

## NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH CƠ HỌC VÀ TÍNH TOÁN SỰ ỔN ĐỊNH CỦA THIẾT BỊ PHÁT ĐIỆN TỪ NĂNG LƯỢNG SÓNG BIỂN

### STUDY ON THE MECHANICAL MODEL AND CALCULATING STABILITY OF AN ELECTRICAL GENERATOR FROM SEA WAVE ENERGY

**Nguyễn Văn Hải, Nguyễn Đông Anh**

Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 27/05/2020, Ngày chấp nhận đăng: 16/03/2021, Phản biện: TS. Nguyễn Quốc Tuấn

#### **Tóm tắt:**

Báo cáo đưa ra các kết quả đạt được trong nghiên cứu thiết lập mô hình cơ học về thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng biển sang năng lượng điện. Mô hình thiết bị hoạt động theo phương thẳng đứng của sóng biển, phao thả nổi trên mặt biển và truyền năng lượng nhận được từ sóng biển đến mô tơ phát điện được gắn cố định ở đáy biển thông qua dây cáp. Các tính toán đưa ra một cấu trúc mô hình thiết bị được nghiên cứu và thiết lập, chỉ ra vùng hoạt động ổn định và mất ổn định của mô hình, phạm vi dao động và xác định mức công suất thiết bị nhận được theo các điều kiện sóng biển thực tế Việt Nam.

#### **Từ khóa:**

Năng lượng tái tạo, năng lượng sóng biển, máy phát điện, chuyển đổi năng lượng.

#### **Abstract:**

This paper presents some results achieved in study on the mechanical model of device for converting sea wave energy into electrical energy. The device model works in the vertical direction of sea waves. The buoy of device floats on the sea surface to receive the energy from sea waves, it is directly connected via a rope to the electrical generating motor fixed on the seabed. The calculations give the main structure of device model to be studied and established, indicating the stable and unstable operating area of the model, the range of oscillation and determining the mechanical power level of device received according to Vietnam's actual sea wave conditions.

#### **Keywords:**

Renewable energy, sea wave energy, electrical generator, power conversion.

#### **1. GIỚI THIỆU CHUNG**

Trên thế giới, các mô hình thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển đã đang được nghiên cứu và phát triển ở các nước Anh, Mỹ, Nhật Bản, Tây Ban Nha, Thụy

Điển, Úc, Ý,... Các mô hình thiết bị được chế tạo theo nhiều phương pháp và cách thức hoạt động khác nhau, nhưng chủ yếu được chia thành hai loại chính là thiết bị hoạt động nổi trên mặt biển và thiết bị lắp

đặt cố định ở đáy biển, tiêu biểu như [1-9]:

- Thiết bị phát điện lắp đặt cố định ở đáy biển được nghiên cứu, chế tạo với phần phát điện của thiết bị gắn cố định ở đáy biển kết nối với phao thả nổi trên mặt biển qua dây cáp được định hướng chuyển động lên xuống theo phương thẳng đứng. Công suất phát điện của thiết bị được chế tạo vào khoảng 10 kW [1-6].
- Thiết bị phát điện thả nổi trên mặt biển với công suất phát điện từ 10÷750 kW, chủ yếu gồm các loại: Thiết bị phát điện dạng phao trụ nổi sử dụng mô-tơ phát điện loại chuyển động tịnh tiến lên xuống theo phương thẳng đứng và phát điện trực tiếp [5-7]; thiết bị phát điện dạng rắn biển (Pelamis) được chế tạo gồm bốn khoang phao thả nổi trên mặt biển, các khoang phao được kết nối với nhau bởi các bộ khớp thủy lực. Dưới tác động của sóng biển, hệ thống thủy lực hoạt động đẩy dầu nạp vào bình được tích áp. Dầu từ bình tích áp được điều chỉnh cấp ra với dòng năng lượng dầu có áp suất cao và lưu lượng ổn định được truyền dẫn đẩy quay các mô-tơ phát điện [5-7]; Ngoài ra, tại Nhật Bản, các nhà khoa học đã đưa ra mô hình thiết bị phát điện lắp đặt cố định trên mặt biển. Cấu trúc của thiết bị gồm phao chuyển động lên xuống theo phương thẳng đứng và các cơ cấu truyền động để kéo mô-tơ phát điện hoạt động và phát ra điện năng [6,8,9].

Tại Việt Nam, đã có một số đơn vị thực hiện nghiên cứu chế tạo thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển như: Viện

Nghiên cứu cơ khí đã thực hiện đề tài KC.05-17/06-10, nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị phát điện sử dụng năng lượng sóng biển. Thiết bị được chế tạo gồm năm khoang phao, trong đó ba khoang để thu nhận năng lượng sóng và hai khoang chứa mô-tơ phát điện, các khoang được kết nối bằng các bộ khớp thủy lực. Với công suất phát điện được tính toán từ 5÷10 kW [10].

Ngoài ra, giữa Trường Đại học Bách khoa Hà Nội và Viện Nghiên cứu cơ khí đã thực hiện nghiên cứu tính toán động lực học hệ thống phát điện bằng năng lượng sóng. Các tác giả tính toán thiết kế mô hình thiết bị được đặt trên một trụ đứng và gắn cố định trên bề mặt sóng. Năng lượng sóng biển từ phao nhận được thông qua hệ thống thủy lực truyền dẫn đẩy quay mô-tơ phát điện và phát ra điện năng, công suất phát điện được tính toán ở mức dưới 0,5 kW [11]; Tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã thực hiện nghiên cứu hai mô hình thiết bị gồm: Thiết bị hoạt động nổi trên mặt biển được chế tạo gồm hai khoang chứa trên dưới, khoang ở trên nhận nước biển đổ vào trong nửa chu kỳ sóng tiến từ bụng sóng đến đỉnh sóng và đồng thời khoang dưới xả nước đẩy quay mô-tơ phát điện [12]. Thiết bị gắn cố định ở đáy biển được xây dựng gồm hai phần chính, phần phát điện được gắn cố định ở đáy biển sử dụng một mô-tơ phát điện ba pha loại nam châm vĩnh cửu và hoạt động theo phương thẳng đứng, phao của thiết bị được thả nổi trên mặt biển và truyền năng lượng sóng biển nhận được xuống phần phát điện ở đáy

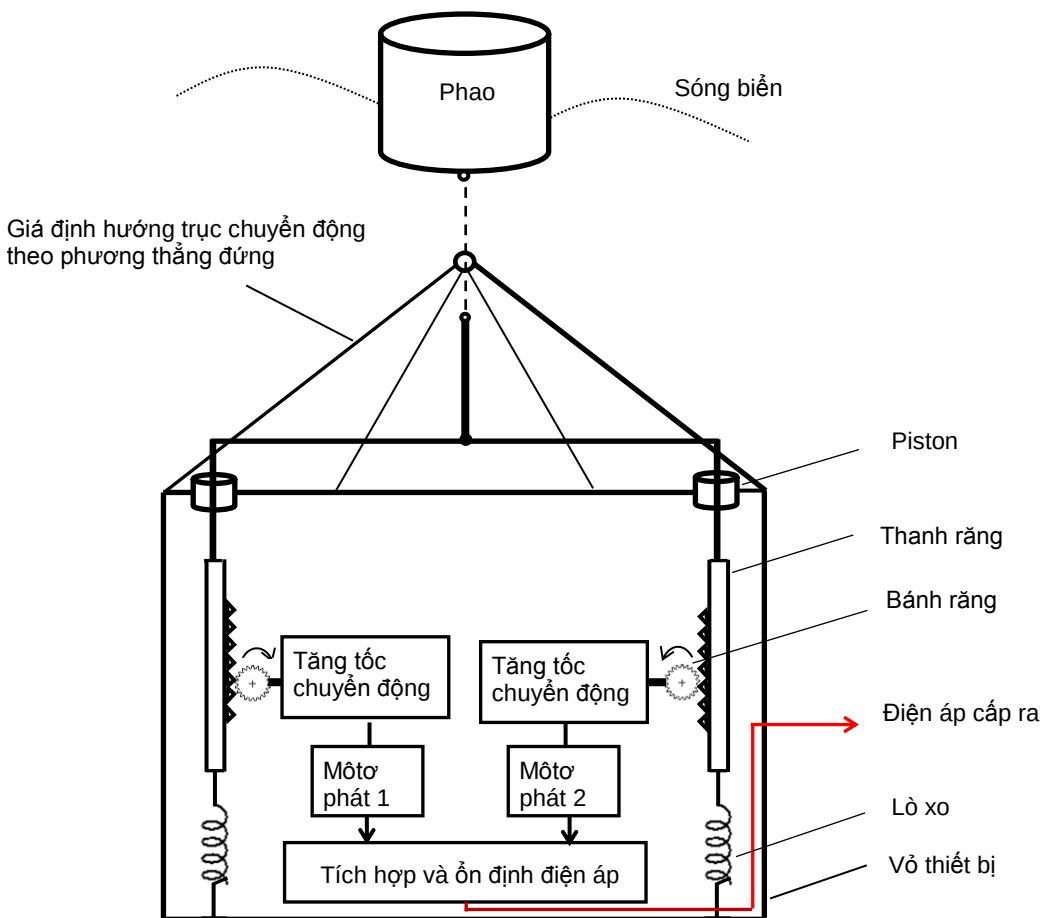
biển thông qua dây cáp [13,14].

Mặt khác, qua các số liệu quan trắc và thống kê, trung bình mỗi năm Việt Nam thường hứng chịu khoảng 10 cơn bão, đây là mối gây nguy hại trực tiếp cho các thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển hoạt động ở biển. Các số liệu khảo sát cho thấy độ cao sóng biển ở ven bờ trong khoảng  $0,6 \div 1,4$  m với chu kỳ sóng từ  $2 \div 8$  giây, ở ngoài khơi độ cao sóng từ  $1,2 \div 2$  m với chu kỳ từ  $6 \div 8$  giây. Đặc biệt khi biển động độ cao sóng ven bờ đạt từ  $3,5 \div 5$  m,

ngoài khơi đạt từ  $6 \div 9$  m [15,16]. Do vậy, để xây dựng một mô hình thiết bị phù hợp và hiệu quả theo điều kiện thực tế biển Việt Nam. Mô hình được nghiên cứu hoạt động theo phương thẳng đứng, phần phát điện của thiết bị được gắn cố định ở đáy biển kết nối với phao thả nổi trên mặt biển.

