



MÔ HÌNH CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN THÀNH ĐIỆN NĂNG ỔN ĐỊNH, HIỆU SUẤT CAO BẰNG BUỒNG SÓNG

Lương Ngọc Giáp^{1*}, Nguyễn Bình Khánh¹, Trương Nguyễn Tường Ân¹

Tóm tắt: Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu của đề tài “Nghiên cứu thiết kế, thử nghiệm mô hình phát điện ổn định, hiệu suất cao bằng năng lượng sóng biển”. Đã nghiên cứu tính toán thiết kế và thử nghiệm thành công mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng bằng buồng sóng làm việc theo nguyên lý trạm thủy điện có hồ chứa. Mô hình có khả năng ổn định được công suất phát điện và hiệu suất cao. Đã xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình với các vùng làm việc khác nhau của sóng đến (chu kỳ sóng, bước sóng, chiều cao sóng). Việc xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành đã dựa trên phương trình năng lượng cùng các nghiên cứu thực nghiệm. Kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao bằng buồng sóng cho thấy, mô hình phù hợp với chế độ sóng khu vực vùng biển Nghi Sơn, tỉnh Thanh Hóa.

Từ khóa: Đường đặc tính tổng hợp chính; đường đặc tính tổng hợp vận hành; chiều dài sóng; chiều cao sóng; bằng buồng sóng; yêu cầu phát điện ổn định và hiệu suất cao.

Summary: The article is the result of the research project "Design, test of stable, effective electric generator model by using wave energy". Being based on hydropower station with reservoir principle, we successfully carried out a model converting sea wave energy into electricity by wave chamber; therefore it is able to stabilize the output power and to ensure the high-efficiency power generation. Operation characteristic conversion chart is built based on different incoming wave conditions (wave period, wave length, wave height). This construction depends on the basis of the energy equations and the experimental studies. The theoretical research and experiments of conversion rate chart establishment show that the considered model was suitable for wave regime at Nghi Son Commune of Thanh Hoa province.

Keywords: Main characteristic chart; operation characteristic chart; wave length; wave height; by wave chamber; stable power supply and high capacity requirements.

Nhận ngày 16/6/2016, chỉnh sửa ngày 21/7/2016, chấp nhận đăng 26/12/2016



1. Đặt vấn đề

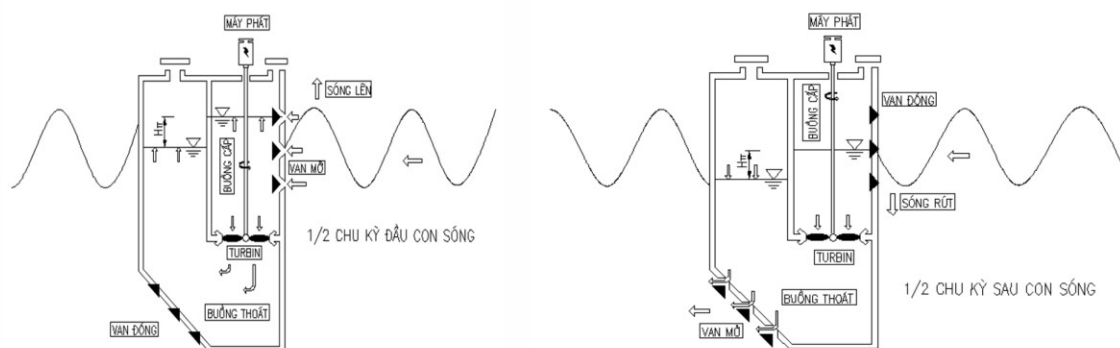
Khai thác nguồn năng lượng tái tạo thay thế năng lượng truyền thống đang dần cạn kiệt là xu hướng không thể đảo ngược hiện nay. Các nguồn năng lượng tái tạo đã và đang được khai thác, sử dụng hiệu quả là gió, mặt trời, sinh khối và năng lượng sóng biển. Ở các khu vực biển có trường sóng lừng liên tục trong năm với chiều cao lớn (trung bình từ 2-8m) như Ấn Độ, Scotland, Na Uy, Bồ Đào Nha, Anh... đã đưa xây dựng các trạm phát điện bằng sóng biển có công suất phổ biến từ 50kW, 100kW, 300kW, đến 500kW. Hiệu quả các nguồn điện từ sóng biển ngày càng cao, công suất tổ máy ngày càng lớn (750kW/tổ máy) và đã bắt đầu được thương mại hóa.

Công nghệ khai thác năng lượng sóng biển theo nguyên lý chuyển đổi năng lượng sóng thành điện năng được chia thành 6 dạng là: Bộ suy giảm (năng lượng của sóng được chuyển thành dao động của hệ thống phao và chuyển đổi thành điện năng); Hấp thụ điểm (khai thác thế năng của sóng); Bộ chuyển đổi dao động sóng nước dâng (dạng quả lắc dao động theo sóng); Bộ dao động cột nước (sử dụng sự thay đổi cột nước để nén và giải nén không khí trong buồng nén khí làm quay tuabin); Thiết bị tràn đỉnh (sóng dâng cao tràn vào một bể chứa và từ bể chứa nước đi qua tua bin phát điện trở lại biển và Bộ thay đổi áp suất (sử dụng sự dao động sóng trên mặt nước chuyển thành hệ thống biến đổi áp suất và bơm chất lỏng qua tuabin phát điện).

