

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO MÔ HÌNH ĐO VÀ KIỂM CHỨNG SỐ REYNOLDS

Trần Thị Vinh⁽¹⁾, Ngô Bảo⁽¹⁾

(1) Trường Đại học Thủ Dầu Một

Ngày nhận bài 25/03/2019; Ngày gửi phản biện 28/03/2019; Chấp nhận đăng 20/04/2019

Email: vinhht@tdmu.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo trình bày cách thiết kế và chế tạo mô hình đo số Reynolds có xét tới dòng chảy của chất lỏng qua ống đặt thẳng đứng. Mô hình này dùng giảng dạy cho sinh viên ngành Xây dựng, trường Đại học Thủ Dầu Một. Nhờ mô hình này mà sinh viên thực hành, hiểu và kiểm chứng lại được thí nghiệm “Trạng thái chảy của chất lỏng” do nhà bác học Osborne Reynolds (1842 – 1912) thực hiện vào năm 1883. Số Reynolds có ứng dụng nhiều trong kỹ thuật, nhưng lại là một khái niệm khó hiểu. Vì vậy, Nhóm tác giả bài viết này mới nghĩ ra một thiết bị đo và kiểm chứng lại số Reynolds, nhằm giúp sinh viên dễ hiểu hơn khi học môn “Cơ học lưu chất”.

Từ khóa: thí nghiệm Reynolds, trạng thái chảy tầng, trạng thái chảy rối

Abstract

DESIGN, MANUFACTURE MEASURING MODEL AND VERIFY REYNOLDS NUMBER

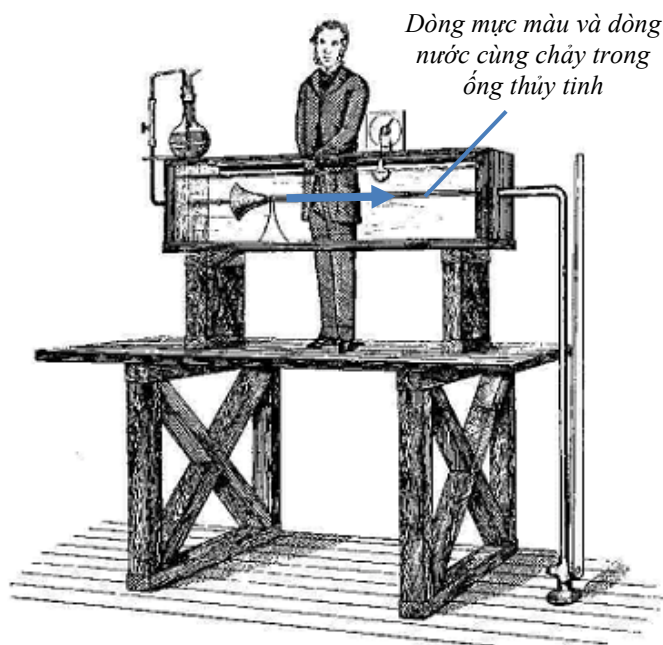
The paper presents how to design and fabricate Reynolds numerical model with consideration of fluid flow through vertical pipe. This model is used for teaching construction students, Thu Dau Mot University. From this model, students practice, understand and verify the "Fluid flow state" performed by the scientist Osborne Reynolds (1842 - 1912) in 1883. Reynolds number has many applications in technology, but is a confusing concept. Therefore, the author of this article has just come up with a device to test and verify Reynolds number to help students understand better when studying the "fluid mechanics".

1. Sơ lược về các nghiên cứu đã biết

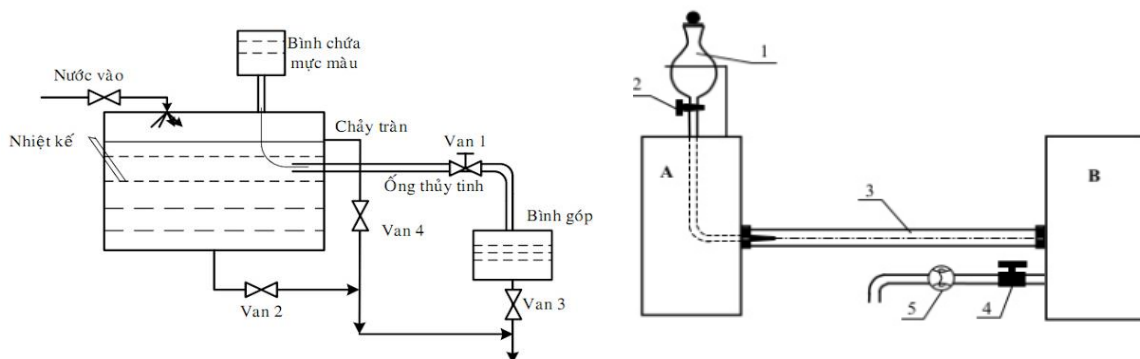
1.1. Thí nghiệm về trạng thái chảy của chất lỏng của Osborne Reynolds

Reynolds cho dòng mực màu cùng với nước chuyển động trong ống thủy tinh như hình 1. Ông cho vận tốc nước chảy trong ống thủy tinh thay đổi và nhận thấy: Khi vận tốc nhỏ, dòng mực màu chuyển động trong ống thủy tinh như một sợi chỉ xuyên suốt trong ống, trường hợp này ông gọi là chế độ chảy tầng. Tiếp tục tăng vận tốc dòng nước, tới một lúc nào đó, dòng mực bắt đầu gợn sóng, đứt đoạn. Nếu tiếp tục tăng thêm vận tốc dòng nước thì dòng mực hòa trộn hoàn toàn trong nước, nghĩa là không còn nhìn thấy dòng mực nữa, trường hợp này ông gọi là chế độ chảy rối.

Hình 1. Thí nghiệm về trạng thái chảy của chất lỏng do Osborne Reynolds (1842 – 1912) thực hiện năm 1883



1.2. Các thí nghiệm hiện nay về trạng thái chảy của chất lỏng (Ở các phòng thí nghiệm trong nước ta)



Hình 2. Thí nghiệm đo hệ số Reynolds

A, B. Các bình chứa nước; 1. Bình chứa nước màu; 2. Khóa nước màu;
3. Ống quan sát; 4. Khóa điều chỉnh lưu lượng; 5. Lưu lượng kế

Hình 2 cho ta thấy các sơ đồ thí nghiệm đo số Reynolds tương tự như thí nghiệm của Reynolds thực hiện năm 1883. Kết cấu thiết bị thí nghiệm, bố trí các bộ phận có khác, nhưng nguyên lý vẫn không đổi, tức là vẫn cho dòng chảy của chất lỏng trong ống nằm ngang. Thiết bị thí nghiệm theo nguyên lý kiểu này đang thịnh hành ở các trường đại học. Riêng Đại học Thủ Dầu Một thì chưa có.

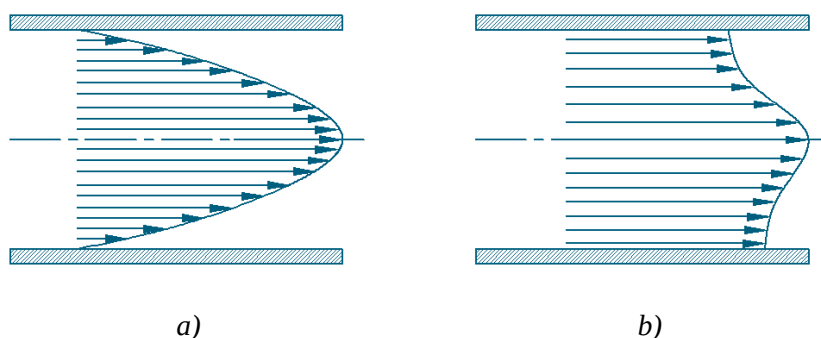
Nếu chúng ta đặt ống quan sát dòng chảy của chất lỏng nằm ngang như hình 2 thì đo được số Reynolds chính xác như nhà bác học Reynolds thực hiện năm 1883. Còn nếu chúng ta đặt ống quan sát dòng chảy của chất lỏng nằm đứng hoặc nằm nghiêng so với phương ngang một góc nào đó thì liệu kết quả đo còn chính xác nữa không? Câu hỏi này được vài nhà nghiên cứu khác đưa ra

thí nghiệm kiểm chứng, có đưa hình ảnh lên các trang mạng internet, nhưng tư liệu chưa rõ ràng, chưa đáng tin. Chúng tôi sẽ trình bày thí nghiệm đo và kiểm chứng lại số Reynolds một cách nghiêm túc bằng cách thiết kế ra mô hình có chất lỏng chảy trong ống quan sát đặt thẳng đứng.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Hai trạng thái chảy của chất lỏng

Thực tế, tồn tại hai trạng thái chảy khác nhau của chất lỏng. Tùy theo trạng thái chảy mà cấu tạo của dòng chảy, sự phân bố vận tốc, tổn thất năng lượng có những quy luật khác nhau. Từ đầu thế kỷ XIX, người ta đã biết có những trạng thái chảy khác nhau này. Nhưng tới năm 1883 nhà vật lý học người Anh Osborne Reynolds (1842 – 1912) đã chứng minh bằng thí nghiệm, rằng trong thực tế tồn tại hai trạng thái chảy khác nhau của chất lỏng, đó là trạng thái chảy tầng và chảy rối (hình 3).



Hình 3. Mặt cắt phân bố vận tốc của chất lỏng chảy tầng (a) và rối (b) trong ống

Trạng thái chảy trong đó các phần tử chất lỏng chuyển động theo những tầng lớp không xáo trộn vào nhau gọi là trạng thái chảy tầng. Ở trạng thái chảy tầng, sự phân bố vận tốc trên mặt cắt dòng chảy tuân theo quy luật của đồ thị hàm số bậc 2 (parabol). Tức là tại thành ống, vận tốc của dòng chảy gần bằng không, càng xa thành ống vận tốc tăng dần và liên tục, đạt đến trị số lớn nhất tại trục ống (hình 3a).

Trạng thái chảy trong đó các phần tử chất lỏng chuyển động vô trật tự, hỗn loạn gọi là trạng thái chảy rối. Ở trạng thái chảy rối, quy luật phân bố vận tốc trong dòng chảy phức tạp. tại phần lớn các mặt cắt, vận tốc dòng chảy không khác nhiều so với vận tốc lớn nhất ở trục ống (hình 3b). Sự phân bố tương đối đều của vận tốc trong trạng thái chảy rối được giải thích bằng sự xáo trộn bởi các thành phần ngang của vận tốc. Do đó, có sự va đập giữa các phần tử chất lỏng có vận tốc lớn ở khu vực giữa với phần tử chất có vận tốc nhỏ hơn ở sát thành ống. Sự va đập đó dẫn đến sự trao đổi động lượng giữa các phần tử chất lỏng, làm cho chúng có vận tốc tương đương với nhau.

2.2. Tiêu chuẩn phân biệt hai trạng thái chảy (số Reynolds - Re)

Dựa vào kết quả nhiều lần thực hiện thí nghiệm, Osborne Reynolds đã dùng một đại lượng không thứ nguyên để đặc trưng cho trạng thái chảy, đó là số Reynolds, ký hiệu Re, được tính theo biểu thức:

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (1)$$

Trong đó: v là vận tốc trung bình dòng chảy (m/s); d là đường kính ống dẫn nước (m); ν (đọc là nuyn) là hệ số nhớt động học (m^2/s).

Khi nhiệt độ của nước thay đổi thì hệ số nhớt động học cũng thay đổi theo. Thực nghiệm chứng minh, nhiệt độ của nước càng tăng thì hệ số nhớt động học càng giảm (bảng 1).

Bảng 1. Hệ số nhớt động học phụ thuộc nhiệt độ

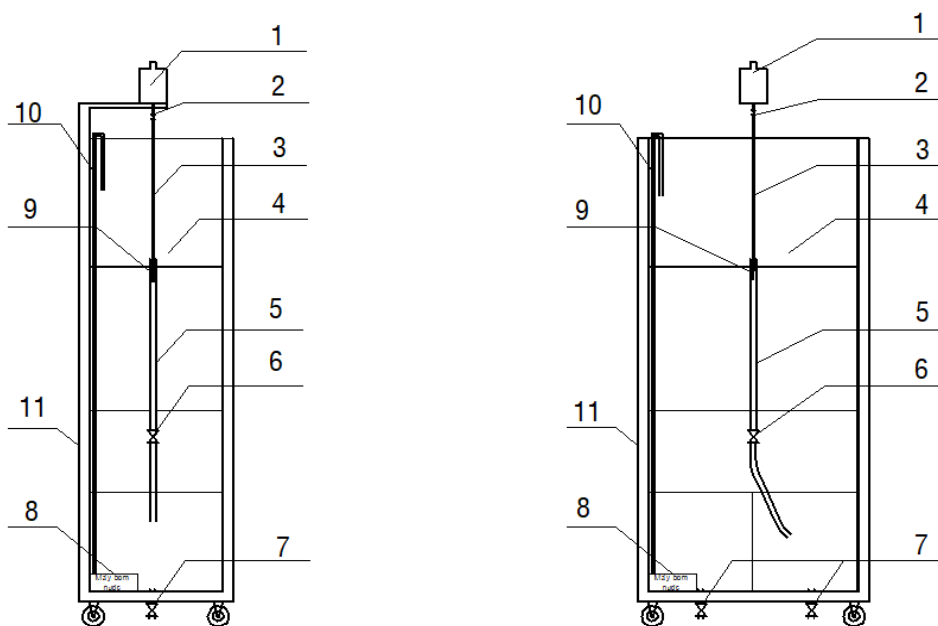
t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^2/s)	t ($^{\circ}\text{C}$)	ν (m^2/s)
0	$0,0178.10^{-4}$	20	$0,0101.10^{-4}$
5	$0,0152.10^{-4}$	30	$0,0081.10^{-4}$
10	$0,0131.10^{-4}$	40	$0,0066.10^{-4}$
12	$0,0124.10^{-4}$	50	$0,0055.10^{-4}$
15	$0,0114.10^{-4}$		

Số Reynolds có thể sử dụng như một tiêu chuẩn để phân loại dòng chảy. Tùy theo dạng dòng chảy mà ta có các giới hạn khác nhau của số Re, đối với dạng dòng chảy trong ống có tiết diện tròn ta có: Khi $\text{Re} < 2320$ sẽ có trạng thái chảy tầng; khi $\text{Re} > 2320$ sẽ có trạng thái chảy rối.

3. Thiết kế và chế tạo mô hình đo và kiểm chứng số Reynolds

4.1. Sơ đồ nguyên lý

Nếu $\text{Re} < 2320$ thì ta nói trạng thái chảy tầng, còn nếu $\text{Re} > 2320$ thì ta nói trạng thái chảy rối. Nhưng khi chảy tầng và rối thì hình ảnh thực tế của dòng chảy như thế nào? Liệu lấy số 2320 làm tiêu chuẩn để chia ra trạng thái chảy tầng và rối của Reynolds có đúng hay không? Để trả lời các câu hỏi này thì ta phải làm thí nghiệm để kiểm chứng. Thiết bị thí nghiệm có sơ đồ nguyên lý như hình 4.



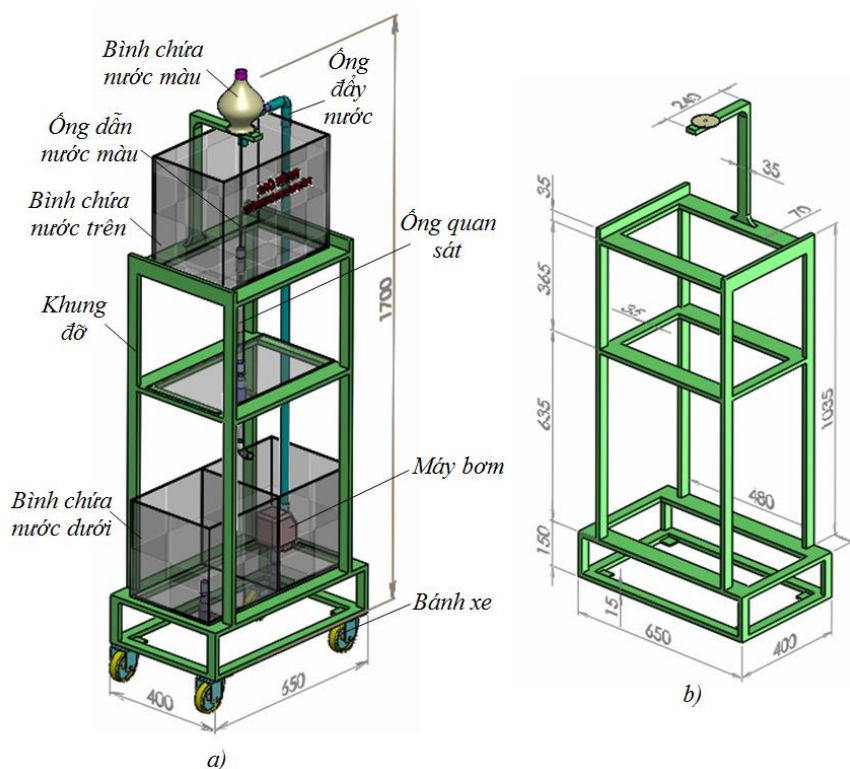
Hình 4. Sơ đồ nguyên lý đo và kiểm chứng số Reynolds

Bảng 1. Các chi tiết của mô hình đo và kiểm chứng số Reynolds

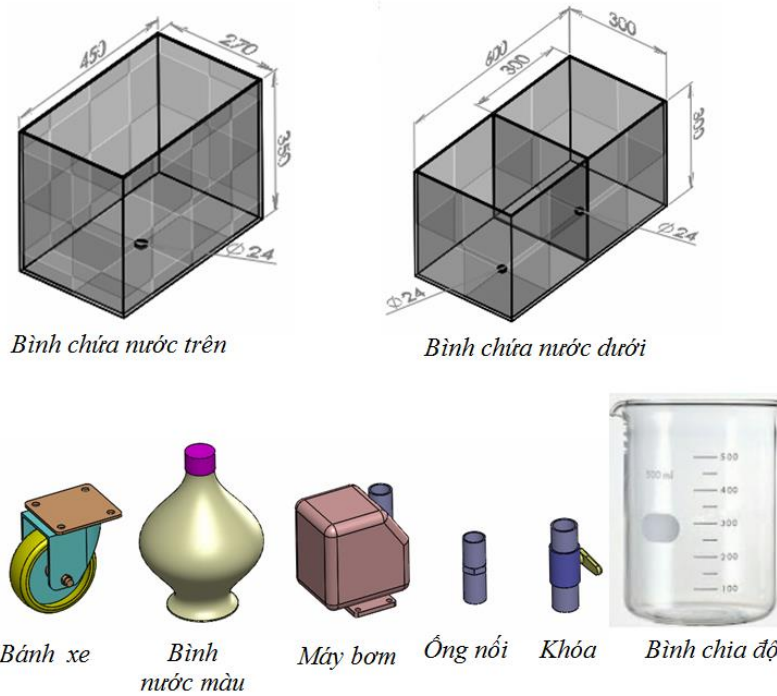
STT	Tên thiết bị	Số lượng	Kích thước (mm)	Vật liệu
1	Bình đựng nước màu	1	Ø100x200	Nhựa
2	Khóa ống dẫn nước màu	1	Ø 2	Nhựa
3	Ống dẫn nước màu	1	Ø 2	Nhựa
4	Bình chứa nước trên	1	450x270x350	Kính
5	Ống quan sát	1	Ø21	Nhựa
6	Khóa ống dẫn nước	1	Ø21	Nhựa
7	Khóa ống xả nước	2	Ø21	Nhựa
8	Máy bơm nước	1	220V-50Hz	Kim loại
9	Kim dẫn nước màu	1	Ø 0,1	Kim loại
10	Ống dẫn nước của máy bơm	1	Ø21	Nhựa
11	Khung đỡ hệ thống	1	650x400x1185	Thép
12	Bình chia độ	1	Giới hạn đo 250 ml	Nhựa
13	Nhiệt kế thủy ngân	1	Ø10	Nhựa
14	Dây điện, ổ cắm điện, bóng đèn	1		
15	Bình chứa nước dưới	1	600x300x300	Kính

3.2. Các bản vẽ 3D

Sau khi tính toán, lựa chọn các thiết bị có trên mô hình, nhóm tác giả đưa ra ý tưởng thiết kế mô hình đo và kiểm chứng hệ số Reynolds như hình 5 và 6. Tất cả các thiết bị thí nghiệm được lắp ráp trên hệ thống khung đỡ bằng kim loại, có 4 bánh xe di chuyển, có 2 khóa xả được lắp dưới bể chứa nước dưới cùng, mục đích để xả hết nước trong hệ thống khi cần thiết.



Hình 5. Phối cảnh không gian mô hình đo và kiểm chứng số Reynolds
a) Bản vẽ 3D toàn mô hình; b) Bản vẽ 3D phần khung bao mô hình



Hình 6. Vài chi tiết quan trọng của mô hình đo và kiểm chứng số Reynolds

3.3. Chế tạo

Các chi tiết trên mô hình thí nghiệm sau khi đã được chế tạo theo đúng kích thước thiết kế ban đầu, tiến hành lắp ghép các thiết bị lại trên hệ thống khung đỡ bằng thép theo đúng trình tự như hình 5. Dùng phương pháp chế tạo cơ khí thông thường, vật liệu rẻ tiền, sẵn có, ta được sản phẩm như hình 7 và 8.

3.4. Hướng dẫn vận hành mô hình

Bước 1: Cắm điện, mở máy bơm (8), cấp nước từ bình chứa nước dưới (12) lên bình chứa nước trên (4). Chờ khi bình chứa nước trên đầy thì tiến hành thí nghiệm. Trong thời gian chờ đợi thì pha nước màu và đổ vào bình chứa nước màu (1).

Bước 2: Thí nghiệm với trường hợp lưu lượng tăng dần, bằng cách mở rộng khóa nước (6), dòng chảy chuyển từ trạng thái chảy tầng sang trạng thái chảy rối. Mở khóa nước (6) với độ mở rất nhỏ, để có dòng chảy từ từ trong ống quan sát (5), mở khóa (2) của bình chứa nước màu (1) để cho dòng chảy vào ống dẫn nước màu (3). Điều chỉnh khóa (2) sao cho lượng nước màu đủ quan sát.

Bước 3: Quan sát dòng nước màu chảy trong ống quan sát (5) để nhận xét trạng thái chảy. Ứng với trạng thái chảy thứ 1, tia màu như sợi chỉ thẳng, ta xác định được số Re_1 tương ứng.

Bước 4: Mở dần khóa nước (6) để tăng dần lưu lượng nước trong ống quan sát (5), vận tốc nước chảy trong ống quan sát (5) tăng lên. Ứng với trạng thái chảy thứ 2, tia màu bắt đầu gợn sóng, đứt đoạn, ta xác định được số Re_2 tương ứng.

Bước 5: Tiếp tục mở dần khóa nước (6) rộng hơn nữa, lưu lượng trong ống quan sát (5) tăng lên, vận tốc nước chảy tăng lên. Ứng với trạng thái chảy thứ 3, tia màu hòa lẫn hoàn toàn vào dòng nước, ta xác định được số Re_3 tương ứng.

Bước 6: Thí nghiệm ngược lại với trường hợp lưu lượng giảm dần: dòng chảy chuyển từ trạng thái chảy rối sang trạng thái chảy tầng. Ta cũng xác định được số Re tương ứng.

Tiến hành thí nghiệm 3 lần (3 lần tăng dần lưu lượng chất lỏng qua ống quan sát và 3 lần giảm dần lưu lượng chất lỏng qua ống quan sát), ta sẽ đo và có nhận xét chính xác hơn về số Re.

3.5. Các bước tiến hành thí nghiệm

Các bước lấy số liệu: (1) Vận hành mô hình theo các bước hướng dẫn như trên; (2) Đo nhiệt độ của nước, ghi vào bảng tổng hợp số liệu; (3) Tra bảng 2 để xác định hệ số nhớt động học ν ; (4) Dùng bình chia độ đo thể tích chất lỏng và dùng đồng hồ bấm giây để đo thời gian 10 giây nước chảy qua ống. Thực hiện 3 lần liên tiếp như vậy ứng với mỗi trạng thái chảy; (5) Ghi lại lưu lượng tương ứng với từng trạng thái chảy mà ta quan sát được.

Tính toán kết quả: (1) Tính vận tốc v dòng chảy theo công thức $v = Q/A$ (với $A = \pi \cdot d^2 / 4$ là mặt cắt ngang của ống quan sát; $d = 21 \text{ mm} = 0,021 \text{ m}$ là đường kính ống quan sát); (2) Tính số Reynolds tính toán (Re_{tt}) theo công thức (1); (3) So sánh số Reynolds tính toán (Re_{tt}) với số Reynolds tiêu chuẩn ($Re = 2320$); (4) Nhận xét trạng thái chảy của chất lỏng trong ống có tiết diện tròn.

Thế các số liệu đo được vào công thức (1), kết hợp quan sát các trạng thái chảy của chất lỏng như hình 6, ta được các kết quả như các bảng 2.

Quan sát hình ảnh của chất lỏng ứng với số Re lúc $Re_{tt} < 2320$; $Re_{tt} > 2320$ để nhận xét trạng thái chảy tầng, rối của chất lỏng từ đó kiểm chứng lại tính hợp lý thí nghiệm của Osborne Reynolds trong trường hợp cho dòng chất lỏng chảy trong ống tròn thẳng đứng.

Bảng 2. Trường hợp chất lỏng chảy tầng

Lần đo	$t^{\circ}\text{C}$	$\nu \text{ (m}^2/\text{s)}$	$Q \text{ (l/s)}$	$v \text{ (m/s)}$	Re_{tt}	Hình ảnh	Re tiêu chuẩn	Kết luận
1	30	$0,0081.10^{-4}$	0,02	0,065	1685,12		2320	Trạng thái chảy tầng
2			0,025	0,07	1814,81			
3			0,03	0,086	2229,24			

Bảng 3. Trường hợp chất lỏng chảy rối

Lần đo	$t^{\circ}\text{C}$	$\nu \text{ (m}^2/\text{s)}$	$Q \text{ (l/s)}$	$v \text{ (m/s)}$	Re_{tt}	Hình ảnh	Re tiêu chuẩn	Kết luận
1	30	$0,0081.10^{-4}$	0,175	0,50	12962,9		2320	Trạng thái chảy rối
2			0,2	0,58	15037,0			
3			0,26	0,75	19444,4			

4. Kết luận

Mô hình đo và kiểm chứng số Reynolds bằng cách cho dòng chất lỏng chảy trong ống tròn thẳng đứng dễ dàng lắp đặt, vận hành mô hình và xác định được các trạng thái chảy của chất lỏng. Mô hình tương đối nhỏ gọn, dễ dàng di chuyển. Các chi tiết trên mô hình dễ tìm, dễ thay thế và dễ sửa chữa khi hư hỏng. Vật liệu chế tạo mô hình tương đối rẻ tiền.

Trong 3 lần đo đầu, dòng màu và dòng nước trong ống chảy thành từng dòng riêng biệt, ta có dòng chảy tầng. Khi tăng dần vận tốc của dòng chảy bằng cách mở rộng khóa nước, ở 3 lần đo sau, dòng nước màu và nước trong ống nghiệm chuyển động xáo trộn lẫn vào nhau, ta có dòng chảy rối.

Mô hình đáp ứng được ý tưởng ban đầu là kiểm chứng sự đúng đắn thí nghiệm của Osborne Reynolds thực hiện năm 1883, bằng cách cho dòng chất lỏng chảy trong ống thẳng đứng. Mô hình này dùng làm đồ dùng học tập cho sinh viên, nhà trường không phải mất tiền để mua.

Tuy nhiên, mô hình này cũng có hạn chế: chưa thực hiện được đối với ống quan sát có đường kính và hình dạng khác nhau; chưa thí nghiệm được với nhiều loại chất lỏng; chưa kiểm chứng được hệ số Re khi thay đổi nhiệt độ của nước và khi thay đổi góc nghiêng so với phương ngang của ống quan sát.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Ngọc Ân và nnk. (2012). *Hướng dẫn thí nghiệm Cơ Lưu Chất*. NXB Đại học Quốc gia TP HCM.
- [2] Nguyễn Cảnh Cầm, Vũ Văn Tảo (2007). *Thủy Lực tập 1*. NXB Xây dựng.
- [3] Phùng Văn Khương và nnk. (2007). *Thủy lực cơ sở*. NXB Xây dựng.
- [4] Nguyễn Thanh Tùng (1981). *Thủy lực và cung cấp nước trong nông nghiệp*. NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp.