

2.1.2. Quá trình ổn định và không ổn định

- *Quá trình ổn định (quá trình liên tục)*: Toàn bộ các thông số không thay đổi theo thời gian (có thể thay đổi theo không gian);

- *Quá trình không ổn định (quá trình bán liên tục, gián đoạn)*: Toàn bộ các thông số thay đổi theo không gian và thời gian.

2.1.3. Cân bằng vật liệu

Nguyên vật liệu, bán sản phẩm hay sản phẩm của một quá trình trong thực tế không ở dạng nguyên chất mà là một hỗn hợp gồm nhiều cấu tử. Thành phần của hỗn hợp được chia theo thành phần khối lượng hoặc phần mol. Để xác định lượng nguyên liệu tiêu tốn, lượng sản phẩm thu được, kích thước và năng suất của thiết bị, người ta phải tính cân bằng vật liệu dựa theo Định luật bảo toàn năng lượng.

Theo Định luật bảo toàn năng lượng, tổng lượng vật chất đi vào thiết bị trong quá trình sản xuất bằng tổng lượng đi ra và lượng tích tụ trong thiết bị phản ứng (có tính đến lượng tổn thất)

$$\Sigma G_{vào} = \Sigma G_{ra} + G_{tt} \quad (2.1)$$

Phương trình cân bằng vật liệu có thể tính theo toàn bộ lượng vật liệu (hỗn hợp) tham gia vào quá trình hoặc chỉ theo một cấu tử nào đó trong vật liệu, có thể dùng cho một thiết bị, một bộ phận của thiết bị hay một nhóm thiết bị.

Qua phương trình cân bằng vật liệu, có thể lựa chọn dây chuyền sản xuất và kích thước thiết bị phù hợp trong thiết kế. Trong sản xuất, cần phải xác định được lượng hao tổn vật liệu, lượng sản phẩm phụ và tạp chất để tìm biện pháp khắc phục.

2.1.4. Cân bằng năng lượng

Năng lượng tồn tại dưới ba dạng: Điện năng, cơ năng và nhiệt năng. Do vậy khi sử dụng vật liệu, trong các quá trình luôn kèm theo sự tiêu tốn năng lượng. Để tính năng lượng tiêu thụ, chúng ta dựa vào Định luật bảo toàn năng lượng.

Dựa vào định luật trên, có thể xác định rằng: Tổng lượng nhiệt đưa vào bằng tổng lượng nhiệt được lấy ra, kể cả tổn thất:

$$\Sigma Q_{vào} = \Sigma Q_{ra} + Q_{tt} \quad (2.2)$$

Phương trình cân bằng nhiệt lượng 2.2 bao gồm các lượng nhiệt sau:

- Q_1 : Lượng nhiệt do nguyên vật liệu mang vào (kcal);
- Q_2 : Lượng nhiệt tiêu tốn được cung cấp (kcal);
- Q_3 : Lượng nhiệt được tỏa ra trong quá trình (kcal);
- Q_4 : Lượng nhiệt do sản phẩm nguyên vật liệu mang ra (kcal);
- Q_5 : Lượng nhiệt mất mát ra môi trường (kcal).

Khi đó, phương trình cân bằng vật liệu được xác định như sau:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 \quad \text{hoặc} \quad Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5$$

Lượng nhiệt được tỏa ra trong quá trình (Q_3) được tạo thành do thay đổi trạng thái như nhiệt ngưng tụ, kết tinh, hòa tan hoặc phản ứng hóa học. Lượng nhiệt này là dương nếu là quá trình tỏa nhiệt ($+Q_3$) và âm nếu là quá trình thu nhiệt ($-Q_3$).

2.1.5. Tốc độ của quá trình

Tùy thuộc vào từng loại quá trình thiết bị và loại chất lỏng khác nhau mà tốc độ khác nhau. Chất lỏng di chuyển nhanh hay chậm phụ thuộc vào áp suất ΔP , trở lực R và được tính theo công thức $k \frac{\Delta P}{R}$ với $k = const.$ (2.3)

2.1.6. Công suất, hiệu suất và năng suất của quá trình

- *Công suất*: Là lượng công do thiết bị, máy tiêu thụ hoặc sinh ra trong một đơn vị thời gian.

- *Hiệu suất*: Là tỷ lệ phần trăm giữa lượng sản phẩm thu được và lượng nguyên liệu được đưa vào thiết bị (η); Hoặc tỷ lệ giữa công suất có ích và công suất thực tế tiêu tốn. Hiệu suất được xác định như sau:

$$\eta = \frac{N_{hi}}{N} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot GH}{N} \leq 1 \quad (2.4)$$

Trong đó: N_{hi} : Công suất hữu ích;

Q : Thể tích của chất lỏng;

ρ : Khối lượng riêng;

H : Áp suất do bơm hay quạt tạo ra.

- *Năng suất*: Là đặc trưng cơ bản của thiết bị và máy, là lượng vật liệu hay sản phẩm tính theo một đơn vị thời gian.

Đơn vị của năng suất được tính theo khối lượng (kg, tấn,...) hoặc tính theo thể tích (lít, m^3 ,...). Ở những điều kiện như nhau, năng suất của thiết bị và máy phụ thuộc vào kích thước và vận tốc của quá trình.

2.1.7. Chất lỏng lý tưởng và chất lỏng thực

- *Chất lỏng lý tưởng*: Được coi là chất lỏng giả tưởng có tính dịch chuyển linh động tuyệt đối, hoàn toàn chỉ là một mô hình của chất lỏng thực: không độ nhớt, không nén được, không dẫn nở nhiệt, không có khả năng chống lại lực cắt, lực kéo.

Chất lỏng lý tưởng thường sử dụng để chứng minh các phương trình ở dạng: Thể tích không thay đổi khi nhiệt độ (T) và áp suất (P) thay đổi; hoặc khi không có ma sát trong (không có độ nhớt μ).