¹ThS, Viện Khoa học năng lượng.

*Tác giả chính. E-mail: lngocgiap@gmail.com.

Dưới đây trình bày kết quả nghiên cứu mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao phù hợp với điều kiện biển Việt Nam (đặc trưng bởi chiều cao và bước sóng thấp, chu kỳ sóng lớn). Mô hình làm việc theo nguyên lý trạm phát thủy điện có hồ chứa (Hình 1). Để đảm bảo việc phát điện ổn định, mô hình sử dụng giải pháp ổn định độ chênh cột nước và lưu lượng phát điện thông qua buồng sóng và việc vận hành các hệ thống van. Buồng sóng có cấu tạo gồm hai phần là buồng cấp và buồng thoát. Việc đảm bảo ổn định được mực nước và lưu lượng phát điện giữa buồng cấp và buồng thoát thông qua việc tính toán hợp lý về dung tích buồng sóng, các cửa van nhận nước buồng cấp, cửa van xả buồng thoát cũng như sự vận hành đồng bộ của hệ thống các cửa van này theo đặc tính con sóng. Với sơ đồ nguyên lý này cho hiệu suất khai thác năng lượng tương đối cao (có thể tới 44%) và phù hợp với các con sóng có độ cao không lớn của vùng biển Việt Nam ($H_s=0,3-1,5m$), [1].



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý làm việc của mô hình phát điện từ sóng biển sử dụng buồng sóng



2. Thiết kế mô hình

2.1 Nguyên lý làm việc của mô hình

Mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao bằng buồng sóng dựa trên nguyên lý khai thác thế năng của năng lượng sóng biển (chênh lệch độ cao giữa phần đỉnh sóng và chân sóng tương tự trạm phát thủy điện có hồ chứa). Sự chênh cao giữa đỉnh (mặt) và chân sóng sẽ tạo ra dòng chảy từ buồng cấp sang buồng thoát làm quay tuabin phát điện (Hình 1).

Thế năng trên một đơn vị chiều dài đỉnh sóng theo lý thuyết sóng tuyến tính biên độ nhỏ của Airy được xác định theo công thức sau, [2]:

$$E_p = \int_x^{x+L} \rho g \left[\frac{(\eta+d)^2}{2} - \frac{d^2}{2} \right] dx \quad (1)$$

trong đó, x là tọa độ theo phương truyền sóng của phần tử nước; L là bước sóng (chiều dài sóng); η là độ vượt cao đỉnh sóng; d là chiều sâu nước tại điểm tính sóng (tính đến mặt phẳng trung bình sóng). Sau khi tích phân ta được:

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L = E_k \quad (2)$$

Khi đỉnh con sóng tới bề mặt tiếp nhận sóng của mô hình, cửa van nhận sóng của buồng cấp mở ra, do có độ chênh mực nước giữa phần đỉnh và chân sóng, nước sẽ tràn vào buồng cấp, đồng thời van xả dưới buồng thoát sẽ đóng lại, mực nước trong buồng cấp sẽ dâng lên tạo ra dòng chảy qua tuabin vào buồng thoát, làm quay tuabin phát điện và nước trong buồng thoát cũng dâng lên. Khi bụng con sóng tới bề mặt tiếp nhận sóng thì van nhận nước của buồng cấp đóng lại, van xả dưới buồng thoát sẽ mở ra làm cho mực nước trong buồng thoát xả ra, mực nước trong buồng cấp và buồng thoát cùng hạ xuống, độ chênh mực nước giữa buồng cấp và buồng thoát sẽ làm nước chảy qua tuabin phát điện. Việc đảm bảo ổn định được mực nước và lưu lượng phát điện giữa buồng cấp và buồng thoát dựa trên kết quả tính toán lựa chọn dung tích buồng sóng phù hợp. Các cửa van nhận nước buồng cấp, cửa van xả buồng thoát cũng như sự vận hành đồng bộ của hệ thống được lựa chọn dựa theo đặc tính con sóng.

2.2 Thông số thiết kế của mô hình

Các thông số tính toán, thiết kế mô hình quan trọng nhất là kích thước buồng sóng và các thông số thiết kế tuabin thủy lực. Trong tính toán, lựa chọn kích thước của buồng sóng, thì chiều dài của buồng cấp và buồng thoát có ý nghĩa quyết định tới sự làm việc ổn định và hiệu suất của mô hình. Bề rộng của buồng sóng được lựa chọn trên cơ sở công suất thiết kế và chiều cao của buồng sóng phụ thuộc vào chiều cao sóng thiết kế của khu vực thử nghiệm mô hình.