### ***Phân tích xây dựng mô hình thiết bị:***

Cấu trúc mô hình thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển được xây dựng như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý mô hình thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển

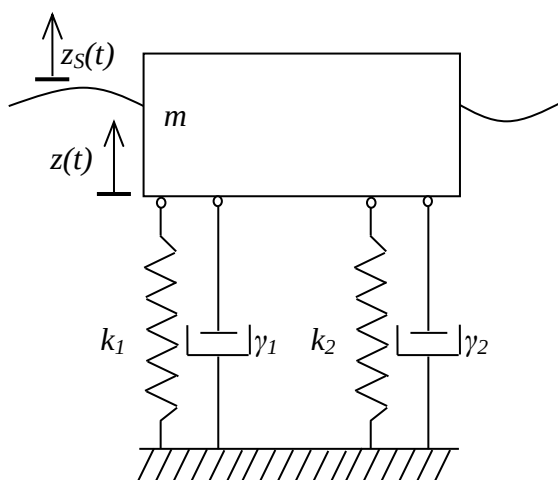
Trong đó, các bộ phận chính của mô hình thiết bị được thiết lập gồm: phao dạng trụ tròn; dây cáp; các cơ cấu ghép nối thanh răng - piston; các bộ tăng tốc chuyển động quay để chuyển đổi các chuyển động quay chậm ban đầu nhận được từ sóng biển sang chuyển động quay nhanh tại mô tơ phát điện, bộ tăng tốc chuyển động một đầu ghép nối với thanh răng và đầu còn lại ghép nối với mô tơ phát điện; lò xo chuyển động một đầu được ghép nối với thanh răng, đầu còn lại gắn xuống chân đế thiết bị, chức năng của lò xo được thiết kế để kéo trục thanh răng - piston chuyển động đi xuống và mô tơ phát điện hoạt động khi sóng biển đổi từ đỉnh sóng xuống bụng sóng. Trong mô hình tác giả đưa vào sử dụng hai mô tơ phát điện, nhằm tối ưu về thiết kế lắp đặt và thuận lợi trong việc lựa chọn loại mô tơ phát điện hiệu suất cao.

Trong nghiên cứu này, trước tiên tác giả thu thập và phân tích số liệu về sóng biển, tiếp theo thiết lập mô hình thiết bị, thực hiện các tính toán mô phỏng số nhằm xác định vùng hoạt động ổn định, phạm vi dao động của hệ theo các thông số mô hình và mức công suất thiết bị nhận được theo các điều kiện thực tế sóng biển Việt Nam.

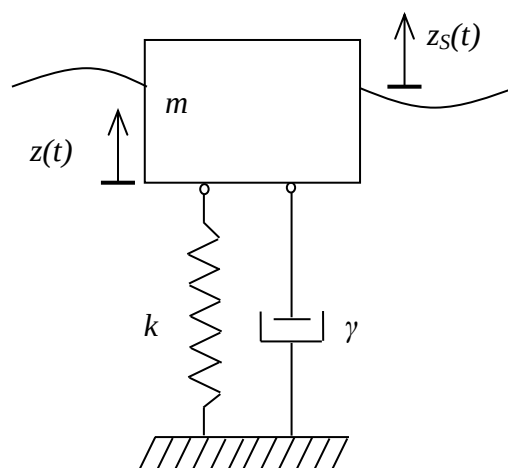
## 2. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH CHUYỂN ĐỘNG

Từ sơ đồ nguyên lý của mô hình được xây dựng (hình 1), mô hình cơ học của thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển được quy về một vật khối lượng  $m$  chuyển động lên xuống theo phương thẳng đứng

dưới tác dụng của sóng biển được đưa ra ở hình 2. Trong đó, hình 2a là mô hình cơ học của thiết bị được thiết lập sử dụng hai mô tơ phát và hình 2b là mô hình tương đương.



(a) Mô hình cơ học của thiết bị sử dụng hai mô tơ phát



(b) Mô hình tương đương

**Hình 2. Mô hình cơ học thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển**

Trong đó, các hệ số cản và đàn hồi của lò xo tương ứng:  $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ ;  $k = k_1 + k_2$ , ở đây  $\gamma_1$  là hệ số cản của mô tơ phát 1,  $\gamma_2$  là hệ số cản của mô tơ phát 2,  $k_1$  là hệ số đàn

hồi lò xo 1 và  $k_2$  là hệ số đàn hồi lò xo 2.

Phương trình chuyển động của mô hình được thiết lập quy về một vật là phao được ghép nối gắn chặt với các trục thanh răng – piston chuyển động lên xuống theo phương thẳng đứng  $z$ , được viết như sau:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho g S_b (z_s - z) - mg - \gamma \frac{dz}{dt} - k_L (z - z_0) - k_N (z - z_0)^3. \quad (1)$$

Các thành phần trong phương trình (1) gồm:  $m$  là khối lượng phao và các thanh răng – piston, trong đó thành phần nước kèm tác động lên mô hình được bỏ qua [3,4]; lực acsimet tác dụng lên phao  $\rho g S_b (z_s - z)$  với  $\rho$  là khối lượng riêng nước biển,  $g$  là gia tốc trọng trường, diện tích của đáy phao là  $S_b = \pi r^2$  với  $r$  là bán kính,  $z_s$  là khoảng cách từ đáy biển đến bề mặt sóng biển,  $z$  là chuyển động của phao và thanh răng - piston (là khoảng cách từ đáy biển đến đáy phao);  $mg$  là trọng lượng của phao và các thanh răng - piston; lực cản  $\gamma \frac{dz}{dt}$  với  $\gamma$  là hệ số cản; lực đàn hồi của lò xo  $k_L (z - z_0)$  với  $k_L$  là hệ số đàn hồi của lò xo,  $k_N$  là hệ số phi tuyến của lò xo,  $z_0$  là khoảng cách từ đáy biển đến đáy phao khi mặt biển tĩnh.

