



HCMUTE

FLUID DYNAMICS

Hung-Son Dang Ph.D.





CHƯƠNG 5

CHUYỂN ĐỘNG MỘT CHIỀU CỦA CHẤT LỎNG

OUTLINES

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.2 Dòng chảy tầng có áp trong ống tròn

5.3. Dòng chảy rối có áp trong ống tròn

5.4 Dòng chảy tầng trong khe hẹp có gradien áp suất

**5.5 Dòng chảy tầng do ma sát trong khe hẹp, sơ lược
về lý luận bôi trơn thủy động lực**

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

Trong quá trình chuyển động, năng lượng của dòng chảy bị tiêu hao để khắc phục các lực cản, năng lượng đó sẽ biến thành nhiệt năng, một phần làm nóng vật hay môi trường tiếp xúc với dòng chảy, một phần làm nóng chất lỏng. Hiện tượng này làm giảm hiệu suất của các hệ thống thủy lực.

Ta cần phải nghiên cứu cấu tạo nội bộ của dòng chảy, tìm nguyên nhân gây ra tổn thất và lập ra các công thức để tính toán tổn thất năng lượng của dòng chảy.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

Tổn thất năng lượng có 2 dạng:

- *Tổn thất dọc đường;*
- *Tổn thất cục bộ.*

Tổn thất dọc đường, ký hiệu $h_d(\mathbf{m})$: là tổn thất xảy ra dọc theo đường di chuyển của dòng chảy.

Tổn thất cục bộ, ký hiệu $h_c(\mathbf{m})$: là tổn thất xảy ra một cách tập trung tại một nơi nào đó của dòng chảy, ví dụ: tại khóa, van, vòi ... hoặc tại nơi ống mở rộng, co hẹp, phân hợp nhánh hay uốn khúc đột ngột, nghĩa là tại nơi dòng chảy bị biến dạng đột ngột.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

Ta coi các tổn thất xảy ra độc lập với nhau, ta có thể viết:

$$h_w = \sum h_d + \sum h_c$$

$\sum h_d$ - Tổng các tổn thất dọc đường của dòng chảy.

$\sum h_c$ - Tổng các tổn thất dọc cục bộ của dòng chảy.

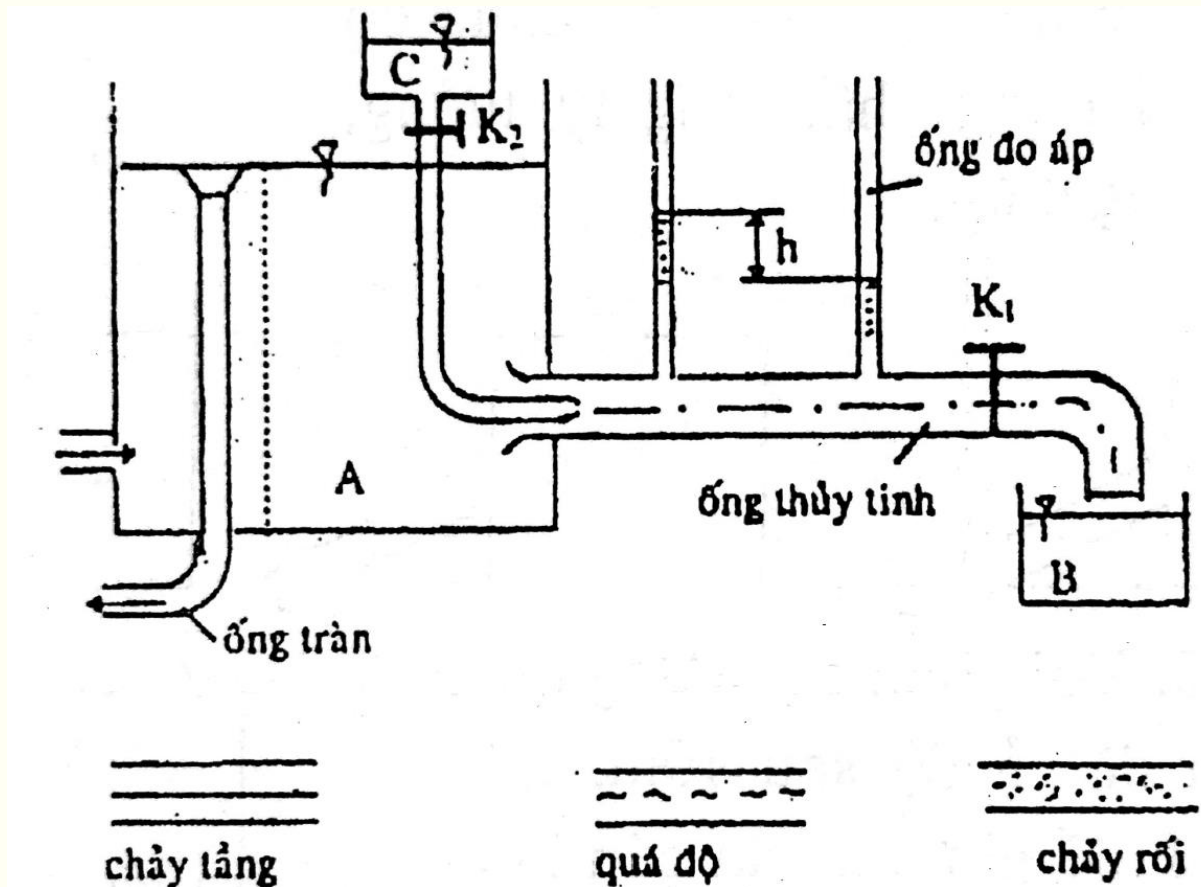
Điều kiện để có thể coi các tổn thất xảy ra độc lập với nhau là khoảng cách giữa 2 vật cản liên tiếp phải bằng $20 \div 50$ đường kính ống (d).

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Thiết bị gồm:

- Một thùng A lớn chứa nước.
- Một ống thủy tinh dài, thẳng, đường kính trong không đổi gắn vào thùng A, có miệng loe ra cho nước chảy thuận dòng, cuối ống có khóa K_1 để điều chỉnh lưu lượng trong ống.

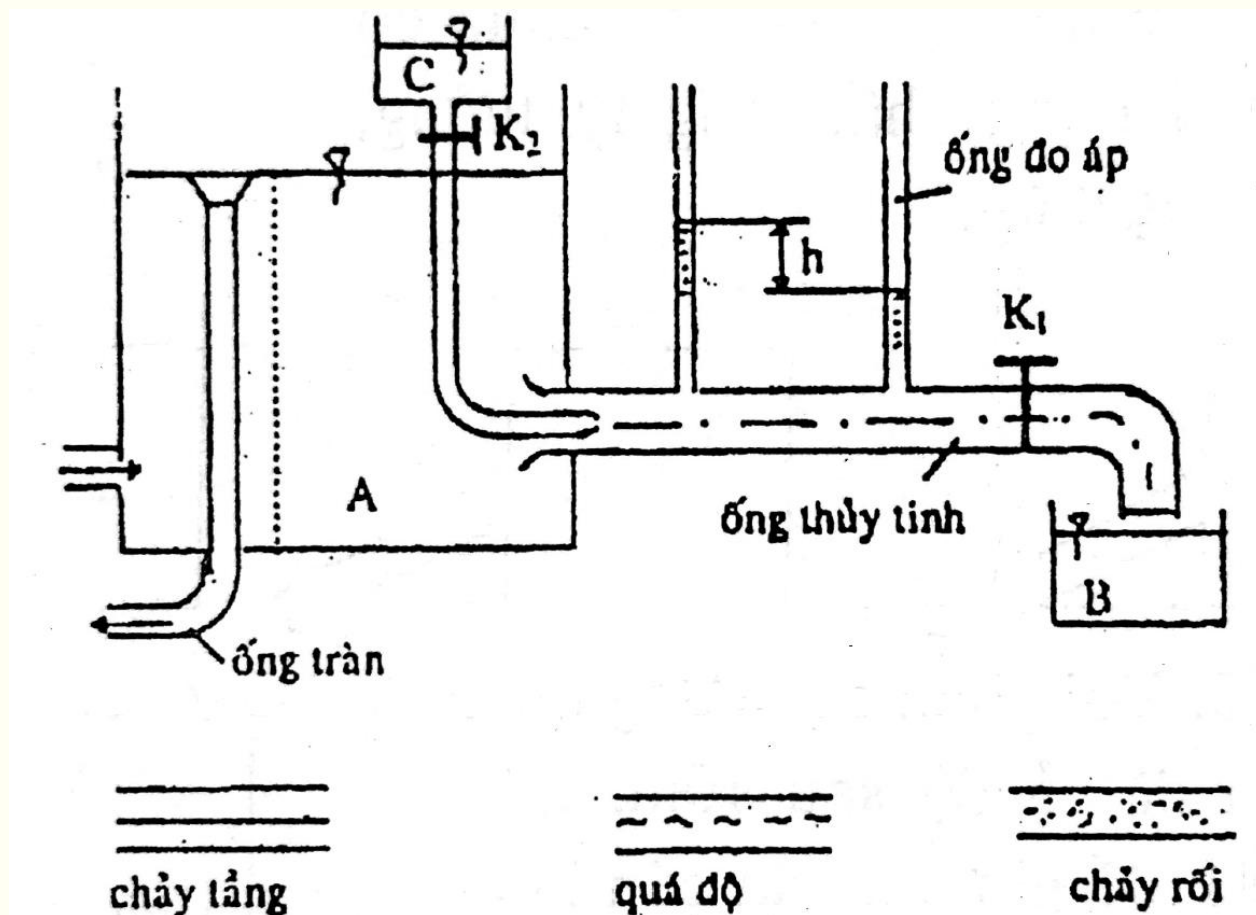


Hình 5.1 Thí nghiệm Reynolds

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

- Thùng lượng B để đo lưu lượng nước.
- Thùng C đựng nước màu ($\gamma_{\text{nước}} = \gamma_{\text{nước màu}}$), nhờ một ống nhỏ gắn vào đáy bình, nước màu được dẫn đến 1 kim rỗng đặt trùng với trục ống thủy tĩnh.
- Khóa K_2 dùng để điều chỉnh lưu lượng nước màu.



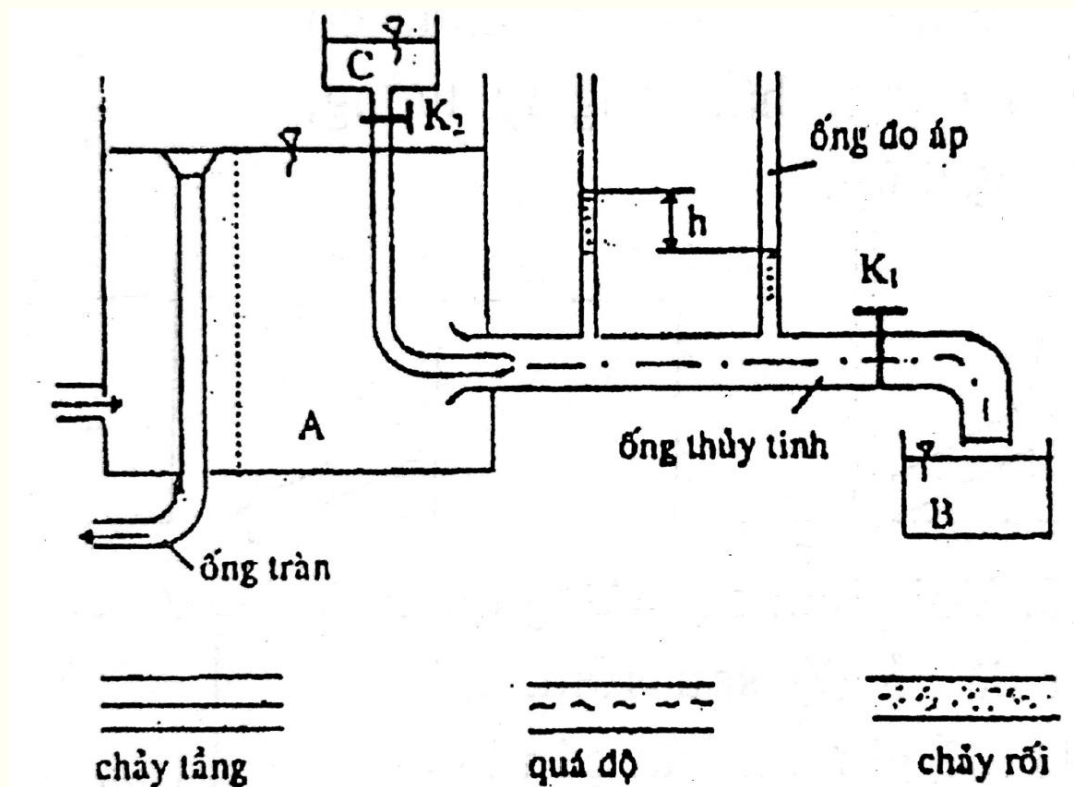
Hình 5.1 Thí nghiệm Reynolds

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Điều kiện thí nghiệm là nước trong thùng A không đổi và rất yên tĩnh. Trình tự thí nghiệm:

+ Mở khóa K_1 rất nhẹ sao cho dòng chảy trong ống có vận tốc nhỏ. Sau khi dòng chảy ổn định mở nhẹ khóa K_2 cho nước màu chảy vào ống. Lúc này trong ống thủy tinh ta thấy một vệt nhỏ căng như sợi chỉ màu. Điều đó chứng tỏ rằng, dòng màu và dòng nước chảy riêng rẽ nhau, không sáo trộn lẫn nhau.

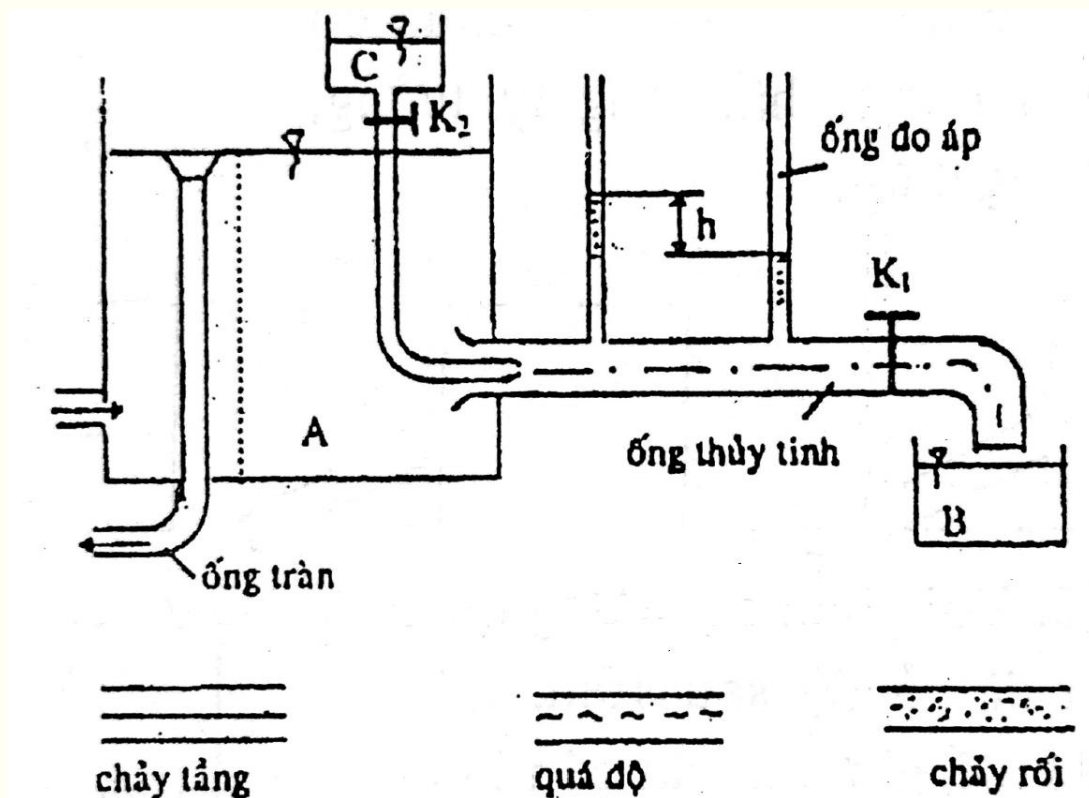


Hình 5.1 Thí nghiệm Reynolds

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

+ Nếu tiếp tục mở khóa K_1 từ từ thì hiện tượng trên có thể tiếp tục trong một thời gian nữa. Khi mở khóa K_1 đến một mức nhất định (tức là vận tốc dòng chảy đã đạt tới một giá trị nhất định) thì vệt màu bị dao động, lượn sóng. Tiếp tục mở K_1 nữa thì vệt màu bị đứt đoạn và cuối cùng hoàn toàn hòa lẫn vào trong dòng nước, nghĩa là dòng màu và dòng nước hoàn toàn xáo trộn vào nhau.

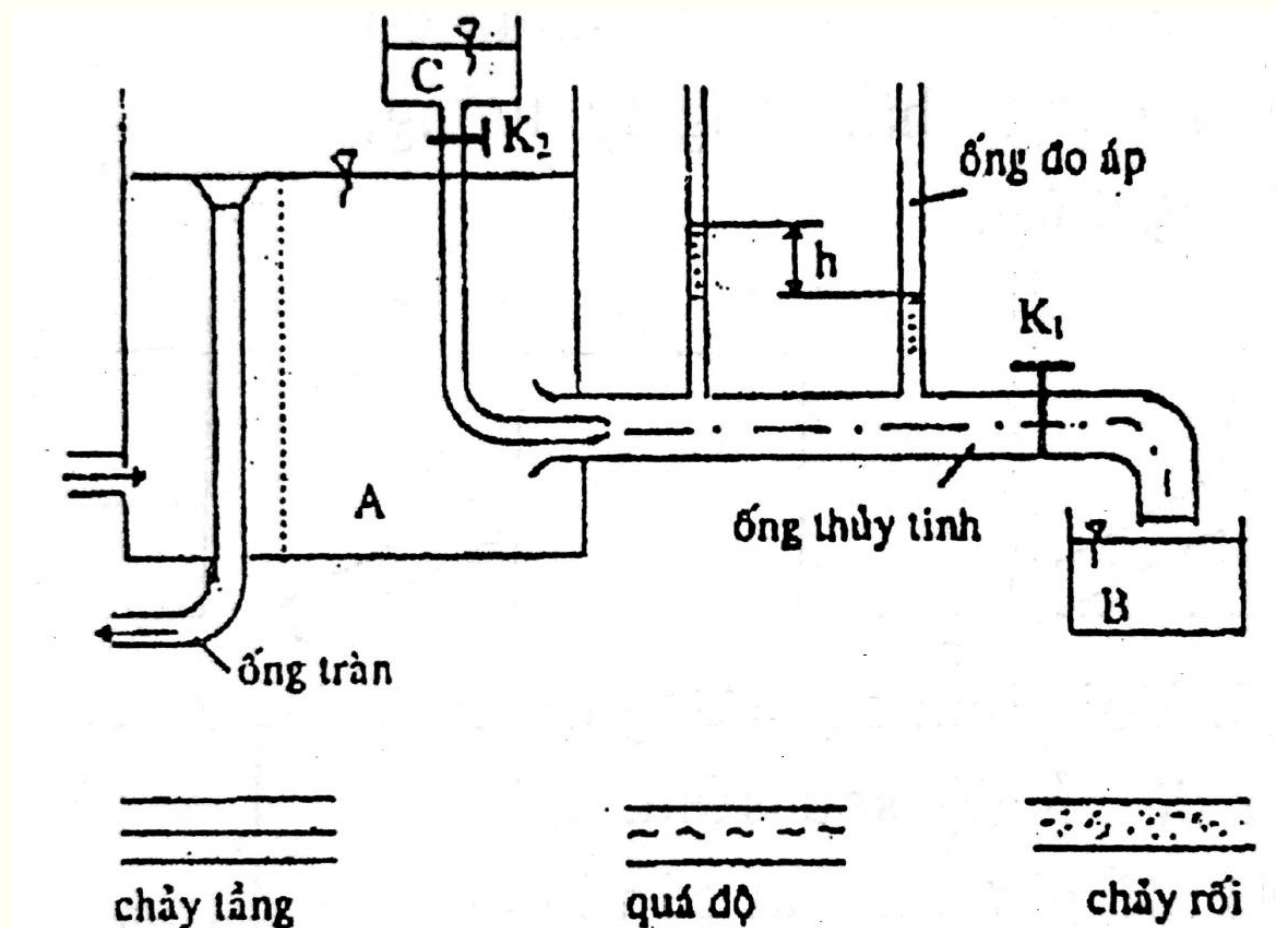


Hình 5.1 Thí nghiệm Reynolds

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

+ Nếu làm thí nghiệm ngược lại, nghĩa là đóng dần khóa K_1 sao cho vận tốc dòng nước nhỏ dần, thì đến một lúc nào đó vệt màu dần dần xuất hiện trở lại và cuối cùng rõ như sợi chỉ màu ban đầu.



Hình 5.1 Thí nghiệm Reynolds

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Qua thí nghiệm trên Reynolds phân loại trạng thái chảy:

- Chảy tầng: là trạng thái chảy trong đó các phân tử chất lỏng chuyển động thành từng lớp riêng rẽ, không xáo trộn lẫn nhau.
- Chảy rối: là trạng thái chảy trong đó các phân tử chất lỏng chuyển động hỗn loạn và hoàn toàn xáo trộn lẫn nhau.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

* Vận tốc phân giới: là giá trị vận tốc mà ứng với nó dòng chuyển trạng thái chảy. Có 2 loại:

+ *Vận tốc phân giới trên* (ký hiệu v_{fg}^t) - là vận tốc dòng chuyển từ trạng thái chảy tầng sang trạng thái chảy rối.

+ *Vận tốc phân giới dưới* (ký hiệu v_{fg}^d) - là vận tốc dòng chuyển từ trạng thái chảy rối sang trạng thái chảy tầng.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Ta thấy có sự khác nhau giữa 2 quá trình thuận và nghịch, cụ thể:

$$v_{fg}^t > v_{fg}^d$$

Vậy trạng thái chảy có thể phân loại sơ bộ như sau:

- Dòng chảy có $v < v_{fg}^d$: chảy tầng
- Dòng chảy có $v > v_{fg}^t$: chảy rối
- Dòng chảy có $v_{fg}^t > v > v_{fg}^d$: có thể chảy tầng hoặc rối.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Qua thí nghiệm ta nhận thấy: Vận tốc phân giới tùy thuộc vào:

- Loại chất lỏng làm thí nghiệm
- Đường kính ống làm thí nghiệm.

Vì vậy nên không thể dùng vận tốc phân giới để làm tiêu chuẩn phân biệt trạng thái chảy cho mọi loại chất lỏng và mọi loại đường ống.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Theo Reynolds thì trạng thái chảy phụ thuộc vào một tổ hợp không thứ nguyên bao gồm những yếu tố ảnh hưởng đến chuyển động của dòng chảy là:

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

- vận tốc trung bình mặt cắt ướt v [m/s];
- đường kính ống làm thí nghiệm d [m];
- độ nhớt động học của chất lỏng ν [m²/s]

Biểu thức Reynolds (hay tiêu chuẩn Reynolds)

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Biểu thức của số Reynolds được dùng làm tiêu chuẩn để xác định trạng thái chảy của dòng chất lỏng.

Ứng với v_{fg}^t có Re_{fg}^t :

$$Re_{fg}^t = \frac{v_{fg}^t \cdot d}{\nu}$$

Ứng với v_{fg}^d có Re_{fg}^d :

$$Re_{fg}^d = \frac{v_{fg}^d \cdot d}{\nu}$$

Qua thí nghiệm ta thấy:

- + Re_{fg}^t không có trị số xác định thường dao động từ 12000 đến 50000.
- + Re_{fg}^d đối với mọi loại chất lỏng và đường kính khác nhau đều có giá trị không đổi là 2320.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.1 Thí nghiệm Reynolds, các trạng thái của dòng chảy

Do đó $Re = 2320$ (còn gọi là số Reynold) được dùng làm tiêu chuẩn xác định trạng thái chảy:

+ Dòng chảy có $Re \leq 2320$ - dòng chảy tầng.

+ Dòng chảy có $Re > 2320$ - dòng chảy rối.

Đối với dòng chảy có mặt cắt ướt không tròn, thì trong biểu thức thay $d = 4R_h$ (R_h - bán kính thủy lực), ta có:

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{v4R_h}{\nu} = 2320$$

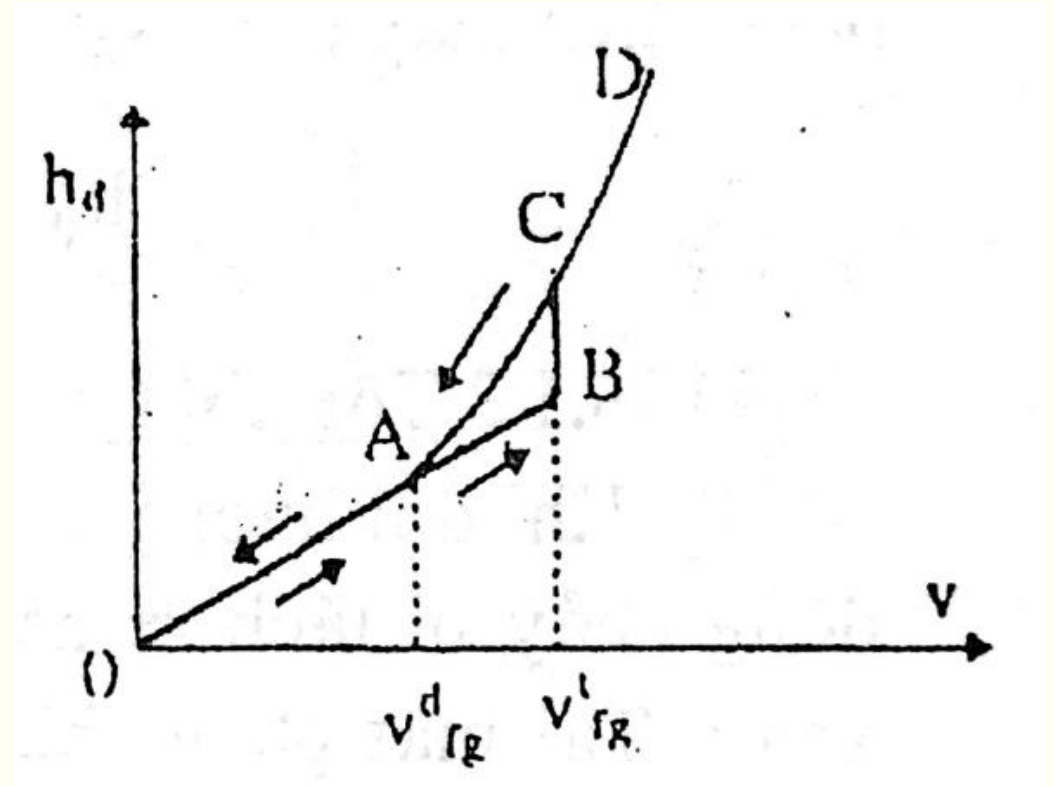
Suy ra: $Re_{R_h} = \frac{vR_h}{\nu} = 580$

Vậy: + Dòng chảy có $Re_{R_h} \leq 580$ - dòng chảy tầng.

+ Dòng chảy có $Re_{R_h} > 580$ - dòng chảy rối.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.2 Đặc điểm của tổn thất dọc đường



Hình 5.2 Thí nghiệm Reynolds và tổn thất dọc đường

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.2 Đặc điểm của tổn thất dọc đường

Thí nghiệm chứng tỏ, lớp chất lỏng mỏng sát thành coi như dính chặt vào thành các lớp các phần tử chất lỏng khác chuyển động trượt lên trên nó, gây ra những lực cản.

Mặt khác, khi dòng chất lỏng chuyển động, các lớp, các phần tử chất lỏng có thể trượt lên nhau ma sát lẫn nhau nếu là dòng chảy tầng, hoặc có thể chuyển động hỗn loạn va chạm lẫn nhau nếu là dòng chảy rối, do đó gây nên lực cản làm tiêu hao năng lượng của dòng chảy.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.2 Đặc điểm của tổn thất dọc đường

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến tổn thất dọc đường, Darcy đã lập ra công thức tính h_d cho dòng chảy đều có áp trong ống tròn:

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

Gọi là công thức Darcy

l - chiều dài dòng chảy.

d - đường kính ống.

v - vận tốc trung bình của dòng chảy.

g - gia tốc trọng trường.

λ - hệ số ma sát không thứ nguyên, phụ thuộc số Re và tình trạng thành giới hạn dòng chảy.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.2 Đặc điểm của tổn thất dọc đường

Có thể dùng công thức đối với dòng chảy có *mặt cắt ướt không tròn hoặc dòng chảy trong các kênh hoặc máng dẫn hở*, bằng cách thay $d = 4R_h$:

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

Gọi là công thức Darcy mở rộng.

Qua đó ta thấy: đối với dòng chảy đều, tổn thất năng lượng dọc đường tỷ lệ bậc nhất với chiều dài dòng chảy, còn phụ thuộc vào vận tốc không chỉ ở số hạng v^2 mà còn qua hệ số λ (vì λ là hàm của Re , phụ thuộc vận tốc).

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

Kết cấu của dòng chảy tại nơi có sức cản cục bộ và lý thuyết tính toán tổn thất cục bộ là vấn đề vẫn còn đang tiếp tục nghiên cứu.

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, khi đổi hướng đột ngột hay vấp phải vật cản cục bộ, dòng chảy bị tách khỏi thành rắn và lập tức xuất hiện khu vực xoáy. Tại mặt phân chia, giữa dòng chính và khu xoáy xảy ra sự rối loạn của các phân tử chất lỏng.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

Khi dòng chảy rối, những hiện tượng trên làm tăng mức chảy rối, khi dòng chảy tầng, kết cấu tầng có thể bị phá vỡ. Vì vậy, tại những nơi này dòng chảy bị tiêu hao năng lượng khá lớn.

Để tính tổn thất cục bộ, dùng công thức Weisbach:

$$h_c = \xi \frac{v^2}{2g}$$

trong đó:

v - vận tốc trung bình, thường lấy ở hạ lưu vật cản.

ξ - hệ số tổn thất cục bộ (được xác định bằng thực nghiệm), phụ thuộc vào số Re và các đặc trưng hình học của vật cản.

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

a. Dòng đột mở:

Gọi: S_1 - diện tích mặt cắt utor tại ống nhỏ;

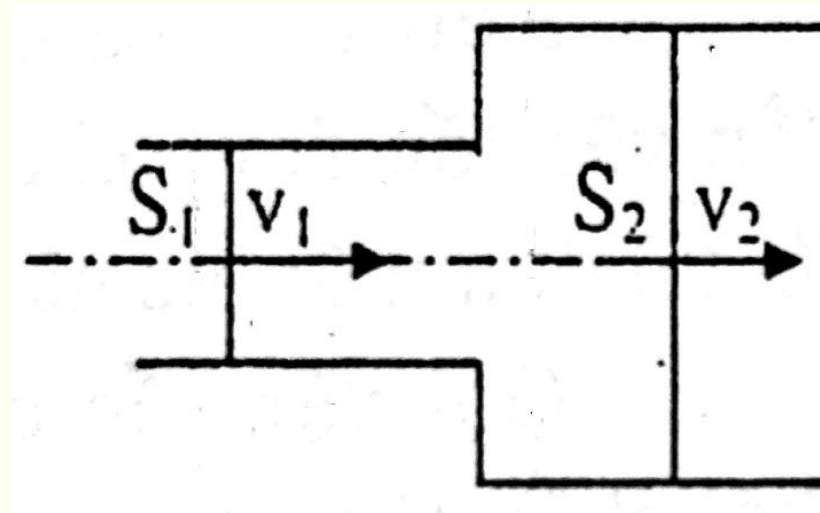
S_2 - diện tích mặt cắt utor tại ống lớn;

v_1 - vận tốc trung bình ở mặt cắt utor S_1

v_2 - vận tốc trung bình ở mặt cắt utor S_2 .

Ta có:

$$\begin{cases} \xi_{\text{đm}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \\ h_{\text{đm}} = \xi_{\text{đm}} \frac{v_1^2}{2g} \end{cases} \text{ Hoặc } \begin{cases} \xi_{\text{đm}}' = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 \\ h_{\text{đm}}' = \xi_{\text{đm}}' \frac{v_2^2}{2g} \end{cases}$$



Hình 5.3 Tổn thất cục bộ đột mở

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

a. Dòng đột mở:

Trong thực tế muốn chính xác hơn, phải xét thêm ảnh hưởng của số Re.

Trường hợp chất lỏng chảy từ ống ra bể:

$$\text{Vì } S_2 \gg S_1 \text{ nên: } \begin{cases} \xi_{vb} = 1 \\ h_{vb} = \frac{v_1^2}{2g} \end{cases}$$

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

b. Dòng đột thu:

Khi dòng chảy bị thu hẹp đột ngột, từ ống to vào ống nhỏ:

$$\begin{cases} \xi_{\text{đt}} = 0,5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \\ h_{\text{đt}} = \xi_{\text{đt}} \frac{v_2^2}{2g} \end{cases}$$

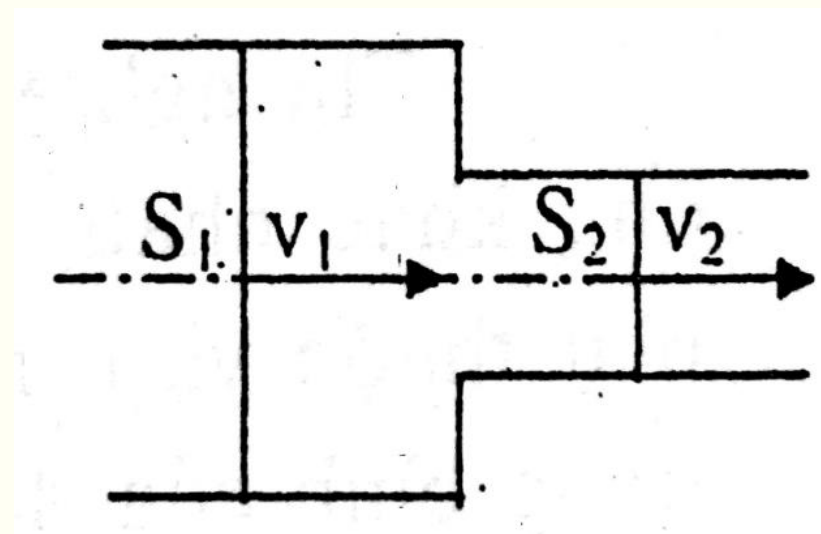
Tại miệng vào khi dòng chảy từ bể vào ống:

+ Mép sắc: $\xi_{\text{vô}} = 0,5$

+ Mép tròn, thuận:

$$\xi_{\text{vô}} = 0,2 \div 0,5$$

$$h_{\text{vô}} = \xi_{\text{vô}} \frac{v_2^2}{2g}$$



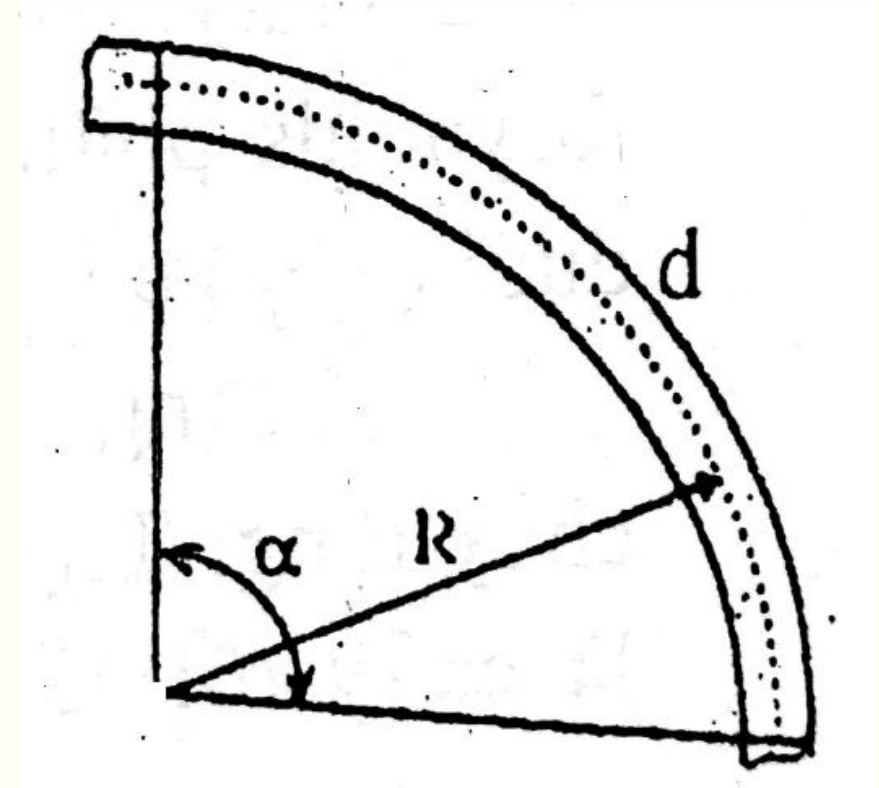
Hình 5.4 Tổn thất cục bộ đột thu

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

c. Chỗ uốn cong:

$$h_u = \xi_u \frac{v^2}{2g}$$



Hình 5.5 Tổn thất cục bộ ống cong

5.1 Tổn thất năng lượng trong dòng chảy

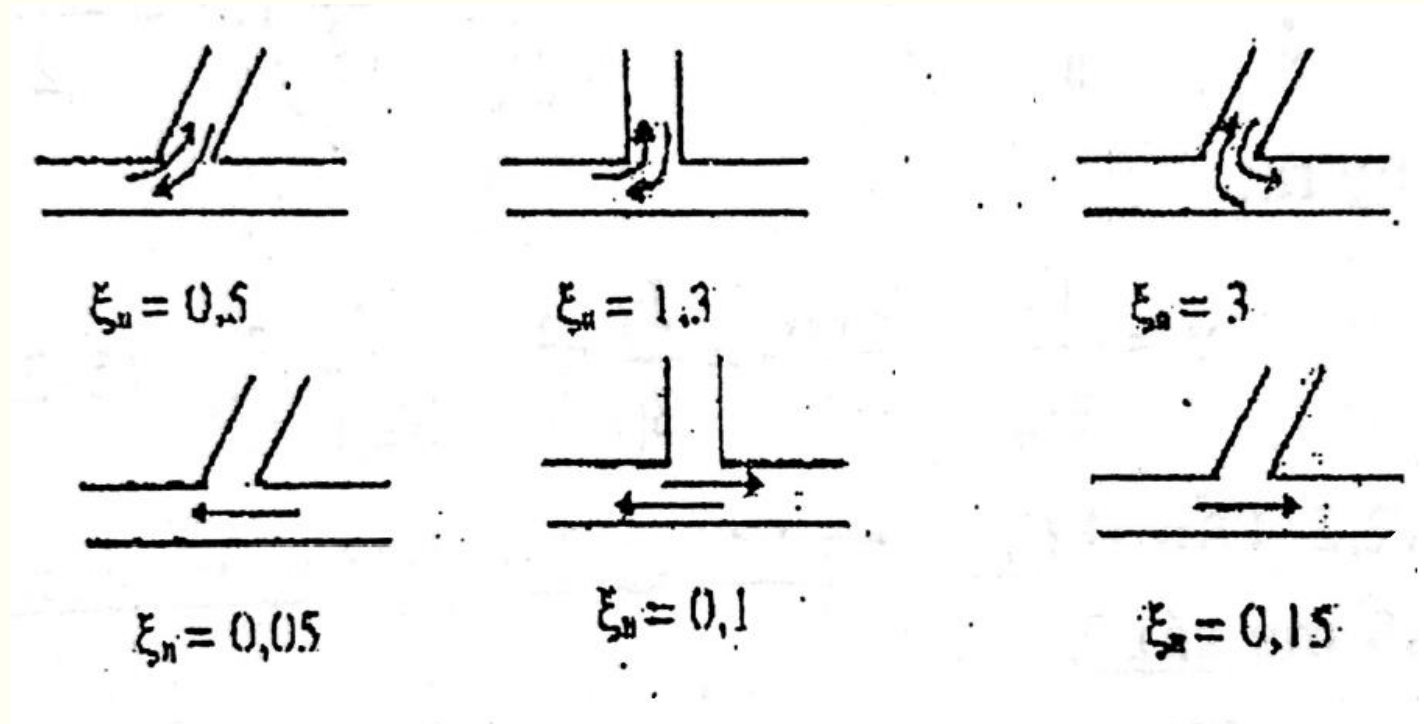
5.1.3 Đặc điểm của tổn thất cục bộ

d. Qua khóa:

$$h_K = \xi_K \frac{V^2}{2g}$$

e. Qua ngã ba:

$$h_K = \xi_n \frac{V^2}{2g}$$



Hình 5.6 Tổn thất cục bộ qua ngã ba



The End