- *Chất lỏng thực*: Trong thực tế, ở mức độ khác nhau, các chất lỏng đều bị nén ép và có độ nhớt (hệ số ma sát bên trong) khác không (0), nên được gọi là chất lỏng thực hay chất lỏng nhớt. Chất lỏng thực được phân thành chất lỏng giọt và chất lỏng

khí (hơi). Chất lỏng giọt hầu như không bị nén ép, khối lượng riêng của nó hầu như không bị thay đổi, không phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ vì hệ số giãn nở nhiệt của nó rất thấp. Ngược lại, chất khí có độ nén ép rất lớn và hệ số giãn nở thể tích rất cao nên khối lượng riêng của khí thay đổi khi thay đổi áp suất và nhiệt độ. Vì vậy, khí hoặc hơi còn được gọi là chất lỏng đàn hồi.

Chất lỏng thực thường sử dụng để chứng minh các phương trình ở dạng: Thể tích thay đổi khi nhiệt độ (T) và áp suất (P) thay đổi; hoặc có ma sát trong (có độ nhớt μ).

- Đối với chất khí thường sử dụng để chứng minh các phương trình ở dạng: Thể tích thay đổi nhiều khi nhiệt độ (T) và áp suất (P) thay đổi; hoặc những mâu thuẫn (đổi lập) với chất lỏng giọt.

2.1.8. Hệ đơn vị sử dụng trong tĩnh lực học

Các hệ đơn vị sử dụng và hệ đơn vị của một số đại lượng thông dụng được sử dụng trong tĩnh lực học của chất lỏng tương tự như trong lĩnh vực truyền nhiệt đã nêu tại Chương 1 (Mục 1.4, Bảng 1.1).

2.2. CÁC TÍNH CHẤT VẬT LÝ CỦA CHẤT LỎNG

2.2.1. Khối lượng riêng

- *Khối lượng riêng*: Là khối lượng chất lỏng chứa trong một đơn vị thể tích (ρ), được xác định theo công thức:

$$\rho = \frac{m}{V}, (\text{kg/m}^3) \quad (2.5)$$

Trong đó: m: Khối lượng của chất lỏng, kg;

V: Thể tích của chất lỏng, m^3 .

- *Trọng lượng riêng*: Là trọng lượng của chất lỏng tính theo một đơn vị thể tích (γ), được xác định theo công thức:

$$\gamma = \frac{G}{V} = \rho \cdot g, (\text{N/m}^3) \quad (2.6)$$

Trong đó: g: Gia tốc trọng trường ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$);

G: Trọng lượng của chất lỏng, kp (kilogram lực).

- *Tỷ trọng*: Là tỷ số giữa trọng lượng riêng của chất lỏng với trọng lượng riêng của nước ở 0°C .

- Đối với một dung dịch hoặc hỗn hợp của nhiều chất lỏng, khối lượng riêng được tính theo công thức:

$$\rho_{dd} = 0,01 (\rho_1 \alpha_1 + \rho_2 \alpha_2 + \rho_3 \alpha_3 + \dots + \rho_n \alpha_n) \quad (2.7)$$

Trong đó: ρ_1, ρ_2 : Khối lượng riêng của từng cấu tử trong dung dịch;

α_1, α_2 : Nồng độ phần trăm khối lượng của từng cấu tử.

- Đối với chất khí, khối lượng riêng được tính theo phương trình trạng thái của khí lý tưởng như sau:

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (2.8)$$

$$\text{Hay: } \rho_k = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT} \quad (2.9)$$

Trong đó: p: Áp suất của khí, N/m²;
 T: Nhiệt độ tuyệt đối của khí, °K;
 V: Thể tích của khí, m³;
 M: Khối lượng của phân tử khí.

Khối lượng riêng không khí ở điều kiện nhiệt độ t⁰C và áp suất khí quyển:

$$\rho_{kk} = \frac{353}{273 + t}, \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Khối lượng riêng không khí ở điều kiện nhiệt độ t⁰C và áp suất bất kỳ:

$$\rho_{kk} = \rho_0 \frac{273.P}{T.P_0} = \frac{M}{22.4} \frac{273.P}{T.P_0}, \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Trong đó: M: khối lượng phân tử chất khí;
 ρ₀: khối lượng riêng không khí ở điều kiện chuẩn (1.293kg/m³);
 P₀: áp suất không khí tại điều kiện tiêu chuẩn;
 T (°K), P: áp suất và nhiệt độ không khí.

- *Thể tích riêng của chất khí*: Là thể tích do một đơn vị khối lượng chất lỏng chiếm, nên có giá trị bằng giá trị nghịch đảo của khối lượng riêng (ν), được xác định theo công thức:

$$\nu = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} = \frac{RT}{pM}, \text{ (m}^3\text{/kg)} \quad (2.10)$$

2.2.2. Độ chịu nén ép

Khối lượng riêng của chất lỏng có thể thay đổi khi thay đổi nhiệt độ và áp suất.

Chất lỏng giọt (chất lỏng lý tưởng) trong thực tế được coi không bị nén ép. Do vậy, trong quá trình tính toán thiết kế, có thể coi khối lượng riêng và trọng lượng riêng của chất lỏng giọt là không đổi, không phụ thuộc vào nhiệt độ và áp suất.

Ngược lại, đối với khí và hơi, khối lượng riêng và trọng lượng riêng thay đổi rất nhiều khi nhiệt độ và áp suất thay đổi và sự thay đổi này được tính theo phương trình trạng thái của khí lý tưởng (phương trình 2.8). Tính chất này của chất lỏng được gọi là độ chịu nén ép và được định nghĩa: Độ giảm thể tích của chất lỏng khi áp suất trên bề mặt tăng 1 atmosphere kỹ thuật (at) gọi là hệ số nén ép.

2.2.3. Áp suất

Áp suất được định nghĩa là lực tác dụng lên một đơn vị bề mặt. Công thức xác định áp suất như sau:

$$P = \frac{G}{F}, \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.11)$$

Trong đó: G: Là lực tác dụng;

F: Là diện tích bề mặt.

- Quan hệ giữa các đơn vị đo áp suất như sau:

$$+ 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 10,33 \text{ mH}_2\text{O} = 1,033 \text{ kp/cm}^2;$$

$$+ 1 \text{ at} = 735,6 \text{ mmHg} = 10 \text{ mH}_2\text{O} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 9,81 \text{ N/m}^2;$$

$$+ 1 \text{ N/m}^2 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mmHg} = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ mH}_2\text{O} = 10,1 \cdot 10^{-2} \text{ kp/cm}^2.$$

- Đối với chất lỏng chứa trong bình, nó gây áp lực lên thành bình, đáy bình và mọi vật thể có trong bình. Dụng cụ đo áp suất được gọi là áp kế.

