

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP KỸ THUẬT CHUYỂN ĐỔI NĂNG LƯỢNG
SÓNG BIỂN THÀNH NĂNG LƯỢNG ĐIỆN CHO PHAO BÁO HIỆU
HÀNG HẢI TRONG ĐIỀU KIỆN HIỆN TẠI Ở VIỆT NAM
STUDY ON TECHNICAL SOLUTIONS FOR CONVERTING OCEAN WAVE
ENERGY INTO ELECTRICAL ENERGY FOR MARITIME NAVIGATION
BUOYS UNDER CURRENT CONDITIONS IN VIETNAM

NGUYỄN TRỌNG KHUÊ

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: khuent.ctt@vimaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.1057>

Tóm tắt

Với hệ thống luồng lạch lớn, hệ thống hơn 160 bến cảng và cảng biển, Việt Nam có nhu cầu rất lớn về năng lượng để duy trì các hệ thống tiện ích bảo đảm an toàn hàng hải như phao báo hiệu, đèn biển, đăng tiêu, chấp tiêu, ... Việc nghiên cứu đề xuất giải pháp kỹ thuật chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện cho phao báo hiệu hàng hải trong điều kiện hiện tại ở Việt Nam là cần thiết, sẽ mở ra một hướng mới nhằm sử dụng sóng biển tạo ra điện, một dạng năng lượng tái tạo, góp phần giảm bớt ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và nước biển dâng.

Từ khóa: Năng lượng sóng biển, năng lượng điện, phao báo hiệu hàng hải, hệ thống hạ tầng kỹ thuật, đảm bảo an toàn hàng hải.

Abstract

This example of the paper illustrates how to layout With an extensive network of waterways, more than 160 ports and seaports, Vietnam has a significant demand for energy to maintain maritime safety facilities such as navigation buoys, lighthouses, beacons, and leading lights. Therefore, researching and proposing technical solutions to convert ocean wave energy into electrical energy for maritime navigation buoys under current conditions in Vietnam is necessary. This approach could open up a new direction for utilizing ocean waves to generate electricity - a form of renewable energy - thereby contributing to the mitigation of climate change impacts and sea-level rise.

Keywords: Ocean wave energy, electrical energy, navigation buoys, technical infrastructure systems, maritime safety services.

1. Đặt vấn đề

Ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng, sự gia tăng ô nhiễm và sự cạn kiệt ngày càng nhanh các nguồn tài nguyên không tái tạo trên thế giới nói chung và ở Việt Nam nói riêng khiến chúng ta phải tìm ra các nguồn năng lượng mới, năng lượng xanh và năng lượng tái tạo. Bên cạnh năng lượng từ gió biển, năng lượng điện từ sóng biển đã được thử nghiệm trong nhiều năm qua nhưng vẫn chưa đạt được thành công trên thị trường. Năng lượng từ sóng biển là một hướng đi mới, đây là dạng năng lượng mới tiết kiệm, đáp ứng được nhu cầu về năng lượng điện tại các vùng biển đảo xa và ven biển.

2. Tổng quan về năng lượng sóng biển và phao chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện

2.1. Các loại phao chuyển đổi năng lượng sóng

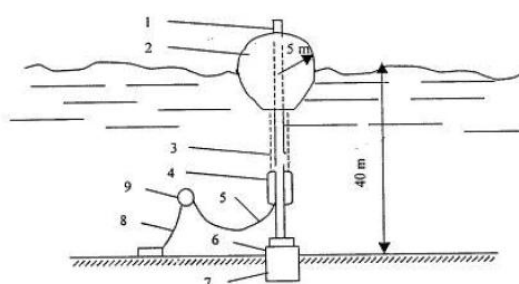
Theo các đánh giá hiện nay, trên thế giới đã có hơn năm mươi loại thiết bị được nghiên cứu và phát triển nhằm chuyển đổi năng lượng sóng biển. Mặc dù vẫn chưa hình thành một hệ thống phân loại thống nhất, các thiết bị này nhìn chung có thể được phân chia dựa trên 3 tiêu chí cơ bản sau:

- Căn cứ vào vị trí lắp đặt của thiết bị;
- Căn cứ vào độ sâu tại khu vực bố trí thiết bị;
- Căn cứ vào nguyên lý vật lý và công nghệ được sử dụng để chuyển đổi năng lượng.

2.2. Nguyên lý và cách thức chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện

2.2.1. Sử dụng dao động của sóng biển, biến chuyển động sóng thành sự thay đổi của áp suất không khí trong phao nổi

Nguyên lý cốt lõi của hệ thống này là việc khai thác động năng từ dao động của phao nổi để chuyển hóa thành điện năng thông qua cơ cấu truyền động trung gian. Theo sơ đồ vận hành tại Hình 1, dưới tác động tuần hoàn của



Hình 1. Nguyên lý sử dụng dao động của phao để tạo ra điện năng

sóng biển, thân phao có đường kính r sẽ thực hiện chuyển động tịnh tiến lên xuống dọc theo trục dẫn hướng (1). Trục này được liên kết động với nền đáy biển nhờ tổ hợp khớp nối cầu đặc biệt (4).

