

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9731:2013

Xuất bản lần 1

**BƠM LY TÂM VẬN CHUYỂN CHẤT LỎNG NHỚT –
HIỆU CHỈNH TÍNH NĂNG**

Centrifugal pumps handling viscous liquids –

Performance corrections

HÀ NỘI – 2013

Lời nói đầu

TCVN 9731:2013 được biên soạn trên cơ sở ISO/TR 17766:2005.

TCVN 9731:2013 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC 131 *Hệ thống truyền dẫn chất lỏng* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bơm ly tâm vận chuyển chất lỏng nhớt – Hiệu chỉnh tính năng

Centrifugal pumps handling viscous liquids – Performance correction

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các hiệu chỉnh tính năng cho bơm ly tâm và bơm trục đứng thiết kế thông thường, ở chế độ vận hành bình thường, có các bánh công tác hở hoặc kín, một hoặc hai cửa hút, dùng để bơm chất lỏng Newton.

2 Ký hiệu và thuật ngữ viết tắt

Danh mục các ký hiệu và định nghĩa sử dụng trong tiêu chuẩn này được đưa ra dưới đây¹⁾.

A	= Biến số hình học của cửa hút được sử dụng trong tính toán để hiệu chỉnh cột áp hút thực được yêu cầu ở ống hút.
B	= Thông số được sử dụng trong quy trình hiệu chỉnh độ nhớt; Thông số B được sử dụng như là số Reynolds của bơm đã tiêu chuẩn hóa và để hiệu chỉnh độ chính xác tốc độ đặc trưng của bơm.
BEP	= Điểm có hiệu suất tốt nhất (xác định bởi lưu lượng và cột áp mà tại đó hiệu suất bơm là lớn nhất ở một tốc độ cho trước).
C_{η}	= Hệ số hiệu chỉnh hiệu suất.
$C_{\eta-RR}$	= Hệ số hiệu chỉnh hiệu suất do ảnh hưởng của ma sát giữa bánh công tác và thân.
C_H	= Hệ số hiệu chỉnh cột áp.
C_{BEP-H}	= Hệ số hiệu chỉnh cột áp ứng với lưu lượng tại đó hiệu suất bơm lớn nhất đối với nước.
C_{NPSH}	= Hệ số hiệu chỉnh cột áp hút thực.

1) Tiêu chuẩn này sử dụng chữ viết tắt công nghiệp NPSHR trong các ký hiệu toán học $NPSHR_{BEP-W}$ và $NPSHR_w$, chấp nhận sự sai khác so với ISO/TC 115/SC3.

TCVN 9731:2013

- C_Q = Hệ số hiệu chỉnh lưu lượng.
- d_2 = Đường kính ngoài của bánh công tác, tính bằng mét (ft).
- g = Gia tốc trọng trường, tính bằng m/s^2 (ft/s²).
- H = Cột áp trên từng tầng cánh, tính bằng mét (ft).
- $H_{BEP-vis}$ = Cột áp nhớt, tính bằng mét (ft): cột áp trên từng tầng cánh tại lưu lượng mà hiệu suất của bơm là lớn nhất khi bơm chất lỏng nhớt.
- H_{BEP-W} = Cột áp nước, tính bằng mét (ft): cột áp trên từng tầng cánh tại lưu lượng mà hiệu suất của bơm là lớn nhất khi bơm nước.
- H_L = Tổn thất thủy lực, tính bằng mét (ft).
- H_{th} = Cột áp lý thuyết (khi không có tổn thất lưu lượng), tính bằng mét (ft).
- H_{vis} = Cột áp nhớt, tính bằng mét (ft); cột áp trên từng tầng cánh khi bơm chất lỏng nhớt.
- $H_{vis-tot}$ = Cột áp nhớt, tính bằng mét (ft); tổng cột áp của bơm khi bơm chất lỏng nhớt.
- H_W = Cột áp nước, tính bằng mét (ft): cột áp trên từng tầng cánh khi bơm nước.
- N = Số vòng quay của trục bơm, r/min
- N_s = Số vòng quay đặc trưng.
- Đơn vị USCS = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0.5}}{H_{BEP-W}^{0.75}}$
- n_s = Số vòng quay đặc trưng.
- Đơn vị Mét = $\frac{NQ_{BEP-W}^{0.5}}{H_{BEP-W}^{0.75}}$
- = Số vòng quay đặc trưng của một bánh công tác được định nghĩa là số vòng quay trên phút mà tại đó một bánh công tác có kích thước hình học tương tự đẩy được một mét khối chất lỏng trên giây (m^3/s) với cột áp một mét (đơn vị Mét) hoặc 1 gallon Mỹ trên phút với cột áp 1 foot (Đơn vị USCS). Phải sử dụng những hệ đơn vị đo lường này để xác định số vòng quay đặc trưng.
- CHÚ THÍCH: Trong định nghĩa này, sử dụng khái niệm lưu lượng của bơm, không phải là lưu lượng ở rãnh vào bánh công tác.
- $NPSHA$ = Cột áp hút thực, tính bằng mét (ft) cung cấp cho bơm.
- $NPSHR$ = Cột áp hút thực, tính bằng mét (ft) cần thiết của bơm với tổn thất cột áp tiêu chuẩn 3 %.
- $NPSHR_{BEP-W}$ = Cột áp hút thực, tính bằng mét (ft) đối với nước tại lưu lượng đạt hiệu suất lớn nhất với tổn thất cột áp tiêu chuẩn 3 %.
- $NPSHR_{vis}$ = Cột áp hút thực, tính bằng mét (ft) đối với chất lỏng nhớt.
- $NPSHR_W$ = Cột áp hút thực, tính bằng mét (ft) đối với nước với tổn thất cột áp tiêu chuẩn 3 %.

P	= Công suất tại khớp nối, đơn vị kW hoặc mã lực (hp).
P_m	= Tổn thất công suất cơ khí, đơn vị kW hoặc mã lực (hp).
P_u	= Công suất hữu ích truyền cho chất lỏng: $P_u = \rho gHQ$ đơn vị kW hoặc mã lực (hp).
P_{RR}	= Tổn thất công suất do ma sát giữa bánh công tác và thân, kW (hp).
P_{vis}	= Công suất nhớt, đơn vị kW hoặc mã lực (hp): là công suất cần thiết của bơm để thắng sức cản do độ nhớt.
P_w	= Công suất cần thiết của bơm khi bơm nước, đơn vị kW hoặc mã lực (hp).
Q	= Lưu lượng bơm, m^3/h (gpm).
Q_{BEP-W}	= Lưu lượng tối ưu, m^3/h (gpm) mà tại đó bơm có hiệu suất lớn nhất.
Q_{vis}	= Lưu lượng nhớt, m^3/h (gpm): lưu lượng khi bơm chất lỏng nhớt.
Q_w	= Lưu lượng nước, m^3/h (gpm): lưu lượng khi bơm nước.
q^*	= Tỷ số giữa lưu lượng và lưu lượng tại điểm tốt nhất của bơm: $q^* = Q/Q_{BEP}$.
Re	= Số Reynolds $Re = \omega r_2^2/\nu$.
r_2	= Bán kính ngoài của bánh công tác, m (ft).
s	= Trọng lượng tương đối của chất lỏng được bơm so với nước ở nhiệt độ 20 °C (68 °F).
ν_{vis}	= Độ nhớt nhớt động học, centiStockes (cSt) của chất lỏng được bơm.
ν_w	= Độ nhớt nhớt động học, centiStockes (cSt) của chất lỏng thử nghiệm chuẩn với nước.
η	= Hiệu suất toàn bộ (tại khớp nối).
η_{BEP-W}	= Hiệu suất lớn nhất khi bơm nước.
η_h	= Hiệu suất thủy lực.
η_{vis}	= Hiệu suất nhớt; hiệu suất khi bơm chất lỏng nhớt.
η_{vol}	= Hiệu suất thể tích.
η_w	= Hiệu suất bơm nước: hiệu suất bơm khi bơm nước.
μ	= Độ nhớt động lực học (độ nhớt tuyệt đối), $N.s/m^2$ ($lb*s/ft^2$).
ν	= Độ nhớt động học, m^2/s (ft^2/s).
ρ	= Khối lượng riêng, kg/m^3 ($slugs/ft^3$).
ψ	= Hệ số cột áp.
ω	= Vận tốc góc của trục hoặc bánh công tác, tính bằng radian trên giây.

3 Tóm tắt

Tính năng của một bơm rô to động lực (bơm ly tâm hoặc bơm trục đứng) khi bơm chất lỏng nhớt có sự khác biệt khi bơm nước, trong khi hầu hết đường đặc tính được đưa ra chủ yếu là trường hợp bơm làm việc với nước. Thông thường cột áp (H) và lưu lượng (Q) sẽ giảm khi độ nhớt tăng. Công suất (P) cũng như yêu cầu của cột áp hút thực (NPSHR) sẽ tăng lên trong phần lớn các trường hợp. Mô men khởi động cũng có thể bị ảnh hưởng.

Các phương pháp lý thuyết dựa trên phân tích tổn thất có thể cho những phân tích chính xác hơn về ảnh hưởng của độ nhớt lên tính năng của bơm khi đã biết chi tiết kích thước hình học của bơm cụ thể. Tiêu chuẩn này giải thích các cơ sở của các phương pháp lý thuyết trên. Người sử dụng có thể lấy thông tin tư vấn của các nhà sản xuất bơm để có các phân tích chính xác hơn về tính năng của một bơm với một chất lỏng nhớt cụ thể.

Tiêu chuẩn này bao gồm cả các xem xét về mặt kỹ thuật và các khuyến cáo khi sử dụng bơm với các loại chất lỏng nhớt.

4 Giới thiệu

Các tính năng (cột áp, lưu lượng, hiệu suất $[\eta]$ và công suất) của một bơm rô to động lực được xác định từ các đường đặc tính của bơm, là những đường được xây dựng từ những số liệu thử nghiệm của bơm với nước. Khi bơm làm việc với một chất lỏng có độ nhớt lớn hơn, các tính năng trên của bơm giảm xuống. Công suất tiêu thụ sẽ tăng lên và cột áp, lưu lượng và hiệu suất sẽ giảm xuống.

Đối với người sử dụng, việc hiểu được một số trường hợp thực tế là rất quan trọng để có thể định lượng các ảnh hưởng của độ nhớt đến vận hành của bơm rô to động lực. Thứ nhất, cơ sở dữ liệu thử nghiệm đã xây dựng là của các bơm riêng biệt chứ không có tính tổng quát cho tất cả các bơm. Thứ hai, cơ sở dữ liệu theo kích thước của bơm và độ nhớt của chất lỏng là tương đối hạn chế. Thứ ba, tất cả các phương pháp hiện có dùng để đánh giá ảnh hưởng của độ nhớt lên tính năng của bơm cho kết quả có sự sai khác so với cơ sở dữ liệu thử nghiệm. Thứ tư, phương pháp thực nghiệm trình bày trong tiêu chuẩn này dựa trên so sánh các số liệu thống kê của nhiều quy trình hiệu chỉnh khác nhau. Phương pháp này được lựa chọn để đảm bảo sự khác biệt giữa số liệu tính toán và thực tế là nhỏ nhất. Trên cơ sở phân tích như trên cho thấy không thể coi phương pháp này là một phương pháp tính toán lý thuyết có độ chính xác cao khi xác định các hệ số hiệu chỉnh tính năng của bơm. Phương pháp này cho phép người sử dụng có thể so sánh một cách tổng quát ảnh hưởng của việc sử dụng bơm với chất lỏng có độ nhớt cao hơn để tránh được sai sót khi sử dụng. Xem Điều 6 về các loại bơm có thể áp dụng phương pháp này.

Như chú thích ở đoạn trên, thực tế có nhiều phương pháp được xây dựng bởi các cá nhân và công ty gặp phải các vấn đề liên quan đến tổn thất thủy lực thực tế bên trong của bơm. Về mặt lý thuyết, có thể đánh giá được ảnh hưởng của độ nhớt bằng cách định lượng những tổn thất này. Quy trình xác định

những tổn thất này liên quan đến kích thước cụ thể bên trong của bơm, tuy nhiên những kích thước này thường không được cung cấp cho người sử dụng. Hơn nữa, các phương pháp này cần một số hệ số thực nghiệm mà các hệ số thực nghiệm này chỉ có thể xác định được một cách chính xác khi có đầy đủ thông tin về việc thử nghiệm bơm trong chất lỏng nhớt. Phương pháp phân tích tổn thất có độ chính xác cao hơn phương pháp thực nghiệm trong tiêu chuẩn này, đặc biệt với một số loại bơm có tính năng và kích thước cụ thể.

Ngoài các quy trình hiệu chỉnh, tiêu chuẩn này cung cấp một số mô tả định tính của các tổn thất thủy lực khác nhau trong bơm dẫn tới giảm các tính năng của bơm. Ngoài ra, tiêu chuẩn này còn cung cấp quy trình để xác định ảnh hưởng của độ nhớt lên mô men khởi động và NPSHR.

Tiêu chuẩn này dựa trên số liệu đã được mở rộng đến năm 1999 trong đó đã sửa đổi các hệ số hiệu chỉnh cho lưu lượng, cột áp và công suất. Các hệ số hiệu chỉnh mới cập nhật được sẽ phụ thuộc vào các thông số như kích thước, tốc độ và số vòng quay đặc trưng của bơm. Nói chung, cột áp và lưu lượng được hiệu chỉnh tăng lên trong khi công suất có ích (hiệu suất) của bơm được hiệu chỉnh ít. Các hệ số hiệu chỉnh thay đổi đáng kể nhất ở trường hợp lưu lượng nhỏ hơn 25 m³/h (100 gpm) và $n_s < 15$ ($N_s < 770$).

5 Các xem xét cơ bản

5.1 Hệ số hiệu chỉnh độ nhớt

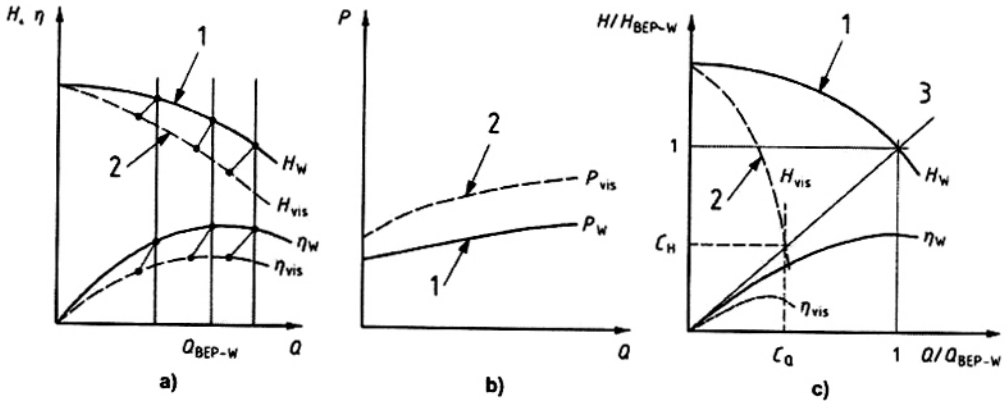
Khi bơm làm việc với chất lỏng có độ nhớt cao, như dầu nặng thì tính năng của bơm bị thay đổi so với khi bơm nước, do tổn thất tăng lên. Việc sụt giảm tính năng khi bơm chất lỏng nhớt có thể được đánh giá thông qua các hệ số hiệu chỉnh cho cột áp, lưu lượng và hiệu suất khi so với các tính năng tương ứng khi bơm nước.

Như vậy đường đặc tính cột áp, lưu lượng và hiệu suất đối với chất lỏng nhớt (có chỉ số vis) được xác định từ cột áp, lưu lượng và hiệu suất đo được đối với nước (chỉ số w) dựa vào các hệ số C_H , C_Q và C_η tương ứng. Các hệ số này được xác định trong công thức (1).

$$C_H = \frac{H_{vis}}{H_w} \quad ; \quad C_Q = \frac{Q_{vis}}{Q_w} \quad ; \quad C_\eta = \frac{\eta_{vis}}{\eta_w} \quad (1)$$

Hình 1a) và Hình 1b) thể hiện sự thay đổi điển hình các đặc tính cột áp, lưu lượng, hiệu suất và công suất của bơm khi chuyển từ bơm nước sang bơm chất lỏng có độ nhớt cao.

Nếu các số liệu đo đạc nằm lân cận điểm hiệu suất lớn nhất (BEP) khi bơm nước (BEP-W), thì các hệ số C_H và C_Q có thể xác định trực tiếp trên Hình 1c). Đường thẳng nối giữa BEP-W và gốc đồ thị Q-H ($H = 0$ và $Q = 0$) được gọi là đặc tính loe rộng hoặc xoắn ốc. Số liệu thử nghiệm được ghi lại ở Tài liệu tham khảo [10] và [14] cho thấy BEPs đối với chất lỏng nhớt phụ thuộc vào đặc tính loe rộng và xoắn ốc này. Bởi vậy có thể coi một cách gần đúng là C_H bằng C_Q tại điểm BEPs đối với chất lỏng nhớt.



CHÚ DẪN:

- 1 Nước
- 2 Chất lỏng nhớt
- 3 Các đặc tính loe rộng hoặc xoắn ốc

Hình 1- Sự thay đổi các đặc tính của bơm khi bơm chất lỏng nhớt

5.2 Phương pháp xác định các hệ số hiệu chỉnh

Các hệ số hiệu chỉnh có thể được xác định bằng thực nghiệm từ ngân hàng dữ liệu đo đạc về các loại bơm khác nhau với nước và chất lỏng với nhiều độ nhớt khác nhau hoặc có thể xác định từ một mô hình vật lý dựa trên phương pháp phân tích tổn thất năng lượng trong bơm. Các ví dụ về phương pháp phân tích tổn thất được cho trong Thư mục tài liệu tham khảo [7], [8], [9], [10] và [18].

Với số liệu hạn chế, phương pháp phân tích thực nghiệm và phương pháp phân tích tổn thất đưa ra các hàm hiệu chỉnh cột áp có chính xác tương đương nhau. Tuy nhiên, phương pháp phân tích tổn thất là đảm bảo được độ chính xác hơn trong việc xác định công suất yêu cầu để bơm chất lỏng nhớt. Đồng thời phương pháp này cho phép nghiên cứu ảnh hưởng của các thông số thiết kế đến độ nhớt và tối ưu hóa việc lựa chọn bơm cũng như các đặc tính trong quá trình vận hành bơm với chất lỏng độ nhớt cao.

Cơ sở lý thuyết về nguyên lý của phương pháp phân tích tổn thất được nêu trong Điều 7. Việc sử dụng các phương pháp này cần nhiều thông số về kích thước của bơm, mà những thông số này thường sẽ được cung cấp cho người sử dụng. Khi những thông số này càng chi tiết, thì việc phân tích tổn thất đưa ra những đánh giá về tính năng của bơm với chất lỏng nhớt càng chính xác hơn.

Phương pháp này kết nối được các số liệu thực nghiệm tốt hơn phương pháp HI cũ đã được sử dụng rộng rãi trên toàn thế giới trong nhiều năm. Sai lệch tiêu chuẩn đối với hệ số hiệu chỉnh cột áp C_H là 0,1. Công suất nhớt tính toán P_{vis} có sai lệch tiêu chuẩn là 0,15.

6 Cơ sở lý thuyết

6.1 Phạm vi

Trong phần này giải thích cơ sở lý thuyết của các phương pháp phân tích tổn thất. Ngoài ra còn đưa ra phương pháp phân tích đánh giá NPSHR khi bơm làm việc với chất lỏng nhớt. Đây là phương pháp không sử dụng các số liệu thử nghiệm đã biết.

6.2 Cân bằng và tổn thất công suất

Phương trình cân bằng công suất của một bơm không tuần hoàn được nêu trong công thức (2), công thức này được áp dụng khi bơm nước cũng như bơm chất lỏng nhớt.

$$P = f \left(\frac{\rho g H Q}{\eta_{vol} \eta_h} \right) + P_{RR} + P_m \quad (2)$$

Trong công thức này (P) là công suất đầu vào tại khớp nối của bơm; (η_{vol}) là hiệu suất thể tích; (η_h) là hiệu suất thủy lực; (P_{RR}) là tổng tổn thất do ma sát giữa bánh công tác với vỏ bơm và trống hoặc đĩa cân bằng áp lực hướng trục, nếu có, và (P_m) là tổng tổn thất cơ khí ở các ổ đỡ hướng trục và hướng kính và các bộ phận làm kín trục.

Khi độ nhớt của chất lỏng được bơm tăng lên, thì số Reynolds giảm, làm cho các hệ số ma sát trong các đường dẫn thủy lực của bơm tăng giống như xảy ra đối với dòng chảy trong đường ống. Độ nhớt tăng lên sẽ ảnh hưởng đến tổn thất bơm như sau:

Tổn thất cơ khí, P_m hoàn toàn độc lập với độ nhớt của chất lỏng được bơm.

Tổn thất thủy lực tương tự như tổn thất do ma sát đường ống xuất hiện ở đường hút, ở bánh công tác, ở các phần dẫn hướng trên đường đẩy của bơm. Trong lý thuyết cơ bản về bơm rô to động lực, cột áp có ích (H) là hiệu số của cột áp lý thuyết ở bánh công tác (H_m) trừ đi tổn thất thủy lực (H_l). Theo Thư mục tài liệu tham khảo [9], [10] và [18], hệ số lệch dòng hoặc trượt dòng của bánh công tác nói chung không bị ảnh hưởng bởi sự thay đổi độ nhớt do đó cột áp lý thuyết (H_m) không bị ảnh hưởng. Như vậy tổn thất cột áp giảm do độ nhớt phụ thuộc trước hết tổn thất thủy lực của dòng chảy nhớt.

Tổn thất thủy lực bao gồm tổn thất do ma sát, là một hàm của số Reynolds (kích thước bơm, tốc độ rô to và ảnh hưởng của độ nhớt), độ nhám bề mặt của đường dẫn thủy lực, và tổn thất hòa trộn khi mô men dòng chảy biến đổi do phân bố vận tốc không đều. Sự phân bố vận tốc không đều như vậy hoặc tổn thất hỗn hợp là do tác động của công chuyển từ cánh dẫn, giảm tốc của chất lỏng, góc tới giữa dòng chất lỏng và cánh dẫn và thậm chí là chia cắt cục bộ dòng chảy.

Tổn thất thể tích do sự rò rỉ chất lỏng chảy qua khe hở giữa rô to và thân của bơm. Mức độ rò rỉ sẽ giảm xuống độ nhớt tăng lên, bởi vì khi đó hệ số ma sát ở các khe hở tăng lên còn hệ số Reynolds

giảm xuống. Như vậy lưu lượng đi qua bơm sẽ tăng lên, từ đó làm tăng cột áp. Mức độ rò rỉ giảm đi sẽ làm thay đổi đường cong H-Q từ đó sẽ bù lại một số tổn thất thủy lực đã nêu ở trên. Ảnh hưởng này có tác dụng tốt đối với loại bơm nhỏ có tốc độ thấp với khe hở tương đối lớn khi bơm chất lỏng có độ nhớt động học dưới 100 cSt. Điều này có thể là lý do tại sao với mức độ tăng độ nhớt vừa phải sẽ không có ảnh hưởng nhiều đến cột áp. Trên thực tế, đôi khi có thể nhận thấy sự cải thiện một chút của cột áp khi độ nhớt tăng. Ví dụ, xem Thư mục tài liệu tham khảo [23].

Thông tin trong Thư mục tài liệu tham khảo [25] đã được sử dụng để tính toán thành công mức độ rò rỉ chất lỏng đi qua khe hở dọc trục.

Tổn thất do ma sát đĩa là một loại tổn thất ma sát khác xảy ra ở mọi bề mặt ướt quay trong bơm. Các tổn thất công suất liên quan (P_{RR}) ảnh hưởng lớn đến hiệu suất của bơm khi bơm chất lỏng nhớt. Các tổn thất do ma sát đĩa sinh ra chủ yếu ở trên bề mặt các bánh công tác của kiểu bánh công tác kín và các chi tiết dùng để cân bằng áp lực hướng trục. Tổn thất tăng lên khi giảm số Reynolds hoặc tăng độ nhớt; tổn thất này có thể được tính từ các sách giáo khoa tiêu chuẩn. Các số liệu hiện tại được cho trong Thư mục tài liệu tham khảo [8].

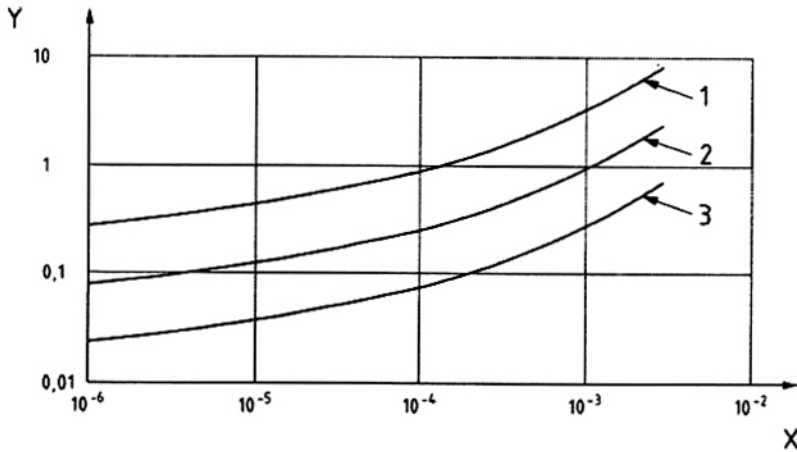
Có thể lấy các thông tin hữu ích để tính toán tổn thất do ma sát đĩa và trống ma sát cho kết quả khá tương quan với các kết quả thực nghiệm, trong Thư mục tài liệu tham khảo [25], [26] và [27].

Lớp chất lỏng bám lại trên bề mặt bánh công tác cũng góp thêm một năng lượng hữu ích cho chất lỏng được bơm. Ảnh hưởng này có tác dụng bù đắp lại một số loại tổn thất thủy lực trình bày ở trên và cũng là nguyên nhân giải thích tại sao với độ nhớt vừa phải mà cột áp vẫn tăng lên trong một số trường hợp.

Tổn thất ma sát đĩa có ảnh hưởng lớn đến công suất tiêu thụ của bơm khi bơm chất lỏng nhớt. Ảnh hưởng của đường kính bánh công tác (d_2), số vòng quay (N), số vòng quay đặc trưng (n_s) và hệ số cột áp (ψ) thể hiện trong công thức (3).

$$P_{RR} = f\left(\frac{d_2^5 N^3}{n_s^2 \psi^{2,5}}\right) \tag{3}$$

Ảnh hưởng của độ nhớt lên hiệu suất thể hiện trên Hình 2 trong đó thể hiện quan hệ giữa tỷ số tổn thất ma sát đĩa (P_{RR}) và công suất hữu ích (P_u) theo độ nhớt, với các thông số số vòng quay đặc trưng n_s khác nhau. Trong trường hợp cụ thể này, tổn thất ma sát đĩa tăng lên khoảng 30 lần khi độ nhớt tăng lên từ 10^{-6} đến $3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (1 đến 3 000 cSt). Với độ nhớt 3 000 cSt, công suất ma sát đĩa lớn gấp gần 10 lần công suất hữu ích đối với số vòng quay đặc trưng $n_s = 10$ ($N_s = 500$) và bằng 50 % của P_u khi $n_s = 45$ ($N_s = 2\,300$).

**CHÚ DẪN:**

X Độ nhớt động học m^2/s

Y P_{RR}/P_u

1 $n_s = 10$ ($N_s = 500$)

2 $n_s = 20$ ($N_s = 1\ 000$)

3 $n_s = 45$ ($N_s = 2\ 300$)

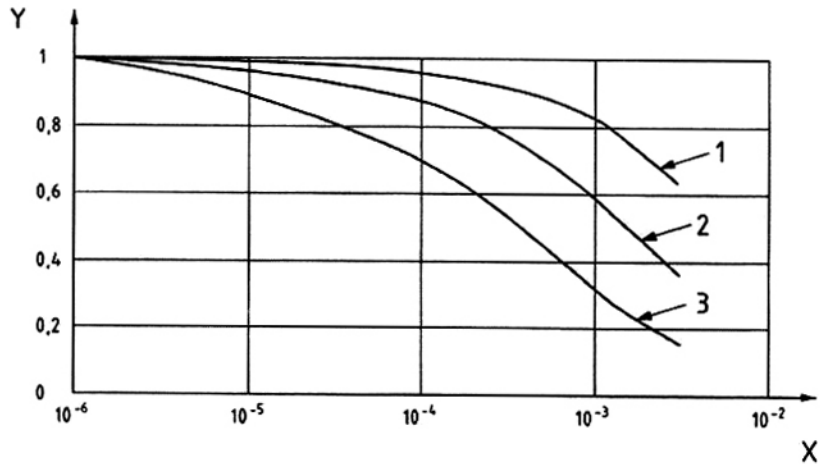
**Hình 2 - Tỷ số giữa tổn thất do ma sát đĩa và công suất hữu ích
(Thư mục tài liệu tham khảo [7] và [8])**

Khi chỉ xem xét tới ảnh hưởng của tổn thất do ma sát đĩa đến hiệu suất, thì có thể lấy hệ số $C_{\eta-RR}$ theo đồ thị trên Hình 3. Đồ thị này cho thấy hiệu suất khi bơm chất lỏng nhớt phụ thuộc rất lớn vào số vòng quay đặc trưng khi chỉ xét tới ảnh hưởng của ma sát đĩa. Công suất tiêu thụ cũng bị ảnh hưởng tương tự.

Ảnh hưởng của nhiệt: Mọi tổn thất công suất đã loại trừ tổn thất cơ khí ngoài bơm, bị tiêu tán dưới dạng nhiệt độ cung cấp cho chất lỏng. Điều này làm tăng nhiệt độ cục bộ và làm giảm độ nhớt của chất lỏng so với độ nhớt khối ở nhiệt độ cửa hút của bơm. Sự tăng nhiệt cục bộ do ứng suất trượt cao chủ yếu ảnh hưởng tới tổn thất ma sát đĩa và hiệu suất thể tích. Với độ nhớt cao hơn khoảng 1 000 cSt, thì ảnh hưởng của tăng nhiệt cục bộ của chất lỏng là đáng kể, tuy nhiên mức độ ảnh hưởng không dễ dàng định lượng được.

Đường đặc tính công suất $P = f(Q)$: Bởi vì cột áp lý thuyết và tổn thất cơ khí ít bị ảnh hưởng bởi độ nhớt, nên việc tăng công suất tiêu thụ khi bơm chất lỏng nhớt phần lớn là do tổn thất ma sát đĩa. Do đó, đường đặc tính công suất bơm chất lỏng nhớt $P_{vis} = f(Q)$, bị dịch chuyển tương đối so với công suất khi bơm nước, $P_w = f(Q)$, một giá trị hằng số bằng với độ tăng của tổn thất ma sát đĩa, ngoại trừ tại lưu lượng thấp như trên Hình 1.

Cột áp hút thực được yêu cầu (NPSHR) chịu ảnh hưởng bởi phân bố áp suất ở gần mép vào các cánh của bánh công tác. Phân bố áp suất này phụ thuộc vào số Reynolds và tổn thất thủy lực giữa mặt bích miệng hút bơm và đầu vào bánh công tác. Những tổn thất này tăng lên khi tăng độ nhớt và sẽ ảnh hưởng tới NPSHR. Các yếu tố khác ảnh hưởng tới NPSHR là đặc tính nhiệt động lực học của chất lỏng và sự xâm nhập hoặc khuếch tán bọt khí trong chất lỏng. Tác động qua lại giữa các yếu tố này được nêu trong 6.3. Một phương pháp xác định NPSHR đối với chất lỏng nhớt dựa trên các phân tích cũng được nêu trong 6.3.



CHÚ DẪN:

X Độ nhớt động học m^2/s

Y $C_{\eta-RR}$

1 $n_s = 45$ ($N_s = 2\ 300$)

2 $n_s = 20$ ($N_s = 1\ 000$)

3 $n_s = 10$ ($N_s = 500$)

Hình 3 - Ảnh hưởng của tổn thất do ma sát đĩa đến hệ số hiệu chỉnh độ nhớt cho hiệu suất

(Xem Thư mục tài liệu tham khảo [7] và [8])

Ảnh hưởng của độ nhớt đến tổn thất áp suất ở miệng ống hút và từ đó lên NPSHA cũng phải được xem xét.

6.3 Phương pháp xác định cột áp hút thực được yêu cầu (NPSHR)

NPSHR là một đặc tính của thông số hút của bơm rô to động lực được tính bằng tổng cột áp hút thực tuyệt đối trừ đi cột áp tương ứng với áp suất hơi nước tại cửa vào của bơm, yêu cầu ngăn ngừa tổn thất do sự cản trở của bọt khí xuất hiện khi xâm thực không quá 3% tổng cột áp. Điều này phụ thuộc vào điều kiện làm việc, kích thước của bơm và cửa hút, cũng như các tính chất vật lý của chất lỏng được bơm.

Có sự tác động kép của độ nhớt chất lỏng được bơm đến NPSHR. Khi độ nhớt tăng lên thì ma sát tăng lên, dẫn đến tăng NPSHR. Đồng thời, độ nhớt cao hơn sẽ làm giảm các bọt khí và hơi nước khuếch tán trong chất lỏng. Điều này làm giảm tốc độ hình thành của các bọt khí và cả ảnh hưởng nhiệt động lực học, làm NPSHR giảm một chút.

Ảnh hưởng của độ nhớt đến NPSHR về thực chất là một hàm của số Reynolds. Tuy nhiên, ảnh hưởng này không thể được biểu diễn bằng mối quan hệ đơn giản cho tất cả các thiết kế và các loại bơm khác nhau. Quy tắc chung là, bơm có kích thước càng lớn và cửa vào bánh công tác bơm nhẵn hơn và cong hơn, sẽ ít nhạy (ảnh hưởng) với sự thay đổi độ nhớt chất lỏng được bơm.

Không khí hòa tan trong chất lỏng và khí xâm nhập vào theo chất lỏng được bơm ở dạng các bọt nhỏ phân tán ảnh hưởng đến NPSHR khác với bọt khí lớn. Nếu như tốc độ dòng chảy tại đầu vào bơm đủ lớn, thì một số lượng nhỏ bọt khí xâm nhập sẽ không phân tách và về bản chất sẽ không có hoặc có rất ít ảnh hưởng đến NPSHR. Sự có mặt của những khối khí lớn tích lũy lại có ảnh hưởng lớn đến đặc tính hút của bơm. Nó làm cho đường đặc tính tổng cột áp-NPSHR thay đổi hình dáng từ dạng "gấp khúc" một cách rõ ràng sang dốc dần xuống đối với cột áp. Điều này làm tăng điểm có 3 % tổn thất cột áp hoặc nói cách khác, dịch chuyển NPSHR đến một giá trị cao hơn.

Khi bơm chất lỏng nhớt với tốc độ bơm thấp hơn, NPSHR quan sát được cao hơn so với tính toán theo các nguyên tắc đã biết.

Tổng quát, sự hình thành của thoát khí và bay hơi phụ thuộc chủ yếu vào thời gian ở trạng thái áp suất thấp. Nói chung, thử nghiệm xâm thực tại lưu lượng và tốc độ không đổi với các điều kiện hút khác nhau không thể được áp dụng cho chất lỏng nhớt, nếu thay đổi của áp suất hút bằng cách giảm áp suất ở toàn bộ hệ thống thử nghiệm. Bởi vì có những đặc điểm không giống như nước, chất lỏng ở trong bể không loại được không khí ra một cách nhanh chóng, mà không khí sẽ dần dần thoát ra khỏi chất lỏng ở ống hút và sẽ hình thành bọt khí ở đầu vào bánh công tác.

Phương pháp tổng quát sau đây được đưa ra cho mục đích ước tính, nhưng người sử dụng được khuyến cáo rằng phương pháp này dựa trên phép phân tích chứ không phải dựa trên số liệu thử nghiệm NPSHR thực. Khi bơm chất lỏng có độ nhớt cao, phạm vi của NPSHA phải rộng hơn NPSHR và nhà sản xuất bơm phải có khuyến cáo về việc này,

Phương pháp tổng quát này không nên áp dụng cho các chất lỏng thuộc họ hydrocacbon khi chưa cân nhắc các ảnh hưởng của nhiệt độ lên các tính chất của chất lỏng. Xem ANS/HI 1.3.4.16.3^[24].

Những công thức sau được sử dụng cho xây dựng hệ số hiệu chỉnh để điều chỉnh thông số NPSHR khi bơm nước, dựa trên tiêu chí tổn thất cột áp 3 % tiêu chuẩn, tương ứng với thông số $NPSHR_{vis}$ của chất lỏng nhớt.

Cho đơn vị tính Q_{BEP-w} là m^3/h . $NPSHR_{vis}$ là m, N là r/min, sử dụng công thức (15):

$$C_{NPSH} = 1 + \left\{ A \times \left(\frac{1}{C_H} - 1 \right) \times 274000 \times \left[\frac{NPSHR_{BEP-W}}{(Q_{BEP-W})^{0,667} \times N^{1,33}} \right] \right\} \quad (4)$$

Cho đơn vị tính Q_{BEP-W} là gpm, $NPSHR_{vis}$ là ft, N là r/min, sử dụng công thức (16):

$$C_{NPSH} = 1 + \left\{ A \times \left(\frac{1}{C_H} - 1 \right) \times 225000 \times \left[\frac{NPSHR_{BEP-W}}{(Q_{BEP-W})^{0,667} \times N^{1,33}} \right] \right\} \quad (5)$$

Giá trị của biến số hình học đầu vào cửa hút (A) được lựa chọn như sau:

Đối với các bơm cửa hút ở đầu nút: $A = 0,1$

Đối với bơm có cửa hút ở bên cạnh (đường dẫn vào cong một góc khoảng 90° từ cửa vào đến bánh công tác): $A = 0,5$.

Giá trị $NPSHR_{vis}$ được điều chỉnh bởi hệ số hiệu chỉnh $NPSHR$, C_{NPSH} .

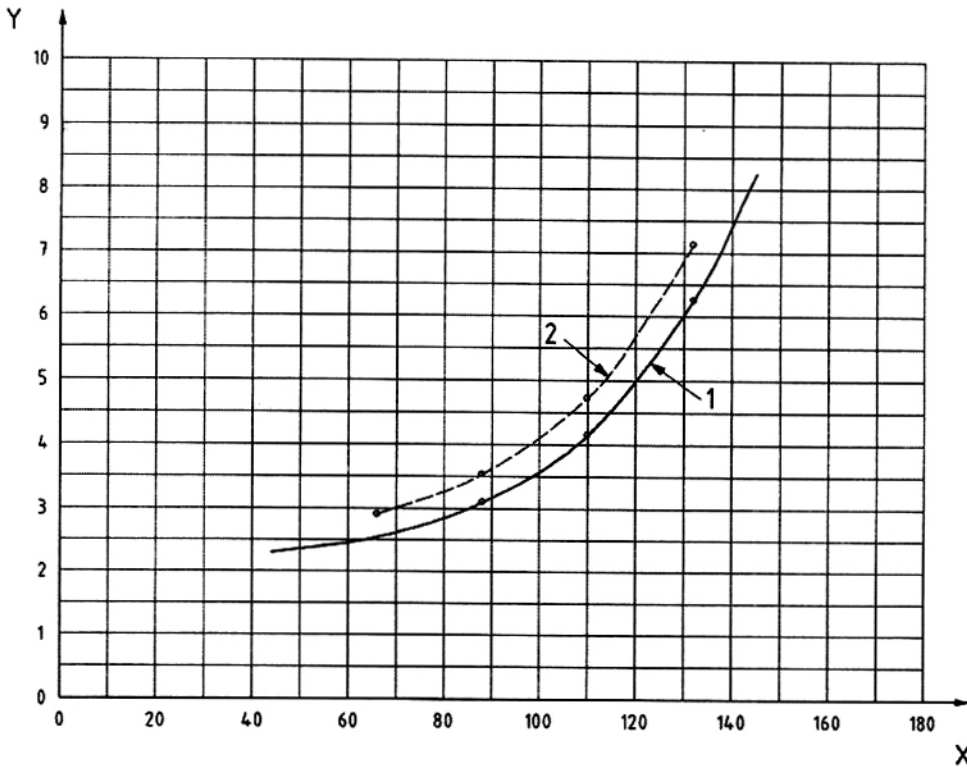
$$NPSHR_{vis} = C_{NPSH} \times NPSHR$$

Lưu lượng không được hiệu chỉnh trong phương pháp hiệu chỉnh $NPSHR$. Đối với lưu lượng tương ứng với các giá trị đã hiệu chỉnh của $NPSHR_{vis}$, thì sử dụng giá trị không hiệu chỉnh của Q_w .

Một ví dụ của phương pháp hiệu chỉnh $NPSHR$ này được minh họa trên Hình 4 và Hình 5.

VÍ DỤ (Đơn vị Mét): Xem Hình 4 và Bảng 1. Giả sử rằng bơm mẫu có cửa hút kết cấu hướng kính với $A = 0,5$. Các giá trị Q_{BEP-W} là $110 \text{ m}^3/\text{h}$, $NPSHR_{BEP-W}$ là $4,15 \text{ m}$, tốc độ $N = 2950 \text{ r/min}$ và hệ số $B = 12,0$ tạo ra hệ số hiệu chỉnh cột áp C_H là $0,81$. Xác định hệ số hiệu chỉnh $NPSHR$ theo công thức (4):

$$C_{NPSH} = 1 + 0,5 \times \left(\frac{1}{0,81} - 1 \right) \times 274000 \times \left(\frac{4,15}{110^{0,667} \times 2950^{1,33}} \right) = 1,14$$