- Áp suất được chia thành: Áp suất tuyệt đối (P); Áp suất dư (P_{dur}); Áp suất khí quyển ($P_{\text{kq}} = P_a$); Áp suất chân không (P_{ck}). Chúng ta có mối quan hệ như sau:

$$P = P_{\text{dur}} + P_a; \quad \text{và} \quad P_{\text{ck}} = P_a - P$$

- Áp suất tại một điểm có thể đo bằng chiều cao cột chất lỏng kể từ điểm đang xét đến mặt thoáng của cột chất lỏng đó.

2.2.4. Mặt đẳng áp

Mặt đẳng áp là mặt có áp suất thủy tĩnh tại mọi điểm đều bằng nhau, tức là mặt có $p = \text{const}$, hay $dp = 0$. Phương trình vi phân của mặt đẳng áp như sau:

$$Xdx + Ydy + Zdz = 0 \quad (2.12)$$

Mặt đẳng áp có hai tính chất:

- *Tính chất 1:* Hai mặt đẳng áp khác nhau không thể cắt nhau. Vì nếu chúng cắt nhau thì tại cùng một giao điểm, áp suất thủy tĩnh có những trị số khác nhau, điều đó trái với tính chất 2 của áp suất thủy tĩnh ở trên.

- *Tính chất 2:* Lực thể tích tác dụng lên mặt đẳng áp thẳng góc với mặt đẳng áp. Điều này cho thấy công của lực thể tích làm ra khi di động trên mặt đẳng áp bằng không. Mặt đẳng áp cũng đồng thời là mặt đẳng thế.

2.3. PHƯƠNG TRÌNH CÂN BẰNG CỦA CHẤT LỎNG

2.3.1. Áp suất thủy tĩnh

Khối chất lỏng ở trạng thái tĩnh chịu tác dụng của hai lực: Lực khối lượng và lực bề mặt. Lực khối lượng tỉ lệ thuận với khối lượng của chất lỏng bao gồm lực trọng trường và lực quán tính. Lực tác dụng của không khí lên bề mặt của khối chất lỏng gọi

là lực bề mặt. Do các lực bên ngoài tác dụng lên chất lỏng mà trong chất lỏng phát sinh ra ứng suất gọi là ứng suất của áp suất thủy tĩnh.

Lấy một nguyên tố dF trong lòng chất lỏng, khi đó bề mặt chất lỏng sẽ chịu một lực ΔP theo phương vuông góc (Hình 2.1), khi đó áp suất thủy tĩnh được tính:

$$P_t = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta P}{\Delta F} \right) \quad (2.13)$$

$$\text{hay } P_{tb} = \frac{P}{F} \quad (2.13a)$$

Trong đó: P: lực tác dụng theo phương vuông góc;

F: diện tích bề mặt.

Đơn vị áp suất: N/m^2 , $Kg/m.s^2$;

1at = $9.81 \cdot 10^4 N/m^2$, 1at = $1KG/cm^2$.

Áp suất thủy tĩnh có 2 tính chất:

- *Tính chất 1:* Áp suất thủy tĩnh luôn luôn tác dụng thẳng góc và hướng vào mặt tiếp xúc.

Có thể thấy áp suất thủy tĩnh hướng vào trong lòng chất lỏng và vuông góc với bề mặt phân chia tại điểm ta xét. Vì nếu theo phương bất kỳ và có lực kéo từ phía ngoài thì sẽ làm chất lỏng chuyển động, trái với điều kiện cân bằng tĩnh của chất lỏng.

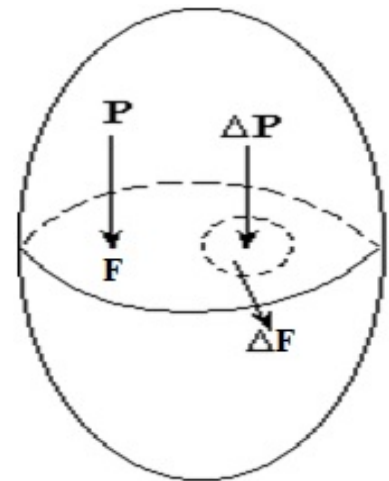
- *Tính chất 2:* Áp suất thủy tĩnh tại mọi điểm theo mọi phương đều bằng nhau.

Ngoài ra, áp suất thủy tĩnh còn phụ thuộc vào những tính chất vật lý của chất lỏng như khối lượng riêng và gia tốc trọng trường. Bên cạnh đó, áp suất thủy tĩnh là hàm số của tọa độ $P = f(x, y, z)$, nên tại những điểm khác nhau trong chất lỏng thì ta có giá trị khác nhau.

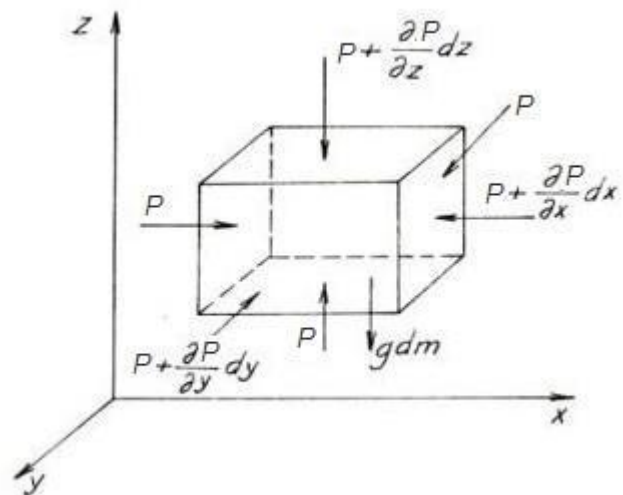
2.3.2. Phương trình vi phân cân bằng Euler

Trong chất lỏng đứng yên, lấy một nguyên tố thể tích $dV = dx dy dz$. Trong đó dx , dy , dz là các cạnh. Khối này chịu tác dụng của lực khối lượng theo phương thẳng đứng và áp lực hướng vào lòng chất lỏng.

