

XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH TỔNG HỢP CỦA NHIỀU BƠM LY TÂM HÚT HAI PHÍA LẮP SONG SONG VÀ ĐẶC TÍNH THỦY LỰC TUYẾN ỐNG ĐỂ LỰA CHỌN MÁY BƠM VÀ PHƯƠNG ÁN VẬN HÀNH TỐI ƯU

DETERMINATION OF THE COMBINED CHARACTERISTICS OF PARALLEL OPERATED CENTRIFUGAL PUMPS AND PIPELINE CHARACTERISTIC FOR SELECTION OF PUMPS AND OPTIMAL OPERATION METHOD

KS. Nguyễn Đức Cách, ThS. Đặng Quang Hào
Công ty Cổ phần Chế tạo Bơm Hải Dương

TÓM TẮT

Khi thiết kế và lựa chọn máy bơm cho một trạm bơm tiêu nước moong trong công nghiệp khai khoáng hoặc cấp nước đi xa với lưu lượng lớn, cột áp cao, người ta thường sử dụng bơm ly tâm hút 2 phía với số lượng nhiều máy bơm lắp song song, xả chung vào một tuyến ống. Việc lựa chọn máy bơm với thông số thủy lực phù hợp và phương án vận hành kinh tế là rất quan trọng, giúp cho trạm bơm hoạt động ổn định, hiệu quả và giảm chi phí năng lượng. Trên thực tế, lựa chọn máy bơm và phương án vận hành không phù hợp đã lãng phí năng lượng đến 15-20% và những trạm bơm hoạt động liên tục với công suất lớn có thể lãng phí đến hàng tỉ đồng/năm. Để có cơ sở lựa chọn thông số thủy lực máy bơm, kích thước ống đẩy và phương án vận hành tối ưu rất cần đến việc xác định đường đặc tính và điểm làm việc của các bơm lắp song song trên tuyến ống đã chọn, sao cho máy bơm luôn làm việc ở vùng hiệu suất cao nhất.

Từ khóa: Bơm ly tâm; Bơm hút 2 phía; Bơm cột áp cao.

ABSTRACT

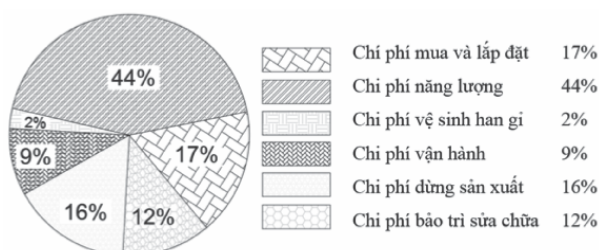
When designing and selecting pumps for a drainage pumping station in the mining industry or supplying water away with large flow and high head, people usually choose centrifugal double suction pumps with a large number of pumps installed in parallel on a discharge pipeline. It is very important to choose the pump with the right hydraulic parameters and economic operation plan, to help the pumping station operate stably, efficiently and reduce energy costs. In reality, the incorrect selection of pump and operating plan waste energy up to 15-20%, and pumping stations operating continuously with large capacity can waste billions of dong/year. In order to have a basis for selecting pump hydraulic parameters and discharge pipe sizes and optimal operating plan, it is necessary to determine the characteristic curves and working points of pumps installed in parallel on the selected pipeline route, so that the pump always works in the highest efficiency zone.

Keywords: High pressure pumps; Double suction pumps; Centrifugal pumps.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi thiết kế các trạm bơm, ngoài việc lựa chọn máy bơm và hệ thống đường ống, đảm bảo cho các máy bơm hoạt động ổn định, đáp ứng các yêu cầu về lưu lượng, cột áp, thì việc tính toán sao cho chi phí vòng đời của toàn bộ thiết bị thấp nhất là rất quan trọng, nó quyết định hiệu quả kinh tế của một dự án về trạm bơm. Hãng bơm Flowserve đã tổng kết chi phí vòng đời trung bình của một máy bơm điển hình bằng biểu đồ trong hình 1 [4].



Hình 1. Chi phí vòng đời của một máy bơm điển hình

Theo biểu đồ hình 1 thì chi phí mua sắm và lắp đặt ban đầu chỉ chiếm 17% chi phí vòng đời của một máy bơm điển hình. Như vậy, giảm các chi phí khác như chi phí năng lượng, chi phí bảo trì, chi phí vận hành sẽ mang lại hiệu quả cao cho một trạm bơm. Các chi phí này phụ thuộc rất nhiều vào việc lựa chọn chất lượng và thông số thủy lực của các máy bơm, kích thước đường ống, và phương pháp vận hành.

Trong thực tế, không ít các trạm bơm tiêu và cấp nước với lưu lượng lớn và cột áp cao, sử dụng nhiều bơm ly tâm hút 2 phía lắp song song, xả chung vào một tuyến ống đẩy, do nhiều nguyên nhân khác nhau như: Chọn bơm với thông số thủy lực không phù hợp hoặc nhu cầu về lưu lượng và cột áp cần bơm khác nhau trong ngày v.v... dẫn đến các máy bơm hoạt động trong vùng hiệu suất thấp hoặc phải đóng bớt van trên đường ống đẩy để tránh xâm thực,

gây tăng chi phí điện năng, hoạt động không ổn định, tăng chi phí bảo trì máy bơm và các thiết bị phụ trợ. Để việc lựa chọn máy bơm với thông số thủy lực phù hợp và khai thác hiệu quả khi vận hành thì việc xác định đường đặc tính thủy lực tuyến ống, đặc tính tổng hợp của nhiều bơm lắp song song và điểm hoạt động của các máy bơm ở các số vòng quay khác nhau là rất quan trọng.

Đối với những trạm bơm không có sự thay đổi lớn về lưu lượng, cột áp trong ngày và theo mùa thì việc xác định đường đặc tính tổng hợp và điểm hoạt động của các máy bơm ly tâm lắp song song, xả chung vào một tuyến ống sẽ giúp ta lựa chọn thông số thủy lực máy bơm và kích thước tuyến ống phù hợp ngay từ khi thiết kế trạm bơm, mang lại kinh tế cho đầu tư ban đầu và hiệu quả trong khai thác vận hành.

Đối với những trạm bơm có sự thay đổi lớn về lưu lượng, cột áp trong ngày và theo mùa thì việc xác định đường đặc tính tổng hợp và điểm hoạt động của các máy bơm ly tâm lắp song song sẽ giúp ta xác định vận tốc quay phù hợp cho từng thời điểm để các máy bơm luôn hoạt động ở vùng hiệu suất cao nhất, giảm chi phí năng lượng và chi phí bảo trì, bằng cách sử dụng các thiết bị phụ trợ như: Biến tần, khớp nối thủy lực, v.v...

Nội dung bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu xây dựng đường đặc tính thủy lực tuyến ống, đường đặc tính tổng hợp của nhiều máy bơm ly tâm lắp song song ở các vận tốc khác nhau và điểm làm việc của chúng với một trạm bơm cụ thể đã được xây dựng, vận hành, khai thác trong thực tế.

2. XÂY DỰNG ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH THỦY LỰC CỦA TUYẾN ỐNG

Để có cơ sở lựa chọn thông số thủy lực

máy bơm cho một trạm bơm, cần thiết phải xác định được chiều cao địa hình bơm (từ mức nước bề hút đến mức nước bề xả) và tổng tổn thất cột áp trên toàn bộ hệ thống đường ống (ống hút, ống đẩy và các thiết bị phụ trợ trên đường ống). Tổng tổn thất cột áp phụ thuộc vào cỡ ống, chất lượng đường ống và số lượng thiết bị phụ trợ lắp kèm.

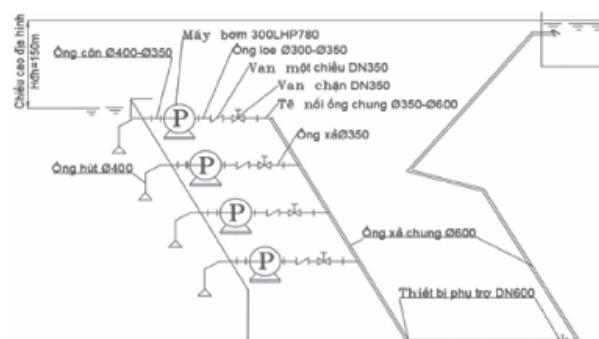
Đối với một tuyến ống cụ thể, việc tính toán lý thuyết các tổn thất cột áp theo các lưu lượng bơm khác nhau cho phép ta xây dựng đường đặc tính thủy lực của toàn bộ tuyến ống đó. Đường đặc tính thủy lực của tuyến ống (đường Q-H) là một đường cong Pa ra bên, biểu thị mối quan hệ giữa tổn thất cột áp (H) trên toàn bộ tuyến ống với lưu lượng (Q) chảy qua.

Điểm làm việc của bơm sẽ là giao điểm giữa đường đặc tính làm việc của máy bơm (Q_b -H) hoặc đường đặc tính tổng hợp của nhiều máy bơm lắp song song (Q_{tt} -H) và đường đặc tính thủy lực (Q-H) của tuyến ống. Như vậy, nếu xác định được đường cong đặc tính tuyến ống và lưu lượng của trạm (Q_{tt}), ta sẽ xác định được cột áp hoạt động của bơm (H_b). Từ đó, ta chọn được máy bơm có cột áp H_b ở vùng hiệu suất cao nhất, đảm bảo cho bơm luôn hoạt động hiệu quả, tiết kiệm năng lượng.

2.1. Tính toán tổn thất cột áp trên toàn bộ tuyến ống

Trạm bơm nghiên cứu gồm một 4 máy bơm ly tâm hút hai phía kiểu 300LHP780 giống nhau, lắp song song, trong đó có 3 máy bơm hoạt động và luôn có 1 máy dự phòng. Lưu lượng thiết kế của trạm là $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$, chiều cao địa hình là $H_{dh} = 150\text{m}$; toàn bộ tuyến ống xả chung $\Phi 0,6\text{m}$ dài 2500m, với 25 thiết bị phụ trợ (Cút, tê, van...) lắp kèm. Sơ đồ lắp đặt máy bơm và hệ thống đường ống được giới thiệu

trên hình 2.



Hình 2. Sơ đồ lắp đặt máy bơm và tuyến ống tại trạm bơm nghiên cứu

Tổn thất cột áp trên toàn bộ tuyến ống với một lưu lượng cụ thể của trạm bơm được tính bằng tổng các tổn thất thành phần sau:

a/ Tổn thất cột áp đường dài trên các đoạn ống hút và ống xả riêng:

Ống hút và ống xả riêng là các đoạn ống trụ ngắn nên tổn thất cột áp được tính theo công thức Darcy-Weisbach: $\Delta H = \lambda(L/d)(v^2/2g)$ [2].

Trong đó:

- λ là hệ số ma sát, đối với ống thép $\lambda = 1,5(0,0144 + 9,5/1000v^{0.5})$;
- L và d là chiều dài và đường kính đoạn ống (m);
- v là vận tốc trung bình dòng chảy trong ống (m/s).

b/ Tổn thất cột áp đường dài trên đường ống xả chung:

Ống xả chung là tuyến ống trụ dài, tổn thất cột áp được tính theo công thức Hazen-William: $\Delta H_D = 10666.L.Q^{1.85}/(C^{1.85}.D^{4.87})$ [2].

Trong đó:

- C là hệ số dòng chảy phụ thuộc vào vật liệu và độ nhẵn của ống;



- L và D là chiều dài và đường kính tuyến ống (m);
- Q là lưu lượng trạm bơm (m^3/s).

c/ Tổn thất cột áp cục bộ của các phụ kiện lắp trên toàn bộ tuyến ống

Các phụ kiện lắp trên tuyến ống bao gồm: Rọ lọc rác trên ống hút, các cút chuyển hướng, ống côn, ống loe, tê nổi và các loại van, v.v... Tổn thất cục bộ được tính theo công thức: $\Delta H = \zeta \cdot v^2 / 2g$ [2].

Trong đó:

- ζ là hệ số tổn thất cục bộ trên từng phụ kiện;
- v là vận tốc dòng chảy qua các phụ kiện.

d/ Tổn thất cột áp động dư:

Tổn thất cột áp động dư là $v^2/2g$, trong đó:

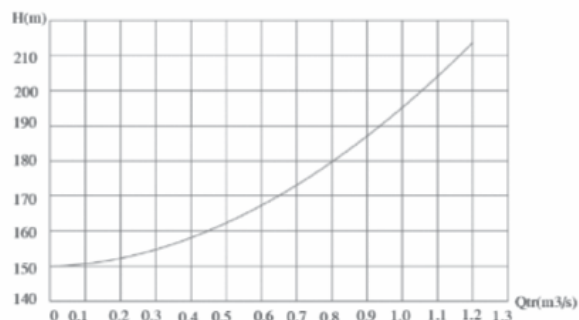
- v là vận tốc dòng chảy ra khỏi ống xả (m/s);
- g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 m/s^2$.

2.2. Xây dựng đường đặc tính thủy lực của toàn bộ tuyến ống

Tổn thất cột áp đường dài và tổn thất cột áp cục bộ là do ma sát của các phần tử nước với nhau và với thành ống hoặc thiết bị phụ trợ, nên đối với một loại đường ống và các phụ kiện cụ thể nó chỉ phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy. Vì vậy, nếu cho các giá trị Q_{tr} biến thiên (từ $Q_{tr} = 0$ đến Q_{tr} lớn nhất), ta tính toán được tổng tổn thất cột áp (H) tương ứng.

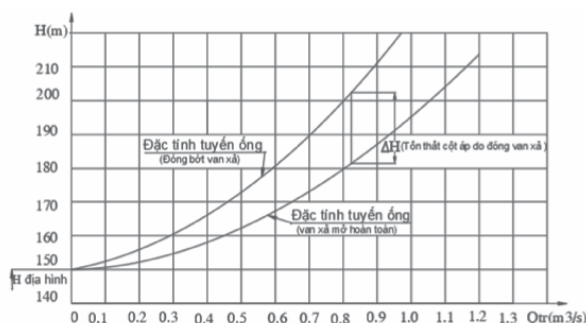
Xây dựng đồ thị mối quan hệ giữa lưu lượng Q_{tr} và tổng tổn thất cột áp (H), trong đó: Trục hoành biểu thị Q_{tr} và trục tung biểu thị tổn thất cột áp (H), ta nhận được đường đặc tính thủy lực của tuyến đường ống. Hình 3 giới thiệu đường đặc tính thủy lực tuyến ống của

trạm bơm nghiên cứu, xác định với lưu lượng từ $Q_{tr} = 0$ đến $Q_{tr} = 1,2 m^3/s$.



Hình 3. Đường đặc tính thủy lực tuyến ống của trạm bơm nghiên cứu

Đường đặc tính tuyến ống trong hình 3 được xây dựng với van xả mở hoàn toàn. Nếu ta điều chỉnh (đóng bớt) độ mở của các van xả này thì tổn thất cột áp trên toàn tuyến ống tăng lên, ta sẽ nhận được đường đặc tính thủy lực mới (hình 4).

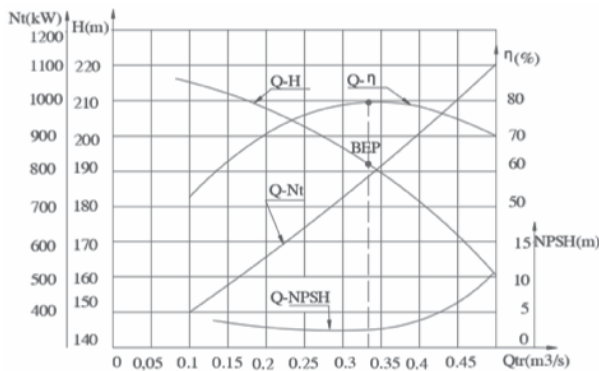


Hình 4. Đường đặc tính thủy lực tuyến ống thay đổi khi đóng bớt van xả

3. XÁC ĐỊNH ĐIỂM LÀM VIỆC CỦA NHIỀU BƠM LẮP SONG SONG

3.1. Đường đặc tính của bơm ly tâm hút 2 phía, ở các vòng quay khác nhau

Hình 5 giới thiệu đặc tính máy bơm ly tâm hút 2 phía 300LHP780 của HAPUMA ($Q = 1000 m^3/h$, $H = 192m$; $n = 1460 \text{ vg/ph}$; $N_{dc} = 1000 \text{ kW}$).



Hình 5. Đường đặc tính của máy bơm ly tâm hút 2 phía 300LHP780

Khi thay đổi số vòng quay của một máy bơm cánh dẫn thì các thông số thủy lực và năng lượng của bơm thay đổi theo luật tương tự như sau: $Q^* = Q \cdot \frac{n^*}{n}$; $H^* = H \cdot \left(\frac{n^*}{n}\right)^2$;

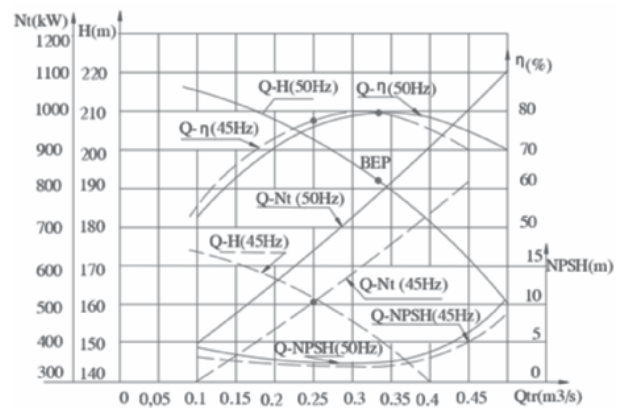
$$N_t = N_{t^*} \cdot \left(\frac{n^*}{n}\right)^3; NPSH_R^* = NPSH_R \left(\frac{n^*}{n}\right)^2$$

Trong đó:

- Q , H và N_{tr} là lưu lượng, cột áp và công suất trục ở số vòng quay n ;
- Q^* , H^* và N_{t^*} là lưu lượng, cột áp và công suất trục ở số vòng quay n^* .

Theo quy luật trên, nếu biết các đường đặc tính làm việc của một hoặc nhiều máy bơm lắp song song ở số vòng quay định mức, ta có thể xây dựng được đường đặc tính làm việc của chúng ở các số vòng quay khác nhau. Đối với máy bơm lắp trực tiếp với động cơ điện, số vòng quay của bơm sẽ tỷ lệ thuận với tần số điện vào.

Trên hình 6, các đường nét đứt là các đường đặc tính của máy bơm 300LHP780 vận hành ở tần số 45Hz (số vòng quay $n = 1314$ v/ph).



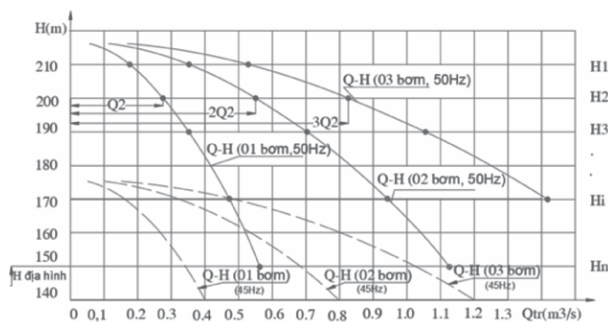
Hình 6. Đường đặc tính máy bơm 300LHP750 ở các tần số khác nhau

3.2. Xây dựng đường đặc tính tổng hợp của nhiều bơm lắp song song

Trong một trạm bơm với nhiều máy bơm lắp song song (xả vào một đường ống chung), nếu các bơm đang hoạt động ở chiều cao cột áp (H), lưu lượng của cả trạm (Q_{tr}) sẽ bằng tổng lưu lượng của từng bơm ($Q_{tr} = \sum Q_b$) tại cột áp đó [1].

Trong trường hợp các bơm lắp song song giống nhau, lưu lượng của cả trạm bằng lưu lượng của mỗi bơm nhân với số bơm hoạt động. Nếu ta có đường đặc tính thủy lực của một bơm, ta có thể xây dựng đường đặc tính tổng hợp của nhiều bơm lắp song song bằng cách: ứng với mỗi cột áp $H_1, H_2, H_i \dots H_n$, ta xác định được một điểm hoạt động với lưu lượng của cả trạm $Q_{tr1}, Q_{tr2} \dots Q_{trn}$. Nối các điểm hoạt động có cột áp H khác nhau ta sẽ được đường đặc tính tổng hợp của các bơm lắp song song (xem hình 7).

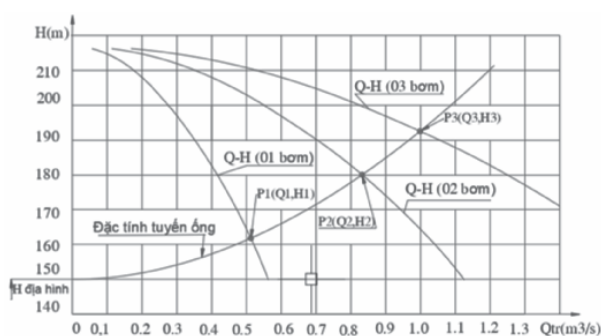




Hình 7. Đường đặc tính của một, hai và ba máy bơm 300LHP780 lắp song song ở tần số khác nhau (50Hz và 45Hz)

3.3. Xác định điểm làm việc của nhiều bơm lắp song song

Nếu ta xây dựng đường đặc tính làm việc và đặc tính tổng hợp của nhiều bơm lắp song song cùng với đường đặc tính tuyến ống trong một hệ tọa độ, thì điểm giao nhau giữa các đường đặc tính tuyến ống với đặc tính làm việc và đặc tính tổng hợp của các máy bơm là điểm làm việc của một hoặc nhiều bơm xả chung vào một tuyến ống đó. Trong hình 8: $P_1(Q_1, H_1)$, $P_2(Q_2, H_2)$ và $P_3(Q_3, H_3)$ là các điểm làm việc khi một bơm, hai bơm và ba bơm cùng hoạt động, xả chung vào một tuyến ống [1].



Hình 8: Các điểm làm việc của một, hai và ba máy bơm 300LHP780 lắp song song

3.4. Lựa chọn phương pháp vận hành tối ưu

Đối với trạm bơm nghiên cứu, gồm 4

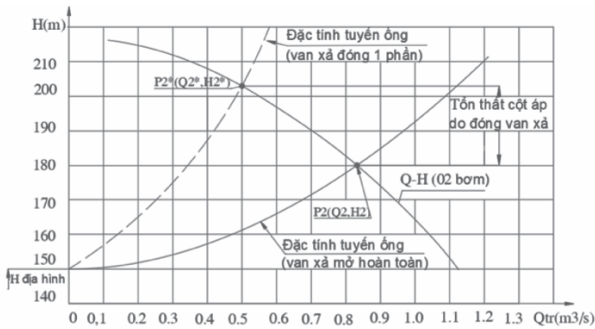
máy bơm 300LHP780 có đường đặc tính như hình 5, lắp song song và xả chung vào một tuyến ống như sơ đồ hình 2 với đường đặc tính thủy lực toàn tuyến ống như hình 3, các máy bơm đều được trạng bị biến tần để khởi động và điều khiển số vòng quay.

Thời gian ban ngày, lưu lượng yêu cầu của cả trạm là $1\text{m}^3/\text{s}$, nhưng đến đêm, lưu lượng yêu cầu của trạm chỉ còn $0,5\text{m}^3/\text{s}$. Để tiết kiệm điện năng và giảm chi phí bảo hành, cần thiết phải đưa ra phương pháp vận hành tối ưu cả ban ngày và ban đêm cho trạm, sao cho các máy bơm luôn hoạt động ở vùng hiệu suất cao nhất.

Khi lưu lượng yêu cầu của trạm là $1,0\text{m}^3/\text{s}$, ta có thể vận hành cả 03 máy bơm với van xả mở hoàn toàn ở tần số 50Hz (số vòng quay $n = 1460\text{v/ph}$), các bơm sẽ hoạt động ổn định ở điểm P_3 (hình 8) với cột áp $H_3 = 192\text{m}$ và hiệu suất $\eta_3 = 80\%$ (hình 5 - đường cong đặc tính máy bơm 300LHP780).

Khi lưu lượng yêu cầu của trạm là $0,5\text{m}^3/\text{s}$, thì có thể vận hành theo 03 phương án (PA) như sau:

+ PA1: Vận hành 02 máy bơm với van xả đóng một phần để lưu lượng của trạm là $Q_2^* = 0,5\text{m}^3/\text{s}$ (hình 9). Máy bơm sẽ làm việc ở điểm P_2^* với lưu lượng của mỗi bơm $Q_b^* = 0,25\text{m}^3/\text{s}$, cột áp của bơm là $H^* = 203\text{m}$ và theo đặc tính của bơm 300LHP780 (hình 5), hiệu suất của bơm là $\eta_2^* \approx 76\%$; công suất trên trục bơm $N_t^* = 654,5\text{ kW}$. Tổng công suất trên trục của 2 máy bơm là 1309 kW . Phương án này tiêu tốn điện năng vì vừa hoạt động tại điểm hiệu suất thấp (76% so với 80%), vừa tổn năng lượng cho cột áp tổn thất do đóng van ($\Delta H = 23\text{m}$).

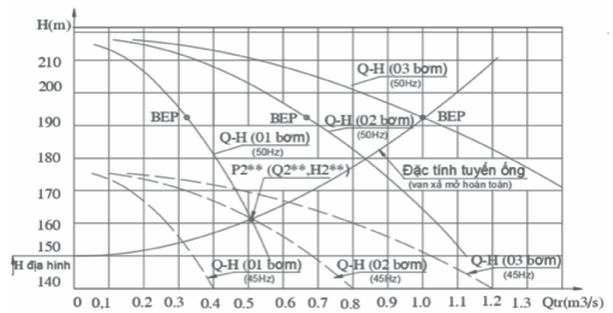


Hình 9. Điểm vận hành 2 máy bơm với van xả đóng một phần, $Q_{tr} = 0,5\text{m}^3/\text{s}$

+ PA2: Vận hành 01 bơm với van xả mở hoàn toàn, khi ấy ta có điểm vận hành tại P_1 (hình 8), lưu lượng của bơm là $Q_1 = 0,5\text{m}^3/\text{s}$; cột áp $H_1 = 161\text{m}$, hiệu suất $\eta_1 \approx 70\%$ (hình 5) và công suất trục $N_t \approx 1100\text{kW}$. Phương án này không khả thi vì công suất trục bơm cao hơn công suất động cơ, bơm hoạt động sẽ bị xâm thực do $NPSH_R$ cao ($>10\text{m}$) và hiệu suất của bơm thấp (70% so với 80%).

+ PA3: Vận hành 02 máy bơm với số vòng quay thấp để giảm lưu lượng theo yêu cầu ($Q_t = 0,5\text{m}^3/\text{s}$). Đây là phương án vừa kinh tế, vừa an toàn cho thiết bị, sử dụng biến tần để thay đổi đường đặc tính làm việc của bơm, sao cho bơm luôn hoạt động ở vùng hiệu suất cao nhất (gần điểm BEP - điểm có hiệu suất cao nhất) mà không phải đóng một phần van xả.

Nếu xây dựng các đường đặc tính của một, hai và ba máy bơm 300LHP750 ở tần số 45Hz ($n = 1314\text{ v/ph}$) cùng với đường đặc tính tuyến ống trên cùng một hệ tọa độ, ta sẽ nhận được các điểm hoạt động của một, hai và ba bơm với tần số 45Hz (Hình 10).



Hình 10. Các đường đặc tính của các bơm 300LHP780 (với số vòng quay $n = 1314\text{ v/ph}$) làm việc ghép trong hệ thống.

Theo các đường đặc tính trên hình 10, khi nhu cầu lưu lượng của trạm bơm là $0,5\text{m}^3/\text{s}$, ta có thể vận hành 02 máy bơm song song, ở tần số 45Hz. Khi ấy, cả 02 máy bơm sẽ hoạt động ổn định ở điểm P_2^{**} , với lưu lượng của trạm $Q_2^{**} = 0,5\text{m}^3/\text{s}$, cột áp $H_2^{**} = 161\text{m}$ và trên hình 4, $\eta_2^{**} = 78\%$ và tổng công suất trên trục bơm $N_t^{**} = 506\text{kW}$. Công suất trên trục của cả 02 máy bơm là 1012 kW , thấp hơn khoảng 22,7% so với PA1 (phương án vận hành 02 máy bơm và đóng bớt van xả).

Như vậy, từ việc xây dựng đường đặc tính tuyến ống, các đường đặc tính máy bơm vận hành độc lập hoặc song song nhiều bơm, ở các vòng quay khác nhau, cho phép ta lựa chọn máy bơm có thông số thủy lực phù hợp, hoạt động ở vùng hiệu suất cao nhất. Đặc biệt, đối với nhu cầu lưu lượng biến đổi trong ngày, cho phép ta lựa chọn số vòng quay phù hợp với lưu lượng cần bơm (sử dụng biến tần hoặc khớp nối thủy lực), đảm bảo cho bơm luôn hoạt động ở vùng hiệu suất cao và tiêu thụ năng lượng thấp nhất.

4. KẾT LUẬN

Trong quá trình thực hiện Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo và lắp đặt máy bơm ly tâm một cấp”

hút hai phía cột áp cao tới 200m phục vụ thoát nước trong khai thác mỏ”, thuộc “Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp quốc gia phục vụ đổi mới, hiện đại hóa công nghệ khai thác và chế biến khoáng sản đến năm 2025” do Bộ trưởng Bộ Khoa học và Công nghệ phê duyệt, ngoài việc nghiên cứu các nội dung về khoa học, công nghệ để thiết kế, chế tạo máy bơm, Đề tài đã đi sâu nghiên cứu cả về ứng dụng các loại bơm này một cách có hiệu quả nhất cho các công trình thoát nước mỏ nói riêng và cấp, thoát nước nói chung. Nội dung của bài báo thể hiện một phần kết quả nghiên cứu ứng dụng bơm ly tâm hút 2 phía cột áp cao, đồng thời cũng có thể ứng dụng cho các công trình trạm bơm với lưu lượng lớn sử dụng các loại bơm cánh khác lắp song song như: Bơm hỗn lưu hoặc bơm ly tâm nhiều cấp, làm cơ sở cho việc lựa chọn thông số kỹ thuật máy bơm, cỡ

tuyến ống và phương pháp vận hành hiệu quả nhất, nhằm mục đích giảm chi phí vòng đời của các máy bơm và nâng cao hiệu quả dự án trạm bơm. ❖

Ngày nhận bài: **22/7/2022**

Ngày phản biện: **02/8/2022**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Japan Association of Agricultural Engineering Enterprises, Tokyo 1991, “*Pumping Station Engineering Handbook*”.
- [2]. Asian Institute of Technology Bangkok Thailand, 1993, “*Planing and Design of pumping Work*”.
- [3]. Robert L. Sank, Ph. D, 1998, “*Pumping Station Design*”.
- [4]. Engineering and Technical Services flowserve. com.