Kích thước của buồng sóng được tính toán nhằm khai thác tối đa thể năng của con sóng đến, kích thước tối ưu của buồng sóng (chiều dài buồng cấp và buồng thoát) phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

- Trong nửa chu kỳ đầu sóng lên cần: lấy được tối đa phần dung tích được hình thành giữa bề mặt sóng và mặt phẳng trung bình sóng trong $\frac{1}{2}$ chu kỳ sóng lên vào buồng cấp. Dung tích có khả năng tiếp nhận của buồng cấp này phụ thuộc vào kích thước cửa vào buồng sóng, kích thước buồng đến (khả năng trữ nước của buồng cấp) và biên độ sóng (chiều cao sóng). Để đáp ứng yêu cầu này thì chiều dài của buồng cấp cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$a_1 \geq \frac{HL}{8h_v} \cdot k_s \quad (3)$$

trong đó, a_1 là chiều dài của buồng cấp, (m); H là chiều cao sóng, (m); L là chiều dài sóng, (m); h_v là chiều cao cửa nhận của buồng cấp, (m); k_s là hệ số tiếp nhận sóng, giá trị này phụ thuộc vào chiều cao cửa nhận nước của buồng cấp và cấu tạo cửa van cửa nhận nước, giá trị này được xác định bằng thực nghiệm;

- Trong nửa chu kỳ cuối sóng rút cần xả được hết dung tích nước mà buồng thoát đã tiếp nhận từ buồng cấp trong $\frac{1}{2}$ chu kỳ sóng lên ở $\frac{1}{2}$ chu kỳ sóng rút. Dung tích có thể thoát này phụ thuộc vào kích thước cửa tháo của buồng thoát, biên độ sóng cũng như đường mặt sóng. Khi đó chiều dài của buồng thoát phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$a_2 \cdot \Delta h \leq \frac{HL}{4} \cdot k_s - a_1 \cdot h_v \quad (4)$$

trong đó, a_2 là chiều dài buồng thoát, (m); Δh là độ chênh cột nước giữa buồng cấp và buồng thoát trong chu kỳ sóng tính toán, (m). Hiệu suất làm việc của mô hình cao nhất khi $\Delta h + h_v = H$.

Mô hình thử nghiệm được chế tạo với mục đích khai thác năng lượng sóng biển cho vùng biển Nghi Sơn, Thanh Hóa có các thông số sóng đặc trưng như sau: độ cao sóng trung bình dao động trong năm từ (0,30,6)m; chu kỳ sóng trung bình từ (3,05,0)s [3] và công suất định mức của mô hình là 0,3kW. Trên cơ sở công suất thiết kế yêu cầu của mô hình và các thông số sóng đầu vào đã lựa chọn được các thông số thiết kế chính của mô hình: Bề rộng buồng sóng: $b = 1,0\text{m}$; Chiều cao buồng sóng: $h = 1,7\text{m}$; Chiều cao cửa vào của buồng cấp: $h_v = 0,45\text{m}$; Chiều dài buồng cấp: $a_1 = 0,5\text{m}$; Chiều dài buồng thoát: $a_2 = 0,5\text{m}$;

- Kết cấu buồng sóng là vỏ hình hộp chữ nhật bằng kim loại kích thước $a \times b \times h$: $1,0 \times 1,0 \times 1,7\text{m}$; khung gia công hàn ghép bằng thép L40x40, vỏ tôn dày 3mm, mặt trên vỏ rỗng để cân bằng áp suất khí trời và thuận tiện cho quan sát.

Căn cứ phương trình biến đổi năng lượng của mô hình, tính toán, lựa chọn thông số cho tuabin thủy lực như sau: Loại tuabin: Kaplan; Đường kính bánh xe công tác $D_1 = 240\text{mm}$; Đường kính bầu cánh $b = 0,45D_1$; Số cánh: 04 cánh; Cột nước tính toán: $H_{in} = 0,35\text{m}$.

Bánh xe công tác được chế tạo bằng kim loại nhẹ nhằm giảm mô men khởi động, được nối với hệ thống hộp số và máy phát bằng trục thép rèn $\phi 20\text{mm}$. Bánh xe công tác là mô hình động lực có kết cấu phức tạp và ảnh hưởng lớn khả năng vận hành của mô hình, đặc biệt tuabin thủy lực của mô hình sử dụng cột nước rất thấp, hoạt động theo nguyên lý sử dụng dòng chảy.

Trên Hình 2 là ảnh chụp mô hình được thiết kế chế tạo và thử nghiệm ở Nghi Sơn, Thanh Hoá.



Hình 2. Ảnh mô hình khai thác năng lượng sóng biển đã được thiết kế chế tạo



3. Đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình

Đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình biểu thị quan hệ giữa các thông số vận hành của mô hình và được sử dụng để xác lập các chế độ vận hành của mô hình trong thực tế.

Do mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao bằng buồng sóng làm việc theo nguyên lý của trạm phát thủy điện có hồ chứa, nên đường đặc tính tổng hợp được xây dựng trên cơ sở đặc tính tổng hợp của mô hình động lực chủ yếu của trạm phát là tuabin thủy lực (sau đây gọi là tuabin). Đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình dựa trên nền tảng lý thuyết về tuabin và kết hợp với thí nghiệm mô hình trong phòng thí nghiệm có điều chỉnh theo thử nghiệm thực tế ngoài hiện trường.

Do đường kính bánh xe công tác của tuabin nhỏ, nên việc xây dựng các đường đặc tính của tuabin và mô hình như trình bày dưới đây được thực hiện với tỷ lệ thực.

3.1 Xây dựng đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin trong phòng thí nghiệm

Đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin thủy lực thể hiện hiệu suất, vùng làm việc tối ưu của tuabin, là dữ liệu quan trọng nhất để xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin. Đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin chính là họ đường cong hiệu suất của tuabin theo lưu lượng làm việc và số vòng quay của tuabin $\eta=f(Q,n)$ và được xác định trên cơ sở thí nghiệm với tuabin mô hình mẫu trong phòng thí nghiệm. Công thức xác định hiệu suất của tuabin như sau [4]:

$$\eta = \frac{P.l.\pi.n}{30.\gamma.Q.H_m} \quad (5)$$

trong đó, P là tải trọng trên máy hãm bộ thí nghiệm, (kG); l là cánh tay đòn trên máy hãm, (m); n là số vòng quay, (v/ph); γ là khối lượng riêng chất lỏng, (kg/m^3); Q là lưu lượng qua tuabin, (l/s) và H_m là cột nước thí nghiệm qua tuabin, (m).

Kết quả thí nghiệm, xây dựng đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin được thể hiện ở Hình 3 dưới đây.

Từ Hình 3 ta thấy, số vòng quay tối ưu của tuabin là $n=214$ v/ph. Vùng đạt hiệu suất cao nhất 82,8% ứng với lưu lượng làm việc là 210,5 l/s và số vòng quay 182 v/ph.

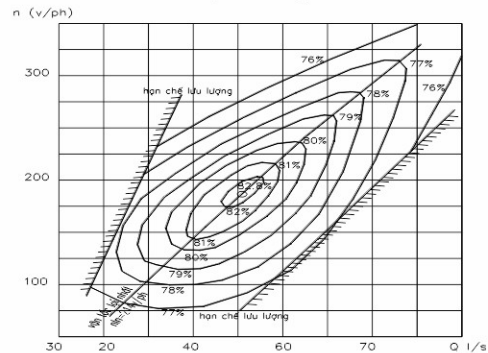
3.2 Xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành cho tuabin

Đường đặc tính vận hành của tuabin thủy lực thể hiện hiệu suất, vùng làm việc tối ưu của tuabin theo cột nước và công suất làm việc. Đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin chính là họ đường cong hiệu suất $\eta_T=f(N_T, H_T)$ được xây dựng bằng đường đặc tính chính của tuabin mô hình mẫu và công thức [4]:

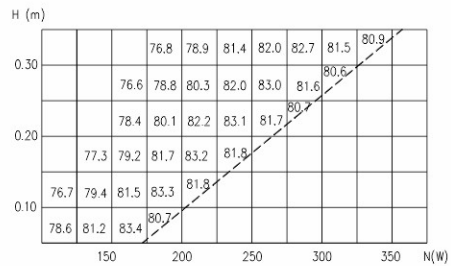
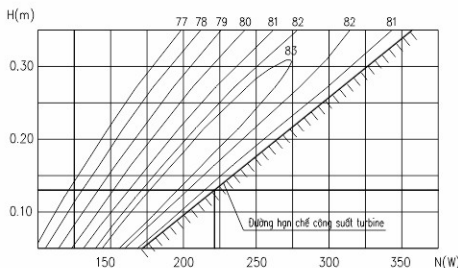
$$\eta_T = \frac{N_T}{9,81.Q_T.D_i^2.H^{3/2}}$$

trong đó, N_T là công suất trên trục của tuabin, (kW); Q_T là lưu lượng qua tuabin, (l/s); H là cột nước làm việc thực tế, (m); $D_i=240\text{mm}$.

Từ đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin thủy lực trên Hình 3 và công thức (5) ta xây dựng được đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin thủy lực được thể hiện ở Hình 4.



Hình 3. Đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin



Hình 4. Đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin thủy lực (đơn vị: %)

Trên đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin (Hình 4), đường hạn chế công suất chỉ ra giới hạn lắp đặt công suất cho máy phát điện và vùng cột nước cho phép hoạt động của tuabin. Đường đặc tính tổng hợp vận hành của tuabin thủy lực nêu trên sẽ là cơ sở để xây dựng đường đặc tính tổng hợp cho mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển.

3.3 Xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình trong phòng thí nghiệm

Để xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình phù hợp trong môi trường biển thực tế, trước tiên cần phải xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình trong phòng thí nghiệm (thử nghiệm với sóng đều có bước sóng, chiều cao sóng khác nhau), sau đó sẽ hiệu chỉnh đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình trên cơ sở kết quả vận hành thử nghiệm tại hiện trường trong môi trường làm việc thực của mô hình.