Theo điều kiện của tĩnh lực học, tổng hình chiếu của lực tác dụng lên nó theo phương trục tọa độ bằng không (Hình 2.2), các lực tác dụng chiếu trên các trục Ox, Oy, Oz của thể tích dV được thể hiện như sau:



Hình 2.1. Áp suất thủy tĩnh tại 1 điểm trên bề mặt



Hình 2.2. Áp lực lên các nguyên tố lập phương

- Đối với trục z: Có lực khối lượng hướng từ trên xuống là:

$$- gdm = -\rho g dV = -\rho g dx dy dz \quad (2.14)$$

Lực áp suất thủy tĩnh tác dụng lên mặt $dydx$ là $P dx dy$ theo phương pháp tuyến.

Còn ở mặt đối diện có $\left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz\right) dx dy$. Vậy lực áp suất trên trục z sẽ là:

$$P dx dy = -\left(P + \frac{\partial P}{\partial z} dz\right) dx dy = -\frac{\partial P}{\partial z} dx dy dz = -\frac{\partial P}{\partial z} dV \quad (2.15)$$

Khi đó tổng lực khối lượng và lực áp suất trên trục z là:

$$-\rho g dV - \frac{\partial P}{\partial z} dV = 0 \quad \text{hoặc} \quad \rho g + \frac{\partial P}{\partial z} = 0 \quad (2.16)$$

Tương tự, vì trên trục x và y lực khối lượng bằng không, nên chỉ có lực áp suất.

$$\text{- Trục x: } -\frac{\partial P}{\partial x} dV = 0 \quad \text{hoặc} \quad -\frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad (2.17)$$

$$\text{- Trục y: } -\frac{\partial P}{\partial y} dV = 0 \quad \text{hoặc} \quad -\frac{\partial P}{\partial y} = 0 \quad (2.18)$$

Tổng hợp các phương trình (2.16), (2.17) và (2.18) chúng ta có phương trình vi phân cân bằng của Euler như sau:

$$\left. \begin{array}{l} \rho g + \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \end{array} \right\} \quad (2.19)$$

2.3.3. Phương trình cơ bản của tĩnh lực học chất lỏng

Hệ phương trình (2.19) của Euler mới thể hiện sự thay đổi của các lực tác dụng lên nguyên tố dV theo phương của tọa độ. Vì vậy sự thay đổi áp suất thủy tĩnh của khối lập phương sẽ được xác định trên cơ sở của lực tác dụng lên khối đó theo các phương của trục tọa độ là:

$$\left. \begin{array}{l} \left(\rho g + \frac{\partial P}{\partial z}\right) dz = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial x} dy = 0 \\ \frac{\partial P}{\partial y} dx = 0 \end{array} \right\} \quad (2.19a)$$

$$\text{Tổng các lực này: } \rho g dz + \left(\frac{\partial P}{\partial z} dz + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) = 0 \quad (2.20)$$

$$\text{Hoặc: } \rho g dz + dP = 0 \quad (2.20a)$$

Trong đó: $dP = \frac{\partial P}{\partial z} dz + \frac{\partial P}{\partial y} dy + \frac{\partial P}{\partial x} dx$ là vi phân toàn phần của áp suất, vì $P = f(x, y, z)$.

Trong phương trình (2.20a), ρ và g là những đại lượng không đổi, nên có thể viết:

$$\frac{1}{\rho g} dP + dz = 0 \quad \text{hoặc} \quad d\left(z + \frac{P}{\rho g}\right) = 0$$

$$\text{Lấy tích phân chúng ta được: } z + \frac{P}{\rho g} = C \quad (2.21)$$

Trong đó: C là hằng số tích phân được xác định theo những điều kiện giới hạn của z và P . Tại một điểm trong chất lỏng có z_0 và P_0 thì $C = z_0 + \frac{P_0}{\rho g}$.

$$\text{Do đó phương trình (2.21) có dạng: } z + \frac{P}{\rho g} = z_0 + \frac{P_0}{\rho g} \quad (2.22)$$

Phương trình (2.22) được gọi là phương trình cơ bản của tĩnh lực học chất lỏng. Nó được dùng để xác định áp suất thủy tĩnh trong khối chất lỏng tại những điểm khác nhau và chỉ rõ trong khối chất lỏng đồng nhất ở trạng thái tĩnh thì mọi điểm cùng nằm trên mặt phẳng ngang đều có cùng một áp suất thủy tĩnh.

Trong phương trình (2.22) đại lượng z và z_0 đặc trưng cho chiều cao hình học tại hai điểm ta xét so với mặt chuẩn so sánh, có thứ nguyên là mét; $\frac{P}{\rho g}$ và $\frac{P_0}{\rho g}$ đặc trưng cho chiều cao áp suất thủy tĩnh hay "chiều cao Pezomet" tại hai điểm trên, nên cũng có thứ nguyên là mét, vì:

$$\left[\frac{P}{\rho g} \right] = \left[\frac{N/m^2}{(kg/m^3)(m/s^2)} \right] = \left[\frac{(kg/s^2 m)}{(kg/m^3)(m/s^2)} \right] = [m]$$

2.3.4. Khái niệm về chiều cao Pezomet

Chiều cao Pezomet là chiều cao của chất lỏng có khả năng tạo ra một áp suất bằng áp suất tại điểm ta đang xét. Như vậy, nếu điểm ta đang xét có áp suất tuyệt đối thì ta có chiều cao Pezomet ứng với áp suất tuyệt đối, và nếu điểm đó có áp suất dư thì ta có chiều cao Peromet ứng với áp suất dư (Hình 2.3).