Quá trình phát điện diễn ra bên trong thân phao (2), nơi máy nén khí tận dụng sự dao động thẳng đứng để tạo ra luồng khí nén, từ đó kích hoạt tuốc bin không khí vận hành máy phát. Nhằm thích ứng với sự biến động của mực nước và thủy triều, hệ thống được trang bị cơ cấu cáp lò xo tự điều chỉnh (3). Độ ổn định vị trí của toàn bộ cấu trúc được tăng cường bởi cụm thiết bị phụ trợ gồm phao trợ giúp (9), cáp nổi (5) và dây neo (8) kết hợp với neo rùa cố định. Hệ thống trục dẫn và phao được nâng đỡ bởi trụ giữ (6) trên nền móng đế (7) thiết kế dạng neo cọc, đảm bảo khả năng chịu lực và độ vững chắc cho công trình trước các tác động khắc nghiệt từ môi trường biển.

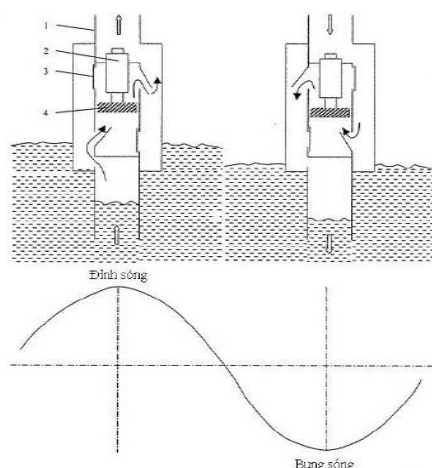
2.2.2. Sử dụng phương pháp dao động thủy lực tạo ra áp suất không khí để biến đổi thành điện năng

Sơ đồ hoạt động của hệ thống được thể hiện trên Hình 1. Ngoại lực tác động chủ yếu là áp suất của sóng biển. Thiết bị bao gồm một ống biến đổi năng lượng (1), có thể xem như vỏ máy, được gắn với phao nổi. Bên trong ống được bố trí một máy phát điện (2) liên kết với tuốc bin không khí phát điện (4).

Nguyên lý làm việc của hệ thống chuyển đổi năng lượng này được mô tả như sau: Khi cột sóng chuyển động đi lên (tại đỉnh sóng), cột nước trong ống sẽ dâng lên và chuyển động tương tự như một pittông, làm nén lượng không khí có sẵn trong ống (1), được xem như xi lanh. Khi không khí trong ống bị nén, áp suất sẽ tăng dần và đạt đến giá trị cực đại (như thể hiện ở hình bên trái). Lúc này, các van dẫn khí sẽ mở, cho phép luồng không khí có áp suất cao đi qua các cánh hướng dòng, làm quay hệ thống cánh của tuốc bin không khí (4). Sự quay của tuốc bin sẽ dẫn động máy phát (2) hoạt động và tạo ra điện năng. Đây là chu trình phát điện khi phao nổi ở vị trí đỉnh sóng, như được mô tả trên Hình 2. Khi sóng chuyển sang pha đi xuống (từ đỉnh sóng đến bụng sóng), không khí từ bên ngoài sẽ được hút vào phần ống phía trên của phao. Hiện tượng này xảy ra do khi sóng hạ thấp, áp suất trong vùng ống xi lanh giảm, tạo ra trạng thái chân không tương đối.

Bảng 1. Các loại thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng

Vị trí	Độ sâu [m]	Nguyên lý vật lý	Nhà thiết kế	Tên thiết bị
Trên bờ	0	Dao động cột nước trong sóng		Nhà máy PICO, Azores
		Sóng tràn		Tapchan, Na Uy
Gần bờ	1-25	Dao động cột nước trong sóng	Oceanlinx	Oceanlinx
		Nước dâng do sóng	Aquamarine	Oyster
		Sóng tràn/chặn sóng	Wavedragon	Wavedragon
Xa bờ	>25	Sóng tắt dần	Pelamis WavePower	Pelamis
		Sóng tắt dần	C-wave	C-wave
		Sóng tắt dần	Raft design	Matifer
		Hấp thụ điểm	Ocean Power Technology	PowerBuoy
		Hấp thụ điểm	AWS II	AWS II
		Hấp thụ điểm	Finavera Renewable	AquaBuoy
		Hấp thụ điểm	Wavebob	Wavebob
		Hấp thụ điểm	Carnegie Corp	CETO II
		Hấp thụ điểm	WET-NZ	WaveWobbler

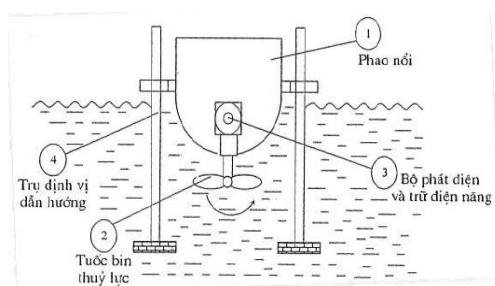


Hình 2. Sử dụng dao động thủy lực để biến đổi năng lượng sóng sang năng lượng điện

Không khí từ bên ngoài sẽ được hút vào khoang phao thông qua hệ thống cánh hướng dòng, đồng thời làm quay tuốc bin được thiết kế theo dạng cánh hướng dòng. Các cánh hướng dòng được bố trí sao cho chiều quay của tuốc bin trong pha hút khí vẫn trùng với chiều quay của tuốc bin trong trường hợp phao nổi ở đỉnh sóng. Tốc độ quay của tuốc bin không khí được tính toán và điều chỉnh thông qua hệ thống cánh điều chỉnh hướng gió của tuốc bin, đồng thời kết hợp với việc điều tiết lưu lượng không khí phù hợp với chu kỳ và chiều cao của sóng biển.

2.2.3. Sử dụng tuốc bin thủy lực tạo ra điện năng công suất nhỏ

Đối với các vùng biển có biên độ sóng không quá lớn nhưng duy trì được tính ổn định cao, giải pháp sử dụng tuốc bin thủy lực tốc độ thấp gắn trực tiếp dưới đáy phao nổi (1) cho thấy hiệu quả chuyển đổi năng lượng cơ học thành điện năng một cách liên tục. Giải pháp này đặc biệt phù hợp cho các thiết bị báo hiệu công suất nhỏ, yêu cầu sự ổn định lâu dài trong môi trường khắc nghiệt. Cấu tạo chi tiết và sơ đồ nguyên lý của hệ thống bao gồm phao nổi, trục định vị dẫn hướng (4), tuốc bin thủy lực (2) và bộ máy phát điện (3) được thể hiện cụ thể trong Hình 3.



Hình 3. Máy phát điện bằng tuốc bin thủy lực

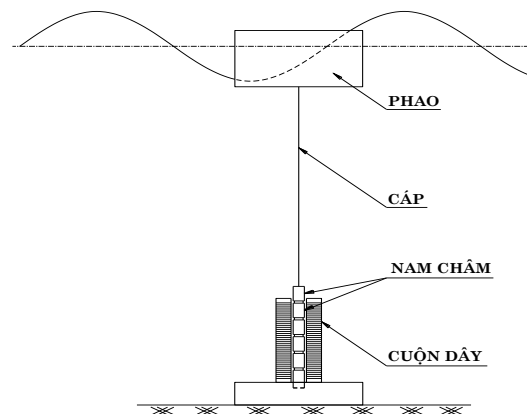
3. Nghiên cứu đề xuất mô hình hóa phao chuyển đổi năng lượng sóng biển

3.1. Phao chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện

Trên cơ sở lý thuyết đã nêu ở phần trước, tác giả xin đề xuất một dạng mô hình phao chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện như sau:

Nguyên lý hoạt động: Sóng tác động lên phao khiến phao dao động. Thông qua dây cáp dao động của phao sẽ kéo theo sự dao động của thanh nam châm nằm trong cuộn dây. Sự dao động của thanh nam châm làm từ thông qua cuộn dây biến thiên. Theo định luật Faraday, trong cuộn dây sẽ sinh ra suất điện động biến thiên ở hai đầu của cuộn dây. Nếu lắp vào hai đầu cuộn dây một mạch điện kín thì sẽ có một dòng điện với cường độ I chạy trong mạch điện.

Về mặt vật lý, vận tốc dịch chuyển của phao (v) không đồng nhất với vận tốc truyền pha của sóng ($v = \lambda / T$) mà phụ thuộc trực tiếp vào vận tốc dao động của các phần tử nước theo lý thuyết sóng tuyến tính. Khả năng "bám sóng" này phụ thuộc vào kích thước phao: Các phao nhỏ (đường kính 2,4m - 3,6m) có xu hướng bám sát vận tốc mặt nước, trong khi phao lớn hơn (4,8m - 6,0m) có độ trễ do quán tính. Đặc biệt, hiệu suất phát điện đạt tối ưu khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng, tức tần số dao động riêng của phao xấp xỉ bằng tần số của sóng biển.



Hình 4. Mô hình đơn giản của phao chuyển đổi năng lượng sóng thành năng lượng điện

Mối liên hệ giữa vận tốc dịch chuyển của phao (v) và suất điện động (e) được xác định dựa trên định luật Faraday. Đối với máy phát điện tuyến tính (nam châm di chuyển thẳng qua cuộn dây), suất điện động tỷ lệ thuận với vận tốc phao theo công thức:

$$E = B.l.v \quad (1)$$

Trong đó: B : Là từ trường; l : Là chiều dài dây dẫn

trong vùng từ.

Như vậy, phao dao động càng nhanh hoặc biên độ sóng càng lớn thì điện áp sinh ra càng cao.

Cường độ dòng điện chạy trong mạch điện được xác định theo công thức sau:

$$I = \frac{\xi_T}{R_m} = N \frac{\xi}{R_m} \quad (2)$$

Trong đó: R_m : Điện trở của mạch điện; ξ_T : Suất điện động của nguồn; N : Công của lực lạ; ξ : Điện lượng.

Ta thấy cường độ dòng điện trong mạch điện tỷ lệ với sức điện động của cuộn dây. Mà theo Faraday, sức điện động lại tỷ lệ với của từ thông qua cuộn dây đó. Nên cường độ dòng điện trong mạch tỷ lệ với của từ thông qua cuộn dây.

Mặt khác, theo cơ cấu chuyển đổi nêu trên thì của từ thông qua cuộn dây sẽ tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của phao. Do đó cường độ dòng điện trong mạch sẽ tỷ lệ với tốc độ dịch chuyển của phao.

Trường hợp đơn giản: Xét dao động của phao theo phương thẳng đứng, với sóng tuyến tính có chu kỳ dao động là T , phao sẽ dao động với biên độ là A . Khi đó vận tốc dao động cực đại của phao sẽ là:

$$v_{\max} = A \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Trong đó: T : Chu kỳ dao động của sóng; A : Biên độ dao động của phao.

Cường độ dòng điện trong mạch sẽ tỷ lệ với tích số AT^{-1} . Để xác định được A , chúng ta sẽ tiến hành mô hình hóa và phân tích chuyển động của phao trên biển bằng phần mềm Ansys 14.0- Workbench [8].

3.2. Mô hình phao chuyển đổi năng lượng sóng biển

Trên cơ sở phân tích các đặc thù công nghệ chuyển đổi năng lượng sóng biển, việc phát triển một hệ thống tối ưu dành riêng cho mạng lưới báo hiệu hàng hải trong điều kiện thực tế tại Việt Nam đóng vai trò đặc biệt quan trọng. Để giải quyết bài toán này, tác giả đề xuất một mô hình tính toán mô phỏng nhằm đánh giá chi tiết các đặc tính làm việc của hệ thống. Nội dung tiếp theo của bài báo sẽ tập trung khảo sát các cấu trúc thiết bị điển hình thông qua việc phân tích hệ thống thông số kỹ thuật đầu vào chi tiết.

3.2.1. Số liệu đầu vào

Để đảm bảo tính chính xác của mô hình mô phỏng và tính toán áp lực sinh ra luồng khí/nước quay máy

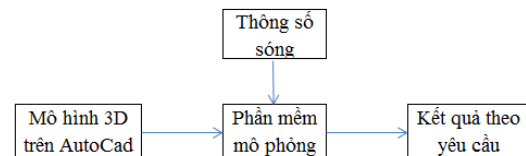
phát, hệ thống thông số đầu vào được thiết lập bao gồm:

- Thông số máy phát: Công suất định mức, điện áp, dòng điện, số vòng quay (RPM) và loại máy phát (vĩnh cửu hoặc đồng bộ).

- Thông số tua bin: Loại cánh (cố định hoặc biến thiên), đường kính cánh và hiệu suất chuyển đổi (C_p).

- Thông số phao và môi trường: Khối lượng phao, tần số tự nhiên, mật độ nước biển ($\rho \approx 1025 \text{ kg/m}^3$) và các đặc trưng khí tượng thủy văn (chiều cao, chu kỳ, hướng sóng).

Quá trình phân tích mô phỏng bằng phần mềm sẽ được thực hiện khi ta đưa đầy đủ các số liệu đầu vào. Các số liệu này bao gồm các thông số của phao và các thông số của sóng. Để đạt được kết quả phân tích tin cậy, nghiên cứu tuân thủ quy trình mô phỏng gồm 4 bước chính như trình bày tại Hình 5.



Hình 5. Các bước tiến hành mô phỏng

Để lựa chọn được mô hình phao phù hợp với các vùng biển, ta phải tiến hành mô phỏng với các kích thước phao khác nhau và với các thông số sóng khác nhau.

