

## Application of the Adaptive Selective Cuckoo Search Algorithm for a Power Generation System Using Constraints of Power Transmission System

Nguyen Trung Thang<sup>1</sup>, Nguyen Ngoc Thiem<sup>2</sup>, Le Chi Kien<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ton Duc Thang University, Vietnam

<sup>2</sup>Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam

<sup>3</sup>Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

\*Corresponding author. Email: [kienlc@hcmute.edu.vn](mailto:kienlc@hcmute.edu.vn)

### ARTICLE INFO

Received: 9/6/2022  
Revised: 23/6/2022  
Accepted: 5/7/2022  
Published: 30/8/2022

### KEYWORDS

Adaptive selective;  
Metaheuristic algorithm;  
Optimal power flow;  
Hydro-thermal power plant;  
Power system constraints.

### ABSTRACT

In this paper, the Metaheuristic algorithms has been employed to find the optimal solution for optimal power flow problem of hydro-thermal power plant. Some algorithms for search and optimization including the latest trends in evolutionary algorithms were examined to prove the effectiveness. As results, the analysis of these algorithms shows that they are useful to solve the scheduling problem of the thermal and hydroelectric power plants because they can achieve a good solution and results with a minimum running time in optimal conditions. With these algorithms, Adaptive Selective Cuckoo Search algorithm is most effective since it can obtain the lowest objective function with the lowest maximum number of iterations. The results also show that Differential Evolutionary algorithm, Bat algorithm, and Particle Swarm Optimization algorithm are less effective but they still achieve feasible solution.

## Cải Tiến Giải Thuật Tìm Kiếm Cuckoo Có Đáp Ứng Cho Hệ Thống Phát Điện Sử Dụng Các Điều Kiện Của Lưới Điện Truyền Tải

Nguyễn Trung Thắng<sup>1</sup>, Nguyễn Ngọc Thiêm<sup>2</sup>, Lê Chí Kiên<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Tôn Đức Thắng, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

\* Tác giả liên hệ. Email: [kienlc@hcmute.edu.vn](mailto:kienlc@hcmute.edu.vn)

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 9/6/2022  
Ngày hoàn thiện: 23/6/2022  
Ngày chấp nhận đăng: 5/7/2022  
Ngày đăng: 30/8/2022

### TỪ KHÓA

Chọn lọc thích nghi;  
Giải thuật tìm kiếm;  
Phân bố công suất;  
Thủy nhiệt điện;  
Ràng buộc truyền tải.

### TÓM TẮT

Bài báo này cho thấy tiềm năng của giải thuật tìm kiếm Metaheuristic để phân bố công suất tác dụng cho hệ thống phát điện kết hợp sử dụng nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện. Các thuật toán tìm kiếm tối ưu phổ biến đã được cải tiến với hiệu quả cao nhất. Tính hiệu quả của các giải thuật được xem xét trên nhiều nhà máy trong hệ thống. Kết quả của nghiên cứu được so sánh với các công bố trước đây để cho thấy tính ưu việt, tìm ra cách vận hành tốt nhất và linh hoạt lựa chọn chế độ vận hành cho từng trường hợp thực tế. Kết quả trong nghiên cứu này cho thấy giải thuật Cuckoo đáp ứng cho kết quả khả quan nhất. Trong các giải thuật xem xét, giải thuật đàn dơi, tiến hóa vi phân, và tối ưu bầy đàn cho kết quả không tối ưu, tuy nhiên vẫn có thể được ứng dụng trong những hệ thống nhỏ với cấu trúc đơn giản.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.71B.2022.1225>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

## 1. Giới thiệu

Phân bố dòng công suất tối ưu (Optimal Power Flow – OPF) là vấn đề khó khăn khi xem xét rất nhiều điều kiện trên lưới điện truyền tải như điều kiện về điện áp tại các nút, điện áp phát của các nguồn phát, ràng buộc về công suất biểu kiến, công suất tụ bù ngang và điện áp thứ cấp của các máy biến áp [1]. Bên cạnh bài toán OPF, bài toán phối hợp hệ thống nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện (Hydrothermal Scheduling – HTS) phức tạp bởi các ràng buộc từ hồ thủy điện và thời gian điều độ trong thời gian dài chia ra thành nhiều khoảng xem xét. Giá trị ở các khoảng ảnh hưởng qua lại đến lời giải cuối cùng. Về điều này, OPF thường chỉ xem xét một khoảng thời gian hoặc nếu nhiều khoảng thì các giá trị giữa các khoảng cũng không ảnh hưởng với nhau.

Từ đó bài toán phân bố dòng công suất tốt nhất cho hệ thống nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện (Hydrothermal Optimal Power Flow – HTOPTF) sẽ xét đến tất cả các điều kiện của bài toán OPF và bài toán HTS. Hiển nhiên, tính phức tạp do các ràng buộc trên lưới truyền tải và tính phức tạp của hồ nước thủy điện với nhiều khoảng thời gian sẽ trở thành thách thức lớn cho bài toán HTOPTF. Xét cho đến thời điểm này, có rất ít phương pháp giải vấn đề HTOPTF. Các công trình trước đây đã áp dụng các giải thuật truyền thống với mục tiêu đặt ra là có thể giải quyết các điều kiện hơn là tính toán chi phí tối ưu [2-5].

Vì những lý do trên, nghiên cứu trong bài báo này sẽ áp dụng một số thuật toán tìm kiếm Metaheuristic tiêu biểu như giải thuật tiến hóa vi phân (Differential Evolution – DE), giải thuật Cuckoo (Cuckoo Search Algorithm – CSA), các giải thuật tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization – PSO), giải thuật đàn dơi (Bat Algorithm – BA) và các phiên bản cải tiến của các thuật toán này [6-7]. Các kết quả sẽ được kiểm chứng trên hai hệ thống IEEE 30-bus và 118-bus [8].

## 2. Mô hình bài toán phân bố công suất tối ưu hệ thống nhà máy thủy điện và nhiệt điện

### 2.1. Hàm mục tiêu

Chi phí phát điện nhỏ nhất

$$\text{Min } C_T = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^N t_m F_{im} \quad (1)$$

Trong đó:

$C_T$ : tổng chi phí sản xuất điện trong khoảng phạm vi xem xét

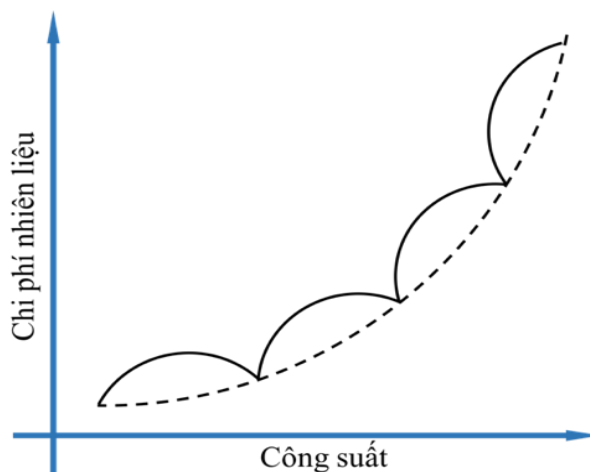
$t_m$ : thời gian của khoảng thứ  $m$

$F_{im}$ : chi phí sản xuất điện mỗi giờ của nhà máy thứ  $i$  trong khoảng  $m$

Trong hệ thống đang có, việc điều chỉnh công suất trong quá trình vận hành dùng việc điều tiết lượng nước làm thay đổi lớn đến chi phí nhiên liệu, dẫn đến việc tính toán chi phí được biểu diễn như sau.

$$F_{im} = a_{si} + b_{si}P_{si,m} + c_{si}P_{si,m}^2 + |d_{si}\sin[e_{si}(P_{si}^{\min} - P_{si,m})]| \quad (2)$$

