

NGHIÊN CỨU MÔ HÌNH TỐI ƯU ĐIỀU ĐỘ TIẾT KIEM NĂNG LƯỢNG VÀ GIẢM PHÁT THẢI CỦA HỆ THỐNG THỦY – NHIỆT ĐIỆN

ON MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION GENERATION SCHEDULING MODEL FOR HYDRO-THERMAL POWER SYSTEMS WITH ENERGY SAVING AND EMISSION REDUCTION

Trần Hoàng Hiệp

Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 06/09/2021, Ngày chấp nhận đăng: 14/9/2021, Phản biện: ThS Nguyễn Thị Như Vân

Tóm tắt:

Trong quá trình thực hiện các chính sách quốc gia về tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải, việc tích cực nghiên cứu các phương thức tối ưu hóa điều độ phát điện tiết kiệm luôn nhận được sự quan tâm sâu rộng của ngành điện. Việc tối ưu hóa điều độ phát điện của Hệ thống thủy-nhiệt điện bao gồm thủy điện bậc thang bắt buộc phải khảo sát yếu tố ngẫu hợp thủy lực, thời gian trễ dòng chảy giữa các thủy điện thượng lưu và hạ lưu và khả năng bỏ nước (nước tràn). Trên cơ sở xem xét vấn đề bảo vệ môi trường, tiết kiệm năng lượng và đặc điểm vận hành của nhà máy thủy điện bậc thang, bài báo đề xuất mô hình điều độ tối ưu đa mục tiêu cho Hệ thống thủy-nhiệt điện dựa trên cực tiểu tổng chi phí vận hành của nhà máy nhiệt điện, lượng phát thải khí ô nhiễm và lượng nước tràn từ các nhà máy thủy điện. Phương pháp tính toán Heuristic dựa trên tác nhân Agent được sử dụng để giải quyết vấn đề. Các tính toán cho thấy mô hình có lợi cho việc tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải và bảo vệ môi trường, cải thiện việc sử dụng tài nguyên nước, cải thiện lợi ích vận hành toàn diện của Hệ thống điện và cung cấp các ý tưởng nghiên cứu mới để vận hành tối ưu điều độ ngắn hạn Hệ thống thủy-nhiệt điện.

Từ khóa:

Tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải, điều độ phát điện, Hệ thống thủy-nhiệt điện, thủy điện bậc thang, phương pháp Heuristic dựa trên tác nhân Agent.

Abstract:

To realize national programmes on efficiency energy and emission reduction, studies of generation dispatch optimization are increasingly paid attention by power industry and researchers. In case of multi-reservoir cascaded hydrothermal system, optimal scheduling problem has to take into account affected factors such as hydraulic coupling among hydropower plants, water time delays, overflow discharge capability, etc. In this paper, a multi-objective optimized scheduling model for hydro-thermal power system is proposed in the view of energy conservation and environment protection. The proposed model takes total operation costs of thermal power plants, contaminative gas emission and spilling water of hydropower plants as optimal objectives. To solve the problem, the heuristic agent method is applied, and simulation results show the optimal solution with various benefits of energy savings, emission reduction and environment protection, improved usage of water resources, improved comprehensive operation of power system, etc.

Keywords:

Energy-saving and emission-reduction, generation scheduling, hydro-thermal power systems, heuristic agent method.

1. GIỚI THIỆU

Vấn đề tối ưu liên hợp điều độ phát giữa hệ thống thủy-nhiệt điện xuất hiện đi kèm với cục diện của sự đồng thời cung cấp điện cho xã hội của hệ thống thủy và nhiệt điện. Học giả Pháp Ricard là một trong những học giả đầu tiên trên thế giới quan tâm đến vận hành kinh tế của hệ thống thủy-nhiệt điện. Trên cơ sở nghiên cứu về vấn đề này, lần đầu tiên vào năm 1940, ông đề xuất mô hình toán học chặt chẽ của vấn đề tối ưu liên hợp điều độ trong vận hành kinh tế hệ thống thủy điện và nhiệt điện, trở thành một mô tả khoa học đầu tiên về kinh tế hệ thống thủy-nhiệt điện trên thế giới. Kể từ đó, vấn đề tối ưu liên hợp điều độ giữa hệ thống điện thủy-nhiệt điện đã bắt đầu thu hút sự chú ý của thế giới, các phương trình tối ưu liên hợp cho thủy-nhiệt dựa trên toán học cổ điển đã được nghiên cứu rộng rãi. Cho đến nay, cùng với sự phát triển nhanh chóng của lý thuyết toán học hiện đại và sự xuất hiện của nhiều mô hình tối ưu hóa mới mà vấn đề này trở thành chủ đề nghiên cứu nóng của các học giả trong và ngoài nước. Từ các nghiên cứu, trong bối cảnh điều độ phát điện tiết kiệm, ngày càng có nhiều thảo luận và nghiên cứu được thực hiện từ các phương diện chính sách và chiến lược. Tuy nhiên, các nghiên cứu về điều độ phát điện thời gian thực và mô hình tối ưu điều độ thủy điện bậc thang còn rất ít và chưa chuyên sâu^[1-4].

Tối ưu điều độ hệ thống thủy-nhiệt khi xét đến thủy điện bậc thang là một vấn đề tối ưu đa mục tiêu phức tạp, nhiều hạng số, phi lồi, phi tuyến, nhiều thời đoạn và thời gian trễ.

Đối với lĩnh vực tối ưu hồ chứa, bên cạnh lý thuyết hệ thống và kỹ thuật máy tính không ngừng phát triển, các mô hình mới và phương pháp giải mới cũng không ngừng xuất hiện, phương pháp thường dùng gồm hai loại lớn. Một là phương pháp tối ưu truyền thống, bao gồm phương pháp quy hoạch tuyến tính, quy hoạch động, phương pháp phỏng đoán, phương pháp đẳng suất gia tăng, phương pháp nhân tử Lagrange, v.v. Phương pháp truyền thống đối với hàm số mục tiêu và nghiệm xuất phát có yêu cầu chặt chẽ, do đó trong xử lý bài toán tối ưu điều độ tiết kiệm hệ thống thủy-nhiệt điện dễ gặp phải nghiệm cục bộ. Hai là phương pháp hiện đại, bao gồm: phương pháp quy hoạch ngẫu nhiên, phương pháp nội điểm, phương pháp di truyền, phương pháp mô phỏng luyện kim, phương pháp mạng thần kinh nhân tạo, phương pháp quy hoạch mờ, v.v.

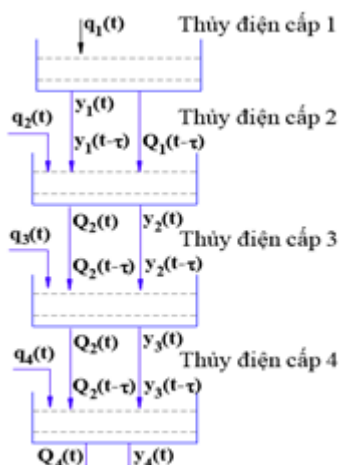
Thủy điện bậc thang trong tối ưu điều độ tiết kiệm hệ thống thủy-nhiệt điện thuộc về vấn đề tối ưu tổ hợp nhiều giai đoạn, phi tuyến, ràng buộc chặt chẽ. Ràng buộc này rất phức tạp, tồn tại đẳng thức và bất đẳng thức điều kiện ràng buộc. Vì vậy bài báo đề xuất một mô hình tối ưu điều độ phát điện tiết kiệm năng lượng với thời gian thực cho Hệ thống thủy-nhiệt điện, phù hợp với vận hành hệ thống điện và bảo vệ môi trường. Đồng thời áp dụng phương pháp tính toán Heuristic dựa trên tác nhân (Agent) để tính toán mô hình. Thông qua việc mô phỏng một hệ thống điện thủy điện-nhiệt điện bao gồm bốn thủy điện bậc thang và ba nhà máy nhiệt điện, các tính toán cho thấy mô hình

có lợi cho việc tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải và bảo vệ môi trường, cải thiện việc sử dụng tài nguyên nước và cung cấp các ý tưởng nghiên cứu mới cho vấn đề điều độ tối ưu ngắn hạn Hệ thống thủy-nhiệt điện.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC TỐI ƯU ĐIỀU ĐỘ HỆ THỐNG THỦY-NHIỆT ĐIỆN, XÉT ĐẾN THỦY ĐIỆN BẬC THANG

2.1. Đặc tính ngẫu hợp thủy lực của thủy điện bậc thang

Công suất phát mỗi cấp nhà máy thủy điện không chỉ phụ thuộc yếu tố bản thân dung tích hồ chứa, đặc tính máy phát, lượng nước tự nhiên đến mà còn có quan hệ mật thiết với lượng nước tràn và lưu lượng nước phát điện của thủy điện cấp trên. Cũng có thể nói, giữa các thủy điện bậc thang tồn tại đặc tính thủy lực ngẫu hợp về không gian và thời gian (Hình 1).



Hình 1. Liên hệ thủy lực thủy điện bậc thang

trong đó: $q_j(t)$ là nước tự nhiên đến hồ chứa; $Q_j(t)$ là lưu lượng nước phát điện; $y_j(t)$ là lượng nước tràn; τ là thời gian dòng chảy từ thủy điện cấp trên xuống cấp dưới, tức là

thời gian trễ dòng chảy.

2.2. Mô hình toán học

Hiện nay, nghiên cứu về tối ưu điều độ thời gian thực của Hệ thống thủy-nhiệt điện tồn tại vấn đề là chưa khảo sát đầy đủ đối với bảo vệ môi trường và hiệu quả sử dụng tài nguyên nước. Đặc biệt là vào mùa lũ khi phụ tải thấp đỉnh, các thủy điện vừa tham gia điều đỉnh vừa xả lũ, gây nên lượng mất mát điện năng lớn. Ngoài việc dựa theo kế hoạch phát điện ban đầu ra, còn phải căn cứ theo các mùa, theo các thời đoạn khác nhau và hiệu suất sử dụng nước của các nhà máy thủy điện để điều chỉnh thứ tự sắp xếp phát điện theo thời gian thực. Sử dụng hợp lý và nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên nước là những biện pháp quan trọng để hệ thống điện tiết kiệm tài nguyên năng lượng. Vấn đề điều độ tối ưu ngắn hạn Hệ thống thủy-nhiệt điện thực chất là làm thế nào để phân bổ phụ tải giữa nhà máy thủy điện và nhà máy nhiệt điện, liên quan đến việc sử dụng tài nguyên nước ra sao để đạt được sự phối hợp tối ưu giữa lợi ích kinh tế hệ thống điện và lợi ích xã hội. Vì vậy, trong nghiên cứu tối ưu điều ngắn hạn Hệ thống thủy-nhiệt, các yếu tố bảo vệ môi trường và sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước phải được xem xét nhằm đáp ứng vận hành an toàn của lưới điện đồng thời đạt được mục tiêu tiết kiệm năng lượng và giảm phát thải.

Xuất phát từ góc độ bảo vệ môi trường và sử dụng hợp lý nguồn tài nguyên nước, khảo sát toàn diện chi phí phát điện của nhiệt điện, yếu tố môi trường và ảnh hưởng của lượng nước tràn đến việc điều đỉnh nhà máy thủy điện, từ đó lấy tổng chi phí vận hành, lượng khí phát thải và lượng nước tràn làm mục tiêu tối ưu, đề xuất mô hình toán học

tối ưu điều độ ngắn hạn đa mục tiêu thỏa mãn lợi ích tổng thể vận hành hệ thống điện.

2.2.1. Hàm số mục tiêu

Căn cứ theo quy tắc tối ưu mô tả ở trên, hàm số mục tiêu được thành lập như sau^[5-7]:

$$\min f_1 = \min \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{R_s} (a_i + b_i P_{si,t} + c_i P_{si,t}^2) u_{i,t} \right] \quad (1)$$

Công thức (1) là hàm số mục tiêu mô tả cực tiểu chi phí phát điện các nhà máy nhiệt điện; T là tổng số thời đoạn điều độ; $P_{si,t}$ là công suất phát nhiệt điện i tại thời đoạn t ; R_s là số nhà máy nhiệt điện trong hệ thống; a_i , b_i , c_i là các hệ số đặc tính tiêu hao nhiên liệu nhiệt điện i ^[13]; $u_{i,t}$ là biến số chỉ trạng thái của nhiệt điện i tại thời đoạn t ; $u_{i,t} = 1$ hoặc $u_{i,t} = 0$ tương ứng khi nhiệt điện i đang vận hành hoặc dừng máy.

$$\min f_2 = \min \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{R_s} (\alpha_i + \beta_i P_{si,t} + \gamma_i P_{si,t}^2) u_{i,t} \right] \quad (2)$$

Công thức (2) là hàm số mục tiêu mô tả cực tiểu lượng khí phát thải; α_i , β_i , γ_i là các hệ số đặc trưng cho hàm phát thải khí ô nhiễm của nhiệt điện i ^[13].

$$\min f_3 = \min \left[\sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{R_h} y_{j,t} \right] \quad (3)$$

Công thức (3) là hàm số mục tiêu mô tả cực tiểu lượng nước tràn thủy điện; $y_{j,t}$ là lượng nước tràn của thủy điện j tại thời đoạn t ; R_h là số thủy điện trong hệ thống.

2.2.2. Điều kiện ràng buộc

a. Ràng buộc cân bằng công suất hệ thống

$$\sum_{i=1}^{R_s} P_{si,t} + \sum_{j=1}^{R_h} P_{hj,t} - P_t^D = 0 \quad (4)$$

trong đó: P_t^D là công suất phụ tải yêu cầu; $P_{si,t}$ và $P_{hj,t}$ là công suất phát nhiệt điện i và thủy điện j tại thời đoạn điều độ t .

b. Ràng buộc dự phòng công suất hệ thống

$$\sum_{i=1}^{R_s} P_{si}^{\max} + \sum_{j=1}^{R_h} P_{hj}^{\max} \geq P_t^D + R_t \quad (5)$$

trong đó: R_t là công suất dự phòng hệ thống yêu cầu tại thời đoạn điều độ t ; P_{si}^{\max} và P_{hj}^{\max} lần lượt là công suất phát cực đại của nhiệt điện i và thủy điện j .

c. Ràng buộc công suất phát nhiệt điện

$$u_{i,t} P_{si}^{\min} \leq P_{si,t} \leq u_{i,t} P_{si}^{\max} \quad (6)$$

trong đó: P_{si}^{\min} , P_{si}^{\max} là công suất phát cực tiểu và cực đại của nhiệt điện i .

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

+ Nếu $u_{i,t} = 1$ thì, ta có: $P_{si}^{\min} \leq P_{si,t} \leq P_{si}^{\max}$.

d. Ràng buộc công suất phát thủy điện

$$P_{hj}^{\min} \leq P_{hj,t} \leq P_{hj}^{\max} \quad (7)$$

trong đó: P_{hj}^{\min} , P_{hj}^{\max} là công suất phát cực tiểu và cực đại của thủy điện j .

e. Ràng buộc về tốc độ tăng giảm tải

$$P_{si}^{\text{down}} \leq |u_{i,t} P_{si,t} - u_{i,t-1} P_{si,t-1}| \leq P_{si}^{\text{up}} \quad (8)$$

trong đó: P_{si}^{up} , P_{si}^{down} là giới hạn tốc độ tăng

và giảm công suất phát nhiệt điện i trong một thời đoạn điều độ.

f. *Ràng buộc dung tích hồ chứa thủy điện*

$$V_j^{\min} \leq V_{j,t} \leq V_j^{\max} \quad (9)$$

trong đó: $V_{j,t}$ là thể tích hồ chứa của thủy

điện j tại thời đoạn t ; V_j^{\min} , V_j^{\max} phân biệt là giới hạn dưới và giới hạn trên của thể tích hồ chứa thủy điện j .

g. *Ràng buộc lưu lượng nước phát điện*

$$Q_j^{\min} \leq Q_{j,t} \leq Q_j^{\max} \quad (10)$$

trong đó: $Q_{j,t}$ là lưu lượng nước phát điện

của thủy điện j tại thời đoạn t ; Q_j^{\min} , Q_j^{\max} phân biệt là giới hạn dưới và giới hạn trên của lưu lượng nước phát điện thủy điện j .

h. *Ràng buộc cân bằng lượng nước*

$$V_{j,t} = V_{j,t-1} + (q_{j,t} - Q_{j,t} - y_{j,t}) + \sum_{k=1}^{R_{kj}} (Q_{k,t-\tau_{kj}} + y_{k,t-\tau_{kj}}) \quad (11)$$

trong đó: τ_{kj} là thời gian trễ dòng chảy giữa thủy điện k và j ; R_{kj} là tập hợp các thủy điện thượng lưu có liên hệ nước trực tiếp với thủy điện j .

i. *Quan hệ chuyển hóa nước-điện*

$$P_{hj,t} = c_{1j}V_{j,t}^2 + c_{2j}Q_{j,t}^2 + c_{3j}V_{j,t}Q_{j,t} + c_{4j}V_{j,t} + c_{5j}Q_{j,t} + c_{6j} \quad (12)$$

trong đó: c_{1j} , c_{2j} , c_{3j} , c_{4j} , c_{5j} , c_{6j} là các hệ số đặc trưng cho sự chuyển hóa nước-điện.

k. *Ràng buộc dung tích hồ chứa tại đầu và cuối chu kỳ điều độ*

$$V_{j,0} = V_j^0; V_{j,T} = V_j^T \quad (13)$$

trong đó: V_j^0 , V_j^T là thể tích hồ chứa j lúc bắt đầu và kết thúc chu kỳ điều độ.

l. *Ràng buộc không âm*, trong mô hình tất cả các biến số đều phải có giá trị không âm.

3. PHƯƠNG PHÁP GIẢI MÔ HÌNH TOÁN

Mô hình toán học tối ưu điều độ ngắn hạn đa mục tiêu của hệ thống thủy-nhiệt là một bài toán quy hoạch động phi tuyến quy mô lớn với các ràng buộc phức tạp và lời giải khá phức tạp.

Bài báo sử dụng phương pháp Heuristic dựa trên tác nhân Agent để xử lý toán học^[10-11]. Nội dung phương pháp và thuật toán cụ thể được mô tả như sau:

Phương pháp mã hóa và khởi tạo tác nhân Agent là những vấn đề đầu tiên cần giải quyết, và việc mã hóa và khởi tạo tác nhân cần được thực hiện một cách hợp lý tùy theo các tình huống khác nhau của các vấn đề thực tế. Chọn công suất phát của các nhiệt điện và lưu lượng nước phát điện của các thủy điện trong mỗi thời đoạn điều độ làm biến quyết sách. Giả định 1 nhà máy nhiệt điện bất kỳ là đẳng thức ràng buộc cân bằng nhà máy điện, lấy (R_s-I) các công suất phát nhà máy nhiệt điện và lưu lượng nước phát điện của các thủy theo thời gian mã hóa, liên kết tuần tự để tổ thành một loạt nhóm Agent.

Phương pháp và công thức mã hóa vị trí và tốc độ của Agent được mô tả theo công thức (14)÷(19):

$$x = [P_{s1}, \dots, P_{si}, \dots, P_{s(R_s-1)}; Q_1, \dots, Q_j, \dots, Q_h] \quad (14)$$

$$v = [V_{P_{s1}}, \dots, V_{P_{si}}, \dots, V_{P_{s(R_s-1)}}; V_{Q_1}, \dots, V_{Q_j}, \dots, V_{Q_h}] \quad (15)$$

$$P_{si} = [P_{si,1}, P_{si,2}, \dots, P_{si,T}] \quad (16)$$

$$Q_j = [Q_{j,1}, Q_{j,2}, \dots, Q_{j,T}] \quad (17)$$

$$V_{P_{si}} = [V_{P_{si,1}}, V_{P_{si,2}}, \dots, V_{P_{si,T}}] \quad (18)$$

$$V_{Q_j} = [V_{Q_{j,1}}, V_{Q_{j,2}}, \dots, V_{Q_{j,T}}] \quad (19)$$

Phương pháp và công thức khởi tạo hóa vị trí và tốc độ của Agent được mô tả theo công thức (20), (21):

$$P_{si} = P_{si}^{\min} + \gamma_1 (P_{si}^{\max} - P_{si}^{\min}) \quad (20)$$

$$Q_j = Q_j^{\min} + \gamma_2 (Q_j^{\max} - Q_j^{\min}) \quad (21)$$

trong đó: γ_i là hệ số chiết khấu (*Discount factor*) mà $0 < \gamma_i \leq 1$ và phân bố đều trong đoạn $[0,1]$.

Phương pháp kiểm tra điều kiện ràng buộc đẳng thức là, đối với mỗi tác nhân Agent được tạo ngẫu nhiên, bắt đầu kiểm tra từ thủy điện cấp 1; dựa vào phương trình ràng buộc cân bằng lượng nước, giải ra được tổng lượng nước tràn trong 1 chu kì điều độ

$\sum y$. Nếu $\sum y < 0$ thì các Agent không thỏa mãn điều kiện ràng buộc cân bằng lượng nước và phải tiến hành tái tạo lại biến quyết sách. Nếu $\sum y \geq 0$ thì các Agent thỏa mãn điều kiện ràng buộc cân bằng lượng nước, dựa vào tổng lượng nước tràn có thể

phân ra thể tích hồ chứa lần lượt theo các thời đoạn, từ đó giải ra công suất phát thủy điện các thời đoạn. Phương pháp này cũng được sử dụng để kiểm tra và xử lý lần lượt từng nhà máy thủy điện, và cuối cùng thu được công suất phát của tất cả các nhà máy thủy điện trong từng thời đoạn.

Lấy kết quả giải công suất phát thủy điện thay vào phương trình cân bằng công suất phụ tải hệ thống, ta được công suất phát nhiệt điện các thời đoạn. Sau đó dùng bất đẳng thức công suất phát kiểm tra, nếu không thỏa mãn thì cho rằng các Agent không thỏa mãn đẳng thức ràng buộc cân bằng công suất hệ thống, phải tái tạo lại Agent; ngược lại thì các Agent vừa thỏa mãn đẳng thức ràng buộc cân bằng công suất hệ thống vừa thỏa mãn đẳng thức ràng buộc cân bằng lượng nước, cuối cùng quyết định các Agent thỏa mãn tất cả các đẳng thức ràng buộc.

Trong quy trình của thuật toán heuristic dựa trên tác nhân Agent, mức độ phù hợp của tác nhân được xử lý thông qua phương pháp xếp hạng mức độ ưu tiên ràng buộc về độ phù hợp. Khi quá trình lặp lại diễn ra, tác nhân tiếp cận theo hướng giá trị độ phù hợp ưu tiên, các tác nhân trong nhóm được sắp xếp thứ tự dựa theo giá trị độ phù hợp. Đầu tiên so sánh độ phù hợp ràng buộc của Agent, Agent có giá trị độ phù hợp tốt nhất được xếp đầu. Nếu các giá trị độ phù hợp ràng buộc bằng nhau, tiếp tục so sánh giá trị phù hợp mục tiêu, Agent có giá trị tốt nhất cũng sẽ được ưu tiên xếp đầu^[12].

Các bước áp dụng thuật toán heuristic dựa trên tác nhân để giải quyết mô hình quyết sách đa mục tiêu như sau:

Bước 1. Ngẫu nhiên thành lập Agent, đồng

thời tiến hành khởi tạo hóa theo các công thức (14)-(21).

Bước 2. Kiểm tra đẳng thức cân bằng lượng nước và đẳng thức ràng buộc cân bằng phụ tải hệ thống đối với từng Agent. Nếu tác nhân nào không thỏa mãn thì tiến hành tái tạo lại Agent.

Bước 3. Tính toán độ phù hợp của ràng buộc và độ phù hợp mục tiêu của từng tác nhân, đánh giá tác nhân theo phương pháp xếp hạng mức độ ưu tiên của ràng buộc và chọn giá trị tối ưu của tác nhân và giá trị tối ưu hiện tại của nhóm tác nhân.

Bước 4. Tính toán tốc độ thay đổi độ phù hợp tối ưu của mục tiêu và xác định trọng số quán tính theo nó.

Bước 5. Đối với mỗi tác nhân, tính toán phạm vi vùng lân cận của nó, nếu đó là chế độ cục bộ, tiến hành so sánh giá trị độ phù hợp của nó với vị trí tốt nhất mà vùng lân cận của nó trải qua; nếu tốt hơn, thì thiết lập đặt lại số chỉ mục, ngược lại thì sử dụng giá trị tối ưu của tổng thể.

Bước 6. Cập nhật tốc độ và vị trí của từng tác nhân.

Bước 7. Đề đánh giá chương trình có hội tụ hay không, tiêu chí của hội tụ là đạt đến số phép lặp nhất định hoặc một độ chính xác hội tụ nhất định. Nếu nó không hội tụ thì quay về *Bước 3*; ngược lại, dừng quá trình lặp và xuất ra kết quả tính toán.

4. TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Lựa chọn hệ thống gồm 4 nhà máy thủy điện tạo thành hệ thống bậc thang 4 cấp (*Hình 1*) và 3 nhà máy nhiệt điện (các số liệu tham khảo tài liệu [12]). Số liệu nhà

máy thủy điện bảng 1-4; số liệu đặc tính nhà máy nhiệt điện bảng 5; đặc tính phụ tải yêu cầu bảng 6.

Bảng 1. Nước tự nhiên đến hồ chứa (10⁴m³)

t (h)	Nhà máy thủy điện				t (h)	Nhà máy thủy điện			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	15	12	12	13	13	11	8,5	9	0
2	19	18	18	12	14	12	11	4,4	0
3	8,5	9,4	4	6,6	15	7	6	4	1,1
4	7	9	11	1,2	16	10	8,8	2	0
5	8,6	8	3	0	17	9,7	7	5,1	1,6
6	7,7	7	12	1,7	18	18,9	16	12	0
7	8,2	17	7	0	19	7,6	7	6	0
8	19	18	14	0	20	8,2	6,4	4	0
9	11	8	8,4	2,1	21	7,9	9	2,1	0
10	14	7	6	1,1	22	6	4	2	0
11	13	9	8,1	0	23	19	8,6	5,4	4,3
12	11	8	6,9	3,1	24	10,8	8	2	0

Bảng 2. Giới hạn thông số thủy điện bậc thang

N ^o	V ^{min} 10 ⁴ m ³	V ^{max} 10 ⁴ m ³	V ⁽⁰⁾ 10 ⁴ m ³	V ^(T) 10 ⁴ m ³	Q ^{max} 10 ⁴ m ³	Q ^{min} 10 ⁴ m ³	P ^{min} MW	P ^{max} MW
1	80	150	120	120	5	15	0	500
2	60	160	90	70	6	20	0	500
3	100	240	170	170	10	30	0	500
4	70	300	120	180	6	30	0	500

Bảng 3. Hệ số đặc tính chuyển hóa điện-nước

N ^o	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
1	-0,004	-0,42	0,03	0,9	10	-50
2	-0,004	-0,3	0,015	1,14	9,5	-70
3	-0,003	-0,3	0,025	1,05	10,5	-80
4	-0,003	-0,31	0,027	1,44	14	-90

Bảng 4. Thời gian trễ dòng chảy các thủy điện

N ^o	1	2	3	4
t (h)	0	2	3	4
R _u	0	1	1	1

Bảng 5. Thông số giới hạn công suất và các hệ số hàm chi phí nhiệt điện

N ^o	a(\$/h)	b(\$/MWh)	c(\$/MW ² h)	P _{min}	P _{max}	P _{up} P _{down}
1	100	2,45	0,0012	20	175	50
2	120	2,32	0,001	40	300	100
3	150	2,1	0,0015	50	500	150

Bảng 6. Thông số phụ tải yêu cầu hệ thống

t(h)	1	2	3	4	5	6	7	8
Phụ tải (MW)	750	780	700	650	670	800	950	1100
t(h)	9	10	11	12	13	14	15	16
Phụ tải (MW)	1090	1080	1100	1150	1110	1030	1010	1060
t(h)	17	18	19	20	21	22	23	24
Phụ tải (MW)	1050	1120	1070	1050	910	860	850	800

Lấy chu kì điều độ là 1 ngày, phân thành 24 thời đoạn điều độ, mỗi thời đoạn điều độ là 1(h). Áp dụng mô hình đề xuất tính toán cho nhiều quy mô ban đầu của Agent khác nhau, ta được giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của hàm mục tiêu như bảng 7. Đồng thời cụ thể tính toán cho trường hợp: quy mô ban đầu của tác nhân Agent là 50, số lần lặp là 200, sử dụng phương pháp mã hóa nhị phân, chiều dài nhiễm sắc thể là 32 bit, kết quả tính toán thể hiện trên bảng 7÷8, và hình 3÷5.

Bảng 7. Kết quả tính toán hàm số mục tiêu

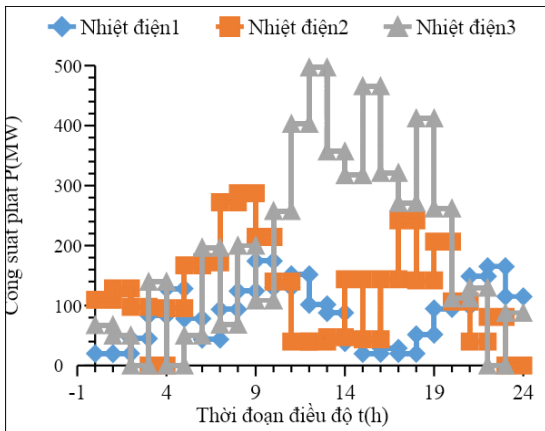
Kết quả	Chi phí nhiên liệu (USD)	Lượng khí thải (tấn)	Nước tràn (10 ⁴ m ³)
Nhỏ nhất	337417,5	16531	12,3
Tính toán	354236,45	24654,51	15,9
Lớn nhất	444574,5	48754	30,6

Bảng 8. Lưu lượng nước phát điện các thủy điện bậc thang (10⁴m³)

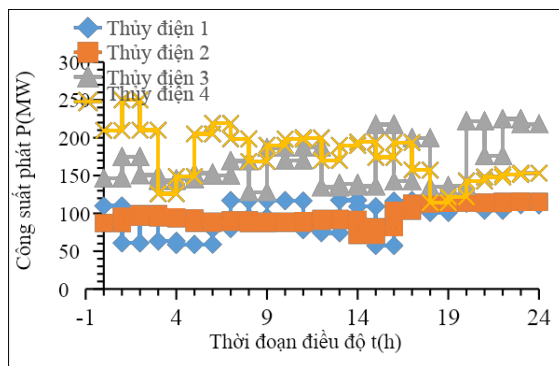
t(h)	TĐ1	TĐ2	TĐ3	TĐ4	t(h)	TĐ1	TĐ2	TĐ3	TĐ4
1	15,0	12,0	12,1	12,8	13	6,8	20,0	10,1	15,8
2	5,3	20,0	30,0	30,0	14	15,0	13,5	10,4	20,0

3	10,2	20,0	30,0	30,0	15	12,3	8,4	10,0	29,8
4	5,5	20,0	30,0	10,2	16	5,0	8,9	24,8	13,9
5	5,0	20,0	14,7	12,8	17	15,0	13,1	10,7	30,0
6	5,1	20,0	30,0	19,0	18	15,0	20,0	18,3	12,6
7	7,4	20,0	30,0	29,4	19	10,6	20,0	10,0	6,0
8	15,0	20,0	18,5	22,8	20	14,1	20,0	10,2	6,0
9	9,5	20,0	10,0	15,6	21	15,0	20,0	29,5	6,0
10	15,0	20,0	27,3	20,0	22	12,0	20,0	14,6	6,0
11	15,0	20,0	15,3	28,7	23	15,0	20,0	25,4	6,0
12	7,2	20,0	30,0	26,5	24	15,0	20,0	22,2	6,1

Khi các hàm mục tiêu (1), (2), (3) với các điều kiện ràng buộc phi tuyến dựa trên phương pháp truyền thống phân thành các đơn mục tiêu tiến hành tuyến tính hóa; trong cùng điều kiện tính toán, cùng điều kiện ra quyết sách và tham số^[5], nhận được: $\min f_1=370199,45(\text{USD})$; $\min f_2=26171,23(\text{tấn})$; $\min f_3=17,8.10^4(\text{m}^3)$. Đối chiếu với kết quả quyết sách của mô hình tối ưu đa mục tiêu, có thể thấy được tính hợp lí của mô hình được xây dựng. Từ quá trình ra quyết định tương tác tác nhân Agent, có thể thấy rằng sự thỏa mãn của từng mục tiêu và giới hạn của mức độ phối hợp tổng thể các mục tiêu phản ánh mong muốn chủ quan của người ra quyết định. Mức độ phối hợp tổng thể kiểm soát tốt hơn sự phối hợp giữa các mục tiêu và sự cân bằng tổng thể của vấn đề đa mục tiêu trong quá trình ra quyết định, do đó phương án đưa ra quyết định dần dần tiếp cận với phương án tốt nhất mà người ra quyết định hy vọng

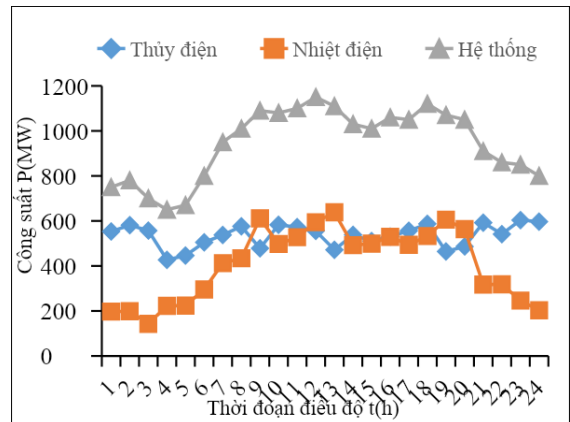


Hình 3. Công suất phát các Nhiệt điện (P_i/MW)



Hình 4. Công suất phát các Thủy điện (P_i/MW)

Đối với các nhà máy thủy điện bậc thang cấp 2 và cấp 3 phát công suất tương đối ổn định là do khả năng điều tiết nước tốt từ ảnh hưởng liên hợp điều độ với các thủy điện thượng lưu, hoàn toàn phù hợp với thực tế điều độ hệ thống điện. Hình 5, cho ta thấy thủy điện đóng góp công suất phát lớn hơn nhiệt điện để tận dụng tối đa việc sử dụng tài nguyên năng lượng tái tạo, giảm lượng than đốt phát điện từ đó nâng cao tính hiệu quả kinh tế phát điện, ngoài ra nó còn thể hiện tính phủ đỉnh trong điều độ một cách rõ ràng.



Hình 5. Công suất phát các thủy điện, nhiệt điện và công suất hệ thống yêu cầu

5. KẾT LUẬN

Trong điều kiện điều độ phát điện tiết kiệm năng lượng, trên quan điểm sử dụng hợp lý tài nguyên năng lượng và bảo vệ môi trường, mô hình tối ưu điều độ ngắn hạn đa mục tiêu cho Hệ thống thủy-nhiệt điện được đề xuất. Mô phỏng của ví dụ tính toán cho thấy, mô hình có thể đóng góp tốt hơn các yêu cầu về lợi ích với bảo vệ môi trường của nhà máy nhiệt điện; phát huy đặc tính điều độ linh hoạt của các nhà máy thủy điện, tối đa hóa sử dụng tài nguyên nước, giảm chi phí vận hành hệ thống điện, tiết kiệm năng lượng, giảm phát thải, bảo vệ môi trường, đáp ứng yêu cầu của chiến lược phát triển bền vững. Phương pháp tính toán heuristic dựa trên tác nhân Agent không chỉ có thể đạt được sự hạn chế và phối hợp giữa các mục tiêu, mà còn phản ánh đầy đủ mong muốn chủ quan của người ra quyết định. Trong thực tế tính toán, ý muốn chủ quan của người ra quyết định có thể được điều chỉnh bất cứ lúc nào theo các bài toán khác nhau, thuận tiện cho việc thao tác và áp dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Thang Trung Nguyen, Dieu Ngoc Vo, "Solving Short-Term Cascaded Hydrothermal Scheduling Problem Using Modified Cuckoo Search Algorithm," International Journal of Grid and Distributed Computing, vol. 9, No. 1 (2016), pp.67-78
- [2] Trần Hoàng Hiệp, Lê Xuân Sanh, "Khảo sát thủy điện bậc thang trong chiến lược điều độ tiết kiệm hệ thống thủy điện và nhiệt điện," Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Đà Nẵng, vol 126, no 5, pp. 49-52, 2018.
- [3] Zhao Fengyun, "Discussion on new energy conservation Generation dispatching way," Electric Industry Research, vol. 3, pp. 23-24, 2007.
- [4] Liang Zhihong, "Collecting and distributing transaction effective choose of energy conservation dispatching," China Power Enterprise Management, vol. 3, pp. 13-15, 2007.
- [5] Shang Jincheng, "Research on energy-saving generation dispatching mode and operation mechanism considering market mechanism and government macro-control ," Power System Technology, vol. 31, no.24, pp. 55-61, 2007.
- [6] Wang Li, Man Guangwen, "Genetic algorithm in hydro station economic dispatch ," Power System Technology, vol. 18, no.1, pp. 64-66, 1998.
- [7] Ma Rui, He Renmu, Yan Hongwen, "A novel multi-objective optimal group and block bidding model for hydro-thermal market ," Proceedings of the CSSE, vol. 24, no.11, pp. 53-57, 2004.
- [8] Gil E, Bustos J, Rudnick H "Short-term hydrothermal generation scheduling model using a genetic algorithm," IEEE Trans Power Systems, vol. 18, no.4, pp. 1256-1264, 2003.
- [9] Si Jennie, Wang Yutsung, "Action-dependent adaptive critic designs ," IEEE Transaction on Neural Networks, vol. 2, no.2, pp. 3221-3224, 2001.
- [10] Liu D, Xiong X, Zhang Y, "On-line learning control by association and reinforcement," Proceedings of the INNS-IEEE International Joint Conference on Neural Networks, vol. 7, pp. 990-995, Washington DC, USA, 2001.
- [11] Pan Xin, Wang Xiaoping, "An evolutionary multi-agent algorithm applied to the multi-objective optimization problem," Computer Applications and Software, vol. 123, no. 13, pp. 12-14, 2006.
- [12] Basu M, "An interactive fuzzy satisfying method based on evolutionary programming technique for multi-objective short-term hydrothermal scheduling," Electric Power Systems Research, vol. 69, no.2-3, pp. 277-285, 2004.
- [13] Jizhong Zhu, "Optimization of Power system operation," New York, John Wiley & Sons, 2009.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trần Hoàng Hiệp tốt nghiệp Trường Đại học Bách khoa Hà Nội năm 2003, nhận bằng Thạc sĩ năm 2005 chuyên ngành hệ thống điện. Tác giả hiện công tác tại Khoa Kỹ thuật điện trường Đại học điện lực và là nghiên cứu sinh tại Viện Nghiên cứu tối ưu hóa trong hệ thống điện và tự động hóa - Quảng Tây, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: tối ưu hóa trong hệ thống điện, thị trường điện, kỹ thuật điện cao áp, vật liệu điện.