

# QUẢN LÝ NGHẼN MẠCH SỬ DỤNG GIẢI THUẬT TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH TÌM KIẾM THỨC ĂN CỦA LƯƠN ĐIỆN

CONGESTION MANAGEMENT USING ELECTRIC EEL FORAGING OPTIMIZATION ALGORITHM

Dương Văn Tuấn<sup>1</sup>, Bùi Nguyễn Đức Huy<sup>1</sup>,  
Dương Thanh Long<sup>1,\*</sup>

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2024.244>

## TÓM TẮT

Mục đích chính của quản lý nghẽn mạch (CM) là để loại bỏ tắc nghẽn trong hệ thống truyền tải sao cho chi phí vận hành là cực tiểu. Thông thường, điều độ lại công suất máy phát là kỹ thuật được sử dụng rộng rãi để giải quyết bài toán CM. Tuy nhiên, việc tìm kiếm một thuật toán phù hợp để giải bài toán CM là một thách thức đối với nhiều nhà nghiên cứu. Gần đây, một thuật toán meta-heuristic lấy cảm hứng từ sinh học mới có tên là thuật toán tối ưu hóa quá trình tìm kiếm thức ăn của lươn điện (EEFO) đã được đề xuất. Thuật toán này đã được chứng minh tính hiệu quả trong việc giải các bài toán tối ưu hóa thông qua kiểm tra 23 hàm toán học. Hiệu quả của thuật toán EEFO trong việc giải quyết bài toán CM đã được kiểm chứng trên hệ thống IEEE-30 nút. Kết quả mô phỏng đã cho thấy, phương pháp EEFO đạt được lời giải tối ưu và độ ổn định hơn so với các giải thuật Satin Bowerbird (SBO), thuật toán tối ưu bầy đàn (PSO) và các thuật toán khác.

**Từ khóa:** Quản lý nghẽn mạch; thuật toán tối ưu; tái điều độ công suất; thuật toán tối ưu hóa việc tìm kiếm thức ăn của lươn điện; hệ thống IEEE - 30 nút.

## ABSTRACT

The primary aim of the congestion management (CM) is to remove congestion in the transmission system. Normally, re-dispatching the generator is the regular technique used to deal with the CM problem. However, finding a suitable algorithm for solving the CM problem is a challenge for many researchers. Recently, a new bio-inspired meta-heuristic algorithm called Electric Eel Foraging Optimization (EEFO) was published. This algorithm is proven to be effective in solving optimization problems by 23 test functions. The effectiveness of the EEFO algorithm in solving the CM problem has been tested on the IEEE-30 bus system. The simulation results have shown that the EEFO method achieves optimal solutions and is more stable than the Satin Bowerbird (SBO) algorithm, swarm optimization algorithm (PSO) and other algorithms.

**Keywords:** Congestion Management; optimization algorithm; re-dispatching generator; electric eel foraging optimization algorithm; IEEE - 30 bus system.

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ Điện, Trường Đại học Công nghiệp TP. HCM

\*Email: [duongthanhlong@iuh.edu.vn](mailto:duongthanhlong@iuh.edu.vn)

Ngày nhận bài: 18/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 16/5/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/7/2024

## 1. GIỚI THIỆU

Hiện nay trên thế giới, ngành điện đang dần chuyển dịch từ hướng được điều tiết sang thị trường điện cạnh tranh [1]. Trong hệ thống điện điều tiết, tất cả các cơ sở hạ tầng và giá điện đều được sở hữu và quy định bởi nhà nước. Do đó, các giao dịch phát sinh trong mua bán điện đều phải dựa trên mức giá chung quy định. Trong khi đó, thị trường điện cạnh tranh cho phép các công ty phát điện tự nhân tham gia vào thị trường điện để mang lại nhiều phúc lợi xã hội. Tuy nhiên, sự tự do cạnh tranh có thể là nguyên nhân chính của các sự cố phát sinh không mong muốn trong vận hành hệ thống điện. Một trong những sự cố đó là, hệ thống điện phải thường xuyên điều động công suất không có trong kế hoạch phát điện, dẫn đến một số đường dây truyền tải đòi khi bị vượt quá giới hạn nhiệt cho phép [2]. Điều này gây ra nghẽn mạch (CM), làm tăng chi phí truyền tải. Đây là một trong những vấn đề thách thức cho các nhà vận hành hệ thống điện (ISO). Để giải quyết vấn đề này, thì việc quản lý nghẽn mạch (CM) là một trong những mục tiêu được quan tâm nhiều trong các nghiên cứu gần đây.

