

KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN KHẢ NĂNG GIẢM LỰC CẢN CỦA DUNG DỊCH SURFACTANT

INVESTIGATE THE EFFECTS OF FACTORS TO THE DRAG REDUCTION OF SURFACTANT SOLUTION

Nguyễn Trọng Dũng^{1,*},
Nguyễn Văn Thành², Nguyễn Anh Tuấn¹

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu về ảnh hưởng của đường kính ống, nồng độ chất counter-ion và surfactant trong một số dung dịch chất hoạt động bề mặt surfactant với các nồng độ khác nhau khi dòng dung dịch chảy rối bên trong một đường ống tròn kín. Khi tăng nồng độ counter-ion giúp mở rộng miền giảm lực cản của dung dịch surfactant theo số Reynolds tới số Reynolds lớn hơn. Với dung dịch 800ppm_{x10}, khả năng giảm lực cản tăng lên đến số Reynolds khoảng 60000, mức tối đa công suất bơm của hệ thống thí nghiệm, và vẫn tiếp tục có xu hướng tăng nữa, trong khi dung dịch 800ppm_{x1} cho khả năng giảm lực cản chỉ tới số Reynolds khoảng 55000. Dung dịch có nồng độ surfactant cao hơn (800ppm_{x1}) cho phần trăm giảm lực cản cao hơn (cao nhất khoảng 39% ứng với số Reynolds khoảng 45000) và mở rộng miền giảm lực cản theo số Reynolds (tới số Reynolds lớn nhất khoảng 55000) so với dung dịch có nồng độ surfactant thấp hơn (500ppm_{x1}) với phần trăm giảm lực cản cao nhất khoảng 35% ứng với số Reynolds khoảng 40000, miền giảm lực cản tới số Reynolds lớn nhất khoảng 47000. Ống có đường kính 10mm cho khả năng giảm lực cản tốt hơn ống 40mm, lớn nhất đạt tới 60% ứng với số Reynolds khoảng 30000, trong khi ống đường kính 40mm chỉ đạt lớn nhất khoảng 40% ứng với số Reynolds khoảng 40000.

Từ khóa: Giảm lực cản, dòng chảy rối, surfactant, counter-ion, đường kính ống.

ABSTRACT

This paper investigates the effects of tube diameter, counter-ion and surfactant concentrations in a number of surfactant solutions at different concentrations when the solution flow is turbulent within a circular pipe private. Increasing the counter-ion concentration expands the region of drag reduction of the surfactant solution according to the Reynolds number to a larger Reynolds number. With 800ppm_{x10} solution, the reduction in drag increases to Reynolds number about 60000, the maximum pumped capacity of the test system, and continues to increase further, while the 800ppm_{x1} solution offers a reduced capacity. resistance up to Reynolds about 55000. Solutions with a higher concentration of surfactant (800ppm_{x1}) give a higher percentage of drag reduction (the highest is about 39% for Reynolds number about 45000) and expands the region of drag reduction of the surfactant solution according to the Reynolds number (up to a maximum Reynolds number about 55000) compared with a solution with lower surfactant concentration (500ppm_{x1}) with the highest percentage reduction of drag of about 35% corresponding to a Reynolds number of about 40000, the region of resistance to maximum Reynolds number 47000. Pipe diameter of 10mm provides better resistance reduction than 40mm tube, maximum is 60%, with Reynolds number about 30000, while 40mm pipe only reaches 40% maximum with Reynolds number about 40000.

Keywords: Drag reduction, turbulent flow, surfactant, counter-ion, pipe diameter.

¹Khoa Cơ khí, Đại học Thủy Lợi

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyentrongdung1302@tlu.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/01/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/3/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2021

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

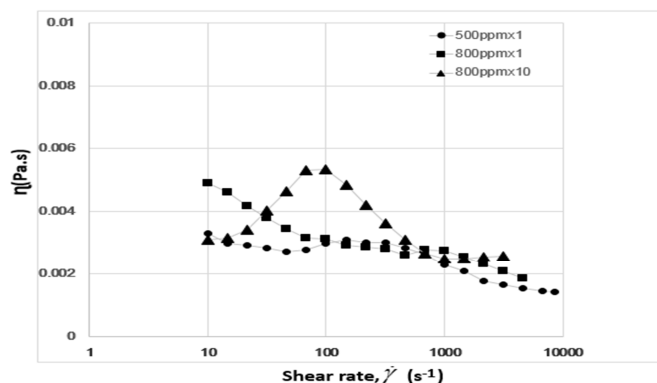
Giảm lực cản đã được biết đến từ những thế kỷ trước rằng với nồng độ nhỏ (vài $\mu\text{g/g}$) polyme hoặc chất phụ gia hoạt tính bề mặt trong dung dịch chất lỏng sẽ làm giảm lực cản dòng chảy rối trong đường ống so với một chất lỏng tinh khiết. Hiện tượng này lần đầu tiên được giới thiệu bởi Toms vào năm 1948, thu hút sự chú ý của nhiều nhà nghiên cứu từ những năm 1960. Sự quan tâm tới vấn đề và phạm vi nghiên cứu tăng lên không chỉ bởi tầm quan trọng của hiện tượng này trong lĩnh vực cơ học chất lỏng và lưu biến học, mà còn từ thực tế rằng ứng dụng của các chất phụ gia cho phép tiết kiệm đáng kể tiêu thụ năng lượng để vận chuyển chất lỏng [2]. Một số lượng lớn các bài báo đã xuất hiện mô tả các khía cạnh khác nhau của hiện tượng giảm lực cản. Virk đưa ra từ các thí nghiệm của mình một đường tiệm cận tối ưu của việc giảm lực cản tối đa được thể hiện bằng hàm của số Reynolds [3]. Giảm lực cản trong dòng chảy rối có thể cũng thu được bằng cách bổ sung sợi hóa học. Ứng dụng chính hiện tại của giảm lực cản là sự gia tăng tốc độ dòng chảy trong các đường ống dẫn dầu thô. Hơn nữa, phụ gia polyme ngăn ngừa tắc ứ trong cống rãnh bằng cách tăng tốc độ dòng chảy trong thời gian quá tải như mưa lớn. Một vấn đề của việc sử dụng các phụ gia polyme trong các mạch kín là sự suy thoái, tức là, các polyme bị mất thuộc tính giảm lực cản của chúng do sự thay đổi các thông số phân tử của chúng. Tuy nhiên, đối với các ứng dụng thực tế trong các mạch kín, như hệ thống sưởi trung tâm, làm mát và hệ thống điều hòa không khí, việc sử dụng

các chất hoạt động bề mặt có thể ngăn chặn sự xuống cấp này. Một số tác giả đã phát hiện ra rằng không có thoái hóa xảy ra trong khoảng thời gian dài trong các dung dịch chất hoạt động bề mặt. "Surfactant" là cách viết tắt tiện lợi của "chất hoạt động bề mặt". Trong số các chất hoạt động bề mặt được sử dụng để giảm lực cản, phải phân biệt giữa chất hoạt động bề mặt không ion, chất hoạt động bề mặt anion, và chất hoạt động bề mặt cation. Nhược điểm của chất hoạt động bề mặt anion, chủ yếu là muối của chất béo và axit, chúng tạo thành các muối không hòa tan với canxi và các ion magiê có trong nước máy và nước biển. Nhược điểm này được tránh bằng sự kết hợp của chất hoạt động bề mặt cation hexadecyltrimethylammonium bromide, thường được gọi là CTAB, và 1-naphthol. Như vậy, phụ gia thêm vào chất hoạt động bề mặt giúp tăng hiệu quả trong sử dụng để giảm lực cản [4]. Tuy nhiên, khả năng giảm lực cản của dung dịch surfactant chịu ảnh hưởng của rất nhiều yếu tố như: nồng độ surfactant, phụ gia, nhiệt độ dung dịch, đường kính ống,... Mục đích của nghiên cứu này là khảo sát thực nghiệm ảnh hưởng của nồng độ phụ gia counter-ion, surfactant và đường kính ống đến khả năng giảm lực cản của dung dịch surfactant đối với dòng chất lỏng chảy rối trong đường ống tròn kín.

2. THIẾT LẬP THÍ NGHIỆM

2.1. Dung dịch sử dụng trong thí nghiệm

Dung dịch thí nghiệm đã được sử dụng là hoạt chất bề mặt Surfactant, surfactant cation hexadecyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) được sản xuất bởi công ty Glentham (Đức). Counter-ion (Sodium salicylate - $C_7H_5NaO_3$) là sản phẩm của công ty DEAJUNG (Hàn Quốc). Trong nghiên cứu này, các dung dịch surfactant với nồng độ 500ppm và 800ppm kết hợp với counter-ion có nồng độ lần lượt gấp 1 và 10 lần theo phân tử Mol đã được sử dụng. Ký hiệu của các dung dịch thí nghiệm là 500ppmx1, 800ppmx1 và 800ppmx10. Các dung dịch surfactant được pha bằng nước máy từ nguồn cung cấp của thành phố đã được lọc sạch. Sau khi pha chế xong, các dung dịch thí nghiệm được giữ trong thời gian 24 giờ để đảm bảo cân bằng lí hóa trước khi sử dụng.



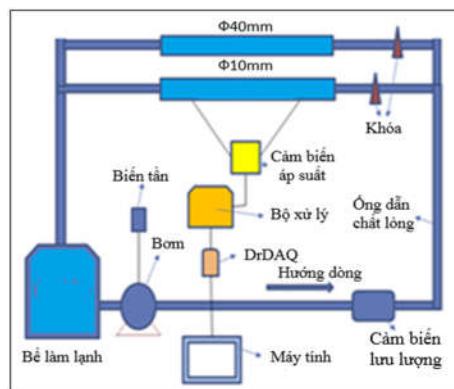
Hình 1. Độ nhớt trượt là hàm của tốc độ trượt

Độ nhớt trượt (shear viscosity) của các dung dịch thí nghiệm được đo bằng thiết bị 6152020 FR MMA đường kính nón 20mm. Độ nhớt của các dung dịch được biểu diễn

dưới dạng hàm của vận tốc trượt (hình 1) với nhiệt độ đo $20 \pm 1^\circ C$. Độ nhớt của các dung dịch surfactant-counterion 500ppmx1 và 800ppmx1 giảm dần khi tốc độ trượt tăng. Trong khi đó dung dịch 800ppmx10 với nồng độ counterion tăng lên 10 lần có sự tăng đột ngột trong khoảng tốc độ trượt từ 10 đến 1000 (s^{-1}). Điều này cho thấy nồng độ counter-ion có ảnh hưởng đến độ nhớt của các dung dịch và làm xuất hiện các đặc tính rheology bất thường trong các dung dịch thí nghiệm. Các đặc tính rheology bất thường xuất hiện trong dòng chảy dưới ảnh hưởng của trượt (shear) có thể ảnh hưởng đến khả năng giảm lực cản của các dung dịch surfactant.

2.2. Mô tả thí nghiệm

Hệ thống thí nghiệm được mô tả như trong hình 2. Dung dịch thí nghiệm được luân chuyển trong hệ thống bằng bơm EBARA (Nhật bản) có cột áp 15m, lưu lượng 13L/min, với nhiệt độ dung dịch là $20 \pm 2^\circ C$. Lưu lượng của dòng chảy qua ống thí nghiệm được đo bởi thiết bị đo dòng điện tử Keyence, model FD-M50L (Nhật Bản). Ống thí nghiệm là ống tròn có đường kính trong lần lượt là 40mm và 10mm, chiều dài tương ứng 6m và 2m. Hai đầu đo được đặt trên đường ống thí nghiệm sao cho đầu đo thứ nhất cách đầu ống >1,0m để tránh ảnh hưởng của lối vào lên kết quả đo, đầu đo thứ hai được đặt cách đầu đo thứ nhất $L = 0,5m$ hoặc $L = 1,2m$. Độ chênh lệch áp suất giữa hai đầu đo được đo bằng cảm biến áp suất (sensor) Validyne, model DP15-22 (Mỹ). Các cảm biến được kết nối với máy tính thông qua bộ xử lý dữ liệu DrDAQ sử dụng phần mềm Picolog6.



(a) Sơ đồ hệ thống



(b) Hình ảnh thực tế

Hình 2. Hệ thống thí nghiệm

2.3. Hệ số ma sát thành ống

Từ cơ sở lý thuyết, có thể nhận ra rằng giảm lực cản phụ thuộc vào hai yếu tố: Số Reynolds và hệ số ma sát. Số Reynolds được định nghĩa theo công thức [6]:

$$Re_w = \frac{V.D}{\nu_w} \tag{1}$$

Trong đó: ν_w - độ nhớt động học của nước, (m²/s); D - đường kính ống, (m); V - vận tốc trung bình, (m/s).

Hệ số ma sát λ được tính theo công thức:

$$\lambda = \frac{D}{L} \cdot \frac{2.\Delta p}{\rho.V^2} \tag{2}$$

Trong đó, Δp là độ chênh áp giữa hai điểm đo có khoảng cách L.

Ở vùng chảy tầng, dung dịch surfactant chưa cho thấy sự giảm hệ số ma sát, tại đây hệ số ma sát được xác định theo công thức [6]:

$$\lambda = \frac{64}{Re_w} \tag{3}$$

Tỉ lệ giảm lực cản với dòng trong ống chảy rối được tính theo phần trăm (%) như sau:

$$DR(\%) = \frac{\lambda_s - \lambda}{\lambda_s} \cdot 100 \tag{4}$$

Trong đó, λ_s và λ tương ứng là hệ số ma sát của nước và của dung dịch giảm lực cản.

Trong vùng chảy rối, hệ số ma sát của nước xác định theo công thức Blasius [5]:

$$\lambda = 0,3164Re^{-1/4} \tag{5}$$

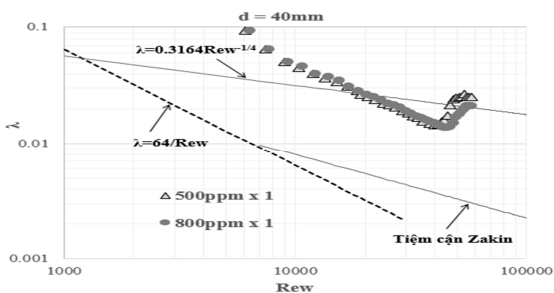
Zakin đã xây dựng đường tiệm cận giảm lực cản lớn nhất đối với dung dịch giảm lực cản surfactant [1]:

$$\lambda = 1,26Re^{-0,55} \tag{6}$$

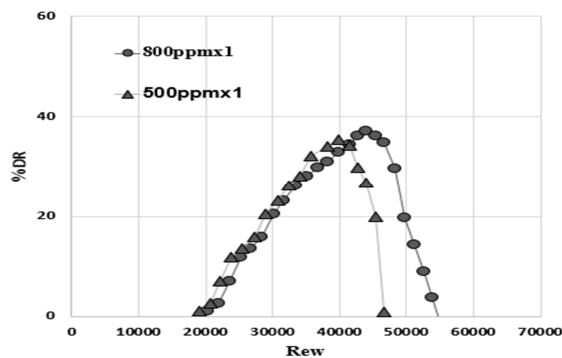
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ surfactant

Hình 3 cho thấy nồng độ surfactant trong dung dịch có ảnh hưởng đến khả năng giảm lực cản. Dung dịch có nồng độ surfactant cao hơn (800ppmx1) cho phần trăm giảm lực cản cao hơn (cao nhất khoảng 39% ứng với số Reynolds khoảng 45000) và có miền giảm lực cản rộng hơn theo số Reynolds (với số Reynolds lớn nhất khoảng 55000) so với dung dịch có nồng độ surfactant thấp hơn (500ppmx1) với phần trăm giảm lực cản cao nhất khoảng 35% ứng với số Reynolds khoảng 40000, miền giảm lực cản tới số Reynolds lớn nhất khoảng 47000.



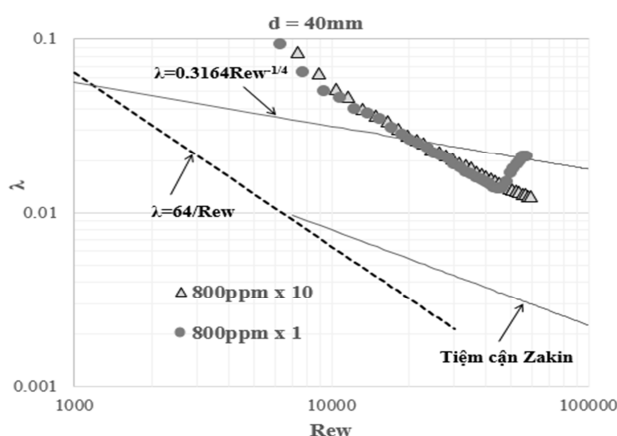
(a) Hệ số ma sát thành ống, d = 40mm



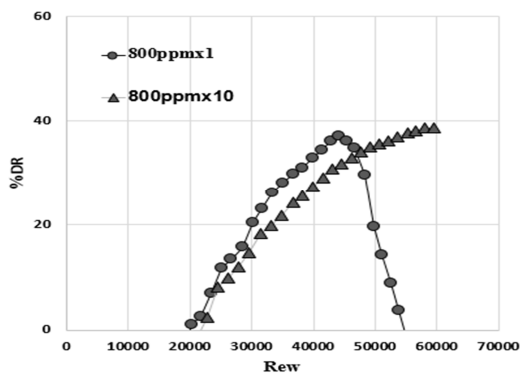
(b) Giảm lực cản DR (%)

Hình 3. Ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến khả năng giảm lực cản

3.2. Ảnh hưởng của nồng độ counter-ion



(a) Hệ số ma sát thành ống, d = 40mm

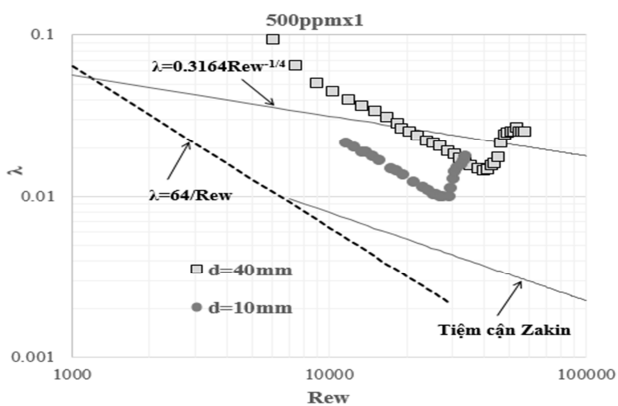


(b) Giảm lực cản DR (%)

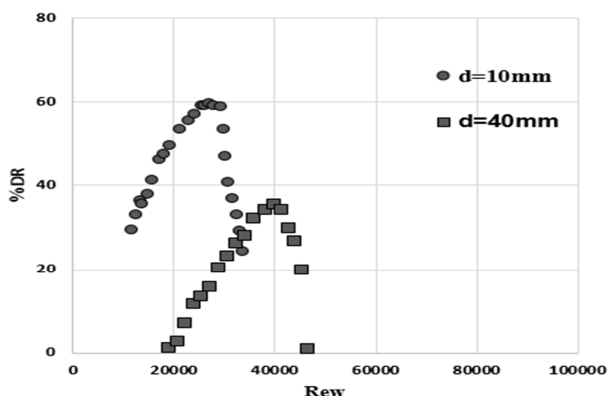
Hình 4. Ảnh hưởng của nồng độ counter-ion đến khả năng giảm lực cản

Hình 4 cho thấy ảnh hưởng của nồng độ counter-ion đến khả năng giảm lực cản của dung dịch surfactant khi tăng số Reynolds. Dung dịch surfactant chứa ít Counter-ion hơn (800ppmx1) cho khả năng giảm lực cản lớn nhất khoảng 39% ở số Reynolds khoảng 45000. Khi tiếp tục tăng số Reynolds thì hiện tượng giảm lực cản của dung dịch giảm dần, hệ số ma sát thành ống của dung dịch trở về gần với hệ số ma sát của nước (tới số Reynolds khoảng 55000). Tuy nhiên khi tăng nồng độ counter-ion lên gấp 10 lần, dung dịch 800ppmx10 vẫn cho thấy sự tăng khả năng giảm lực cản khi số Reynolds tăng lên trên 60000 và vẫn tiếp tục tăng khi hết công suất của bơm trong thí nghiệm.

3.3. Ảnh hưởng của đường kính ống



(a) Hệ số ma sát thành ống



(b) Giảm lực cản DR (%)

Hình 5. Ảnh hưởng của đường kính ống đến khả năng giảm lực cản

Hình 5 cho thấy ảnh hưởng của đường kính ống đến khả năng giảm lực cản của dung dịch surfactant. Cùng một số Reynolds nhưng ở đường kính ống khác nhau thì hệ số ma sát khác nhau. Ống đường kính $d = 10\text{mm}$ cho khả năng giảm lực cản lớn nhất là cao hơn so với ống có đường kính 40 mm khi khảo sát với dung dịch 500ppmx1. Ống có đường kính 10mm cho khả năng giảm lực cản lên đến trên 60% trong khi ống có đường kính 40mm chỉ đạt khoảng 35%. Tuy nhiên ống có đường kính 40mm có miền giảm lực cản lớn hơn (giảm lực cản tới số Reynolds lớn hơn). Như vậy, đối với dung dịch surfactant thì ống có đường kính nhỏ hơn cho khả năng giảm lực cản ở số Reynolds tối ưu là cao hơn so với ống có đường kính lớn hơn ở số Reynolds tối ưu, điều này ngược với dung dịch Polyme như kết quả nghiên cứu về giảm lực cản của M. Dugonik, D. Goricanec, J. krope tại Đại học Maribor Smetanova ul. 17 [2] sử dụng dung dịch Polymer Habon G solution, cho kết quả ống có đường kính lớn hơn giảm lực cản tốt hơn và có miền giảm lực cản rộng hơn theo số Reynolds so với ống có đường kính nhỏ hơn. Trên thực tế, các đường ống dẫn dầu thô có đường kính lớn người ta thường sử dụng các dung dịch Polyme. Vấn đề về đường kính ống hiện vẫn còn chưa được hiểu đầy đủ và vẫn cần tiếp tục nghiên cứu để làm rõ sự ảnh hưởng này để tìm ra quy luật hoặc công thức toán về khả năng giảm lực cản tối ưu với một đường kính ống bất kỳ của dung dịch surfactant và dung dịch Polyme.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy rằng khi sử dụng tổ hợp dung dịch surfactant và counterion làm giảm hệ số ma sát λ trong dòng chảy rối. Mức độ giảm ma sát hay còn gọi là giảm lực cản phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó có nồng độ counter-ion, surfactant và đường kính ống. Khi tăng nồng độ counter-ion giúp mở rộng miền giảm lực cản của dung dịch surfactant theo số Reynolds. Với dung dịch 800ppmx10, khả năng giảm lực cản tăng lên đến số Reynolds khoảng 60000, mức tối đa công suất bơm của hệ thống thí nghiệm, và vẫn tiếp tục có xu hướng tăng nữa, trong khi dung dịch 800ppmx1 cho khả năng giảm lực cản chỉ tới số Reynolds khoảng 55000. Dung dịch có nồng độ surfactant cao hơn (800ppmx1) cho phần trăm giảm lực cản cao hơn (cao nhất khoảng 39% ứng với số Reynolds khoảng 45000) và mở rộng miền giảm lực cản theo số Reynolds (tới số Reynolds lớn nhất khoảng 55000) so với dung dịch có nồng độ surfactant thấp hơn (500ppmx1) với phần trăm giảm lực cản cao nhất khoảng 35% ứng với số Reynolds khoảng 40000, miền giảm lực cản tới số Reynolds lớn nhất khoảng 47000. Ống có đường kính 10mm cho khả năng giảm lực cản tốt hơn ống 40mm, lớn nhất đạt tới 60% ứng với số Reynolds khoảng 30000, trong khi ống đường kính 40mm chỉ đạt lớn nhất khoảng 40% ứng với số Reynolds khoảng 40000.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J.L. Zakin, J. Myska, Z. Chara, 1996. *New limiting drag reduction and velocity profile asymptotes for nonpolymeric additives systems*. AIChE J., vol. 42, no. 12, pp. 3544–3546.
- [2]. M. Dugonik, D. Goricanec, J Krope, 2000. *Pressure Drop in Aqueous Surfactant Solution Flow through Pipes in SIS Structure Degradation Zone*. Faculty of Chemistry and Chemical Engineering University of Maribor Smetanova ul. 17, Maribor Slovenia
- [3]. K. Schmitt, P. O. Brunn, F. Durst, 1988. *Scaling-up correlations for drag-reducing surfactants*. in Progress and Trends in Rheology 2: Proceedings of the Second Conference of European Rheologists, Prague, June 17–20, 1986, edited by H. Gieskus et al. (Springer Verlag, Berlin).
- [4]. H.W. Bewersdorff, D. Ohlendorf, 1988. *The Behavior of Drag Reducing Cationic Surfactant Solutions*. Colloid and Polymer Science 226 (10), 941-953.
- [5]. Blasius H., 1913. *Das Ahnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorg angen in Flussigkeiten*. Forsch. Arb. Ing. 134.
- [6]. Thuy Loi University. *Bai giang Co hoc chat long*.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Trong Dung¹, Nguyen Van Thanh², Nguyen Anh Tuan¹

¹Faculty of Mechanical Engineering, Thuy Loi University

²Hanoi University Of Industry