Quá trình phân tích mô phỏng bằng phần mềm sẽ được thực hiện khi ta đưa đầy đủ các số liệu đầu vào. Các số liệu này bao gồm: Các thông số của phao và các thông số của sóng.

Để lựa chọn được mô hình phao phù hợp với các vùng biển, ta phải tiến hành mô phỏng với các kích thước phao khác nhau và với các thông số sóng khác nhau.

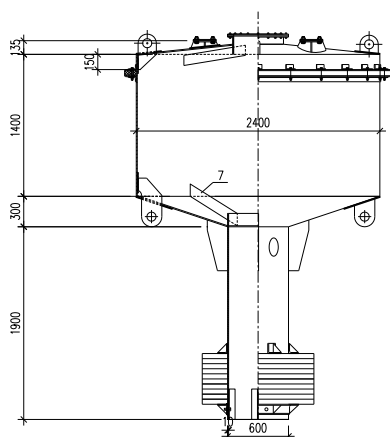
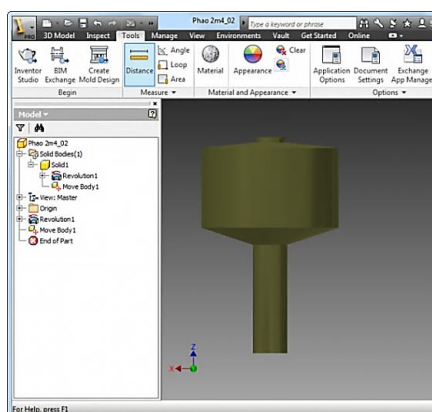
3.2.2. Mô hình phao 3D bằng các phần mềm

Dựa trên các thông số kỹ thuật của phao báo hiệu hàng hải thực tế (loại phao tiêu chuẩn 2,4m, 3,6m,...), quá trình xây dựng mô hình được thực hiện qua các bước:

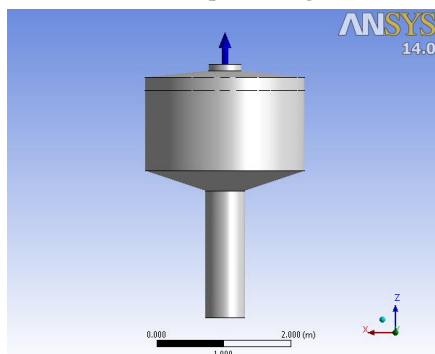
- Khởi tạo hình học: Sử dụng phần mềm AutoCAD hoặc Inventor để thiết kế chi tiết cấu trúc phao bao gồm phần thân phao, ống đuôi (tail tube) và các tấm giảm dao động (damping plates).

- Xác lập thông số vật lý: Khai báo trọng tâm (COG), momen quán tính và các đặc tính nổi của phao để đảm bảo mô hình phản ánh đúng trạng thái làm việc thực tế trên mặt nước.

- Chuyển đổi dữ liệu: Mô hình sau đó được nhập (import) vào môi trường Ansys Workbench để chuẩn bị



Hình 6. Mô hình phao bằng AutoCad



Hình 7. Mô hình phao sau khi được đưa vào phần mềm Ansys 14.0

cho quá trình chia lưới và tính toán thủy động lực học.

Cấu trúc hình học của phao được xây dựng chính xác dựa trên thông số thực tế (Hình 6), sau đó được chuyển đổi sang môi trường tính toán của phần mềm Ansys (Hình 7).

3.2.3. Quá trình phân tích

Sự tương tác giữa sóng biển và các loại phao có kích thước khác nhau được phân tích trực quan qua trường áp suất và độ dịch chuyển, tiêu biểu là các kết quả tại Hình 8, Hình 9 và Hình 10.

Quá trình mô phỏng được thực hiện trong module Ansys AQWA (hoặc module tương đương) để phân tích tương tác giữa sóng và vật thể nổi:

- Chia lưới (Meshing): Bề mặt tiếp xúc giữa phao và nước được chia lưới mịn để tính toán chính xác áp suất sóng tác động.

- Thiết lập kịch bản sóng: Sử dụng các dải chu kỳ sóng từ 10,0s đến 11,0s và vận tốc dòng chảy/sóng từ 2m/s đến 4m/s tương ứng với dữ liệu khí tượng thủy văn tại vùng biển Việt Nam.

- Tính toán RAO (Response Amplitude Operator): Phần mềm giải các phương trình vi phân chuyển động để xác định toán tử đáp ứng biên độ của phao theo phương thẳng đứng (Heave). Đây là thông số then chốt để tính vận tốc dịch chuyển v_{max} của nam châm.

Từ tổng hợp kết quả biên độ dao động của phao, ta sẽ có được bảng tổng hợp kết quả vận tốc dao động lớn nhất của phao theo chu kỳ và vận tốc sóng.

Với mỗi một loại phao, chu kỳ sóng, vận tốc sóng thì ứng với vận tốc sóng lớn nhất sẽ cho ta dòng điện lớn nhất.

Dựa trên các kết quả mô phỏng về đặc tính dao động của phao được thể hiện tại Hình 8, 9, 10 và Hình 11, có thể nhận thấy hiệu suất khai thác năng lượng sẽ đạt giá trị cực đại khi hệ số hấp thụ của cơ cấu chuyển đổi được duy trì ở một ngưỡng nhất định. Trong phạm vi nghiên cứu này, giá trị tối ưu được xác định xấp xỉ 2000Ns/m. Do đó, trong quá trình tính toán và chế tạo thực tế, việc xác lập các tham số chuyển đổi phải dựa trên cơ sở tối ưu hóa, đồng thời cần triệt tiêu tối đa các thành phần gây tổn hao năng lượng do ma sát cơ khí nhằm đảm bảo hiệu suất thu hồi điện năng là cao nhất. Các khảo sát thực nghiệm cũng được thực hiện đa dạng với nhiều thông số cấu tạo khác nhau như kích thước hình học, khối lượng thân phao và hệ số hao tán đặc trưng của cơ cấu thu hồi.

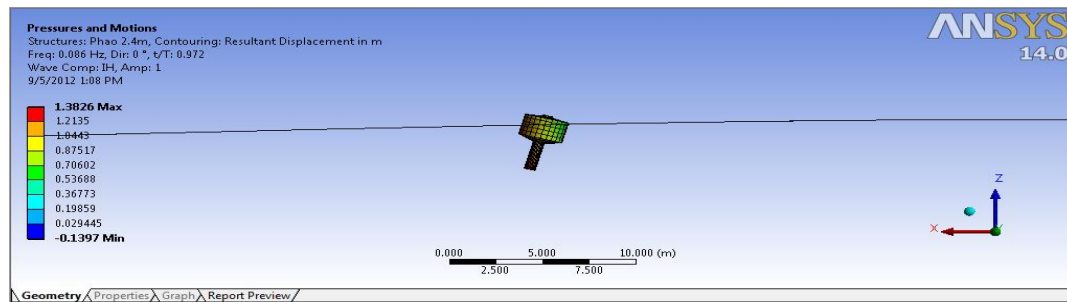
3.2.4. Tổng hợp kết quả

Sau quá trình phân tích, chúng ta sẽ tổng hợp được kết quả về biên độ dao động của phao theo phương thẳng đứng cho trong Bảng 2.

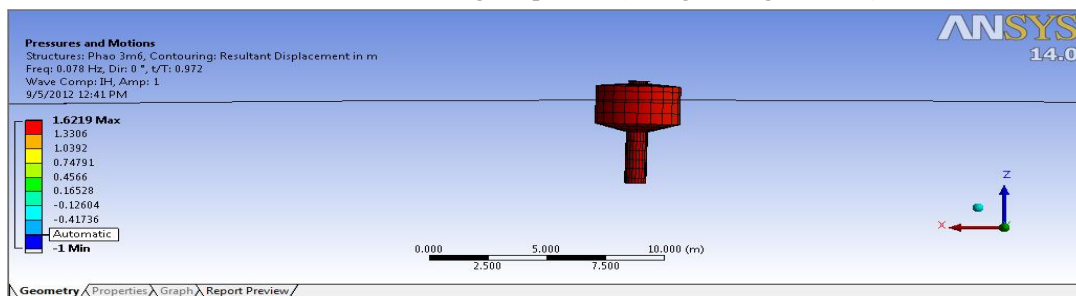
Bảng 2 cho thấy biên độ dao động của các loại phao 2400mm đến 6000mm biến thiên theo điều kiện sóng.

Với phao nhỏ 2,4m-3,6m, đáp ứng dao động nhạy hơn ở các chu kỳ sóng ngắn, dẫn đến cường độ dòng điện tức thời cao hơn.

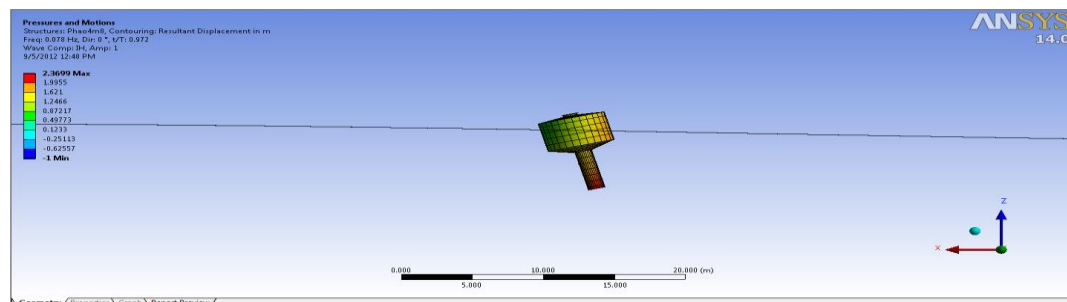
Phao lớn 6,0m có tính ổn định cao nhưng đòi hỏi năng lượng sóng đủ lớn để vượt qua lực cản quán tính, tuy nhiên khi đã đạt cộng hưởng, công suất điện thu được sẽ vượt trội hơn hẳn.



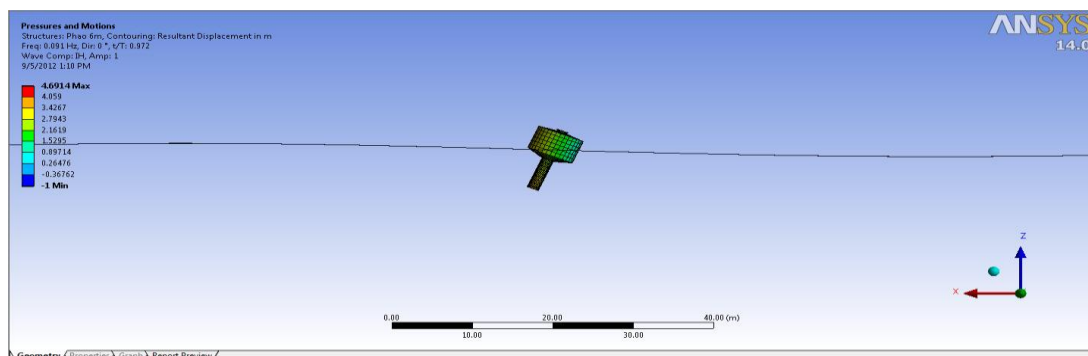
Hình 8. Phân tích dao động của phao 01 (đường kính ngoài= 2,4m)



Hình 9. Phân tích dao động của phao 02 (đường kính ngoài= 3,6m)



Hình 10. Phân tích dao động của phao 03 (đường kính ngoài= 4,8m).



Hình 11. Phân tích dao động của phao 04 (đường kính ngoài= 6,0m)

Để tiện cho việc đánh giá kết quả, tác giả xin đưa ra biểu đồ quan hệ giữa chu kỳ sóng và biên độ dao động của phao theo phương thẳng đứng với từng vận tốc sóng (Hình 12).

Đồng thời qua kết quả phân tích dao động của các loại phao thì những phao có cùng đường kính và khối lượng thì công suất thu được phụ thuộc vào hệ số tiêu

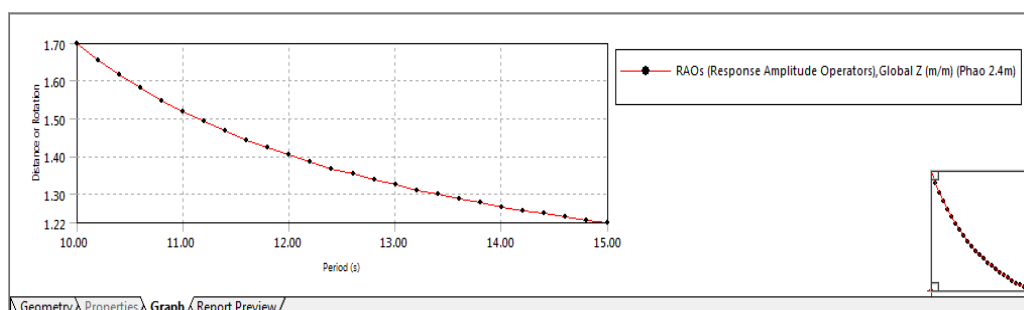
tán. Khi hệ số tiêu tán mà tăng thì công suất thu được tăng lên. Vì vậy khi nghiên cứu các thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng vẫn đề cần quan tâm tới hiệu số tiêu tán năng lượng.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã khẳng định tính cấp thiết và khả thi của việc khai thác năng lượng sóng biển để duy trì hệ

Bảng 2. Biên độ dao động của phao theo phương đứng (m) ứng với chu kỳ sóng (s) và vận tốc sóng (m/s)

Chu kỳ sóng (s)	Chiều cao sóng											
	Phao 2400mm			Phao 3600mm			Phao 4800mm			Phao 6000mm		
	Vận tốc sóng (m/s)											
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
11,0	1,52	1,46	1,40	1,79	1,70	1,59	3,93	3,38	2,77	2,58	4,54	5,24
10,8	1,55	1,48	1,42	1,85	1,74	1,62	4,09	3,59	2,90	2,32	4,25	5,44
10,6	1,58	1,51	1,44	1,91	1,78	1,65	4,19	3,81	3,04	2,10	3,93	5,56
10,4	1,62	1,54	1,46	1,97	1,83	1,68	4,19	4,06	3,20	1,90	3,60	5,60
10,2	1,65	1,56	1,48	2,05	1,88	1,72	4,08	4,30	3,38	1,72	3,30	5,53
10,0	1,70	1,60	1,50	2,13	1,94	1,76	3,87	4,53	3,58	1,56	3,01	5,37



Hình 12. Dạng biểu đồ quan hệ giữa chu kỳ sóng và biên độ dao động theo phương thẳng đứng của tâm phao với vận tốc sóng

thống tiện ích bảo đảm an toàn hàng hải tại Việt Nam. Thông qua quá trình mô hình hóa và phân tích bằng phần mềm Ansys 14.0, các kết quả định lượng tại Bảng 2 và Hình 12 đã cung cấp những luận cứ khoa học quan trọng cho việc ứng dụng thực tế:

- Tối ưu hóa lựa chọn thiết bị cho luồng nội địa: Dữ liệu cho thấy các loại phao kích thước nhỏ (Phao số 01 và số 02 - đường kính 2,4m và 3,6m) có khả năng đáp ứng dao động nhay bén ở các chu kỳ sóng ngắn. Đây là cơ sở để triển khai lắp đặt tại các tuyến luồng hàng hải trong vịnh hoặc khu vực ít sóng lừng, giúp thu được cường độ dòng điện lớn ngay cả trong điều kiện sóng thấp.

- Với phao có kích thước lớn (phao số 03 và số 04) thì cường độ dòng điện thu được phụ thuộc rất nhiều vào chu kỳ và vận tốc sóng. Với mỗi loại phao mà ta lựa chọn những vùng có chu kỳ và vận tốc sóng phù hợp để được dòng điện lớn. Ví dụ với phao 04 (đường kính ngoài phao bằng 6,0m) thì với các vùng biển có các vận tốc sóng như đã nêu ta nên chọn vùng biển có vận tốc sóng bằng 4m/s và chu kỳ bằng 10,2s.

Với cùng một chu kỳ và vận tốc sóng, phao có kích

thước càng lớn sẽ sinh ra dòng điện càng lớn. Do đó với mỗi loại phao ta nên lựa chọn vùng biển với chu kỳ và vận tốc sóng phù hợp.

Việc ứng dụng các giải pháp kỹ thuật này không chỉ giúp tự chủ nguồn năng lượng tại chỗ cho đèn biển, AIS và đăng tiêu mà còn giảm đáng kể chi phí bảo trì, thay thế pin/ắc quy định kỳ. Điều này góp phần quan trọng vào việc hiện đại hóa hạ tầng hàng hải và chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu tại Việt Nam.

Với các kết quả được mô phỏng, tính toán và phân tích ở trên cho thấy với thiết bị dạng phao dao động hoàn toàn đáp ứng yêu cầu chuyển đổi năng lượng. Thiết bị đưa ra có những cái tiến về mặt cấu tạo làm tăng hiệu suất chuyển đổi. Việc nghiên cứu thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng điện cho phao báo hiệu hàng hải ở các vùng biển Việt Nam hiện nay là hết sức cần thiết vì vậy cần có sự đầu tư nghiên cứu của các nhà khoa học nhằm sớm đưa ra được thiết bị tối ưu phục vụ nhu cầu năng lượng của đất nước hiện nay.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT25-26.94**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dương Công Điền, Nguyễn Mạnh Hùng (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, 22-24/10/2007.
- [2] Dương Công Điền, Nguyễn Mạnh Hùng (2009), *Năng lượng sóng biển khu vực Biển Đông và vùng biển Việt Nam*, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
- [3] Trần Ngọc Hối (2006), *Vật lý đại cương các nguyên lý và ứng dụng*, NXB Giáo dục, Hà Nội.
- [4] Đỗ Ngọc Quỳnh (2014), *Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam*, NXB Hà Nội.
- [5] *Sổ tay tra cứu các đặc trưng khí tượng thủy văn vùng thềm lục địa Việt Nam* (2000), NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [6] Akulichiev B.A. Shichkariev B. I (2019), *Các trạm năng lượng sóng trong đại dương*, NXB Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội
- [7] Dr. Markus, Mueller and Prof. Robin Wallace (2007), *Enabling science and technology for marine renewable energy*, UK Energy Research Centre, Institute for Energy Systems, Joint Research Institute for Energy University of Edinburgh.
- [8] Harald E. Krogstad and Stephen F. Barstow (2009), *Satellite wave measurements for coastal engineering applications*, Coastal Engineering.

Ngày nhận bài:	13/03/2026
Ngày nhận bản sửa:	04/04/2026
Ngày duyệt đăng:	05/04/2026