Xét điểm A trong bình kín chứa nước có áp suất trên bề mặt $P_b > P_a$. Ống kín đầu được hút chân không, nên $P_0 = 0$. Chiều cao cột nước trong ống h_A được gọi là chiều cao Pezomet ứng với áp suất tuyệt đối, vì:

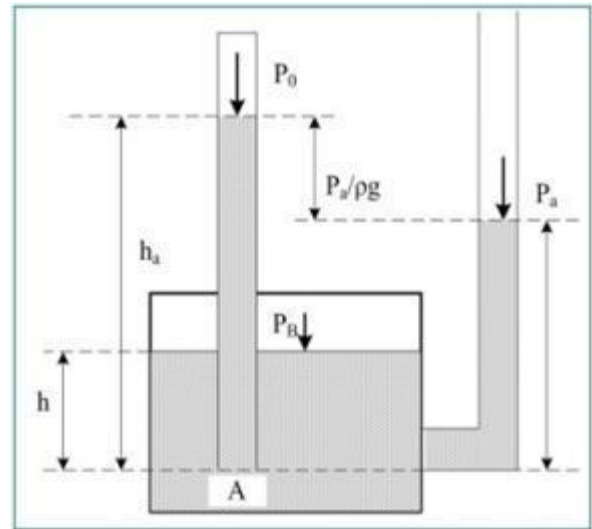
$$P_A = \rho g h_A \quad (2.23)$$

Còn ống hở đầu có áp suất là P_a (là áp suất khí quyển), nên chiều cao cột nước h_{dur} trong ống là chiều cao Pezomet ứng với áp suất dư tại điểm A, vì:

$$P_{dur} = P_A - P_a = \rho g h_d \quad (2.24)$$

Như vậy, hiệu số chiều cao Pezomet ứng với áp suất tuyệt đối và ứng với áp suất dư chính bằng chiều cao ứng với áp suất khí quyển, tức là:

$$H = \frac{P_a}{\rho g} \approx 10mH_2O \quad (2.25)$$



Hình 2.3. Ống Peromet

2.3.5. Thế năng và thế năng riêng của chất lỏng

Chất lỏng ở trạng thái cân bằng tĩnh hay chuyển động đều có chứa một năng lượng cơ học nhất định và có khả năng sinh công. Dạng năng lượng chứa trong chất lỏng đứng yên gọi là thế năng. Nếu nó được tính trên một đơn vị khối lượng của chất lỏng đó thì được gọi là thế năng riêng. Thế năng của chất lỏng được chia làm hai phần:

- *Thế năng vị trí*: Chỉ chiều cao hình học từ điểm ta xét đến mặt chuẩn để so sánh.
- *Thế năng áp suất*: Tính bằng chiều cao Pezomet, h_{dur} : $H = z + h_{dur}$

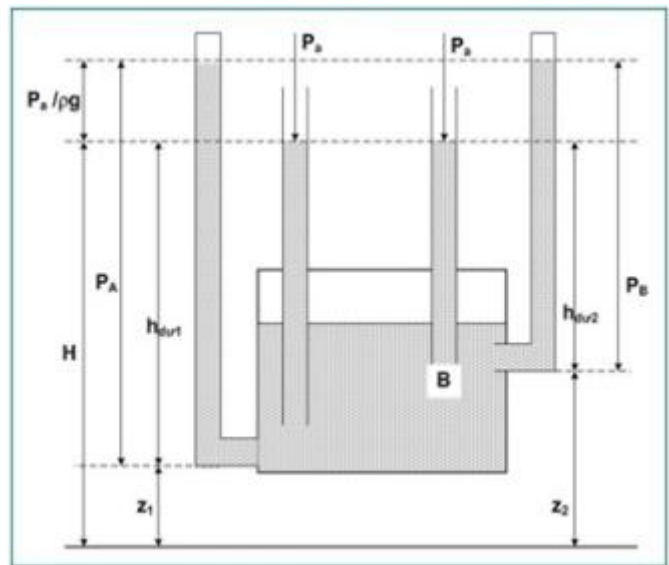
Xét thế năng của chất lỏng H so với mặt phẳng chuẩn O (Hình 2.4), chúng ta có:

$$\text{Tại điểm A: } H = z_1 + h_{dur1}$$

$$\text{Tại điểm B: } H = z_2 + h_{dur2}$$

Như vậy, tại bất kỳ điểm nào của chất lỏng trong bình, chúng ta đều có $H = const$ so với mặt phẳng chuẩn O. Vì vậy tổng chiều cao hình học (z) và chiều cao Pezomet (h_{dur}) ứng với áp suất dư của chất lỏng tại mọi điểm bất kỳ trong chất lỏng chứa trong bình là một hằng số.

Chiều cao này gọi là thế năng riêng của chất lỏng.



Hình 2.4. Thế năng của chất lỏng

Gọi H_p là thế năng tuyệt đối của chất lỏng, chúng ta có $H_p = H + \frac{P_a}{\rho g}$.

$$\text{Tại điểm A có: } H_p = \frac{P_A + \rho g z_1}{\rho g} = h_A + z_1 \quad \text{với } h_A = \frac{P_A}{\rho g}$$

$$\text{Tại điểm B có: } H_p = \frac{P_B + \rho g z_2}{\rho g} = h_B + z_2 \quad \text{với } h_B = \frac{P_B}{\rho g}$$

Như vậy, tổng chiều cao hình học (z) và chiều cao Pezomet (h) ứng với áp suất tuyệt đối ở mọi điểm bất kỳ trong chất lỏng là một hằng số. Do đó tất cả các ống Pezomet hở đầu đều có chung mức chất lỏng và mức chất lỏng trong ống kín đầu (chân không) cùng nằm trên một mặt phẳng. Hai mức chất lỏng này chênh nhau một đoạn tương ứng $h_A = \frac{P_A}{\rho g}$.

2.4. ỨNG DỤNG PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN TĨNH LỰC HỌC CHẤT LỎNG

2.4.1. Định luật Pascal

Định luật Pascal được phát biểu như sau: *Trong chất lỏng không bị nén ép ở trạng thái tĩnh nếu ta tăng áp suất P_0 tại z_0 lên một giá trị nào đó, thì áp suất p ở mọi vị trí khác nhau trong chất lỏng cũng tăng lên một giá trị như vậy.*

Định luật truyền áp suất trong chất lỏng của Pascal được ứng dụng rộng rãi trong thực tế, đặc biệt là trong các máy ép thủy lực (Hình 2.5).

