0158	0,0158	1,0000	0,9999	0,0091
0,02	0,9999	0,9998	0,9998	0,0315	0,0315	1,0002	0,9996	0,0183
0,03	0,9999	0,9995	0,9997	0,0473	0,0473	1,0006	0,9989	0,0274
0,04	0,9997	0,9990	0,9993	0,0631	0,0631	1,0009	0,9981	0,0365
0,05	0,9996	0,9986	0,9990	0,0788	0,0788	1,0019	0,9971	0,0457
0,06	0,9994	0,9979	0,9985	0,0945	0,0945	1,0021	0,9958	0,0548
0,07	0,9992	0,9971	0,9979	0,1102	0,1102	1,0028	0,9943	0,0639
0,08	0,9989	0,9963	0,9974	0,1259	0,1259	1,0038	0,9925	0,0731
0,09	0,9987	0,9953	0,9967	0,1415	0,1415	1,0047	0,9906	0,0822
0,10	0,9983	0,9942	0,9959	0,1571	0,1571	1,0058	0,9868	0,0914
0,11	0,9980	0,9929	0,9949	0,1726	0,1726	1,0070	0,9860	0,1005
0,12	0,9976	0,9916	0,9940	0,1882	0,1882	1,0083	0,9834	0,1097
0,13	0,9972	0,9901	0,9929	0,2036	0,2036	1,0100	0,9806	0,1190
0,14	0,9967	0,9866	0,9918	0,2190	0,2190	1,0113	0,9776	0,1200
0,15	0,9963	0,9870	0,9907	0,2344	0,2344	1,0129	0,9744	0,1372
0,16	0,9957	0,9851	0,9893	0,2497	0,2497	1,0147	0,9709	0,1460
0,17	0,9952	0,9832	0,9880	0,2649	0,2649	1,0165	0,9673	0,1560
0,18	0,9946	0,9812	0,9866	0,2801	0,2801	1,0185	0,9634	0,1650
0,19	0,9940	0,9791	0,9850	0,2952	0,2952	1,0206	0,9594	0,1740
0,20	0,9933	0,9768	0,9834	0,3102	0,3102	1,0227	0,9551	0,1830
0,21	0,9927	0,9745	0,9815	0,3252	0,3252	1,0250	0,9507	0,1920
0,22	0,9919	0,9720	0,9799	0,3401	0,3401	1,0274	0,9461	0,2020
0,23	0,9912	0,9695	0,9781	0,3549	0,3549	1,0298	0,9414	0,2109
0,24	0,9904	0,9668	0,9762	0,3696	0,3696	1,0315	0,9373	0,2202
0,25	0,9896	0,9640	0,9742	0,3842	0,3842	1,0350	0,9314	0,2290
0,26	0,9887	0,9611	0,9721	0,3987	0,3987	1,0378	0,9261	0,2387
0,27	0,9879	0,9581	0,9699	0,4131	0,4131	1,0406	0,9207	0,2480
0,28	0,9869	0,9550	0,9677	0,4274	0,4274	1,0435	0,9152	0,2573
0,29	0,9860	0,9518	0,9653	0,4416	0,4416	1,0465	0,9095	0,2670

λ	τ	π	ε	q	y	f	g	M
0,30	0,9950	0,9485	0,9630	0,4557	0,4804	1,0496	0,9037	0,2760
0,31	0,9840	0,9451	0,9605	0,4691	0,4790	1,0528	0,8977	0,2850
0,32	0,9829	0,9415	0,9579	0,4835	0,5135	1,0559	0,8917	0,2947
0,33	0,9819	0,9379	0,9552	0,4972	0,5382	1,0593	0,8854	0,3040
0,34	0,9807	0,9342	0,9825	0,5109	0,5469	1,0626	0,8791	0,3134
0,35	0,9796	0,9303	0,9497	0,5243	0,5636	1,0661	0,8727	0,3228
0,36	0,9784	0,9265	0,9469	0,5377	0,5804	1,0696	0,8662	0,3322
0,37	0,9772	0,9224	0,9439	0,5509	0,5973	1,0732	0,8595	0,3417
0,38	0,9759	0,9183	0,9409	0,5640	0,6142	1,0768	0,8528	0,3511
0,39	0,9747	0,9141	0,9378	0,5769	0,6312	1,0805	0,8460	0,3606
0,40	0,9733	0,9097	0,9346	0,5897	0,6482	1,0842	0,8391	0,3701
0,41	0,9720	0,9053	0,9314	0,6024	0,6654	1,0880	0,8321	0,3796
0,42	0,9706	0,9008	0,9281	0,6149	0,6825	1,0918	0,8251	0,3892
0,43	0,9692	0,8962	0,9247	0,6272	0,6998	1,0957	0,8179	0,3987
0,44	0,9677	0,8915	0,9212	0,6394	0,7172	1,0996	0,8108	0,4083
0,45	0,9663	0,8868	0,9178	0,6515	0,7346	1,1036	0,8035	0,4179
0,46	0,9647	0,8819	0,9142	0,6633	0,7521	1,1076	0,7963	0,4275
0,47	0,9632	0,8770	0,9105	0,6750	0,7697	1,1116	0,7889	0,4372
0,48	0,9616	0,8719	0,9067	0,6865	0,7874	1,1156	0,7816	0,4468
0,49	0,9600	0,8668	0,9029	0,6979	0,8052	1,1197	0,7741	0,4565
0,50	0,9583	0,8616	0,8991	0,7091	0,8230	1,1239	0,7666	0,4663
0,51	0,9567	0,8563	0,8961	0,7201	0,8409	1,1279	0,7592	0,4760
0,52	0,9549	0,8509	0,8911	0,7309	0,8590	1,1320	0,7517	0,4858
0,53	0,9532	0,8455	0,8871	0,7416	0,8771	1,1362	0,7442	0,4956
0,54	0,9514	0,8400	0,8829	0,7620	0,8953	1,1403	0,7366	0,5054
0,55	0,9496	0,8344	0,8787	0,7623	0,9136	1,1445	0,7290	0,5152
0,56	0,9477	0,8287	0,8744	0,7724	0,9321	1,1486	0,7215	0,5251
0,57	0,9459	0,8230	0,8701	0,7823	0,9506	1,1528	0,7139	0,5350
0,58	0,9439	0,8172	0,8657	0,7920	0,9692	1,1569	0,7064	0,5450
0,59	0,9420	0,8112	0,8642	0,8015	0,9880	1,1610	0,6987	0,5549
0,60	0,9400	0,8053	0,8567	0,8109	1,0069	1,1651	0,6912	0,5649
0,61	0,9380	0,7992	0,8561	0,8198	1,0258	1,1691	0,6836	0,5750
0,62	0,9359	0,7932	0,8475	0,8288	1,0449	1,1733	0,6760	0,5850
0,63	0,9339	0,7870	0,8428	0,8375	1,0641	1,1772	0,6685	0,5951
0,64	0,9317	0,7808	0,8380	0,8359	1,0842	1,1812	0,6610	0,6053
0,65	0,9296	0,7745	0,8332	0,8543	1,1030	1,1852	0,6535	0,6154
0,66	0,9274	0,7681	0,8283	0,8623	1,1226	1,1891	0,6460	0,6256
0,67	0,9252	0,7617	0,8233	0,8701	1,1423	1,1929	0,6380	0,6359
0,68	0,9229	0,7553	0,8183	0,8778	1,1622	1,1967	0,6311	0,6461
0,69	0,9207	0,7488	0,8133	0,8852	1,1822	1,2005	0,6237	0,6565