### 2.2. Các ràng buộc hệ thống nhà máy thủy điện và nhiệt điện



**Hình 1.** Hàm chi phí trong quá trình vận hành tăng công suất

Ràng buộc thể tích nước

$$\sum_{m=1}^M t_m q_{j,m} = W_j; j = 1..N \quad (3)$$

Ràng buộc máy phát

$$P_{gi,min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,max}; i = 1..N_g \quad (4)$$

$$Q_{gi,min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,max}; i = 1..N_g \quad (5)$$

Ràng buộc điện áp máy phát

$$V_{gi,min} \leq V_{gi} \leq V_{gi,max}; i = 1..N_g \quad (6)$$

### 2.3. Các ràng buộc lưới truyền tải

Phương trình công suất phản kháng và công suất tác dụng

$$P_{pi} - P_{fi} = V_j \sum_{i=1}^{N_m} V_i [G_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i) + B_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i)]; j = 1..N_m \quad (7)$$

$$Q_{pi} + Q_{di} - Q_{ci} = V_j \sum_{i=1}^{N_m} V_i [G_{ji} \sin(\delta_j - \delta_i) + B_{ji} \cos(\delta_j - \delta_i)]; i = 1..N_m \quad (8)$$

Trong đó  $P_{fi}$ ,  $Q_{ci}$  là công suất tải tại thanh cái  $i$  và  $P_{pi}$ ,  $Q_{pi}$  là công suất đầu ra của các nguồn phát thủy điện và nhiệt điện.

Giới hạn tụ bù

$$Q_{di,nn} \leq Q_{di} \leq Q_{di,ln}; i = 1..N_d \quad (9)$$

Giới hạn đầu phân điện áp

$$T_{i,nn} \leq T_i \leq T_{i,ln}; i = 1..N_c \quad (10)$$

Điều kiện điện áp trên tải

$$V_{hi,nn} \leq V_{hi} \leq V_{hi,ln}; i = 1..N_g \quad (11)$$

Giới hạn công suất đường dây

$$S_l \leq S_{l,max}; l = 1..N_l \quad (12)$$

Trong đó  $S_l = \max(|S_{ij}|, |S_{ji}|)$

## 3. Các thuật toán Metaheuristic

### 3.1. Lựa chọn thông số

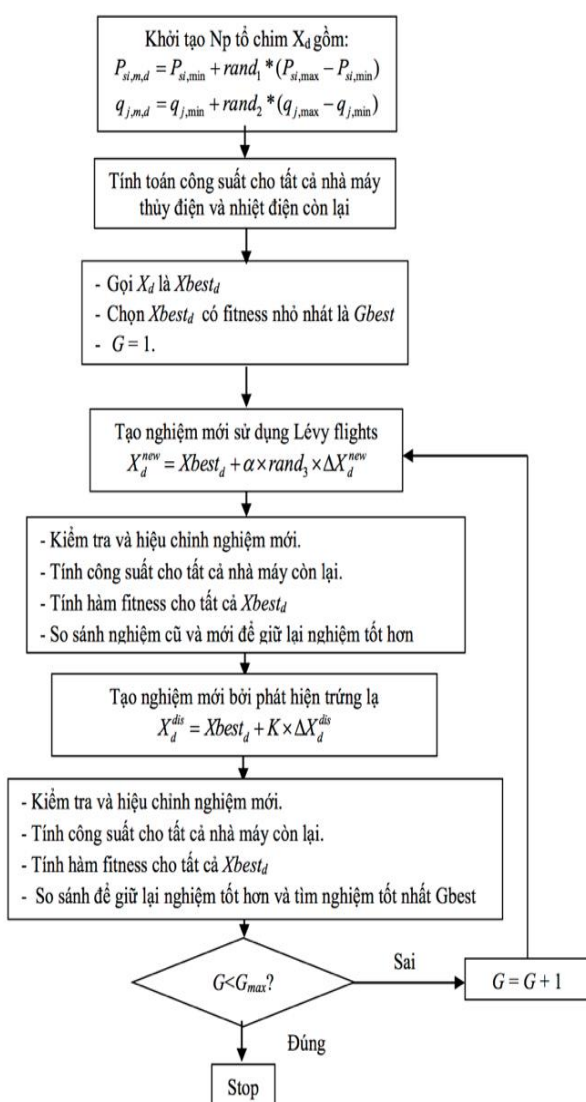
- Lựa chọn thông số cho thuật toán CSA:  $P_a$  có 3 giá trị từ 0,7 đến 0,9 và ngưỡng được chọn bằng  $10^{-3}$
- Lựa chọn thông số cho thuật toán PSO:  $c_1$  và  $c_2$  được chọn 2,05 và  $\omega_{max}$  có 4 giá trị từ 0,7 đến 1 và  $\omega_{min}$  có 3 giá trị từ 0,1 đến 0,3
- Lựa chọn thông số cho các phương pháp DE: chỉ số biến đổi MF và chỉ số ghép CR lần lượt được chọn 0,2 đến 1,2 và 0,2 đến 0,8
- Lựa chọn thông số cho các phương pháp BA: Độ ồn A được chọn bằng 1 và tỉ lệ phát sung r được chọn từ 0,1 đến 0,5

Tập hợp biến và số vòng lặp lớn nhất được chọn cho các thuật toán như trong Bảng 1 với thuật toán CSA sử dụng dân số nhỏ hơn các thuật toán khác cho hai hệ thống. Bên cạnh đó, thuật toán CSA sử dụng 300 vòng lặp trong khi đó tất cả thuật toán khác đều sử dụng 400. Các thuật toán này được kiểm tra trên hai hệ thống IEEE 30-bus và 118-bus.

**Bảng 1.** Lựa chọn thông số

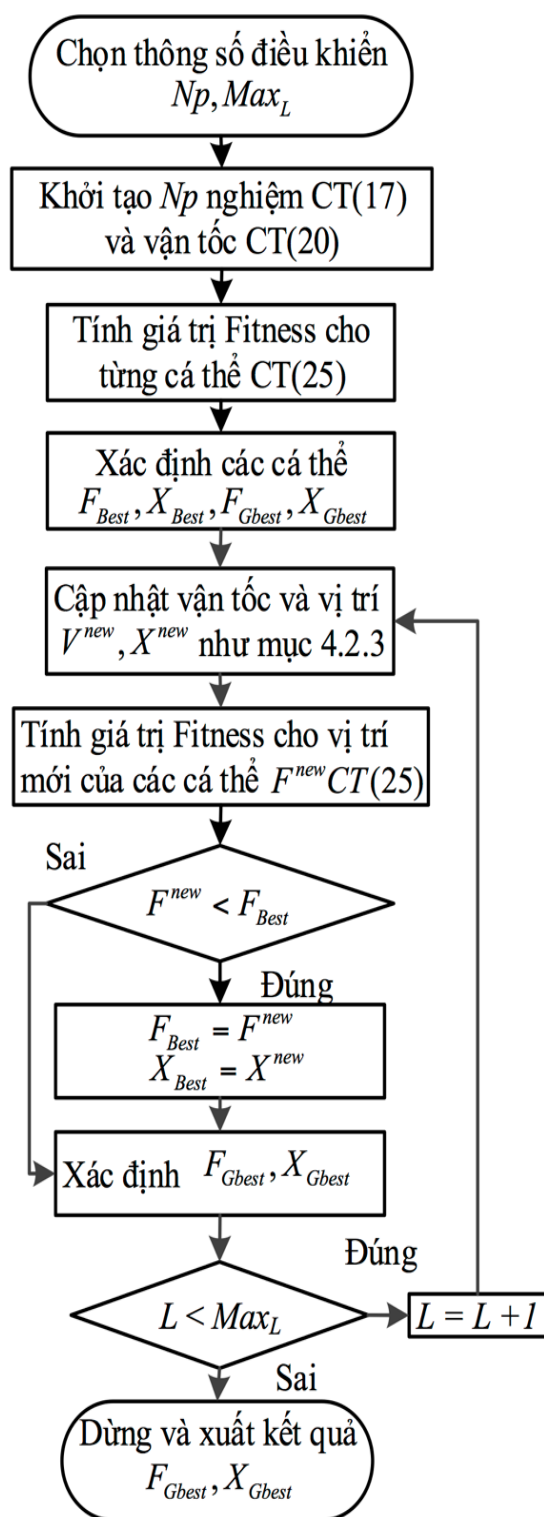
Thuật toán	Hệ thống 30-bus		Hệ thống 118-bus	
	$N_p$	$G_{max}$	$N_p$	$G_{max}$
PSO	20	150	40	400
DE	20	150	40	400
BA	20	150	40	400
CSA	10	150	20	400

### 3.2. Thuật toán tìm kiếm Cuckoo



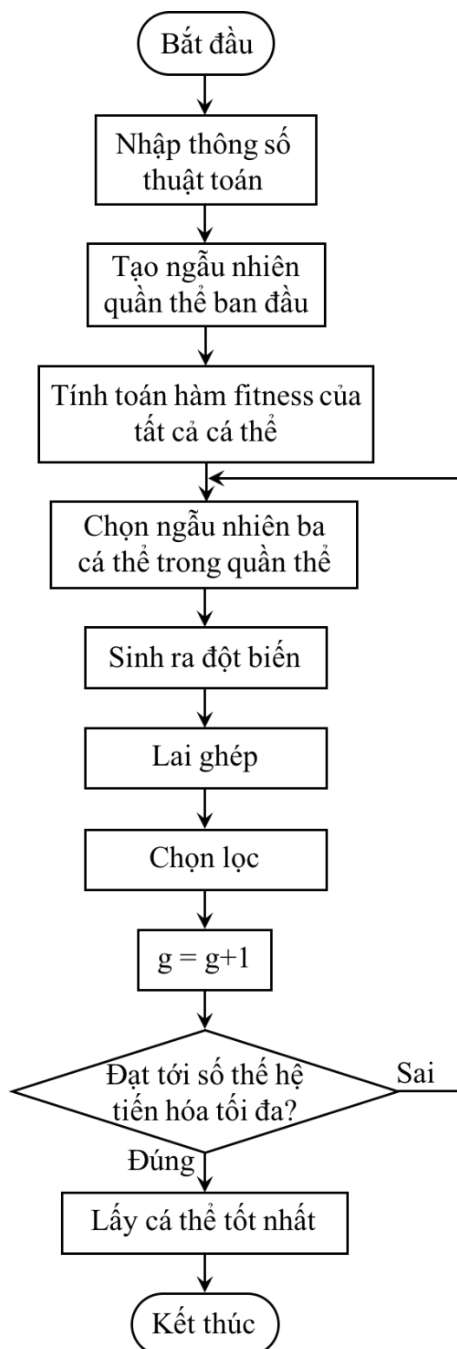
Hình 2. Lưu đồ giải thuật CSA

### 3.3. Thuật toán tối ưu bầy đàn



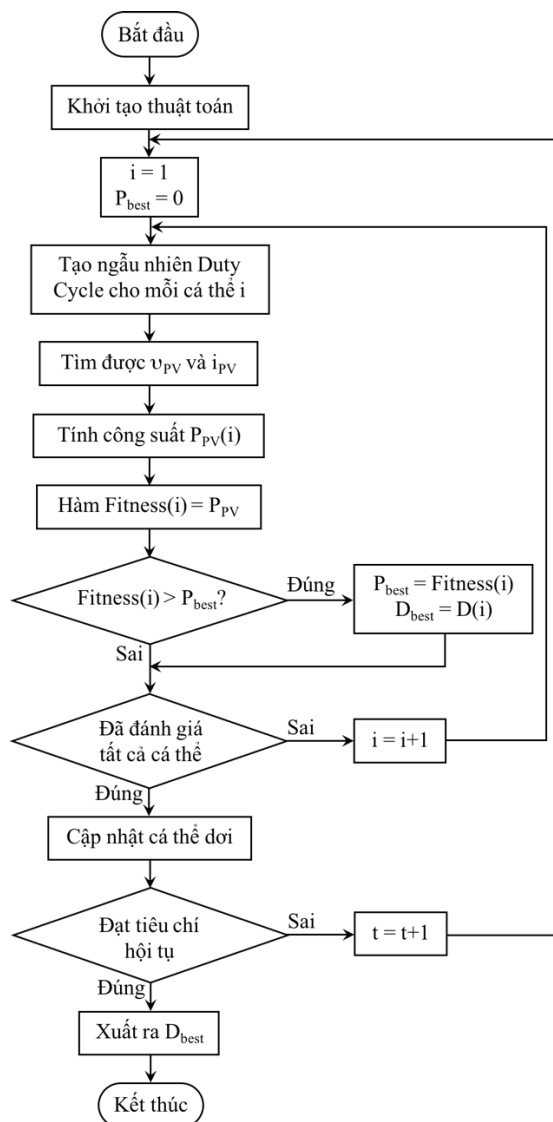
Hình 3. Lưu đồ giải thuật PSO

### 3.4. Thuật toán tiến hóa vi phân



**Hình 4.** Lưu đồ giải thuật DE

### 3.5. Thuật toán đàn dơi



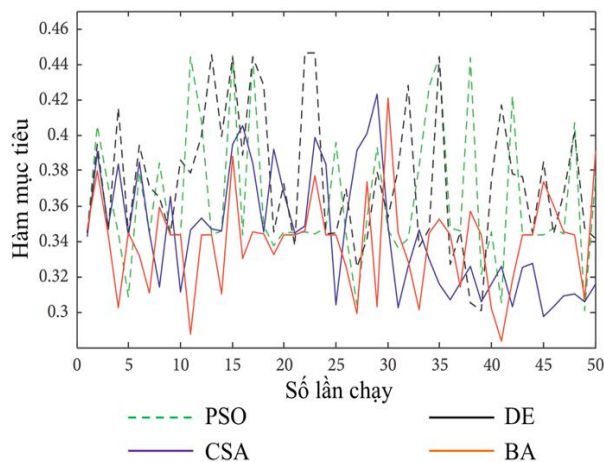
**Hình 5.** Lưu đồ giải thuật BA

## 4. Kết quả

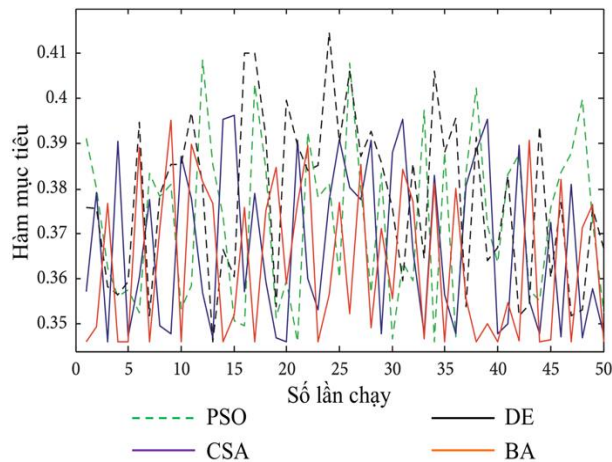
### 4.1. Kết quả hệ thống 30-bus

Hệ thống bao gồm các máy phát chạy bằng turbine hơi và máy phát thủy điện. Thời gian phân bố công suất trong một ngày đêm 24 giờ sẽ bị chia thành hai phần thời gian 12 giờ. Tải ở khoảng thứ nhất được cố định như thông số trên lưới 30 bus trong khi đó tải ở phần thứ hai bằng 75% phần thứ nhất. Kết quả được báo cáo trong Bảng 2. Giá trị chi phí được xếp hạng như các số trong dấu ngoặc đơn. Tỷ lệ thành công cũng được xếp hạng tương tự. Kết quả cho thấy CSA xếp hạng 1 cả về tỉ lệ cho kết quả tối

ưu và chi phí. Thuật toán BA cho kết quả về chi phí kém nhất trong 4 thuật toán, trong khi xét về tỉ lệ thành công thì thuật toán PSO cho kết quả kém nhất mặc dù thuật toán này cho kết quả về chi phí gần tương đương thuật toán CSA. Như vậy rõ ràng là thuật toán CSA hiệu quả nhất trong bốn thuật toán đối với hệ thống điện IEEE 30-bus.



**Hình 6.** Tính hội tụ cho hệ thống IEEE 30-bus



**Hình 7.** Tính hội tụ cho hệ thống IEEE 118-bus

**Bảng 2.** Kết quả tính toán cho hệ thống IEEE 30-bus

Thuật toán	Chi phí thấp nhất [\$]	Chi phí bình quân [\$]	Chi phí cao nhất [\$]	Độ lệch chuẩn [\$]	Tỉ lệ thành công [%]
PSO	13.723.968 [2]	13.773.031	14.198.212	72.992	63,92 [4]
DE	13.799.042 [3]	14.073.579	14.951.523	251.901	70,42 [3]
BA	13.802.683 [4]	14.426.703	15.421.417	299.556	80,65 [2]
CSA	13.720.794 [1]	13.757.250	13.817.511	21.818	84,75 [1]

#### 4.2. Kết quả hệ thống 118-bus

Hệ thống gồm 45 máy phát, 54 bus và 168 nhánh với 9 máy biến thế và 14 bộ tụ bù đặt tại 14 bus khác nhau. 24 giờ trong ngày được chia ra làm hai khoảng 20 giờ và 4 giờ. Khoảng thứ nhất mang tải 100% trong khi đó khoảng thứ hai mang tải 70%. Kết quả được trình bày trong Bảng 3. Kết quả cho thấy thuật toán CSA xếp hạng 1 về chi phí trong khi đó về tỉ lệ thành công thì thuật toán này xếp hạng 3. Tỉ lệ thành công của PSO xếp hạng 1 nhưng xếp hạng về chi phí thì thuật toán này lại kém nhất trong 4 thuật toán so sánh. Thuật toán DE có chi phí xếp hạng 2 nhưng tỉ lệ thành công lại kém nhất, trong khi thuật toán BA có chi phí xếp hạng 3 nhưng tỉ lệ thành công lại được xếp hạng 2. Có thể coi như thuật toán DE và BA cho kết quả gần tương đương nhau, nhưng thuật toán DE cho kết quả chi phí nhỏ hơn nên sẽ có lợi thế hơn thuật toán BA.

**Bảng 3.** Kết quả tính toán cho hệ thống IEEE 118-bus

Thuật toán	Chi phí thấp nhất [\$]	Chi phí bình quân [\$]	Chi phí cao nhất [\$]	Độ lệch chuẩn [\$]	Tỉ lệ thành công [%]
PSO	2.928.368 [4]	3.198.327	3.751.568	212.932	76,92 [1]
DE	2.803.582 [2]	3.026.422	3.533.879	178.902,7	61,73 [4]
BA	2.854.678 [3]	3.070.512	3.539.901	137.070,4	72,46 [2]
CSA	2.787.516 [1]	3.025.943	3.630.107	192.463,9	63,29 [3]

## 5. Kết luận

Bài báo này cho thấy tiềm năng của các giải thuật tìm kiếm Metaheuristic để phân bố công suất tác dụng cho hệ thống phát điện kết hợp sử dụng nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện. Bốn thuật toán phổ biến đã được xem xét và cho thấy các kết quả khác nhau. Kết quả cho thấy thuật toán CSA là phương pháp tốt nhất trong các trường hợp kiểm chứng, trong khi đó thuật toán BA và PSO lần lượt kém hiệu quả nhất đối với lưới IEEE 30-bus và lưới 118-bus. Đối với lưới 30-bus thì thuật toán PSO cho tỉ lệ thành công thấp nhất trong 4 thuật toán, tuy nhiên nếu xét về tính kinh tế thông qua chi phí thì thuật toán này tốt hơn so với các thuật toán DE và BA. Đối với lưới 118-bus thì có thể coi như giải thuật tiến hóa vi phân và đàn dơi cho thấy hết quả không chênh lệch nhau, nhưng kết quả của giải thuật tiến hóa vi phân đưa ra chi phí nhỏ hơn nên sẽ có lợi thế hơn giải thuật đàn dơi. Bốn thuật toán được khảo sát trong bài báo này đã chứng tỏ được tính hiệu quả trong các tính toán về tối ưu cả về kỹ thuật và kinh tế của hệ thống kết hợp thủy điện và nhiệt điện, đóng góp làm nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống phát điện kết hợp ở Việt Nam.

## Lời cảm ơn

Bài báo này là sản phẩm của đề tài Cấp Bộ mã số B2020-SPK-02 dưới sự tài trợ của Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam. Xin cảm ơn Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã chủ trì và hỗ trợ cho đề tài này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Basu, "Multi-area dynamic economic emission dispatch of hydro-wind-thermal power system", *Renewable Energy Focus*, Vol. 28, pp. 11-35, March 2019. DOI: 10.1016/j.ref.2018.09.007
- [2] B. Ming, P. Liu, L. Cheng, Y. Zhou, and X. Wang, "Optimal daily generation scheduling of large hydro-photovoltaic hybrid power plants", *Energy Conversion and Management*, Vol. 171, pp. 528-540, September 2018. DOI: 10.1016/j.enconman.2018.06.001
- [3] D. Dhua, S. Huang, and Q. Wu, "Optimal Power Flow Modelling and Analysis of Hybrid AC-DC Grids with Offshore Wind Power Plant", *Energy Procedia*, Vol. 141, pp. 572-579, December 2017. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.11.076
- [4] T. Dey, "Economic load dispatch for multi-generator systems with units having nonlinear and discontinuous cost curves using gravity search algorithm", *International Journal of Applied Power Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 166-174, December 2014. DOI: 10.11591/ijape.v3.i3.pp166-174
- [5] A. H. Fathima, and K. Palanisamy, "Optimization in microgrids with hybrid energy systems – A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, Pages 431-446, May 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2015.01.059
- [6] K. Dasgupta, P. KumarRoy, and V. Mukherjee, "Power flow based hydro-thermal-wind scheduling of hybrid power system using sine cosine algorithm", *Electric Power Systems Research*, Vol. 178, 106018, January 2020. DOI: 10.1016/j.epr.2019.106018
- [7] S. Lia, W. Gong, C. Hua, X. Yan, L. Wang, and Q. Gu, "Adaptive constraint differential evolution for optimal power flow", *Energy*, Vol. 235, 121362, November 2021. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121362
- [8] Tehzeeb-ul-Hassan, T. Alquthami, S. E. Butt, M. F. Tahir, and K. Mehmood, "Short-term optimal scheduling of hydro-thermal power plants using artificial bee colony algorithm", *Energy Reports*, Vol. 6, pp. 984-992, November 2020. DOI: 10.1016/j.egypr.2020.04.003



**Nguyen Trung Thang** received his M.Eng. and Ph.D. degree in electrical engineering from Ho Chi Minh City University of Technology and Education (HCMUTE), Vietnam, in 2010 and 2018 respectively. Currently, he is a research and head of power system optimization research group at Faculty Electrical and Electronics Engineering, Ton Duc Thang University. He has published over seventy papers including higher than forty ISI papers. His research fields are power system optimization, optimization algorithms, and renewable energies.



**Nguyen Ngoc Thiem** received the B.Eng. degree in electrical engineering from the Ho Chi Minh City University of Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam, in 2000 and the M.Eng. degree in electrical engineering from the Ho Chi Minh City University of Engineering and Technology, Ho Chi Minh City, Vietnam, in 2015. He is currently working as a Lecturer in Faculty of Electrical Engineering Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam. His research interest includes the thermal power plants, renewable energy, electricity transmission, and power system stability.



**Le Chi Kien** received the B.Eng. degree in electrical engineering from Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Ho Chi Minh City, Vietnam, in 1997, the M.Eng. degree in electrical engineering and the Ph.D. degree in energy-environment science from Nagaoka University of Technology, Nagaoka City, Japan, in 2002 and 2005 respectively. From 2005 he has worked at Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam and published over 30 journal papers. He is presently an associate professor in the Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam. His research interest includes magnetohydrodynamics, power generation system, power system optimization, optimization algorithms, and renewable energies.