Trong máy ép thủy lực, dùng bơm 1 có tiết diện xilanh f_1 tạo một lực G_1 , chất lỏng trong bơm chịu áp lực

$$P_1 = \frac{G_1}{f_1} \quad (2.26)$$

Theo định luật Pascal, áp lực p_1 truyền qua chất lỏng sang pitton 3 của máy ép có tiết diện f_2 và tạo ra ở đây một áp lực G_2 bằng:

$$G_2 = P_1 f_2, \quad \text{tức là } P_1 = \frac{G_2}{f_2} \quad (2.27)$$

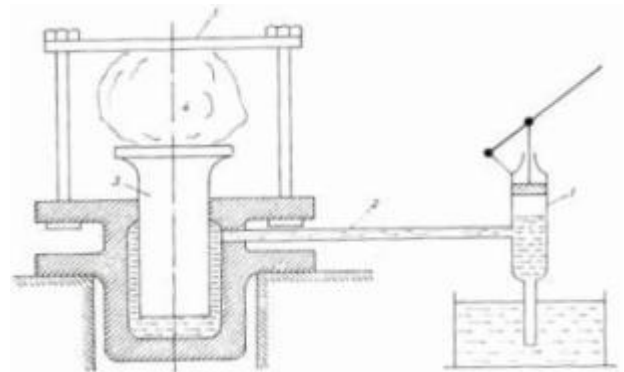
$$\text{Nhu vậy: } \frac{G_1}{f_1} = \frac{G_2}{f_2}, \quad \text{tức } G_2 = \frac{f_2}{f_1} G_1 \quad (2.28)$$

Qua quan hệ (2.28) ta thấy tỷ lệ f_2/f_1 càng lớn thì lực G_2 càng lớn. Tức tiết diện của pitton ở máy nén 3 lớn gấp bao nhiêu lần so với tiết diện của pitton ở máy bơm 1 thì lực G_2 ở máy ép cũng lớn bấy nhiêu lần so với lực tác dụng ở bơm 1.

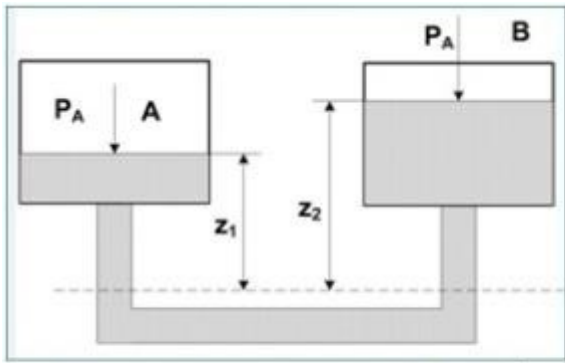
2.4.2. Sự cân bằng của chất lỏng hai bình thông nhau

Xét 2 bình thông nhau A và B trong 2 trường hợp: (a) 2 bình cùng một chất lỏng đồng nhất, và (b) 2 bình là 2 chất lỏng khác nhau (Hình 2.6). Sự cân bằng của chất lỏng trong bình thông nhau thể hiện theo 4 trường hợp sau:

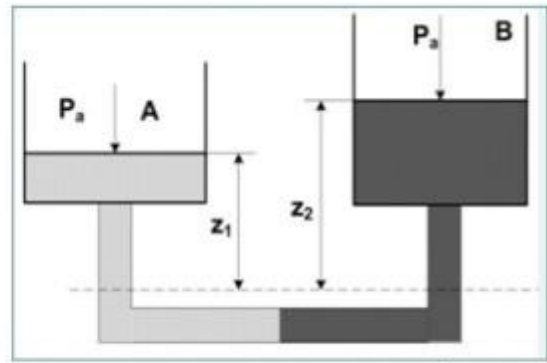
- *Trường hợp 1:* Một chất lỏng đồng nhất, có khối lượng riêng ρ đựng trong hai bình kín có áp suất bề mặt là P_{o1} và P_{o2} . Xét điểm C trên mặt so sánh 0-0 ta thấy:



Hình 2.5. Máy ép thủy lực



(a). Hai bình thông nhau có cùng một chất lỏng đồng nhất và có áp suất khác nhau trên bề mặt



(b). Hai bình thông nhau chứa 2 chất lỏng khác nhau và có áp suất mặt thoáng bằng nhau

Hình 2.6. Bình thông nhau

$$\left. \begin{array}{l} \text{Tại bình A có: } P_1 = P_{o1} + \rho g z_1 \\ \text{Tại bình B có: } P_2 = P_{o2} + \rho g z_2 \end{array} \right\} \quad (2.29)$$

$$\text{Do chất lỏng ở trạng thái cân bằng nên: } P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{P_{o1} - P_{o2}}{\rho \cdot g} = z_1 - z_2 \quad (2.30)$$

Vậy, một chất lỏng thông nhau ở hai bình kín có mức chênh lệch mặt thoáng của chất lỏng trong các bình tỷ lệ thuận với mức chênh lệch áp suất trong các bình đó.

- *Trường hợp 2:* Hai bình có áp suất trên bề mặt chất lỏng bằng nhau hoặc để hở, tức $P_{o1} = P_{o2}$. Theo phương trình (2.29) thì $\rho g z_1 = \rho g z_2 \Rightarrow z_1 = z_2$.

Vậy, một chất lỏng thông nhau trong hai bình có áp suất bằng nhau thì mức chất lỏng trong các bình nằm trên cùng một mặt phẳng.

- *Trường hợp 3:* Một bình kín có áp suất $P_{o1} > P_a$ (áp suất khí quyển), còn bình kia để hở và có áp suất $P_a = P_{o2}$ thì độ chênh lệch chiều cao mức chất lỏng trong hai bình bằng chiều cao Peromet ứng với áp suất dư.

- *Trường hợp 4:* Hai bình để hở có áp suất mặt thoáng bằng nhau và bằng áp suất khí quyển ($P_a = P_{o2} = P_{o1}$) chứa hai chất lỏng không tan lẫn vào nhau (có ρ_1 và ρ_2). Xét điểm C nằm trên mặt so sánh 0-0, chúng ta có:

$$P_1 = P_a + \rho_1 g z_1 \quad \text{và} \quad P_2 = P_a + \rho_2 g z_2$$

$$\text{Khi cân bằng } P_1 = P_2, \text{ nên } P_a + \rho_1 g z_1 = P_a + \rho_2 g z_2 \Rightarrow \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (2.31)$$

Vậy, hai chất lỏng không tan lẫn có khối lượng riêng khác nhau thông nhau trong hai bình để hở, thì chiều cao mực chất lỏng tính từ mặt chuẩn của hai bình có tỷ lệ nghịch với khối lượng riêng của nó.

