

## TỔ HỢP TỔ MÁY TRONG ĐIỀU ĐỘ KINH TẾ HỆ THỐNG ĐIỆN

**Trần Hoàng Hiệp, Lê Xuân Sanh\***

*Trường Đại học Điện lực*

### TÓM TẮT

Vấn đề tổ hợp tổ máy phát (Unit commitment- UC) là cần xác định kế hoạch sắp xếp các tổ máy với chi phí vận hành thấp trong khi phải thỏa mãn một số ràng buộc về cân bằng nhu cầu phụ tải, dự phòng và các điều kiện khác. Trong hệ thống điện, thường có nhiều loại nhà máy điện khác nhau, tuy nhiên vấn đề UC được đề cập chỉ khảo sát đơn thuần các tổ máy nhiệt điện. Bài báo đề xuất mô hình UC cho các tổ máy nhiệt điện và đồng thời áp dụng công cụ BARON Solver của phần mềm GAMS để giải bài toán. Các kết quả tính toán cho HTĐ gồm 10 tổ máy nhiệt điện với chu kỳ điều độ 24 giờ, đồng thời so sánh với các phương pháp khác như: GA (Genetic Algorithm), MA (Memetic Algorithm), EP (Evolution Programming) đã minh chứng tính hiệu quả của phương pháp tính toán và tính đúng đắn của mô hình.

**Từ khóa:** *điều độ kinh tế Hệ thống điện; điều độ phát điện; phần mềm GAMS; quy hoạch hỗn hợp số nguyên; tổ hợp tổ máy phát*

*Ngày nhận bài: 04/6/2019; Ngày hoàn thiện: 08/8/2019; Ngày đăng: 12/8/2019*

## UNIT COMMITMENT IN ECONOMIC DISPATCH ELECTRIC POWER SYSTEM

**Tran Hoang Hiep, Le Xuan Sanh\***

*Electric Power University*

### ABSTRACT

The problem of unit commitment (UC) is how to determine the optimal plan of generation unit in order to minimize cost and meet several constraints such as power balance, power reservation and other operating conditions. In a power system, there are normally many types of power plant. However, the problem of UC on this paper only consider thermal units. This paper proposes a model of UC problem for thermal units and apply BARON Solver for solving such problem. Calculating results of a power system with 10 thermal units during 24 hours of dispatching, and comparison to other method such as GA (Genetic Algorithm), MA (Memetic Algorithm), EP (Evolution Programming) have demonstrated the effectiveness and correctness of the model and method of calculating.

**Keywords:** *Unit commitment (UC), generation scheduling, economic dispatch, mix-integer nonlinear programming (MINLP), GAMS*

*Received: 04/6/2019; Revised: 08/8/2019; Published: 12/8/2019*

\* Corresponding author. Email: [sanhlx@epu.edu.vn](mailto:sanhlx@epu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Bên cạnh tốc độ phát triển nhanh của nền kinh tế quốc dân và sự gia tăng không ngừng của phụ tải, đòi hỏi số lượng các tổ máy phát cũng phải gia tăng, đưa vấn đề tổ hợp tổ máy (UC) đến thách thức to lớn. Thông thường vấn đề UC thỏa mãn các ràng buộc, như phụ tải hệ thống, công suất dự phòng, cực tiểu thời gian khởi động và dừng máy để xác định thời đoạn điều độ đưa các tổ máy vào vận hành và công suất phát của chúng, sao cho tổng chi phí phát điện cực tiểu hay tối đa hóa lợi ích trong cả chu kỳ điều độ. Đối tượng nghiên cứu của UC không đồng nhất, bao gồm: tổ hợp tổ máy nhiệt điện (thermal unit commitment, UC truyền thống); tổ hợp tổ máy thủy điện (hydro unit commitment, HUC); tổ hợp tổ máy thủy - nhiệt (hydrothermal unit commitment, HTUC). Trong đó HUC còn được gọi là tối ưu điều độ thủy điện, HTUC cũng được gọi là liên hợp điều độ thủy nhiệt (hydrothermal coordination, HTC).

