Chương 4: Dòng chảy ổn định trong ống có áp

1. Những dạng tổn thất cột nước
2. Hai trạng thái chảy của chất lỏng, sự phân bố vận tốc trong dòng chảy
3. Tổn thất dọc đường
4. Tổn thất cục bộ
5. Dòng chảy qua lỗ
6. Dòng chảy qua vòi

1.1. Tổn thất năng lượng

1.1. Tổn thất năng lượng

Tổn thất năng lượng trong dòng chảy là để thắng sự ma sát giữa chất lỏng với chất lỏng, chất lỏng với thành rắn. Công tạo ra do ma sát này biến thành nhiệt năng và bị dòng nước cuốn đi.

Hai loại tổn thất

- Tổn thất dọc đường: h_d
- Tổn thất cục bộ: h_c

1.2. Hai trạng thái chảy của chất lỏng

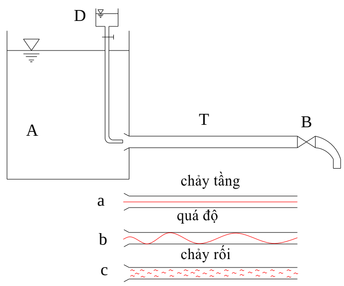
Trong thực tế tồn tại hai trạng thái chảy khác nhau của chất lỏng: đó là trạng thái chảy tầng và chảy rối. Năm 1883, Reynolds đã làm thí nghiệm chứng minh sự tồn tại của hai trạng thái chảy này.

1.2.1. Thí nghiệm Reynolds

Ta có sơ đồ thí nghiệm của Reynolds như sau:

1.2. Tổn thất năng lượng

1.2.1. Thí nghiệm Reynolds



1.2. Tổn thất năng lượng

1.2.2. Tiêu chuẩn phân biệt hai trạng thái chảy

Reynolds dùng đại lượng không thứ nguyên Re đặc trưng cho trạng thái chảy

$$Re = \frac{v.d}{\nu} \qquad (4.1)$$

Trong đó: v - lưu tốc trung bình của mặt cắt

d - đường kính ống

ν - hệ số nhớt động học

1.2.2. Tiêu chuẩn phân biệt hai trạng thái chảy

Qua nhiều thí nghiệm ta thấy $Re_k^{trên}$ không có trị số xác định (dao động khoảng 12000 đến 50000)

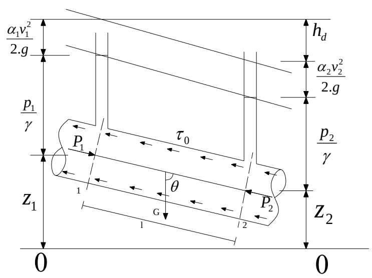
Trái lại $Re_k^{dưới}$ ổn định đối với mọi chất lỏng và mọi đường kính ống khác nhau: $Re_k^{dưới} = 2320$, nên dùng $Re_k^{dưới}$ để phân biệt trạng thái chảy

Nếu $Re < Re_k^{dưới}$: chảy tầng

Nếu $Re > Re_k^{dưới}$: chảy rối

2. Sự phân bố lưu tốc của dòng chảy trong ống

2.1. Phương trình cơ bản của dòng chảy đều trong ống



2.1. Phương trình cơ bản của dòng chảy đều trong ống

Xét đoạn dòng chảy đều trong ống tiết diện ω, giới hạn bởi hai mặt cắt 1-1 và 2-2, cách nhau một đoạn l. Chọn mặt chuẩn nằm ngang.

Lực tác dụng lên khối chất lỏng giữa 1-1 và 2-2

- Lực khối: trọng lượng khối chất lỏng

$$G = \gamma.\omega.l \qquad (4.2)$$

- Lực mặt: áp lực lên mặt cắt 1-1 và 2-2

$p_1.\omega$ và $p_2.\omega$

với p_1, p_2 là áp suất phân bố trên mặt cắt 1-1 và 2-2

2.1. Phương trình cơ bản của dòng chảy đều trong ống

Lực ma sát với thành ống: $\tau_0.\chi.l$ (4.3)

với τ_0 là ứng suất ma sát tại thành ống

Vì dòng chảy trong ống là dòng chảy đều nên tổng hợp lực tác dụng lên khối chất lỏng bằng 0

$$p_1.\omega - p_2.\omega - \tau_0.\chi.l + \gamma.\omega.l.\cos\theta = 0 \qquad (4.4)$$

$$p_1.\omega - p_2.\omega - \tau_0.\chi.l + \gamma.\omega.(z_1 - z_2) = 0 \qquad (4.5)$$

hay $$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = \frac{\tau_0.\chi.l}{\gamma.\omega} \qquad (4.6)$$

2.1. Phương trình cơ bản của dòng chảy đều trong ống

Mặt khác, theo phương trình Bernoulli

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1.v_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2.v_2^2}{2.g} + h_{w12} \qquad (4.7)$$

Vì dòng chảy đều nên $v_1 = v_2$ và xem $\alpha_1 = \alpha_2$, ta được:

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right) = h_{w12} \qquad (4.8)$$

Thay (4.6) vào (4.8) ta được:

$$h_{w12} = \frac{\tau_0.\chi.l}{\gamma.\omega}$$

4.2.1. Phương trình cơ bản của dòng chảy đều trong ống

hay

$$\tau_0 = \frac{h_{w12}.\gamma.\omega}{\chi.l}$$

$$\tau_0 = \gamma.J.R_0 \qquad (4.9)$$

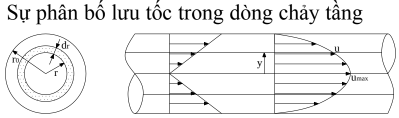
với:

$J = \frac{h_{w12}}{l}$: độ dốc thủy lực

$R_0 = \frac{\omega}{\chi}$: bán kính thủy lực

2. Sự phân bố lưu tốc của dòng chảy trong ống

2.2. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy tầng



Trong trạng thái chảy tầng, ứng suất tiếp hoàn toàn sinh ra bởi tính nhớt của chất lỏng và được xác định theo công thức Newton

$$\tau = -\mu\frac{du}{dr} \qquad (4.10)$$

với: μ: hệ số nhớt động học

u: lưu tốc của lớp chất lỏng

r: khoảng cách từ tâm ống đến chất lỏng đang xét

2.2. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy tầng

Mặt khác, ứng suất ma sát được xác định từ (4.9)

$$\tau = \gamma.J.R$$

mà

$$R = \frac{r}{2}$$

nên

$$\tau = \gamma.J.\frac{r}{2} \qquad (4.11)$$

Thay (4.11) vào (4.10) $\frac{du}{dr} = -\frac{\gamma.r.J}{2.\mu}$

$$du = -\frac{\gamma.r.J}{2.\mu}.dr = \left(-\frac{\gamma.J}{2.\mu}\right).r.dr \qquad (4.12)$$

2.2. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy tầng

Tích phân 2 vế của phương trình (4.12) ta được:

$$u = \left(-\frac{\gamma.J}{4.\mu}\right).r^2 + C \qquad (4.13)$$

Xác định hằng số C: tại $r = r_0 \rightarrow u = 0$

$$\rightarrow C = \frac{\gamma.J}{4.\mu}.r_0^2 \qquad (4.14)$$

Vậy

$$u = \frac{\gamma.J}{4.\mu}\left(r_0^2 - r^2\right) \qquad (4.15)$$

2.2. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy tầng

Nhận xét:

- Vận tốc trong ống chảy tầng phân bố theo hình Parabol
- Vận tốc tại tâm ống đạt giá trị lớn nhất

$$u_{max} = \frac{\gamma.J}{4.\mu}.r_0^2 \qquad (4.16)$$

Lưu lượng và vận tốc:

- Lưu lượng dQ đi qua diên tích dω: dQ = u.dω

$$Q = \int_\omega dQ = \frac{\pi.\gamma}{8.\mu}.J.r_0^4 \qquad (4.17)$$

và

$$v = \frac{Q}{\omega} = \frac{\gamma.J.r_0^2}{8.\mu} \qquad (4.18)$$

2.2. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy tầng

Tổn thất dọc đường trong dòng chảy tầng

Từ 4.18 ta có: $J = \frac{8.\mu.v}{\gamma.r_0^2}$ mà $J = \frac{h_d}{l}$ nên

$$h_d = \frac{8.\mu.v.l}{\gamma.r_0^2} = \frac{32.\mu.l}{\gamma.d^2}.v \qquad (4.19)$$