2.4.3. Áp lực chất lỏng lên đáy bình và thành bình

Áp suất trên thành bình thay đổi theo chiều sâu của chất lỏng chứa trong bình và được tính theo công thức: $P = P_0 + \rho g H$ (2.32)

Trong đó: P : Áp suất tác dụng lên đáy hoặc thành bình;
 P_0 : Áp suất tác dụng lên mặt thoáng của chất lỏng;
 ρ : Khối lượng riêng của chất lỏng;
 H : Chiều cao mức chất lỏng kể từ điểm xét đến mặt thoáng.

Do đó lực tác dụng lên thành và đáy bình không phụ thuộc vào hình dáng và thể tích của bình mà chỉ phụ thuộc vào độ sâu của mực chất lỏng trong bình và diện tích tác dụng, vì: $G = P.F = (P_0 + \rho gH)F$ (2.33)

Với F là diện tích thành hoặc đáy bình chịu tác dụng của áp lực. Từ công thức (2.33) ta thấy, áp lực chung của chất lỏng tác dụng lên thành bình được hợp bởi 2 lực:

- Lực do áp suất bên ngoài P_0 truyền vào chất lỏng đến mọi điểm trong bình với trị số như nhau;

- Lực do áp suất của cột chất lỏng hay áp suất dư ρgH gây ra thì thay đổi theo chiều cao thành bình, càng sâu trị số càng lớn.

Do đó, áp lực chung của chất lỏng tác dụng lên thành bình không đặt ở trọng tâm của phần thành bình bị nhúng ướt mà đặt tại tâm áp suất. Tâm áp suất được tính theo áp suất dư mà không phụ thuộc vào áp suất tuyệt đối.

Với bình có thành bình hình chữ nhật thì tâm áp suất đặt tại độ sâu cách mặt thoáng khoảng bằng $2/3$ chiều cao của chất lỏng trong bình.

2.4.4. Dụng cụ đo áp suất

Dụng cụ đo áp suất (áp kế) có nhiều loại. Đối với áp kế chất lỏng được cấu tạo dựa vào phương trình cơ bản thủy tĩnh, gồm có 3 loại:

- Áp kế để đo áp suất dư, đo hiệu số áp suất giữa áp suất tuyệt đối của môi trường cần đo và áp suất khí quyển;

- Chân không kế để đo độ chân không, đo hiệu số giữa áp suất khí quyển và áp suất tuyệt đối của môi trường cần đo có trị số nhỏ hơn 1 at;

- Áp kế vi sai để đo hiệu số áp suất tại hai điểm bất kỳ của môi trường cần đo.

Dưới đây là một vài loại áp kế thông thường hay gặp:

3.4.4.1. Áp kế chất lỏng hay ống Pezomet

Sử dụng để đo áp suất bằng chiều cao của bản thân cột chất lỏng trong môi trường cần đo (Hình 2.7).

Giả sử bình kín có áp suất $P > P_a$ (áp suất khí quyển), do đó chất lỏng sẽ dâng lên trong ống Pezomet một đoạn h_p cao hơn mức chất lỏng trong bình. Áp suất thủy tĩnh tại điểm A được tính như sau:

$$P_A = P_a + \rho g(h_p + h) \quad \Rightarrow \quad h_p + h = \frac{P_A - P_a}{\rho g} \quad (2.34a)$$

Mặt khác, theo cột chất lỏng trong bình, ta có

$$P_A = P + \rho gh \quad (2.34b)$$

Từ (2.34a) và (2.34b), chúng ta có:

$$P = P_a + \rho gh_p \quad (2.35)$$

Hay $h_p = \frac{P - P_a}{\rho g}$ là chiều cao Pezomet.

Như vậy, chiều cao Pezomet đặc trưng cho áp suất dư và được dùng làm thước đo cho áp suất đó.

Ống Pezomet có cấu tạo đơn giản, đo chính xác nhưng chỉ dùng để đo áp suất dư nhỏ (vì nếu áp suất dư bằng 1at thì chiều cao của cột nước trong ống Pezomet là 10m).

3.4.4.2. Áp kế chữ U

Được sử dụng để đo áp suất dư lớn, vì chất lỏng được dùng có khối lượng riêng lớn hơn nhiều so với khối lượng riêng môi trường cần đo như thủy ngân.

Hình 2.8 là một áp kế chữ U. Chúng ta thấy chênh lệch cột thủy ngân trong ống chữ U là h_{tn} và áp suất tại A là:

$$P_A = P + \rho gh = P_a + \rho_{tn}gh_{tn} \quad (2.36)$$

Để xác định áp suất tuyệt đối tại B (nơi gắn áp kế), chúng ta chỉ trừ đi cột chất lỏng có chiều cao a:

$$P_B = P_A + \rho ga = P_a + \rho_{tn}gh_{tn} + \rho ga \quad (2.37)$$

Áp kế này cho phép đo áp suất có giá trị 3 ÷ 4 at. Tuy nhiên do nhược điểm là phải đọc hai số chỉ mức nên thiếu chính xác.

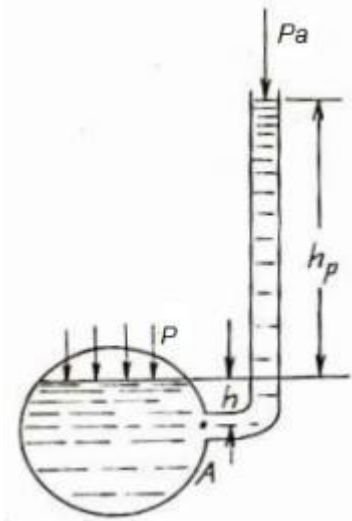
3.4.4.3. Áp kế kiểu chén

Áp kế loại này giống như áp kế chữ U, nhưng ở nhánh bên trái thêm cái chén. Mức thủy ngân trong chén được chọn là mức không (0), nên khi đo chúng ta chỉ cần đọc số chỉ mức ở nhánh phải.

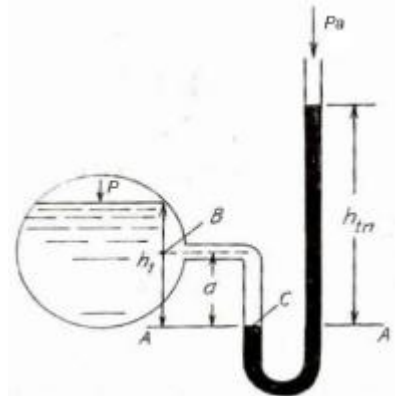
Để đảm bảo độ chính xác thì tiết diện chén phải được chọn để khi thủy ngân dâng lên hoặc tụt xuống ống bên phải không làm thay đổi mực thủy ngân trong chén (Hình 2.9).