Một số phương pháp kỹ thuật được áp dụng rộng rãi để giải quyết bài toán CM đó là việc điều độ lại công suất máy phát. Với phương pháp này, ISO phải trả cho các công ty phát điện (GENCO) một khoảng chi phí phát sinh trong việc điều chỉnh tăng - giảm công suất phát không có trong kế hoạch. Do đó, cực tiểu chi phí vận hành trong quá trình

điều độ lại công suất phát để loại bỏ nghẽn mạch là mục tiêu của ISO. Để giải quyết bài toán trên một cách tối ưu, nhiều phương pháp khác nhau đã được nghiên cứu áp dụng. Các phương pháp này được chia ra thành hai cách tiếp cận chính đó là: phương pháp toán học và phương pháp meta-heuristic. Đối với phương pháp toán học, những thuật toán được áp dụng có thể được liệt kê như sau: phân rã Bender (BD) [3], khoảng cách điện tương đối (RED) [4], fuzzy [5]. Bên cạnh đó, phương pháp meta-heuristic được sử dụng để giải quyết bài toán CM có thể đề cập đến như: thuật toán kết hợp tiến hóa vi phân và tối ưu hóa bầy đàn (DEPSO) [6], thuật toán tối ưu hóa bầy đàn đa mục tiêu (MPSO) [7], thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO) [8-11], thuật toán tối ưu hóa dựa trên dạy và học (TLBO) [12], thuật toán đàn ong nhân tạo (ABC) [13], thuật toán tối ưu hóa tìm kiếm thức ăn cho Manta Ray cải tiến (IMRFO) [14], bản đồ cực hỗn loạn tối ưu hóa bầy đàn thích ứng (TECM - PSO) [15]. Nhìn chung, các thuật toán tiếp cận trên đều có thể giải quyết bài toán CM. Tuy nhiên, dù được biết đến với việc giải quyết bài toán với thời gian nhanh chóng, nhưng những phương pháp toán học thường gặp vấn đề về hội tụ khi giải các bài toán có quy mô lớn. Mặt khác, các thuật toán meta-heuristic có thể xử lý tốt các bài toán có quy mô lớn nhưng thời gian tính toán và sự ổn định là điểm yếu lớn nhất của các thuật toán này. Do đó, việc tìm kiếm một thuật toán phù hợp để giải quyết bài toán CM là chủ đề nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. Trong [16], thuật toán thụ phấn hoa (FPA) được trình bày để giải quyết bài toán CM nhưng số lượng thông số đầu vào quá nhiều làm cho thuật toán trên trở nên phức tạp. Thuật toán đom đóm (FFA) được đề xuất trong [17] để giải quyết vấn đề CM bởi các hệ thống khác nhau: IEEE 30 nút và IEEE 57 nút. Mặc dù tính ổn định và hiệu quả của thuật toán FFA đã được trình bày trong nghiên cứu này nhưng nó đòi hỏi nhiều thông số điều khiển để đạt được lời giải tự như phương pháp FPA. Trong [18, 19] trình bày giải thuật Ant Lion Optimizer (ALO) và thuật toán tìm kiếm sinh vật cộng sinh (SOS) để giải quyết vấn đề CM. Thuật toán đề xuất có tính hiệu quả và ổn định trong việc xử lý bài toán nghẽn mạch CM. Tuy nhiên, thời gian mô phỏng không được trình bày báo cáo trong nghiên cứu này. Vì vậy, việc đánh giá thuật toán SOS để giải bài toán CM có thể chưa có tính thuyết phục cao.

Gần đây, một thuật toán meta-heuristic lấy cảm hứng từ sinh học mới được đưa ra vào năm 2023 bởi Weiguao Zhao và đồng nghiệp với tên là thuật toán tối ưu hóa quá trình tìm kiếm thức ăn của lươn điện (EEFO) [20]. Thuật toán EEFO được xây dựng dựa trên bốn tập tính tìm kiếm

thức ăn chính của loài lươn điện bao gồm: tương tác, nghỉ ngơi, săn mồi và di chuyển. Một chỉ số năng lượng được đề xuất trong thuật toán này nhằm cân bằng giữa việc tìm kiếm cục bộ và tìm kiếm diện rộng. Hơn nữa, thuật toán EEFO không đòi hỏi bất cứ thông số đầu vào nào ngoài hai chỉ số cơ bản là số lượng cá thể và số lần lặp tối đa. Việc mô phỏng được thực hiện trên hệ thống IEEE 30 nút với hai trường hợp khác nhau. Ngoài ra, kết quả đạt được của thuật toán EEFO được so sánh với thuật toán tối ưu hóa Satin Bowerbird (SBO), thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO), và các phương pháp nghiên cứu khác. Các đóng góp của bài báo có thể tóm tắt như sau:

- Áp dụng thành công thuật toán meta-heuristic EEFO để giải quyết bài toán CM.
- Hệ thống điện IEEE 30 nút được áp dụng để kiểm tra tính hiệu quả của thuật toán đề xuất.
- Kết quả đạt được bởi thuật toán đề xuất EEFO cho thấy tính hiệu quả so với thuật toán SBO, PSO và các nghiên cứu liên quan.

## 2. MÔ HÌNH TOÁN

### - Hàm mục tiêu

Mục tiêu của quản lý nghẽn mạch là loại bỏ nghẽn mạch sao cho chi phí điều độ công suất là nhỏ nhất, trong khi vẫn phải thỏa mãn các yêu cầu về ràng buộc cân bằng công suất và các ràng buộc không cân bằng. Hàm mục tiêu của quản lý nghẽn mạch được trình bày như phương trình (1) [17]:

$$C_t = \sum_{i \in N_g} (I_k \Delta P_i^+ + D_k \Delta P_i^-) \quad (1)$$

Với  $C_t$  là tổng chi phí để điều độ lại công suất tác dụng (\$/h),  $I_k$  và  $D_k$  là giá tăng và giá giảm khi tăng và giảm công suất phát được thực hiện bởi các GENCO (\$/MWh), tương ứng;  $\Delta P_i^+$  và  $\Delta P_i^-$  lần lượt là công suất tác dụng tăng và giảm máy phát (MW),  $N_g$  là số lượng máy phát.

### - Các ràng buộc đẳng thức

Các ràng buộc về dòng công suất của bài toán CM có thể được trình bày như các phương trình (2-5) [17]:

$$P_k^G - P_k^D = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \cos(\varphi_k - \varphi_j - \delta_{kj}), \quad (2)$$

$$j = 1, \dots, N_b$$

$$Q_k^G - Q_k^D = \sum_j |V_j| |V_k| |Y_{kj}| \sin(\varphi_k - \varphi_j - \delta_{kj}), \quad (3)$$

$$j = 1, \dots, N_b$$

$$P_k^G = P_k^{GC} + \Delta P_i^+ - \Delta P_i^-, k = 1, \dots, N_g \quad (4)$$

$$P_j^D = P_{Dj}^C, j = 1, \dots, N_d \quad (5)$$

Trong đó:  $P_k^G$  và  $Q_k^G$  tương ứng với công suất tác dụng và công suất phản kháng của máy phát điện tại nút  $k$ ;  $P_k^D$  và  $Q_k^D$  tương ứng với công suất tác dụng và phản kháng của phụ tải tại nút  $k$ ;  $V_j, V_{k'}, \varphi_{k'}, \varphi_j$  tương ứng với các giá trị điện áp và góc pha tại nút  $j$  và  $k$ ;  $P_k^{GC}$  và  $P_{Dj}^C$  tương ứng với công suất phát tác dụng của máy phát điện tại nút  $k$  và công suất tác dụng tiêu thụ bởi tải tại nút  $j$ ;  $N_b$  và  $N_d$  tương ứng với số lượng nút và tải;  $Y_{kj}, \delta_{kj}$  tương ứng với tổng dẫn và góc tổng dẫn ma trận giữa nút  $k$  và nút  $j$ .

*- Các ràng buộc bất đẳng thức*

Các ràng buộc bất đẳng thức thể hiện sự làm việc và giới hạn của đường dây truyền tải, máy biến áp, máy phát điện và được nêu trong các phương trình (6-10) [17]:

$$P_k^{\min} \leq P_k \leq P_k^{\max}, \forall k \in N_g \tag{6}$$

$$Q_k^{\min} \leq Q_k \leq Q_k^{\max}, \forall k \in N_g \tag{7}$$

$$(P_k - P_k^{\min}) = \Delta P_k^{\min} \leq \Delta P_k \leq \Delta P_k^{\max} = (P_k^{\max} - P_k) \tag{8}$$

$$V_n^{\min} \leq V_n \leq V_n^{\max}, \forall n \in N_b \tag{9}$$

$$0 \leq P_{ij} \leq P_{ij}^{\max}, ij \in N_l \tag{10}$$

Trong đó, các chỉ số min và max lần lượt là giá trị tối thiểu và tối đa của các biến liên quan và  $N_l$  là số lượng đường dây.

**3. PHƯƠNG PHÁP ĐỀ XUẤT**

Gần đây, một thuật toán meta-heuristic mới có tên gọi là thuật toán tối ưu hóa quá trình tìm kiếm thức ăn của lươn điện (EEFO) được đề xuất bởi Weiguo Zhao và đồng nghiệp năm 2023 [20]. Thuật toán này lấy cảm hứng từ quá trình tìm kiếm thức ăn của loài lươn điện. Dựa vào bốn hành vi săn mồi khác nhau bao gồm tương tác, nghỉ ngơi, săn mồi và di chuyển, tác giả đã xây dựng thành các chiến lược khai phá và khai thác độc lập khác nhau cho thuật toán. Tương tự như những thuật toán meta-heuristic khác, thuật toán EEFO bắt đầu với việc khởi tạo quần thể ban đầu. Quá trình này được mô tả theo phương trình sau:

$$Pop^{ini} = \begin{bmatrix} E_1^{ini} \\ \vdots \\ E_N^{ini} \end{bmatrix} \tag{11}$$

$$= \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} \end{bmatrix}, i = 1 \dots N; j = 1, \dots, D$$

$$E_i^{ini} = rand \times (ub - lb) + lb \tag{12}$$

Tại đó,  $E_i^{ini}$  là cá thể lươn điện thứ  $i$  trong quần thể ban đầu;  $N$  là số lượng cá thể tối đa trong quần thể;  $D$  là độ dài

của bài toán;  $ub$  và  $lb$  lần lượt là giới hạn trên và giới hạn dưới của bài toán.

*- Hành vi tương tác lẫn nhau*

Ở hành vi này, những con lươn điện bơi đan xen với nhau tạo thành một vòng tròn điện rộng lớn để bắt những con cá nhỏ vào trung tâm của vòng tròn đó. Tại đây, mỗi một con lươn điện đều được xem là một ứng viên cho giải pháp của bài toán phụ thuộc vào vị trí của nó với con mồi. Sự tác động và trao đổi tín hiệu thông tin nhận được giữa những cá thể lươn với nhau giúp chúng chia sẻ thông tin về con mồi với nhau và hành động này có thể được xem như quá trình khai phá diện rộng của thuật toán. Ngoài ra, sự tương tác giữa các con lươn được đánh dấu bằng một cú khuấy để biểu thị sự chuyển động ngẫu nhiên theo nhiều hướng khác nhau. Hành vi này có thể được mô tả theo phương trình sau:

$$\begin{cases} E_i^{new} = E_j^{ini} + C \times (\overline{E}^{ini} - E_i^{ini}), r_1 > 0,5 & \text{fit}(E_j^{ini}) < \text{fit}(E_i^{ini}) \\ E_i^{new} = E_j^{ini} + C \times (E_r^{ini} - E_i^{ini}), r_1 \leq 0,5 \\ E_i^{new} = E_i^{ini} + C \times (\overline{E}^{ini} - E_i^{ini}), r_2 > 0,5 & \text{fit}(E_j^{ini}) \geq \text{fit}(E_i^{ini}) \\ E_i^{new} = E_i^{ini} + C \times (E_r^{ini} - E_i^{ini}), r_2 \leq 0,5 \end{cases} \tag{13}$$

Trong đó,  $\overline{E}^{ini}$  là giá trị trung bình của quần thể đầu tiên,  $E_r^{ini}$  là cá thể ngẫu nhiên trong quần thể ngẫu nhiên,  $r_1$  và  $r_2$  là các giá trị ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 đến 1,  $fit$  là giá trị hàm thích nghi của cá thể tương ứng,  $C$  giá trị quyết định hướng di chuyển mới của cá thể lươn điện và giá trị của nó có thể được tìm thấy trong [20].

*- Hành vi nghỉ ngơi*

Trước khi nghỉ ngơi, thì lươn điện thường xác định cho mình một khu vực nghỉ ngơi phù hợp. Để nâng cao hiệu quả của việc tìm kiếm, khu vực nghỉ ngơi là nơi mà tại đó bất kỳ một cá thể lươn nào cũng có thể dễ dàng tìm thấy. Để xác nhận được chính xác vị trí khu vực nghỉ ngơi thì cả không gian tìm kiếm và vị trí của lươn điện được chuyển đổi thành giá trị trong khoảng 0 và 1. Và những vùng này được trình bày bởi các công thức như sau:

$$E_i^{new} = R_i + r^n \times (R_i - \text{round}(\text{rand}) \times E_i^{ini}) \tag{14}$$

$$R_i = Z + \alpha \times |Z - x_{prey}| \tag{15}$$

$$\alpha = \alpha_0 \times \sin(2\pi r_2) \tag{16}$$

Trong đó,  $\alpha$  là tỉ lệ của khu vực nghỉ ngơi,  $r_2$  là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng  $[0,1]$ ,  $x_{prey}$  là vị trí của con mồi,  $r^n$  là giá trị 0 hoặc 1, giá trị  $Z$  và  $\alpha_0$  có thể được tìm thấy trong [20].