Việc xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình trong điều kiện phòng thí nghiệm được tiến hành với các con sóng đều có chu kỳ sóng $t_s=(3\div 9)s$ và chiều cao sóng $h_s=(0,2\div 1,5)m$ phù hợp với các đặc trưng sóng khu vực dự kiến khai thác của mô hình.

Hiệu suất của mô hình khai thác năng lượng sóng được xác định theo công thức như sau:

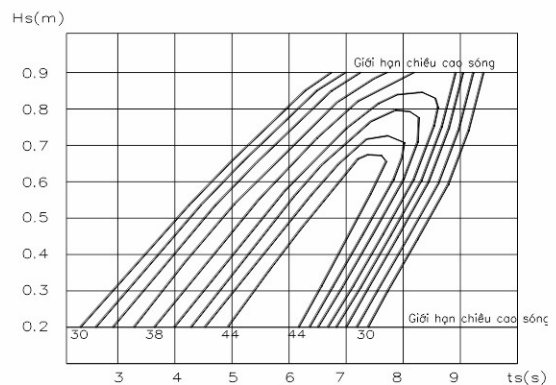
$$\eta_{mh} = k_s \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{td} \cdot \eta_{mp} = \frac{N_{ra}}{N_v} \quad (7)$$

trong đó, k_s là hệ số tiếp nhận sóng ($k_s < 1$); η_{tb} là hiệu suất của turbin; η_{td} là hiệu suất truyền động; η_{mp} là hiệu suất của máy phát; N_{ra} là công suất đầu ra tại cực của máy phát; N_v là năng lượng sóng lý thuyết của các con sóng trong phòng thí nghiệm trong một chu kỳ được xác định theo công thức (2) và các thông số sóng được đo bằng thiết bị WTR9 (modul Seaguard WTR, hãng sản xuất: Aanderaa Data Instruments - Na Uy):

$$N_v = \frac{E_p}{T_s}$$

Trên cơ sở các kết quả đo được năng lượng sóng trong phòng thí nghiệm, công suất phát điện của mô hình trong phòng thí nghiệm và hiệu suất làm việc của mô hình tương ứng. Đã xây dựng được họ đường cong $\eta_r = f(h_s, t_s)$ chính là đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình làm việc trong điều kiện ở phòng thí nghiệm (Hình 5).

Kết quả thí nghiệm (Hình 5) cho thấy mô hình làm việc trong vùng hiệu suất cao với các con sóng có chu kỳ sóng $t_s=(5\div 8)s$ và chiều cao sóng $h_s=(0,5\div 0,8)m$.



Hình 5. Đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình làm việc trong phòng thí nghiệm

3.4 Xây dựng đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình ngoài hiện trường

Sau khi thử nghiệm mô hình trong điều kiện phòng thí nghiệm sẽ tiến hành thử nghiệm mô hình ngoài hiện trường trong điều kiện làm việc thực tế để hiệu chỉnh thông số thiết kế và đường đặc tính vận hành chính của mô hình. Địa điểm thử nghiệm tại hiện trường là khu vực cảng biển Nghi Sơn, Thanh Hóa. Khu vực thử nghiệm là vùng nước đầu cảng nước sâu Nghi Sơn, đây là khu vực sóng nước sâu, chiều cao sóng ổn định. Việc thử nghiệm mô hình sử dụng cầu trục bánh xích có tầm với (30÷40)m di chuyển được trên cầu cảng để dễ dàng di chuyển thử nghiệm ở các khu vực có chiều cao sóng khác nhau và hiệu chỉnh các chi tiết cấu tạo mô hình cũng như giữ cố định chiều đứng mô hình trong mực nước biển theo yêu cầu thử nghiệm. Việc thử nghiệm mô hình sẽ thực hiện theo trình tự sau đây:

Bước 1 (Bước chuẩn bị): Kiểm tra kết cấu buồng sóng vững chắc, đảm bảo độ kín nước trên khô, các van lật làm việc trơn tru. Lắp đặt các mô hình đo thông số đầu ra gồm đồng hồ vận năng, máy đo số vòng quay với các sensor điều khiển từ xa để đọc các tín hiệu báo về để đo các thông số cơ bản: điện áp (V), dòng điện (A), số vòng quay (rpm).

Bước 2: Sử dụng xe cầu trục để đưa mô hình ra vị trí thử nghiệm và duy trì mô hình ngập trong mực nước biển theo yêu cầu với từng trường hợp thử nghiệm. Ngoài ra còn sử dụng cáp bằng sắt để cố định mô hình không bị dịch chuyển, xoay ngang do tác động của sóng đến.

Bước 3: Thử nghiệm mô hình trong 01 đợt thử nghiệm là 10 phút với nhiều con sóng đến có thông số khác nhau. Trong thời gian thử nghiệm này sẽ tiến hành đo đạc đồng thời các thông số sóng đến và các thông số vận hành của mô hình. Trong quá trình thử nghiệm, thực hiện thay đổi mặt cắt ướt của cửa nạp nước, cửa xả nước bằng cách thay đổi độ mở của các van một chiều các van một chiều, mục đích để khống chế khối lượng nước trên một đơn vị diện tích trong chu kỳ sóng tương ứng với việc điều chỉnh lưu lượng nước qua tuabin thủy lực duy trì trị số tính toán $Q = \mu_0 \sqrt{2gH}$ trong mỗi thời đoạn $t_i = T_i$. Với kết quả là trị số công suất ổn định đầu ra của mô hình, ta có thể thiết lập họ đường cong hiệu suất $\eta_T = f(t_s, h_s)$ tương ứng với các chế độ sóng đo được trong khoảng thời gian đồng thời. Từ kết quả đó so sánh và hiệu chỉnh với họ đường cong được thiết lập trong phòng thí nghiệm và thiết lập tham số hiệu chỉnh hiệu suất mô hình. Tham số này là cơ sở để điều chỉnh thiết kế mô hình cho mỗi chế độ sóng khác nhau đạt hiệu suất tốt nhất.

Năng lượng sóng lý thuyết tại thời điểm thử nghiệm hiện trường được xác định bởi công thức (2), trong đó các thông số sóng đầu vào được xác định đồng thời bởi thiết bị đo sóng thiết bị WTR9 (modul Seaguard WTR, hãng sản xuất: Aanderaa Data Instruments - Na Uy).

Kết quả vận hành thử nghiệm ngoài hiện trường của mô hình tại thời điểm tháng 3/2016 được thể hiện trong Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3:

Bảng 1. Năng lượng sóng lý thuyết của các con sóng tại thời điểm thử nghiệm hiện trường (Đơn vị: W)

$H_s(m)$ \ $T_s(s)$	3,4	4,2	4,7	5,0	5,5	5,9	6,1	6,3
0,32	33,20	29,52	33,20	36,89	40,58	44,27	44,27	47,96
0,33	33,20	33,20	36,89	40,58	47,96	51,65	51,65	51,65
0,34	36,89	36,89	44,27	47,96	51,65	55,34	59,03	59,03
0,37	40,58	40,58	47,96	51,65	55,34	59,03	62,72	70,10
0,39	47,96	44,27	55,34	59,03	62,72	66,41	73,79	73,79
0,41	51,65	47,96	59,03	62,72	70,10	77,48	81,17	84,86
0,44	51,65	51,65	62,72	66,41	73,79	81,17	88,55	88,55
0,46	55,34	55,34	70,10	73,79	84,86	88,55	95,93	99,61
0,49	62,72	59,03	73,79	84,86	88,55	95,93	103,30	110,68
0,51	66,41	66,41	77,48	88,55	95,93	103,30	110,68	121,75
0,55	70,10	66,41	81,17	95,93	103,30	114,37	121,75	129,13

Bảng 2. Công suất phát điện của mô hình tại thời điểm thử nghiệm hiện trường (Đơn vị: W)

$H_s(m)$ \ $T_s(s)$	3,4	4,2	4,7	5,0	5,5	5,9	6,1	6,3
0,32	10,68	11,05	12,87	14,46	15,82	17,15	17,12	18,33
0,33	10,71	12,47	14,35	15,95	18,75	20,07	20,03	19,80
0,34	11,94	13,90	17,27	18,91	20,26	21,57	22,97	22,70
0,37	13,17	15,34	18,77	20,43	21,77	23,08	24,48	27,05
0,39	15,61	16,79	21,72	23,42	24,75	26,04	28,89	28,56
0,41	16,87	18,24	23,25	24,96	27,75	30,48	31,88	32,95
0,44	16,92	19,70	24,78	26,52	29,30	32,03	34,89	34,48
0,46	18,18	21,18	27,78	29,55	33,80	35,05	37,91	38,92
0,49	20,67	22,66	29,33	34,09	35,38	38,09	40,95	43,37
0,51	21,96	25,57	30,90	35,69	38,45	41,16	44,01	47,86
0,55	23,25	25,65	32,46	38,78	41,54	45,70	48,57	50,92

Bảng 3. Hiệu suất của mô hình tại thời điểm thử nghiệm hiện trường (Đơn vị: %)

$H_s(m)$ \ $T_s(s)$	3,4	4,2	4,7	5,0	5,5	5,9	6,1	6,3
0,32	32,15	37,44	38,77	39,19	38,97	38,73	38,67	38,22
0,33	32,25	37,56	38,89	39,31	39,09	38,85	38,79	38,34
0,34	32,36	37,67	39,01	39,43	39,22	38,97	38,91	38,46
0,37	32,45	37,79	39,13	39,56	39,34	39,09	39,03	38,58
0,39	32,55	37,91	39,25	39,68	39,47	39,22	39,15	38,70
0,41	32,65	38,02	39,38	39,80	39,59	39,34	39,27	38,82
0,44	32,76	38,15	39,50	39,93	39,71	39,47	39,40	38,95
0,46	32,86	38,27	39,62	40,05	39,83	39,59	39,52	39,07
0,49	32,96	38,39	39,75	40,17	39,96	39,71	39,64	39,19
0,51	33,06	38,51	39,88	40,30	40,08	39,84	39,76	39,31
0,55	33,17	38,63	40,00	40,43	40,21	39,96	39,89	39,43

3.5 Hiệu chỉnh mô hình ngoài hiện trường với mô hình trong phòng thí nghiệm

Qua kết quả thử nghiệm mô hình tại hiện trường thấy rằng có sự sai khác nhất định giữa công suất và hiệu suất đạt được của mô hình khi thí nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường với con sóng có cùng biên độ và chu kỳ. Điều này là do mô hình vận hành trong môi trường làm việc thực, sóng biển là ngẫu nhiên, không ổn định, không đều và khác với chế độ sóng ổn định, đều được tạo ra trong phòng thí nghiệm. Ngoài ra, các thuộc tính vật lý của nước biển (tỉ trọng, độ nhớt) khác với môi trường nước trong phòng thí nghiệm, nên ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc của mô hình. Ta gọi sự sai lệch về hiệu suất của mô hình khi vận hành trong thực tế và trong phòng thí nghiệm với cùng một con sóng có chiều cao và chu kỳ như nhau là $\Delta\eta$ được xác định theo ([4], [5]) như sau:

$$\Delta\eta_{(Hs, Ts)} = \eta_{HT} - \eta_T \quad (8)$$

trong đó, η_{HT} , η_T là hiệu suất của mô hình khi vận hành ngoài hiện trường và trong phòng thí nghiệm với cùng cấp sóng; γ_T , γ_{HT} là độ nhớt động học của môi trường nước trong phòng thí nghiệm và hiện trường; ε là hệ số tổn thất tính đổi ($\varepsilon \approx 0,75$ đối với tuabin cánh quay), N_T , N_{HT} là công suất đạt được của mô hình khi thí nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường có cùng cấp sóng.

Hiệu suất của mô hình khi vận hành ngoài thực tế có thể được tính toán hiệu chỉnh theo công thức lý thuyết sau [4,5]:

$$\eta_{HT} = 1 - (1 - \eta_T)(1 - \varepsilon + \varepsilon \sqrt{\frac{\gamma_T \sqrt{N_T}}{\gamma_{HT} \sqrt{N_{HT}}}}) \quad (9)$$

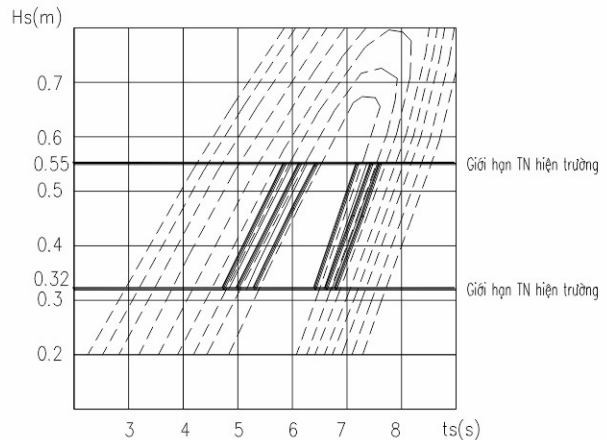
Kết quả tính toán hiệu chỉnh công suất của mô hình ngoài hiện trường từ kết quả thí nghiệm trong phòng theo phương pháp lý thuyết (theo công thức 2) được thể hiện ở Bảng 4 dưới đây.

Bảng 4. Hiệu suất của mô hình sau khi hiệu chỉnh theo kết quả thử nghiệm hiện trường (đơn vị: %)

$\begin{matrix} Ts(s) \\ Hs(m) \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9
0,2	29,17	35,80	40,43	42,44	41,52	37,11	28,51
0,3	34,17	39,45	42,33	41,52	39,12	39,45	32,97
0,4	38,96	42,22	41,63	40,37	39,29	39,01	37,87
0,5	39,89	41,19	40,48	41,52	38,96	42,88	39,01
0,6	41,03	40,76	42,50	43,42	43,15	40,16	39,50
0,7	35,97	42,22	43,75	43,75	40,86	39,50	40,16
0,8	42,33	43,95	43,31	42,61	42,33	40,81	40,05
0,9	41,03	43,53	42,66	42,28	40,59	40,10	39,12
1,0	34,36	39,23	38,72	37,69	35,33	35,76	34,38
1,1	33,69	35,43	34,87	33,86	32,68	32,21	31,86
1,2	30,88	32,28	31,77	31,62	29,92	29,12	28,67
1,3	28,89	30,32	29,78	29,64	28,92	28,15	27,68
1,4	29,82	31,24	30,71	30,57	27,86	27,11	26,62
1,5	29,78	30,13	29,58	29,44	28,81	28,04	27,57

Trên thực tế, chúng ta có thể xác định hiệu suất vận hành ngoài hiện trường từ thí nghiệm. Tuy nhiên, do điều kiện và thời gian thực hiện thử nghiệm hiện trường chỉ đạt được với một số con sóng có biên độ và chu kỳ nhất định trong năm, nên không thể đưa ra được toàn bộ vùng làm việc của mô hình cho toàn bộ phổ sóng của khu vực vốn rất rộng và phức tạp. Trong khi đó, thí nghiệm trong phòng có thể tạo ra được các con sóng gần như bất kỳ với biên độ và chu kỳ dao động lớn, đủ thể hiện toàn bộ vùng làm việc có thể của mô hình trong thực tế. Chính vì vậy, nhóm nghiên cứu sử dụng phương pháp hiệu chỉnh đường đặc tính tổng hợp vận hành từ môi trường thí nghiệm ra ngoài thực tế (công thức 9) và có so sánh, hiệu chỉnh với các kết quả thí nghiệm hiện trường. Đây là phương pháp có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

So sánh hiệu suất mô hình tại một số trạng thái làm việc khi có cùng con sóng tới theo hai đường đặc tính xây dựng bằng hai cách (hiệu chỉnh theo phương pháp lý thuyết và thực nghiệm hiện trường) ở trên cho thấy, hiệu suất xác định theo đường đặc tính tổng hợp vận hành xây dựng bằng phương pháp lý thuyết cao hơn so với phương pháp trực tiếp khoảng 3%. Thể hiện hai đường đặc tính tổng hợp vận hành mô hình được xây dựng bằng phương pháp lý thuyết (đường đứt nét) và phương pháp trực tiếp (đường liền nét) trên cùng một hệ tọa độ (Hình 6) thấy rằng chúng đồng dạng và sai lệch không nhiều. Như vậy, đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình xây dựng bằng phương pháp lý thuyết là hợp lý và có thể sử dụng trong xác lập chế độ vận hành mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao bằng buồng sóng trong thực tế cho các con sóng có chu kỳ $t_s=(3+9)s$ và chiều cao $h_s=(0,3+1,5)m$ thuộc vùng biển của Việt Nam.



Hình 6. So sánh đường đặc tính tổng hợp của mô hình theo phương pháp lý thuyết và trực tiếp



4. Kết luận và thảo luận

Nội dung trình bày nêu trên đã thể hiện cơ sở lý thuyết, thực nghiệm và kết quả xây dựng được đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình theo phương pháp lý thuyết (Hình 6), qua đó biểu thị được phạm vi làm việc của mô hình theo điều kiện đầu vào (chiều cao sóng và bước sóng) và hiệu suất mô hình trong toàn bộ vùng làm việc. Dựa trên đường đặc tính thu được ta thấy hiệu suất của tuabin có thể đạt tới hiệu suất 43,75% và vùng làm việc hiệu quả nhất khi sóng tới có chu kỳ từ (5-8)s và chiều cao sóng từ (0,5-0,8)m.



5. Kết luận

Đường đặc tính tổng hợp của mô hình chuyển đổi năng lượng sóng biển thành điện năng ổn định, hiệu suất cao bằng buồng sóng được xây dựng dựa trên việc kế thừa lý thuyết xây dựng đường đặc tính của tuabin thủy lực và phương pháp hiệu chỉnh theo công thức gần đúng để hiệu chỉnh các kết quả trong phòng thí nghiệm cho phù hợp với kết quả thử nghiệm ngoài thực tế. Nghiên cứu đã xây dựng được đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình với công suất định mức 0,3kW theo đúng tỷ lệ thực của tuabin và mô hình được chế tạo để áp dụng khai thác năng lượng sóng biển của vùng biển Nghi Sơn, Thanh Hóa. Kết quả thử nghiệm mô hình ngoài hiện trường cho thấy đường đặc tính tổng hợp vận hành của mô hình được xây dựng là phù hợp và có thể áp dụng xác lập chế độ vận hành và xác định hiệu suất của mô hình trong thực tế.

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã cấp kinh phí thực hiện đề tài và Viện Khoa học năng lượng là cơ quan chủ trì đã tạo điều kiện để hoàn thành nội dung nghiên cứu đặt ra.

Tài liệu tham khảo

1. Đỗ Ngọc Quỳnh (2004), *Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam*, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
2. Costal Engineering Manual (2008), *Coastal and Hydraulics Laboratory - Engineer Research and Development Center*, Vicksburg, Mississippi.
3. Nguyễn Mạnh Hùng, Dương Công Điền (2007), "Khai thác năng lượng sóng trên thế giới và sơ bộ đánh giá tiềm năng nguồn năng lượng này ở Việt Nam", *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học Toàn quốc "Năng lượng biển Việt Nam - Tiềm năng, Công nghệ và Chính sách*, Hạ Long.
4. Hoàng Đình Dũng, Hoàng Văn Tàn, Vũ Hữu Hải, Nguyễn Thượng Bằng (2001), *Máy thủy lực*, Nhà xuất bản Xây dựng.
5. Lê Phu (1971), *Tuabin nước*, Tủ sách Đại học Xây dựng.