Khi đó áp suất tại điểm D bằng:

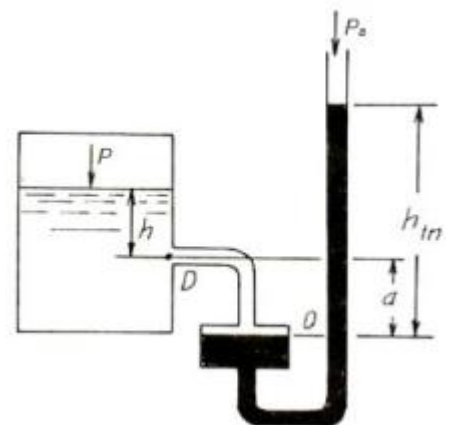
$$P_D = P_a + \rho_{tn}gh_{tn} + \rho ga \quad (2.38)$$



Hình 2.7. Áp kế chất lỏng



Hình 2.8. Áp kế chữ U

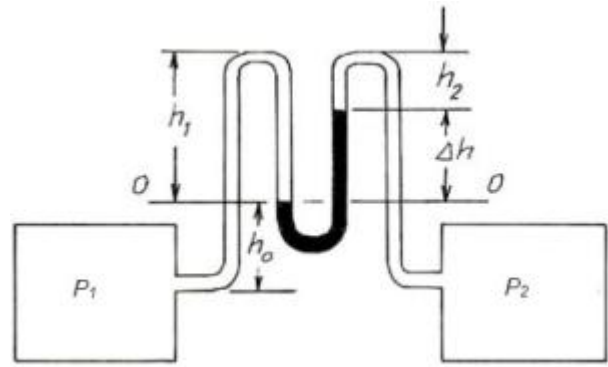


Hình 2.9. Áp kế kiểu chén

3.4.4.4. Áp kế vi sai

Áp kế vi sai sử dụng để đo hiệu số áp suất tại hai vị trí khác nhau. Cấu tạo áp kế vi sai bao gồm 2 ống chữ U nối với nhau và bên trong có thủy ngân (Hình 2.10).

Gọi P_1 và P_2 là áp suất trong hai bình; h_1 và h_2 là chiều cao cột chất lỏng tranh nhánh bên trên cột thủy ngân; Δh là độ chênh của cột thủy ngân.



Hình 2.10. Áp kế vi sai

Lấy mặt phẳng qua mức thủy ngân ở ống bên trái là 0-0 làm mặt chuẩn so sánh, chúng ta có:

$$P_1 - \rho gh_0 + \rho gh_1 = P_2 - \rho gh_0 + \rho gh_2 + \rho_{tn}g\Delta h \quad (1.34)$$

$$\text{hay } \Delta P = P_1 - P_2 = (\rho_{tn} - \rho)g\Delta h \quad (1.35)$$

Nếu chất lỏng trong hai bình có khối lượng riêng khác nhau thì chúng ta phải sử dụng công thức:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho_{tn}g\Delta h - (\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2)g \quad (1.36)$$

Chương 3. ĐỘNG LỰC HỌC CỦA CHẤT LỎNG

Động lực học của chất lỏng nghiên cứu các qui luật về chuyển động của chất lỏng, mà trước hết là nghiên cứu các đại lượng đặc trưng cơ bản cho chuyển động của chất lỏng như vận tốc của dòng và áp suất trong dòng. Từ đó đưa ra những ứng dụng của chúng vào thực tế sản xuất.

3.1. CÁC KHÁI NIỆM CHUNG

3.1.1. Lưu lượng và vận tốc chuyển động của chất lỏng

- Lưu lượng của chất lỏng được định nghĩa: Là lượng chất lỏng chảy qua một thiết diện nằm ngang của ống dẫn trong một đơn vị thời gian.

Lưu lượng có thứ nguyên kg/s hoặc kg/h. Nếu tính theo thể tích (còn gọi là lưu lượng thể tích) có thứ nguyên m³/s, l/s, m³/h,...

Lưu ý rằng, lưu lượng chỉ được tính khi chất lỏng đã choán đầy ống dẫn. Tốc độ của các phần tử chất lỏng trên thiết diện ngang của ống thì khác nhau. Ở tâm ống có tốc độ lớn nhất, càng gần thành ống tốc độ càng giảm và ở sát thành ống có tốc độ bằng không (0) vì ma sát. Ngoài ra trong trường hợp dòng chảy không ổn định, vận tốc còn phụ thuộc vào thời gian, tức là: $w = f(x, y, \tau)$ (3.1)

- Khi tính toán người ta lấy vận tốc trung bình và được định nghĩa: Vận tốc trung bình là vận tốc của chất lỏng chảy trong ống được tính bằng lượng thể tích chất lỏng chảy qua một đơn vị thiết diện trong một đơn vị thời gian.

$$w = \frac{v}{f}, m/s \quad (3.2)$$

Trong đó: - v: Lưu lượng thể tích chất lỏng, m³/s;

- f: Thiết diện ống dẫn, m².

+ Lưu lượng thể tích được tính: $V = w.f, m^3$

+ Lưu lượng khối lượng bằng: $m = V.\rho, kg/s$; Với ρ là khối lượng riêng của chất lỏng, kg/m³.

+ Nếu biểu thị thông qua khối lượng m , ta có vận tốc khối lượng:

$$w' = \frac{m}{f}, kg/m^2.s.$$

Vận tốc chất lỏng có ảnh hưởng đến trở lực đường ống. Vận tốc càng lớn trở lực càng tăng, do đó tổn năng lượng của bơm, quạt để vận chuyển chất lỏng, khí. Trái lại vận tốc bé, để đảm bảo lưu lượng cần đường kính ống lớn, nên làm tăng giá thành xây dựng. Do đó, việc chọn vận tốc thích hợp có ý nghĩa kinh tế. Người ta đưa ra một số giá trị vận tốc tối hạn cho một vài trường hợp để tham khảo sau đây: