

A SYNTHETIC METHOD FOR OPTIMAL EVALUATION OF DISTRIBUTED ENERGY SYSTEM

Pham Thi Hong Anh

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 01/4/2024	This research endeavors to develop an optimization framework tailored for a distributed energy system (DES), grounded in its fundamental components. By harnessing data pertaining to electricity demand, space heating, cooling, hot water requirements, energy pricing, as well as technical and financial specifics of alternative technologies, this framework is formulated via nonlinear programming techniques. The derived outcomes encompass optimal system configurations, operational strategies, and an assessment index matrix. To ascertain weight allocation, a multi-criteria comprehensive evaluation approach is applied, founded upon principles of energy information theory and expert evaluation methodologies. The high-level programming language General Algebraic Modeling System (GAMS) is used in this study to solve the optimization problem of operating the distributed energy system. The study's conclusions underscore solar power systems as the prime candidate for optimization, attributed to their cost-effectiveness, energy efficiency gains, and favorable environmental impact.
Revised: 29/5/2024	
Published: 30/5/2024	
KEYWORDS	
Distributed energy system	
Optimization design	
Combined cooling heating and power	
Evaluation criteria	
Information entropy	
GAMS	

PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP ĐA CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ TỐI ƯU HỆ THỐNG PHÂN PHỐI NĂNG LƯỢNG

Phạm Thị Hồng Anh

Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 01/4/2024	Nghiên cứu này xây dựng mô hình tối ưu hóa cho hệ thống phân phối năng lượng (distributed energy system - DES) dựa trên các thiết bị chính của nó. Sử dụng thông tin nhu cầu về tải điện, sưởi ấm, làm lạnh và nước nóng, giá năng lượng, và các thông tin kỹ thuật và tài chính về các công nghệ tùy chọn, mô hình này được thiết lập bằng phương pháp lập trình phi tuyến. Kết quả tính toán bao gồm cấu hình tối ưu, kế hoạch vận hành tối ưu và ma trận chỉ số đánh giá. Để xác định phân bố trọng số, phương pháp đánh giá toàn diện đa tiêu chí được sử dụng, dựa trên nguyên lý năng lượng thông tin và phương pháp đánh giá chuyên gia. GAMS (General Algebraic Modeling System) được sử dụng trong nghiên cứu này để giải quyết bài toán vận hành tối ưu hệ thống phân phối năng lượng. Kết quả của nghiên cứu chỉ ra rằng hệ thống điện mặt trời được xác định là phương án tối ưu, nhờ chi phí vận hành thấp, tiết kiệm năng lượng và ảnh hưởng tích cực đến môi trường.
Ngày hoàn thiện: 29/5/2024	
Ngày đăng: 30/5/2024	
TỪ KHÓA	
Hệ thống phân phối năng lượng	
Tối ưu hóa thiết kế	
Hệ thống kết hợp lạnh, nhiệt và điện	
Tiêu chí đánh giá	
Entropy thông tin	
GAMS	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.10010>

Email: pthanh@ictu.edu.vn

<http://jst.tnu.edu.vn>

114

Email: jst@tnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của kinh tế toàn cầu, nhu cầu về năng lượng cũng không ngừng tăng lên. Trong những năm gần đây, vấn đề sử dụng tối ưu năng lượng và bảo vệ môi trường đã ngày càng trở nên cấp thiết [1]. Hệ thống phân phối năng lượng (Distributed Energy System – DES) là mô hình cho thấy có nhiều ưu điểm như: khai thác hiệu quả các dạng năng lượng, hệ số phát thải thấp và tin cậy. Nhiều quốc gia phát triển trên thế giới đã áp dụng thành công DES sử dụng khí tự nhiên, năng lượng tái tạo, điện năng; đây là hướng phát triển quan trọng của ngành công nghiệp năng lượng trong tương lai gần [2].

DES với sự đa dạng của các thiết bị tích hợp có khả năng cung cấp và đáp ứng nhu cầu đa dạng của phụ tải, điều này dẫn đến sự phức tạp trong quá trình lựa chọn và kết hợp các thiết bị và chiến lược vận hành của hệ thống trở nên khó khăn [3]. Nghiên cứu [4] đã tập trung vào tối ưu hóa dung lượng thiết bị của DES tại các vùng lãnh thổ khác nhau dựa trên yếu tố kinh tế. Kết quả tính toán cho thấy ứng dụng DES là phù hợp với các vùng nhiệt đới mùa hè và khí hậu lạnh vào mùa đông. Zhou và đồng nghiệp [5] đã phát triển mô hình tối ưu hóa bằng phương pháp lập trình tuyến tính số nguyên kết hợp cho nhiều nguồn năng lượng khác nhau. Jabbari và đồng nghiệp [6] đã sử dụng thuật toán di truyền để tối ưu hóa dung lượng thiết bị của hệ thống cung cấp nhiệt, điện và lạnh với mục tiêu chi phí hàng năm thấp nhất và hiệu suất sử dụng nhiên liệu cao nhất. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào tối ưu hóa chiến lược vận hành với các cấu trúc xác định, từ đó nghiên cứu sâu đặc tính hệ thống hoặc lựa chọn các thiết bị dựa trên đặc tính và yêu cầu sử dụng năng lượng mà chưa xây dựng hệ thống đánh giá hiệu quả.

Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến sự phát triển của DES là phương pháp đánh giá hệ thống hiệu quả. Các nghiên cứu trước đây thường xây dựng tiêu chuẩn đánh giá của hệ thống ba nguồn năng lượng theo tỷ lệ sử dụng năng lượng một lần, ví dụ như các tiêu chuẩn kỹ thuật cho hệ thống ba nguồn năng lượng gas-lạnh-điện yêu cầu tỷ lệ sử dụng năng lượng tổng hợp trung bình hàng năm đạt từ 70% đến 85%. Rõ ràng, chỉ có một tiêu chuẩn đánh giá không thể đánh giá được một cách hợp lý và chính xác hiệu suất của hệ thống phân phối năng lượng. Các nghiên cứu [7]-[9] mặc dù đã xây dựng nhiều phương pháp đánh giá khác nhau nhưng chúng rất khó để xác định phương pháp nào là chính xác nhất.

Do đó, bài báo này trên cơ sở cấu trúc của một số DES khác nhau tiến hành xây dựng mô hình giải bài toán tối ưu hóa phi tuyến (bao gồm cấu hình và kế hoạch vận hành của hệ thống). Bằng cách kết hợp xem xét tổng thể về chi phí đầu tư của hệ thống, chi phí vận hành hàng năm, lượng năng lượng tiêu thụ, tỷ lệ sử dụng năng lượng, lượng khí CO₂ thải ra hàng năm, lượng khí NO_x thải ra hàng năm và các chỉ số hiệu suất khác, nghiên cứu này xây dựng một hệ thống chỉ số đánh giá về kinh tế, tiêu thụ năng lượng và môi trường sử dụng nguyên lý thông tin entropy để xác định trọng số mục tiêu dựa trên sự khác biệt giữa các chỉ số. Kết quả tính toán cho thấy đã xác định một bộ trọng số mục tiêu khách quan cho từng chỉ số, sau đó kết hợp với đánh giá trọng số (chỉ số từ các chuyên gia) tạo ra một phương pháp đánh giá hệ thống phân phối năng lượng tương đối hoàn chỉnh.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Hệ thống năng lượng

Bảng 1. Mô tả hệ thống năng lượng

Loại	Hệ thống	Thành phần hệ thống
S1	Hệ thống truyền thống	Lưới điện + Điều hòa + Boiler khí đốt
S2	Hệ thống quang điện	Lưới điện + Pin mặt trời + Điều hòa + Boiler khí đốt
S3	Hệ thống pin nhiên liệu	Lưới điện + Cell pin nhiên liệu + Điều hòa
S4	Hệ thống turbine khí	Lưới điện + Turbine khí đốt + Hệ thống làm lạnh hấp thụ + Boiler khí đốt
S5	Hệ thống động cơ đốt trong	Lưới điện + động cơ đốt trong + Hệ thống làm lạnh hấp thụ + Boiler khí đốt

DES bao gồm nhiều dạng năng lượng: điện, nhiệt lạnh và sưởi bằng khí đốt. Cấu trúc được trình bày trong bảng 1. Các thiết bị cung cấp năng lượng chính được đề cập trong nghiên cứu này: lưới điện (với hiệu suất trung bình của nhà máy điện than truyền thống là 36% và tỷ lệ mất điện là 7%), động cơ đốt trong, turbine khí, tế bào nhiên liệu, điện mặt trời, khí gas, hệ thống làm lạnh hấp thụ, bộ trao đổi nhiệt... Tham số kỹ thuật của mỗi thiết bị được tóm tắt dựa trên các nghiên cứu trước đó, Bảng 2 [5], [7] – [9].

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật và chi phí của các thiết bị

Thiết bị	Chi phí (10 ⁶ VNĐ/ kW)	Chi phí vận hành (VNĐ/ kW)	Hiệu suất		Chu kỳ/ năm
			Điện	Nhiệt	
Lưới điện	---	---	0,36	---	---
Động cơ đốt trong	19,25	252	0,3	0,5	20
Turbine khí	27,65	238	0,25	0,55	30
Pin nhiên liệu	130,252	700	0,36	0,45	10
Quang điện	72,45	35	0,12	0,00	30
Boiler khí đốt	2,975	7	---	0,9	20
Hệ thống làm lạnh hấp thụ	3,5	28	---	1,05	20
Bộ trao đổi nhiệt	0,717	7	---	0,98	20

2.2. Mô hình tối ưu

2.2.1. Hàm mục tiêu

Trong thực tế, hầu hết các dự án kỹ thuật về DES đều được đánh giá mức độ khả thi theo khía cạnh kinh tế. Theo đó, mô hình tối ưu được xây dựng với chi phí hàng năm của từng hệ thống nhỏ nhất bao gồm: chi phí vốn đầu tư (C_{cap}), chi phí vận hành và bảo trì ($C_{O\&M}$), và chi phí tiêu thụ nhiên liệu (C_{fuel}). Cụ thể:

$$\text{Min } C_{total} = C_{cap} + C_{O\&M} + C_{fuel} \quad (1) \quad C_{cap} = \sum_{tech} I_{nvtech} C_{aptech} \frac{I}{1 - (1 + I)^{-L_{tech}}} \quad (2)$$

$$C_{O\&M} = \sum_{tech} O_{Mtech} \sum_m \sum_h E_{tech,m,h} \quad (3) \quad C_{fuel} = \sum_m \sum_h V_{gas,m,h} P_{gas,m,h} \quad (4)$$

Trong đó, thông số của thiết bị bao gồm: I_{nvtech} là giá thành thiết bị; C_{aptech} là công suất thiết kế tính toán tối ưu; I là tỷ lệ chiết khấu (lấy bằng 10%); L_{tech} là thời gian sử dụng; O_{Mtech} là chi phí vận hành thiết bị; $E_{tech,m,h}$ công suất tải; $V_{gas,m,h}$ là lượng gas tiêu thụ theo giờ; $P_{gas,m,h}$ là công suất khí đốt.

2.2.2. Ràng buộc toán học

a/ *Nhu cầu năng lượng*: Năng lượng cung cấp đảm bảo lớn hơn nhu cầu tiêu thụ (5), (6), (7):

$$E_{des,o,m,h} + E_{ep,m,h} \geq E_{dem,m,h} \quad (5) \quad C_{des,o,m,h} \geq C_{dem,m,h} \quad (6) \quad H_{des,o,m,h} \geq H_{dem,m,h} \quad (7)$$

b/ *Cân bằng năng lượng*: Các ràng buộc chủ yếu được xác định bởi quá trình sản xuất năng lượng (8)-(13):

$$\frac{V_{gas,m,h} L_{HVgas}}{E_{gas,m,h}} = E_{gas,m,h} \quad (8) \quad E_{gas,m,h} = E_{des,i,m,h} \quad (9) \quad E_{eq,i,m,h} \alpha_{eq} = E_{eq,o,m,h} \quad (10)$$

$$H_{eq,i,m,h} \alpha_{eq} = H_{eq,o,m,h} \quad (11) \quad C_{eq,i,m,h} \alpha_{eq} = C_{eq,o,m,h} \quad (12) \quad H_{dem,m,h} = H_{hw1,dem,m,h} + H_{hl,dem,m,h} \quad (13)$$

Trong đó, $V_{gas,m,h}$ là lượng khí tiêu thụ mỗi giờ; L_{HVgas} là nhiệt lượng khí đốt; $E_{gas,m,h}$ là lượng nhiệt cung cấp khí đốt theo giờ; $E_{des,i,m,h}$ là lượng nhiệt đầu vào của DES; α_{eq} , β_{eq} lần lượt là hiệu suất năng lượng điện và nhiệt đầu vào của DES; C_{Opeq} là hiệu suất làm mát DES. $H_{hw1, dem, m, h}$, $H_{hl, dem, m, h}$ tương ứng là nhu cầu điện cho nước nóng và sưởi ấm theo giờ.

2.3. Xây dựng mô hình chỉ số đánh giá

2.3.1. Các chỉ số kinh tế

a/ *Chi phí đầu tư thiết bị*: Chi phí đầu tư tổng ($C_{total,cap}$) phản ánh tổng chi phí đầu tư của các thiết bị trong hệ thống, bao gồm chi phí mua sắm và lắp đặt các thiết bị, công cụ, và cơ sở hạ tầng cần thiết cho việc triển khai hệ thống: $C_{total,cap} = \sum_{tech} I_{ntech} C_{aptech}$ (14)

b/ *Chi phí vận hành*: Bao gồm chi phí để duy trì hoạt động hàng năm của các thiết bị chính trong hệ thống (bảo dưỡng, vận hành, sửa chữa...) và chi phí nhiên liệu vận hành hàng năm:

$$C_{rc} = C_{O\&M} + C_{fuel} \quad (15)$$

2.3.2. Chỉ số tiêu thụ năng lượng

a/ *Tiêu thụ năng lượng sơ cấp*: Lượng tiêu thụ năng lượng sơ cấp (Q) trong hệ thống được xác định bằng cách kết hợp lượng nhiệt tiêu thụ từ khí đốt ($Q_{des,gas}$) và lượng điện mua vào ($Q_{des,ep}$) được chuyển đổi thành năng lượng tiêu thụ cơ bản: $Q = Q_{des,gas} + \frac{Q_{des,ep}}{\eta(1-\varphi)}$ (16)

với φ là hiệu suất nhiệt trung bình của nhà máy điện than truyền thống, η là tỷ lệ tổn thất trên đường dây tải điện.

b/ *Tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp*: Tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp $P_{ER,des}$ đề cập đến tỷ lệ giữa năng lượng đầu ra của hệ thống và mức tiêu thụ năng lượng sơ cấp. Tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp càng cao thì khả năng tiết kiệm năng lượng của hệ thống càng tốt [10].

$$P_{ER,des} = \frac{Q_e + Q_h + Q_c}{Q_{des,gas} + \frac{Q_{des,ep}}{\eta(-\varphi)}} \quad (17)$$

Trong đó Q_e , Q_h , Q_c lần lượt là mức tiêu thụ năng lượng nhiệt, điện và làm mát hàng năm.

2.3.3. Chỉ số môi trường

a/ *Lượng phát thải NO_x /năm*: Khí thải ô nhiễm từ hệ thống DES chủ yếu đến từ các tuabin khí, nồi hơi gas, động cơ đốt trong, pin nhiên liệu, điện năng sản xuất từ đốt than... Bài viết này chủ yếu nghiên cứu về phát thải NO_x và CO_2 . Lượng phát thải NO_x của từng thiết bị chính được thể hiện trong Bảng 3 [10], [11].

Bảng 3. Hệ số phát thải NO_x - kg/(MWh)

Thiết bị/ hệ thống	NO_x	Thiết bị/ hệ thống	NO_x	Thiết bị/ hệ thống	NO_x
Điện than	2,68	Pin nhiên liệu	0,005	Turbine khí	0,32
Turbine khí siêu nhỏ	0,2	Boiler khí	0,255	Bộ hấp thụ pin Li	0,100

b/ *Lượng phát thải CO_2 /năm*: Lượng phát thải CO_2 gồm ba phần: phát thải từ việc tiêu thụ khí tự nhiên, phát thải từ việc mua điện và phát thải từ rò rỉ chất làm lạnh [10] với V_{ANG} và E_{pur} là mức tiêu thụ nhiệt khí tự nhiên (GJ/năm) và mua điện hàng năm (MW/năm):

$$D_{CO_2} = 0,5985 V_{ANG} + 0,096081 E_{pur} \quad (18)$$

2.4. Xây dựng mô hình chỉ số đánh giá

2.4.1. Chuẩn hóa các chỉ số

Chúng ta có m hệ thống tham gia vào quá trình đánh giá với tập $Y = [y_1, y_2, \dots, y_m]$; n chỉ số đánh giá với tập $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$. Giá trị của chỉ số thứ j của giải pháp y_i có thể được biểu diễn

bằng a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$) có thể thu được ma trận chỉ số gồm $m \times n$ chỉ số đánh giá cho m hệ thống được biểu diễn bởi $A = [a_{ij}]_{m \times n}$ (19).

Đối với các chỉ báo có giá trị lớn, sử dụng công thức tiêu chuẩn hóa (20). Đối với các chỉ báo có giá trị chỉ báo nhỏ, công thức (21) được sử dụng để chuẩn hóa. Sau khi chuẩn hóa, chỉ số đánh giá $0 \leq b_{ij} \leq 1$, tức là ma trận chỉ số A được chuẩn hóa thành ma trận B . Tính tỷ lệ P_{ij} của giá trị chỉ số của chỉ báo thứ j theo phương án thứ i với ma trận chuẩn hóa P được xác định theo công thức toán học (22).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (19) \quad b_{ij} = \frac{x_i - \min x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (20)$$

$$b_{ij} = \frac{\max x_i - x_i}{\max x_i - \min x_i} \quad (21) \quad P_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m b_{ij}} \quad (22)$$

2.4.2. Entropy thông tin

Entropy thông tin có các tính chất như: tính duy nhất, tính cộng dồn và tính cực trị giống như entropy nhiệt học. Nếu entropy của một chỉ số càng nhỏ, tức là biến thiên của chỉ số đó càng lớn, cung cấp thông tin càng nhiều, thì vai trò của chỉ số đó trong đánh giá tổng hợp càng lớn, do đó trọng số của nó cũng cần được gán nhiều hơn và ngược lại. Phương pháp chọn trọng số dựa trên entropy là việc sử dụng giá trị entropy của các chỉ số đã được tính toán để xác định kích thước trọng số của chúng trong quá trình đánh giá tổng hợp. Giá trị entropy thông tin e_j của chỉ báo thứ j với $k=1/nm$:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (23)$$

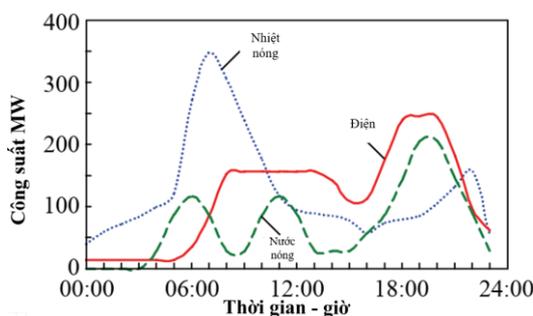
2.4.3. Xác định trọng số Entropy và kết quả đánh giá toàn diện

Trọng số entropy ω_j của chỉ báo thứ j có thể được tính theo công thức (24) và giá trị đánh giá toàn diện của giải pháp hệ thống thứ i được xác định theo công thức toán (25):

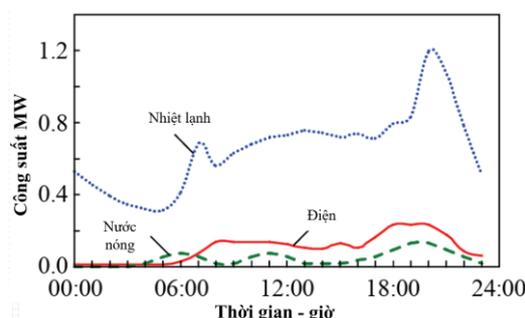
$$e_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (24) \quad v_{value,i} = \sum_{j=1}^n \omega_j P_{ij} \quad (25)$$

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Yêu cầu về tải



Hình 1. Nhu cầu phụ tải ngày điển hình mùa đông



Hình 2. Nhu cầu phụ tải ngày điển hình mùa hè

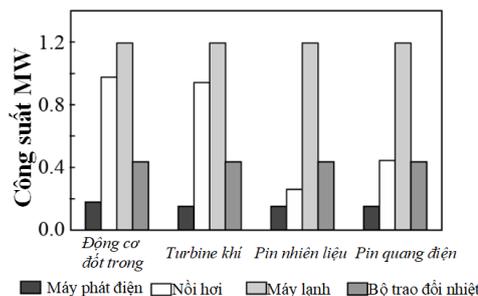
Bài báo này chọn một mô hình nhà cao tầng làm ví dụ với thông số: tổng diện tích khoảng 9600 m², diện tích mái là 1600 m², mỗi kW hệ thống pin quang điện được lắp đặt chiếm diện tích 6 m² (khoảng 260 kW). Phần mềm DeST [12] được sử dụng để tiến hành mô phỏng mức tiêu thụ

năng lượng tiêu thụ phụ tải theo giờ của tòa nhà trong 8760 giờ (năm). Hình 1 và 2 thể hiện đường cong phụ tải vào những ngày điển hình trong mùa đông và mùa hè. Do việc tính toán tối ưu hóa cho 8760 giờ trong cả năm phức tạp nên tính toán này giả định rằng nhu cầu hàng ngày trong tháng là như nhau, do đó, bài toán có thể được đơn giản hóa thành bài toán tối ưu hóa 288 giờ (12 × 24).

Giá điện theo thời gian sử dụng được trình bày trong Bảng 4 [13]; giá khí đốt tự nhiên là 1600 đồng/kWh và nhiệt trị của khí tự nhiên là 10 kW/h; thông tin kỹ thuật của thiết bị được trình bày trong Bảng 2. Hệ thống áp dụng chế độ vận hành độc lập.

Bảng 4. Giá điện theo thời gian

Mùa	Thời gian	Giá (VNĐ/kWh)
Mùa hè (tháng 7-9)	Giờ cao điểm (06h00-22h00)	3,905
	Giờ thấp điểm (22h00-06h00)	2,111
Mùa khác	Giờ cao điểm (06h00-22h00)	3,780
	Giờ thấp điểm (22h00-06h00)	1,794

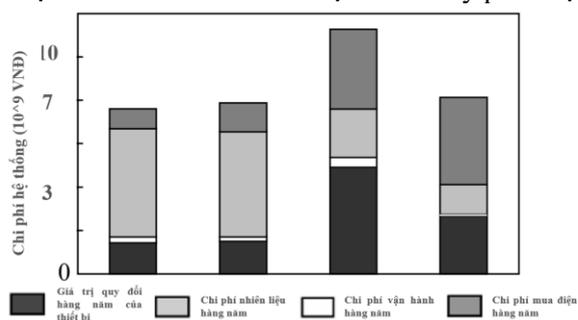


Hình 3. Kết quả tối ưu cấu hình hệ thống

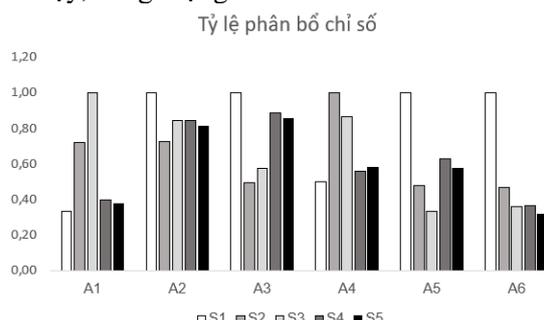
3.2. Phân tích kết quả tối ưu

Bài báo này sử dụng GAMS để giải quyết bài toán tối ưu [14]. Kết quả tính toán cho kết quả công suất máy nhiệt động lực là 180 kW và công suất turbine khí nén là 152 kW. Đối với S2 và S3, do thiết bị có giá thành cao, kết quả tối ưu hóa cho thấy dung lượng thiết bị nhỏ hơn. Để thông số máy phát sát với thực tế, lựa chọn giá trị công suất của máy phát điện là 150 kW và tiến hành tối ưu hóa công suất của các thiết bị khác và chiến lược vận hành của DES. Kết quả về cấu hình thiết bị được thể hiện như trong Hình 3.

Do nhu cầu về tải lạnh và tải nhiệt không thay đổi, dẫn đến sự biến đổi về dung lượng của bộ trao đổi nhiệt và máy làm lạnh không lớn. Dung lượng của bộ nồi hơi được tối ưu hóa cho S4 và S5 cao hơn nhưng không khác biệt nhiều là do cả hai hệ thống này đều sử dụng phương pháp làm lạnh hấp phụ bằng Bromide Lithium, nhu cầu về tải lạnh chủ yếu là từ nguồn nhiệt của hệ thống. S3 và S2 đều sử dụng công nghệ làm lạnh điện, do đó, sản lượng nhiệt chủ yếu để đáp ứng nhu cầu về tải nhiệt và S3 có thể tái chế nhiệt dư từ máy phát điện, vì vậy, dung lượng nồi hơi là nhỏ nhất.



Hình 4. Chi phí hàng năm của hệ thống



Hình 5. Biểu đồ phân bổ chi số

Các chi phí hàng năm của từng phương án sau khi tối ưu hóa được giới thiệu trong Hình 4 và bảng 5. Hệ thống có chi phí hàng năm cao nhất là S3. Điều này là do giá thành của thiết bị điện cao, dẫn đến việc chi phí đầu tư lớn. Ngoài ra, do hệ thống sử dụng điện năng để làm lạnh, nên lượng điện tiêu thụ và chi phí vận hành cũng tương đối cao. S2 với chi phí vận hành thấp nhất và tiêu thụ nhiên liệu ít nhất, nhưng do ảnh hưởng của tia UV, lượng điện tự tạo của pin quang điện ít hơn so với các hệ thống khác, do đó, tiêu thụ điện lớn dẫn đến chi phí mua điện cũng cao hơn. Chi phí S2 cũng rẻ hơn so với S3 và chi phí đầu tư vào thiết bị cũng ở mức trung bình. S4 và S5

có chi phí hàng năm thấp nhất là do chi phí đầu tư thiết bị thấp, chi phí bảo dưỡng thấp và chi phí mua điện cũng thấp. Vì DES sử dụng khí tự nhiên là nguồn năng lượng chính, nên chi phí mua nhiên liệu chiếm tỷ lệ lớn nhất trong chi phí hàng năm; tính kinh tế của hệ thống dễ bị ảnh hưởng bởi giá khí tự nhiên.

3.3. Kết quả tính toán chỉ số đánh giá

Kết quả tính toán tối ưu được giải theo phương pháp tính theo từng chỉ tiêu ở bảng 5. Xét phương diện chi phí đầu tư: S3 là phương án có chi phí đầu tư cao nhất do pin nhiên liệu có giá thành đắt; S1 là phương án có chi phí đầu tư thấp nhất do chủ yếu sử dụng điện năng từ cơ sở hạ tầng lưới điện sẵn có, ít phải đầu tư xây dựng. Xét trên phương diện chi phí vận hành: S1 là phương án có chi phí vận hành cao nhất do tiêu thụ lượng nhiên liệu lớn và giá điện cao. S2 là phương án có chi phí vận hành thấp nhất do điện năng chủ yếu sản xuất từ pin năng lượng mặt trời, tiêu thụ ít năng lượng sơ cấp.

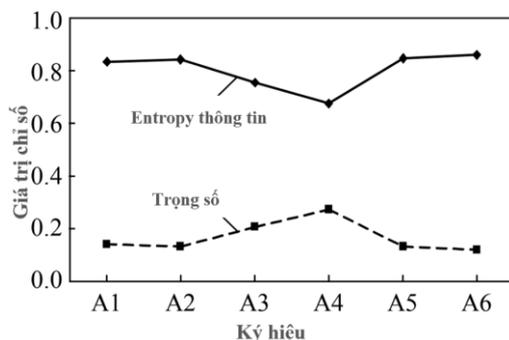
Tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp (%) cũng phản ánh đúng tính chất của hệ thống. Cụ thể S2 là phương án có tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp vượt quá 1 do sử dụng năng lượng mặt trời để tạo ra điện, cao nhất trong số tất cả các giải pháp của hệ thống. S3 sử dụng điện lạnh, COP của điện lạnh là 3,6 và tỷ lệ tổn thất đường dây là 7% [15] nên tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp toàn diện cũng vượt quá 1. S1 có mức sử dụng năng lượng sơ cấp thấp nhất ($0,67 < 1$) do điện năng chủ yếu được sản xuất từ than.

Trên phương diện đánh giá lượng phát thải hàng năm, S1 sử dụng năng lượng đốt than nên lượng phát thải CO_2 và NO_x hàng năm ở mức cao nhất. Hệ thống năng lượng sạch hơn là S2 và S3. Do lượng điện lưới S2 mua lớn và hệ số phát thải NO_x của các nhà máy nhiệt điện than lớn nên lượng phát thải NO_x hàng năm của S2 không phải là thấp nhất, tuy nhiên, điện tạo ra từ pin quang điện không chứa CO_2 và NO_x do các chất ô nhiễm tạo ra.

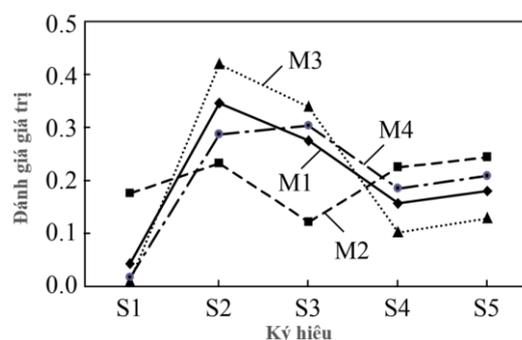
Bảng 5. Kết quả tính toán các chỉ số đánh giá

Ký hiệu	Chỉ số	S1	S2	S3	S4	S5
A1	Chi phí đầu tư (10^6 VNĐ)	9 695	20 895	29 015	11 515	10 850
A2	Chi phí vận hành (10^6 VNĐ)	6 615	4 795	5 565	5 565	5 355
A3	Năng lượng tiêu thụ (MWh)	5 282	2 622	3 024	4 684	4 516
A4	Tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp %	66,66	134,2	116,3	75,1	77,9
A5	Lượng khí thải CO_2 hàng năm (tấn)	153,84	73,60	51,10	96,30	88,30
A6	Lượng khí thải NO_x hàng năm (tấn)	4,21	1,97	1,52	1,54	1,33

3.4. Kết quả đánh giá phương pháp trọng số Entropy



Hình 6. Giá trị và trọng số entropy của chỉ báo



Hình 7. Kết quả kết hợp với trọng số đánh giá

Tất cả các chỉ số của từng giải pháp hệ thống đều được chuẩn hóa và thu được sơ đồ phân bố như trong Hình 5. Có thể thấy rằng sự khác biệt giữa các chỉ số A3 và A4 là lớn nhất (Hình 6). Kết quả cho thấy các hệ thống khác nhau có sự khác biệt lớn nhất về mức tiêu thụ năng lượng sơ

cấp và sử dụng năng lượng sơ cấp, giá trị entropy thông tin tương ứng là nhỏ nhất, trong tính toán đánh giá cuối cùng, hai chỉ số này có trọng số lớn nhất.

Theo chỉ số entropy thông tin và trọng số chỉ số, giá trị đánh giá của từng giải pháp hệ thống có thể được tính theo công thức (25), như trong Bảng 6. Sau khi xem xét toàn diện các khía cạnh kinh tế, tiêu thụ năng lượng, môi trường..., giải pháp S2 do chi phí vận hành, năng lượng sơ cấp và các yếu tố môi trường nhận được giá trị đánh giá cao nhất. S1 tương đối tiết kiệm chi về chi phí đầu tư nhưng lại có những bất cập về tiêu thụ năng lượng, môi trường và chi phí vận hành nên có giá trị đánh giá thấp nhất.

Bảng 6. Kết quả đánh giá

Hệ thống	S1	S2	S3	S4	S5
Kết quả	0,04	0,39	0,30	0,12	0,15

$$\beta_j = \frac{\alpha_j \omega_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j \omega_j} \quad (26)$$

Bảng 7. Trọng số quan trọng

Đánh giá chuyên gia	A1	A2	A3	A4	A5	A6
M1	---	---	---	---	---	---
M2	0,60	0,20	0,05	0,05	0,05	0,05
M3	0,05	0,05	0,60	0,20	0,05	0,05
M4	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,20

Phương pháp trọng số entropy có thể được sử dụng để tính toán chính xác và khách quan hơn dựa trên đặc điểm khác biệt của các chỉ số thực tế. Trong xây dựng dự án thực tế, một số chỉ số nhất định thường cần được ưu tiên. Do đó, theo mục đích của người đánh giá và các chuyên gia trọng số chỉ báo α_j ($j = 1, 2, \dots, n$) kết hợp với trọng số entropy ω_j của chỉ báo, có thể tính trọng số toàn diện β_j của chỉ báo j theo công thức (26), từ đó tính được giá trị của chỉ số j .

Nghiên cứu này đặt ra các trọng số tầm quan trọng tương ứng với các phương pháp đánh giá chuyên gia khác nhau như trong Bảng 7. Đó là phương pháp đánh giá không phải chuyên gia (M1), xác định trọng số dựa trên các giá trị chỉ số khách quan và sau đó đánh giá các giải pháp hệ thống khác nhau M3, M4. Chúng lần lượt đại diện cho các phương pháp đánh giá của chuyên gia tập trung vào tính kinh tế, tiêu thụ năng lượng, bảo vệ môi trường,... cũng như các trọng số đánh giá quan trọng tương ứng. Dựa trên tính toán này, trọng số toàn diện sẽ thu được và sau đó các giải pháp hệ thống khác nhau được đánh giá.

Kết quả tính toán được thể hiện trên Hình 7. Có thể thấy, trong số các giá trị đánh giá của từng giải pháp hệ thống thì S2 và S3 có đánh giá cao hơn do có chi phí vận hành thấp hơn, tỷ lệ sử dụng năng lượng sơ cấp và hiệu quả bảo vệ môi trường đều tốt; S1 có giá trị đánh giá thấp nhất vì chỉ được đánh giá cao hơn về mặt chi phí đầu tư nhưng lại có đặc điểm kém về mặt tiêu thụ năng lượng và bảo vệ môi trường. Về kết quả đánh giá M2, có thể thấy S5 và S4 có ưu điểm lớn hơn, chủ yếu là do chúng có chi phí đầu tư cao. Kết quả đánh giá của M3 cho thấy S2 có giá trị đánh giá cao nhất do sử dụng năng lượng mặt trời và tiêu thụ ít năng lượng sơ cấp. Trong kết quả đánh giá M4, S3 có giá trị đánh giá lớn nhất, chủ yếu do hệ thống phát điện S3 phát thải ít CO₂ và NOx hơn, giá trị đánh giá S2 thấp hơn S3 do khả năng phát điện của pin quang điện bị phụ thuộc vào lượng bức xạ mặt trời dẫn đến hệ thống cần sử dụng nhiều điện từ lưới điện hơn, còn điện lưới chủ yếu đến từ sản xuất điện đốt than, gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng.

4. Kết luận

Bài viết này tính toán mức tiêu thụ năng lượng theo giờ trong năm dựa trên mô phỏng mức tiêu thụ năng lượng của một tòa nhà điển hình dựa trên các chiến lược thiết kế và vận hành hệ thống năng lượng. Mô hình đánh giá thiết lập hệ thống các chỉ số đánh giá trên cơ sở xem xét toàn diện ba khía cạnh bao gồm: kinh tế, tiêu thụ năng lượng và môi trường từ đó tính toán và giải các giá trị chỉ số sử dụng phương pháp trọng số entropy; qua đó đánh giá ưu, nhược điểm của các giải pháp hệ thống. Cụ thể:

1) Thiết lập và giải bài toán tối ưu phi tuyến để đồng thời tìm ra dung lượng thiết bị và chiến lược vận hành hệ thống của DES.

2) Phương pháp trọng số entropy có thể được sử dụng để xác định trọng số của các chỉ số đánh giá một cách khách quan hơn, từ đó dễ dàng tiến hành đánh giá chất lượng của hệ thống. Đối với DES được nghiên cứu, hệ thống pin quang điện có ưu điểm là chi phí vận hành thấp, tiết kiệm năng lượng và bảo vệ môi trường.

3) Sử dụng phương pháp trọng số entropy kết hợp với phương pháp đánh giá của chuyên gia, nó không chỉ phản ánh khách quan trọng số của các chỉ số đánh giá mà còn tính toán trọng số toàn diện theo yêu cầu cụ thể của từng hệ thống. Kết quả tính toán cho thấy: khi tập trung vào các chỉ tiêu kinh tế thì nên ưu tiên hệ thống động cơ đốt trong và hệ thống đốt sử dụng khí tự nhiên; khi tập trung vào các chỉ tiêu tiêu thụ năng lượng thì pin quang điện cần được ưu tiên vì sử dụng ít điện năng từ lưới điện; khi xem xét các chỉ số về môi trường, hệ thống pin nhiên liệu cần được ưu tiên, vì nó cung cấp một lượng lớn năng lượng và ít sử dụng điện năng từ lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] C. Klemm and F. Wiese, "Indicators for the Optimization of Sustainable Urban Energy Systems Based on Energy System Modeling," *Energy, Sustainability and Society*, vol. 12, no. 1, p. 3, 2022.
- [2] C. K. Das, O. Bass, G. Kothapalli, T. S. Mahmoud, and D. Habibi, "Optimal Placement of Distributed Energy Storage Systems in Distribution Networks Using Artificial Bee Colony Algorithm," *Applied Energy*, vol. 232, pp. 212-228, 2018.
- [3] G. Xu, W. Yu, D. Griffith, N. Golmie, *et al.*, "Toward Integrating Distributed Energy Resources and Storage Devices in Smart Grid," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 192-204, 2016.
- [4] H. B. Ren, W. S. Zhou, *et al.*, "Optimal option of distributed energy systems for building complexes in different climate zones in China," *Applied Energy*, vol. 91, no. 1, pp. 156-165, 2012.
- [5] Z. Zhou, P. Liu, Z. Li, *et al.*, "An engineering approach to the optimal design of distributed energy systems in China," *Applied Thermal Engineering*, vol. 53, no. 2, pp. 387-396, 2013.
- [6] Jabbari, Banafsheh, *et al.*, "Design and optimization of CCHP system incorporated into kraft process, using Pinch Analysis with pressure drop consideration," *Applied Thermal Engineering*, vol. 61.1, pp. 88-97, 2013.
- [7] H. Ren, W. Gao, Zhou, *et al.*, "Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan," *Energy Policy*, vol. 37, no. 12, pp. 5484-5493, 2009.
- [8] Y. Kun, D. Yan, Z. Neng, *et al.*, "Multi-criteria integrated evaluation of distributed energy system for community energy planning based on improved grey incidence approach: A case study in Tianjin," *Applied Energy*, vol. 229, pp. 352-363, 2018.
- [9] D. Maraver, A. Sin, F. Sebastian, *et al.*, "Environmental assessment of CCHP (combined cooling heating and power) systems based on biomass combustion in comparison to conventional generation," *Energy*, vol. 57, pp. 17-23, 2013.
- [10] Z. Kang, J. Sun, X. Yang, *et al.*, "Research on Combined Heating Supply System based on Groundwater Heat Pump and Steam Turbine," *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 1521-1527, 2015.
- [11] Y. Yang, S. Zhang, Y. Xiao, *et al.*, "Application of monte carlo method in uncertainty evaluation for cogeneration systems," *Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, vol. 33, no. 2, pp. 16-23, 2013.
- [12] Chen, Zhao, L. Bai, *et al.*, "Simulation of residential energy consumption based on software of DeST," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 448, pp. 1269-1272, 2014.
- [13] T. H. A. Pham and T. N. D. Pham, "Research influences the structure to the operation of the energy hub," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 200, no. 07, pp. 55-62, 2019.
- [14] M. R. Bussieck and A. Meeraus, "General algebraic modeling system (GAMS)," in *Modeling Languages in Mathematical Optimization*, J. Kallrath, (eds), Springer, 2004, pp.137-157.
- [15] B. J. Chen *et al.*, "Theoretical line loss calculation of distribution network based on the integrated electricity and line loss management system," *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), IEEE*, 2018, pp. 2531-2535.