*- Hành vi săn mồi*

Loài lươn điện không săn mồi dựa trên lợi thế của bầy đàn mà thay vào đó chúng sẽ hợp tác cùng nhau để bao

vây con mồi và sau đó là thu nhỏ khoảng cách lại. Những con lươn điện làm việc nhịp nhàng cùng nhau để bao vây lùa con mồi đến vùng nước cạn hơn để dễ dàng săn bắt. Khi bao vây con mồi lươn điện sẽ tạo ra một vòng tròn điện từ và được gọi là khu vực săn mồi. Khu vực này có thể được mô tả như sau:

$$E^{new} = H_{prey,i} + \eta \times (H_{prey,i} - \text{round}(\text{rand}) \times E_i^{ini}) \quad (17)$$

$$H_{prey,i} = x_{prey} + \beta \times |E_i^{ini} - x_{prey}| \quad (18)$$

$$\beta = \beta_0 \times \sin(2\pi r_3) \quad (19)$$

Tại đó,  $\beta$  là là tỉ lệ của khu vực săn mồi,  $r_3$  là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng  $[0,1]$ , giá trị  $H_{prey}$ ,  $\beta_0$  và  $\eta$  có thể được tìm thấy trong [20].

*- Hành vi di chuyển*

Khi tìm thấy con mồi lươn điện có xu hướng sẽ di chuyển từ vị trí nghỉ ngơi bản thân đến vị trí con mồi. Hành động này có thể được xác nhận như sau:

$$E^{new} = -r_4 \times R_i + r_5 \times H_{prey} - L \times (H_{prey} - E_i^{ini}) \quad (20)$$

Tại đó,  $r_4, r_5$  là các giá trị ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 tới 1,  $L$  là hàm bay Levy và giá trị của hàm trên có thể được tính toán dựa theo [21].

*- Sự chuyển dịch từ khai phá sang khai thác*

Trong thuật toán EEFO, các hành vi tìm kiếm của lươn điện đều phụ thuộc vào hệ số năng lượng. Hệ số này có chức năng chính là chuyển dịch từ chiến lược khai phá sang chiến lược khai thác của thuật toán, được trình bày như sau:

$$\text{Energy} = 4 \times \sin\left(1 - \frac{t}{T}\right) \times \ln\frac{1}{r_6} \quad (21)$$

Trong đó,  $t$  và  $T$  là số lần lặp hiện tại và tối đa của thuật toán,  $r_6$  là giá trị ngẫu nhiên trong khoảng từ 0 đến 1.

*- Áp dụng thuật toán EEFO để giải bài toán quản lý nghề mịch*

Việc áp dụng thuật toán để xuất EEFO để giải bài toán CM được thực hiện theo các bước như sau:

Bước 1: Đọc dữ liệu của hệ thống điện và thiết lập các thông số ban đầu như: số lần lặp tối đa ( $T$ ), số lượng cá thể ( $N$ ),  $lb$ ,  $ub$ ,  $D$ .

Bước 2: Khởi tạo quần thể ban đầu: Mỗi giải pháp ( $Sol$ ) tương ứng được xem là một cá thể lươn điện ban đầu và quần thể  $N$  được khởi tạo dựa theo công thức (11) và (12).

$$Sol_i = [P_{G1}, \dots, P_{GNG}], i = 1 \dots N \quad (22)$$

Ban đầu, cài đặt giá trị quần thể ban đầu dựa trên giới hạn trên và giới hạn dưới của hành vi săn mồi theo công thức sau:

$$Sol_i = Sol_i^{min} + r_1 \times (Sol_i^{max} - Sol_i^{min}), i = 1 \dots N \quad (23)$$

Trong đó:  $Sol_i$  là giải pháp thứ  $i$ ;  $r_1$  giá trị ngẫu nhiên  $(0,1)$ ;  $Sol_i^{max}$  và  $Sol_i^{min}$  là giá trị giới hạn trên và giới hạn dưới của biến điều khiển thứ  $i$ ,  $P_i^{max}$  và  $P_i^{min}$  là giá trị cực đại và cực tiểu của máy phát thứ  $i$ ; được trình bày như bên dưới:

$$\begin{cases} Sol_i^{min} = [P_{G,1}^{min}, P_{G,2}^{min}, \dots, P_{G,NG}^{min}] \\ Sol_i^{max} = [P_{G,1}^{max}, P_{G,2}^{max}, \dots, P_{G,NG}^{max}] \end{cases} \quad (24)$$

Bước 3: Tính giá trị hàm mục tiêu (hàm thích nghi) cho riêng từng cá thể trong quần thể ban đầu sử dụng công thức (25):

$$\text{fit} = C_t + PF_1 \times \sum_{i=1}^{N_i} (P_{ij} - P_{ij}^{max})^2 + PF_2 \times \sum_{j=1}^{N_b} (\Delta V_j)^2 + PF_3 \times \sum_{k=1}^{N_g} (\Delta PG_k)^2 \quad (25)$$

$$\Delta V_j \begin{cases} (V_j^{min} - V_j), V_j \leq V_j^{min} \\ (V_j - V_j^{max}), V_j > V_j^{max} \end{cases} \quad (26)$$

$$\Delta P_k \begin{cases} (P_k^{min} - P_k), P_k \leq P_k^{min} \\ (P_k - P_k^{max}), P_k > P_k^{max} \end{cases} \quad (27)$$

Trong đó,  $PF_1, PF_2, PF_3$  lần lượt là các giá trị phạt và được cài đặt ở giá trị  $10^4$  trong quá trình mô phỏng.

Bước 4: Cập nhật giá trị  $x_{prey}$  của lươn điện có giá trị nhỏ nhất tương ứng với giá trị hàm thích nghi nhỏ nhất ban đầu  $fit(E_i^{ini})$ .

Bước 5: Cập nhật hệ số năng lượng energy với thành vi tìm kiếm mới theo công thức (21).

Bước 6: Nếu hệ số energy lớn hơn 1 thì thực hiện tính toán dựa trên hành vi tương tác lẫn nhau của lươn điện dựa trên công thức (13) với giá trị  $Sol^{new}$  tương ứng tìm được giá trị của hàm thích nghi theo công thức (25) là  $fit(Sol_i^{new})$ .

Bước 7: Nếu chỉ số năng lượng nhỏ hơn hoặc bằng 1 đồng thời:

- Giá trị ngẫu nhiên  $\text{rand}$  lớn hơn 1/3 thì tính toán dựa trên hành vi nghỉ ngơi sử dụng công thức (14) với giá trị  $Sol^{new}$  tương ứng tìm được giá trị của hàm thích nghi theo công thức (25) là  $fit(Sol_i^{new})$ .

- Giá trị ngẫu nhiên  $\text{rand}$  lớn hơn 2/3 thì tính toán dựa trên hành vi săn mồi sử dụng công thức (17) với giá trị  $Sol^{new}$  tương ứng tìm được giá trị của hàm thích nghi theo công thức (25) là  $fit(Sol_i^{new})$ .

- Trường hợp còn lại thì tính toán dựa trên hành vi di chuyển sử dụng công thức (20) với giá trị  $Sol^{new}$  tương

ứng tìm được giá trị của hàm thích nghi theo công thức (25) là  $fit(Sol_i^{new})$ .

Bước 8: Vị trí của các cá thể lượn điện  $Sol_i^{ini}$  sẽ được cập nhật lại các vị trí theo công thức bên dưới:

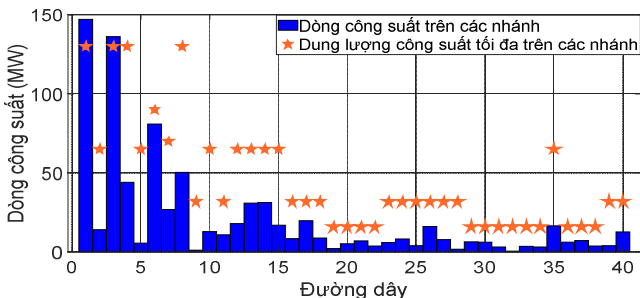
$$E_i^{ini} = \begin{cases} E_i^{ini}, fit(E_i^{ini}) \leq fit(E_i^{new}) \\ E_i^{new}, fit(E_i^{ini}) > fit(E_i^{new}) \end{cases} \quad (28)$$

Bước 9: Kiểm tra điều kiện dừng. Nếu số lần lặp bằng với số lần lặp tối đa ( $t = T$ ) thì kết thúc vòng lặp và in ra giá trị tốt nhất. Ngược lại, quay trở về bước 4.

**4. KẾT QUẢ**

Ở phần này, hiệu quả của thuật toán tối ưu hóa quá trình tìm kiếm thức ăn của lượn điện (EEFO) trong việc giải quyết bài toán CM bằng cách điều độ lại công suất máy phát đã được trình bày. Hiệu quả của thuật toán được chứng minh thông qua việc so sánh kết quả đạt được với thuật toán thuật toán ưu hóa Satin Bowerbird (SBO), thuật toán tối ưu hóa bầy đàn (PSO) và các phương pháp khác. Các giá trị cài đặt ban đầu gồm số lần lặp và số lượng cá thể lần lượt là 500 và 50 được sử dụng cho tất cả các thuật toán. Riêng các thông số điều khiển khác của thuật toán SBO được đặt theo tài liệu [1]. Mô phỏng được tiến hành trên phần mềm matlab và phân bố công suất được xác định sử dụng phần mềm MATPOWER [22]. Trong nghiên cứu này, hệ thống điện chuẩn IEEE 30 nút được sử dụng để kiểm tra tính hiệu quả của phương pháp cho bài toán CM.

Hệ thống IEEE 30 nút bao gồm 6 máy phát điện, 24 nút tải và 41 đường dây truyền tải. Trong đó, 6 máy phát điện được đặt từ nút 1 đến nút 6, với tổng công suất phát là 283,4 MW và 126,25 MVAR. Thông tin chi tiết hơn về hệ thống được IEEE 30 nút có thể được tìm thấy trong [12]. Giá thầu trong việc tăng, giảm công suất của các GENCO được liệt kê trong [1]. Để giả lập sự cố, đường dây 1 - 7 được xem xét bị đứt, đồng thời công suất tải tại tất cả các nút tăng lên 50% trong nghiên cứu này.



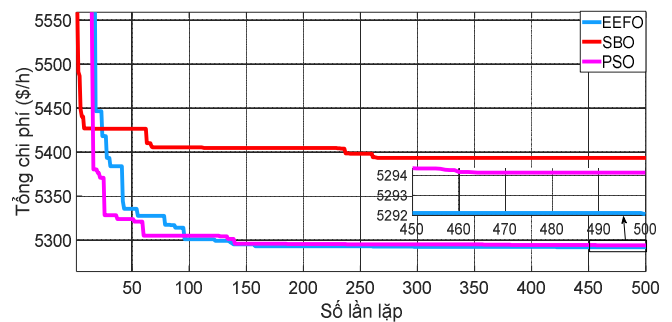
Hình 1. Dòng công suất tại các nhánh của mạch IEEE 30 nút khi xảy ra sự cố

Quan sát hình 1, các đường dây 1 (1 - 2), 2 (2 - 8) và 5 (2 - 9) bị quá tải do sự cố nêu trên. Việc so sánh tính hiệu quả của thuật toán được đề xuất EEFO với các thuật toán khác được trình bày trong bảng 1. Từ bảng này, giá trị tối

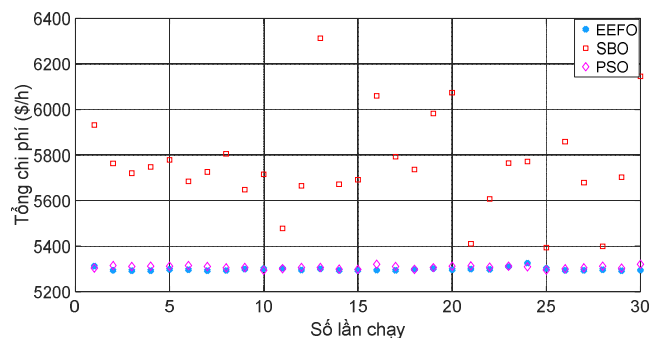
ưu mà thuật toán EEFO (5292,04 \$/h) tìm được ít hơn so với các thuật toán FPA (5320,8 \$/h) [16], FFA (5304,40 \$/h) [17], ALO (5296,75 \$/h)[18], SOS (5303 \$/h) [19]. Ngoài ra, giá trị trên còn nhỏ hơn so với các thuật toán được so sánh là SBO (5393,36 \$/h) và PSO (5294,13 \$/h). Các giá trị này còn có thể được quan sát ở hình 2a. Hơn nữa, độ ổn định của thuật toán EEFO còn cao hơn so với thuật toán PSO và SBO như được trình bày trong hình 2.

Bảng 1. So sánh hiệu quả của thuật toán EEFO với các thuật toán khác

Biến	Thuật toán tối ưu						
	FPA[16]	FFA[17]	ALO[18]	SOS[19]	SBO	PSO	EEFO
ΔPG1 (MW)	-8,59	-8,58	-8,59	-8,59	-8,76	-8,75	-8,76
ΔPG2 (MW)	+74,02	+75,99	+76,4	+76,46	+68,03	+75,4	+76,3
ΔPG3 (MW)	0	+0,06	+0,06	0	+11,17	+0,001	+0,04
ΔPG4 (MW)	-/+3,52	+42,99	+42,84	+41,08	+32,39	+45,65	+52,2
ΔPG5 (MW)	+43,86	+23,83	+24,57	+30,23	+22,5	+20,97	+21,36
ΔPG6 (MW)	+27,89	+16,51	+15,53	+11,62	+23,84	+16,78	+8,89
Tổng chi phí (\$/h)	5320,8	5304,40	5296,75	5303	5393,36	5294,13	5292,04



a) Đường cong hội tụ



b) Giá trị thu được sau 30 lần chạy

Hình 2. So sánh hiệu quả của thuật toán đề xuất với thuật toán khác

## 5. KẾT LUẬN

Trong Nghiên cứu này, trình bày một phương pháp tiếp cận mới có tên là thuật toán tối ưu hóa việc tìm kiếm thức ăn của lươn điện (EEFO) để giải quyết bài toán CM bằng phương pháp điều độ lại công suất máy phát với việc đường dây 1 (1 - 2), 2 (2 - 8) và 5 (2 - 9) bị đứt và tất cả các nút điều tăng thêm 50% tải. Các kết quả mà thuật toán EEFO đưa ra để giải quyết bài toán nghẽn mạch CM đạt giá trị nhỏ hơn so với các thuật toán FPA, FFA, ALO, SOS, SBO và PSO. Hơn nữa, độ ổn định, và thời gian hội tụ của thuật toán EEFO được đề xuất cao hơn so với các phương pháp so sánh sau 30 lần thử nghiệm. Do đó, EEFO là một trong những thuật toán hiệu quả và đáng tin cậy để giải quyết bài toán nghẽn mạch CM trên hệ thống điện.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. R. Chintam, M. Daniel, "Real-power rescheduling of generators for congestion management using a novel satin bowerbird optimization algorithm," *Energies*, 11(1), 2018.
- [2]. Zainuddin, N. Mohd, et al., "Review of thermal stress and condition monitoring technologies for overhead transmission lines: Issues and challenges," *IEEE Access*, 8 (2020): 120053-120081, 2020.
- [3]. H.Y. Yamina, S.M. Shahidehpour, "Congestion management coordination in the deregulated power market," *Electric Power Systems Research*, 65, 119-127, 2003.
- [4]. G. Yesuratnam, D. Thukaram, "Congestion management in open access based on relative electrical distances using voltage stability criteria," *Electric Power Systems Research*, 77, 12, 1608-1618, 2007.
- [5]. N. P. Padhy, "Congestion Management Under Deregulated Fuzzy Environment," In *Proceedings of IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies*, Hong Kong, China, 2004.
- [6]. K. Pandiarajan, C. K. Babulal, "Transmission Line Management Using Hybrid Differential Evolution with Particle Swarm Optimization," *Journal of Electrical Systems*, 10, 1, 2014.
- [7]. J. Hazra, A. sinha, "Congestion management using multiobjective particle swarm optimization," In *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, IEEE, 2008.
- [8]. S. Dutta, S. P. Singh, "Optimal rescheduling of generators for congestion management based on particle swarm optimization," *IEEE Transactions on Power Systems*, 23 (4), 1560-1569, 2008.
- [9]. P. Boonyaritdachochoi, C. Boonchuay, W. Ongsakul, "Optimal congestion management in an electricity market using particle swarm optimization with time-varying acceleration coefficients," *Computers & Mathematics with Applications*, 60 (4), 1068-1077, 2010.
- [10]. S. Balaraman, N. Kamaraj, "Transmission Congestion Management Using Particle Swarm Optimization," *Journal of Electrical Systems*, 7, 54-70, 2011.
- [11]. M. Sarwar, A. S. Siddiqui, "An efficient particle swarm optimizer for congestion management in deregulated electricity market," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 2(3), 269-282, 2015.
- [12]. S. Verma, S. Saha, V. Mukherjee, "Optimal rescheduling of real power generation for congestion management using teaching-learning-based optimization algorithm," *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5(3), 889-907, 2018.
- [13]. S. Deb, A. K. Goswami, "Congestion management by generator rescheduling using Artificial Bee Colony optimization Technique," In *2012 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, IEEE, 909-914, 2012.
- [14]. K. Paul, P. Sinha, Y. Bouteraa, P. Skruch, S. Mobayen, "A Novel Improved Manta Ray Foraging Optimization Approach for Mitigating Power System Congestion in Transmission Network," *IEEE Access*, 11, 10288-10307, 2023.
- [15]. Batra, S. Ghosh, "A Novel Approach of Congestion Management in Deregulated Power System Using an Advanced and Intelligently Trained Twin Extremity Chaotic Map Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm," *Arab J Sci Eng*, 44(8), 6861-6886, 2019.
- [16]. S. Verma, V. Mukherjee, "A novel flower pollination algorithm for congestion management in electricity market," In *2016 3rd International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, IEEE, 203-208, 2016.
- [17]. S. Verma, V. Mukherjee, "Firefly algorithm for congestion management in deregulated environment," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(3), 1254-1265, 2016.
- [18]. S. Verma, V. Mukherjee, "Optimal real power rescheduling of generators for congestion management using a novel ant lion optimiser," *IET Generation, Transmission and Distribution*, 10(10), 2548-2561, 2016.
- [19]. S. Verma, S. Saha, V. Mukherjee, "A novel symbiotic organisms search algorithm for congestion management in deregulated environment," *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 29(1), 59-79, 2017.
- [20]. Zhao, Weiguo, et al., "Electric eel foraging optimization: A new bio-inspired optimizer for engineering applications," *Expert Systems with Applications*, 238, 122200, 2024.
- [21]. Viswanathan, Gandhimohan M., et al., "Lévy flight search patterns of wandering albatrosses," *Nature*, 381, 413-415, 1996.
- [22]. R. D. Zimmerman, C. E. M. Sanchez., MATPOWER (Version 8.0b1), [Software], 2022. Available: <https://matpower.org>

### AUTHORS INFORMATION

**Duong Van Tuan, Bui Nguyen Duc Huy, Duong Thanh Long**

Faculty of Electrical Engineering Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam