



**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

NGUYỄN TRUNG THẮNG

**ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP THÔNG MINH NHÂN TẠO
GIẢI BÀI TOÁN PHỐI HỢP HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN

MÃ SỐ: 62520202

Tp. Hồ Chí Minh, tháng 02 năm 2017



**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS VÕ NGỌC ĐIỀU

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS. TRƯƠNG VIỆT ANH

Luận án tiến sĩ được bảo vệ trước
HỘI ĐỒNG CHẤM BẢO VỆ LUẬN ÁN TIẾN SĨ
TRƯỜNG ĐẠI HỌC SƯ PHẠM KỸ THUẬT

LÝ LỊCH CÁ NHÂN

I. THÔNG TIN CÁ NHÂN

Họ và Tên: **NGUYỄN TRUNG THẮNG** Phái : Nam
Ngày/tháng/năm sinh : **06 / 08 / 1985** Tại : Bình Thuận

II. QUÁ TRÌNH ĐÀO TẠO

- Từ 2003 - 2008 : Sinh viên ngành Điện khí hóa-cung cấp điện, Đại học sư phạm kỹ thuật TPHCM.
- Từ 2008 - 2010 : Học viên cao học ngành Thiết bị Mạng và Nhà máy điện, trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP.Hồ Chí Minh.

III. QUÁ TRÌNH CÔNG TÁC

- Từ 2008 - 2009 : Giảng viên trường Cao đẳng kỹ thuật Cao Thắng
- Từ 2009 - Nay: Giảng viên trường Đại học Tôn Đức Thắng

Tp. HCM, ngày 10 tháng 02 năm 2017

Nguyễn Trung Thắng

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong Luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tp. HCM, ngày 10 tháng 02 năm 2017

Nguyễn Trung Thắng

CẢM ƠN

Sau một thời gian dài nghiên cứu và hoàn thành luận án, tôi vô cùng cảm ơn những đóng góp từ gia đình, thầy cô, đồng nghiệp và bạn bè đã giúp tôi hoàn thành tốt luận án của mình. Tôi chân thành cảm ơn giảng viên hướng dẫn PGS. TS. Võ Ngọc Điều và PGS. TS. Trương Việt Anh đã tận tình hướng dẫn tôi. Tôi chân thành cảm ơn sâu sắc thầy PGS. TS. Quyền Huy Ánh đã dạy tôi các môn học ở mái trường đại học và hướng dẫn đề án tốt nghiệp đại học. Đặc biệt thầy đã truyền đam mê để tôi tiếp tục học thạc sĩ và tiến sĩ. Tôi chân thành cảm ơn vợ Nguyễn Thị Tâm đã hỗ trợ tôi về tinh thần, cổ vũ những khi tôi nản chí và mệt mỏi. Tôi chân thành cảm ơn trưởng bộ môn kỹ thuật điện TS. Đinh Hoàng Bách và trưởng Khoa Điện-Điện Tử TS. Võ Hoàng Duy đã tạo điều kiện tốt để tôi có thể học tốt và nghiên cứu tốt. Tôi xin chân thành cảm ơn những người bạn Trần Quang Thọ, Nguyễn Ngọc Âu và Phạm Hữu Lý đã sát cánh, ủng hộ và giúp đỡ tôi.

ABSTRACT

The study presents the application of several artificial intelligence based methods for solving short-term hydrothermal scheduling problems. The objective of these problems is to minimize total electricity generation fuel cost and the emission released of thermal plants so that all equality and inequality constraints of the system including power balance constraint considering transmission line, upper and lower limits on power generated by thermal and hydro plants, and hydraulic constraints at hydropower plants are satisfied. In addition, constraints in transmission lines such as transmission capacity of lines, voltage at buses, tap setting, etc are also taken into consideration. The complicated level of the considered constraints is increased and ranged from the first problem to the fifth problem. The summary of contribution of the dissertation is as follows:

- 1) Four methods including Augmented Lagrange Hopfield Network and three other methods such as conventional Cuckoo search algorithm (CCSA), Modified Cuckoo search algorithm (MCSA) and Adaptive Selective Cuckoo search algorithm (ASCSA) are successfully applied for the five problems in the study.
- 2) ASCSA is first successfully developed in the dissertation by analyzing disadvantages of CCSA and proposing two new techniques where the first technique focuses on the second new solution generation and the second technique focuses on keeping a set of high quality solutions. The result comparisons indicate that ASCSA is superior to CCSA in terms of solution quality and convergence speed.
- 3) Successfully construct the hydrothermal scheduling problem considering all constraints belonging to IEEE-30 bus system and IEEE-118 bus system. The three Cuckoo search algorithms have been successfully applied for the problem and finding the optimal solutions satisfying all constraints. The results comparison have indicated that ASCSA is the best method with the best solution quality and the fastest execution time.

TÓM TẮT

Luận án trình bày ứng dụng các phương pháp thông minh nhân tạo điều độ tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện. Mục tiêu của các bài toán là cực tiểu chi phí phát điện và khí thải tại các nhà máy nhiệt điện sao cho các ràng buộc cân bằng và bất cân bằng của hệ thống như ràng buộc cân bằng công suất có xét đến tổn hao truyền tải đường dây, các giới hạn công suất phát của nhà máy thủy điện và nhiệt điện và các ràng buộc từ hồ thủy điện phải được thỏa mãn. Ngoài ra, ràng buộc trên lưới truyền tải như khả năng truyền tải đường dây, điện áp tại các nút, cài đặt đầu phân áp, chọn công suất tụ bù cũng được xét đến. Mức độ phức tạp của các ràng buộc được tăng dần từ bài toán thứ nhất đến bài toán thứ năm. Các đóng góp chính của luận án được tóm tắt như sau:

1) Áp dụng thành công bốn phương pháp gồm cuckoo search cổ điển (CCSA), cuckoo search cải biên (MCSCA), cuckoo search chọn lọc thí nghiệm (ASCSCA), và phương pháp mạng Hopfield Lagrange tăng cường (ALHN) để giải năm bài toán phối hợp tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện. Các phương pháp áp dụng với đa phần cho kết quả tốt hơn hầu hết các phương pháp đã được áp dụng đến thời điểm hiện tại.

2) Lần đầu tiên phát triển thuật toán ASCSCA dựa trên phân tích nhược điểm của CCSA và đưa ra các cải biên cho kỹ thuật tạo ra nghiệm mới lần thứ hai và kỹ thuật chọn lọc các nghiệm chất lượng. Các kết quả cho thấy ASCSCA hiệu quả hơn rất nhiều so với CCSA về chất lượng lời giải và tốc độ đạt được lời giải.

3) Xây dựng bài toán phối hợp hệ thống thủy nhiệt điện có xét đến lưới truyền tải IEEE-30 nút và IEEE-118 nút với tất cả ràng buộc. Ba phương pháp Cuckoo search được áp dụng và tìm ra lời giải tối ưu cho bài toán phức tạp này với tất cả các thông số đều thỏa ràng buộc nhà máy thủy điện, nhiệt điện và lưới truyền tải. So sánh chi phí phát điện cho thấy ASCSCA là phương pháp hiệu quả nhất với chất lượng lời giải tốt và tỉ lệ thành công cao.

NỘI DUNG

Trang tựa	TRANG
Quyết định giao đề tài	
Lý lịch cá nhân	i
Lời cam đoan	ii
Cảm tạ	iii
Tóm tắt	iv
Nội dung	v
Danh sách các chữ viết tắt	vi
Danh sách các hình	vii
Danh sách các bảng	viii
Thuật ngữ	ix

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU

1.1. Đặt vấn đề	1
1.2. Các bài toán nghiên cứu	1
1.3. Mục tiêu nghiên cứu	1
1.4. Các đóng góp của luận án	1
1.5. Giới hạn đề tài	1
1.6. Bố cục của luận án	1

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN

2.1. Giới thiệu	2
2.2. Phối hợp hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn với chiều cao cột nước cố định bỏ qua các ràng buộc về hồ chứa	2
2.3. Phối hợp hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn với chiều cao cột nước cố định xét các ràng buộc về hồ chứa	2
2.4. Phối hợp hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn với chiều cao cột nước biến đổi xét các hồ thủy điện bậc thang	2
2.5. Phối hợp hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn với chiều cao cột nước cố định xét mục tiêu chi phí và phát thải	2
2.6. Phân bố công suất tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện	2

CHƯƠNG 3: CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH VÀ MẠNG HOPFIELD LAGRANGE TĂNG CƯỜNG

3.1. Giới thiệu	3
3.2. Thuật toán Cuckoo search cổ điển (CCSA)	3
3.3. Cuckoo search cải biên (MCSA)	3
3.4. Cuckoo search chọn lọc thích nghi (ASCSA)	4
3.5. Mạng Hopfield Lagrange tăng cường (ALHN)	5

CHƯƠNG 4: ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP THÔNG MINH NHÂN TẠO ĐIỀU ĐỘ TỐI ƯU HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC CỐ ĐỊNH VÀ BỎ QUA RÀNG BUỘC THỂ TÍCH HỒ CHỨA

4.1. Giới thiệu	6
4.2. Mô tả bài toán	6
4.3. Tính toán các tổ máy cân bằng thủy điện và nhiệt điện	7
4.4. Tính toán hàm thích nghi	7
4.5. Áp dụng các phương pháp điều độ tối ưu hệ thống	7
4.6. Kết quả	7
4.7. Tóm tắt	11

CHƯƠNG 5: ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH ĐIỀU ĐỘ HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC KHÔNG ĐỔI VÀ RÀNG BUỘC THỂ TÍCH HỒ CHỨA

5.1. Giới thiệu	12
5.2. Mô hình bài toán	12
5.3. Áp dụng các phương pháp cho bài toán xem xét	12
5.4. Kết quả số	13
5.5. Tóm tắt	14

CHƯƠNG 6: ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH ĐIỀU ĐỘ TỐI ƯU HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC BIẾN ĐỔI

6.1. Giới thiệu	15
6.2. Mô hình bài toán	15
6.3. Kết quả số	15
6.4. Tóm tắt	17

CHƯƠNG 7: ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN

7.1. Giới thiệu	18
7.2. Mô tả bài toán	18
7.3. Kết quả số	18
7.4. Tóm tắt	20

CHƯƠNG 8: TÓM TẮT

8.1 Tóm tắt và đóng góp	20
8.2 Hướng phát triển	20
TÀI LIỆU THAM KHẢO	20
CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ VÀ ĐANG REVIEW	24

DANH SÁCH CÁC CHỮ VIẾT TẮT

γ -PSO	Particle swarm optimization and gamma based method
ABCA	Adaptive artificial bee colony algorithm
ACABCA	Adaptive chaotic artificial bee colony algorithm
ACRCGA	Adaptive Chaotic Real Coded Genetic Algorithm
AIS	Artificial immune system
ASCSA	Adaptive selective Cuckoo search algorithm
BBO	Biogeography-Based Optimization
BCGA	Binary coded genetic algorithm
CA	Cultural algorithm
CABC	Chaotic artificial bee colony algorithm
CHDE	Chaotic hybrid differential evolution
CS	Clonal selection
CSA	Cuckoo search algorithm
DRQEA	Differential real-coded quantum-inspired evolutionary algorithm
EGA	Enhanced Genetic Algorithm
EP	Evolutionary programming
EPSO	Enhanced PSO
FEP	Fast Evolutionary programming
FGA	Fast Genetic Algorithm
FH-ST-HTS	Fixed-head short-term hydrothermal scheduling
FIPSO	Fully-informed particle swarm optimization
GA	Genetic algorithm
GWPSO	Global vision of PSO with inertia weight GWPSO
GCPSO	Global vision of PSO with constriction factor
GS	Gradient search
GSA	Gravitational Search Algorithm
HBMOA	Honey-bee Mating Optimization Algorithm
HDE	Hybrid DE
HDE-SQP	Hybrid differential evolution and sequential quadratic programming
HEP	Hybrid Evolutionary programming
HNN	Hopfield neural networks
HTOPF	Hydrothermal optimal power flow
IBFA	Improved Bacterial Foraging Algorithm
IDE	Improved differential evolution
IFEP	Improved fast evolutionary programming
IGA-MU	Improved genetic algorithm, multiplier updating and the ϵ -constraint technique
IPSO	Improved particle swarm optimization
IRM-MEDA	Improved regularity model-based multiobjective estimation of distribution algorithm
ISPSO	Improved self-adaptive PSO
LCEL	Linearization of coordination equation based Lagrange method
LCPSO	Global vision of PSO with constriction factor
LRA	Lagrangian relaxation approach

LWPSO	Local vision of PSO with inertia weight
MB-EPHO	Mixed-binary evolutionary particle swarm optimizer
MBFA	Modified Bacterial Foraging Algorithm
MCDEA	Modified chaotic differential evolution algorithm
MCSA	Modified Cuckoo search algorithm
MDE	Modified DE
MDNLPSO	Modified dynamic neighborhood learning based particle swarm optimization
MHDE	Modified hybrid DE
MODE	Multiobjective differential evolution
NSGA-II	Non-dominated sorting genetic algorithm-II
OGB-GA	Optimal gamma based Genetic algorithm
PPO-PM	Predator-prey optimization with penalty method
PPO-PS	PPO and Powell Search Method
PPO-PS-PM	PPO and PS method with penalty method
PSO-PM	Particle swarm optimization with penalty method
QMBBO	Quadratic Migration of Biogeography based Optimization
QOTLBO	Quasi-oppositional teaching learning based optimization
RCCRO	Real coded chemical reaction based optimization
RCGA	Real-coded genetic algorithm
RCGA–AFSA	Real coded genetic algorithm and artificial fish swarm algorithm
RIFEP	Running Improved fast EP
SA	Simulated annealing
SA-BGA	A simulated annealing-based goal-attainment
SOH-PSO	Self-Organizing Hierarchical particle swarm optimization
TLBO	Teaching learning based optimization
TPNN	Two-phase neural network
λ - γ	Lamda-gamma method
CP	Chi phí
CPNN	Chi phí nhỏ nhất
CPLN	Chi phí lớn nhất
CPTB	Chi phí trung bình
ĐLC	Độ lệch chuẩn
TGTT	Thời gian tính toán
ĐĐKT	Điều độ kinh tế
ĐĐPT	Điều độ phát thải
ĐĐKT-PT	Điều độ kinh tế phát thải
PP	Phương pháp

DANH SÁCH CÁC HÌNH

- Hình 3.1. Lưu đồ giải thuật áp dụng CCSA cho bài toán tối ưu
Hình 3.2. Lưu đồ giải thuật áp dụng MCSA cho các bài toán tối ưu
Hình 3.3. Lưu đồ giải thuật áp dụng ASCSA cho các bài toán tối ưu
Hình 3.4. Lưu đồ giải thuật áp dụng ALHN cho các bài toán tối ưu.
Hình 4.1. Lưu đồ giải thuật áp dụng CCSA cho các bài toán đang xét
Hình 4.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 6
Hình 4.3. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 7
Hình 5.1. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 1
Hình 5.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 2
Hình 6.1. Một hệ thống các hồ thủy điện bậc thang
Hình 6.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 1
Hình 6.3. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 3
Hình 7.1. Đặc tính hội tụ cho lưới IEEE 30 nút
Hình 7.2. Đặc tính hội tụ cho lưới IEEE 118 nút

DANH SÁCH CÁC BẢNG

- Bảng 4.1. So sánh kết quả cho 5 hệ thống đầu tiên
Bảng 4.2. Kết quả cho hệ thống 6 và 7
Bảng 4.3. So sánh kết quả cho hệ thống 1 với các trường hợp điều độ khác nhau
Bảng 4.4. So sánh kết quả điều độ kinh tế và phát thải cho hệ thống 3, 4 và 5
Bảng 4.5. So sánh kết quả điều độ đa mục tiêu cho hệ thống 3, 4 và 5
Bảng 4.6. Kết quả so sánh cho hệ thống 8
Bảng 5.1. Kết quả so sánh giữa ba phương pháp CSA cho hệ thống 1
Bảng 5.2. So sánh kết quả giữa các phương pháp cho hệ thống 1
Bảng 5.3. So sánh kết quả đạt được cho hệ thống 2
Bảng 6.1. Lựa chọn thông số điều khiển
Bảng 6.2. So sánh kết quả cho hệ thống 1
Bảng 6.3. So sánh kết quả cho hệ thống 2
Bảng 6.4. So sánh kết quả cho hệ thống 3
Bảng 6.5. So sánh kết quả cho hệ thống 4
Bảng 7.1. So sánh kết quả cho lưới IEEE 30 nút
Bảng 7.2. So sánh kết quả cho lưới IEEE 118 nút.

THUẬT NGỮ

$\alpha_{si}, \beta_{si}, \gamma_{si}, \eta_{si}$, và δ_{si}	Các hệ số hàm khí thải của nhà máy nhiệt điện i .
ΔX_d^{new}	Khoảng thay đổi cho nghiệm mới d
ψ_1, ψ_2	Trọng số tương ứng với hàm chi phí và khí thải
ΔQ_{ci}	Công suất mỗi bộ tụ tại nút i
a_{hj}, b_{hj}, c_{hj}	Hệ số hàm xả nước nhà máy thủy điện thứ j
$a_{si}, b_{si}, c_{si}, e_{si}, f_{si}$	Hệ số hàm chi phí nhiệt điện thứ i
B_{ij}, B_{0i}, B_{00}	Hệ số hàm tổn thất công suất truyền tải
$C_{1hj}, C_{2hj}, C_{3hj}$	Hệ số hàm công suất thủy điện thứ j
$C_{4hj}, C_{5hj}, C_{6hj}$	Hệ số hàm công suất thủy điện thứ j
F_1, F_2	Hàm chi phí và hàm phát thải
FT_d, FT_r	Giá trị hàm fitness của nghiệm d và nghiệm ngẫu nhiên r
G, G_{max}	Vòng lặp hiện tại và số vòng lặp lớn nhất sử dụng
G_{best}	Nghiệm tốt nhất
i, j	Chỉ số nhiệt điện thứ i và thủy điện thứ j
$I_{j,m}$	Lưu lượng nước về hồ thủy điện j ở khoảng m
K, MF	Hệ số thực thi phát hiện trùng lặp và hệ số đột biến
K_h, K_s, K_Q, K_V	Hệ số phạt cho các biến phụ thuộc
N_1, N_2, M	Số nhà máy nhiệt điện, thủy điện và số khoảng thời gian tối ưu
N_{ci}	Số bộ tụ được chọn làm việc
N_P	Dân số (Tập hợp nghiệm)
N_{tk}	Nấc phân áp thứ k
Nu	Số hồ thủy điện phía trên hồ đang xét
P_a	Xác suất phát hiện trùng lặp
$P_{D,m}, P_{L,m}$	Công suất tải ở khoảng m và tổn thất công suất truyền tải ở khoảng m
$P_{di}, Q_{di}; P_{gi}, Q_{gi}$	Công suất tác dụng và phản kháng của tải yêu cầu và máy phát tại nút i .
$P_{hj,m}, P_{si,m}$	Công suất phát thủy điện thứ j , thứ i ở khoảng thời gian yêu cầu gian thứ m
$P_{hj,max}, P_{hj,min}$	Công suất lớn nhất và nhỏ nhất của thủy điện j
$P_{s1md}; P_{si,md}$	Công suất tổ máy nhiệt điện thứ nhất và thứ i tại khoảng thứ m cho nghiệm thứ d
$P_{si,max}, P_{si,min}$	Công suất lớn nhất và nhỏ nhất của nhiệt điện i
$Q_{j,m}$	Tổng lưu lượng xả ở khoảng thứ m của thủy điện j
$q_{j,m,d}$	Lưu lượng xả thủy điện thứ j tại khoảng m của nghiệm thứ d
$Q_{j,min}, Q_{j,max}$	Lưu lượng xả nhỏ nhất và lớn nhất của thủy điện thứ j
$q_{j,min}, q_{j,max}$	Lưu lượng xả nhỏ nhất và lớn nhất qua turbine ở mỗi giờ.
$q_{jm,d}, q_{jMd}$	Lưu lượng xả mỗi giờ ở khoảng thứ m và thứ M của thủy điện j
$rand$	Số ngẫu nhiên thuộc khoảng $[0, 1]$
RN	Giá trị ngẫu nhiên có giá trị từ 0 đến 1
$S_{j,m}$	Lưu lượng thấm qua đập hồ thủy điện j ở khoảng thứ m
t_m, t_M	Thời gian cho mỗi khoảng thứ m và M
$V_{j,initial}, V_{j,end}$	Thể tích ban đầu và ở cuối thời gian hoạch định của hồ thủy điện j
$V_{j,m}$	Thể tích hồ chứa j ở khoảng m
$V_{j,min}, V_{j,max}$	Thể tích nhỏ nhất và lớn nhất của hồ thủy điện j
$X_{bestd}, X_d, X_d^{new}$	Nghiệm cực trị địa phương, nghiệm cũ thứ d và nghiệm mới thứ d
X_{r1}, X_{r2}	Xáo trộn ngẫu nhiên lần 1 và 2 các nghiệm hiện tại
α, β	Hệ số cập nhật, phép phân bố chuẩn
$\tau_{i,j}$	Thời gian nước chảy từ hồ i phía trên xuống hồ j phía dưới

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU

1.1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống điện cơ bản gồm các nhà máy nhiệt điện và thủy điện kết nối với nhau qua hệ thống lưới truyền tải để phát điện đến các phụ tải lớn như khu công nghiệp, nhà máy, khu dân cư, ...v...v. Nhà máy nhiệt điện phải mất từ vài chục phút đến vài giờ để có thể chuyển từ quá trình khởi động đến phát hết công suất nhưng thủy điện chỉ mất khoảng vài phút đã có thể đạt được công suất tối đa. Bên cạnh đó, trong quá trình làm việc với phụ tải biến động theo thời gian, thủy điện có thể thay đổi gần như tức thời còn quá trình thay đổi của nhiệt điện mất nhiều thời gian và hiệu quả nhiên liệu thấp. Tuy nhiên, thủy điện phải đối mặt với mùa khô kéo dài đến nửa thời gian trong năm còn nhiệt điện gần như không bị giới hạn. Về chi phí nhiên liệu, nhà máy nhiệt điện cao hơn rất nhiều so với thủy điện và nếu càng sử dụng lãng phí nhiên liệu này sẽ gây ra thiếu năng lượng trầm trọng trong tương lai trong khi đó nguồn nước nếu không sử dụng hiệu quả phải bị xả bỏ. Rõ ràng nhiên liệu nhiệt điện có thể dự trữ trong khi nguồn nước phải xả bỏ vào mùa mưa và đặc biệt khi có lũ lụt. Dùng nguồn nước xả bỏ để phát điện thay cho chi phí nhiên liệu hóa thạch đắt đỏ là điều hết sức kinh tế của hệ thống thủy nhiệt điện. Từ phân tích trên cho thấy rằng *kết hợp các nhà máy thủy điện và nhiệt điện thành một thể thống nhất và lập kế hoạch phối hợp phát điện tối ưu cho hệ thống thủy nhiệt điện* là bài toán vô cùng quan trọng.

1.2. CÁC BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

Năm bài toán phối hợp tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện được trình bày ở chương 4, 5, 6 và 7.

1.3. MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU

- Áp dụng các thuật toán Cuckoo search cổ điển (CCSA), Cuckoo search cải biên (MCSA) và mạng Hopfield Lagrange tăng cường (ALHN) giải các bài toán phối hợp tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện.
- Phát triển thuật toán Cuckoo search chọn lọc thích nghi (ASCSA) áp dụng thành công cho 5 bài toán.

1.4. CÁC ĐÓNG GÓP CỦA LUẬN ÁN

- Áp dụng thành công các CCSA, MCSA, ASCSA và ALHN
- Xây dựng thuật toán mới ASCSA hiệu quả hơn CCSA và MCSA.
- Áp dụng thành công các thuật toán CCSA, MCSA và ASCSA cho bài toán phân bố công suất tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện có xét đến ràng buộc lưới truyền tải và nhà máy thủy điện.

1.5. GIỚI HẠN ĐỀ TÀI

- Hàm mục tiêu được biểu diễn dưới dạng các hàm bậc hai và hàm không khả vi.
- Ràng buộc hệ thống có xét đến cân bằng công suất với tổn thất truyền tải trên đường dây
- Lưới điện IEEE 30 nút và 118 nút được sử dụng với các ràng buộc trên lưới.
- Các ràng buộc liên quan đến hồ thủy điện như lưu lượng xả, thể tích hồ chứa, thể tích nước sử dụng, thời gian chảy của nước được đặc trưng theo từng bài toán cụ thể.

1.6. BỐ CỤC CỦA LUẬN ÁN

Luận án được bố cục bởi 8 chương.

CHƯƠNG 2: TỔNG QUAN

2.1. GIỚI THIỆU

Tổng quan về 5 bài toán nghiên cứu trong luận án như sau:

2.2. PHỐI HỢP HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN VỚI CHIỀU CAO CỘT NƯỚC CỐ ĐỊNH BỞI CÁC RÀNG BUỘC VỀ HỒ CHỨA [1 -14]

Các phương pháp đã được áp dụng cho bài toán này được phân ra làm hai loại: các phương pháp xác định cổ điển [1-5] và các phương pháp thông minh nhân tạo [6-14]. Các phương pháp này về cơ bản khác nhau ở khả năng giải quyết các bài toán với độ khó của hàm mục tiêu và các ràng buộc khác nhau. Thật vậy, các phương pháp xác định cổ điển và phương pháp trong nghiên cứu [13-14] không thể giải quyết các bài toán có ràng buộc và hàm mục tiêu phức tạp mà không thể lấy đạo hàm trong khi các phương pháp còn lại có thể giải quyết một cách dễ dàng.

2.3. PHỐI HỢP HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN VỚI CHIỀU CAO CỘT NƯỚC CỐ ĐỊNH XÉT CÁC RÀNG BUỘC VỀ HỒ CHỨA [2, 3, 15-29]

Các phương pháp đã được áp dụng cho bài toán này chủ yếu chia thành hai nhóm: nhóm tiền định và nhóm heuristic. Nhóm thứ nhất gồm các phương pháp cổ điển như GS [2], Newton-Raphson [3] và λ - γ [18] trong khi đó nhóm thứ hai gồm nhiều thuật toán gần đây như GA [19], EP [16-18], [20-21], PSO [22, 24, 26, 27, 29], IBFA [23] và CS [28]. Trong các phương pháp này, GS [2] là phương pháp hiệu quả kém với chất lượng lời giải không cao và thời gian tính toán lâu.

2.4. PHỐI HỢP HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN VỚI CHIỀU CAO CỘT NƯỚC BIẾN ĐỔI XÉT CÁC HỒ THỦY ĐIỆN BẬC THANG [28, 30-57]

So với các bài toán trên, đây là bài toán phức tạp hơn vì xét đến các hồ thủy điện bậc thang với lưu lượng xả của hồ trên sẽ trở thành lưu lượng về của hồ dưới. Hơn nữa, công suất thủy điện là một hàm toán phức thuộc vào lưu lượng nước và thể tích nước với giả thuyết chiều cao cột nước thay đổi theo thời gian. Trong các phương pháp giải, GA [30] và TPNN [39] là các ứng dụng đầu tiên với nghiệm tối ưu chưa hoàn toàn thỏa mãn các ràng buộc.

2.5. PHỐI HỢP HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN VỚI CHIỀU CAO CỘT NƯỚC CỐ ĐỊNH XÉT MỤC TIÊU CHI PHÍ VÀ PHÁT THẢI [58-63]

Bài toán này giống với bài toán thứ nhất trong mục 2.2 ở trên về ràng buộc và khác nhau về hàm mục tiêu. Trong bài toán này, cả chi phí và phát thải đều được xét đến.

2.6. PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TỐI ƯU HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN [64-70]

Phân bố công suất tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện (HTOPF) là một bài toán lớn và phức tạp hơn rất nhiều so với bài toán phân bố công suất (OPF) và bài toán phối hợp các nhà máy thủy nhiệt điện (HTS). Bài toán OPF xét đến khả năng truyền tải của đường dây, điện áp tại các thanh cái, cài đặt đầu phân áp, xác định dung lượng tụ bù và công suất phản kháng của các máy phát. Rõ ràng bài toán HTOPTF rất phức tạp và hạn chế các nghiên cứu trên thế giới tính đến thời điểm này. Các nghiên cứu [64-68] với đa phần từ những năm 1980 và 1990 và nghiên cứu [69-70] trong thập niên gần đây với mục tiêu là có thể áp dụng các phương pháp cổ điển để tìm ra lời giải khả thi không vi phạm ràng buộc hơn là so sánh chi phí phát điện tại các nhà máy nhiệt điện.

CHƯƠNG 3: CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH VÀ MẠNG HOPFIELD LAGRANGE TĂNG CƯỜNG

3.1. GIỚI THIỆU

Ở chương này, CCSA, MCSA, ASCSA và ALHN sẽ được trình bày.

3.2. THUẬT TOÁN CUCKOO SEARCH CỎ ĐIỂN (CCSA)

CCSA [71] dựa trên 2 kỹ thuật tạo ra nghiệm mới và kỹ thuật chọn lọc giữ lại nhóm nghiệm tốt. Lần tạo ra nghiệm mới thứ nhất được gọi phép Lévy flights còn lần thứ hai được gọi là phát hiện trùng lặp được biểu diễn bởi công thức (3.1) và (3.2) bên dưới.

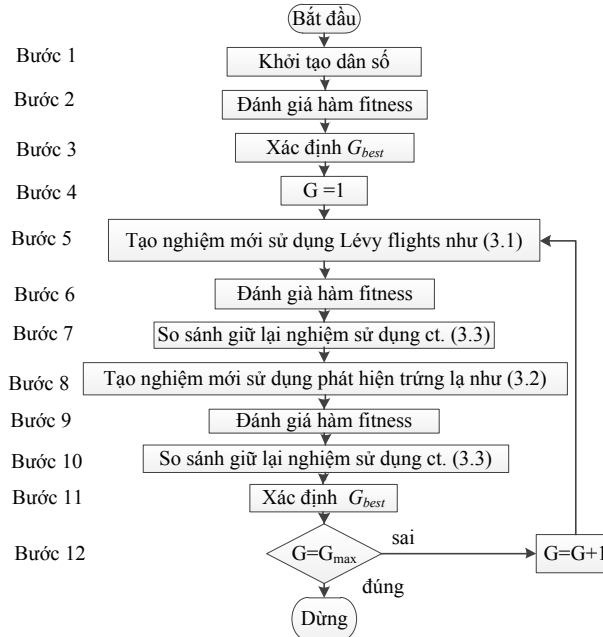
$$X_d^{(G)} = X_d^{(G-1)} + \alpha \oplus \Delta X_d^{G-1} \oplus \text{Lévy}(\beta) \quad (3.1)$$

$$X_d^{new} = \begin{cases} X_d + rand.(X_{r1} - X_{r2}) & \text{if } RN < P_a \\ X_d & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.2)$$

Vì lập luận cho rằng nghiệm mới được tạo ra chưa hoàn toàn có chất lượng tốt hơn nghiệm cũ. Do đó mỗi nghiệm mới và nghiệm cũ tại cùng một tổ chim sẽ được so sánh và giữ lại như sau:

$$X_d = \begin{cases} X_d^{new} & \text{if } Fitness(X_d^{new}) < Fitness(X_d), d = 1, \dots, N_p \\ X_d & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

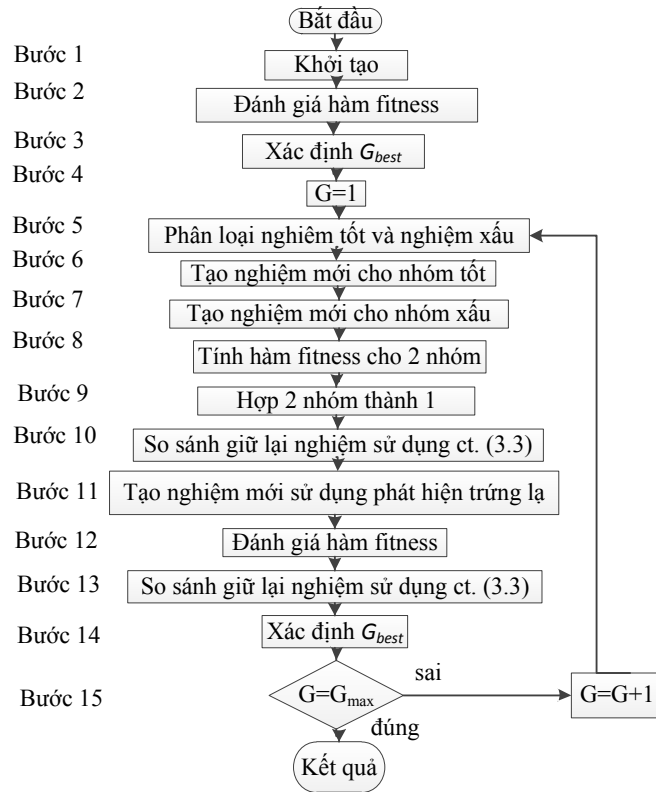
Quá trình tìm kiếm nghiệm tối ưu của CCSA được trình bày chi tiết trong hình trong lưu đồ giải thuật Hình 3.1.



Hình 3.1. Lưu đồ giải thuật áp dụng CCSA cho bài toán tối ưu

3.3. CUCKOO SEARCH CẢI BIÊN (MCSA)

Walton và các cộng sự của ông [72] đã chỉ ra những nhược điểm của CCSA và đề nghị cải biên thuật toán CCSA thành MCSA. Cải biên của nhóm tác giả này nhằm cải thiện chất lượng nghiệm ở lần thứ nhất thông qua phép Lévy flights. Trước khi tạo ra nghiệm mới, các nghiệm cũ được phân loại và tách ra thành 2 nhóm trùng tốt và trùng xấu. Chiến lược tạo ra nghiệm mới cho 2 nhóm này cũng khác nhau. MCSA được mô tả chi tiết trong lưu đồ giải thuật ở Hình 3.2 [72].



Hình 3.2. Lưu đồ giải thuật áp dụng MCSA cho các bài toán tối ưu

3.4. CUCKOO SEARCH CHỌN LỌC THÍCH NGHI (ASCSA)

Trong luận án này, chúng tôi xây dựng phương pháp ASCSA từ phương pháp CCSA dựa trên 2 kỹ thuật mới.

3.4.1. Kỹ thuật chọn lọc mới

- Tất cả N_p nghiệm cũ và N_p nghiệm mới được gộp lại thành một nhóm.
- Sắp xếp nhóm nghiệm này theo thứ tự tăng dần hàm thích nghi
- Giữ lại N_p nghiệm đầu tiên trong số $2 \times N_p$ nghiệm đang có.

3.4.2. Kỹ thuật phát hiện trùng lặp thích nghi

Trong phần cải tiến này, chúng tôi đề xuất 2 công thức (3.4) và (3.5) được sử dụng song song để tạo ra nghiệm mới lần thứ hai cho kỹ thuật phát hiện trùng lặp.

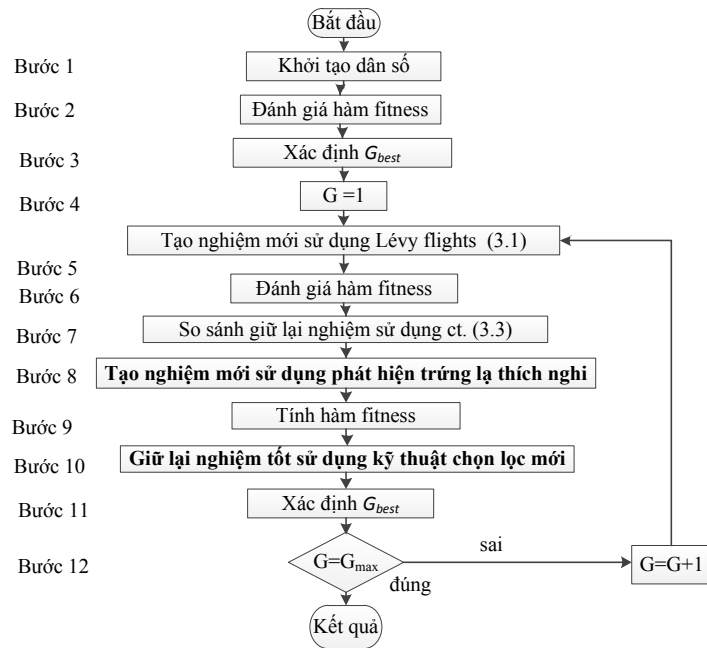
$$X_{d,new1} = X_d + rand.(X_{randper1} - X_{randper2}) \quad (3.4)$$

$$X_{d,new2} = X_d + rand.(X_{randper1} - X_{randper2} + X_{randper3} - X_{randper4}) \quad (3.5)$$

Điều kiện áp dụng 2 công thức này phụ thuộc vào sự so sánh giữa FDR và giá trị ngưỡng ε .

$$FDR_d = \frac{FT_d - FT_{best}}{FT_{best}} \quad (3.6)$$

Khi FDR_d nhỏ hơn giá trị ε , công thức (3.5) sẽ được áp dụng. Ngược lại, (3.4) sẽ là lựa chọn tốt hơn. Lưu đồ giải thuật ở Hình 3.3 trình bày chi tiết thuật toán ASCSA.



Hình 3.3. Lưu đồ giải thuật áp dụng ASCSA cho các bài toán tối ưu

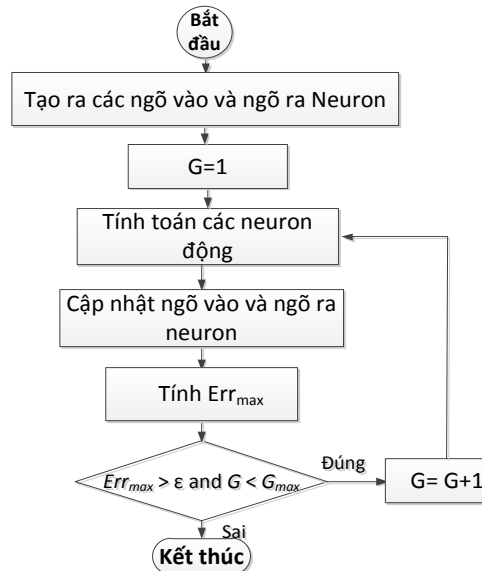
3.5. MẠNG HOPFIELD LAGRANGE TĂNG CƯỜNG (ALHN)

Hàm Lagrange tăng cường và hàm năng lượng được xây dựng như sau [13-14]:

$$L = f(x_j) - \lambda_i \sum_{i=1}^M g_i(x_j) - \frac{1}{2} \beta_i \sum_{i=1}^M [g_i(x_j)]^2 \quad (3.9)$$

$$E = f(V_{j,x}) - \sum_{i=1}^M V_{i,\lambda} g_i(V_{j,x}) - \frac{1}{2} \beta_i \sum_{i=1}^M [g_i(V_{j,x})]^2 + \sum_{j=1}^N \int_0^{V_{j,k}} g_c^{-1}(V) dV \quad (3.10)$$

Lưu đồ giải thuật áp dụng ALHN giải các bài toán tối ưu được trình bày ở Hình 3.4.



Hình 3.4. Lưu đồ giải thuật áp dụng ALHN cho các bài toán tối ưu.

CHƯƠNG 4: ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP THÔNG MINH NHÂN TẠO ĐIỀU ĐỘ TỐI ƯU HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC CỐ ĐỊNH VÀ BỎ QUA RÀNG BUỘC THỂ TÍCH HỒ CHỨA

4.1. GIỚI THIỆU

Chương này sẽ áp dụng bốn thuật toán CCSA, MCSA, ASCSA và ALHN để tìm giải hai bài toán sau:

- 1) Điều độ hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn xét chiều cao cột nước cố định và đơn mục tiêu
- 2) Điều độ hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn xét chiều cao cột nước cố định và đa mục tiêu

4.2. MÔ TẢ BÀI TOÁN

4.2.1. Hàm mục tiêu chi phí và phát thải.

Hàm mục tiêu là cực tiểu chi phí phát điện và phát thải với hàm chi phí cố điển khi không xét hiệu ứng xả van và xét đến hiệu ứng xả van như sau:

$$F_{im} = [a_{si} + b_{si}P_{si,m} + c_{si}P_{si,m}^2] \quad (4.1)$$

$$F_{im} = [a_{si} + b_{si}P_{si,m} + c_{si}P_{si,m}^2 + |d_{si} \times \sin(e_{si} \times (P_{si}^{\min} - P_{si,m}))|] \quad (4.2)$$

Hàm khí thải này trở nên phức tạp khi sử dụng hàm mũ và hàm bậc hai như sau [62]:

$$F_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_1} t_m [\alpha_{si} + \beta_{si}P_{si,m} + \gamma_{si}P_{si,m}^2 + \eta_{si} \exp(\delta_{si}P_{si,m})] \quad (4.3)$$

4.2.2. Hàm đa mục tiêu

Khi cả chi phí phát điện và khí thải đều được xét đến, hàm mục tiêu như sau [73].

$$F = \psi_1 F_1 + \psi_2 F_2 \quad (4.4)$$

$$\psi_1 + \psi_2 = 1 \quad (4.5)$$

$$0 \leq \psi_1, \psi_2 \leq 1 \quad (4.6)$$

Với hàm đa mục tiêu, khi xét cả chi phí và khí thải, nghiệm thỏa hiệp cho điều độ đa mục tiêu (là nghiệm có giá trị chi phí và khí thải phù hợp nhất) sẽ được xác định nhờ phương pháp Fuzzy [73-74].

4.2.3. Các ràng buộc

- Ràng buộc cân bằng hệ thống:

$$\sum_{i=1}^{N_1} P_{si,m} + \sum_{j=1}^{N_2} P_{hj,m} - P_{L,m} - P_{D,m} = 0; m = 1, \dots, M \quad (4.7)$$

Trong đó $P_{L,m}$ là tổn thất công suất được tính như sau [2]:

$$P_{L,m} = \sum_{i=1}^{N_1+N_2} \sum_{j=1}^{N_1+N_2} P_{i,m} B_{ij} P_{j,m} + \sum_{i=1}^{N_1+N_2} B_{0i} P_{i,m} + B_{00} \quad (4.8)$$

- Ràng buộc thể tích nước cho phép:

$$\sum_{m=1}^M t_m q_{j,m} = W_{aj}; j = 1, \dots, N_2 \quad (4.9)$$

$$q_{j,m} = a_{hj} + b_{hj}P_{hj,m} + c_j P_{hj,m}^2 \quad (4.10)$$

- Ràng buộc công suất nhiệt điện và thủy điện:

$$P_{si,\min} \leq P_{si,m} \leq P_{si,\max}; i = 1, \dots, N_1; m = 1, \dots, M \quad (4.11)$$

$$P_{hj,\min} \leq P_{hj,m} \leq P_{hj,\max}; j = 1, \dots, N_2; m = 1, \dots, M \quad (4.12)$$

4.3. TÍNH TOÁN CÁC TỔ MÁY CÂN BẰNG THỦY ĐIỆN VÀ NHIỆT ĐIỆN

Mỗi nghiệm (trúng) sẽ được khởi tạo với các biến điều khiển như sau:

$$q_{j,m,d} = q_{j,\min} + rand * (q_{j,\max} - q_{j,\min}); j = 1, \dots, N_2; m = 1, \dots, M-1 \quad (4.13)$$

$$P_{si,m,d} = P_{si,\min} + rand * (P_{si,\max} - P_{si,\min}); i = 2, \dots, N_1; m = 1, \dots, M \quad (4.14)$$

Như vậy, q_{jM} và $P_{hj,m}$ được xác định nhờ ràng buộc (4.9) và (4.10) như sau:

$$q_{j,M} = (W_j - \sum_{m=1}^{M-1} t_m q_{j,m}) / t_M \quad (4.15)$$

$$P_{hj,m} = \frac{-b_{hj} \pm \sqrt{b_{hj}^2 - 4c_{hj}(a_{hj} - q_{j,m})}}{2c_{hj}}; m = 1, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N_2 \quad (4.16)$$

Dựa vào (4.7), công suất còn lại của nhà máy nhiệt điện thứ nhất tại mỗi khoảng được tính:

$$P_{s1,m} = P_{D,m} + P_{L,m} - \sum_{i=2}^{N_1} P_{si,m} - \sum_{j=1}^{N_2} P_{hj,m}; m = 1, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N_2 \quad (4.17)$$

4.4. TÍNH TOÁN HÀM THÍCH NGHI

Hàm thích nghi được dùng để đánh giá chất lượng nghiệm như sau:

$$FT_d = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N_1} F(P_{si,m,d}) + K_s \sum_{m=1}^M (P_{s1,m,d} - P_{s1}^{\lim})^2 + K_q \sum_{j=1}^{N_2} (q_{j,M,d} - q_j^{\lim})^2 \quad (4.18)$$

Trong đó:

$$P_{s1}^{\lim} = \begin{cases} P_{s1,\max} & \text{if } P_{s1,m,d} > P_{s1,\max} \\ P_{s1,\min} & \text{if } P_{s1,m,d} < P_{s1,\min} \\ P_{s1,m,d} & \text{otherwise} \end{cases} \text{ and } q_j^{\lim} = \begin{cases} q_{j,\max} & \text{if } q_{j,M,d} > q_{j,\max} \\ q_{j,\min} & \text{if } q_{j,M,d} < q_{j,\min} \\ q_{j,M,d} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4.19)$$

4.5. ÁP DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU ĐỘ TỐI ƯU HỆ THỐNG

Áp dụng phương pháp CCSA được trình bày chi tiết như lưu đồ giải thuật ở Hình 4.1. Áp dụng phương pháp MCSA và ASCSA cũng tương tự, và áp dụng ALHN được trình bày trong lưu đồ giải thuật như Hình 3.4.

4.6. KẾT QUẢ

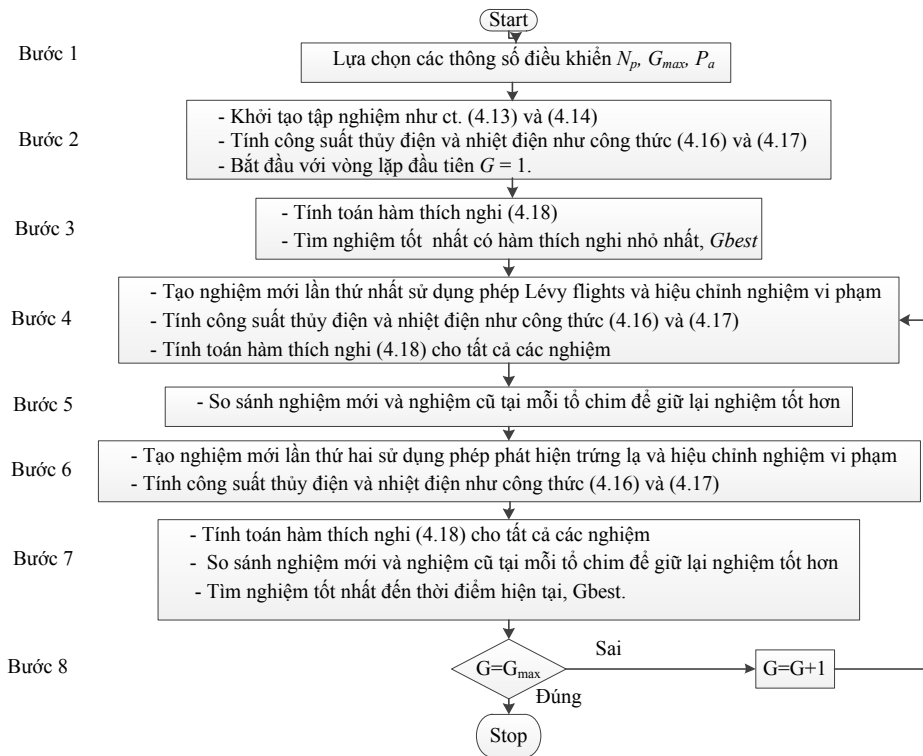
Đối với mỗi trường hợp cho từng bộ thông số điều khiển, bốn phương pháp đề xuất được lập trình bởi ngôn ngữ Matlab và chạy 50 lần cho mỗi giá trị P_a trên laptop 2.0 Ghz, Ram 4 GB.

4.6.1. Tối ưu đơn mục tiêu-chi phí phát điện

Trường hợp 1: 5 hệ thống không xét đến hiệu ứng xả van [4], [6], [12]

Trường hợp 2: Hai hệ thống xét đến hiệu ứng xả van của các nhà máy nhiệt điện [8]

Bảng 4.1 và Bảng 4.2 cho thấy ASCSA cho kết quả tốt hơn CCSA và MCSA khi hầu hết cho chi phí thấp hơn và thời gian nhanh hơn. ALHN cho chi phí thấp hơn và thời gian nhanh hơn 3 phương pháp CSA cho hầu hết các hệ thống không xét hiệu ứng xả van. Các phương pháp cho chi phí thấp hơn và được lưu ý bởi ký hiệu * đã được kiểm tra lại và cho kết quả vi phạm các ràng buộc thể tích nước sử dụng, cân bằng công suất hoặc lưu lượng xả qua turbine. So sánh với các phương pháp khả thi còn lại, các phương pháp CSA và ALHN cho chi phí xấp xỉ hoặc nhỏ hơn. Đặc tính hội tụ ở Hình 4.2 và Hình 4.3 cho thấy ASCSA hội tụ nhanh hơn so với CCSA và MCSA.



Hình 4.1. Lưu đồ giải thuật áp dụng CCSA cho các bài toán đang xét

Bảng 4.1. So sánh kết quả cho 5 hệ thống đầu tiên

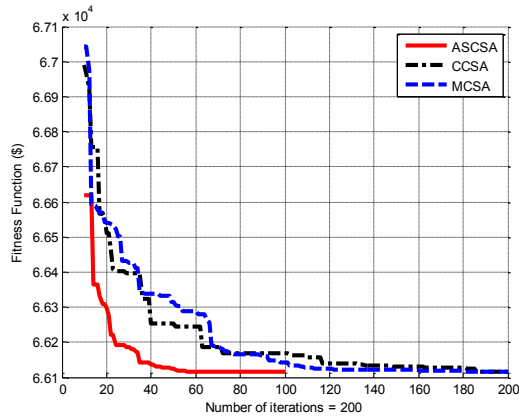
HT	Phương pháp	CPNN (\$)	CPU (s)	HT	Phương pháp	CPNN (\$)	CPU (s)
1	PPO [12]	64,626	12.4	4	GA [10]	848.027	210
	CCSA	64,606.038	0.3		OGB-GA [10]	848.326	90
	MCSA	64,606.027	0.36		LCEL [4]	848.346	NA
	ASCSA	64,606.0037	0.23		λ - γ [2]	848.359	NA
	ALHN	64,606.0037	0.6		MBFA [9]	*848.2512	11.96
2	Newton [6]	377,374.67	NA		GA [11]	848.867	39.4
	HNN [6]	377,554.94	NA		FGA [11]	*843.58	3.02
	CCSA	376,045.03	1.89		PPO [12]	848.34602	15.24
	MCSA	376,036.20	2.35		CCSA	848.3464	11.1
	ASCSA	375,965.950	0.92		MCSA	848.3463	11.6
	ALHN	375,933.6473	0.19		ASCSA	848.3468	11.5
3	GA [10]	96,028.651	220	5	ALHN	848.3490	0.6
	OGB-GA [10]	96,024.344	52		EGA [10]	53,055.712	312
	LCEL [4]	96,024.37	NA		OGB-GA [10]	53,053.708	92
	λ - γ [2]	96,024.413	NA		LCEL [4]	53,051.470	NA
	GA [11]	*95,847.86	6.09		λ - γ [2]	53,051.791	NA
	FGA [11]	*95,809.366	0.3		GA [11]	*53,020	2.48
	PPO [12]	96,024.392	12.44		FGA [11]	*53,015.553	0.142
	CCSA	96,024.4039	4.3		CSA	53,051.4765	25.3
	MCSA	96,024.3778	4.9		MCSA	53,051.4764	26.3
	ASCSA	96,024.3736	4.7		ASCSA	53,051.4766	24.5
	ALHN	96,024.3730	1.0		ALHN	53,051.609	0.9

* Nghiệm vi phạm ràng buộc; NA: nghiệm tối ưu không được báo cáo

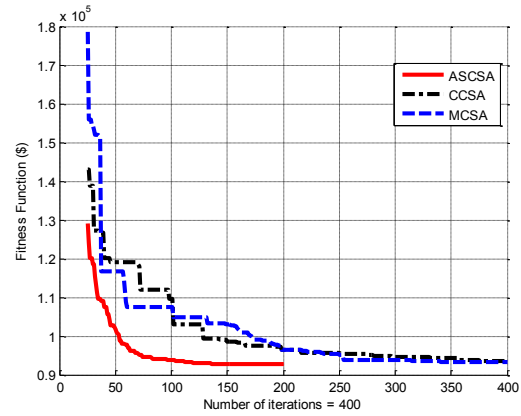
Bảng 4.2. Kết quả cho hệ thống 6 và 7

PP	HT 6				HT 7			
	N_p	G_{max}	CPNN (\$)	TGTT (s)	N_p	G_{max}	CPNN (\$)	TGTT (s)
AIS [8]	50	100	66,117	53.43	50	200	93,950	59.14
EP [8]	100	100	66,198	75.48	100	200	94,250	67.82
PSO [8]	100	100	66,166	71.62	100	200	94,126	80.37
DE [8]	100	100	66,121	60.76	100	200	94,094	83.54
PPO [12]	NA	NA	*64,786	15.33	NA	NA	*93,699	5.20
CCSA	50	200	66,116.05	0.67	50	400	93,423.04	1.54
MCSA	50	200	66,115.66	0.75	50	400	93,274.13	1.98
ASCSA	50	100	66,115.490	0.37	50	200	92,729.95	0.96

* Nghiệm vi phạm ràng buộc



Hình 4.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 6



Hình 4.3. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 7

4.6.2. Tối ưu đa mục tiêu

Trường hợp 1: Các hệ thống không xét đến hiệu ứng xả van

Hệ thống 1 với hai hàm mục tiêu : Bảng 4.3 cho thấy ALHN và 3 phương pháp CSA hiệu quả hơn các phương pháp khác ngoại trừ ALHN khi có sự đánh đổi ở trường hợp đa mục tiêu.

Bảng 4.3. So sánh kết quả cho hệ thống 1 với các trường hợp điều độ khác nhau

Phương pháp	ĐDKT		ĐĐPT		ĐDKT-PT		
	CP (\$)	TGTT(s)	PT(lb)	TGTT(s)	CP (\$)	PT (lb)	TGTT(s)
RCGA [60]	66,031	21.63	586.14	20.27	-	-	-
NSGA-II [60]	-	-	-	-	66,331	618.08	27.85
MODE [60]	-	-	-	-	66,354	619.42	30.71
SPEA-2 [60]	-	-	-	-	66,332	618.45	34.87
PSO-PM [62]	65,741	18.25	585.67	18.00	65,821	620.78	18.98
PSO [62]	65,241	18.32	579.56	18.31	65,731	618.78	19.31
PPO-PM [62]	64,873	16.14	572.71	15.93	65,426	612.34	16.53
PPO [62]	64,718	15.99	569.73	15.18	65,104	601.16	16.34
PPO-PS-PM[62]	64,689	15.98	568.78	15.92	65,089	600.24	16.15
PPO-PS [62]	64,614	15.89	564.92	15.45	65,058	594.18	16.74
CCSA	64,606	0.30	564.88	1.2234	65,055	593.93	0.33
MCSA	64,606	0.36	564.82	0.7355	65,056.6	593.86	0.35
ASCSA	64,606	0.23	564.72	0.39	65,052.2	594.16	0.23
ALHN	64,606	0.6	564.87	5.0	64,823.3	614.1	2.3

Hệ thống 3, 4 và 5 với bốn hàm mục tiêu: Kết quả Bảng 4.4 cho thấy các phương pháp CSA có chi phí bé hơn các phương pháp ở tài liệu [59] cho hệ thống 3 và 5 nhưng lại có chi phí lớn hơn ở hệ thống 4. Ở điều độ phát thải, các phương pháp CSA đều cho giá trị nhỏ hơn các phương pháp ở [59]. Ở điều độ đa mục tiêu Bảng 4.5, cả CCSA và MCSA đều đạt được chi phí và phát thải tốt hơn các phương pháp LGM, EPSO và γ -PSO ở tài liệu [59] nhưng có một sự đánh đổi giữa chi phí và phát thải của ALHN và ASCSA với các phương pháp này. Phân tích các kết quả cho ba quá trình điều độ cho thấy các phương pháp áp dụng trong luận án hiệu quả hơn so với các phương pháp ở tài liệu [59].

Bảng 4.4. So sánh kết quả điều độ kinh tế và phát thải cho hệ thống 3, 4 và 5

PP	Điều độ kinh tế (\$)			Điều độ phát thải (kg)		
	HT 3	HT 4	HT 5	HT 3	HT 4	HT 5
LGM [59]	96024.418	848.241	53053.790	300,984.760	8,488.557	468,993.657
EPSO [59]	96024.607	848.204	53053.790	300,986.330	8,489.059	468,993.655
γ -PSO[59]	96024.399	847.908	53053.790	300,984.762	8,488.559	468,992.139
ALHN	96024.373	848.349	53051.609	299,843.875	8,488.456	444,783.697
CCSA	96024.404	848.346	53051.477	299,866.962	8,488.885	463,505.200
MCSA	96024.378	848.346	53051.476	299,866.916	8,488.502	461,975.600
ASCSA	96024.374	848.347	53051.477	299,866.916	8,488.653	458,424.055

Bảng 4.5. So sánh kết quả điều độ đa mục tiêu cho hệ thống 3, 4 và 5

Phương pháp		LGM [59]	EPSO [59]	γ -PSO [59]	ALHN	CCSA	MCSA	ASCSA
HT 3	CP (\$)	96,421.725	96,421.725	96,421.46	96,465.713	96,420.771	96,420.1955	96,460.9851
	PT (kg)	301,016.541	301,016.54	301,015.145	300,286.600	300,436.191	300,437.8326	300,302.1429
HT 4	CP (\$)	851.079	851.079	852.388	850.065	850.088	850.0896	850.0940
	PT (kg)	8,487.872	8,487.872	8,489.438	8,490.776	8,490.871	8,490.7346	8,490.7031
HT 5	CP (\$)	54,337.027	54,337.027	54,336.888	55,158.619	54,333.564	54,305.4741	54,380.1314
	PT (kg)	469,025.331	469,025.331	469,023.262	44,5127.4	465,612.94	463,428.6304	462,337.377

Trường hợp 2: Một hệ thống xét đến hiệu ứng xả van

Bảng 4.6 cho thấy ASCSA cho kết quả tốt nhất. MCSA cho chi phí thấp hơn CCSA ở điều độ kinh tế nhưng thu được khí thải lớn hơn ở điều độ khí thải. Ở trường hợp đa mục tiêu, CCSA có chi phí lớn hơn nhưng khí thải lại nhỏ hơn. Cả 3 phương pháp CSA đều tốt hơn các phương pháp khác.

Bảng 4.6. Kết quả so sánh cho hệ thống 8

Phương pháp	ĐĐKT		ĐĐPT		ĐĐKT-PT		
	CP (\$)	TGTT (s)	PT (lb)	CP (\$)	TGTT (s)	PT (lb)	CP (\$)
SA-BGA [58]	70,718	-	23,200	-	73,612	26,080	1492
RCGA [60]	66,516	40.36	23,222	41.98	-	-	-
NSGA-II [60]	-	-	-	-	68,333	25,278	45.42
MODE [60]	-	-	-	-	68,388	25,792	46.76
SPEA-2 [60]	-	-	-	-	68,392	26,005	57.02
GA-MU [61]	67,751	90.15	23,223	78.27	68,521	26,080	96.10
IGA-MU [61]	66,539	51.63	23,223	42.87	68,492	26,080	53.54
PSO-PM [62]	66,349	33.14	23,167	33.63	67,994	25,902	34.11
PSO [62]	66,223	32.15	23,112	32.34	67,892	25,773	34.52
PPO-PM [62]	65,912	21.03	23,078	21.18	67,211	25,606	22.04
PPO [62]	65,885	21.45	22,966	21.56	67,170	25,601	22.11
PPO-PS-PM [62]	65,723	21.12	22,912	24.74	67,092	25,600	24.90
PPO-PS [62]	65,567	22.00	22,828	21.98	66,951	25,596	22.76
IRM-MEDA[63]	68,000	-	23,031.57	-	-	-	-
CCSA	65,243	1.54	22,821.3	1.6	66,733	24,667	1.6
MCSA	64,889	2.3	22,822.2	2.2	66,698	24,727	2.3
ASCSA	64,728	0.96	22,818.3	0.97	66,536	24,644	0.99

4.7. TÓM TẮT

ALHN, CCSA, MCSA và ASCSA đã được áp dụng để giải 8 hệ thống đơn mục tiêu và đa mục tiêu có xét đến hàm mục tiêu khả vi và không khả vi. Kết quả cho thấy ALHN hiệu quả cho các hệ thống không xét đến hiệu ứng xả van tức là hàm mục tiêu khả vi với chất lượng nghiệm tốt và thời gian nhanh. Tuy nhiên có một số trường hợp thời gian tính toán của ALHN lâu hơn rất nhiều so với CSA do việc hiệu chỉnh các hệ số của ALHN không đơn giản. Khác với ALHN, ASCSA rất hiệu quả cho tất cả các trường hợp và luôn luôn cho thấy ưu điểm so với CCSA và MCSA về chất lượng lời giải và thời gian.

CHƯƠNG 5: ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH ĐIỀU ĐỘ HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN NGẮN HẠN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC KHÔNG ĐỒI VÀ RÀNG BUỘC THỂ TÍCH HỒ CHỨA

5.1. GIỚI THIỆU

Ở chương này, ràng buộc hồ thủy điện có xét đến thể tích hồ chứa ở đầu và cuối khoảng thời gian hoạch định, giới hạn thể tích nhỏ nhất và lớn nhất ở mỗi thời điểm trong toàn thời gian hoạch định. Vì bài toán phức tạp với nhiều ràng buộc nên việc áp dụng ALHN gặp rất nhiều khó khăn trong việc chọn lựa thông số điều khiển. Do đó, ALHN không được áp dụng cho bài toán ở chương này và các chương tiếp theo.

5.2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Hàm mục tiêu của bài toán là cực tiểu chi phí phát điện có dạng như công thức (4.1) và (4.2).

Các ràng buộc hệ thống và thủy điện

- *Ràng buộc cân bằng công suất:* có xét đến tổn thất truyền tải như công thức (4.7) và (4.8).
- *Ràng buộc lưu lượng xả trong khoảng thời gian m đang xét:*

$$Q_{j,m} = t_m q_{j,m} \quad (5.1)$$

$$q_{j,m} = a_{hj} + b_{hj} P_{hj,m} + c_{hj} P_{hj,m}^2 \quad (5.2)$$

- *Ràng buộc tính liên tục hồ thủy điện:*

$$V_{j,m-1} - V_{j,m} + I_{j,m} - Q_{j,m} - S_{j,m} = 0 \quad (5.3)$$

- *Ràng buộc thể tích hồ chứa thời gian đầu và cuối:*

$$V_{j,0} = V_{j,initial}; \quad V_{j,M} = V_{j,End} \quad (5.4)$$

- *Ràng buộc giới hạn hồ chứa, lưu lượng xả và công suất phát:*

$$V_{j,min} \leq V_{j,m} \leq V_{j,max}; j=1,2,...,N_2; m=1,2,...,M \quad (5.5)$$

$$q_{j,min} \leq q_{j,m} \leq q_{j,max}; j=1,2,...,N_2; m=1,2,...,M \quad (5.6)$$

$$P_{si,min} \leq P_{si,m} \leq P_{si,max}; i=1,2,...,N_1; m=1,2,...,M \quad (5.7)$$

$$P_{hj,min} \leq P_{hj,m} \leq P_{hj,max}; j=1,2,...,N_2; m=1,2,...,M \quad (5.8)$$

5.3. ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CHO BÀI TOÁN XEM XÉT

5.3.1. Khởi tạo và giải quyết các ràng buộc bài toán

Mỗi nghiệm (trứng) sẽ được khởi tạo như sau:

$$P_{si,m,d} = P_{si,min} + rand * (P_{si,max} - P_{si,min}); i=2,...,N_1; m=1,...,M \quad (5.9)$$

$$V_{j,m,d} = V_{j,min} + rand * (V_{j,max} - V_{j,min}); j=1,...,N_2; m=1,...,M-1 \quad (5.10)$$

Tổng lưu lượng xả trong khoảng thời gian t_m tính được như sau:

$$Q_{j,m} = V_{j,m-1} - V_{j,m} + I_{j,m} - S_{j,m}; m=1,...,M \quad (5.11)$$

$q_{j,m}$ sẽ tính được từ ct. (5.1) và sau đó $P_{hj,m}$ được xác định theo (5.2). Công suất nhiệt điện $P_{sl,m}$ cũng được xác định như được xác định như (4.17).

5.3.2. Tính toán hàm thích nghi

Khi tất cả các biến số đã được xác định, hàm thích nghi sẽ được tính toán nhằm đánh giá chất lượng nghiệm:

$$FT_d = \left(\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{N1} F_i(P_{si,m,d}) + K_s \sum_{m=1}^M (P_{s1,m,d} - P_{s1}^{\lim})^2 + K_q \sum_{j=1}^{N2} \sum_{m=1}^M (q_{j,m,d} - q_j^{\lim})^2 \right) \quad (5.12)$$

Giới hạn $P_{s1}^{\lim}$ và $q_j^{\lim}$ được tìm ra tương tự như ở chương 4.

5.4. KẾT QUẢ SỐ

5.4.1. Hệ thống 1 bỏ qua hiệu ứng xả van

Hệ thống một có 1 nhà máy thủy điện và 1 nhà máy nhiệt điện không xét đến hiệu ứng xả van tại các nhà máy nhiệt điện [17]. Kết quả so sánh giữa ba phương pháp được báo cáo trong Bảng 5.1 và so sánh với các phương pháp khác trong Bảng 5.2 cho thấy ASCSA hiệu quả hơn rất nhiều so với CCSA, MCSA và các phương pháp khác. So với các phương pháp có nghiệm khả thi, CCSA và MCSA này cho giá trị chi phí xấp xỉ hoặc nhỏ hơn rất nhiều và đặc biệt là thời gian tính toán của ba phương pháp rất nhỏ so với 1 giây trong khi các phương pháp khác có thể lên đến hàng chục phút ví dụ 101.4 giây từ FEP [20], 264 giây từ EP [17] và 901 giây từ SA [15].

Bảng 5.1. Kết quả so sánh giữa ba phương pháp CSA cho hệ thống 1

Phương pháp	CCSA	MCSA	ASCSA
N_p	20	20	20
G_{max}	80	80	40
CPNN (\$)	709,862.052	709,862.051	709,862.049
ĐLC (\$)	95.577	0.88	0.263
TGTT (s)	0.034	0.069	0.03

Bảng 5.2. So sánh kết quả giữa các phương pháp cho hệ thống 1

PP	CP (\$)	TGTT (s)	PP	CP (\$)	TGTT (s)
EP [17]	709,863.29	264	IBFA [23]	*709,837.926	NA
EP [16]	709,862.06	8.0	SOH-PSO[24]	*709,528.45(709,592.4)	NA
FEP [20]	709,862.05	101.4	IPSO [26]	*606,423.16	NA
IFEP [20]	709,862.05	59.7	IPSO [27]	*606,423.16	NA
RIFEP [25]	709,862.05	NA	FIPSO [29]	*623,550	NA
GS [2]	709,877.38	NA	CCSA	709,862.052	0.034
SA [15]	709,874.36	901	MCSA	709,862.051	0.069
CS[28]	709,862.05	4.54	ASCSA	709,862.0490	0.03
HEP [21]	*703,180	NA			

* Nghiệm vi phạm ràng buộc; NA: Không báo cáo

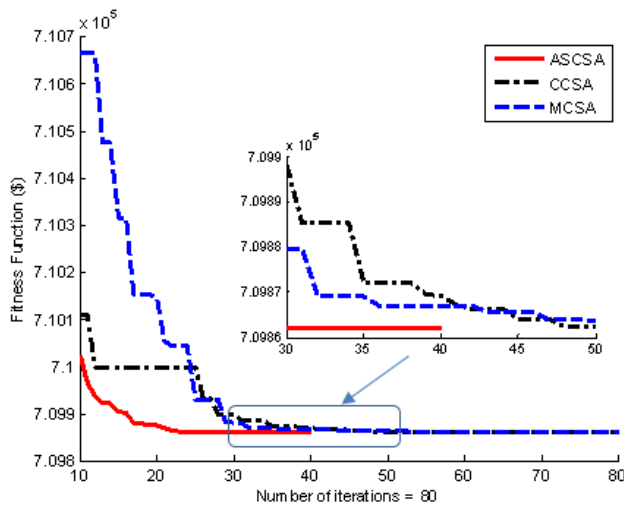
5.4.2. Hệ thống 2 có xét đến hiệu ứng xả van

Hệ thống hai có 4 nhà máy thủy điện và 4 nhà máy nhiệt điện có xét đến hiệu ứng xả van. Dữ liệu hệ thống 2 được cải biên từ hệ thống 1. Bảng 5.3 so sánh kết quả của CCSA, MCSA và ASCSA tương ứng với nhiều giá trị của G_{max} cho CCSA và MCSA. Kết quả cho thấy được rằng khi $G_{max} = 500$, cả CCSA và MCSA không thể hội tụ và khả năng hội tụ đã tăng lên đến 84.75% cho CCSA và 75.6% cho MCSA khi $G_{max} = 1,000$ trong khi đó ASCSA luôn đạt 100% ở $G_{max} = 500$. Như vậy ASCSA có thể giảm được chi phí rất lớn so với CCSA và MCSA lần lượt là \$12,166.91 và \$12,846.06 khi so sánh với ASCSA. Hình 5.1 và Hình 5.2 cho thấy ASCSA luôn luôn có nghiệm

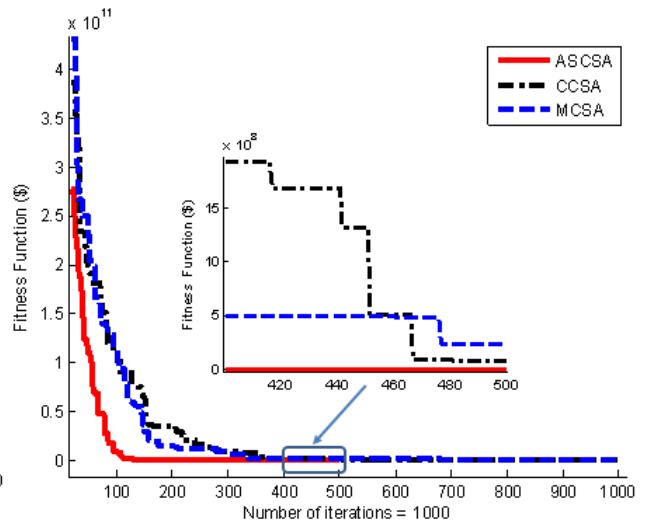
tốt hơn CCSA và MCSA.