λ	τ	π	ε	q	y	f	r	M
0,70	0,9183	0,7422	0,8002	0,8624	1,2024	1,2042	0,6163	0,6660
0,71	0,9160	0,7356	0,8030	0,8993	1,2227	1,2078	0,6090	0,6772
0,72	0,9136	0,7289	0,7978	0,9061	1,2431	1,2114	0,6017	0,6876
0,73	0,9112	0,7221	0,7925	0,9126	1,2637	1,2148	0,5944	0,6981
0,74	0,9087	0,7154	0,7872	0,9189	1,2845	1,2183	0,5872	0,7086
0,75	0,9063	0,7086	0,7819	0,9250	1,3054	1,2216	0,5800	0,7192
0,76	0,9037	0,7017	0,7764	0,9308	1,3265	1,2249	0,5729	0,7298
0,77	0,9012	0,6948	0,7710	0,9364	1,3478	1,2280	0,5658	0,7404
0,78	0,8986	0,6878	0,7655	0,9418	1,3692	1,2311	0,5587	0,7511
0,79	0,8960	0,6809	0,7599	0,9469	1,3908	1,2341	0,5517	0,7616
0,80	0,8933	0,6738	0,7543	0,9518	1,4126	1,2370	0,5447	0,7727
0,81	0,8907	0,6668	0,7486	0,9565	1,4346	1,2398	0,5378	0,7835
0,82	0,8879	0,6597	0,7429	0,9610	1,4567	1,2425	0,5309	0,7944
0,83	0,8852	0,6526	0,7372	0,9652	1,4790	1,2451	0,5241	0,8053
0,84	0,8824	0,6454	0,7314	0,9691	1,5016	1,2475	0,5174	0,8163
0,85	0,8796	0,6382	0,7256	0,9729	1,5243	1,2498	0,5107	0,8274
0,86	0,8767	0,6310	0,7179	0,9764	1,5473	1,2520	0,5040	0,8381
0,87	0,8739	0,6238	0,7138	0,9796	1,5704	1,2541	0,4974	0,8496
0,88	0,8709	0,6165	0,7079	0,9826	1,5938	1,2560	0,4908	0,8608
0,89	0,8680	0,6092	0,7019	0,9854	1,6174	1,2579	0,4843	0,8721
0,90	0,8650	0,6019	0,6959	0,9879	1,6412	1,2595	0,4779	0,8833
0,91	0,8620	0,5946	0,6898	0,9902	1,6552	1,2611	0,4715	0,8947
0,92	0,8589	0,5873	0,6838	0,9923	1,6895	1,2625	0,4652	0,9062
0,93	0,8559	0,5800	0,6776	0,9941	1,7140	1,2637	0,4589	0,9117
0,94	0,8527	0,5726	0,6715	0,9957	1,7388	1,2648	0,4527	0,9292
0,95	0,8496	0,5653	0,6653	0,9970	1,7638	1,2648	0,4466	0,9409
0,96	0,8464	0,5579	0,6591	0,9981	1,7890	1,2666	0,4405	0,9526
0,97	0,8432	0,5505	0,6528	0,9989	1,8146	1,2671	0,4344	0,9644
0,98	0,8399	0,5431	0,6466	0,9993	1,8404	1,2676	0,4285	0,9761
0,99	0,8367	0,5375	0,6403	0,9999	1,8665	1,2678	0,4225	0,9880
1,00	0,8333	0,5283	0,6340	1,0000	1,8929	1,2679	0,4167	1,0000
1,01	0,8300	0,5209	0,6276	0,9999	1,9195	1,2678	0,4109	1,0120
1,02	0,8266	0,5135	0,6212	0,9995	1,9464	1,2675	0,4051	1,0241
1,03	0,8232	0,5061	0,6148	0,9989	1,9737	1,2671	0,3994	1,0363
1,04	0,8197	0,4987	0,6084	0,9880	2,0013	1,2664	0,3938	1,0486
1,05	0,8163	0,4913	0,6019	0,9969	2,0291	1,2655	0,3882	1,0609
1,06	0,8092	0,4840	0,5955	0,9957	2,0573	1,2646	0,3827	1,0733
1,07	0,8056	0,4766	0,5890	0,9941	2,0858	1,2633	0,3773	1,0858
1,08	0,8020	0,4693	0,5826	0,9924	2,1147	1,2620	0,3719	1,0985
1,09	0,7983	0,4619	0,5760	0,9903	2,1439	1,2602	0,3665	1,1111