Trong tính toán hệ số cản  $\gamma$  được xét gồm:  $\gamma = \gamma_f + \gamma_{em}$ , với  $\gamma_f$  là hệ số cản nhớt của nước biển,  $\gamma_{em}$  là hệ số cản điện của mô-tơ phát để chuyển đổi từ năng lượng cơ sang năng lượng điện. Theo các tài liệu đã công bố về độ cản nhớt của nước biển [17,18], tác giả nhận thấy hệ số cản nhớt  $\gamma_f$  của nước biển sẽ là rất nhỏ so với hệ số

cản điện  $\gamma_{em}$  của mô-tơ phát điện nên được bỏ qua. Việc bỏ qua hệ số cản nhớt của nước biển cũng tương đồng theo các nghiên cứu ở các công trình [3,4]. Do vậy, phương trình (1) được viết lại có dạng:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = \rho g S_b (z_s - z) - mg - \gamma_{em} \frac{dz}{dt} - k_L (z - z_0) - k_N (z - z_0)^3. \quad (2)$$

### 3. TÍNH TOÁN SỰ HOẠT ĐỘNG ỔN ĐỊNH CỦA MÔ HÌNH THIẾT BỊ

Để tính toán sự hoạt động ổn định của mô hình, ta khảo sát dao động của hệ trong trường hợp cộng hưởng. Từ phương trình chuyển động (2), ta thực hiện đổi biến  $z - z_0 = x$ . Phương trình chuyển động (2) của hệ được viết lại dưới dạng:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \rho g S_b (z_s - z_0 - x) - mg - \gamma_{em} \frac{dx}{dt} - k_L x - k_N x^3. \quad (3)$$

Xét hàm sóng có dạng:

$$z_s = A \cos(\Omega t) + z_0.$$

$$\text{Đặt: } \mu^2 = \frac{\rho g S_b + k_L}{m}; \beta = \frac{k_N}{m}; c = \frac{\gamma_{em}}{m};$$

$B = \frac{\rho g S_b A}{m}$ . Thay vào biểu thức (3), ta được:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \mu^2 x = -c \frac{dx}{dt} - \beta x^3 + B \cos(\Omega t) - g. \quad (4)$$

Trong trường hợp gần cộng hưởng  $\Omega^2 = \mu^2 + \sigma$ , thực hiện biến đổi ta được:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \Omega^2 x = f(x, \dot{x}, \Omega t), \quad (5)$$

với ký hiệu:

$$f(x, \dot{x}, \Omega t) = -c \frac{dx}{dt} + \sigma x - \beta x^3 + B \cos(\Omega t) - g.$$

Thực hiện biến đổi phương trình vi phân (5) về dạng chuẩn Lagrange-Bogoliubov, sử dụng phép biến đổi [19,20]:

$$x = a \cos(\Omega t + \alpha) + x_0. \quad (6)$$

Thực hiện tính toán, ta có hệ phương trình xác định  $\dot{a}$  và  $a\dot{\alpha}$  như sau:

$$\begin{aligned} \dot{a} &= -\frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} f(a \cos(\Omega t + \alpha) + x_0, \\ -a\Omega \sin(\Omega t + \alpha), \\ \Omega t) - \Omega^2 x_0 \end{pmatrix} \sin(\Omega t + \alpha), \\ a\dot{\alpha} &= -\frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} f(a \cos(\Omega t + \alpha) + x_0, \\ -a\Omega \sin(\Omega t + \alpha), \\ \Omega t) - \Omega^2 x_0 \end{pmatrix} \cos(\Omega t + \alpha). \end{aligned} \quad (7)$$

Để xác định nghiệm của hệ phương trình (7), ta thực hiện phép đổi biến:  $\Psi = \Omega t + \alpha$ . Thực hiện biến đổi, ta được:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} ca\Omega \sin \Psi + \sigma a \cos \Psi \\ + \sigma x_0 - \beta(a \cos \Psi + x_0)^3 \\ + B \cos \Psi \cos \alpha \\ + B \sin \Psi \sin \alpha - \Omega^2 x_0 - g \end{pmatrix} \sin \Psi, \\ a \frac{d\alpha}{dt} &= -\frac{1}{\Omega} \begin{pmatrix} ca\Omega \sin \Psi + \sigma a \cos \Psi \\ + \sigma x_0 - \beta(a \cos \Psi + x_0)^3 \\ + B \cos \Psi \cos \alpha \\ + B \sin \Psi \sin \alpha - \Omega^2 x_0 - g \end{pmatrix} \cos \Psi. \end{aligned} \quad (8)$$

Ta đặt:

$$\begin{aligned} F(a, \alpha, \Psi - \alpha) &= ca\Omega \sin \Psi + \sigma a \cos \Psi + \sigma x_0 \\ &\quad - \beta(a \cos \Psi + x_0)^3 + B \cos \Psi \cos \alpha \\ &\quad + B \sin \Psi \sin \alpha - \Omega^2 x_0 - g. \end{aligned}$$

Áp dụng phương pháp trung bình hóa của cơ học phi tuyến, hệ phương trình (8) được viết dưới dạng:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{1}{\Omega} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a, \alpha, \Psi - \alpha) \sin \Psi d\Psi, \\ a \frac{d\alpha}{dt} &= -\frac{1}{\Omega} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a, \alpha, \Psi - \alpha) \cos \Psi d\Psi. \end{aligned} \quad (9)$$

Thực hiện tính toán ta được:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{1}{2\Omega} (ca\Omega + B \sin \alpha), \\ a \frac{d\alpha}{dt} &= -\frac{1}{2\Omega} \left( \sigma a - \frac{3}{4} \beta a^3 - 3a\beta x_0^2 + B \cos \alpha \right). \end{aligned}$$

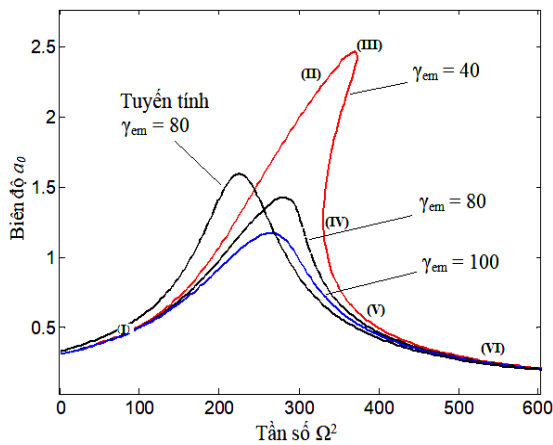
Cho  $\dot{a} = 0, \dot{\alpha} = 0$  ta được các công thức xác định nghiệm dừng:

$$\begin{aligned} B \sin \alpha_0 &= -ca_0\Omega, \\ B \cos \alpha_0 &= -\left( \sigma - \frac{3}{4} \beta a_0^2 - 3\beta x_0^2 \right) a_0. \end{aligned} \quad (10)$$

Giải hệ phương trình (10), ta nhận được phương trình hàm biên độ - tần số như sau:

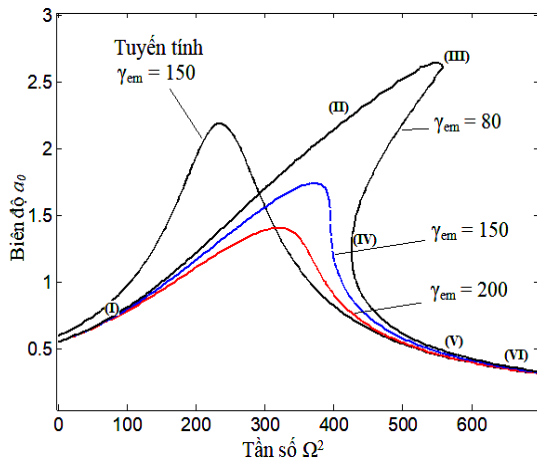
$$\Omega^2 = \mu^2 + \frac{3}{4} \beta a_0^2 + 3\beta x_0^2 \pm \sqrt{\frac{B^2}{a_0^2} - c^2 \Omega^2}. \quad (11)$$

Hình 3 đưa ra các đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc giữa biên độ  $a_0$  theo tần số  $\Omega^2$  với các thông số được lấy như sau:  $m = 25$  kg;  $r = 0,35$  m;  $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>;  $x_0 = 0,4$  m;  $k_L = 1900$  N/m và  $k_N = 700$  N/m<sup>3</sup>, ở các trường hợp hệ số cản  $\gamma_{em}$  khác nhau tại sóng biển có biên độ 0,5 m.



Hình 3. Đồ thị đường cong cộng hưởng biên độ theo tần số  $\Omega^2$ , với  $A = 0,5 \text{ m}$

Hình 4 đưa ra các đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc giữa biên độ  $a_0$  theo tần số  $\Omega^2$  với các thông số mô hình:  $m = 35 \text{ kg}$ ;  $r = 0,45 \text{ m}$ ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;  $x_0 = 0,5 \text{ m}$ ;  $k_L = 2200 \text{ N/m}$  và  $k_N = 2000 \text{ N/m}^3$ , các hệ số cản  $\gamma_{em}$  thay đổi tại sóng biển có biên độ  $0,75 \text{ m}$ .



Hình 4. Đồ thị đường cong cộng hưởng biên độ theo tần số  $\Omega^2$ , với  $A = 0,75 \text{ m}$

Từ biểu thức (11) và các đồ thị trên cho thấy, với từng hệ số cản  $\gamma_{em}$ , dạng đường cong biên độ theo tần số  $\Omega^2$  của hệ là khác nhau và phức tạp. Cụ thể, trong trường hợp đồ thị đường cong biên độ -

tần số với hệ số cản  $\gamma_{em} = 40$  trên hình 3 và  $\gamma_{em} = 80$  trên hình 4, cho thấy khi  $\Omega^2$  tăng, biên độ dao động dừng  $a_0$  nhận các giá trị trên nhánh đi từ điểm (I) qua điểm (II) đến điểm (III). Tại điểm (III) xảy ra hiện tượng mất ổn định, biên độ dao động tụt xuống điểm (V), rồi nhận các giá trị trên nhánh đi từ điểm (V) sang điểm (VI). Khi  $\Omega^2$  giảm, biên độ dao động dừng nhận các giá trị trên nhánh đi từ điểm (VI) qua điểm (V) đến điểm (IV). Tại điểm (IV) có hiện tượng nhảy vọt biên độ dao động từ điểm (IV) lên điểm (II), rồi biên độ nhận các giá trị trên nhánh đi từ điểm (II) về phía điểm (I). Do vậy, nhìn chung vùng dao động ổn định là nhánh trong vùng tần số từ điểm (I) đến điểm (II) và vùng tần số từ điểm (V) đến điểm (VI). Trong vùng tần số đi từ điểm (II) đến điểm (III) và giảm từ điểm (V) về điểm (IV), dao động của hệ có nhảy mức với biên độ dao động không ổn định, đây là vùng nguy hiểm cần tránh khi tính toán chế tạo thiết bị hoạt động. Mặt khác, nếu có đủ số liệu về điều kiện sóng biển thực tế tại các vùng biển có biên độ sóng lớn, ta có thể khai thác mô hình hoạt động ở vùng tần số ổn định gần điểm (II) để biên độ dao động của hệ nhận được là lớn nhất và năng lượng hệ nhận được từ sóng biển là lớn nhất. Do vậy, để thiết bị hoạt động ổn định và phù hợp với điều kiện thực tế của sóng biển, thiết bị nên được lựa chọn chế tạo hoạt động trong vùng tần số ở miền (I), các giá trị tần số trong miền (I) là đều an toàn so với phạm vi dao động của sóng biển thực tế Việt Nam.

#### 4. KHẢO SÁT SỰ HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ VÀ THẢO LUẬN

Trong tính toán mức công suất cơ hệ  $P$  của mô hình thiết bị nhận được từ năng lượng sóng biển được xác định theo biểu thức [1,2]:

$$P = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \gamma_{em} \dot{z}(t)^2 dt, \quad (12)$$

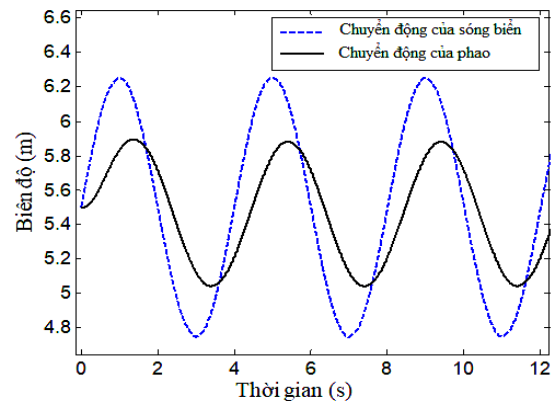
với  $\tau$  là khoảng thời gian được xét.

Trong thực tế sự biến đổi của sóng biển là phức tạp, các số liệu về sóng biển thường được xác định từ quan trắc và khảo sát thực nghiệm. Giá trị độ cao sóng biển được sử dụng trong các tính toán là mức độ cao sóng trung bình, tần số của sóng biển được sử dụng là tần số sóng xuất hiện với tần suất liên tục trong thời gian dài. Do vậy, hàm sóng biển tác dụng lên mô hình được xét dưới dạng sóng tuyến tính chuyển động theo phương thẳng đứng  $z$  có dạng:

$$z_s = A \sin(\omega t) + z_0, \quad (13)$$

Trong mô phỏng số các thông số mô hình được xác định với:  $A = 0,75$  m;  $m = 30$  kg;  $S_b = 0,5027$  m<sup>2</sup>;  $\gamma_{em} = 3400$  Ns/m;  $k_L = 2200$  N/m;  $k_N = 2000$  N/m<sup>3</sup>;  $z_0 = 5,5$  m và  $\omega = 1,47$  rad/s (là tần số sóng biển xuất hiện với tần suất lớn tại biển Hòn Dấu – Hải Phòng đã được khảo sát đo đạc thực tế [13]). Các thông số của mô hình đã được tác giả tính toán tối ưu với kết quả nhận được ở các công trình [13,14,21]. Các số liệu về biên độ và chu kỳ sóng được tính toán cho biển Hòn Dấu – Hải Phòng để tiến tới sau khi chế tạo sẽ đưa thiết bị vào sử dụng tại biển Hòn Dấu.

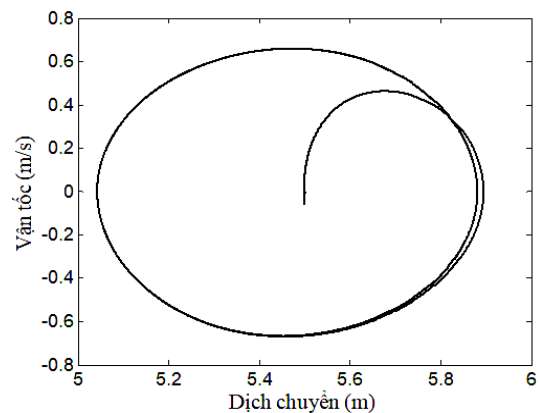
Các kết quả tính toán cho phép xác định biên độ dao động của phao, quỹ đạo pha và đồ thị công suất cơ hệ  $P$  của thiết bị nhận được từ năng lượng sóng biển. Hình 5 đưa ra đồ thị về chuyển động của phao và sóng biển theo thời gian.



Hình 5. Chuyển động của phao và sóng biển theo thời gian

Từ kết quả đồ thị nhận được cho thấy chuyển động của phao luôn trễ pha so với chuyển động của sóng biển là  $33,93^\circ$ . Với biên độ của sóng biển là 0,75 m, biên độ dao động của hệ phao ghép nối thanh răng - piston là 0,418 m.

Hình 6 đưa ra đồ thị quỹ đạo pha mô hình chuyển động dưới tác dụng của sóng biển.

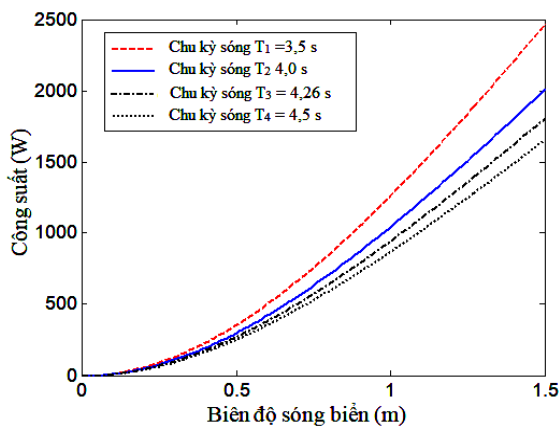


Hình 6. Quỹ đạo pha



Từ đồ thị nhận được cho thấy quỹ đạo chuyển động của mô hình thiết bị có dạng đường elip khép kín. Do vậy, mô hình thiết bị hoạt động ổn định dưới tác dụng của sóng biển, phạm vi dao động xung quanh vị trí cân bằng ở mặt nước biển 5,5 m (với hệ tọa độ được gắn ở đáy biển).

Hình 7 đưa ra đồ thị xác định mức công suất cơ hệ của thiết bị nhận được từ năng lượng sóng biển tại các chu kỳ sóng  $T_1 = 3,5$  giây;  $T_2 = 4,0$  giây;  $T_3 = 4,26$  giây và  $T_4 = 4,5$  giây theo biên độ sóng biển.



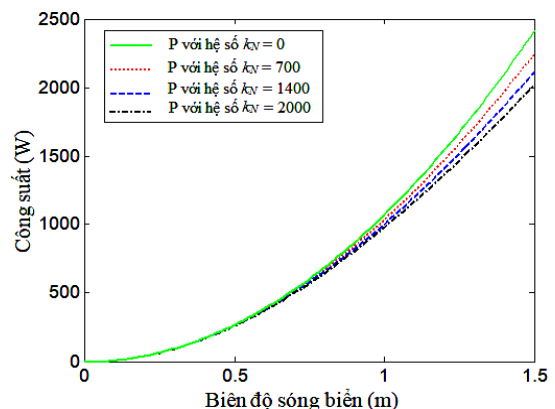
Hình 7. Đồ thị công suất cơ hệ của thiết bị nhận được theo biên độ sóng tại các chu kỳ sóng biển

Từ đồ thị ta thấy, mức công suất cơ hệ của thiết bị phụ thuộc đồng thời vào cả biên độ và chu kỳ của sóng biển. Ở sóng biển có chu kỳ nhỏ mức công suất nhận được là lớn hơn ở sóng biển có chu kỳ lớn. Do ở chu kỳ sóng nhỏ, sóng biển đổi nhanh nên tốc độ chuyển động của trục thanh răng – piston sẽ nhanh và kéo mô-tơ phát điện chuyển động nhanh, dẫn đến mức điện áp và cường độ dòng điện phát ra đạt lớn. Giá trị công suất tăng dần khi biên độ sóng biển càng lớn. Ngoài ra, từ

đồ thị đường cong công suất nhận được cho ta định lượng mức công suất điện phát ra của thiết bị khi hoạt động thực tế tại biển.

Để khảo sát sự ảnh hưởng của thành phần phi tuyến trong mô hình, tác giả tính toán mức công suất cơ hệ của thiết bị nhận được theo biên độ sóng biển tại tần số sóng biển 1,47 rad/s (xem hình 8). Trong đó, hệ số phi tuyến  $k_N$  được lấy với các giá trị  $k_N = 0$  (xét hệ tuyến tính);  $k_N = 700$  N/m<sup>3</sup>;  $k_N = 1400$  N/m<sup>3</sup> và  $k_N = 2000$  N/m<sup>3</sup>.

Các kết quả nhận được cho thấy ở biên độ sóng nhỏ, chẳng hạn ở biên độ sóng 0,3 m, giá trị công suất chênh lệch giữa hai trường hợp khi xét hệ tuyến tính và phi tuyến với  $k_N = 2000$  N/m<sup>3</sup> là rất nhỏ. Với sóng biển có biên độ 0,75 m, giá trị công suất chênh lệch trong hai trường hợp là 5,5%. Tương tự với sóng có biên độ 1,5 m giá trị chênh lệch là 19,4%.



Hình 8. Đồ thị đặc trưng công suất cơ hệ nhận được theo biên độ sóng biển

Từ kết quả nhận được cho thấy khi thiết bị hoạt động ở sóng biển có biên độ từ 0,75 m trở lên, sự khác biệt khi xét mô hình có ảnh hưởng của sự phi tuyến lò xo

và bỏ qua thành phần phi tuyến (ứng với  $k_N = 0$ ) là rõ rệt. Do vậy, khi tính toán thiết bị hoạt động ở vùng biển có biên độ sóng lớn, sự phi tuyến của lò xo trong mô hình cần được xét đến nhằm thu được kết quả sát với thực tế.

Với các kết quả nhận được trong tính toán khảo sát sự hoạt động của thiết bị, sẽ là cơ sở xác định các thông số của thiết bị trong thiết kế như: kích thước phao, chiều dài các trục thanh răng - piston, lựa chọn mô tơ phát điện và mức tỉ số truyền của bộ tăng tốc chuyển động quay, nhằm đạt được mức công suất điện cần phát ra theo điều kiện thực tế của sóng biển tại nơi thiết bị sau khi chế tạo sẽ đưa vào khai thác sử dụng.

## 5. KẾT LUẬN

Báo cáo đã đưa ra cấu trúc một mô hình thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển được thiết lập hoạt động theo phương thẳng đứng, phần phát điện được gắn cố

định ở đáy biển sẽ không bị ảnh hưởng bởi sóng và bão biển tác động. Phao của thiết bị thả nổi trên mặt biển và truyền năng lượng nhận được từ sóng biển đến mô tơ phát điện của thiết bị. Mô hình thiết bị được phân tích xây dựng với việc sử dụng mô tơ phát điện công nghiệp sẵn có trên thị trường để phát điện ổn định. Các kết quả tính toán nhận được đã chỉ ra vùng hoạt động ổn định và không ổn định của mô hình, phạm vi dao động của mô hình và mức công suất thiết bị nhận được theo điều kiện sóng biển thực tế Việt Nam.

Các kết quả nhận được sẽ là cơ sở để tiến tới thiết kế chế tạo thiết bị sử dụng trong thực tế. Nhằm góp phần cung cấp điện năng cho kinh tế biển nói chung, điện năng sử dụng trên các nhà dân DKI hay các đảo ngoài khơi, cũng như điện năng đảm bảo an ninh quốc phòng ngoài biển đảo.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Eriksson, J. Isberg, M. Leijon, *Hydrodynamic modelling of a direct drive wave energy converter*, International Journal of engineering Science 43, pp. 1377-1387, 2005.
- [2] J. Engstro, M. Erikson, J. Isberg, M. Leijon, *Wave energy converter with enhanced amplitude response at frequencies coinciding with Swedish west coast sea states by use of a supplementary submerged body*, Journal of Applied Physics, 106, 064512, 2009.
- [3] Marco Trapanese. *Optimization of sea wave energy harvesting electromagnetic device*, IEEE Transactions on Magnetics, 44, pp. 4365-4368, 2008.
- [4] Vincenzo Franzitta, Antonio Mesineo and Marco Trapanese, *An approach to the conversion of the power generated by an offshore wind power farm connected into sea wave power generator*, The open renewable energy journal, 4, pp. 19-22, 2011.
- [5] António F.O. Falcão. *Modelling of Wave Energy Conversion*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2014.

- [6] Nagulan Santhosh, Venkatesan Baskaran, Arunachalam Amarkarthik, *A review on front end conversion in ocean wave energy converters*, Front. Energy 2015, 9 (3): 297–310, 2015.
- [7] B. Drew, A.R. Plummer, and MN Sahinkaya, *A review of wave energy converter technology*, Proc. IMechE Vol. 223 Part A: J. Power and Energy, pp.887-902, 2009.
- [8] Keisuke Taneura, Kimihiko Nakano, Pallav Koirala and Kesayoshi Hadano, *On the resonance characteristics of the float type wave power generation device*, Journal of Environment and Engineering, 6 (3), pp. 542-553, 2011.
- [9] J.H. Choi, J.S. Park, G.S. Ham, J.S. Choi, *Simulation of wave generation system with linear generator*, Proceedings of the 3rd International Conference on Industrial Application Engineering 2015, Japan, pp. 537-541, 2015.
- [10] Đề tài cấp Nhà nước (KC.05-17/06-10), *Nghiên cứu thiết kế chế tạo thiết bị phát điện sử dụng năng lượng sóng biển*, Bộ Khoa học và công nghệ, 2011.
- [11] Nguyễn Thế Mịch, Nguyễn Chí Cường, *Nghiên cứu tính toán hệ thống phát điện bằng năng lượng sóng quy mô công suất nhỏ*, Hội nghị Cơ học kỹ thuật toàn quốc, tr. 361-366, 2014.
- [12] Báo cáo đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, *Nghiên cứu thiết kế, thử nghiệm mô hình phát điện ổn định, hiệu suất cao bằng năng lượng sóng biển - VAST07.04/14-15*, 2016.
- [13] Báo cáo đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam: *Nghiên cứu, chế tạo mẫu thiết bị phát điện từ năng lượng sóng biển, VAST01.10/16-17*, 2018.
- [14] Nguyen Van Hai, Nguyen Dong Anh, Nguyen Nhu Hieu, *Fabrication and experiment of an electrical generator for sea wave energy*, Vietnam Journal of Science and Technology, 55 (6), pp. 780-792, 2017.
- [15] Nguyễn Mạnh Hùng, Dương Công Điển và nnk, *Năng lượng sóng biển khu vực biển đông và vùng biển Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội, 2009.
- [16] Phùng Văn Ngọc, Nguyễn Thế Mịch, Lê Vĩnh Cẩm, Đoàn Thị Vân, *Nghiên cứu thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng biển thành năng lượng điện dạng phao nổi*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi, tr. 52-59, 2014.
- [17] ITTC-Recommended Procedures: *Fresh Water and Seawater Properties*, 26<sup>th</sup> ITTC Specialist Committee on Uncertainly Analysis, No. 7.5-02-01-03, 2011.
- [18] Đinh Văn Ưu, Nguyễn Thọ Sáo, Phùng Văn Hiếu, *Thủy Lực Biển*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2006.
- [19] Nguyễn Văn Đạo, Trần Kim Chi, Nguyễn Dũng, *Nhập môn Động lực học phi tuyến và Chuyển động hỗn loạn*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2005.
- [20] Nguyễn Văn Khang, Dao động phi tuyến ứng dụng, Nhà xuất bản Bách khoa Hà Nội, 2016.
- [21] Nguyễn Văn Hải, Nguyễn Đông Anh, Nguyễn Như Hiếu, *Nghiên cứu, tính toán thiết bị phát điện công suất nhỏ từ năng lượng sóng biển*, Hội nghị Khoa học toàn quốc lần thứ 2 về Cơ kỹ thuật và Tự động hóa, Hà Nội (7-8/10/2016), tr. 216-219, 2017.

**Giới thiệu tác giả:**

Tác giả Nguyễn Văn Hải tốt nghiệp đại học và nhận bằng Thạc sĩ tại Trường Đại học Khoa học tự Nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội vào các năm 1998 và 2004; năm 2019 nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành cơ kỹ thuật (cơ điện tử) tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hiện nay tác giả đang công tác tại Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Hướng nghiên cứu chính: nghiên cứu mô hình, tính toán thiết kế và xây dựng các hệ thống phát điện từ các nguồn năng lượng mới và tái tạo, đặc biệt là phát điện từ nguồn năng lượng sóng biển.



Tác giả Nguyễn Đông Anh tốt nghiệp đại học tại Đại học Tổng hợp Quốc gia Taskent năm 1977, nhận bằng Tiến sĩ chuyên ngành cơ học tại Đại học Tổng hợp Quốc gia Kiev năm 1985; nhận bằng Tiến sĩ khoa học chuyên ngành cơ học tại Đại học Tổng hợp Quốc gia Kiev năm 1986; năm 1996 được công nhận học hàm Giáo sư. Hiện nay tác giả đang công tác tại Viện Cơ học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Hướng nghiên cứu chính: dao động của các hệ cơ học, dao động ngẫu nhiên và tiền định phi tuyến, điều khiển kết cấu, giảm dao động có hại cho các hệ kỹ thuật.