

NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ GIẢM LỰC CẢN ĐỂ TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ CỦA TÒA NHÀ

Nguyễn Anh Tuấn¹

Tóm tắt: Khả năng giảm lực của hoạt chất bề mặt để tiết kiệm năng lượng của bơm trong một hệ thống tuần hoàn chất lỏng đã được nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. Công suất của bơm có thể giảm được tới 10% với nồng độ dung dịch 400ppm x10. Việc cho thêm một lượng chất hoạt động bề mặt surfactant gây ra sự giảm lực cản dòng chảy rối trong đường ống rất rõ rệt. Như vậy chất hoạt động bề mặt phù hợp với các hệ thống lưu thông chất lỏng như hệ thống sưởi ấm, hệ thống làm mát mà trong đó công suất bơm sử dụng lớn.

Từ khóa: Giảm lực cản, tiết kiệm năng lượng, chất hoạt động bề mặt.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Hiện tượng giảm lực cản nhận được rất nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu không chỉ vì các ứng dụng kỹ thuật tiềm năng của nó mà còn giúp để hiểu rõ các đặc tính cơ bản của chất lỏng, giúp làm sáng tỏ ứng xử rối của chất lỏng Newton. Các lĩnh vực ứng dụng chuyên biệt cho hiện tượng này có thể được tìm thấy trong lĩnh vực vận chuyển dầu thô trong đường ống (Burger), trong chữa cháy (Fabula 1971; Thorne), trong việc tăng tốc độ của tàu thuyền và tàu ngầm (Hoyt 1972), trong hệ thống cung cấp nước và tưới tiêu (Sellin 1982), trong việc vận chuyển thủy lực của các dạng huyền phù hạt rắn (Golda, Interthal 1984), và trong hệ thống tuần hoàn làm mát, sấy, sưởi ấm và điều hòa không khí (Sellin 1982). Một lĩnh vực khả thi khác là điều trị các bệnh về tuần hoàn máu (Greene, Hoyt 1971).

Giảm phát thải CO₂ để ngăn chặn sự nóng lên toàn cầu là nhiệm vụ của các quốc gia. Tuy nhiên, đó là gánh nặng để đạt được mục tiêu giảm sự phát thải CO₂. Giảm phát thải CO₂ bằng cách phát triển nghiên cứu và ứng dụng thực tế của công nghệ tiết kiệm năng lượng có một nhu cầu cấp thiết hiện nay. Tiết kiệm năng lượng bằng cách

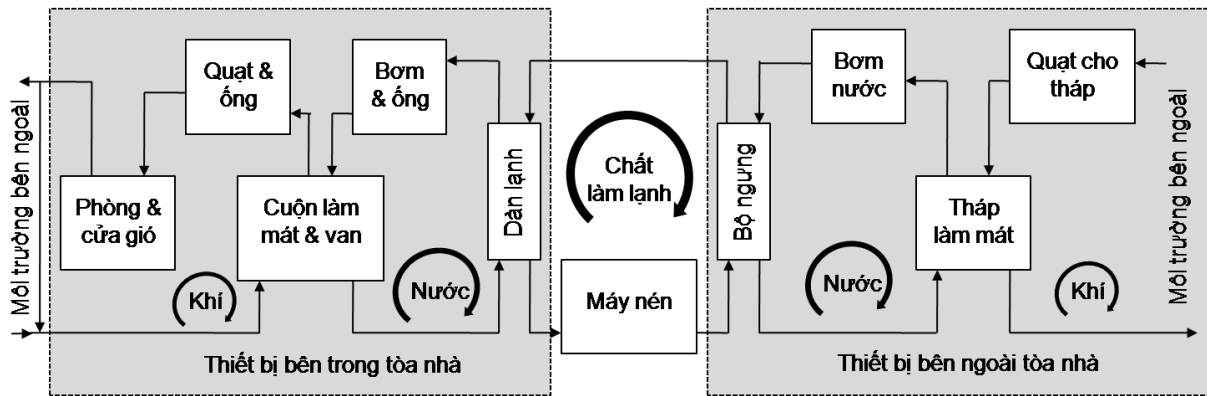
thêm một tác nhân để giảm công suất tiêu thụ trong quá trình vận chuyển chất lỏng là một đích đến quan trọng. Trong các tác nhân đó, chất hoạt động bề mặt surfactant được sử dụng trong các dung môi khác nhau là nguyên liệu quan trọng trong cuộc sống hàng ngày. Một trong những ứng dụng của nó là tiết kiệm năng lượng bằng cách thêm hoạt chất bề mặt để giảm công suất tuần hoàn chất làm lạnh. Đã có nhiều nỗ lực để hiện thực hóa cho một hệ thống điều hòa không khí.

Hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí, viết tắt HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) của một tòa nhà gồm có 3 hệ thống chức năng chính gồm: sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí có mối quan hệ với nhau (Hình 1). Trong trường hợp nước nóng hoặc hơi nước của hệ thống sưởi ấm, người ta sử dụng đường ống để vận chuyển nhiệt đến từng phòng của tòa nhà. Hầu hết hệ thống sưởi ấm nổi hơi nước hiện đại đều có một bộ tuần hoàn. Đó là máy bơm, dùng để vận chuyển nước nóng thông qua hệ thống phân phối. Nhiệt có thể được truyền đến không khí xung quanh bằng cách sử dụng bộ tản nhiệt, cuộn dây nước nóng (hydro-air), hoặc các bộ trao đổi nhiệt khác. Bộ tản nhiệt có thể được gắn trên trần nhà, tường hoặc lắp đặt trong sàn để tạo ra nhiệt sàn.

Năng lượng của máy bơm dùng để tuần hoàn

¹ Khoa Cơ khí, Trường Đại học Thủy lợi

thống HVAC để tiết kiệm năng lượng được thực hiện trong quy mô phòng thí nghiệm. Một mô hình mạch thí nghiệm được xây dựng để tính sơ bộ hiệu suất năng lượng của bơm được tiết kiệm khi sử dụng công nghệ là tác nhân chất hoạt tính bề mặt giảm lực cản surfactant trong dòng chảy rối.



Hình 1. Hệ thống điều hòa không khí trong một tòa nhà

dung dịch nước với dẫn xuất naphthaline tạo ra gel nhớt. Hỗn hợp CTAB-naphthol này hoạt động giống như một chất lỏng giảm lực cản đậm đặc và do đó không thể hiện ứng xử chuyển tiếp khi chuyển từ giai đoạn chảy tầng sang giai đoạn chảy rối (hỗn loạn). Nếu thêm huyền phù vào hỗn hợp này, thì cũng có thể làm giảm hệ số ma sát. Phép đo tán xạ neutron góc nhỏ (SANS), được thực hiện bằng dung dịch pha loãng của n-tetradecyltrimethylammonium bromide (TTAB) với natri-salicylat trong dòng chảy của ống và kênh cho thấy rằng các mixen tồn tại trên ứng suất cắt tới hạn của thành ống (Bewersdorf, 1986). Chất hoạt động bề mặt cation thể hiện một ưu điểm quan trọng so với chất hoạt động bề mặt anion là chúng không kết tủa khi có mặt các ion canxi. Mặt khác, chúng đắt hơn và ở trạng thái nước, và có bằng chứng về sự phân hủy hóa học sau vài ngày. Mặc dù ổn định về mặt cơ học, chúng không ổn định về mặt nhiệt do đó hạn chế phạm vi ứng dụng của chúng.

Các nghiên cứu về chất hoạt động bề mặt không ion làm chất phụ gia giảm lực cản hiệu quả

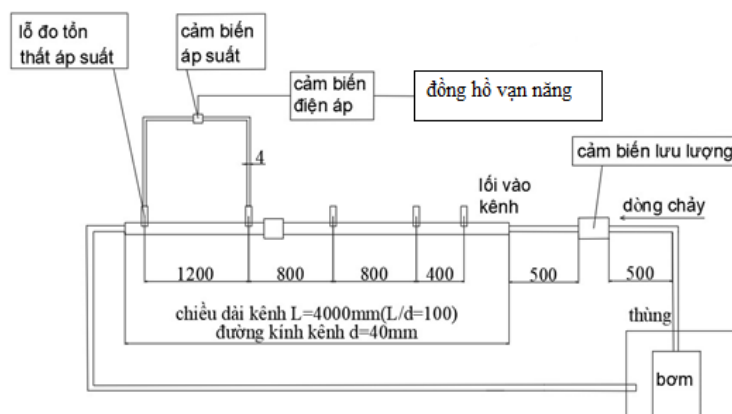
đã được công bố (Zakin 1972). Ông đã nghiên cứu các hiệu ứng khác nhau đối với ba chất hoạt động bề mặt không ion. Các chất hoạt động bề mặt này có giới hạn nhiệt độ cao hơn và giới hạn nhiệt độ thấp hơn đối với khả năng hòa tan trong nước và chứng minh các chất làm giảm lực cản hiệu quả gần nhiệt độ hòa tan tới hạn trên hoặc điểm vẩn đục của chúng. Điểm vẩn đục là điểm mà tại đó dung dịch của một tác nhân không ion trong nước trở nên đục khi nhiệt độ tăng lên.

Các chất hoạt động bề mặt không ion có lợi thế hơn tất cả các chất phụ gia giảm lực cản được nghiên cứu cho đến nay. Chúng ổn định cả về mặt cơ học và hóa học, không kết tủa khi có canxi, do đó có thể được sử dụng trong tất cả các vùng nước không tinh khiết, nước biển, nước lợ hoặc dung dịch nước muối đậm đặc. Chúng có tiềm năng tuyệt vời để giảm lực cản ở nhiệt độ cao.

2. MÔ TẢ HỆ THỐNG THỰC NGHIỆM VÀ DUNG DỊCH THÍ NGHIỆM

Dung dịch thí nghiệm đã được chuẩn bị là hoạt chất bề mặt Surfactant. Surfactant (trimethylammonium bromide) có khối lượng riêng bằng $M_s=160,1$ (gram) được sản xuất bởi công ty Glentham (Đức). Counter-ion (sodium salicylate) có khối lượng riêng $M_c=364,46$ (gram) là sản phẩm của công ty Deajung (Hàn Quốc). Trong nghiên cứu này, các tổ hợp surfactant với các nồng độ 200ppm và 400ppm kết hợp với counter-ion có nồng độ lần lượt gấp 10 lần theo phân tử Mol. đã được sử dụng. Ký hiệu của các tổ hợp dung dịch thí nghiệm lần lượt là 200ppm x10 và 400ppm x10. Các tổ hợp 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.

Hệ thống thực nghiệm



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thực nghiệm đo hệ số ma sát trong đường ống

Hệ thống thí nghiệm được bố trí như sơ đồ hình 2. Dung dịch thí nghiệm được luân chuyển trong hệ thống bằng bơm chìm Super Tecpon (Nhật bản) có cột áp 13m, lưu lượng 40 lít/phút, với nhiệt độ dung dịch được duy trì $20\pm 2^\circ\text{C}$. Lưu lượng của dòng chảy qua ống thí nghiệm được đo bằng cảm biến lưu lượng điện tử Keyence, model FD-MH500A (Nhật bản). Đường ống thí nghiệm

làm bằng vật liệu nhựa acrylic có đường kính trong 40mm. Hai cảm biến áp suất được đặt trên đường ống thí nghiệm với khoảng cách 2 điểm là $L = 1,2$ m. Độ chênh lệch áp suất giữa hai vị trí trên đường ống thí nghiệm được đo bằng cảm biến áp suất Validyne, model DP15-26 (Mỹ). Các cảm biến được kết nối với đồng hồ vạn năng (vôn kế). Tín hiệu thu được sẽ được đưa ra dưới dạng giá trị

điện áp (V) sẽ được quy đổi ra giá trị áp suất bằng cách nhân với hệ số quy đổi dựa theo tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất thiết bị cảm ứng đo áp suất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thảo luận về hệ số ma sát trong thành ống với các dung dịch khác nhau

Hệ số ma sát trong thành ống được xác định theo công thức

$$\lambda = \frac{2.\Delta p.D}{v^2.\rho.L}$$

Trong đó:

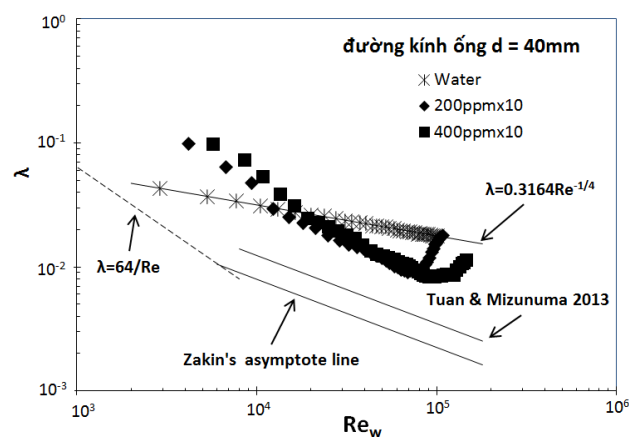
v – Vận tốc dòng chất lỏng trong đường ống (m/s)

ρ – Khối lượng riêng các dung dịch (lấy $\sim 998 \text{ kg/m}^3$)

D – Đường kính trong của ống (m)

Δp – Chênh lệch áp suất giữa hai điểm đo trên đường ống (bar)

L – Khoảng cách giữa hai điểm đo trên đường ống (m)

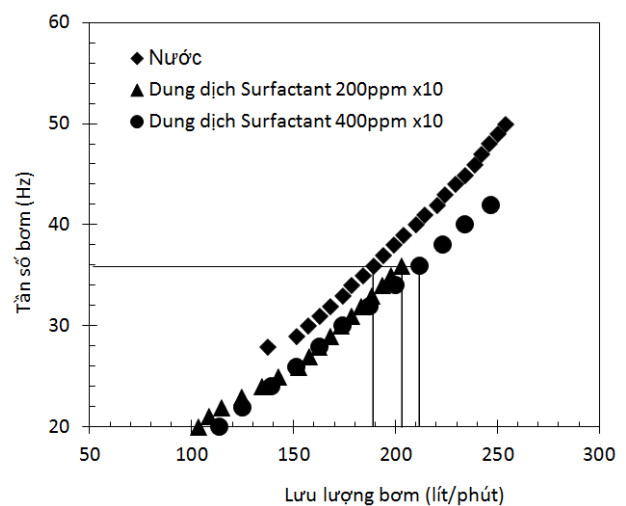


Hình 3. Mối quan hệ giữa hệ số ma sát thành ống và số Reynolds đối với các dung dịch thí nghiệm (nước, dung dịch surfactant 200ppm x10 và 400ppm x10)

Đồ thị hình 3 cho thấy hệ số ma sát của nước bám sát với đường lý thuyết của Blasius. Đối với 02 dung dịch surfactant 200ppm x 10 và 400ppm x10, hệ số ma sát thành ống của hai dung dịch này nhỏ hơn hệ số ma sát thành ống của nước khi số

Reynolds ≥ 20000 . Tuy nhiên ở số Reynolds = 100000 thì hệ số ma sát thành ống của dung dịch 200ppm x10 trở về bằng với hệ số ma sát thành ống của nước, và hệ số ma sát thành ống của dung dịch 400 ppm x10 vẫn thấp hơn so với nước. Với cùng số Reynolds hệ số ma sát thấp hơn của nước đã chứng tỏ các hoạt chất bề mặt của dung dịch 200ppm x10 và 400ppm x10 có tác dụng làm giảm lực cản và tăng tốc độ dòng chảy trong đường ống. Nghiên cứu cho thấy rằng khi sử dụng tổ hợp dung dịch surfactant và counterion làm giảm hệ số ma sát thành ống λ trong dòng chảy rối. Hiện tượng giảm lực cản này sẽ hứa hẹn giúp tiết kiệm năng lượng của bơm sẽ được thảo luận ở phần dưới đây.

3.2. Thảo luận về sự tiết kiệm năng lượng của bơm khi sử dụng tổ hợp hoạt chất giảm lực cản surfactant



Hình 4. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa tần số bơm với lưu lượng bơm

Hình 4 cho thấy khi chạy bơm với cùng tần số Hz, thì lưu lượng bơm sẽ khác nhau khi hoạt động với nước và các dung dịch surfactant với nồng độ khác nhau. Cụ thể, khi đặt cùng tần số của bơm là 36Hz, thì lưu lượng làm việc của bơm làm với nước là 190 lít/phút, với dung dịch surfactant 200ppm x10 là 200 lít/phút và dung dịch surfactant 400ppm x10 là 210 lít/phút. Rõ ràng khi

chạy bơm với cùng một tần số, khi cho chất hoạt động bề mặt surfactant vào nước thì lưu lượng của chất lỏng đã tăng hơn 5% với dung dịch 200ppm x10 và hơn 10% với dung dịch surfactant 400ppm x10. Gia số tăng lưu lượng có thể lớn hơn nữa nếu chạy bơm ở tần số cao hơn.

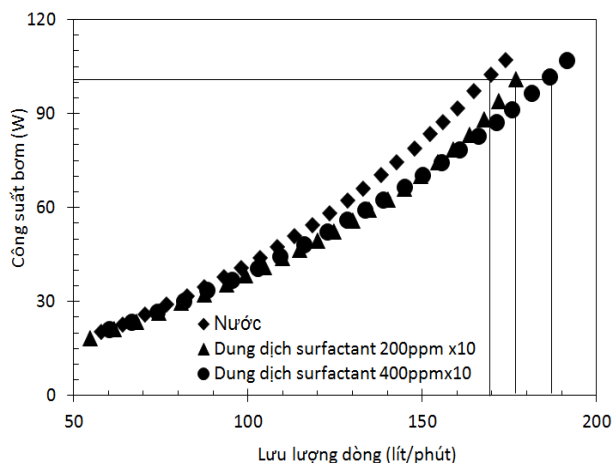
Để có bức tranh rõ hơn về hiệu quả giảm năng lượng của bơm khi sử dụng phụ gia giảm lực cản surfactant, chúng tôi sẽ ước lượng công suất của bơm khi hoạt động với nước và các dung dịch surfactant giảm lực cản.

Công suất của bơm có thể được ước tính theo công thức sau:

$$P = \frac{Q \times H \times g \times \rho}{\text{Hiệu suất bơm}}$$

Trong đó:

- Q là lưu lượng của bơm (m^3/s)
- H chiều cao cột áp (m)
- g là gia tốc trọng trường $g = 9,81(m/s^2)$
- ρ là khối lượng riêng của chất lỏng (kg/m^3)
- Hiệu suất bơm được lấy từ thông số của nhà sản xuất, khoảng 80%



Hình 5. Đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa công suất của bơm với lưu lượng

Để biểu thị mức độ tiết kiệm năng lượng của bơm khi sử dụng hoạt chất bề mặt surfactant giảm lực cản dòng chảy rồi, chúng tôi đã xây dựng đồ thị mối quan hệ giữa công suất của bơm với lưu lượng dòng để so sánh giữa nước và các dung dịch

giảm lực cản surfactant. Đồ thị hình 5 cho thấy với cùng một giá trị công suất bơm nhưng có sự khác nhau về lưu lượng dòng chất lỏng khi bơm hoạt động với công suất từ trên 50W. Cụ thể, tại cùng một công suất bơm 100W, lưu lượng của bơm với chất lỏng nước là 170 lít/phút, còn với chất lỏng dung dịch surfactant 200ppm x10 lưu lượng xấp xỉ 178 lít/phút, và với chất lỏng dung dịch surfactant 400ppm x10 lưu lượng xấp xỉ 188 lít/phút. Như vậy cùng một công suất tiêu thụ của bơm, khi sử dụng hoạt chất giảm lực cản surfactant thì đã làm tăng lưu lượng của dòng chảy tăng từ 5 đến 10% tùy theo nồng độ dung dịch giảm lực cản. Gia số tăng lưu lượng có thể lớn hơn nữa khi chạy bơm ở công suất lớn hơn.

4. KẾT LUẬN

Trong bất kỳ hệ thống bơm nào, vai trò của bơm là cung cấp đủ áp suất để vượt qua áp suất hoạt động của hệ thống để chất lỏng di chuyển với tốc độ dòng chảy cần thiết. Áp suất vận hành của hệ thống là một hàm của dòng chảy qua hệ thống và sự bố trí của hệ thống về chiều dài ống, phụ kiện, kích thước ống, sự thay đổi độ cao chất lỏng, áp suất trên bề mặt chất lỏng, v.v. Để đạt được một yêu cầu lưu lượng thông qua một hệ thống bơm, chúng ta cần tính toán áp suất hoạt động của hệ thống sẽ là bao nhiêu để chọn một máy bơm phù hợp. Việc thêm một lượng chất hoạt động bề mặt surfactant có thể tạo ra sự giảm lực cản dòng chảy rồi trong đường ống rất rõ rệt. Hiệu ứng giảm mật độ hỗn loạn có thể sử dụng để tăng tốc độ dòng chảy hoặc giảm đường kính ống và các kích thước của các thiết bị khác nhằm giảm mức tiêu thụ năng lượng của bơm. Chính vì thế chất hoạt động bề mặt phù hợp với các hệ thống lưu thông chất lỏng như hệ thống sưởi ấm, hệ thống làm mát,... trong đó công suất bơm sử dụng khá lớn. Tuy nhiên việc nghiên cứu vẫn cần được tiếp tục để hiểu đầy đủ về cơ chế của hiện tượng giảm lực cản này. Khi đó việc áp dụng vào hệ thống điều hòa không khí phức tạp trong các tòa nhà sẽ tránh được các rủi ro tiềm ẩn và tối ưu hóa được quá trình hoạt động của hệ thống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 107.03-2018.21

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bewersdorff, H.W. & Ohlendorf, D., "The behaviour of drag-reducing cationic surfactant solutions", Colloid Polym. Sci. 266 (10), 941–953 (1988)
- Fabula, G., "Fire-Fighting Benefits of Polymeric Friction Reduction", transactions of the ASME Journal of Basic Engineering, 93-453 (1971)
- Hoyt J. W., "The Effect of Additives on Fluid Friction", Trans.A.S.M.E. J. Basic Engg., 94, 258-285 (1972)
- Lu Lu, Wenjian Cai, Lihua Xie, Shujiang Li, Yeng Chai Soh, "HVAC system optimization in building section", Energy and Buildings 37 (2005) 11–22
- Nguyen Anh Tuan, Hiroshi Mizunuma, "High-shear drag reduction of surfactant solutions", Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 198 (Aug. 2013), 71–77
- Shenoy, A. V., "A Review of Drag Reduction with Special Reference to Micellar Systems", Colloid and Polymer Science, 262, 319-337 (1984)
- Sellin, R. H. J., Hoyt J. W. and Scrivener, "The Effect of Drag-Reducing Additives on Fluid Flows and Their Industrial Applications, Part I: Basic Aspects", J. Hydraulic Res., 20 29-68 (1982)
- Sellin, R. H. J., J. W. Hoyt, J. Pollert and Scrivener, "The Effect of Drag Reducing Additives as Fluid Flows and their Industrial Applications Part 2: Present Applications and Future Proposals", J. Hydraulic Res., 20, 235-292 (1982)
- Zakin J.L., Chiang J.L., "Non-ionic Surfactants as Drag Reducing Additives", Nature Physical Science volume 239, pages 26–28 (1972)

Abstract:

STUDYING DRAG REDUCTION TECHNOLOGY FOR SAVING ENERGY USING IN AN AIR CONDITIONING SYSTEM OF A BUILDING

The drag reduction ability of a surfactant solution for saving pump energy of a fluid recirculation system has been studied experimentally in the laboratory scale. Pump capacity can be increased by up to over 10% for the surfactant solution 400ppm x10. The addition of a small amount of surfactant additive causes a significant drag reduction in turbulence in turbulent pipe flow. Thus, surfactant additives are suitable for fluid circulation systems such as heating and cooling systems in which the pump capacity is large.

Keywords: Drag reduction, Saving Energy, Surfactant.

Ngày nhận bài: 10/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 03/3/2022