Bảng 5.3. So sánh kết quả đạt được cho hệ thống 2

PP	CCSA	MCSA	ASCSA	CCSA	MCSA	CCSA	MCSA
N_d	50	50	50	50	50	50	50
G_{max}	500	500	500	800	800	1,000	1,000
CPNN (\$)	-	-	377594.09	392236.8	394144.7	389761.0	390440.15
CPTB (\$)	-	-	385393.37	403638.3	402051.9	398739.6	403291.35
CPLN (\$)	-	-	394586.53	414370	413609	407834.5	410936.33
ĐLC (\$)	-	-	3509.8396	4675.9	4465.073	3552.826	3594.85
TLTC	0%	0%	100%	87.70%	64.10%	84.75%	75.6%
TGTT (s)	3.18	3.65	3.23	5.4	6.1	6.9	7.8



Hình 5.1. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 1



Hình 5.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 2

5.5. TÓM TẮT

Ở chương này, các phương pháp CCSA, MCSA và ASCSA được áp dụng để điều phối hệ thống thủy nhiệt điện ngắn hạn xét chiều cao cột nước không đổi và thể tích hồ thủy điện trong toàn thời gian. Các phương pháp được áp dụng cho hai hệ thống và so sánh với các phương pháp khác. So sánh tính hiệu quả giữa các phương pháp CSA với các phương pháp trước cho thấy rằng CSA hiệu quả hơn trong tìm nghiệm tối ưu và thời gian tính toán nhanh cho nghiệm khả thi. So sánh giữa các phương pháp CSA với nhau chỉ ra tính hiệu quả của ASCSA vượt trội CCSA và MCSA khi có chi phí thấp hơn rất nhiều, thời gian tính toán nhanh và tỉ lệ thành công cao. Với hai phương pháp còn lại, CCSA tỏ ra hiệu quả hơn MCSA.

CHƯƠNG 6: ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH ĐIỀU ĐỘ TỐI ƯU HỆ THỐNG THỦY ĐIỆN XÉT CHIỀU CAO CỘT NƯỚC BIẾN ĐỔI

6.1. GIỚI THIỆU

Ở chương này, công suất thủy điện là hàm số theo biến lưu lượng xả trong khoảng thời gian và thể tích hồ chứa ở cuối khoảng đó. Hơn nữa, một hệ thống các hồ thủy điện bậc thang và thời gian nước di chuyển từ hồ phía trên về hồ phía dưới được xét đến cũng làm tăng tính phức tạp cho bài toán. Chi tiết bài toán được phân tích trong mục 6.2.

6.2. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

Hàm mục tiêu và hàm ràng buộc cân bằng công suất tương tự với bài toán ở chương 5. Các ràng buộc và đại lượng khác như sau:

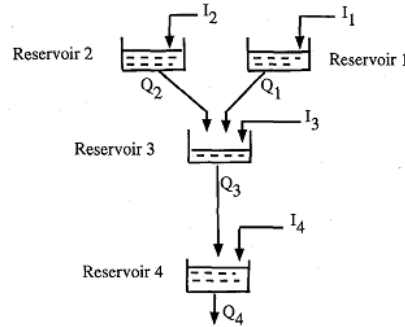
- *Tính toán công suất thủy điện.*

$$P_{hj,m} = C_{1hj}(V_{j,m})^2 + C_{2hj}(Q_{j,m})^2 + C_{3hj}Q_{j,m}V_{j,m} + C_{4hj}V_{j,m} + C_{5hj}Q_{j,m} + C_{6hj} \quad (6.1)$$

- *Ràng buộc tính liên tục hồ thủy điện:*

$$V_{j,m-1} - V_{j,m} + I_{j,m} - Q_{j,m} - S_{j,m} + \sum_{i=1}^{Nu} \sum_{m=1}^M (Q_{i,m-\tau_{i,j}} + S_{i,m-\tau_{i,j}}) = 0 \quad (6.2)$$

Ở bài toán này, một hệ thống gồm N_u các hồ thủy điện bậc thang được xét đến như Hình 6.1



Hình 6.1. Một hệ thống các hồ thủy điện bậc thang

- *Các ràng buộc thể tích hồ chứa thời gian đầu và cuối, giới hạn hồ chứa, giới hạn lưu lượng xả và giới hạn máy phát điện:* tương tự như ở chương 5.

6.3. KẾT QUẢ SỐ

Bảng 6.1 cho thấy ASCSA luôn sử dụng số vòng lặp nhỏ hơn CCSA trong khi đó MCSA sử dụng số vòng lặp lớn nhất trong ba phương pháp.

6.3.1. Hai hệ thống không xét hiệu ứng xả van

Kết quả so sánh cho hệ thống 1 và 2 được trình bày trong Bảng 6.2 và Bảng 6.3. Giống như các bảng số ở các chương trên, các kết quả không hợp lý của các phương pháp so sánh được đánh dấu bởi các dấu * và các giá trị này không được dùng để so sánh. So sánh với các phương pháp có lời giải tối ưu hợp lý hoặc không báo cáo lời giải, ASCSA có chi phí nhỏ nhất và thời gian nhanh hơn nhiều. CCSA cũng cho kết quả tốt hơn hầu hết các phương pháp ngoại trừ MDE [32] và IPSO[36] cho hệ thống 1. Ngược với CCSA và ASCSA, MCSA cho kết quả kém hơn khi có chi phí lớn hơn nhiều phương pháp. Với hệ thống 2, ASCSA vẫn là một trong những phương pháp

có nghiệm tốt nhất khi có chi phí thấp hơn hoặc xấp xỉ với các phương pháp khác. CCSA có chi phí lớn hơn không đáng kể so với ASCSA và nhỏ hơn MCSA.

Bảng 6.1. Lựa chọn thông số điều khiển

HT 1			HT 2		HT 3		HT 4	
PP	N_d	G_{max}	N_d	G_{max}	N_d	G_{max}	N_d	G_{max}
CCSA	200	3,000	200	9,000	200	5,000	200	9,000
MCSA	200	6,000	200	9,000	200	6,000	200	12,000
ASCSA	200	2,000	200	3,000	200	3,000	200	6,000

Bảng 6.2. So sánh kết quả cho hệ thống 1

PP	CP (\$)	TGTT (s)	PP	CP (\$)	TGTT (s)
CEP [20]	930,166.25	2,292.1	PSO [35]	928,878.00	NA
FEP [20]	930,267.92	1,911.2	EPSO [35]	922,904.00	NA
IFEP [20]	930,129.82	1,033.2	IPSO [36]	922,553.49	NA
GA* [30]	926,707	1,920	HDE-SQP [44]	*912,267.89	NA
BCGA [41]	926,922.71	64.51	HBMO [45]	923,300	153.8
RCGA [41]	925,940.03	57.52	RCGA [52]	923,864.125	9.236
MDE [32]	922,555.44	NA	ACRCGA [52]	*922,451.500	7.866
MHDE [33]	*921,893.94	8	IDE [53]	*917,237.7	366.0781
GCPSO [34]	927,288.4	182.4	MDNLPSO [57]	*922,336.3	35
GWPSO [34]	930,622.5	129.1	CCSA	922,896.1233	25.8
LCPSO [34]	925,618.5	103.5	MCSA	923,034.4051	65.4
LWPSO [34]	*925,383.8	82.9	ASCSA	922,366.8492	24.6
EGA [35]	934,727.00	NA			

* Nghiệm vi phạm ràng buộc; NA: không được báo cáo

Bảng 6.3. So sánh kết quả cho hệ thống 2

PP	CP (\$)	TGTT (s)	PP	CP (\$)	TGTT (s)
TPNN [39]	154,808.5	NA	QOTLBO [51]	*154,593.7	20.3
ALM [39]	154,739	NA	QMBBO [54]	*154,580.55	19.2
PSO [49]	154,705	NA	MDNL-PSO [57]	154,593.58	28
ISAPSO [49]	154,594.9	NA	CCSA	154,594.8	54.6
BBO [46]	154,670.77	63	MCSA	154,597.6	89.6
TLBO [51]	*154,594.1 (154,693.135)	23.8	ASCSA	154,594.3	35.4

6.3.2. Hai hệ thống 3 và 4 xét hiệu ứng xả van

Bảng 6.4 và Bảng 6.5 cho thấy ASCSA vẫn là phương pháp hiệu quả nhất trong 3 phương pháp CSA xem xét và MCSA là phương pháp kém hiệu quả nhất. So sánh với các phương pháp khác trong các nghiên cứu trước đây, CCSA và ASCSA hiệu quả hơn tất cả trong khi đó MCSA kém hiệu quả hơn rất nhiều phương pháp.

Bảng 6.4. So sánh kết quả cho hệ thống 3

PP	CP (\$)	TGTT (s)	PP	CP (\$)	TGTT (s)
BCGA [41]	952,618.00	66.3	CCSA	947,316.2564	32.6
RCGA [41]	951,559.24	57.32	MCSA	947,797.3685	68.5
DE [44]	947,497.85	NA	ASCSA	946,744.0663	30.8
HDE-SQP [44]	*945,293.81	NA			

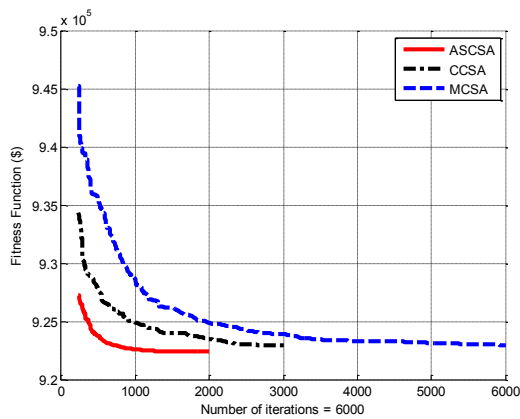
* Nghiệm vi phạm ràng buộc; NA: không được báo cáo

Bảng 6.5. So sánh kết quả cho hệ thống 4

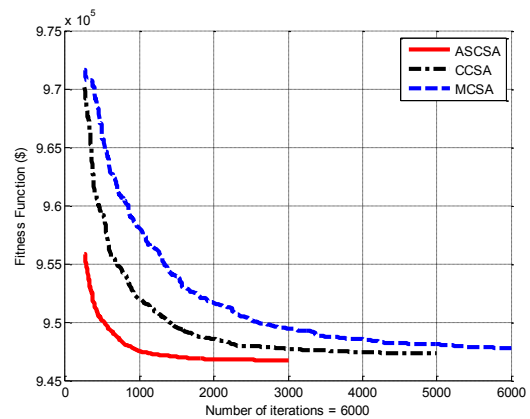
PP	CP (\$)	TGTT (s)	PP	CP (\$)	TGTT (s)
EP-IFS [76]	45,063	NA	ACABC [37]	*41074.42	16
SA [31]	47,306.00	NA	TLBO [51]	423,85	NA
EP [31]	45,466.00	NA	TLBO [51]	42,386.13	25.7
PSO [31]	44,740.00	NA	QOTLBO [51]	42,187.49	21.6
DE [33]	44,526.10	200	IDE [53]	*40,627.92	627.06
MDE [33]	42,611.14	125	RCCRO [55]	*41,497.852	15.51
HDE [33]	42,337.30	48	RCGA-AFSA [38]	*40,913.82	21
MHDE [33]	41,856.50	31	MCDE [56]	*40,945.75	50.8
CS [28]	42440.574	109	CCSA	41,701.207	75.8
AABC [37]	42217.01	15	MCSA	44,836.038	165.7
CABC [37]	43362.68	21	ASCSA	41,661.8193	75.3

* Nghiệm vi phạm ràng buộc; NA: không được báo cáo

Hình 6.2 và Hình 6.3 biểu diễn đặc tính hội tụ của hệ thống 1 và 3 cho thấy ASCSA luôn có nghiệm tốt hơn tại mỗi vòng lặp.



Hình 6.2. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 1



Hình 6.3. Đặc tính hội tụ cho hệ thống 3

6.4. TÓM TẮT

Bốn hệ thống thủy nhiệt điện có xét đến hồ thủy điện bậc thang được xem xét trong chương này với sự áp dụng ba phương pháp CSA nhằm tìm giá trị vận hành tối ưu. Kết quả cho thấy ba phương pháp CSA có thể giải được bài toán này một cách hiệu quả với chi phí và thời gian chấp nhận được. ASCSA là phương pháp tốt nhất và MCSA là phương pháp kém hiệu quả nhất trong ba phương pháp. So với các phương pháp khác đã được áp dụng trước đây, ASCSA hiệu quả hơn nhiều trong khi đó CCSA vẫn còn kém hiệu quả hơn so với một vài phương pháp.

CHƯƠNG 7: ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP CUCKOO SEARCH PHÂN BỐ CÔNG SUẤT TỐI ƯU CHO HỆ THỐNG THỦY NHIỆT ĐIỆN

7.1. GIỚI THIỆU

Chương này sẽ áp dụng ba phương pháp CSA cho hệ thống IEEE 30-nút và 118-nút.

7.2. MÔ TẢ BÀI TOÁN

- Chi phí nhiên liệu tại các nhà máy nhiệt điện được giảm thiểu:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{N_g} F_i(P_{gi}) \quad (7.1)$$

- Ràng buộc cân bằng nguồn nước

$$\sum_{m=1}^M t_m q_{j,m} = W_j; j = 1, \dots, N_2 \quad (7.2)$$

Trong đó $q_{j,m}$ là lưu lượng xả qua turbine được xác định ở chương 4 như sau:

$$q_{j,m} = a_{hj} + b_{hj} P_{hj,m} + c_j P_{hj,m}^2 \quad (7.3)$$

- Ràng buộc giới hạn công suất tác dụng, phản kháng và điện áp tổ máy:

$$P_{gi,\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi,\max}; i = 1, \dots, N_g \quad (7.4)$$

$$Q_{gi,\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi,\max}; i = 1, \dots, N_g \quad (7.5)$$

$$V_{gi,\min} \leq V_{gi} \leq V_{gi,\max}; i = 1, \dots, N_g \quad (7.6)$$

- Ràng buộc cân bằng công suất tác dụng và phản kháng tại mỗi nút:

$$P_{gi} - P_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)]; i = 1, \dots, N_b \quad (7.7)$$

$$Q_{gi} + Q_{ci} - Q_{di} = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)]; i = 1, \dots, N_b \quad (7.8)$$

- Ràng buộc công suất phát của tụ bù [77]

$$Q_{ci,\min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci,\max}; i = 1, \dots, N_c \quad (7.9)$$

$$Q_{ci} = Q_{ci,\min} + N_{ci} \Delta Q_{ci} \quad (7.10)$$

- Ràng buộc giới hạn đầu phân áp: Đầu phân áp làm việc phải thỏa mãn giới hạn sau [77]:

$$T_{k,\min} \leq T_k \leq T_{k,\max}; k = 1, \dots, N_t \quad (7.11)$$

$$T_k = T_{k,\min} + N_{tk} \Delta T_k \quad (7.12)$$

- Ràng buộc điện áp tại nút tải và giới hạn công suất đường dây:

$$V_{li,\min} \leq V_{li} \leq V_{li,\max}; i = 1, \dots, N_d \quad (7.13)$$

$$S_l \leq S_{l,\max}; l = 1, \dots, N_l \quad (7.14)$$

7.3. KẾT QUẢ SỐ

7.3.1. Kết quả từ hệ thống IEEE-30 nút

Hệ thống IEEE 30 nút có 4 tổ máy phát nhiệt điện ở nút 1, 2, 5 và 8, và 2 nút máy phát còn lại 11 và 13 được chạy bởi 2 nhà máy thủy điện. Thời gian làm việc của hệ thống là 24 giờ được chia thành hai khoảng thời gian bằng nhau. Công suất tải ở khoảng thứ nhất được giữ nguyên như công suất tải ở lưới 30 nút và công suất ở khoảng thứ hai bằng 85% công suất ở khoảng thứ nhất. Dữ

liệu lưới IEEE 30 nút và hệ số hàm chi phí được lấy từ tài liệu [78] và hệ số hàm xả nước thủy điện được lấy từ tài liệu số [8].

Bảng 7.1 cho thấy ASCSA có thể giảm được \$66.67 so với CCSA và \$62.692 so với MCSA. Hơn nữa, tỉ lệ thành công của ASCSA cao hơn CCSA và MCSA. Mặc dù kết quả độ lệch chuẩn của ASCSA cao hơn MCSA và CCSA nhưng vẫn có đủ minh chứng để cho thấy rằng ASCSA hiệu quả hơn CCSA và MCSA do nghiệm tối ưu chất lượng tốt hơn và khả năng xử lý ràng buộc hiệu quả hơn.

Bảng 7.1. So sánh kết quả cho lưới IEEE 30 nút

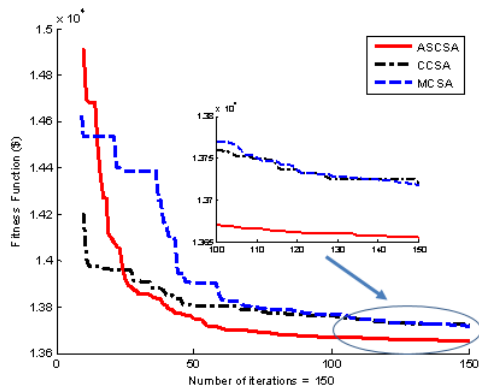
Phương pháp	CCSA	MCSA	ASCSA
P_a	0.9	0.8	0.9
CPNN (\$)	13,722.208	13,718.230	13,655.538
DLC (\$)	16.895	53.707	171.314
TGTT (s)	67.036	65.695	65.871
TLTC	76%	91%	98%

7.3.2. Kết quả từ hệ thống IEEE-118 nút

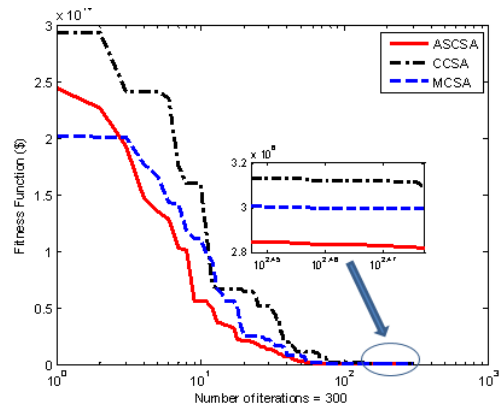
Ở mục này, các phương pháp CSA được kiểm nghiệm trên hệ thống IEEE 118 nút [79] với nguồn phát từ 50 nhà máy nhiệt điện và 4 nhà máy thủy điện. Thời gian phân bố công suất tối ưu cho hệ thống là một ngày đêm với hai khoảng thời gian, khoảng thứ nhất 20 giờ và khoảng thứ hai 4 giờ. Công suất ở khoảng thời gian thứ nhất được lấy bằng với công suất từ lưới IEEE 118 nút trong khi đó khoảng thứ hai có tải bằng 70% giá trị khoảng thứ nhất. Kết quả báo cáo trong Bảng 7.2 cho thấy so sánh giá trị về chi phí nhỏ nhất và độ lệch chuẩn thì ASCSA giảm được \$270,457.30 và \$29,673.80 so với CCSA và giảm được \$176,590.40 và \$5,947.40 so với MCSA. Hình 7.1 và Hình 7.2 cho thấy được hiệu quả của ASCSA và MCSA nổi trội hơn CCSA. Dựa vào chi phí, độ lệch chuẩn và tỉ lệ thành công có thể đánh giá được rằng ASCSA là phương pháp hiệu quả nhất và CCSA là phương pháp kém hiệu quả nhất cho lưới IEEE 118 nút.

Bảng 7.2. So sánh kết quả cho lưới IEEE 118 nút.

Phương pháp	CCSA	MCSA	ASCSA
P_a	0.9	0.9	0.8
CPNN (\$)	3,088,459.0	2,994,592.1	2,818,001.7
CPTB (\$)	3,358,689.2	3,2163,12.3	2,961,433.3
CPLN (\$)	3,665,459.0	3,491,042.1	3,336,941.4
DLC (\$)	153,667.7	129,941.3	123,993.9
TGTT (s)	278	286	282
TLTC	21%	46%	66%



Hình 7.1. Đặc tính hội tụ cho lưới IEEE 30 nút



Hình 7.2. Đặc tính hội tụ cho lưới IEEE 118 nút

7.4. TÓM TẮT

Chương này trình bày ứng dụng của các thuật toán Cuckoo search để phân bố công suất tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện. Hai hệ thống truyền tải gồm 30 nút và 118 nút được xét đến trong chương này với nguồn phát từ hệ thống nhà máy thủy điện và nhiệt điện để thử nghiệm tính hiệu quả của các phương pháp cuckoo search. Kết quả cho thấy các phương pháp đều không thể đạt được tỉ lệ thành công 100% như ở các chương khác và đặc biệt CCSA có tỉ lệ rất thấp với lưới 118 nút. MCSA và ASCSA cải thiện kết quả đáng kể so với CCSA. Các kết quả như chi phí, độ lệch chuẩn và tỉ lệ thành công cho thấy ASCSA hiệu quả hơn nhiều so với CCSA và MCSA.

CHƯƠNG 8: TÓM TẮT

8.1 TÓM TẮT VÀ PHÁT TRIỂN

Luận án áp dụng bốn thuật toán CCSA, MCSA, ASCSA và ALHN để điều độ tối ưu hệ thống thủy nhiệt điện. Trong 4 phương pháp trên CCSA, MCSA và ALHN là các phương pháp được áp dụng trong khi đó ASCSA là phương pháp được xây dựng và áp dụng lần đầu trong luận án này. Về kết quả:

- ASCSA hiệu quả cho tất cả các bài toán trên với các ràng buộc đơn giản và phức tạp.
- ALHN chỉ có thể giải được bài toán thứ nhất và thứ hai với hàm chi phí khả vi
- MCSA hiệu quả hơn CCSA cho bài toán 1, 2 và 5 và kém hiệu quả hơn ở bài toán 3 và 4.

8.2 HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Do thời gian nghiên cứu còn hạn chế nên còn nhiều vấn đề sẽ tiếp tục nghiên cứu sau khi hoàn thành luận án. Các nghiên cứu tiếp theo như sau:

- Cải tiến thuật toán Cuckoo search cổ điển để đạt hiệu quả tốt hơn thuật toán ASCSA
- Xét đến các năng lượng mới như mặt trời, pin nhiên liệu và gió cùng với hệ thống thủy nhiệt điện.
- Áp dụng các thuật toán mới hiệu quả hơn cho các bài toán nghiên cứu ở luận án.

- TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. E. El-Hawary, J. K. Landrigan. Optimum operation of fixed-head hydro-thermal electric power systems: Powell's Hybrid Phương pháp Versus Newton-Raphson Phương pháp. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, Issue 3, pp. 547-554, March 1982.
- [2] A. Wood, B. Wollenberg, "Power Generation, Operation and Control," New York: Wiley, 1996.
- [3] M. Farid Zaghlool, F. C. Trutt. Efficient Phương pháp for optimal scheduling Of fixed head hydrothermal power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, issue 1, pp. 24-30, February 1988.
- [4] A. H. A. Rashid, K. M. Nor. An efficient Phương pháp for optimal scheduling of fixed head hydro and thermal plants. *IEEE Trans Power Systems*, Vol. 6, Issue 2, pp. 632-636, May 1991.
- [5] M. S. Salam, K. M. Nor, A. R. Hamdam. Hydrothermal scheduling based Lagrangian relaxation approach to hydrothermal coordination. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, pp. 226-235, 1998.
- [6] M. Basu. Hopfield neural networks for optimal scheduling of fixed head hydrothermal power systems. *Electr. Power Syst.*, Vol. 64, pp. 11-5, 2003.
- [7] A. K. Sharma, Short term hydrothermal scheduling using eVolutionary programming, *Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of degree of Master of Engineering in Power Systems & Electric Drives*, Thapar University, Patiala. 2009
- [8] M. Basu. Artificial immune system for fixed head hydrothermal power system. *Energy*, Vol. 36, pp. 606-612, 2011.
- [9] I. A. Farhat, M. E. El-Hawary. Fixed-Head Hydro-Thermal Scheduling Using a Modified Bacterial Foraging Algorithm. *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, pp. 1-6, 2010.
- [10] J. Sasikala, M. Ramaswamy. Optimal gamma based fixed head hydrothermal scheduling using genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, pp. 3352-3357, 2010.
- [11] B. R. Kumar, M. Murali, M. S. Kumari, M. Sydulu. Short-range Fixed head Hydrothermal Scheduling using Fast Genetic Algorithm. *Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 7th IEEE Conference*, pp. 1313-1318, 2012.
- [12] N. Naranga, J. S. Dhillonb, D. P. Kothari. Scheduling short-term hydrothermal generation using predator prey optimization technique. *Applied Soft Computing*, Vol. 21, pp. 298-308, 2014.
- [13] V. N. Dieu, W. Ongsakul. Enhanced merit order and augmented Lagrange Hopfield network for hydrothermal scheduling. *Int. J Electr. Power Energy Syst.*, Vol. 30, pp. 93-101, 2008.
- [14] V. N. Dieu, W. Ongsakul. Improved merit order and augmented Lagrange Hopfield network for short term hydrothermal scheduling. *Energy Convers Manage.*, Vol. 50, pp. 3015-23, 2009.
- [15] K. P. Wong, Y. W. Wong. Short-term hydrothermal scheduling, part-I: simulated annealing approach. *IEEE Proc Part-C*, Vol. 141, pp. 497-501, 1994.
- [16] P. C. Yang, H. T. Yang, C. L. Huang. Scheduling short-term hydrothermal generation using eVolutionary programming technique. *IEEE Proc Gener Transm Distrib*, Vol. 143, pp. 371-376, 1996.
- [17] P. K. Hota, P. K. Chakrabarti, Chattopadhyay. Short-term hydrothermal scheduling through eVolutionary programming technique. *Electric Power Systems Research*, Vol. 52, pp. 189-196, 1999.
- [18] N. Sinha, R. Chakrabarti, P. K. Chattopadhyay. Fast eVolutionary programming techniques for short-term hydrothermal scheduling. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 18, pp. 214-220, February 2003.
- [19] H. C. Chang, P. H. Chen. Hydrothermal generation scheduling package: A genetic based approach. *IEEE Proc.-Gener Transm. Distrib*, Vol. 145, Issue. 4, pp. 451-57, July 1998.
- [20] N. Sinha, R. Chakrabarti, P. K. Chattopadhaya. Fast evolutionary programming techniques for short-term hydrothermal scheduling. *Electric Power Syst. Res*, Vol. 66, pp. 97-103, 2003.
- [21] C. Nallasivan, D. S. Suman, J. Henry, S. Ravichandran. A Novel Approach for Short-Term Hydrothermal Scheduling Using Hybrid Technique. *IEEE Power India Conference*, pp. 1-5, 2006.
- [22] H. Samudi, P. D. Gautham, C. O. Piyush, T. S. Sreeni, S. Cherian. Hydro Thermal Scheduling using Particle Swarm Optimization. *IEEE conference in India*, pp. 1-5, 2008.
- [23] I. A. Farhat, M. E. El-Hawary. Short-Term Hydro-Thermal Scheduling Using an Improved Bacterial Foraging Algorithm. *IEEE Electrical Power & Energy Conference*, pp. 1-5, 2009.
- [24] S. Thakur, C. Boonchay, W. Ongsakul. Optimal Hydrothermal Generation Scheduling using Self-Organizing Hierarchical PSO. *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-6, 2010.
- [25] B. Türkay, F. Mecitoğlu, S. Baran. Application of a fast eVolutionary algorithm to short-term hydro-thermal generation scheduling. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, Vol. 6, pp. 395-405, 2011.
- [26] S. Padmini, C. C. A. Rajan. Improved PSO for Short Term Hydrothermal Scheduling. *IEEE conference in India*, pp. 332-334, 2011.
- [27] S. Padmini, C. C. A. Rajan, P. Murthy. Application of Improved PSO Technique for Short Term Hydrothermal Generation Scheduling of Power System. *SEMCCO*, pp. 176-182, 2011.
- [28] R. K. Swain, A. K. Barisal, P. K. Hota, R. Chakrabarti. Short-term hydrothermal scheduling using clonal selection algorithm. *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 33, pp. 647-656, 2011.
- [29] M. S. Fakhar, S. A. R. Kashif, M. A. S. T. Hassan. Non cascaded short-term hydro-thermal scheduling using fully-informed particle swarm optimization. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 73, pp. 983-990, 2015.

- [30] S. O. Orero, M. R. Irving. A genetic algorithm modeling framework and solution technique for short term optimal hydrothermal scheduling. *IEEE Trans. Power Syst.*, Vol. 13, pp. 501–518, May 1998.
- [31] K. K. Mandal, M. Basu, N. Chakraborty. Particle swarm optimization technique based short-term hydrothermal scheduling. *Applied Soft Computing*, Vol. 8, pp. 1392–1399, 2008.
- [32] L. Lakshminarasimman, S. Subramanian. Short-term scheduling of hydrothermal power system with cascaded reservoirs by using modified differential eVolution. *IEEE Proc-Gener Transm. Distrib*, Vol. 153, Issue. 6, pp. 693–700, 2006.
- [33] L. Lakshminarasimman, S. Subramanian. A modified hybrid differential eVolution for short-term scheduling of hydrothermal power systems with cascaded reservoirs. *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, pp. 2513–2521, 2008.
- [34] B. Yu, X. Yuan, J. Wang. Short-term hydro-thermal scheduling using particle swarm optimization Phương pháp. *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, pp. 1902–1908, 2007.
- [35] X. Yuan, L. Wang, Y. Yuan. Application of enhanced PSO approach to optimal scheduling of hydro system. *Energy Convers Manage*, Vol. 49, Issue. 11, pp. 2966–72, 2008.
- [36] P. K. Hotaa, A. K. Barisal, R. Chakrabarti. An improved PSO technique for short-term optimal hydrothermal scheduling. *Electric Power Systems Research*, Vol. 79, pp. 1047–1053, 2009.
- [37] X. Liao, J. Zhou, S. Ouyang, R. Zhang, Y. Zhan. An adaptive chaotic artificial bee colony algorithm for short-term hydrothermal generation scheduling. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 53, pp. 34–42, 2013.
- [38] N. Fang, J. Zhou, R. Zhang, Y. Liu, Y. Zhang. A hybrid of real coded genetic algorithm and artificial fish swarm algorithm for short-term optimal hydrothermal scheduling. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 62, pp. 617–629, 2014.
- [39] R. Naresh, J. Sharma. Two-phase neural network based solution technique for short term hydrothermal scheduling. *IEEE Proc-Gener. Transm. Distrib*, Vol. 146, Issue. 6, pp. 657–663, 1999.
- [40] X. Yuan, Y. Yuan. Application of cultural algorithm to generation scheduling of hydrothermal systems. *Energy Conversion and Management*, Vol. 47, pp. 2192–2201, 2006.
- [41] S. Kumar, R. Naresh. Efficient real coded genetic algorithm to solve the non-convex hydrothermal scheduling problem. *Int J Electr. Power Energy Syst*, Vol. 29, Issue. 10, pp. 738–47, 2007.
- [42] K. K. Mandal, N. Chakraborty. Differential eVolution technique-based short-term economic generation scheduling of hydrothermal systems. *Electric Power Systems Research*, Vol. 78, pp. 1972–1979, 2008.
- [43] X. Yuan, B. Cao, B. Yang, Y. Yuan. Hydrothermal scheduling using chaotic hybrid differential eVolution. *Energy Conversion and Management*, Vol. 49, pp. 3627–3633, 2008.
- [44] S. Sivasubramani, K. S. Swarup. Hybrid DE–SQP algorithm for non-convex short term hydrothermal scheduling problem. *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, pp. 757–761, 2011.
- [45] H. B. Tavakoli, B. Mozafari. Short-term Hydrothermal Scheduling via Honey-bee Mating Optimization Algorithm. *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Asia-Pacific, pp. 1–5, 2012.
- [46] M. Basu, S. Datta. Biogeography-Based Optimization for Short-term Hydrothermal Scheduling. *Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), International Conference*, pp. 38–43, 2012.
- [47] Y. Wang, J. Zhou, LiMo, R. Zhang, Y. Zhang. Short-term hydrothermal generation scheduling using differential real-coded quantum-inspired eVolutionary algorithm. *Energy*, Vol. 44, pp. 657–671, 2012.
- [48] A. K. Barisal, N. C. Sahu, R. C. Prusty, P. K. Hota. Short-term hydrothermal scheduling using Gravitational Search Algorithm. *2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems*, pp. 1–6, 2012.
- [49] Y. Wang, J. Zhou, C. Zhou, Y. Wang, H. Qin, Y. Lu. An improved self-adaptive PSO technique for short-term hydrothermal scheduling. *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, pp. 2288–2295, 2012.
- [50] V. H. Hinojosa, C. Leyton. Short-term hydrothermal generation scheduling solved with a mixed-binary eVolutionary particle swarm optimizer. *Electric Power Systems Research*, Vol. 92, pp. 162–170, 2012.
- [51] P. K. Roy, A. Sur, D. K. Pradhan. Optimal short-term hydro-thermal scheduling using quasi-oppositional teaching learning based optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 26, pp. 2516–2524, 2013.
- [52] N. Fang, J. Zhou, J. Ma. Short-term Hydrothermal Scheduling Based on Adaptive Chaotic Real Coded Genetic Algorithm. *IEEE conference on Intelligent Control and Automation*, pp. 3412–3416, 2014.
- [53] M. Basu. Improved differential eVolution for short-term hydrothermal scheduling. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 58, pp. 91–100, 2014.
- [54] G. Kumar, V. Sharma, R. Naresh, P. K. Singhal. Quadratic Migration of Biogeography based Optimization for Short Term Hydrothermal Scheduling. *Networks & Soft Computing (ICNSC), First International Conference on*, pp. 400–405, 2014.
- [55] K. Bhattacharjee, A. Bhattacharya, S. H. Dey. Real coded chemical reaction based optimization for short-term hydrothermal scheduling. *Applied Soft Computing*, Vol. 24, pp. 962–976, 2014.
- [56] J. Zhang, S. Lin, W. Qiu. A modified chaotic differential eVolution algorithm for short-term optimal hydrothermal scheduling. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 65, pp. 159–168, 2015.
- [57] A. Rasoulzadeh-akhijahani, B. Mohammadi-ivatloo. Short-term hydrothermal generation scheduling by a modified dynamic neighborhood learning based particle swarm optimization. *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 67, pp. 350–367, 2015.

- [58] M. Basu, A simulated annealing-based goal-attainment Phương pháp for economic emission load dispatch of fixed head hydrothermal power systems, *Electr Power and Ener Syst*, 27(2), pp. 147–153, 2005.
- [59] J. Sasikala, M. Ramaswamy, PSO based economic emission dispatch for fixed head hydrothermal systems, *Electr. Eng*, 94 (4), pp. 233-239, 2012.
- [60] M. Basu, Economic environmental dispatch of fixed head hydrothermal power systems using nondominated sorting genetic algorithm-II, *Applied Soft Computing*, 11(3), pp. 3046-3055, 2011.
- [61] C. L. Chiang, Optimal economic emission dispatch of hydrothermal power systems, *Electr. Power and Ener Syst*, 29 (6), pp. 462–469, 2007.
- [62] N. Narang, J. S. Dhillon, D. P. Kothari, Multiobjective fixed head hydrothermal scheduling using integrated predator-prey optimization and Powell search Phương pháp, *Energy*, 47 (1), pp. 237-252, 2012.
- [63] Y. Li, H. He, Y. Wang, X. Xu, L. Jiao, An improved multiobjective estimation of distribution algorithm for environmental economic dispatch of hydrothermal power systems, *Applied Soft Computing* 28, pp. 559-568, 2015.
- [64] T. Niknam, M. R. Narimani, M. Jabbari, A. R. Malekpour: ‘A modified shuffle frog leaping algorithm for multi-objective optimal power flow’, *Energy*, Vol. 36, Issue 11, pp. 6420–6432, 2011.
- [65] M. E. El-Hawary, D. H. Tsang, The Hydrothermal Optimal Load Flow, A Practical Formulation And Solution Techniques Using Newton's Approach, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. PWRS-I, No. 3, pp. 157-166, August 1986.
- [66] H. Habibollahzadeh, G. X. Luo A. Semlyen, Hydrothermal optimal power flow based on a combined linear and nonlinear programming Phương phápology, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 4, No. 2, pp. 530-537, May 1989.
- [67] George Angelidis, *Short-term Optimal Hydrothermal Scheduling Problem Considering Power Flow Constraint*, Can. J. Elect. & Comp. Eng., Vol. 19, No. 2, pp. 81-86, 1994.
- [68] Hua Wei, Hiroshi Sasaki, Junji Kubokawa, Interior Point Phương pháp For Hydro-Thermaloptimal Power Flow, Energy Management and Power Delivery. Proceedings of EMPD '95. 1995 International Conference on, Vol. 2, pp. 607-612, 1995.
- [69] Hua Wei, Hiroshi Sasaki, Junji Kubokawa, and Ryuichi Yokoyama, Large Scale Hydrothermal Optimal Power Flow Problems Based on Interior Point Nonlinear Programming,, *IEEE Transactions on Power System*, Vol. 15, Issue 1, pp. 396-403, 2002.
- [70] Shuang Lin, Jian Huang, Jingrui Zhang, Qinghui Tang and Weixia Qiu, Short-term Optimal Hydrothermal Scheduling with Power Flow Constraint, The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC), pp. 1189-1194, 2015.
- [71] X. S. Yang, S. Deb. Cuckoo search via Lévy flights. In: Proc. World congress on nature & biologically inspired computing (NaBIC 2009), India, pp. 210–214, 2009.
- [72] S. Walton, O. Hassan, K. Morgan, M. R. Brown. Modified cuckoo search: A new gradient free optimisation algorithm. *Chaos, Solutions & Fractals*, Vol. 44, pp. 710–718, 2011.
- [73] J.S. Dhillon, S.C. Parti, D.P. Kothari. “Fuzzy decision making in multiobjective longterm scheduling of hydrothermal system”, *Int J Electrical Power Energy Syst.*, Vol. 23, no. 1, pp.19-29, 2001.
- [74] J.A. Momoh, X.W. Ma, K. Tomsovic, “Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems”, *IEEE Trans Power Syst.*, Vol. 10, no. 3, pp. 1676–90, 1995.
- [75] V. N. Dieu, W. Ongsakul. Augmented Lagrange—Hopfield Network for Economic Load Dispatch with Combined Heat and Power. *Electric Power Components and Systems*, Vol. 37, pp. 1289–1304, 2009.
- [76] M. Basu, “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 , p. 277–285, 2004
- [77] A. Soliman, A.H. Mantawy, “Modern Optimizati on Technique ues with applications in electric power systems”. Springer, New York, 2010.
- [78] O. Alsac, B. Stott, Optimal load flow with steady-state security. *IEEE Trans. Power Apparatus Syst*, Vol. 93, Issue 3, pp. 745–751, 1974.
- [79] M. E. El-Hawary, D. H. Tsang, The Hydrothermal Optimal Load Flow, A Practical Formulation And Solution Techniques Using Newton's Approach, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. PWRS-I, No. 3, pp. 157-166, August 1986.

CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ VÀ ĐANG REVIEW

CHAPTER 4

1. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, “Cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling”, Applied Energy (2014) 132, 276-287 (**SCI-IF=5.746**)
2. TT Nguyen, DN Vo, “Multi-objective short-term fixed head hydrothermal scheduling using augmented lagrange hopfield network”, Journal of Electrical Engineering and Technology (2014) 9 (6), 1882-1890 (**SCIE-IF=0.528**)
3. TT Nguyen, DN Vo, “Modified cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling”, International Journal of Electrical Power & Energy Systems (2015) 65, 271-281 (**SCIE-IF=3.432**)
4. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, LD Ho, “An Efficient Cuckoo-Inspired Meta-Heuristic Algorithm for Multiobjective Short-Term Hydrothermal Scheduling”, Advances in Electrical and Electronic Engineering (2016)14 (1), 18-28 (**Scopus**)
5. TT Nguyen, DN Vo, “Cuckoo Search Algorithm for Hydrothermal Scheduling Problem”, Handbook of Research on Modern Optimization Algorithms and Applications in Engineering and Economics, publisher: IGI Global (2015) (**Book chapter**)
6. TT Nguyen, AV Truong, HP Trieu. “Adaptive selective cuckoo search algorithm for multi-objective short-term hydrothermal scheduling”, Journal of Technical Education Science. (**accepted**)
7. TT Nguyen, DN Vo, “Modified Cuckoo Search Algorithm for Multiobjective Short-Term Hydrothermal Scheduling”. Swarm and evolutionary computation. (**SCIE-IF=2.963 under review round 3**).
8. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, BH Dinh, “An effectively adaptive selective cuckoo search algorithm for short-term hydrothermal scheduling problem”, Applied soft computing. (**SCIE-IF=2.857 under review round 3**)

CHAPTER 5

9. BH Dinh, TT Nguyen, DN Vo, “Adaptive Cuckoo Search Algorithm for Short-Term Fixed-Head Hydrothermal Scheduling Problem with Reservoir Volume Constraints”, International Journal of Grid and Distributed Computing (2016) 9 (5), 191-20 (**ISI**)
10. TT Nguyen, DN Vo, BH Dinh, “Cuckoo Search Algorithm Using Different Distributions for Short-Term Hydrothermal Scheduling with Reservoir Volume Constraint”, International Journal on Electrical Engineering and Informatics (2016) 8 (1), 76-92 (**Scopus**)

CHAPTER 6

11. TT Nguyen, DN Vo, “An efficient cuckoo bird inspired meta-heuristic algorithm for short-term combined economic emission hydrothermal scheduling”, Ain Shams Engineering Journal (2016), Article in press (**Elsevier**) (**Scopus-ISI**)
12. TT Nguyen, DN Vo, “Solving Short-Term Cascaded Hydrothermal Scheduling Problem Using Modified Cuckoo Search Algorithm”, International Journal of Grid and Distributed Computing (2016) 9 (1), 67-78 (**ISI**).

13. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, BH Dinh, A cuckoo bird-inspired meta-heuristic algorithm for optimal short-term hydrothermal generation cooperation. Cogent engineering, (2016) 3(1):1-9. (**Scopus-ISI**)
14. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, PT Ha, LD Ho, “An Effectively Enhanced Cuckoo Search Algorithm for Variable Head Short-Term Hydrothermal Scheduling”, GMSARN International Journal, (2016) 10 (4):157 – 162.

CHAPTER 7

15. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, LD Ho, “Meta-Heuristic Algorithms for Solving Hydrothermal System Scheduling Problem Considering Constraints in Transmission Lines”, Global Journal of Technology and Optimization (2016) 7 (1): 1-6
16. TT Nguyen, DN Vo, AV Truong, BH Dinh “An effective novel optimal algorithm for solving hydrothermal optimal power flow problem”, Cogent Engineering (**Scopus-ISI-under review**)