

NGHIÊN CỨU HIỆN TƯỢNG GIẢM LỰC CẢN SỬ DỤNG PHỤ GIA CÓ HOẠT TÍNH BỀ MẶT SURFACTANT VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA NÓ ĐẾN CỘT ÁP VÀ CÔNG SUẤT CỦA MÁY BƠM LY TÂM

Nguyễn Tường Vi^{1*}, Trần Anh Minh²

¹Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

²Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

*Tác giả liên hệ: Nguyễn Tường Vi, ntv@uneti.edu.vn

THÔNG TIN CHUNG

Ngày nhận bài: 26/10/2023

Ngày nhận bài sửa: 11/11/2023

Ngày duyệt đăng: 08/12/2023

TỪ KHOÁ

Giảm lực cản;

Máy bơm ly tâm;

Surfactant.

TÓM TẮT

Lực cản dòng chảy có thể giảm đáng kể khi thêm vào chất hoạt động bề mặt surfactant. Khi lực cản dòng chảy giảm làm cột áp và công suất trên trục của máy bơm cũng sẽ thay đổi. Trong nghiên cứu này, hiện tượng giảm lực cản trong đường ống sử dụng phụ gia giảm lực cản surfactant được khảo sát bằng thực nghiệm. Đồng thời các thông số của bơm ly tâm như cột áp và công suất cũng được đo bằng thực nghiệm với các dung dịch có chứa chất hoạt động bề mặt với nồng độ khác nhau là 200×10 ppm và 400×10 ppm. Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng khi sử dụng phụ gia surfactant thì lực cản dòng chảy giảm, cột áp của máy bơm tăng lên và công suất tiêu thụ trên trục được giảm xuống nhỏ hơn khi bơm nước máy thông thường.

1. GIỚI THIỆU

Khi thêm một lượng nhỏ chất phụ gia polyme hoặc chất có hoạt tính bề mặt surfactant có thể làm giảm đáng kể lực cản dòng chảy (Toms, 1948). Hiện tượng giảm lực cản dòng chảy rồi có thể được sử dụng để tăng lưu lượng hoặc giảm kích thước đường ống và công suất tiêu thụ của máy bơm. Virk đã báo cáo rằng, khả năng giảm lực cản có thể đạt tới 70% khi sử dụng chất giảm lực cản polymer (Virk, 1975). Tuy nhiên, phụ gia polyme bị thoái biến dưới tác dụng cơ học ví dụ như lực cắt khi chất lỏng vận chuyển qua bánh công tác của bơm ly tâm (Myska and Zakin, 1997). Mysel cũng đã quan sát được hiện tượng giảm lực cản của dòng chất lỏng chảy rồi khi nghiên cứu giảm lực cản sử dụng chất hoạt tính bề mặt surfactant (Mysels, 1971). Các kết quả thực nghiệm của Mysels đã

chỉ ra rằng surfactant có thể giảm lực cản lên đến 80%. Ưu điểm của chất giảm lực cản surfactant là khả năng tự sửa chữa sau khi bị phá vỡ bởi ứng suất trượt cao. Do vậy, surfactant có thể ứng dụng trong các hệ thống tuần hoàn kín như trong các hệ thống sưởi ấm và làm lạnh khu vực (District Heating and Cooling - DHC) của các tòa nhà, nhà máy. Ở các hệ thống đó, dòng chất lỏng được luân chuyển bằng các máy bơm ly tâm trong một chu trình kín. Do vậy, việc sử dụng các chất phụ gia giảm lực cản surfactant có thể giảm đáng kể công suất tiêu thụ của máy bơm.

Ảnh hưởng của chất hoạt động bề mặt đến khả năng làm việc của bơm cũng đã được nghiên cứu. Gasljevic và Matthys đã nghiên cứu thực nghiệm với hai máy bơm ly tâm có đường kính bánh công tác khác nhau cùng làm việc ở

tốc độ 3450 vòng/phút dùng để vận chuyển dung dịch giảm lực cản surfactant ion dương (Ethoquad T13-50 của Akzo Chemical) có NaSal là đối ion (nồng độ dung dịch từ 2000 ppm đến 4500 ppm) (Gasljevic and Matthys, 1992). Kết quả cho thấy rằng, đặc tính của cột áp-lưu lượng của máy bơm không bị ảnh hưởng đối với cả hai trường hợp bánh công tác khác nhau, tuy nhiên công suất yêu cầu giảm đến 10%. Ogata và Watanabe (Ogata and Watanabe, 2000; Ogata, Watanabe and Kimura, 2019) đã đề xuất phương pháp đo giảm lực cản trong máy bơm bằng cách đo mô men xoắn tác động lên bánh công tác khi thêm phụ gia surfactant (Ethoquad O/12 bởi Lion) với NaSal là đối ion vào chất lỏng vận chuyển. Phần trăm giảm lực cản tối đa là khoảng 30% khi số Reynold lớn hơn 3×10^5 . Điều này cho thấy việc bổ sung chất hoạt động bề mặt có thể cải thiện các đặc tính của máy bơm. Nhưng trong nghiên cứu này họ không đề cập đến ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến hiệu suất của máy bơm.

Trong nghiên cứu này, hiện tượng giảm lực cản trong ống với dung dịch surfactant có nồng độ khác nhau 200 ppm và 400 ppm được khảo sát. Đồng thời các đặc tính của máy bơm như cột áp, hiệu suất, công suất cũng được khảo sát để đánh giá ảnh hưởng của chất hoạt động bề mặt đến khả năng tiết kiệm năng lượng tiêu thụ.

2. CÁC VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

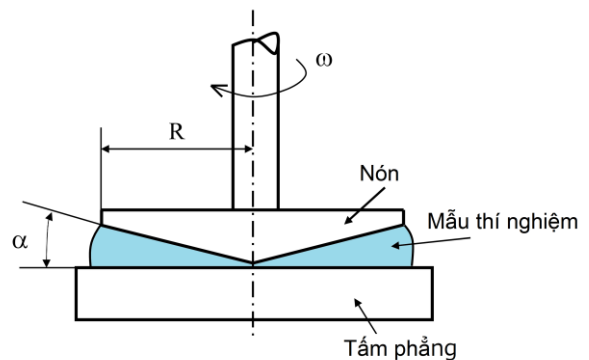
2.1. Vật liệu

Dung dịch surfactant được sử dụng làm chất phụ gia giảm lực cản là cetyltrimethylamonium bromide (CTAB) (Glenthams Life Sciences (England)) được trộn với chất chỉ thị counter-ion (đối ion) (NaSal, Sigma-Aldrich). Nồng độ CTAB được dùng trong thí nghiệm này là 200 ppm, 400 ppm. Surfactant và đối ion (counter-ion) được kết hợp theo tỷ lệ sau: nồng độ surfactant $\times$ số Mol phân tử (ví dụ 200 ppm $\times 10$; 400 ppm $\times 10$). Trong nghiên cứu này, tỷ lệ mol phân tử giữa đối ion NaSal và surfactant được chọn là 10. Chúng tôi chọn tỷ lệ này vì theo một số nghiên cứu (Anh Tuan and Mizunuma, 2013; Mizunuma, Nakamura and

Shimokasa, 2019) với tỷ lệ đối ion này dung dịch có tính đàn hồi nhớt thấp nhưng vẫn có khả năng giảm lực cản tốt. Hỗn hợp được hòa trong nước máy và chứa trong thùng 24 giờ để đảm bảo cân bằng lý hóa.

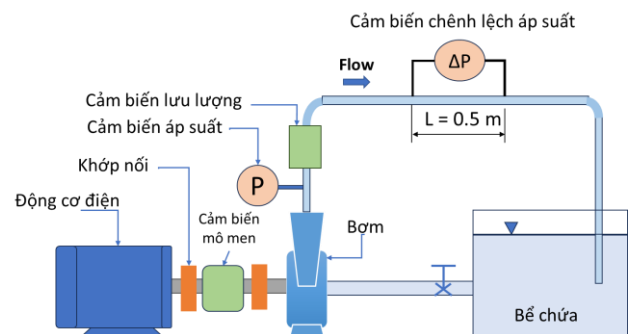
2.2. Đo độ nhớt trượt của dung dịch

Máy đo lưu biến kiểu quay với cảm biến kiểu nón – tấm phẳng (Discovery Hybrid HR-3, TA Instruments, USA) được sử dụng để đo độ nhớt trượt của các dung dịch thí nghiệm. Cảm biến được sử dụng là loại nón – tấm phẳng hình nón có đường kính 40 mm và góc nón là 1° (Hình 1). Tất cả các phép đo được thực hiện ba lần ở chế độ trượt ổn định trong phạm vi $0,01\text{--}1000\text{ s}^{-1}$ ở $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$. Trước khi đo độ nhớt của các dung dịch thí nghiệm, máy được hiệu chuẩn bằng cách đo độ nhớt trượt của nước khử ion.



Hình 1. Các thông số cơ bản của cảm biến đo độ nhớt kiểu nón – tấm phẳng

2.3. Đo cột áp, công suất trên trục của máy bơm

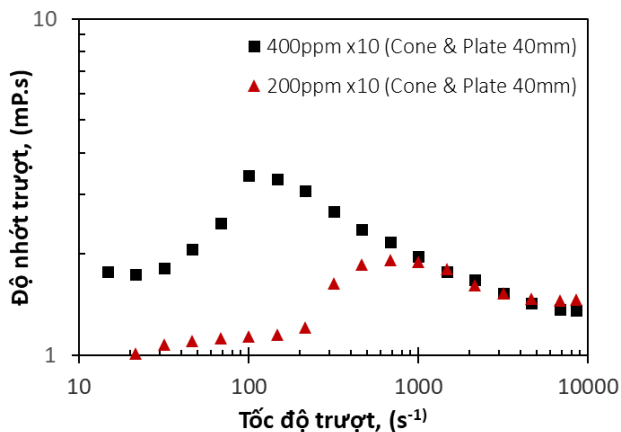


Hình 2. Hệ thống thí nghiệm đo giảm lực cản và các thông số của bơm

Cột áp và công suất trên trục của bơm ly tâm được đo bằng thực nghiệm khi hoạt động với nước máy và chất hoạt động bề mặt CTAB. Hệ thống thí nghiệm được thiết kế và bố trí như trong hình 2. Dung dịch được bơm bằng máy bơm ly tâm từ bể có dung tích 150 lít đi qua hệ thống đường ống rồi quay về bể. Bơm kiểm tra là bơm ly tâm một tầng 25SCD 6.25 (Obara Pump, Nhật Bản) với các thông số lưu lượng, cột áp và số vòng quay định mức tốc độ của máy bơm thử nghiệm là 13 L/ph, 14,5 m và 3600 vòng/phút. Cột áp của máy bơm được đo bằng đồng hồ đo áp (M5200, Sensys Korea), lưu lượng dòng chảy đo bằng cảm biến lưu lượng (FD-M 100, Keyence America), mô-men xoắn trên trục máy bơm được đo bằng bộ cảm biến mô men (ATO-TQS-D01, ATO China). Trong nghiên cứu này chúng tôi khảo sát hiện tượng giảm lực cản trong đường ống acrylic có đường kính trong 17mm. Trên đường ống, các đầu đo áp suất được thiết kế để lắp bộ cảm biến chênh lệch áp suất (DP15 – Valydine, USA). Ngoài ra tốc độ của động cơ điện dẫn động bơm được điều chỉnh bằng biến tần (Mitsubishi FR-E520-0.75K, Japan). Tốc độ quay 2350 vòng/phút cũng được chọn để khảo sát ảnh hưởng của tốc độ quay của bánh công tác đến hiệu suất của bơm ly tâm. Công suất trục được ước tính bằng mô-men xoắn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Độ nhớt trượt của dung dịch



Hình 3. Độ nhớt trượt theo vận tốc trượt của dung dịch surfactant

Hình 3 mô tả mối quan hệ giữa độ nhớt trượt của dung dịch surfactant 200 ppm $\times 10$ và 400 ppm $\times 10$ và tốc độ trượt. Đối với dung dịch surfactant 400 ppm $\times 10$, khi tốc độ trượt tăng thì độ nhớt trượt tăng và đạt giá trị lớn nhất ở tốc độ trượt khoảng $100 s^{-1}$. Hiện tượng tăng đột ngột của độ nhớt của dung dịch này xảy ra trong phạm vi tốc độ trượt khoảng $(60 \div 100 s^{-1})$. Sau khi đạt giá trị lớn nhất thì độ nhớt giảm dần. Đối với dung dịch 200 ppm $\times 10$, độ nhớt trượt đạt giá trị lớn nhất khi tốc độ trượt ở giá trị khoảng $800 s^{-1}$. Độ nhớt của dung dịch 200 ppm $\times 10$ tăng đột biến trong khoảng tốc độ trượt $(200 \div 800 s^{-1})$. Sau đó độ nhớt giảm dần khi tốc độ trượt tăng. Tại giá trị tốc độ trượt rất cao, độ nhớt của các dung dịch gần tiệm cận với độ nhớt của nước. Nói chung, đối với cả hai nồng độ dung dịch 200 ppm $\times 10$ và 400 ppm $\times 10$, khi tốc độ trượt tăng từ giá trị ban đầu đến giá trị tới hạn, dung dịch nào có nồng độ lớn hơn thì độ nhớt cao hơn và giá trị tới hạn của tốc độ trượt nhỏ hơn dung dịch có nồng độ surfactant thấp. Cả hai nồng độ surfactant trên đều thể hiện hiện tượng độ nhớt tăng đột ngột (shear thickening) khi tốc độ trượt đạt đến giá trị tới hạn. Rất nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, với các dung dịch có hiện tượng này có khả năng giảm lực cản mạnh (Boltenhagen *et al.*, 1997; Hu *et al.*, 1998; Štern and Myška, 2001). Nguyên nhân của hiện tượng này được cho là do sự hình thành các cấu trúc dạng gel dưới tác dụng của ứng suất trượt (Shear Induced Structures - SIS). Do sự xuất hiện của các cấu trúc SIS này sẽ dập các xoáy rối và làm tăng hóa dòng chảy, qua đó lực cản dòng chảy bị giảm xuống dẫn đến tốc độ dòng chảy được tăng lên. Sau khi hiện tượng tăng độ nhớt đột ngột (shear-thickening) xảy ra tại tốc độ trượt tới hạn thì độ nhớt của dung dịch lại giảm dần khi tốc độ trượt tăng (shear thinning behavior).

3.2. Hiện tượng giảm lực cản trong đường ống của dung dịch surfactant

Savins (Savins, 1964) là người đầu tiên sử dụng cụm từ “giảm lực cản - Drag Reduction”. Hệ số lực cản DR là tỷ số giữa gradient áp suất

của dung dịch giảm lực cản (dung môi hòa tan đã được thêm chất phụ gia giảm lực cản) với gradient áp suất của dung môi hòa tan (solvent) tại cùng một lưu lượng trong cùng một loại ống.

$$D_R = \frac{\Delta p}{\Delta p_s} \quad (1)$$

Trong đó Δp và Δp_s tương ứng là các gradient áp suất của dung dịch giảm lực cản và dung môi hòa tan.

Với dòng trong ống tiết diện tròn chảy rối, giảm lực cản thường được tính theo phần trăm (%) như sau:

$$DR\% = \frac{f_s - f}{f_s} \cdot 100 \quad (2)$$

Trong đó f_s và f tương ứng là hệ số ma sát của môi chất hòa tan và của dung dịch giảm lực cản. Hệ số ma sát được xác định theo công thức sau:

$$f = \frac{D \Delta p}{2L \rho V^2} \quad (3)$$

Trong đó với D là đường kính ống, ρ là tỉ trọng của dung dịch, V là vận tốc của dung dịch trong ống và L là chiều dài đoạn ống xác định gradient áp suất (tổn thất suất trên chiều dài ống).

Virk et al. (Virk, 1971) đã đưa ra phương trình tiệm cận giảm lực cản lớn nhất (Maximum Drag Reduction Asymptote – MDRA) bằng việc xây dựng mối tương quan các số liệu dòng chảy cho các dung dịch polymer khác nhau. Khái niệm MDRA đã được các nhà nghiên cứu giảm lực cản sử dụng và được gọi là tiệm cận giảm lực cản lớn nhất Virk. Các dung dịch polymer hòa tan khác nhau đòi hỏi các nồng độ polymer khác nhau để đạt đến tiệm cận. Phương trình đó là:

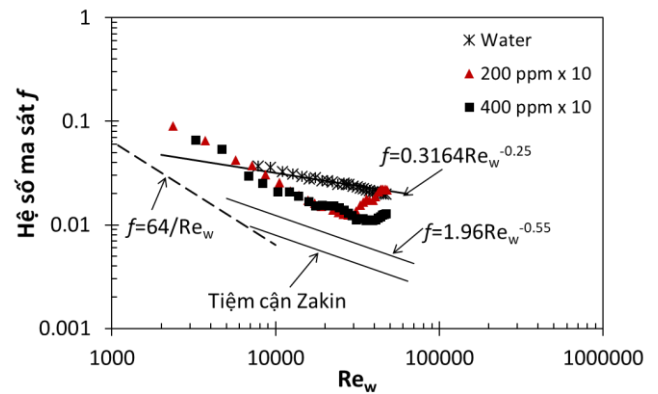
$$1/f^{1/2} = 19 \log_{10}(Re f^{1/2}) - 32,4 \quad (4)$$

Hoặc

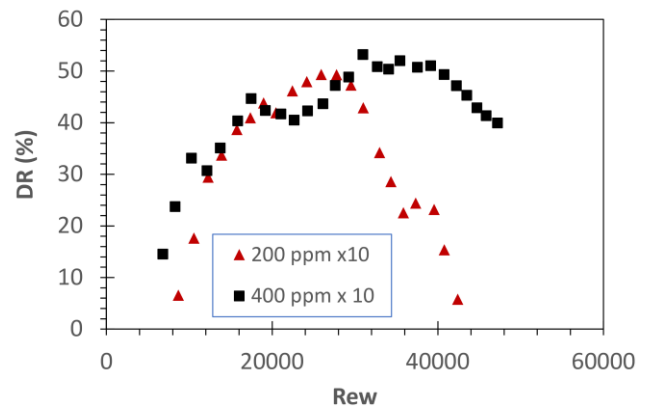
$$f \approx 0,58 Re^{-0,58} \quad (4000 \leq Re \leq 40000) \quad (5)$$

Đối với các phụ gia giảm lực cản surfactant, hệ số ma sát có thể thấp hơn so với tiệm cận của Virk. Dựa trên các số liệu đối với chất giảm lực cản surfactant trong môi trường nước và muối nhôm trong môi trường hydrocacbon, Zakin đã đề xuất một tiệm cận mới cho các phụ gia giảm lực cản surfactant (Zakin, Myska and Chara, 1996):

$$f = 0,32 Re^{-0,55} \quad (6)$$



Hình 4. Hệ số ma sát của dòng chảy khi vận chuyển trong đường ống có đường kính trong 17 mm

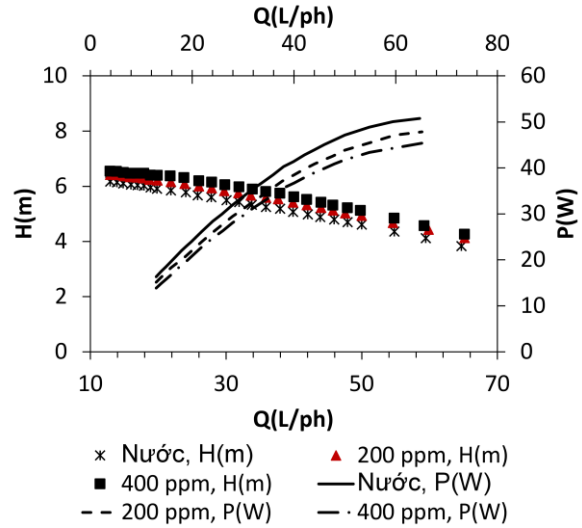


Hình 5. Tỷ lệ giảm lực cản với các dung dịch surfactant có nồng độ khác nhau

Các dung dịch chất hoạt động bề mặt trong nước có thể tạo thành các mixen dạng sâu (Lindman and Wennerstrom, 1980). Khi so sánh với khả năng giảm lực cản với chất lỏng Newton trong dòng chảy rối ở cùng lưu lượng, sự có mặt của các các mixen này làm giảm đáng kể lực cản dòng chảy. Hình 4 mô tả hệ số ma sát

đường ống f theo số Reynolds đối với nước và các dung dịch surfactant có nồng độ khác nhau. Kết quả cho thấy hệ số ma sát của ống chịu ảnh hưởng đáng kể của nồng độ surfactant. Ảnh hưởng của dung dịch mixen hóa đến hệ số ma sát có thể được mô tả như sau: Thứ nhất là vùng chảy tầng ($Re < 2300$). Khi nồng độ surfactant tăng lên, dung dịch chất hoạt động bề mặt surfactant làm tăng hệ số ma sát. Lúc này ta có thể thấy hệ số ma sát của dung dịch surfactant lớn hơn so với của nước. Vùng thứ hai là vùng chảy rối ($2300 < Re < 10000$), các đường cong ma sát song song với tiệm cận giảm lực cản của Zakin (Zakin, Myska and Chara, 1996). Trong vùng này, sự giảm hệ số ma sát từ công thức Blasius tăng lên theo số Reynolds. Ở cuối vùng chảy rối, sự giảm lực cản vẫn xảy ra trong phạm vi thử nghiệm của chúng tôi (số Reynolds tối đa trong thử nghiệm của chúng tôi là 60000). Tốc độ giảm lực cản của dung dịch chất hoạt động bề mặt 200 ppm $\times 10$ và 400 ppm $\times 10$ cũng được tính toán theo công thức (3) để làm rõ ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến hệ số ma sát f . Trong thí nghiệm của chúng tôi, giá trị lớn nhất có thể đạt được là khoảng 52% (Hình 5). Sự gia tăng của tốc độ giảm lực cản DR được quy cho là sự gia tăng của các phân tử phụ gia liên kết trong quá trình giảm lực cản xảy ra khi tăng nồng độ surfactant. Khi tổn thất dòng chảy trên đường ống được giảm xuống thì lưu lượng vận chuyển cũng sẽ được tăng lên và công suất tiêu thụ của máy bơm sẽ được giảm xuống. Trong các phần tiếp theo, ảnh hưởng của chất hoạt động bề mặt surfactant đến các thông số đặc tính cũng như chế độ làm việc của máy bơm sẽ được thảo luận.

3.3. Ảnh hưởng của surfactant đến cột áp và công suất trên trục của máy bơm



Hình 6. Ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến cột áp và công suất máy bơm

Dung dịch hoạt động bề mặt với nồng độ khác nhau là 200 ppm, 400 ppm được luân chuyển trong hệ thống với tốc độ quay của bánh công tác máy bơm là 2350 vòng/phút. Các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ ở 25 ± 2 °C để nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến thông số cột áp H , công suất P và hệ số cột áp η_p của máy bơm (Hình 6).

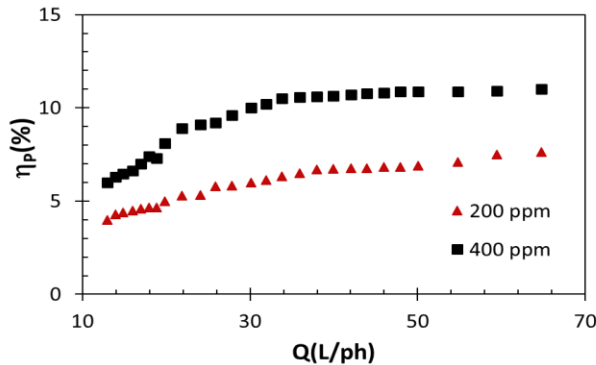
Hình 6 cho thấy tổng cột áp máy bơm đối với các trường hợp dung dịch surfactant cao hơn so với trường hợp nước máy ở cùng lưu lượng và khi nồng độ chất hoạt động bề mặt tăng lên thì cột áp cũng tăng. Đối với máy bơm, công suất trên trục cũng là một thông số quan trọng. Kết quả thực nghiệm ở trên cho thấy rằng công suất trên trục cho các dung dịch 200 ppm và 400 ppm giảm đáng kể ở cùng lưu lượng trong toàn bộ phạm vi lưu lượng làm việc (Hình 6).

Để thấy rõ ảnh hưởng của nồng độ đến tổng cột áp của bơm, chúng tôi đã khảo sát hệ số không thứ nguyên của cột áp η_p :

$$\eta_p = \frac{H_s - H_N}{H_N} 100\% \quad (7)$$

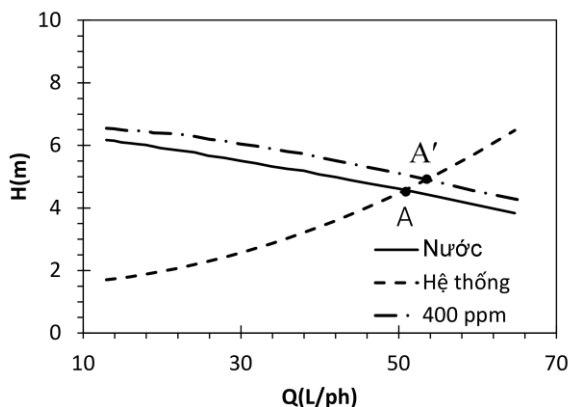
Trong đó H_N và H_s là tổng cột áp của máy bơm với dung dịch nước máy và dung dịch có surfactant.

Hệ số cột áp η_p tăng lên khi nồng độ dung dịch hoạt động bề mặt tăng lên (hình 7). Như vậy rõ ràng khi thêm phụ gia giảm lực cản cột áp của máy bơm tăng ở cùng tốc độ dòng chảy.



Hình 7. Ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến hệ số cột áp máy bơm

3.4. Sự thay đổi điểm làm việc của máy bơm



Hình 8. Ảnh hưởng của nồng độ surfactant đến điểm làm việc máy bơm

Hình 8 thể hiện mối quan hệ giữa cột áp máy bơm và cột áp hệ thống đối với nước máy và dung dịch hoạt động bề mặt 400 ppm ở nhiệt độ $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Do giảm tổn thất áp suất, đường cong cột áp hệ thống của máy bơm đối với dung dịch hoạt động bề mặt 400 ppm giảm so với trường hợp nước máy. Sự giảm cột áp này đã từng được đề cập bởi Zakín (Chara *et al.*, 1993). Kết quả thí nghiệm của nhóm nghiên cứu này cho thấy rằng tổn thất áp lực được giảm khi số $Re_w > 2300$. Bên cạnh đó, khả năng giảm lực cản tăng lên khi nồng độ dung dịch surfactant tăng.

Có thể thấy rằng tổng cột áp bơm tăng lên cho dung dịch hoạt động bề mặt 400 ppm, như được thể hiện trong hình 8. Và trạng thái chạy (A) cho trường hợp nước máy chuyển sang trạng thái chạy mới (A') cho trường hợp dung dịch hoạt động bề mặt. Tỷ lệ giảm tổn thất áp suất ΔH và tốc độ tăng tốc độ dòng chảy ΔQ lần lượt là 5.1% và 10.2%. Như vậy, khi thêm vào dòng chảy chất hoạt động bề mặt, máy bơm hoạt động ở điểm làm việc có lợi hơn. Điều này rất có ý nghĩa trong việc tiết kiệm năng lượng của hệ thống sử dụng máy bơm ly tâm.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, thông số cột áp và công suất trên trục của máy bơm ly tâm được đo bằng thực nghiệm khi hoạt động với nước máy và dung dịch có chứa phụ gia giảm lực cản surfactant. Ngoài ra, hiệu quả giảm lực cản của chất phụ gia trong đường ống cũng được chúng tôi nghiên cứu. Bằng việc phân tích ảnh hưởng của phụ gia surfactant đến cột áp, công suất và sự thay đổi điểm làm việc của máy bơm trong hệ thống, chúng tôi rút ra những điều kết luận sau: Dung dịch surfactant có thể giúp giảm lực cản khi chất lỏng vận chuyển trong đường ống, nồng độ phụ gia tăng thì khả năng giảm lực cản tăng; Tổng cột áp bơm tăng và công suất trên trục giảm khi nồng độ dung dịch chất hoạt động bề mặt tăng. Như vậy bằng việc sử dụng surfactant chúng ta có thể cải thiện điểm làm việc của máy bơm theo hướng có lợi qua đó giảm chi phí đầu tư ban đầu của hệ thống.

Kết quả của nghiên cứu bước đầu đã cho thấy sự giảm công suất tiêu thụ của bơm khi sử dụng các phụ gia giảm lực cản. Nghiên cứu này là tiền đề cho các nghiên cứu tiếp theo để góp phần ứng dụng phụ gia giảm lực cản trong các hệ thống công nghiệp như hệ thống làm lạnh hoặc làm nóng tuần hoàn kín sử dụng máy bơm ly tâm. Thông qua đó có thể giảm được chi phí đầu tư ban đầu.

Tuy nhiên, nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở quy mô nhỏ (small scale). Để hoàn thiện việc ứng dụng cần phải kiểm chứng ở các quy mô

lớn hơn (large scale) và ở tốc độ dòng lớn hơn (số Re lớn hơn) trước khi áp dụng thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Anh Tuan, N. and Mizunuma, H. (2013) 'Advection of shear-induced surfactant threads and turbulent drag reduction', *Journal of Rheology*, 57(6), pp. 1819–1832. doi: 10.1122/1.4826543.
- Boltenhagen, P. *et al.* (1997) 'Inhomogeneous structure formation and shear-thickening in worm-like micellar solutions', *Europhysics Letters*, 38(5), pp. 389–394. doi: 10.1209/epl/i1997-00256-8.
- Chara, Z. *et al.* (1993) 'Turbulence measurements of drag reducing surfactant systems', *Experiments in Fluids*, 16, pp. 36–41. doi: DOI:10.1007/BF00188503.
- Gasljevic, K. and Matthys, E. F. (1992) 'Effect of drag-reducing surfactant solutions on centrifugal pumps performance', *American Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanics Division, AMD*, 153, pp. 49–56. doi: DOI: 10.1115/1.2201643.
- Hu, Y. T. *et al.* (1998) 'Shear thickening in low-concentration solutions of wormlike micelles. II. Slip, fracture, and stability of the shear-induced phase', *Journal of Rheology*, 42(5), pp. 1209–1226. doi: 10.1122/1.550917.
- Lindman, B. and Wennerstrom, H. (1980) 'Micelles Amphiphile Aggregation in Aqueous Solution', *Micelles*. doi: 10.1007/bfb0048487.
- Mizunuma, H., Nakamura, S. and Shimokasa, K. (2019) 'An anomalous curved jet emerging from laminar Poiseuille flow (gel-like behavior and breakdown of transparent shear-induced structures in dilute cationic surfactant solutions)', *Journal of Rheology*, 63(4), pp. 693–704. doi: 10.1122/1.5099644.
- Mysels, K. J. (1971) 'Early Experiences with Viscous Drag Reduction', *AIChE Chemical Engineering Progress Symposium Series III*, pp. 45–49.
- Myska, J. and Zakin, J. L. (1997) 'Differences in the Flow Behaviors of Polymeric and Cationic Surfactant Drag-Reducing Additives', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 36(12), pp. 5483–5487. doi: 10.1021/ie9703245.
- Ogata, S. and Watanabe, K. (2000) 'Flow characteristics of a rotating disk in surfactant solutions', *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, pp. 41–47. doi: 10.1115/IMECE2000-2706.
- Ogata, S., Watanabe, K. and Kimura, A. (2019) 'Effect of surfactant additives on centrifugal pump performance', in *ASME International Mechanical Engineering Congress Washington, D.C., November 16–21, 200*, pp. 1–6.
- Savins, J. G. (1964) 'Drag Reduction Characteristics of Solutions of Macromolecules In Turbulent Pipe Flow', *Society of Petroleum Engineers Journal*, 4(03), pp. 203–214. doi: 10.2118/867-PA.
- Štern, P. and Myška, J. (2001) 'Viscous and elastic properties of a cationic and a zwitterionic drag reducing surfactant', *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 183–185, pp. 527–531. doi: 10.1016/S0927-7757(01)00497-6.
- Toms, B. A. (1948) 'Some observations on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds numbers', *Proceedings of the 1st International Congress on Rheology*, 2, pp. 135–141.
- Virk, P. S. (1971) 'An elastic sublayer model for drag reduction by dilute solutions of linear macromolecules', *Journal of Fluid Mechanics*, 45(3), pp. 417–440. doi: 10.1017/S0022112071000120.
- Virk, P. S. (1975) 'Drag reduction

- fundamentals', *AIChE Journal*, 21(4), pp. 625–656. doi: 10.1002/aic.690210402.
- Zakin, J. L., Myska, J. and Chara, Z. (1996) 'New Limiting Drag Reduction and Velocity Profile Asymptotes for Nonpolymeric Additives Systems', *AIChE Journal*, pp. 3544–3546. doi: 10.1002/aic.690421223.

STUDY ON THE SURFACTANT DRAG REDUCTION PHENOMENON AND ITS EFFECT ON THE HEAD AND POWER OF THE CENTRIFUGAL PUMP

Nguyen Tuong Vi^{1*}, Tran Anh Minh²

¹University of Economics - Technology for Industries

²Dong Nai Technology University

* Corresponding author: Nguyen Tuong Vi, ntv@uneti.edu.vn

GENERAL INFORMATION

Received date: 26/10/2023

Revised date: 11/11/2023

Published date: 08/12/2023

KEYWORD

Reduced drag;

Centrifugal pumps;

Surfactant.

ABSTRACT

Flow resistance can be significantly reduced by adding a surfactant to the flow. As the flow resistance decreases, the head and shaft power would also change. In this study, the phenomenon of reducing drag in pipelines using surfactant additives was investigated experimentally. Simultaneously, the centrifugal pump parameters such as head and capacity were also experimentally measured with solutions containing surfactants with different concentrations of 200×10 ppm and 400×10 . Experimental results showed that the total head of the pump for a surfactant solution is higher than when working with tap water; the efficiency of the pump for surfactant solutions also increases, but the shaft power for surfactant solutions decreases compared to tap water.