Trong các hệ thống điện (HTĐ) hiện nay gồm có nhiều loại tổ máy phát điện khác nhau, phụ thuộc vào loại nhiên liệu sơ cấp như: thủy điện, than đá, dầu mỏ, khí thiên nhiên, năng lượng mặt trời, năng lượng hạt nhân. Các tổ máy phát khác nhau này tạo nên sự không đồng nhất về chi phí phát điện, đặc tính kỹ thuật và điều kiện ràng buộc vận hành.

Nguồn phát của HTĐ Việt Nam hiện nay thì nhiệt điện và thủy điện đóng vai trò chủ đạo, tuy nhiên chi phí phát điện của nhiệt điện cao hơn nhiều so với nguồn là thủy điện, có ảnh hưởng chính đến tổng chi phí phát điện toàn hệ thống. Vận hành tối ưu các tổ máy phát nhiệt điện là bài toán cực kỳ quan trọng, chỉ ra kế hoạch sắp xếp vận hành các tổ máy với chi phí thấp nhất nhằm tiết kiệm nhiên liệu, làm giảm bớt lượng khí thải gây ảnh hưởng đến môi trường, trong khi vẫn phải thỏa mãn các ràng buộc về cân bằng công suất, dự trữ công suất phát và các điều kiện ràng buộc kỹ thuật khác [1]. Việc xác định được kế hoạch khởi

động, dừng và đưa vào vận hành các tổ máy phát một cách tối ưu sẽ tiết kiệm chi phí phát điện, mang lại lợi ích đáng kể cho ngành điện. Vì vậy, vấn đề tổ hợp tổ máy là vấn đề nóng để nghiên cứu, đồng thời cũng là nhiệm vụ quan trọng trong vận hành kinh tế hệ thống điện.

Bài toán phối hợp tối ưu tổ máy phát nhiệt điện đã được nghiên cứu và đưa ra nhiều phương pháp trong những thập niên gần đây. Theo [2], ứng dụng mạng nơron với ưu điểm là đơn giản thì lại gặp những khó khăn trong xử lý một số ràng buộc bất đẳng thức; thuật toán di truyền (GA) [3,4] phụ thuộc nhiều vào hàm tương thích, nhạy với tỉ lệ lai và đột biến; quy hoạch tiến hóa (EP) [5,6,7] kết quả chỉ gần tối ưu ở những bài toán phức tạp và có số vòng lặp lớn; tối ưu hóa bầy đàn (PSO, Particle Swarm Optimization) [8,9] cho ra lời giải tối ưu trong khoảng thời gian tính toán ngắn, nhưng lại nhạy với việc thay đổi các thông số, v.v. Các phương pháp đều có những ưu và nhược điểm riêng, phương pháp cho kết quả tối ưu thì quá trình thành lập bài toán khó khăn, số vòng lặp hội tụ lớn. Phương pháp giải đơn giản thì cho kết quả không như mong đợi.

Bài báo đề xuất mô hình tổ hợp tổ máy phát nhiệt điện cải tiến, khảo sát thêm chi phí khởi động tổ máy, ràng buộc dốc công suất phát, ràng buộc thời gian khởi động và dừng tổ máy trên cơ sở mô hình quy hoạch hỗn hợp số nguyên (Mix-Integer Nonlinear Programming - MINLP). Đồng thời thông qua hệ thống nhiệt điện gồm 10 tổ máy với chu kỳ điều độ là 24h để tính toán, kết quả cho thấy tính hội tụ và độ tin cậy của mô hình so với một số phương pháp khác sử dụng thuật toán trí tuệ nhân tạo hiện đại (GA, MA, EP).

## 2. Mô hình toán học của vấn đề tổ hợp tổ máy (UC)

### 2.1. Hàm số mục tiêu của UC [10]

Thông thường, chi phí sản xuất và vận hành của nhiệt điện bao gồm chi phí nhiên liệu, chi phí vận hành, khấu hao thiết bị, chi phí trả

lượng, v.v. Trong đó, chi phí nhiên liệu là ảnh hưởng nhất đến việc sản xuất điện năng. Do đó hàm số mục tiêu thông thường được chọn là cực tiểu chi phí nhiên liệu của HTĐ khảo sát. Vì tổ máy sau khi dừng máy khởi động lại phải tiêu hao một lượng nhiên liệu nhất định, nên cũng phải khảo sát thêm chi phí khởi động, dừng máy. Do đó tổng chi phí phát điện cũng bao gồm cả chi phí khởi động, dừng máy [11].

Hàm số mục tiêu thường dùng được biểu thị như sau:

$$\min F_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N [u_{i,t} f(P_{i,t}) + u_{i,t}(1-u_{i,t-1})C_{i,t}] \quad (1)$$

trong đó:

- $F_{\text{cost}}$  là tổng chi phí phát điện Hệ thống (\$);
- $t$  là phân đoạn điều độ (h);
- $T$  là chu kì điều độ (h);
- $N$  là số tổ máy nhiệt điện;
- $u_{i,t}$  là biến số chỉ trạng thái của tổ máy phát  $i$  tại thời đoạn  $t$ ;  $u_{i,t} = 1$  hoặc  $0$  tương ứng khi tổ máy đang vận hành hoặc dừng máy;
- $P_{i,t}$  là công suất phát của tổ máy  $i$  tại giai đoạn  $t$ ;
- $f(P_{i,t})$  là hàm số chi phí phát điện của tổ máy  $i$  tại thời đoạn  $t$ , nó có quan hệ bậc 2 với công suất phát, tức là:

$$f(P_{i,t}) = a_i + b_i P_{i,t} + c_i P_{i,t}^2 \quad (2)$$

với:  $a_i$  (\$/h),  $b_i$  (\$/MWh),  $c_i$  (\$/MW<sup>2</sup>h) là các hệ số đặc trưng cho hàm chi phí phát điện;

-  $C_{i,t}$  là chi phí khởi động tổ của máy  $i$  tại thời đoạn  $t$ :

$$C_{i,t} = \begin{cases} C_i^{\text{hot}}, T_i^{\text{off}} \leq T_{i,t}^{\text{off}} \leq T_i^{\text{off}} + T_i^{\text{cold}} \\ C_i^{\text{cold}}, T_i^{\text{off}} > T_i^{\text{off}} + T_i^{\text{cold}} \end{cases} \quad (3)$$

trong đó:

- $C_i^{\text{hot}}$  là chi phí khởi động nóng;
- $C_i^{\text{cold}}$  là chi phí khởi động lạnh;
- $T_i^{\text{cold}}$  là thời gian khởi động khi tổ máy lạnh (nguội);
- $T_i^{\text{off}}$  là cực tiểu thời gian cho phép tổ máy dừng vận hành, nói cách khác nó chính là thời

gian tối thiểu tính từ khi dừng máy mới có khả năng đưa vào vận hành lại, đặc trưng cho yêu cầu kĩ thuật của tổ máy phát;

-  $T_{i,t}^{\text{off}}$  là số thời đoạn đã liên tục dừng của tổ máy  $i$  tính đến thời đoạn  $t$ .

## 2.2. Điều kiện ràng buộc của UC

a) Ràng buộc cân bằng công suất phát (bỏ qua tổn thất trong HTĐ) [11].

$$\sum_{i=1}^N u_{i,t} P_{i,t} - P_{D,t} = 0 \quad (4)$$

trong đó:  $P_{D,t}$  là công suất phụ tải yêu cầu tại thời đoạn điều độ  $t$ .

b) Ràng buộc dự phòng công suất hệ thống [11].

$$\sum_{i=1}^N u_{i,t} \bar{P}_i \geq P_{D,t} + R_t \quad (5)$$

trong đó:

- $R_t$  là công suất dự phòng hệ thống yêu cầu tại thời đoạn điều độ  $t$ ;
  - $\bar{P}_i$  công suất phát cực đại của tổ máy  $i$ .
- c) Ràng buộc công suất phát tổ máy [12].

$$u_{i,t} P_{i-1} \leq P_{i,t} \leq u_{i,t} \bar{P}_i \quad (6)$$

trong đó:  $P_{i-1}$ ,  $\bar{P}_i$  là công suất phát cực tiểu và cực đại của tổ máy  $i$ .

Nếu  $u_{i,t} = 0$  thì, ta có:  $0 \leq P_{i,t} \leq 0$ , lấy công suất phát tổ máy là  $0$ , tức  $P_{i,t} = 0$ .

Nếu  $u_{i,t} = 1$  thì, ta có:  $P_{i-1} \leq P_{i,t} \leq \bar{P}_i$ .

d) Ràng buộc trạng thái tổ máy phát [13].

$u_{i,t}$  là biến số mô tả trạng thái vận hành của tổ máy, thực chất  $u_{i,t}$  là biến nhị phân, tức là:

$$u_{i,t} \in \{0,1\} \quad (7)$$

e) Ràng buộc dốc của công suất phát tổ máy

Do đặc trưng bản thân tổ máy phát nhiệt điện nên trong khoảng thời gian ngắn nó không thể đáp ứng tốc độ tăng hoặc giảm công suất phát mà phải thỏa mãn yêu cầu dốc lên (đặc trưng cho giới hạn tốc độ tăng công suất) và dốc xuống (đặc trưng cho giới hạn tốc độ giảm công suất), như sau:

$$\begin{cases} P_{i,t-1} - P_{i,t} \leq P_i^{down} \\ P_{i,t} - P_{i,t-1} \leq P_i^{up} \end{cases} \quad (8)$$

trong đó:  $P_i^{up}$ ,  $P_i^{down}$  lần lượt là giới hạn tốc độ tăng và giảm công suất phát tổ máy  $i$ .

f) *Ràng buộc cực tiểu thời gian vận hành và dừng tổ máy.*

Tổ máy phát nhiệt điện không thể thường xuyên khởi động và dừng, phải thỏa mãn điều kiện cực tiểu về thời gian khởi động và dừng máy:

$$\begin{cases} (u_{i,t-1} - u_{i,t})(T_{i,t-1}^{on} - T_i^{on}) \geq 0 \\ (u_{i,t} - u_{i,t-1})(T_{i,t-1}^{off} - T_i^{off}) \geq 0 \end{cases} \quad (9)$$

trong đó:  $T_i^{on}$ ,  $T_i^{off}$  phân biệt là thời gian cực tiểu vận hành và dừng máy.

Nếu chu kì điều độ là  $T$  và tại thời đoạn  $t$  tổ máy  $i$  đưa vào vận hành thì tính từ thời đoạn này trở đi nó phải liên tiếp vận hành thêm một khoảng thời gian tối thiểu là  $T_i^{on}$  nữa; khi  $(T-t) < T_i^{on}$  thì ngoài số thời đoạn  $(T-t)$ , tổ máy vẫn phải trong trạng thái vận hành. Nếu tại thời đoạn  $t$  tổ máy dừng hoạt động, thì từ thời đoạn này trở đi nó phải dừng liên tiếp thêm một khoảng thời gian tối thiểu nữa là  $T_i^{off}$ ; khi  $(T-t) < T_i^{off}$  thì ngoài số thời đoạn  $(T-t)$ , tổ máy vẫn phải trong trạng thái dừng.

Điều kiện ràng buộc cực tiểu thời gian vận hành và dừng tổ máy của vấn đề UC là một điều kiện cực kì phức tạp, mang tính phi tuyến và giữa các thời đoạn tồn tại tính ngẫu hợp mạnh mẽ [14]. Trong thực tế tính toán, điều kiện ràng buộc này, có bản chất là bất đẳng thức phi tuyến phức tạp sẽ được chuyển hóa thành bất đẳng thức ràng buộc đơn giản, các khoảng thời đoạn có quan hệ mật thiết sẽ được phân cắt thành các thời đoạn độc lập, mỗi thời đoạn được tính toán một cách độc lập, biến quá trình tính toán trở nên dễ dàng hơn.

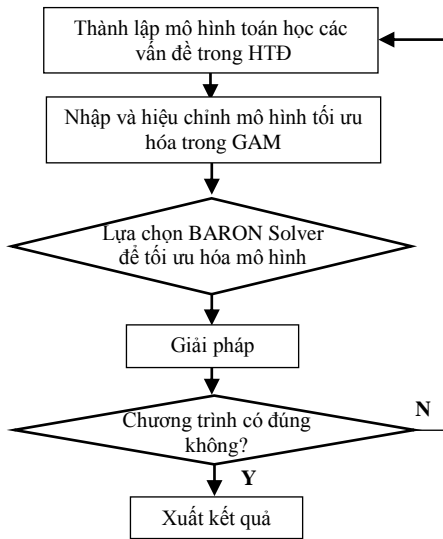
### 2.3. GAMS (General Algebraic Modeling System) giải bài toán UC

Có thể tổng quát hóa như sau: mô hình UC là một mô hình của bài toán tối ưu nhiều ràng buộc, mang tính phi tuyến cực mạnh và chứa

biến số nguyên (biến trạng thái  $u_{i,t}$ ) nên nó thuộc về mô hình quy hoạch hỗn hợp số nguyên MINLP, việc giải quyết bài toán này rất khó khăn và được giải bằng các phương pháp toán học kinh điển cũng như các thuật toán trí tuệ nhân tạo hiện đại. Tuy nhiên tốc độ giải bài toán phụ thuộc vào phương pháp tuyến tính hóa các thành phần phi tuyến. Vấn đề này có thể được giải quyết bằng việc cải tiến tính toán mô hình MINLP.

GAMS là một hệ thống mô hình toán học cao cấp [15], lần đầu tiên được ngân hàng thế giới do Brooke, Kendrick, Meeraus nghiên cứu và phát triển năm 1992, có thể dùng để giải quyết các bài toán thuộc về vấn đề: quy hoạch tuyến tính (LP, Linear Programming), quy hoạch phi tuyến (NLP, Non-Linear Programming), quy hoạch hỗn hợp số nguyên (MIP, Mix Integer Programming), quy hoạch hỗn hợp số nguyên phi tuyến (MINLP), v.v. Giao diện nền tảng GAMS thân thiện, linh hoạt, chỉ cần người dùng có kỹ năng xây dựng mô hình toán học tốt, chuẩn xác theo quy phạm, có thể nhanh chóng và dễ dàng tạo và sửa đổi các mô hình trong nền tảng giao diện, và cũng có thể chọn bất kỳ công cụ giải nào để có thể thực hiện nhiệm vụ giải quyết bài toán một cách dễ dàng. GAMS cho phép người dùng tập trung nhiều hơn vào quá trình mô hình hóa toán học, điều này có tác dụng lớn đến việc nâng cao hiệu quả tính toán của người dùng. Nhìn chung, so với các công cụ mô hình hóa khác, chẳng hạn như LINGO (Linear, Iterative and Global Optimizer), LINDO (Linear, Iterative and Discrete Optimizer) và AMPL (A Mathematical Programming Language), quá trình tính toán GAMS đòi hỏi ít thời gian hơn và có kết quả tính toán tốt, được đánh giá cao.

GAMS có rất nhiều công cụ giải, trong bài báo này, tác giả sử dụng công cụ GAMS\BARON (Branch And Reduce Optimization Navigator) để giải quyết bài toán tối ưu tổ hợp tổ máy phát nhiệt điện với mô hình toán học ở trên [15]. Quá trình sử dụng GAMS\BARON để giải bài toán UC được mô tả như hình 1.



**Hình 1.** Quá trình xử lý và viết chương trình

**3. Tính toán và phân tích kết quả**

Lựa chọn hệ thống nhiệt điện gồm 10 tổ máy phát, lấy chu kỳ điều độ  $T = 24(h)$ , thời đoạn điều độ là  $1(h)$ , nguồn số liệu chi tiết tham khảo [16]. Tham số tính toán tổ máy nhiệt điện được trình bày trong bảng 1-2, thông số phụ tải yêu cầu trong bảng 3.

**Bảng 1.** Thông số giới hạn công suất và các hệ số hàm chi phí nhiệt điện

N <sup>o</sup>	a	b	c	P <sup>min</sup>	P <sup>max</sup>	P <sup>up</sup> / P <sup>down</sup>
	(\$/h)	(\$/MWh)	(\$/MW <sup>2</sup> h)	(MW)	(MW)	(MW)
1	1000	16,19	0,00048	150	455	225
2	970	17,26	0,00031	150	455	225
3	700	16,60	0,00200	20	130	50
4	680	16,50	0,00211	20	130	50
5	450	19,70	0,00398	25	162	60
6	370	22,26	0,00712	20	80	60
7	480	27,74	0,00079	25	85	60
8	660	25,92	0,00413	10	55	135
9	665	27,27	0,00222	10	55	135
10	670	27,29	0,00173	10	55	135

**Bảng 2.** Chi phí khởi động và các tham số tính toán ràng buộc khởi động và dừng tổ máy

N <sup>o</sup>	T <sup>0</sup> (h)	T <sup>on</sup> (h)	T <sup>off</sup> (h)	T <sup>cold</sup> (h)	C	
					C <sup>hot</sup> (\$)	C <sup>cold</sup> (\$)
1	8	8	8	5	4500	9000
2	8	8	8	5	5000	10000
3	-5	5	5	4	550	1100
4	-5	5	5	4	560	1120
5	-6	6	6	4	900	1800
6	-3	3	6	2	170	340
7	-1	3	3	2	260	520
8	-1	1	3	0	30	60
9	-1	1	1	0	30	60
10	-1	1	1	0	30	60

T<sup>0</sup> là số thời đoạn liên tục dừng máy (trị số âm) hay vận hành (trị số dương) của tổ máy phát tính đến khi bắt đầu chu kỳ điều độ T.

**Bảng 3.** Thông số phụ tải yêu cầu hệ thống

t(h)	1	2	3	4	5	6	7	8
tải (MW)	700	750	850	950	1000	1100	1150	1200
t(h)	9	10	11	12	13	14	15	16
tải (MW)	1300	1400	1450	1500	1400	1300	1200	1050
t(h)	17	18	19	20	21	22	23	24
tải (MW)	1000	1200	1400	1300	1300	1100	900	800

Trong quá trình tính toán lấy dự phòng công suất phát bằng 10% công suất phụ tải yêu cầu.

Ứng dụng công cụ GAMS\BARON để giải quyết bài toán trên, có được kết quả tính toán cụ thể như bảng 4,5,6,7.

**Bảng 4.** Công suất phát mỗi tổ máy từng thời đoạn điều độ (1h)

N <sup>o</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8
1	455	455	455	455	455	455	455	455
2	245	295	370	455	390	360	410	455
3						130	130	130
4					130	130	130	130
5			25	40	25	25	25	30
6								
7								
8								
9								
10								
N <sup>o</sup>	9	10	11	12	13	14	15	16
1	455	455	455	455	455	455	455	455
2	455	455	455	455	455	455	455	310
3	130	130	130	130	130	130	130	130
4	130	130	130	130	130	130	130	130
5	85	162	162	162	162	85	30	25
6	20	33	73	80	33	20		
7	25	25	25	25	25	25		
8		10	10	43	10			
9			10	10				
10				10				
N <sup>o</sup>	17	18	19	20	21	22	23	24
1	455	455	455	455	455	455	455	455
2	260	360	455	455	455	455	425	345
3	130	130	130	130	130			
4	130	130	130	130	130			
5	25	25	30	162	85	145		
6				33	20	20	20	
7				25	25	25		
8				10				
9								
10								

Chú thích: ô không có giá trị mặc định nhận giá trị là 0

**Bảng 5.** Trạng thái tối ưu của các tổ máy

N <sup>0</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3						1	1	1
4					1	1	1	1
5			1	1	1	1	1	1
6								
7								
8								
9								
10								
N <sup>0</sup>	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1		
7	1	1	1	1	1	1		
8		1	1	1	1			
9			1	1				
10				1				
N <sup>0</sup>	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1			
4	1	1	1	1	1			
5	1	1	1	1	1	1		
6				1	1	1	1	
7				1	1	1		
8				1				
9								
10								

Chú thích: ô không có giá trị mặc định nhận giá trị là 0

**Bảng 6.** Chi phí khởi động tổ máy phát

N <sup>0</sup>	3	5	6	9	10	11	12	20
3			1100					
4		560						
5	900							
6				340				170
7				520				260
8					60			60
9						60		
10								60

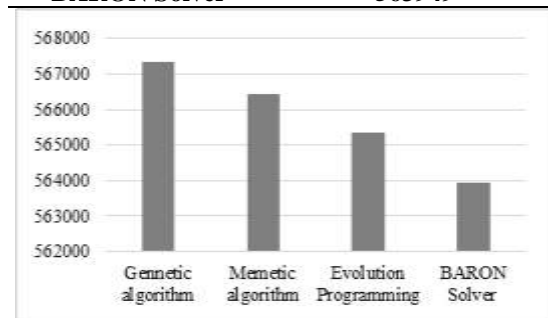
Chú thích: ô không có giá trị mặc định nhận giá trị là 0

Từ Bảng 4 ta thấy, tổ máy 1 đóng góp công suất phát lớn nhất và nó cũng là tổ máy phát công suất ổn định nhất, lí giải điều này là do nó có khả năng phát lớn nhất, đồng thời có mức tiêu hao nhiên liệu nhỏ nhất (tham khảo các hệ số Bảng 1), trong khi đó tổ máy số 10 có đóng góp công suất phát hệ thống nhỏ nhất, nó chỉ tham gia phát khi hệ thống cần

huy động công suất phát lớn nhất (tại thời đoạn t = 12h, khi phụ tải cực đại). Điều này hoàn toàn phù hợp với thực tế điều độ kinh tế HTĐ, do tổ máy số 10 có công suất định mức thấp đồng thời có hàm chi phí tiêu hao nhiên liệu lớn.

**Bảng 7.** So sánh kết quả tính toán với các phương pháp khác

Phương pháp tính	Kết quả tính toán(\$)		
	Tốt	Trung bình	Kém
Gennetic algorithm [9]	565866	567329	571336
Memetic algorithm [11]	565827	566453	566861
Evolution Programming [12]	564551	565352	566231
<b>BARON Solver</b>	<b>563949</b>		



**Hình 2.** So sánh kết quả của các phương pháp

Bảng 7 [9,11,12], cho kết quả của phương pháp, chứng minh rằng bài báo sử dụng công cụ GAMS\BARON để tính có kết quả hội tụ và nghiệm tối ưu hơn một số phương pháp khác khi cùng giải mô hình đề xuất ở trên (Hình 2).

#### 4. Kết luận

Bài báo đã đề xuất mô hình toán học đầy đủ của vấn đề tổ hợp tổ máy nhiệt điện trong Hệ thống điện, đồng thời vận dụng công cụ giải BARON Solver của phần mềm GAMS tiến hành giải quyết, so sánh với kết quả tính toán của các phương pháp khác như: GA (Gennetic Algorithm), MA (Memetic Algorithm), EP (Evolution Programming) đã minh chứng việc dễ dàng thành lập bài toán, hiệu quả của phương pháp và tính thực tiễn của mô hình. Tuy nhiên, để tăng tốc độ giải bài toán và tính toán cho hệ thống lớn có thể giải quyết bằng việc cải tiến tính toán mô

hình MINLP (tuyến tính hàm mục tiêu, ràng buộc thời gian khởi động và dừng máy, phán đoán thời điểm tổ máy khởi động nóng hay lạnh, v.v.), vấn đề này rất phức tạp sẽ được đề cập trong các nghiên cứu sau.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lưu Hoàng Viên, *Phối hợp vận hành các tổ máy phát nhiệt điện trong thị trường điện*, Luận văn thạc sĩ, đại học sư phạm kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh, 2014.
- [2]. Park J. H., Kim Y. S., Eom I. K., and Lee K. Y., "Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hopfield neural network", *IEEE Trans. Power Systems*, 8(3), pp. 1030-1038, 1993.
- [3]. Won J. R. and Park Y. M., "Economic dispatch solutions with piecewise quadratic cost functions using improved genetic algorithm", *Electrical Power and Energy Systems*, 25, pp. 355-361, 2003.
- [4]. Baskar S., Subbaraj P., and Rao M. V. C., "Hybrid real coded genetic algorithm solution to economic dispatch problem", *Computers and Electrical Engineering*, 29, pp. 407-419, 2003.
- [5]. Jayabarathi T., Jayaprakash K., Jeyakumar D. N., and Raghunathan T., "Evolutionary programming techniques for different kinds of economic dispatch problems", *Electric Power Systems Research*, 73, pp. 169-176, 2005.
- [6]. Park Y. M., Wong J. R., and Park J. B., "A new approach to economic load dispatch based on improved evolutionary programming", *Eng. Intell. Syst. Elect. Eng Commun*, 6(2), pp. 103-110, 1998.
- [7]. WANG Zhe, YU Yi-xin, ZHANG Hong-peng, "Social evolutionnary programming based unit commitment", *Power System Technology*, 24(4), pp. 12-17, 2004.
- [8]. Park J. B., Lee K. S., and Lee K. W., "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost function", *IEEE Trans. Power Systems*, 12(1), pp. 34-42, 2005.
- [9]. D. N. Jeyakumar, T. Jayabarathi, T. Raghunathan, "Particle swarm optimization for various types of economic dispatch problems", *Electric Power Systems*, 28, pp. 36-42, 2006.
- [10]. Jizhong Zhu, *Optimization of power system operation*, John Wiley&Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, pp. 85-90, 2009.
- [11]. J. Valenzuela, A. E. Smith, "A seeded memetic algorithm for large unit commitment problem", *Journal of Heuristic*, 8, pp. 173-195, 2002.
- [12]. K. A. Juste, H. Kita, E. Tanaka, J. Hasegawa, "An evolutionary programming solution to the unit commitment problem", *IEEE Transactions on Power System*, 14(4), pp. 1452-1459, 1999.
- [13]. M. Carrion and J.M. Arroyo, "A computationally efficient Mix- Integer linear formulation for the thermal unit commitment problem", *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(3), pp. 13571-1378, 2006.
- [14]. A. Frangioni, C. Gentile, and F. Lacalandra, "Tighter approximated milp formulations for unit commitment problems. Power Systems", *IEEE Transactions on*, Vol. 24, No. 1, pp. 105 -113, 2009.
- [15]. Richard E. Rosenthal, *GAMS - A User's Guide*, GAMS Development Corporation, Washington, DC, USA, 9.2014.
- [16]. A. J. M. and A. J. Conejo, "Modelling of start-up and shut-down power trajectories of thermal units", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 19, pp. 1562-1568, 2004.