Nhân và chia (4.19) cho v/2 ; thay γ = ρ.g ta được

$$h_d = \lambda.\frac{l}{d}.\frac{v^2}{2.g} \qquad (4.20)$$

với $\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$ hệ số ma sát

2.3. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy rối

Khi dòng chảy chuyển sang trạng thái rối, môi trường chất lỏng coi như đầy những phần tử chất lỏng chuyển động hỗn loạn, nhưng nói chung có xu thế đi xuôi dòng.

Các đường dòng không còn song song mà đan xen nhau.

Lưu tốc điểm phụ thuộc thời gian và thay đổi cả về trị số lẫn phương hướng.

2.3. Sự phân bố lưu tốc trong dòng chảy rối

- Ứng suất tiếp trong dòng chảy rối

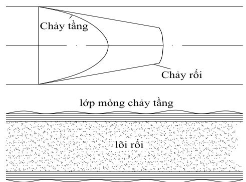
Do sự xáo trộn các phần tử trong dòng chảy rối tạo nên tác dụng lôi đi hãm lại giữa các lớp chất lỏng.

Sức ma sát trong này do sự rối của dòng chảy gây ra, gọi là sức ma sát rối và ứng suất tiếp tương ứng gọi là ứng suất tiếp rối.

Như vậy sức cản thủy lực trong trường hợp dòng chảy rối không phụ thuộc trực tiếp tính nhớt giữa các lớp.

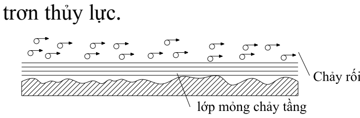
2.4. Lớp mỏng chảy tầng sát thành trong dòng chảy rối

- Chảy rối là sự xáo trộn giữa các phần tử chất lỏng, nhưng phân bố không đều trên mặt cắt ngang của ống
- Ở sát thành rắn thì dòng chảy có xu hướng chảy thành tầng thành lớp không xáo trộn → lớp mỏng chảy tầng
- Khu vực chảy rối gọi là lõi rối



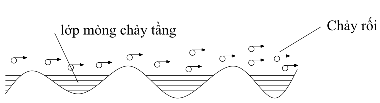
2.4. Lớp mỏng chảy tầng sát thành trong dòng chảy rối

- Mỗi vật liệu bất kỳ không được tinh chế cẩn thận luôn luôn có bề mặt nhám.
- Khi lớp mỏng chảy tầng che kín hoàn toàn những chỗ lồi của các mấu gồ ghề ($\delta_t > \Delta$), dòng chảy rối không có tác dụng qua lại trực tiếp với mặt nhám của thành rắn, sự tổn thất cột nước dọc đường không phụ thuộc độ nhám của thành. Trường hợp này thành rắn được gọi là thành trơn thủy lực.



2.4. Lớp mỏng chảy tầng sát thành trong dòng chảy rối

- Trường hợp ngược lại ($\delta_t < \Delta$) ta có thành nhám thủy lực. Rõ ràng dòng chảy có thành nhám thủy lực, sức cản lớn hơn thành trơn thủy lực.



3. Tổn thất dọc đường

Khi chất lỏng chuyển động, do có ma sát giữa các phần tử chất lỏng và giữa chất lỏng với thành ống nên luôn tồn tại tổn thất năng lượng, khi dòng chảy càng dài (quãng đường di chuyển lớn) thì tổn thất năng lượng loại này càng lớn.

Tổn thất năng lượng loại này gọi là tổn thất dọc đường, được ký hiệu là h_d.

3.1. Công thức Darcy

- Trong dòng chảy tầng, ta có công thức tính h_d

$$h_d = \lambda.\frac{l}{d}.\frac{v^2}{2.g}$$

với λ = 64/Re: hệ số ma sát

- Trong dòng chảy rối, từ thực nghiệm và phương pháp phân tích thứ nguyên ta cũng xác định được công thức tính tổn thất dọc đường (h_d), nhưng hệ số ma sát phụ thuộc vào:

3.1. Công thức Darcy

$$\lambda = f\left(\frac{\Delta}{d}, \mathrm{Re}\right)$$

với: Δ : độ nhám tuyệt đối

d: đường kính ống

Re: số Reynolds

Trong trường hợp dòng chảy không phụ thuộc ống, có thể thay thay d = 4R

$$h_d = \lambda.\frac{l}{4.R}.\frac{v^2}{2.g}$$

3.2. Hệ số ma sát λ

3.2.1. Trạng thái chảy tầng

$$\lambda = f\left(\frac{\Delta}{d}, \mathrm{Re}\right)$$

với: Δ : độ nhám tuyệt đối

d: đường kính ống

Re: số Reynolds

Trong trường hợp dòng chảy không phụ thuộc ống, có thể thay thay d = 4R

$$h_d = \lambda.\frac{l}{4.R}.\frac{v^2}{2.g}$$

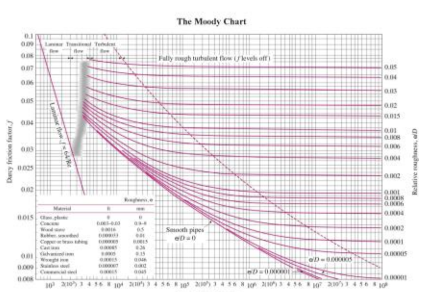
3.2.2. Trạng thái chảy rối

Thí nghiệm Ni-cu-rat-so

Mục đích của thí nghiệm là xác định cụ thể quy luật biến thiên của λ mà biểu thức đã nêu ra ở trên

Làm thí nghiệm với các ống có kính, hệ số ma sát khác nhau, vẽ đường quan hệ giữa logλ và logRe theo độ nhám tương đối Δ/d

3.2.2. Trạng thái chảy rối



3.2.2. Trạng thái chảy rối

- Các công thức tính λ trong trường hợp chảy rối

+ Thành trơn thủy lực:

Blaziát (1912)

$$\lambda = \frac{0,3164}{\mathrm{Re}_d^{0,25}}$$

Cônacốp (1947)

$$\lambda = \frac{1}{(1,8.\lg \mathrm{Re}_d - 1,5)^2}$$

3.2.2. Trạng thái chảy rối

+ Chảy quá độ từ trơn sang nhám:

Atơsun (1952)

$$\lambda = 0,1\left(\frac{1,46.\Delta}{d} + \frac{100}{\mathrm{Re}_d}\right)^{0,25}$$

Côloborúc (1939)

$$\lambda = \frac{1}{4\left[\lg\left(\frac{\Delta t.d}{3,7.d} + \frac{2,51}{\mathrm{Re}_d.\sqrt{\lambda}}\right)\right]^2}$$

+ Chảy rối thành nhám (Nicurat):

$$\lambda = \frac{1}{\left(2.\lg\frac{r_0}{\Delta} + 1,74\right)^2}$$

3.3. Công thức Chezy

- Từ công thức Darcy:

$$h_d = \lambda.\frac{l}{4.R}.\frac{v^2}{2.g}$$

Ta tìm được vận tốc

$$v = \sqrt{\frac{8.g}{\lambda}}.\sqrt{R}.\sqrt{\frac{h_d}{l}}$$

Đặt: $C = \sqrt{\frac{8.g}{\lambda}}$

$$v = C.\sqrt{R.J}$$

C: hệ số Chezy

3.3. Công thức Chezy

- Hệ số Chezy được xác định theo công thức thực nghiệm, phụ thuộc vào:

$$C = f(n,R)$$

n: hệ số nhám

R: bán kính thủy lực

- Lưu lượng và tổn thất dọc đường

$$Q = C.\omega.\sqrt{R.J}$$

Đặt: $K = C.\omega.\sqrt{R}$ môđun lưu lượng

$$h_d = \frac{Q^2}{K^2}.l$$

3.4. Hệ số Chezy

Có nhiều tác giả đã nghiên cứu hệ số Chezy (C), do đó có nhiều công thức thực nghiệm dùng để tính toán

+ Công thức Manning:

$$C = \frac{1}{n}.R^{1/6}$$ (n < 0,02, R < 0,5 m) (ống và kênh)

+ Công thức Pavơlôpski:

$$C = \frac{1}{n}.R^{y}$$ (n: của ống, R = 0,1 ÷ 3,0 m)

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}13 - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1)$$

4. Tổn thất cục bộ

Bên cạnh tổn thất dọc đường trong dòng chảy còn hình thành tổn thất năng lượng ở những vị trí dòng chảy thay đổi về mặt cắt ướt, về chiều dòng chảy. Tổn thất năng lượng loại này được gọi là tổn thất cục bộ

$$h_c = \xi_c.\frac{v^2}{2.g}$$

ξ_c: hệ số tổn thất cục bộ

v: vận tốc trung bình lấy mặt cắt trước hoặc sau tùy thuộc vào cách xác định ξ_c

5. Dòng chảy qua lỗ

5.1. Khái niệm chung

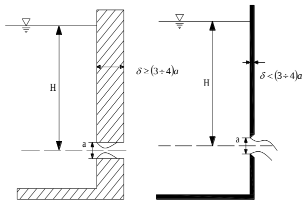
Trên thành bình chứa chất lỏng có khoét một lỗ, dòng chất lỏng chảy qua lỗ gọi là dòng chảy ra khỏi lỗ.

+ Các ký hiệu:

H: chiều cao từ mặt thoáng đến tâm lỗ

δ: chiều dày của thành lỗ

a: chiều cao của lỗ



5.2. Phân loại

5.2.1. Dựa theo kích thước lỗ:

- Khi : H/a > 10: gọi là lỗ nhỏ.

Ta cho rằng cột nước tại các điểm của lỗ nhỏ đều bằng nhau và bằng cột nước H tại trọng tâm nó.

- Khi :H/a <10: gọi là lỗ to.

Cột nước phần trên và phần dưới của lỗ khác nhau rõ rệt.

5.2. Phân loại

5.2.2. Theo độ dày của lỗ:

- Lỗ thành mỏng: nếu lỗ có cạnh sắc và độ dày δ của thành lỗ không ảnh hưởng đến hình dạng của dòng chảy ra (δ < (3÷4)a)

- Lỗ thành dày (δ ≥ (3÷4)a): ảnh hưởng đến hình dạng dòng chảy ra.

5.2. Phân loại

5.2.3. Phân loại theo hình thức nối tiếp với hạ lưu:

- Chảy ngập: mực nước hạ lưu ngập miệng lỗ, nên ảnh hưởng đến lưu lượng
- Chảy không ngập: mực nước hạ lưu không ảnh hưởng đến lưu lượng (gọi là chảy tự do)

5.3. Dòng chảy tự do ổn định qua lỗ thành mỏng

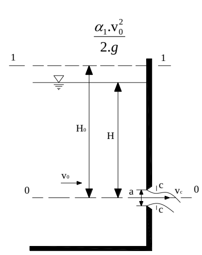
- Khi cột nước tác dụng H không đổi
- Ở ngay trên mặt lỗ các đường dòng không song song, nhưng cách xa lỗ một đoạn nhỏ, độ cong của các đường dòng giảm dần, các đường dòng trở thành song song, đồng thời mặt cắt ướt của luồng chảy co hẹp lại, mặt cắt đó gọi là mặt cắt co hẹp
- Tại mặt cắt co hẹp dòng chảy có thể coi là dòng chảy đổi dần

5.3. Dòng chảy tự do ổn định qua lỗ thành mỏng

- Chọn: 1-1 mặt tự do thùng chứa

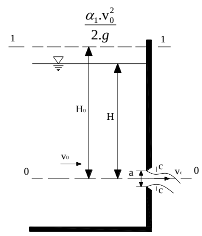
  c-c mặt cắt co hẹp

  0-0 mặt chuẩn nằm ngang qua trọng tâm lỗ.



5.3. Dòng chảy tự do ổn định qua lỗ thành mỏng

Đặt: $H_0 = H + \frac{\alpha_1.v_0^2}{2.g}$



Lưu lượng:

$$Q = \varphi.\omega_c\sqrt{2.g.H_0}$$

Đặt $\varepsilon = \frac{\omega_c}{\omega}$

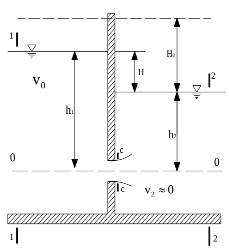
là hệ số co hẹp

$$Q = \mu.\omega.\sqrt{2.g.H_0}$$

Trong đó: μ = φ.ε : hệ số lưu lượng của lỗ.

5.4. Dòng chảy ngập qua lỗ thành mỏng

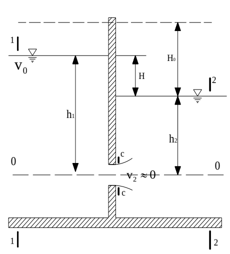
Khi ở sau lỗ có mặt tự do của chất lỏng ở cao hơn lỗ, dòng chảy ra khỏi lỗ bị ngập, lúc đó ta có dòng chảy ngập, cột nước tác dụng bằng hiệu số cột nước ở thượng lưu và hạ lưu. Do đó đối với dòng chảy ngập không cần phân biệt lỗ to, lỗ nhỏ.



5.4. Dòng chảy ngập qua lỗ thành mỏng

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và 2-2, mặt chuẩn 0-0 qua trọng tâm của lỗ (xem $v_2 \approx 0$)

$$h_1 + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha.v_0^2}{2.g} = h_2 + \frac{p_a}{\gamma} + h_w$$



Rút gọn:

$$h_1 - h_2 + \frac{\alpha.v_0^2}{2.g} = \sum\xi.\frac{v_c^2}{2.g}$$

Lưu lượng qua lỗ:

$$Q = \mu.\omega.\sqrt{2.g.H_0}$$

5.5. Dòng chảy tự do ổn định của lỗ to thành mỏng

Trong đó: $\mu = \varepsilon.\varphi$: hệ số lưu lượng của lỗ bị ngập

Tổn thất hw bao gồm:

- khi qua lỗ $\xi.\dfrac{v_c^2}{2.g}$
- đột nhiên mở rộng dòng chảy hạ lưu (vì $v_2 \approx 0$)

$$\frac{(v_c - v_2)^2}{2.g} = \frac{v_c^2}{2.g}$$

vậy: $h_w = \sum \xi.\dfrac{v_c^2}{2.g} = \dfrac{(\xi+1).v_c^2}{2.g}$

do đó hệ số lưu tốc $\varphi = \dfrac{1}{\sqrt{\sum \xi}} = \dfrac{1}{\sqrt{1+\xi}}$

5.5. Dòng chảy tự do ổn định của lỗ to thành mỏng

- Ở lỗ to, cột nước tại bộ phận trên và bộ phận dưới của lỗ có trị số khác nhau lớn, xét dải vi phân dh, dòng chảy qua dải này xem như lỗ nhỏ.

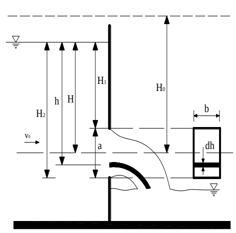
- Giả thiết hệ số lưu lượng qua dhxb là μ' ta có

$$dQ = \mu'.\sqrt{2.g.h}.(b.dh)$$

Lưu lượng qua toàn lỗ là:

$$Q = b.\int_{H_{01}}^{H_{02}} \mu'\sqrt{2.g.h}.dh$$

$$= \frac{2}{3}.\mu.b.\sqrt{2.g}.\left(H_{02}^{3/2} - H_{01}^{3/2}\right)$$



5.5. Dòng chảy tự do ổn định của lỗ to thành mỏng

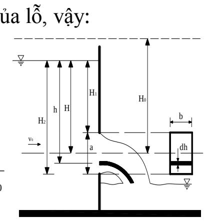
Với μ là hệ số lưu lượng của lỗ to và bằng trung bình của vô số hệ số lưu lượng của lỗ nhỏ μ'

Gọi H_0 là cột nước tại trọng tâm của lỗ, vậy:

$$H_{02} = H_0\left(1 + \frac{a}{2.H_0}\right)$$

$$H_{01} = H_0\left(1 - \frac{a}{2.H_0}\right)$$

$$Q \approx \left(\frac{2}{3}\right).\mu.b.\sqrt{2.g}.H_0^{3/2}\left[\left(\frac{3}{2}\right).\left(\frac{a}{H_0}\right)\right] \approx \mu.b.a\sqrt{2.g.H_0}$$



$Q \approx \mu.\omega.\sqrt{2.g.H_0}$ Trị số μ được xác định từ thực nghiệm

5.6. Dòng chảy không ổn định qua lỗ nhỏ thành mỏng

Khi mực nước trong bình chứa thay đổi theo thời gian, ta có dòng chảy không ổn định, ta chỉ nghiên cứu trường hợp mực nước bình chứa biến đổi chậm, do đó tại mỗi thời đoạn dt có thể áp dụng công thức dòng chảy ổn định qua lỗ.

5.6. Dòng chảy không ổn định qua lỗ nhỏ thành mỏng

Quy ước lưu lượng chảy vào bình là dương (q>0), chảy ra bình là âm (Q<0), ta có hệ thức:

$$q.dt - Q.dt = \Omega.dh$$

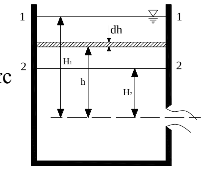
Suy ra: $$dt = \frac{\Omega.dh}{q - Q}$$

Trong đó: Q: là lưu lượng chảy qua lỗ ra khỏi bình chứa.
q: là lưu lượng chảy vào bình chứa.
h: là cột nước tĩnh đối với trọng tâm lỗ.
Ω: là diện tích mặt tự do trong bình chứa.

5.6.1. Mực nước thượng lưu biến đổi, dòng chảy tự do qua lỗ nhỏ

Xét trường hợp đơn giản q = 0

$$dt = \frac{\Omega.dh}{-\mu.\omega.\sqrt{2.g.h_0}}$$



Thời gian để mực nước giảm từ mức 1-1 đến mức 2-2 là:

$$T_{1-2} = \int_{H_{01}}^{H_{02}} \frac{\Omega.dh}{-\mu.\omega.\sqrt{2.g.h_0}}$$

Xét trường hợp đơn giản Ω = const và $v_0 \approx 0$, $h_0 \approx h$

$$T_{1-2} = \frac{\Omega}{-\mu.\omega.\sqrt{2.g}.}\int_{H_1}^{H_2}\frac{dh}{\sqrt{h}} = \frac{2.\Omega}{-\mu.\omega.\sqrt{2.g}}\left(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}\right)$$

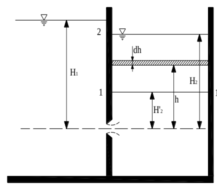
5.6.2. Mực nước thượng lưu không đổi, mực nước hạ lưu thay đổi

Xét bình chứa hạ lưu

$$Q = 0, q = \mu.\omega.\sqrt{2.g.(H_1 - h)}$$

$$dt = \frac{\Omega.dh}{\mu.\omega.\sqrt{2.g.(H_1 - h)}}$$

Thời gian $T_{1\text{-}2}$ cần thiết để mực nước dâng từ mực 1-1 đến 2-2



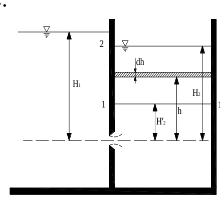
$$T_{1-2} = \int_{H_2'}^{H_2} \frac{\Omega.dh}{\mu.\omega.\sqrt{2.g.(H_1 - h)}}$$

5.6.2. Mực nước thượng lưu không đổi, mực nước hạ lưu thay đổi

Trường hợp: Ω = const , ta được:

$$T_{1-2} = \frac{\Omega}{\mu.\omega.\sqrt{2.g}} . \int_{H_2'}^{H_2} \frac{dh}{\sqrt{H_1 - h}}$$

$$= \frac{\Omega}{\mu.\omega.\sqrt{2.g}} \int_{H_2}^{H_2'} \frac{d(H_1 - h)}{\sqrt{H_1 - h}}$$



$$T_{1-2} \frac{2.\Omega}{\mu.\omega.\sqrt{2.g}} \left(\sqrt{H_1 - H_2'} - \sqrt{H_1 - H_2} \right)$$

6. Dòng chảy qua vòi

6.1. Khái niệm và phân loại

Vòi là đoạn ống ngắn, gắn vào thành lỗ mỏng, có độ dài khoảng (3÷4)d (d: đường kính lỗ)

Chất lỏng chảy qua vòi thường sinh ra co hẹp ở chỗ vào vòi, sau đó mở rộng ra và chảy đầy vòi.

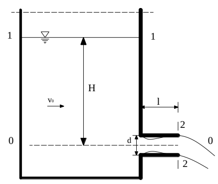
Khoảng không gian giữa mặt ngoài dòng chảy tại chỗ co hẹp và thành vòi là một khu nước xoáy, áp lực nhỏ hơn áp lực không khí, nên ở đó hình thành chân không. Đó là đặc tính cơ bản của vòi.

6.2. Vòi hình trụ gắn ngoài

6.2.1. Lưu lượng qua vòi

Xét hình trụ gắn ngoài, l = (3÷4)d, với d là đường kính vòi, chọn 0-0 là mặt chuẩn qua trọng tâm mặt cắt 2-2

Viết phương trình cho mặt cắt 1-1 và 2-2



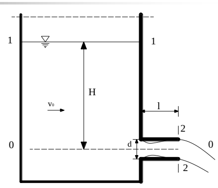
$$H+\frac{p_a}{\gamma}+\frac{\alpha.v_0^2}{2.g}=\frac{p_a}{\gamma}+\frac{\alpha_2.v^2}{2.g}+h_w$$

6.2.1. Lưu lượng qua vòi

Đặt: $H_0=H+\dfrac{\alpha.v_0^2}{2.g}$

Ta có:

$$H_0=\frac{\alpha_2.v^2}{2.g}+h_w$$



Trong đó h_w bao gồm:

- Tổn thất ở thành lỗ tính theo v_c tại mặt cắt co hẹp
- Do dòng nước tại mặt cắt co hẹp rồi mở rộng để chảy đầy vòi (tổn thất đột mở)
- Tổn thất dọc đường

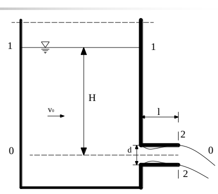
6.2.1. Lưu lượng qua vòi

Lưu lượng qua vòi

$$Q=v.\omega=\varphi.\omega.\sqrt{2.g.H_0}$$

Trong đó:

$$\varphi=\left(\frac{1}{\sqrt{\left[\alpha_2+\dfrac{\xi_1}{\varepsilon^2}+\left(\dfrac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2+\lambda.\dfrac{l}{d}\right]}}\right)$$



Dòng chảy ra khỏi vòi tại nơi ra không có hiện tượng co hẹp, như vậy φ = μ

6.2.2. Hiện tượng chân không trong vòi

Viết phương trình Bernoulli cho mặt cắt 1-1 và c-c, mặt chuẩn qua tâm vòi

$$H + \frac{p_a}{\gamma} + \frac{\alpha . v_0^2}{2.g} = 0 + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{\alpha_c . v_c^2}{2.g} + h_w$$

$$h_{ck} = \frac{p_{ck}}{\gamma} = \frac{p_a - p_c}{\gamma} = \frac{\alpha_c . v_c^2}{2.g} + \xi_{ql} . \frac{v_c^2}{2.g} - H_0$$

Vì

$$v = \varphi . \sqrt{2.g.H_0} \rightarrow \varphi^2 . H_0 = \frac{v^2}{2.g}$$

Vậy

$$h_{ck} = H_0 \left[\left(1 + \xi_{ql}\right) \frac{\varphi^2}{\varepsilon^2} - 1 \right]$$