λ	τ	π	ϵ	q	y	f	g	M
1,10	0,7983	0,4547	0,5694	0,9880	2,1734	1,2574	0,3613	1,1239
1,11	0,7947	0,4483	0,5629	0,9856	2,2034	1,2563	0,3560	1,1367
1,12	0,7909	0,4400	0,5564	0,9829	2,2337	1,2543	0,3508	1,1446
1,13	0,7872	0,4328	0,5498	0,9800	2,2643	1,2549	0,3457	1,1627
1,14	0,7834	0,4255	0,5432	0,9768	2,2954	1,2541	0,3407	1,1758
1,15	0,7796	0,4184	0,5366	0,9735	2,3269	1,2463	0,3357	1,1890
1,16	0,7757	0,4111	0,5300	0,9698	2,3588	1,2432	0,3307	1,2023
1,17	0,7719	0,4040	0,5234	0,9659	2,3911	1,2398	0,3258	1,2157
1,18	0,7679	0,3969	0,5168	0,9620	2,4238	1,2364	0,3210	1,2292
1,19	0,7640	0,3898	0,5102	0,9577	2,4570	1,2326	0,3162	1,2428
1,20	0,7600	0,3827	0,5035	0,9531	2,4906	1,2296	0,3115	1,2566
1,21	0,7560	0,3757	0,4969	0,9484	2,5247	1,2244	0,3068	1,2708
1,22	0,7519	0,3687	0,4903	0,9435	2,5593	1,2200	0,3022	1,2843
1,23	0,7478	0,3617	0,4837	0,9384	2,5944	1,2154	0,2976	1,2974
1,24	0,7437	0,3548	0,4770	0,9331	2,6300	1,2105	0,2931	1,3126
1,25	0,7396	0,3479	0,4704	0,9275	2,6660	1,2054	0,2886	1,3298
1,26	0,7354	0,3411	0,4638	0,9217	2,7026	1,2000	0,2842	1,3413
1,27	0,7312	0,3343	0,4572	0,9159	2,7398	1,1946	0,2798	1,3558
1,28	0,7269	0,3275	0,4505	0,9096	2,7775	1,1887	0,2755	1,3705
1,29	0,7227	0,3208	0,4439	0,9033	2,8158	1,1826	0,2713	1,3853
1,30	0,7183	0,3142	0,4374	0,8969	2,8547	1,1765	0,2670	1,4002
1,31	0,7180	0,3075	0,4307	0,8101	2,9841	1,1629	0,2629	1,4153
1,32	0,7096	0,3910	0,4244	0,8831	2,9343	1,1632	0,2547	1,4458
1,33	0,7052	0,2945	0,4176	0,8761	2,9750	1,1562	0,2547	1,4458
1,34	0,7077	0,2880	0,4110	0,8688	3,0164	1,1490	0,2507	1,4613
1,35	0,6962	0,2816	0,4045	0,8614	3,0586	1,1417	0,2467	1,4769
1,36	0,6917	0,2753	0,3980	0,8538	3,1013	1,1341	0,2427	1,4927
1,37	0,6872	0,2690	0,3914	0,8459	3,1448	1,1261	0,2389	1,5087
1,38	0,6826	0,2628	0,3850	0,8380	3,1889	1,1180	0,2350	1,5248
1,39	0,6780	0,2566	0,3785	0,8299	3,2340	1,1098	0,2312	1,5410
1,40	0,6733	0,2505	0,3720	0,8216	3,2798	1,1012	0,2275	1,5575
1,41	0,6687	0,2445	0,3656	0,8131	3,3263	1,0924	0,2238	1,5241
1,42	0,6639	0,2385	0,3592	0,8046	3,3737	1,0835	0,2210	1,5909
1,43	0,6592	0,2326	0,3528	0,7958	3,4219	1,0742	0,2165	1,6078
1,44	0,6544	0,2267	0,3464	0,7869	3,4710	1,0648	0,2129	1,6250
1,45	0,6496	0,2209	0,3401	0,7778	3,5211	1,0551	0,2094	1,6423
1,46	0,6447	0,2152	0,3338	0,7687	3,5720	1,0453	0,2059	1,6598
1,47	0,6398	0,2095	0,3275	0,7593	3,6240	1,0354	0,2024	1,6776
1,48	0,6349	0,2045	0,3212	0,7499	3,6768	1,0249	0,1990	1,6955
1,49	0,6300	0,1985	0,3150	0,7404	3,7308	1,0144	0,1956	1,7137

λ	τ	π	ϵ	q	y	f	r	M
1,50	0,6250	0,1930	0,3088	0,7307	3,7858	1,0037	0,1923	1,7321
1,51	0,6200	0,1876	0,3027	0,7209	3,8418	0,9927	0,1890	1,7500
1,52	0,6149	0,1824	0,2965	0,7110	3,8990	0,9816	0,1858	1,7694
1,53	0,6099	0,1771	0,2904	0,7009	3,9574	0,9703	0,1825	1,7885
1,54	0,6047	0,1720	0,2844	0,6909	4,0172	0,9590	0,1794	1,8078
1,55	0,5996	0,1669	0,2784	0,6807	4,0778	0,9472	0,1762	1,8273
1,56	0,5944	0,1619	0,2724	0,6703	4,1394	0,9353	0,1731	1,8273
1,57	0,5892	0,1570	0,2665	0,6599	4,2054	0,9233	0,1700	1,8672
1,58	0,5839	0,1522	0,2506	0,6494	4,2680	0,9111	0,1670	1,8875
1,59	0,5786	0,1474	0,2547	0,6389	4,3343	0,8988	0,1640	1,9081
1,60	0,5733	0,1427	0,2489	0,6282	4,4020	0,8861	0,1611	1,9290
1,61	0,5680	0,1381	0,2431	0,6175	4,4713	0,8734	0,1581	1,9501
1,62	0,5626	0,1336	0,2374	0,6067	4,5422	0,8604	0,1552	1,9716
1,63	0,5572	0,1291	0,2317	0,5958	4,6144	0,8474	0,1524	1,9934
1,64	0,5517	0,1248	0,2261	0,5850	4,6887	0,8343	0,1495	2,0155
1,65	0,5463	0,1205	0,2205	0,5740	4,7647	0,8210	0,1467	2,0380
1,66	0,5407	0,1163	0,2150	0,5630	4,8424	0,8075	0,1440	2,0607
1,67	0,5352	0,1121	0,2095	0,5520	4,9221	0,7939	0,1413	2,0839
1,68	0,5296	0,1081	0,2041	0,5409	5,0037	0,7802	0,1368	2,1073
1,69	0,5240	0,1041	0,1988	0,5298	5,0877	0,7664	0,1359	2,1313
1,70	0,5183	0,1003	0,1934	0,5187	5,1735	0,7524	0,1333	2,1555
1,71	0,5126	0,0965	0,1881	0,5075	5,2617	0,7383	0,1306	2,1802
1,72	0,5069	0,0928	0,1830	0,4965	5,3520	0,7243	0,1281	2,2053
1,73	0,5012	0,0891	0,1778	0,4852	5,4449	0,7100	0,1255	2,2308
1,74	0,4954	0,0856	0,1727	0,4741	5,5403	0,6957	0,1230	2,2567
1,75	0,4896	0,0821	0,1677	0,4630	5,6383	0,6813	0,1205	2,2831
1,76	0,4837	0,0787	0,1628	0,4520	5,7399	0,6669	0,1181	2,3100
1,77	0,4779	0,0754	0,1578	0,4407	5,8427	0,6523	0,1156	2,3374
1,78	0,4719	0,0722	0,1530	0,4296	5,9495	0,6378	0,1132	2,3653
1,79	0,4660	0,0691	0,1480	0,4185	6,0593	0,6232	0,1108	2,3937
1,80	0,4600	0,0660	0,1435	0,4075	6,1723	0,6085	0,1085	2,4227
1,81	0,4540	0,0630	0,1389	0,3965	6,2893	0,5938	0,1062	2,4523
1,82	0,4470	0,0602	0,1343	0,3855	6,4091	0,5791	0,1039	2,4824
1,83	0,4418	0,0573	0,1298	0,3746	6,5335	0,5644	0,1016	2,5132
1,84	0,4357	0,0546	0,1253	0,3638	6,6607	0,5497	0,0994	2,5449
1,85	0,4296	0,0520	0,1210	0,3530	6,7934	0,5349	0,0971	2,5766
1,86	0,4234	0,0494	0,1167	0,3423	6,9298	0,5202	0,0949	2,6094
1,87	0,4172	0,0469	0,1124	0,3316	7,0707	0,5055	0,0928	2,6429
1,88	0,4109	0,0445	0,1083	0,3211	7,2162	0,4909	0,0906	2,6772
1,89	0,4047	0,0422	0,1042	0,3105	7,3673	0,4762	0,0885	2,7123

λ	τ	π	ϵ	q	y	f	r	M
1,90	0,3983	0,0399	0,1002	0,3002	7,5243	0,4472	0,0864	2,7481
1,91	0,3920	0,0377	0,0962	0,2898	7,6885	0,4327	0,0843	2,7849
1,92	0,3856	0,0356	0,0923	0,2797	7,8540	0,4183	0,0823	2,8225
1,93	0,3792	0,0336	0,0885	0,2695	8,0289	0,4041	0,0803	2,8612
1,94	0,3727	0,0316	0,0848	0,2596	8,2098		0,0782	2,9007
1,95	0,3662	0,0297	0,0812	0,2497	8,3985	0,3899	0,0763	2,9414
1,96	0,3597	0,0279	0,0776	0,2400	8,5943	0,3758	0,0743	2,9831
1,97	0,3532	0,0262	0,0741	0,2304	8,7984	0,3618	0,0724	3,0301
1,98	0,3466	0,0245	0,0707	0,2209	9,0112	0,3480	0,0704	3,0701
1,99	0,3400	0,0229	0,0674	0,2116	9,2329	0,3343	0,0685	3,1155
2,00	0,3333	0,0214	0,0642	0,2024	9,4640	0,3203	0,0668	3,1622
2,01	0,3267	0,0199	0,0610	0,1934	9,7060	0,3074	0,0648	3,2104
2,02	0,3199	0,0185	0,0579	0,1845	9,9610	0,2942	0,0630	3,2603
2,03	0,3132	0,0172	0,0549	0,1758	10,224	0,2811	0,0612	3,3113
2,04	0,3064	0,0159	0,0520	0,1672	10,502	0,2683	0,0594	3,3642
2,05	0,2996	0,0147	0,0491	0,1588	10,794	0,2556	0,0576	3,4190
2,06	0,2927	0,0136	0,0464	0,1507	11,102	0,2431	0,0558	3,4759
2,07	0,2859	0,0125	0,0437	0,1400	11,422	0,2309	0,0541	3,5343
2,08	0,2789	0,0115	0,0411	0,1348	11,762	0,2189	0,0524	3,5951
2,09	0,2720	0,0105	0,0386	0,1272	12,121	0,2070	0,0507	3,6583
2,10	0,2650	0,0096	0,0361	0,1198	12,500	0,1956	0,0490	3,7240
2,11	0,2580	0,0087	0,0338	0,1125	12,901	0,1843	0,0473	3,7922
2,12	0,2509	0,0079	0,0315	0,1055	13,326	0,1733	0,0457	3,8633
2,13	0,2439	0,0072	0,0294	0,0986	13,778	0,1626	0,0440	3,9376
2,14	0,2367	0,0065	0,0273	0,0921	14,259	0,1522	0,0424	4,0150
2,15	0,2296	0,0058	0,0253	0,0857	14,772	0,1420	0,0408	4,0961
2,16	0,2224	0,0052	0,0233	0,0795	15,319	0,1322	0,0393	4,1791
2,17	0,2152	0,0046	0,0215	0,0735	15,906	0,1226	0,0377	4,2702
2,18	0,2079	0,0041	0,0197	0,0678	16,537	0,1134	0,0361	4,3642
2,19	0,2006	0,0036	0,0180	0,0323	17,218	0,1045	0,0346	4,4633
2,20	0,1933	0,0032	0,0164	0,0570	17,949	0,0960	0,0331	4,5674
2,21	0,1860	0,0028	0,0149	0,0520	18,742	0,0878	0,0316	4,6778
2,22	0,1786	0,0024	0,0135	0,0472	19,607	0,0799	0,0300	4,7954
2,23	0,1712	0,0021	0,0121	0,0427	20,548	0,0724	0,0287	4,9201
2,24	0,1637	0,0018	0,0116	0,0408	21,983	0,0695	0,0273	5,0533
2,25	0,1563	0,00151	0,00966	0,0343	22,712	0,0585	0,0269	5,1958
2,26	0,1487	0,00127	0,00813	0,0290	23,968	0,0496	0,0256	5,3494
2,27	0,1412	0,00106	0,00479	0,0268	25,561	0,0461	0,0229	5,5147
2,28	0,1336	0,00087	0,00652	0,0234	26,893	0,0404	0,0216	5,6940
2,29	0,1260	0,00071	0,00564	0,0204	28,669	0,0352	0,0202	5,8891
2,30	0,1183	0,00057	0,00482	0,0175	30,658	0,0302	0,0189	6,1033

BẢNG ĐỔI CHIỀU DANH TỪ

Việt	Anh	Pháp
A		
Áp lực	Pressure force	Forcee de pression
Áp năng	Pressure energy	Énergie de pression
Áp suất	Pressure	Pression
Áp suất chân không	Vacuum pressure	Pression du vide = Vide
Áp suất dư = Áp suất hiệu dụng	Gauge pressure	Pression Effective
Áp suất hơi bão hoà	Saturation pressure	Pression de saturation = P.de vậpeu saturée
Áp suất thuỷ lực	Hydraulic pressure	Pression hydraulique
Áp suất tuyệt đối	Absolute pressure	Pression absolue
B		
Bậc=Cấp.(Bơm nhiều bậc = bơm nhiều cấp)	Stage (Multistage pump)	Étage.(Pompe à plusieurs étage = pompe multicellulaire)
Bánh công tác	Impeller = Runner	Roue
Bánh công tác bơm = Bánh bơm	Pump impeller	Roue de pompe
Bánh công tác hút một bên	Single inlet impeller	Roue à une onñc= Roue à simple aspiration
Bánh công tác hút hai bên	Double inlet impeller	Roue à deux onñc= Roue à double aspiration
Bánh công tác hướng chéo	Mixed flow impeller = Diagonal flow impeller	Roue diagonale = R.hélico centrifuge
Bánh công tác hướng tâm	Centripetal impeller = Radial impeller	Roue centripète = R. radiale
Bánh công tác hướng trục	Axial flow impeller	Roue axiale
trục	Radial-axial flow impeller	Roue radiale-axiale
Bánh công tác li tâm	Centrifugal impeller	Roue centrifuge
Bánh phản ứng (bộ phận dẫn hướng của biên tốc thuỷ lực)	Reactor = Reaction member	Aubage de réaction
Bánh công tác tuabin = Bánh tuabin	Turbine impeller = Turbine runner	Roue de turbine
Bầu (của bánh công tác) = Mayo	Hub	Moyeu
Biên hạng (của cánh dẫn)	Contour	Profil (d'aile)
Biên áp (= bội áp) thuỷ lực	Hydraulic intensifier	Multiplieur de pression hydraulique
Biên tốc thuỷ lực = Biên tốc thuỷ động	Hydro-kinetic(=Hydraulic = Fluid) torque converter	Convertisseur de couple hydraulique = convertisseur
Biên tốc thuỷ lực truyền thuận	Directdrive hydraulic	Convertisseur hydrocinétique à rotation

		directe
Biến tốc thủy lực truyền nghịch	Inverted drive hydraulic torque converter	Convertisseur hydrocinétique à rotation inverse
Biến tốc thủy lực một (hai, ba)	Mono (Two, Tri) stage hydraulic torque converter	Convertisseur hydrocinétique à une (deux, trois) étage
Biến tốc thủy lực hỗn hợp	Composite hydraulic torque converter	Convertisseur de couple combiné
Biến tốc thủy lực đảo chiều	Reversible hydraulic torque converter	Convertisseur hydrocinétique réversible
Biến tốc thủy lực có nhiều buồng làm việc	Multi cellular hydraulic torque converter	Convertisseur hydrocinétique Pluricellulaire
Bình tích năng thủy lực	Hydraulic accumulator	Accumulateur hydraulique
Bình tích năng có màng bọc khí	Gas bag accumulator	Accumulateur à poche de gaz
Bình tích năng dầu khí nén	Oil pneumatic accumulator	Accumulateur oléopneumatique
Bình tích năng khí nén	Gas-loaded accumulator	Accumulateur pneumatique
Bình tích năng quả tạ	Weight-loaded accumulator	Accumulateur à lest
Bọng = Buồng = Khoang	Chamber = Cavity	Chambre = Cavité
Bọng đẩy	Push chamber	Chambre de refoulement
Bọng hút	Suction chamber	Chambre d'aspiration
Bộ phận (= vòng) dẫn hướng vào (của turbin, bơm cánh dẫn)	Guide vane ring	Aubage (=Anneau) de distribution
Bộ truyền	Transmission	Transmission
Bơm bánh răng	Gear pump	Pompe à engrenages
Bơm bánh dẫn	Turbo pump	Turbopompe
Bơm cánh gạt (= cánh trượt)	Vane pump	Pompe à palettes
Bơm chân không	Vacuum pump	Pompe à vide
Bơm chân không vòng nước	Water ring vacuum pump	Pompe à anneau d'eau
Bơm chìm, bơm giếng sâu	Immersed pump	Pompe immergée
Bơm công-xôn	Overhung impeller pump	Pompe avec roue en porte-à-faux
Bơm hút một (hai) bên	Single- (Double) suction pump	Pompe à simple (double) aspiration
Bơm hướng chéo	Mixed liow pump	Pompe diagonale = P.hélico- centrifuge
Bơm li tâm	Centrifugal pump	Pompe centrifuge
Bơm hướng trục	Axial flow pump	Pompe axiale = Pompe à hélice
Bơm nước va = Bơm va đập thủy lực	Water-hammer pump	Bélier hydraulique
Bơm phun tia	Ejector pump	Éjecteur

Bơm pittông	Piston pump	Pompe à piston
Bơm pittông trụ	Plunger pump	Pompe à piston plongeur
Bơm rôto	Rotary pump	Pompe à rotor = Pompe rotative
Bơm rôto pittông	Rotary-piston pump	Pompe relative à pistons
Bơm rôto pittông hướng kính	Radial-piston pump	Pompe à pistons radiaux = Pompe rotative en étoile
Bơm rôto pittông hướng trục	Axial-piston pump	Pompe à pistons axiaux = Pompe rotative à barillet
Bơm thể tích	Displacement pump	Pompe volumétrique
Bơm thể tích lưu lượng biến đổi	Variable displacement pump	Pompe volumétrique à débit variable
Bơm trục vít	Screw pump	Pompe à vis
Bơm tự mồi (=tự hút)	Self-priming pump	Pompe à auto-amorçage = P.autoamorçante
Bơm xoáy	Whirl pump	Pompe à tourbillon
Buồng làm việc	Pumping chamber	Chambre de travail
Buồng phụ	Auxiliary chamber	Chambre auxiliaire
Buồng xoắn ốc	Volute chamber (=casing)	Volute
C		
Cánh dẫn (của máy thủy lực cánh dẫn)	Blade = Vane	Aube = Aile = Ailette
Cánh gạt	Vane	Palette
Chân không	Vacuum = Depression	Vide
Chấp hành (cơ cấu chấp hành)	Receiver = Working element	Recepteur = Organe d'exécution
Chất lỏng lý tưởng (không nhớt)	Perfect (= In viscid) fluid	Fluide idéal (= non visqueux)
Chất lỏng thực (nhớt)	Real (= Viscous) fluid	Fluide réel (visqueux)
Chất lỏng làm việc (=công tác)	Hydraulic fluid	Fluide hydraulique
Chất lỏng bơm	Pumped liquid	Liquide pompé
Chất lỏng không nén được	Incompressible fluid	Fluide incompressible
Chất lỏng nén được	Compressible fluid	Fluide compressible
Chép hình (cơ cấu thủy lực chép hình)	Hydraulic copying device	Mécanisme pour copiage hydraulique
Chiều cao dâng chất lỏng (của hệ thống bơm)	Total geodetic elevation of liquid (of a pump)	Hauteur géométrique d'élévation (d'une pompe)
Chiều cao đẩy = Độ cao đẩy	Geodetic delivered head = Geodetic discharge head	Hauteur de refoulement
Chiều cao đo áp $\left[\frac{p}{\gamma} \right]$	Pressure head	Hauteur piézométrique = H. de pression
Chiều cao hút = Độ cao hút	Geodetic suction head	Hauteur d'aspiration
Cột áp	Head = Pressure head	Hauteur de pression, = Charge
Cột áp đẩy	Discharge head	Hauteur de refoulement
Cột áp động	Dynamic head	Hauteur de pression

		dynamique
Cột áp hút	Suction head	Hauteur d' aspiration
Cột áp tĩnh	Static head	Hauteur de pression statique
Cột áp toàn phần	Total head	Hauteur totale de presston
Cột nước	Water head	Hauteur d' eau
Công suất hữu ích	Actual horse-power	Puissance effective
Công suất trên trục = công suất làm việc	Shaft horse-power	Puissance sur l' arbre
Công suất thủy lực $[\gamma QH]$	Hydraulic (=Water) horse-power	Puissance hydraulique
Cơ cấu điều khiển	Control mechanism	Mécanisme de commande
Cơ cấu phân phối	Distributor mechanism	Organe de distribution = Distributeur
Cơ cấu thủy lực	Hydraulic mechanism	Mécanisme hydraulique
D		
Dãy cánh	Cascade of profiles = Wing cascade	Grille d' aubes
Dẫn dòng (xem bộ phận dẫn hướng)		
Dòng xoắn (trong máng dẫn)	Rotational flow	Mouvement circulaire relatif
Đ		
Đặc tuyến (xem đường đặc tính)		
Đệm lót kín = Vật lót kín	Seal, Packing, Gasket, Gland	Joint, Étope, Garniture
Đĩa chắn	Baffle	Disque écran
Đĩa sau (của bánh công tác)	Rear disk = Rear shroud	Disque arrière = Flasque arrière
Đĩa trước	Front disk = Front shroud	Disque avant = Flasque avant
Điểm làm việc	Operating point	Point de fonctionnement
Điều chỉnh tiết lưu	Throttle regulating	Réglage de débit par restrictor
Điều chỉnh thể tích	Volumetric regulating	Réglage volumétrique
Điều chỉnh vận tốc trên đường ra của động cơ=Điều tốc ở lối ra	Meter out	Réglage de vitesse sur la sortie du moteur
Điều chỉnh vận tốc trên đường vào ở lối vào	Meter in	Réglage de vitesse sur l' entrée du moteur
Điều chỉnh vận tốc trên đường song song với động cơ=Điều tốc song song	Bleed-off	Réglage de vitesse par dérivation
Điều chỉnh vận tốc vô cấp	Infinitely variable (= stepless) speed control	Réglage continu de vitesse
Điều khiển	Control	Commande
Độ đóng âm (của cơ cấu phân	Underlap	Underlap = Recouvrement

phối)		négatif
Độ đóng dương	Overlap	Overlap = Recouvrement positif
Độ mở của bộ phận dẫn hướng	Opening of the guide vanes	Ouverture de l'aubage de distribution
Động cơ thủy lực	Actuator = Fluid motor = Hydraulic motor	Moteur hydraulique
Động cơ thủy lực có cánh dẫn = Động cơ cánh dẫn	Hydraulic turbo-motor	Turbomoteur hydraulique
Động cơ thủy lực thể tích = Động cơ thể tích	Variable displacement hydraulic motor	Moteur hydrostatique (= volumétrique)
Đường đặc tính làm việc	Head-capacity map	Courbe hauteur-débit
Đường đặc tính tổng hợp	Complete performance map	Caractéristiques de fonctionnement complets
Đường hồi = Đường về	Return line	Retour = Ligne de retour
Đường ống điều khiển	Pilot line	Ligne de commande = L. de pilotage
Đường ống tháo	Drain line	Ligne d'évacuation
Đường xoắn	Line of whirl	Ligne de tourbillon
G		
Ghép bơm nối tiếp	Cascade connecting of pumps	Couplage des pompes en série
Ghép bơm song song	Parallel connecting of pumps	Couplage des pompes en parallèle
Ghép mạch = lắp mạch	Circuit connecting = setting up circuit	Mise en circuit, Montage en circuit
Góc độ bố trí cánh dẫn	Opening angle of guide vanes	Angle d'ouverture de l'aubage de distribution
Guồng nước	Waterwheel = Hydraulic wheel	Noria, Roue hydraulique
H		
Hệ số biến tốc (= Hệ số biến đổi mômen)	Hydrokinetic coupling (= torque conversation) coefficient	Coefficient de transformation de couple
Hệ số mạch động	Pulsation coefficient	Coefficient de pulsation
Hệ thống thủy lực	Hydraulics = Hydraulic wheel	Hydraulique = Système hydraulique
Hiệu suất cột áp (= thủy lực)	Hydraulic efficiency	Rendement hydraulique à écope
Hiệu suất cơ khí	Mechanical efficiency	Rendement mécanique
Hiệu suất lưu lượng	Volumetric efficiency	Rendement volumétrique
Hiệu suất toàn phần	Overall efficiency	Rendement total (=global)
Hoà mạch = Điều chỉnh	Tuning, Regulating	Réglage
K		
Khoá chốt [khóa có hai vị trí: đóng mở]	Cock	Robinet

Khoá phân phối(xem: phân phối lại khoá)		
Khoang = Buồng = Bọng(xem bọng)		
Khớp nối thuỷ lực [KNTL]	Fluid coupling= Hydraulic clutch	Accouplement (= Coupleur) hydraulique
KNTL kiểu tháo đầu	Scoop type fluid drive	Coupleur hydraulique
KNTL có vành trong	Hydraulic clutch with toroidal section impeller = Hydraulic clutch with a core guide ring	Coupleur hydraulique réglable
KNTL có điều chỉnh	Hydraulic clutch with regulating device	Coupleur hydraulique à roue toroidale
KNTL không điều chỉnh	Hydraulic clutch without a regulating device	Coupleur hydraulique non réglable
KNTL không có vành trong	Hydraulic clutch without a core guide ring	Coupleur hydraulique sans anneau toroidal
KNTL kép	Double hydraulic clutch	Coupleur hydraulique double
Khuếch đại thuỷ lực	Fluid amplifier = Hydro amplifier = Booster	Amplificateur hydraulique
Kín (Bộ phận làm kín. Xem: Đệm lót kín)		
L		
Làm việc: -Chế độ làm việc -Điểm làm việc -Đường đặc tính làm việc	Operating: -Operating regime -Operating point -Head-capacity curve	Fonctionnement : - Régime de fonctionnement - Point de fonctionnement - Courbe de fonctionnement = Courbe hauteur-débit
Liên hệ ngược = Hồi tiếp	Feed-back	Retroaction = Rétrocouplage = Fced-back
Lõi = Bầu (của bánh công tác) = may-ơ	Hub	Moyeu
Lót kín (xem: Đệm lót kín)		
Lỗ giảm chấn	Shock-absorption	Orifice d'amortissement
Lỗ dẫn ra = Miệng ra	Outlet port	Sortie = Orifice de sortie
Lỗ dẫn vào = Miệng vào (=hút)	Inlet port	Entrée = Ouie
Lỗ rẽ bên cạnh	By-pass	By-pass = Voie de dérivation
Lưu lượng	Delivery = Flow rate	Débit
Lưu lượng kế vòng chắn(=màng chắn)	Flow diaphragm	Diaphragme de mesure
Lưu lượng kế Venturi = Ống Venturi	Venturi-meter	Tube de Venturi

Lưu lượng kế vòi lưu tuyến	Flow nozzle	Tuyère de mesure
Lưu lượng khối	Mass flow	Débit massique = Débit en masse
Lưu lượng riêng (lưu lượng do bơm cung cấp trong một vòng quay)= Lưu lượng đơn vị	Displacement of the pump=specific flow rate	Débit spécifique
Lưu lượng thể tích	Volume flow	Débit volumétrique = Débit en volume
Lưu lượng trọng lượng	Weight flow	Débit gravimétrique = Débit en poids
M		
Mạch thủy lực	Hydraulic circuit	Circuit hydraulique
Mạch động	Pulsation	Pulsation
Máng dẫn	Channel	Canal
Máy thủy lực	Hydraulic machine	Machine hydraulique
Máy thủy lực cánh dẫn	Turbo machine, turbo machinery	Turbomachine
Máy thủy lực đảo chiều	Reversible hydraulic machine	Machine hydraulique réversible
Máy thủy lực thể tích = Máy thể tích	Displacement machine = Hydrostatic machine	Machine volumétrique (= hydrostatique)
Miệng hút, Miệng vào, Miệng ra (xem: Lối dẫn vào, lối dẫn ra)		
Mồi (bơm)	Priming	Amorçage
Mũi phun	Injector	Injecteur
N		
Nêm thủy lực	Hydraulic wedge	Coin hydraulique
Nguồn tác động	Source	Source d'action, Source
Nhạy(độ nhạy)	Sensibility	Sensibilité
Ô		
Ống dẫn dẻo	Flexible hose	Tuyau flexible
Ống đẩy	Discharge pipe	Tuyau de refoulement
Ống điều chỉnh (trong biến tốc thủy lực)	Scoop tube	Tuyau-écope, Puisard
Ống góp , bộ góp	Manifold	Bloc collecteur
Ống hút	Suction pipe	Tuyau d'aspiration
Ống loe	Diffuser	Diffuseur
Ống trộn	Mixing chamber	Chambre de mélange
P		
Phân phối (Bộ phận, Cơ cấu phân phối)	Distributor	Distributeur = Organe de distribution
Phân phối loại con trượt (= pittông bậc)	Piston valve = Spool valve	Distributeur à tiroir, (à piston)
Phân phối loại khoá	Cock distributor	Robinet de distribution
Pittông bậc (= Pittông ngăn)	Spool, Piston	Tiroir, Piston cannelé

Pittông trụ (= Pittông ngón)	Plunger	Piston plongeur
Q		
Quản (Dòng quản)	Convective flow	Courant de convection
S		
So sánh (Bộ phận, Cơ cấu so sánh)	Discriminator	Comparateur, Discriiminateur
Số vòng quay đặc trưng = số vòng quay tiêu chuẩn [n_s]	Specific speed	Vitesse spécifique = Nombre de tours spécifique
Sơ đồ hở (của hệ thống thủy lực)	Open circuit	Circuit ouvert
Sơ đồ kín	Closed circuit	Circuit fermé
Sơ đồ vi sai	Differential circuit	Circuit différentiel
T		
Tăng áp thủy lực (xem : Biến áp thủy lực)		
Thông số làm việc	Operating parameter	Paramètre de travail
Tích năng thủy lực (xem : Bình tích năng)		
Tiết lưu	Throttle, restrictor	Restrictor, Limiteur de débit
Tiết lưu điều chỉnh được	Adjustable restrictor	Limiteur de débit réglable, Régulateur de débit
Tiết lưu kiểu khe	Slotted restrictor	Régulateur de débit à encoche
Tiết lưu kiểu nón	Conical restrictor	Régulateur conique de débit
Tiết lưu lệch tâm= Tiết lưu rãnh	Excentric groove valve	Régulateur de débit à excentrique
Tiết lưu lỗ (xem : Lỗ tiết lưu)		
Tiết lưu trục vít	Screw down throttle	Régulateur de débit à vis
Tin cậy (Độ tin cậy)	Reliability	Reliabilité
Tín hiệu sai lệch	Discrimination signal	Signal de diserimination
Tổn thất cột áp = Tổn thất thủy lực	Head loss	Perte de charge
Tổn thất cục bộ	Local loss = Minor loss	Perte localisée
Tổn thất dọc đường	Frictional loss	Perte en ligne
Tổn thất lưu lượng	Volumetric loss	Perte de débit
Tổn thất thủy lực = tổn thất cột áp	Hydraulic loss = Head loss	Perte de charge = Perte hydraulique
Trọng lượng riêng = Trọng lượng đơn vị	Specific weight	Poids spécifique
Truyền (Tỉ số truyền)	Transmission ratio	Coefficient de transmission
Truyền dẫn (= Truyền động) thủy lực	Hydraulic transmission (= drive)	Transmission hydraulique = Commande hydraulique

Truyền động liên hợp	Universal transmission	Transmission universelle
Truyền động thủy động	Fluid drive = Hydrokinetic drive = Hydrokinetic transmission	Transmission hydrocinétique = Transmission hydrodynamique
Truyền động hỗn hợp	Composite transmission	Transmission mixte
Truyền động theo rôi (= tuý động)	Follow-up system	Asser vissement hydraulique
Truyền động thủy tĩnh (= thể tích)	Hydrostatic trasmission	Transmission hydrostatique
Truyền động thủy cơ	Hydromechanical transmission	Transmission hydromécanique
Trượt (Sự trượt, Hệ số trượt)	Slip	Glissement
Tuabin gáo	Bucket turbine = Pelton turbine	Turbine à augets = Turbine Pelton
Tuabin “kén nhộng”	Bulb group	Groupe bulbe
Tuabin mái chèo (= chân vịt)	Propeller turbine	Turbine à hélice, Turbine Kaplan
Tuabin phản lực	Reaction turbine = Pressure turbine	Turbine à réaction, Turbine Francis
Tuabin phun nghiêng	Inclined jet turbine	Turbine à jet incliné
Tuabin xung lực = T.Banki	Action turbine = Impulse turbine	Turbine à action, Turbine Banki
Tuý động (Cơ cấu tuý động)	Servomechanism	Servomécanisme
Tương tự	Similarity	Similitude
Tương tự động học	Kinetics similarity	Similitude cinématique
Tương tự động lực	Dynamic similarity	Similitude dynamique
Tương tự hình học	Geometric similarity	Similitude géométrique
Tương tự thủy động lực	Hydrodynamic similarity	Similitude hydrodynamique
- Luật tương tự	- Similarity law	- Loi de similitude
- Tiêu chuẩn tương tự	- Similarity criterion	- Critère de similitude
V		
Van an toàn	Automatic cut-out valve = Safety valve	Valve de sécurité
Van an toàn tuý động	Servo-safety valve	Servovalve de sécurité
Van chống đỡ	Support valve	Clapet réducteur
Van điện từ	Solenoid valve	Valve solénoïde
Van điện từ thủy lực	Electro hydraulic valve	Valve électrohydraulique
Van điều áp	Pressure regulator, relief valve	Régulateur de pression
Van điều áp vi sai	Differential relief valve	Régulateur différentiel de pression
Van điều chỉnh lưu lượng = Van tiết lưu	Flow-control valve, speed-control valve	Régulateur de débit
Van điều khiển phụ	Pilot valve	Valve pilote

Van đổi hướng	Directional valve = Direction control valve	Valve de direction
Van bị điều khiển bằng van phụ	Pilot operated valve	Valve pilotée
Van giảm áp	Reducing valve	Réducteur de pression, Clapet réducteur
Van giảm áp tự động	Servo reducing valve	Servovalve réductrice de pression
Van hình nón	Cone valve = conical seat valve	Clapet conique
Van một chiều	Check valve = Non return valve	Valve unidirectionnelle
Van khuếch đại = Van tăng áp	Amplifier valve	Valve amplificatrice = Valve élévatrice de pression
Van tràn	Relief valve	Clapet de surpression
Van trung tâm đóng	Closed-centre valve	Distributeur fermé en position neutre
Van trung tâm mở	Open-centre valve	Distributeur ouvert en position neutre
Van trượt	Slide valve = Spool valve = Piston valve	Valve à tiroir (à piston)
Van xoay	Rotary valve	Distributeur rotatif
Vận tốc theo	Circular velocity	Vitesse circulaire
Vận tốc tương đối	Relative velocity	Vitesse relative
Vận tốc tuyệt đối	Absolute velocity	Vitesse absolue
- Tam giác vận tốc	- Velocity triangle	- Triangle des vitesses
- Hình bình hành vận tốc	- parallelogram of velocities	- Parallélogramme des vitesses
- Phân bố vận tốc	- Distribution of velocities	- Épure de distribution des vitesses
Vị trí (trong Cơ cấu phân phối 2, 3 vị trí)	Way	Voie, Position. (Distributeur à 2, 3, voies)
Vòng (= Vành) dẫn hướng (xem : Bộ phận dẫn hướng vào)		
Vô cấp (trong Điều chỉnh vô cấp)	Infinitely variable, Stepless	Continu
X		
Xâm thực	Cavitation	Cavitation
Xilanh lực	Ram, Hydraulic cylinder, Cylinder	Vérin, vérin hydraulique
Xilanh lực một (hai) chiều	Single (Double) acting cylinder	Vérin simple (double) action
Xilanh mômen		

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Frank M. White, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, Inc., New York – 1999.
2. James E.A. Jonh, Wiliam L. Haberman. Introduction to Fluid Mechanics, Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi-110001, 1993.
3. John C. Tannehill, Dale A. Anderson, Richard H. Pletcher, Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer - “Taylor & Francis”, USA - 1997.
4. Hoàng Đức Liên, Nguyễn Thanh Nam; Thủy lực và cấp thoát nước trong nông nghiệp; Nxb Giáo Dục, Hà nội - 2000.
5. Лойцянский Л. Г., Механика Жикости и Газа, “Москва Наука” - 1987 .
6. Карасев В. Б., Насосы и Насмсосные Стации, Минск “Вышзйшая Школа” – 1979.
7. Михайлов А. К., Малюшенко В. В., Лопасные Насосы, “Москва Машиностроение” - 1977.
8. Ngô Vi Châu, Nguyễn Phước Hoàng, Vũ Duy Quang, Đặng Huy Chi, Võ Sĩ Huỳnh, Lê Danh Liên. Bài tập thủy lực và máy thủy lực, tập I, II, Nxb Đại học và THCN, Hà Nội - 1979.
9. Nguyễn Hữu Chí, Nguyễn Hữu Dy, Phùng Văn Khương, Bài tập cơ học chất lỏng ứng dụng. Nxb Giáo dục - Hà Nội - 1998.
10. Nguyễn Phước Hoàng, Phạm Đức Nhuận..., Thủy lực và máy thủy lực, tập I, II, Nxb Đại học và THCN, Hà Nội - 1979.
11. Nguyễn Tài. Thủy lực, tập I, II, Nxb Xây dựng, Hà Nội – 1998.
12. Nguyễn Tài, Tạ Ngọc Cầu. Thủy lực đại cương, Nxb Xây dựng, Hà Nội -1999.
13. Nguyễn Thanh Nam, Hoàng Đức Liên; Phương pháp khối hữu hạn ứng dụng trong các bài toán thủy khí động lực.
14. Nguyễn Thanh Tùng. Thủy lực và Cung cấp nước trong nông nghiệp, Nxb Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội – 1981.
15. Nhữ Phương Mai, Lê Quang Minh, Nguyễn Nhượng, Vũ Duy Quang, Đào Duy Tiến. Cơ học các môi trường liên tục, Trường Đại học Bách khoa, Hà Nội – 1991.
16. Vũ Duy Quang - Thủy khí động lực ứng dụng, Đại học Bách khoa - Hà Nội -1996.
17. Trần Sĩ Phiệt, Vũ Duy Quang. Thủy khí động lực kỹ thuật tập I, II, Nxb Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội – 1979.
18. Schlichting H., Boundary – Layer Theory, McGraw-Hill book company, New York – 1979.
19. Suhas V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid flow, Hemisphere publishing corporation, Washington - 1980.