

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ MỞ CÁNH HƯỚNG ĐẾN CÁC ĐẶC TÍNH NĂNG LƯỢNG CỦA MÁY THUẬN NGHỊCH BƠM -TUABIN

Nguyễn Thị Nhớ^{1,2}, Trương Việt Anh²

Tóm tắt: Bài báo này trình bày các kết quả thí nghiệm để khảo sát ảnh hưởng của độ mở cánh hướng đến các đường cong đặc tính về cột nước (H), công suất (P) và hiệu suất (η) của một tổ máy thuận nghịch bơm – tuabin khi vận hành trong hai chế độ bơm và tuabin. Kết quả cho thấy, khi độ mở tăng dần từ 5mm đến 15mm, trong vận hành chế độ bơm, lưu lượng tại điểm có hiệu suất lớn nhất Q_{BEP} (Best Efficiency Point-BEP) tăng từ 218,22 m³/h lên 300 m³/h trong khi H giảm từ 8,82m tới 7,71 m. Trong vận hành chế độ tuabin, Q_{BEP} tăng từ 270m³/h lên 320,9 m³/h trong khi H giảm từ 9,78 m tới 8,94 m. Xét về mặt hiệu suất, phương án độ mở cánh hướng 10mm cho hiệu suất của cả bơm và tuabin là tốt nhất, bơm đạt 77,07% và tuabin đạt 72,8%. Đồng thời, bài báo cũng đã xây dựng và đánh giá được vùng vận hành của máy đã thiết kế. Đây là kết quả nghiên cứu đầu tiên, có ý nghĩa trong thiết kế về dạng máy cánh này ở Việt Nam.

Từ khóa: Cánh hướng, bơm – tuabin, bơm, tuabin.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Bơm - Tuabin (Pump as Turbine, được viết tắt là PaT) là thiết bị thủy lực có khả năng làm việc ở hai chế độ bơm và tuabin, được ứng dụng rộng rãi trong các nhà máy thủy điện tích năng (NMTĐTN) từ những năm 1950. Các nghiên cứu trước đây đã khẳng định rằng tất cả các loại bơm từ trục đứng hay trục ngang, từ ly tâm hay hướng trục đều có thể vận hành được dưới dạng tuabin (Peter, 2014). Tính tới thời điểm hiện tại, các máy PaT có thể làm việc tốt được trong vùng cột nước từ 50m đến 800m, công suất đầu ra từ 10MW đến hơn 500MW, hiệu suất tuabin và bơm lên đến 91% và 90,8%.

Do sự xuất hiện của bộ phận cột trụ và cánh hướng nên dòng chảy đi ra của bơm cũng bị xáo động đáng kể so với bơm thông thường. Với một tốc độ quay nhất định, bơm chỉ có thể làm việc hiệu quả tại một vị trí của cột nước (H) và lưu lượng (Q) nhất định. Khi làm việc ngoài điểm thiết kế, một loạt các hiện tượng dòng chảy và các vấn đề thủy lực sẽ xảy ra làm giảm mạnh hiệu suất trung bình của máy. Giá trị này hoàn toàn có thể xác định được thông qua việc xác định các thành phần vận tốc tại mép ra bánh công tác (Nho, nnk 2018). Trong các nghiên cứu (Jasmina, et al 2014) và (Hasatuchi, 2012), ảnh hưởng của độ mở

cánh hướng đến các đặc tính của máy PaT trong hai chế độ đã được thảo luận. Nghiên cứu đó tập vào cơ chế hình thành và phát triển không ổn định dòng chảy, mối liên hệ giữa phân bố vận tốc tại biên ngoài bánh công tác và phân bố cường độ xáo động áp suất theo thời gian và không gian, và tác động của tải động lên bánh công tác và cánh hướng trong điều kiện thất tốc. Các phương án góc mở tối ưu của cánh hướng sau đó cũng được đề xuất để đưa ra những gợi ý cho quy trình vận hành sau này của máy.

Theo quy hoạch phát triển điện lực quốc gia có điều chỉnh thì Việt Nam sẽ có bảy phương án TĐTN được đưa vào vận hành với tổng công suất đạt 2100MW. Công trình TĐTN đầu tiên Bắc Ái 1,2 sẽ được đưa vào vận hành năm 2023 với công suất lắp máy mỗi tổ là 300 MW. Tuy nhiên, tới thời điểm hiện tại, vẫn chưa có bất cứ nghiên cứu nào về dạng máy này được công bố. Đây là một thách thức lớn cho các nhà khoa học trong nước. Trong nghiên cứu này, tác giả tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của độ mở cánh hướng nước đến các đặc tính năng lượng về cột áp, công suất và hiệu suất máy PaT bằng phương pháp thực nghiệm. Qua đó, cũng đánh giá được phần nào chất lượng máy PaT đã thiết kế trong nghiên cứu. Kết quả được áp dụng cho các máy PaT có số vòng quay đặc trưng n_s thấp.

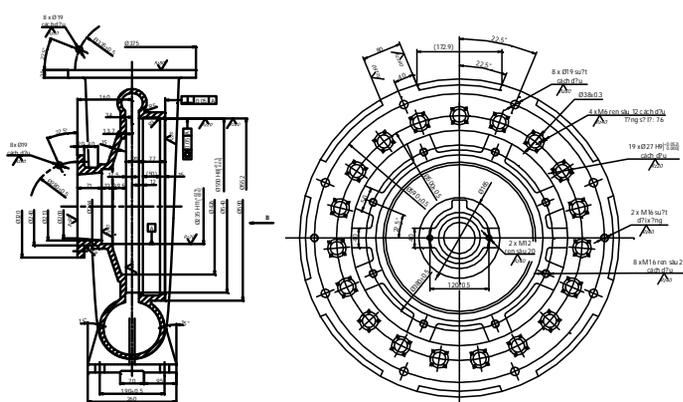
¹ Trường Đại học Thủy lợi

² Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

2. THIẾT LẬP HỆ THỐNG THỬ NGHIỆM

2.1. Giới thiệu hệ thống thử nghiệm của Công ty CP chế tạo bơm Hải Dương

Công ty CP chế tạo bơm Hải Dương đã xây dựng hệ thống thí nghiệm bơm mới tại Hải Dương với dung tích bể chứa ngầm $W = 2500 \text{ m}^3$, có thể thử bơm công suất $N_{\max} = 1500 \text{ kW}$, lưu lượng $Q_{\max} = 50000 \text{ m}^3/\text{h}$. Hệ thống được xây dựng đồng bộ với các thiết bị đo hiện đại, các phần mềm và phần cứng của hãng Siemens có độ chính xác và đồng bộ cao. Quy trình thử nghiệm được thực hiện dựa trên các tiêu chuẩn quốc tế về thử nghiệm máy bơm JIS G8301, JIS G8302, ISO2858 và các tiêu chuẩn Việt Nam.



Hình 1. Các thông số hình học của máy đã chế tạo, lắp ráp phục vụ thí nghiệm

Trong bài báo này, các thông số hình học của bánh công tác (BCT) PaT đã thiết kế như trên hình 1. Các thông số hình học có được từ các nghiên cứu thiết kế mô hình của cùng nhóm tác giả cho mẫu máy với các thông số đầu vào gồm: lưu lượng thiết kế bơm (Q) là

Từ các kết quả đo lường sẽ xác định các thông số kỹ thuật: công suất, cột áp, công suất trục, hiệu suất bơm và tuabin.

2.2. Thiết bị đo và đánh giá sai số

Các thiết bị đo bao gồm: đo lưu lượng, đo cột áp, mômen trục, dòng điện và tốc độ quay đều là các thiết bị hiện đại, chính xác và được nhập khẩu từ các quốc gia tiên tiến như Đức, Nhật hay Nga, đảm bảo độ chính xác và tin cậy. Sai số và giới hạn sai số trong thí nghiệm phải đạt yêu cầu cho phép theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8639:2011 (Nguyễn Minh Tuấn, 2016).

2.3. Thông số hình học của cửa tổ máy thí nghiệm



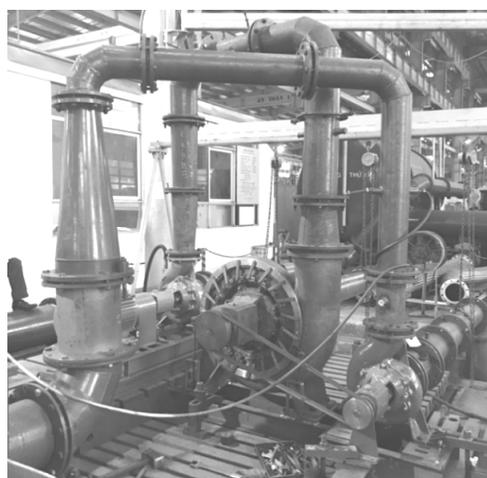
$0,067 \text{ m}^3/\text{s}$, cột nước bơm (H) là 9m và số vòng quay đặc trưng n_s là 104. Đặc biệt lưu ý với hệ thống 19 cánh hướng và hệ thống tay quay điều chỉnh lưu lượng.

2.4. Thiết lập phương án thí nghiệm

2.4.1 Sơ đồ thí nghiệm



a. Chế độ bơm



b. Chế độ tuabin

Hình 2. Hệ thống thí nghiệm bơm-tuabin

Hình 2 trình bày sơ đồ bố trí phương án thử nghiệm PaT trong chế độ bơm và tuabin. Để thí nghiệm cho chế độ tuabin, một bơm ly tâm LT270-12/D205 có các thông số tại điểm thiết kế bao gồm: tốc độ quay $n = 1480$ vòng/phút; công suất động cơ 7,8kW; cột nước $H=12\text{m}$ và lưu lượng $Q=320\text{m}^3/\text{h}$ phù hợp với các yêu cầu thí nghiệm được chọn làm bơm tạo tải và bơm tải. Trong thí nghiệm tuabin, máy bơm tải sẽ được kết nối vào hệ thống tuabin như trên sơ đồ hình 2b để tạo Q và H theo các yêu cầu thí nghiệm thông qua hệ thống ống dẫn có đường kính 250mm. Ngoài ra, do máy PaT có $n=600$ vòng/phút trong khi bơm tải lựa chọn là 1480 vòng/phút. Vì vậy, bộ truyền đai từ PaT qua bơm tải đã được sử dụng. Toàn bộ quá trình vận hành thử đều được thao tác trong nhà điều khiển. Lưu lượng máy bơm và tuabin sẽ được điều chỉnh nhờ van tiết lưu. Các thông số cần đo bao gồm các trị số lưu lượng, cột áp hút, cột áp đồng hồ hút, xả, dòng điện và công suất. Cuối cùng, xử lý các số liệu đo, đánh giá sai số và vẽ đường cong đặc tính.

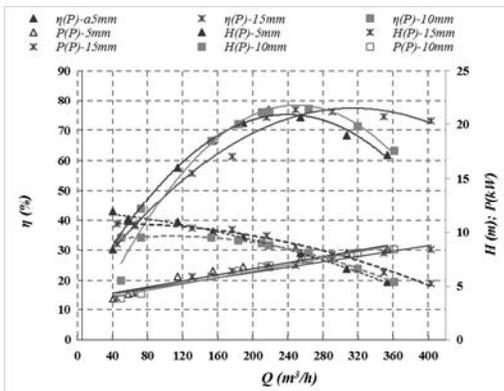
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của độ mở cánh hướng đến đặc tính bơm và tuabin

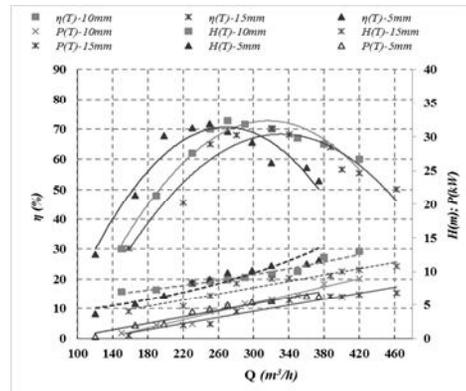
Hình 3 và hình 4 lần lượt thể hiện các kết quả của

ba phương án độ mở lần lượt là 5mm; 10mm và 15mm. Nhìn chung, độ mở cánh hướng a_0 ảnh hưởng nhiều nhất tới hình dạng, giá trị và vị trí xuất hiện điểm BEP, trong khi không ảnh hưởng quá nhiều đến hình dạng của các đường cong về cột nước và công suất của cả bơm và tuabin. Cụ thể, khi tăng độ mở từ 5mm đến 15mm thì các đường cong hiệu suất có xu thế dịch chuyển về phía bên phải (Q_{BEP} tăng) trong cả hai chế độ bơm và tuabin. Đặc biệt, khi độ mở tăng dần, vùng cho hiệu suất cao của bơm rất rộng nhưng giá trị hiệu suất lại giảm.

Bảng 1 so sánh chi tiết các giá trị về lưu lượng Q , cột nước H , công suất P và hiệu suất η tại điểm BEP của ba phương án khảo sát. Như có thể thấy trong cả vận hành bơm và tuabin, khi độ mở tăng dần từ 5mm đến 15mm độ thì Q_{BEP} đều có xu thế tăng trong khi cột áp H đều có xu thế giảm. Cụ thể, trong vận hành chế độ bơm, Q_{BEP} tăng từ 218,2 m^3/h lên 300 m^3/h trong khi H giảm từ 8,82m tới 7,71 m. Trong vận hành chế độ tuabin, Q_{BEP} tăng từ 270 m^3/h lên 320,9 m^3/h trong khi H giảm từ 9,78 m tới 8,94m. Xét về mặt hiệu suất, phương án độ mở cánh hướng 10mm cho hiệu suất của cả bơm và tuabin là tốt nhất, bơm đạt 77,07% và tuabin đạt 72,8%.



Hình 3. Đặc tính của bơm với các phương án độ mở cánh hướng 5mm; 10mm và 15mm



Hình 4. Đặc tính của tuabin với các phương án độ mở cánh hướng 5mm; 10mm và 15mm

Bảng 1. Kết quả của bơm và tuabin tại điểm BEP của ba phương án độ mở cánh hướng

Phương án độ mở $a_{01}=5\text{mm}$				
Vận hành	Q (m^3/h)	H (m)	P (kW)	η (%)
Bơm	218,22	8,82	6,83	76,69
Tuabin	270,00	9,78	4,99	70,30
Phương án độ mở $a_{02}=10\text{mm}$				
Vận hành	Q (m^3/h)	H (m)	P (kW)	H (%)
Bơm	242,50	8,43	7,23	77,07
Tuabin	315,00	9,49	5,72	72,80

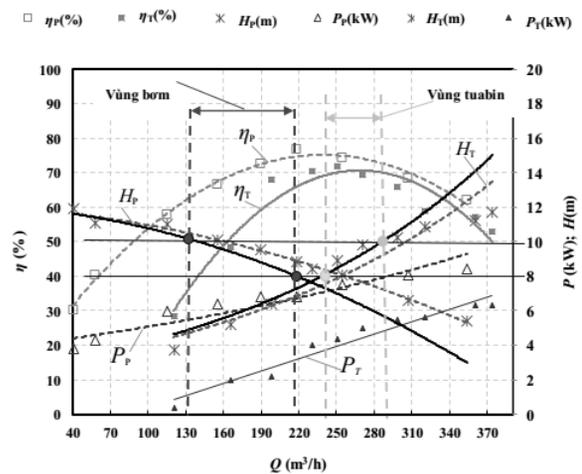
Phương án độ mở $a_{03}=15\text{mm}$				
Vận hành	Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)
Bơm	300,00	7,71	7,61	76,20
Tuabin	320,90	8,94	5,49	70,20

3.2. Đánh giá vùng vận hành của bơm và tuabin với các phương án độ mở cánh

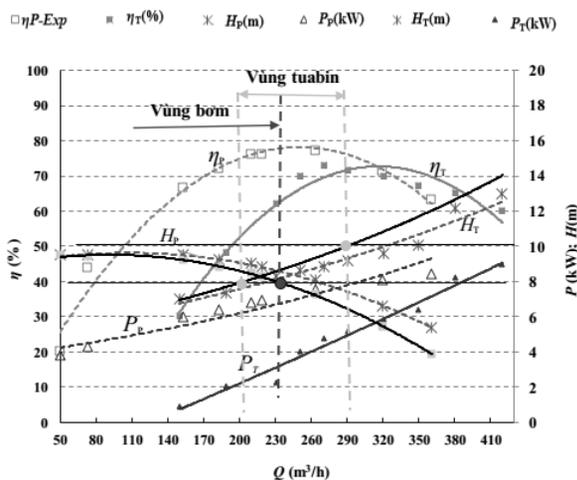
Việc thiết kế máy PaT thường gắn liền với một công trình thực tế, với các điều kiện thực tế về dao động mực nước thượng và hạ lưu, các yêu cầu về số giờ phát điện cũng như bơm nước, đặc biệt là giá điện theo từng khung giờ. Điều này sẽ liên quan đến hàm mục tiêu thiết kế của công trình. Với các trạm thủy điện tích năng, ngoài yêu cầu vùng hiệu suất cao thì các yêu cầu về cột nước và công suất rất quan trọng, đảm bảo điều kiện vận hành của cả chế độ bơm và tuabin. Trong một số trường hợp, tuy điểm làm việc có hiệu suất rất cao nhưng cột nước tuabin quá thấp hoặc cột nước bơm quá cao thì PaT cũng không làm việc được. Trong mục này, tác giả đánh giá vùng vận hành của bơm và tuabin với ba phương án độ mở cánh khác nhau với cột áp tĩnh thấp nhất và nhỏ nhất được lấy theo điều kiện vận hành đã được quy đổi về mô hình thí nghiệm của công trình TĐTN Phù Yên Đông. Kết quả được cho trên hình 5, hình 6 và hình 7.

Ba phương án độ mở cánh cho thấy vùng làm việc của hai chế độ bơm và tuabin đều nằm trong vùng hiệu suất cao, nằm xung quanh điểm thiết kế từ 85%÷110% điểm lưu lượng thiết kế. So sánh ba vùng làm việc của bơm và tuabin ứng với ba

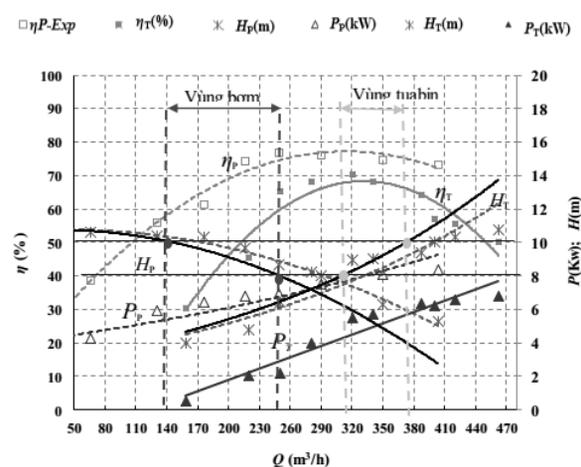
phương án cánh khác nhau cho thấy phương án độ mở $a_{02}=10\text{mm}$ cho hiệu suất tại điểm thiết kế là lớn nhất trong cả bơm và tuabin nhưng lại không nằm trong vùng có thể vận hành được do cột áp yêu cầu lớn hơn cột áp có thể tạo được của trạm. Trong khi đó, phương án độ mở $a_{01}=5\text{mm}$ và $a_{03}=15\text{mm}$ đều đảm bảo các điều kiện vận hành của bơm và tuabin về cột áp nhưng phương án $a_{01}=5\text{mm}$ cho vùng hiệu suất cao hơn, phương án này bao trọn vùng hiệu suất cao của cả bơm và tuabin.



Hình 5. Vùng vận hành của bơm và tuabin với phương án độ mở $a_{01}=5\text{mm}$



Hình 6. Vùng vận hành của bơm và tuabin với phương án độ mở $a_{02}=10\text{mm}$



Hình 7. Vùng vận hành của bơm và tuabin với phương án độ mở $a_{03}=15\text{mm}$

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày các kết quả thí nghiệm để đánh giá ảnh hưởng của độ mở cánh hướng nước đến các đường cong đặc tính năng lượng về H , P và η của một mô hình máy thuận nghịch bơm - tuabin có số vòng quay đặc trưng $n_s = 104$ khi vận hành trong chế độ bơm và tuabin. Đây là mô hình thuận nghịch có kết cấu mới, làm việc ổn định và chạy êm, đặc biệt đây là kết quả nghiên cứu đầu tiên ở Việt Nam được chế tạo và lắp đặt thí nghiệm. Kết quả cho thấy máy PaT thiết kế có thể vận hành tốt trong cả chế độ bơm và tuabin ở các điểm lưu lượng (Q)

và cột áp (H) khác nhau mà không có bất kỳ vấn đề vận hành nào xảy ra. Khi tăng độ mở của cánh hướng thì các đường cong hiệu suất có xu thế dịch chuyển về phía bên phải tức là Q_{BEP} tăng dần trong khi giá trị của đường cong cột áp H đều có xu thế giảm trong cả vận hành bơm và tuabin. Xét về mặt hiệu suất, phương án độ mở cánh hướng 10mm cho hiệu suất của cả bơm và tuabin là tốt nhất, bơm đạt 77,07% và tuabin đạt 72,8%. So với chế độ bơm, PaT hoạt động trong chế độ tuabin cho H và Q cao hơn (9,49m cột nước so với 8,34m và 315m³/h so với 242,5 m³/h) tại điểm BEP.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nguyễn Minh Tuấn, (2016), *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số thông số kích thước và kết cấu của bộ phận hướng dòng đến hiệu suất của bơm chìm hướng trục ở Việt Nam*, Viện Cơ khí động lực, Đại học Bách Khoa Hà Nội.
- Hasatuchi. V, Artist, (2012), *Hydrodynamics of a Pump-Turbine operating at off-design*. University of Applied Sciences of Western Switzerland.
- Jasmina.B.B, M. R. Dragica and S. M. Dragan, "Pumps used as turbines power recovery, energy efficiency, CFD analysis," *Thermal science*, vol. 18, no. 3, pp. 1030-1038, 2014.
- Nho. N. T, Truong A. V and Truong. V.V, (2018), "Theoretical prediction of performance curves of Pump-Turbine at a low specific speed," in *Seventh International Conference and Exhibition on Water Resources and Renewable Energy Development in Asia, No 25*.
- Peter.M, (2014), *Overview on Pump Turbine Technology*, Ravensburg Germany.

Abstract:

THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECTS OF THE GUIDE VANES OPENING ON ENERGY CHARACTERISTICS OF A REVERSIBLE PUMP AS TURBINE

This paper presents the experimental results to investigate the effects of the guide vanes opening on the characteristic curves of a reversible turbomachine, so called Pump as Turbine (PaT) when operating in 2 modes: pump and turbine. When the guide vanes opening increases from 5mm to 15mm, in the pump mode, Q_{BEP} (Best Efficiency Point - BEP) increases from 218,22 m³/h to 300 m³/h while H decreases from 8,82m to 7,71 m. In turbine mode, Q_{BEP} increases from 270m³/h to 320,9 m³/h while H decreases from 9,78 m to 8,94 m. In the case of 10mm, the pump and turbine conduct the best performance with 77,07% and 72,8% respectively. This study builds and evaluates the operating area for a PaT. This is also the initial results and has significant in designing of this kind of machine in Vietnam.

Keywords: Guide vane, Pump as Turbine, Pump, Turbine.

Ngày nhận bài: 09/7/2019

Ngày chấp nhận đăng: 07/9/2019