**CHÚ DẪN**X lưu lượng m^3/h tại $N = 2\,950 \text{ r/min}$

Y NPSH - mét

1 Nước

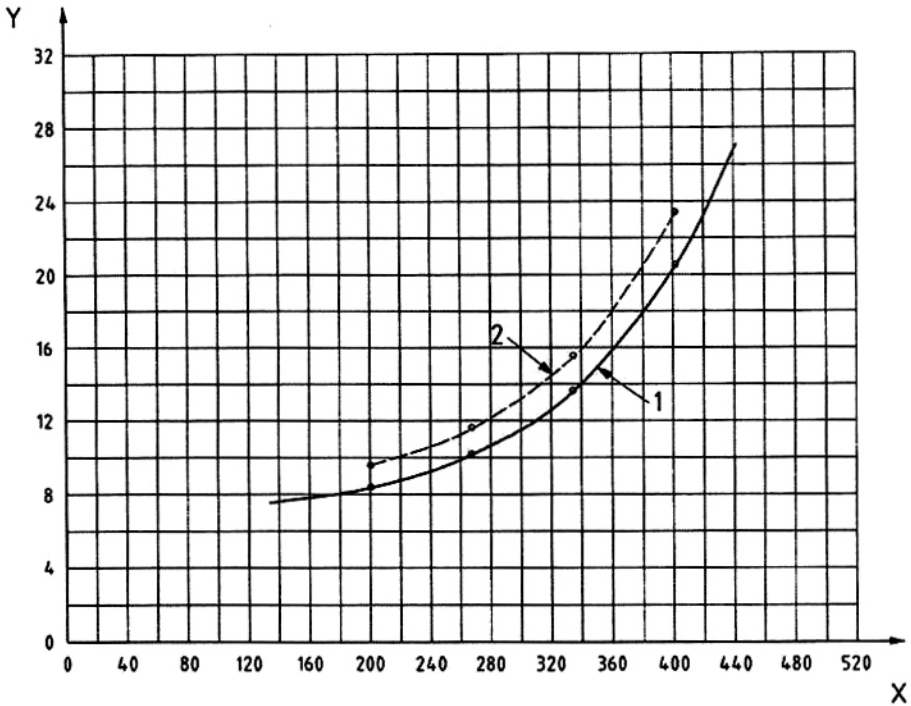
2 Chất lỏng nhớt với $s = 0,90$ và $B = 12,0$ **Hình 4 - Ví dụ đồ thị quan hệ giữa NPSHR theo lưu lượng, đơn vị Mét****Bảng 1 – Một số ví dụ tính toán (Đơn vị Mét)**

Hệ số B	12,0			
Trọng lượng riêng của chất lỏng nhớt (s)	0,90			
Số vòng quay trục bơm (N) r/min	2 950			
Tỷ số lưu lượng cho hiệu suất lớn nhất khi bơm nước Q_w/Q_{BEP-w}	0,60	0,80	1,00	1,20
Lưu lượng nước (Q_w) m^3/h	66	88	110	132
Cột áp hút thực được yêu cầu của nước (NPSHR _w) - m	2,55	3,10	4,15	6,25
Hệ số hiệu chỉnh cột áp có hiệu suất lưu lượng lớn nhất (C_H)	0,81			
Hệ số hiệu chỉnh cho NPSHR (C_{NPSH})	1,14			
Hiệu chỉnh cột áp hút thực được yêu cầu của chất lỏng nhớt (NPSHR _{vis}) - m	2,91	3,53	4,73	7,13

TCVN 9731:2013

VÍ DỤ (Đơn vị USCS): Xem Hình 5 và Bảng 2. Giả sử rằng bơm mẫu có cửa hút kết cấu hướng kính với $A = 0,5$. Các giá trị Q_{BEP-W} là 335 gpm, $NPSHR_{BEP-W}$ là 13,6 ft, tốc độ $N = 3\,550$ r/min và hệ số $B = 12,0$ tạo ra hệ số hiệu chỉnh cột áp C_H là 0,81. Xác định hệ số hiệu chỉnh NPSHR theo công thức (5):

$$C_{NPSH} = 1 + 0,5 \times \left(\frac{1}{0,81} - 1 \right) \times 225000 \times \left(\frac{13,6}{335^{0,667} \times 3550^{1,33}} \right) = 1,14$$



CHÚ DẪN:

X Lưu lượng gpm tại $N = 3\,550$ r/min

Y NPSH - ft

1 Nước

2 Chất lỏng nhớt với $s = 0,90$ và $B = 12,0$

Hình 5 - Ví dụ đồ thị quan hệ giữa NPSHR theo lưu lượng, Đơn vị USCS

Bảng 2 – Một số ví dụ tính toán (Đơn vị USCS)

Hệ số B	12,0			
Trọng lượng riêng của chất lỏng nhớt (s)	0,90			
Số vòng quay trục bơm (N) r/min	3 550			
Tỷ số lưu lượng cho hiệu suất lớn nhất khi bơm nước Q_w/Q_{BEP-W}	0,60	0,80	1,00	1,20
Lưu lượng nước (Q_w) gpm	201	268	335	402
Cột áp hút thực yêu cầu của nước (NPSHR _w) - ft	8,37	10,2	13,6	20,5
Hệ số hiệu chỉnh cột áp có hiệu suất lưu lượng lớn nhất (C _H)	0,81			
Hệ số hiệu chỉnh cho NPSHR (C _{NPSH})	1,14			
Hiệu chỉnh cột áp hút thực yêu cầu của chất lỏng nhớt (NPSHR _{vis}) - ft	9,54	11,6	15,5	23,4

7 Xem xét bổ sung

7.1 Quy định chung

Phần nội dung này phân tích một số hạn chế của phương pháp hiệu chỉnh, các ảnh hưởng đến thiết kế bơm cụ thể, một số lưu ý về mặt cơ khí và vấn đề làm kín khi bơm chất lỏng nhớt. Nói chung những thông tin đưa ra chỉ mang tính chất định tính do thiếu các hệ số định lượng.

7.2 Hạn chế

Do hạn chế số liệu thử nghiệm ở tốc độ trên $n_s = 40$ ($N_s = 2\ 000$), việc đánh giá tính năng bằng phương pháp tổng quát cho bơm có số vòng quay đặc trưng lớn hơn giá trị này không đạt được độ tin cậy cần thiết.

Các thông số được đưa ra thường dựa trên cơ sở các thông số của bơm khi bơm nước. Mọi phương pháp hiệu chỉnh độ nhớt đều không đảm bảo độ tin cậy khi đó phải xem xét phạm vi áp dụng, đặc biệt là về tốc độ bộ dẫn động bơm.

Quy trình đánh giá đã trình bày đều dựa trên các thử nghiệm bơm với chất lỏng Newton. Khi đánh giá các chất lỏng phi Newton có thể cho kết quả sai khác rất lớn.

Một vài nghiên cứu cho thấy cột áp bơm có xu hướng tăng lên một chút so với bơm nước, khi bơm chất lỏng có độ nhớt lên đến 180 cSt. Trên thực tế có sự phân tán đáng kể trong nghiên cứu dòng chảy nhớt và hiện tượng này chỉ đôi khi quan sát được. Điều này có thể được giải thích bởi các yếu tố có xu hướng làm tăng cột áp khi độ nhớt tăng, như tổn thất bơm đĩa và giảm tổn thất rò rỉ, bù đắp lại ảnh hưởng của độ nhớt khối, tính chất có xu hướng giảm cột áp.

7.3 Các ảnh hưởng đến thiết kế bơm

Dựa trên các số liệu đã cung cấp, các bơm trong phạm vi $20 \leq n_s \leq 40$ ($1\ 000 \leq N_s \leq 2\ 000$) hoàn toàn có thể đạt được hiệu suất cao nhất khi bơm chất lỏng nhớt.

Những số liệu công bố này chỉ cung cấp các hiệu chỉnh thông số nhớt cho các phần tử bơm. Đối với các bơm được lắp thêm đường ống ngoài, các ống hút đối với bơm hướng trục, ống xả hoặc các phần tử phụ khác để vận chuyển chất lỏng vào hoặc ra khỏi các phần tử bơm, cần phải chú ý thêm về tổn thất do độ nhớt. Trong trường hợp này, sử dụng các tính toán truyền thống về dòng chảy nhớt trong đường ống là phù hợp.

Đối với các bánh công tác cánh dẫn phụ cần bổ sung công suất khi bơm chất lỏng nhớt. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của nhiệt độ làm giảm ma sát đĩa nên hạn chế phần công suất bổ sung.

Đối với các bánh công tác được thiết kế có hệ số cột áp cao (với số lượng cánh dẫn nhiều hơn và góc xả của cánh dẫn lớn hơn) có hiệu suất cao hơn nhưng cũng có xu hướng làm đường đặc tính H-Q đi ngang hoặc dốc xuống đến điểm dừng trong các thử nghiệm bơm nước. Khi bơm chất lỏng nhớt hơn đường đặc tính H-Q sẽ trở nên dốc hơn. Bởi vậy, các bánh công tác được thiết kế với hệ số cột áp cao có thể được chấp nhận nếu như đường đặc tính cột áp khi bơm chất lỏng nhớt tăng lên đến điểm dừng.

Khe hở hướng trục giữa các cánh của bánh công tác và thân bơm có ảnh hưởng lớn đến tổn thất do ma sát đĩa và hiệu suất đối với dòng chảy tầng (bơm chất lỏng nhớt), nhưng ảnh hưởng không đáng kể đối với dòng chảy rối. Hai bơm giống hệt nhau có khe hở hướng trục khác nhau có thể có cùng hiệu suất khi bơm nước, nhưng lại có hiệu suất khác nhau khi bơm chất lỏng nhớt nếu phạm vi dòng chảy chuyển sang dòng chảy tầng.

Trong khi độ nhám bề mặt (chất lượng đúc) có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất khi bơm nước, thì ảnh hưởng của nó khi bơm chất lỏng nhớt giảm xuống và về mặt lý thuyết là không có ảnh hưởng đối với dòng chảy tầng.

7.4 Xem xét về mặt cơ khí

Việc thiết kế cơ khí cho bơm, phần dẫn động và các khớp nối phải xem xét đến khả năng làm tăng độ nhớt từ đó làm tăng mô men trong quá trình bơm khởi động khi mà nhiệt độ chất lỏng thấp hơn nhiệt độ vận hành bình thường.

Các chi tiết bên trong của bơm như trục bơm và các cơ cấu dẫn động liên quan, phải được kiểm tra để đảm bảo sự đầy đủ cần thiết cho phần mô men tăng thêm trong bơm sẽ xảy ra.

Kích thước bên ngoài của bộ dẫn động bơm phải phù hợp khi có yêu cầu tăng mô men khởi động và mô men vận hành. Người bán phải cung cấp đường đặc tính mô men – số vòng quay đặc trưng của bơm nếu như có liên quan đến kích thước và thiết kế của bộ dẫn động.

Khớp nối giữa bơm và bộ dẫn động phải có kích thước sao cho đáp ứng được mô men lớn hơn mô men yêu cầu khi khởi động và khi làm việc.

7.5 Vấn đề về làm kín

Nhìn chung vấn đề làm kín liên quan đến chất lỏng nhớt là rất phức tạp. Các nhà sản xuất bộ phận làm kín phải có những thông tin tư vấn chi tiết.

Các kết cấu làm kín cơ khí hoặc bộ phận làm kín phải có khả năng làm kín bơm cho một phạm vi thay đổi nhất định của độ nhớt, bao gồm cả điều kiện chuyển tiếp và nén. Các kết cấu làm kín cơ khí có thể không hoạt động như tính toán và có thể phải chịu tải cao hơn so với khi bơm nước.

Kết hợp với làm kín cơ khí là việc bố trí hệ thống rửa các chi tiết làm kín và đường ống kết nối. Trong nhiều trường hợp các hệ thống phụ gồm các phần tử thứ cấp như các lỗ tháo chất lỏng và bộ bầu lọc, nút xả có thể bị tắc hoặc không hoạt động đúng khi làm việc với chất lỏng nhớt. Đường ống thường nối với vỏ bơm và có thể yêu cầu tản nhiệt hoặc các xem xét khác để đảm bảo việc làm sạch chi tiết làm kín một cách phù hợp.

7.6 Bơm không có vòng làm kín

Khi sử dụng các loại bơm không có vòng làm kín cần phải có các xem xét bổ sung. Có hai loại bơm không có vòng làm kín: Bơm có động cơ được bọc kín và bơm dẫn động từ tính. Với loại bơm động cơ được bọc kín, rô to của động cơ và ổ đỡ được ngâm vào chất lỏng được bơm. Với loại bơm dẫn động từ tính, khớp nối dẫn động từ tính và ổ đỡ được ngâm trong chất lỏng được bơm. Khi đó lực cản nhớt tăng thêm do các bộ phận này được ngâm trong chất lỏng công tác sẽ làm tăng tổn thất, từ đó làm tăng yêu cầu về công suất tiêu thụ và mô men khởi động. Với loại bơm không có vòng làm kín, tiến hành gia nhiệt cho chất lỏng nhớt trong buồng công tác của rô to có thể là một yếu tố làm giảm một phần tổn thất trong bơm. Hơn nữa, dòng chất lỏng nhiệt độ thấp chảy vào động cơ hoặc khớp nối từ tính và ổ đỡ có thể giảm xuống. Nhiệt độ tăng do tăng tổn thất và giảm dòng chất lỏng nhiệt độ thấp cũng phải được xem xét. Ngoài ra, cũng cần phải đánh giá khả năng bôi trơn của chất lỏng nhớt ở các ổ đỡ, bạc lót

Phụ lục A

(tham khảo)

Chuyển đổi đơn vị đo độ nhớt động học

Định nghĩa

v_{cSt} = độ nhớt động học tính bằng centi Stockes (cSt) cho chất lỏng được bơm.

v_{SSU} = độ nhớt động học tính bằng Giấy Saybolt (SSU).

Để thuận tiện cho việc chuyển đổi đơn vị, công thức A.1 được sử dụng để chuyển đổi độ nhớt động học SSU sang cSt. Công thức chuyển đổi từ đơn vị SSU sang cSt xây dựng từ một loạt giá trị có được từ công thức A.2:

Công thức A.1 với $32 \text{ SSU} \leq v_{SSU} \leq 2\,316 \text{ SSU}$

$$v_{cSt} = 0,2159v_{SSU} - \left[\frac{10000 \times (v_{SSU} + 17,06)}{(0,9341v_{SSU}^3 + 9,01v_{SSU}^2 - 83,62v_{SSU} + 53340)} \right] \quad (\text{A.1})$$

Chuyển đổi từ cSt sang SSU

Công thức sau, quy định trong ASTM D 2161-93 (Xuất bản 1999)^{Xuất bản lần 2[28]} dựa trên số liệu 38 °C (100 °F), được dùng để chuyển đổi độ nhớt động học cSt sang SSU.

Công thức A.2

Với $1,81 \text{ cSt} \leq v_{cSt} \leq 500 \text{ cSt}$

$$v_{SSU} = 4,6324v_{cSt} + \left[\frac{1,0 + 0,03264v_{cSt}}{(3930,2 + 262,7v_{cSt} + 23,97v_{cSt}^2 + 1,646v_{cSt}^3) \times 10^{-5}} \right] \quad (\text{A.2})$$

Chuyển đổi độ nhớt động lực học (độ nhớt tuyệt đối) sang độ nhớt động học

Nếu độ nhớt chất lỏng được bơm cho theo độ nhớt động lực học hoặc độ nhớt tuyệt đối, nên chuyển đổi sang độ nhớt động học để sử dụng phương pháp hiệu chỉnh tính năng của bơm. Giá trị số của độ nhớt động lực học thường được đo bằng centiPoise (cP) hay Pascal-giây (Pa-s). Độ nhớt động học được tính bằng độ nhớt động lực học (độ nhớt tuyệt đối) chia cho khối lượng riêng.

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

Để chuyển đổi, độ nhớt động lực học, tính bằng centipoise (cP), chia cho khối lượng riêng, tính bằng gam trên centimét khối (g/cm^3) để thu được độ nhớt động học, tính bằng centistokes (cSt).

Để chuyển đổi độ nhớt động lực học, tính bằng Pascal-giây (Pa-s), chia cho khối lượng riêng, tính bằng kilôgam trên mét khối (kg/m^3) để thu được độ nhớt động học, tính bằng mét vuông trên giây (m^2/s).

Chuyển đổi từ hệ CGS sang hệ SI

Độ nhớt	Đơn vị CGS	Tỷ số chuyển đổi Sang đơn vị SI	Đơn vị SI
Độ nhớt động lực học (μ)	Poa dơi (P) g/cm-s	10^{-1}	Pa-s
	Centi Poa dơi (cP)	10^{-3}	Pa-s
Độ nhớt động học (ν)	Stockes (St) (cm^2/s)	10^{-4}	m^2/s
	centi Stockes (cST)	10^{-6}	m^2/s

Chuyển đổi từ hệ SI sang hệ CGS

Độ nhớt	Đơn vị SI	Tỷ số chuyển đổi sang đơn vị CGS	Đơn vị CGS
Độ nhớt động lực học (μ)	Pa-s	10^1	Poa dơi (P) g/cm-s
	Pa-s	10^3	Centi Poa dơi (cP)
Độ nhớt động học (ν)	m^2/s	10^4	Stockes (St) (cm^2/s)
	m^2/s	10^6	centi Stockes (cST)

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] *American National Standard for Centrifugal Pumps, Std.No.ANSI/HI 1.1-1.6 (Tiêu chuẩn quốc gia Mỹ về bơm ly tâm).*
- [2] *CONSTANCE, John D., "Using Centrifugal Pumps for High Viscosity Liquids", Plant Engineering, Sept.16, 1976, pp.163-166 ("Bơm ly tâm sử dụng với chất lỏng có độ nhớt cao", Bố trí kỹ thuật).*
- [3] *DAUGHERTY, Robert L., "Investigation of the Performance of Centrifugal Pumps When Pumping Oils", Bullentin 2, The Goulds Manufacturing Company, Seneca Fall, N.Y.,1925 ("Điều tra nghiên cứu đặc tính của bơm ly tâm khi bơm dầu").*
- [4] *DAUGHERTY, Robert L., "A Further investigation of the Performance of Centrifugal Pumps When Pumping Oils", Bullentin 130, Goulds Pumps, Ins.,Seneca Falls, N.Y., 1926 ("Điều tra thêm đặc tính của bơm khi bơm dầu").*
- [5] *ERICKSON, R.B., "Effect of Viscosity on the Hydraulic Performance of a 2x1LF-10 Centrifugal Pump", Duriron Lab. And DuPont Jackson Lab. Development Report, 5 May 1995 ("Ảnh hưởng của độ nhớt đến đặc tính thủy lực của bơm ly tâm 2x1LF-10").*
- [6] *Flowserve [formerly Durco] Pump Engineering Manual, Dayton, 1980, pp.100-103 (Hướng dẫn kỹ thuật bơm dòng).*
- [7] *GULICH, J.F., "Pumping Highly Viscous Fluids with Centrifugal Pumps", World Pumps, 1999, No.8 & 9 (Bơm chất lỏng có độ nhớt cao với bơm ly tâm).*
- [8] *GULICH, J.F., "Kreiselpumpen. Ein Handbuch fur Entwicklung, Anladenplanug und Betrieb", Spinger, ISBN 3-540-56987-1, Berlin, 1999, pp 70-72, 107, 538-550.*
- [9] *HAMKINS, C.P., JESKE, H.O and HERGT, P.H., "Prediction of Viscosity Effects in Centrifugal Pumps by Consideration of Individual Losses", (from a lecture at the Third European Congress Fluid Machinery for the Oil, Petrochemical, and Related Industries; The Hague, Netherlands, 18-20 May 1987) ("Dự đoán các ảnh hưởng độ nhớt đến bơm ly tâm bằng sự tính toán đến các tổn thất riêng").*
- [10] *HERGT, P., STOFFEL, B. and LAUER, H., "Verlustanalyse an einer Kreiselpumpe auf der Basis von Messungen bei hoher Viskositat des Fördermediums," VDI Report No.424, 1981, pp.29-38.*
- [11] *HOLLAND, F.A., CHAPMAN, F.S., "Pumping of Liquids", Reinhold, N.Y., 1996, pp. 249-256 ("Bơm chất lỏng").*
- [12] *IPPEN, Arthur T., "The Influence of Viscosity on Centrifugal Pump Performance", ASME Paper No. A-45-57, (Annual Meeting of The American Society of Mechanical Engineer, New York, N.Y., November 27, 1945) ("Ảnh hưởng của độ nhớt đến đặc tính của bơm ly tâm").*

- [13] MAGGIOLO CAPOS, O.J., "Aporte al Estudio Sobre la Influencia de la Viscosidad, en la Carateristica de Bombas Centrifugas", *Boletin de la Facultad de Ingenieria de Montevideo, Ano XVI, Vol, VI, No.4, Oct. 1952, pp. 487-51.*
- [14] MOLLENKOPF, G., "Influence of the Viscosity of the Liuid to Handled in the Operating Reaction of Centrifugal Pump with Different Specific Speeds" (in German), *Pumpentagung, Karlsruhe '78, 28 Sept. 1978, Section K10* ("Ảnh hưởng của độ nhớt chất lỏng đến vận hành trong phản ứng vận hành của bơm ly tâm với các tốc độ quy định khác nhau").
- [15] OUZIAUX, R., "Influence de la viscostié et des jeux sur le fonctionnement d'une pompe centrifuge", *Student thesis, C.N.A.M France, 12 Des. 1969, pp. 80-86.*
- [16] SAXENA, S.V., KUHLMAN, J. and RENGER, H., "Evaluationong of Performance Correction Factors for High Power Centrifugal Pipeline Pumps for Higher Oil Viscosity" (in German), *Fachgemeinschaft pumpen im VDMA, Pumpentagung, Karlsruhe, 30 Sept. -2 Oct.1996, Section C7* ("Đánh giá các hệ số hiệu chỉnh đặc tính đối với bơm ly tâm công suất cao đối với độ nhớt dầu cao").
- [17] STEPANOFF, A.J., "Centrifugal and Axial Flow Pumps Theory, Design, and Application", *John Wiley, N.Y., 1948, pp. 310-318* ("Bơm ly tâm và bơm hướng trục, lý thuyết, thiết kế và ứng dụng")
- [18] SUKHANNOV, D.Y., "Centrifugal Pump Operation on Viscous Liquids" (in Russian), *MASHGIZ, Moscow 1952* ("Vận hành bơm ly tâm đối với chất lỏng có độ nhớt").
- [19] TANKA, K., OHASHI, H., "Performance of Centrifugal Pumps at Low Reynolds Number (1st Report, Experimental Study)" (In Japaness), *Transactions of JESM Ed.50 No.449, Doc. No. 83-007, Jan. 1984, pp. 279-285* ("Đặc tính của bơm ly tâm tại số Reynol thấp").
- [20] TANKA, K., OHASHI, H., "Optimum Design of Centrifugal Pumps Highly Viscous Liquids", *Proceedings of the 13th AIHR Symposium at Montreal, Canda 1986-9 No. 35* ("Thiết kế tối ưu cho bơm ly tâm bơm chất lỏng có độ nhớt cao").
- [21] TURZO, Z., TAKACS, G. and ZSUGA, J., "Equations Correct Centrifugal Pump Curves for Viscosity", *Oil & Gas Journal, 29 May, 2000, pp. 57-61* ("Đường đặc tính bơm ly tâm hiệu chỉnh cân bằng cho độ nhớt").
- [22] "Umrechnung der Kennlinien von Spiralgehausenpumpen bei Betrieb mit zahren Flussigkeiten", *KSB Worksheet, No. 38.1, 15 April 1983.*
- [23] WEN-GUANG, Li "The 'Sudden-Rising Head' Effect in Centrifugal Oil Pumps", *World Pumps, 2000, No.10* ("Cột áp tăng đột ngột" Tác động của bơm ly tâm").
- [24] *American National Standard for Centrifugal Pumps for Design and Application (ANS/HI 1.1-2.2-2000, 1.3-2000)* (Tiêu chuẩn quốc gia Mỹ về bơm ly tâm thiết kế và ứng dụng).

- [25] YAMDA, Y., "Resistance of Flow Through an Annulus with an Inner Rotating Cylinder", *Bulletin JSME*, Vol.5, No.17, 1962, pp.302-310 (Chống lại dòng chất lỏng thông qua vành dòng chảy với một xy lanh quay bên trong).
- [26] DAILY, J.W., NECE, R.E., "Roughness Effects on Frictional Resistance of Enclosed Rotating Disc", *Transactions of ASME, Journal of Basic Engineering*, 1960, No.82, pp.553-560 ("Ảnh hưởng của độ nhám trên ma sát kháng của đĩa quay").
- [27] YAMADA, Y., "Torque Resistance of a Flow Between Rotating Co-axial Cylinders Having Axial Flow", *Bulletin JSME*, Vol.5, No.20, 1962, pp. 634-641 (Mô men xoắn kháng của dòng chảy giữa xy lanh đồng trục có dòng chảy hướng trục)
- [28] "Standard Practice for Conversion of Kinematic Viscosity to Saybolt Universal Viscosity or to Saybolt Furol Viscosity", *ASTM Designation D 2161-93 (Reapproved 1999) with editorial corrections in August 2000* ("Tiêu chuẩn thực hành cho chuyển đổi độ nhớt động lực học độ nhớt toàn bộ Saybolt hoặc đến độ nhớt kế Saybolt").
- [29] STEPANOFF, Q.J., "How Centrifugals Perform When Pumping Viscous Oils", *Power*, June 1949 (Bơm ly tâm thực hiện bơm dầu có độ nhớt như thế nào?).
- [30] MACMEEKIN, R.J., "Reynolds Number in the Design of Centrifugal Pumps for Viscous Liquids", *Ingersoll-Rand Co internal report*, September 1942 ("Số Reynol trong thiết kế bơm ly tâm dùng cho chất lỏng nhớt")
-