MÔ HÌNH ENERGY HUB - ỨNG DỤNG KHAI THÁC TỐI ƯU NĂNG LƯỢNG TẠI KHÁNH HÒA VÀ CÁC TỈNH DUYÊN HẢI NAM TRUNG BỘ

Hà Thanh Tùng[1*], Phạm Thị Hồng Anh[2]
[1]Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên,
[2]Trường Đại học Công nghệ thông tin & Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này đề xuất và tính toán vận hành tối ưu mô hình trung tâm năng lượng Energy hub (EH) áp dụng cho nhóm phụ tải khu vực Khánh Hòa và các tỉnh vùng duyên hải Nam Trung bộ nhằm khai thác tối ưu lợi thế về nguồn năng lượng tái tạo, tiết kiệm chi phí và nâng cao chất lượng dịch vụ của ngành du lịch địa phương, phục vụ phát triển kinh tế biển. Bài toán tối ưu hóa chi phí sử dụng năng lượng thiết lập dựa trên cơ sở nhu cầu phụ tải theo ngày và biểu giá năng lượng điện linh hoạt. Mô hình đề xuất có xét đến sự tham gia của nguồn điện gió, năng lượng mặt trời, khí tự nhiên và hệ thống thiết bị tích trữ năng lượng điện BESS. Ngôn ngữ lập trình bậc cao GAMS được sử dụng để giải bài toán cực tiểu chi phí sử dụng năng lượng trong ngày thông qua các kịch bản vận hành khác nhau của mô hình EH đề xuất. So sánh với hình thức cung cấp năng lượng điện truyền thống, kết quả tính toán cho thấy mô hình EH tăng hiệu quả khai thác và sử dụng tối ưu năng lượng hơn so với chỉ sử dụng duy nhất một dạng năng lượng điện.

Từ khóa: *điện gió; mặt trời; năng lượng; BESS, GAMS.*

Ngày nhận bài: 28/10/2020; Ngày hoàn thiện: 28/11/2020; Ngày đăng: 30/11/2020

ENERGY HUB MODEL - APPLIED ENERGY OPTIMAL EXPLOITATION IN KHANH HOA PROVINCE AND SOUTH CENTRAL COAST

Ha Thanh Tung[1*], Pham Thi Hong Anh[2]
[1]TNU - University of Technology,
[2]TNU - University of Information and Communication Technology

ABSTRACT

This paper proposes and calculates the optimal operation of the energy hub (EH) model for the sub-load group in Khanh Hoa area and the provinces in the South Central Coast region, in order to maximize the advantages on renewable energy sources, save costs and improve the service quality of the local tourism industry, and serve the development of the marine economy. The problem of optimizing the cost of energy use is based on daily load demand and flexible electricity tariff. The proposed model considers the involvement of wind power, solar energy, natural gas and BESS energy storage system. High-level programming language GAMS is used to solve the minimization problem of energy cost in a day through different operating scenarios of the proposed EH model. Compared with the traditional form of electric power supply, the calculation results show that the EH model increases the efficiency of exploitation and optimal utilization of energy compared to using only one form of electrical energy.

Keywords: *wind energy; solar; energy; BESS; GAMS*

Received: 28/10/2020; Revised: 28/11/2020; Published: 30/11/2020

* Corresponding author. *Email: tunganh@tnut.edu.vn*

1. Giới thiệu

Sử dụng tối ưu năng lượng là một trong những giải pháp được quan tâm hàng đầu hiện nay trước sự bất ổn về cân bằng năng lượng và các vấn đề nghiêm trọng về tài nguyên môi trường sinh thái. Gần đây, mô hình mạng lưới năng lượng (Energy internet) sử dụng đồng thời nhiều dạng năng lượng khác nhau đã cho thấy một bước tiến mới trong công nghệ khai thác và sử dụng hiệu quả năng lượng [1]. Trong số các nghiên cứu về hệ thống mạng lưới năng lượng [2]-[5], đáng chú ý nhất phải kể đến khái niệm về mô hình trung tâm năng lượng (Energy hub -EH) của Viện Công nghệ liên bang Thụy Sĩ Andersson với mô hình nhiều dạng năng lượng khác nhau được tiến hành kết nối thông qua khâu chuyển hóa, điều tiết, lưu trữ [6]. Hiện nay, EH được coi như một nền tảng cơ bản mới để xây dựng nên hệ thống năng lượng. Mô hình này đã có nhiều nghiên cứu đề cập đến như: [6] tiến hành phân tích mô hình hệ thống năng lượng dựa trên khái niệm EH; [7] thiết lập phương trình trạng thái của khí tự nhiên và hệ thống điện hỗn hợp; [8] xem xét dựa trên mô hình EH của thiết bị tích trữ điện năng đưa ra phương pháp tối ưu phân đoạn theo dòng thời gian và xác định được cấu trúc tối ưu của EH.

Ngày nay, trước tốc độ phát triển không ngừng của xã hội, nhu cầu sử dụng năng lượng theo đó cũng không ngừng gia tăng và ngày trở nên đa dạng. Những mô hình cung cấp năng lượng truyền thống trước đây đã không còn phù hợp. Mô hình hệ thống năng lượng do một dạng năng lượng duy nhất là điện năng mặc dù có những ưu điểm nổi trội trong việc truyền tải, tích trữ... nhưng cũng có những mặt hạn chế không nhỏ như các thiết bị nhiệt được chuyển hóa từ điện năng phân phối nhỏ lẻ không tập trung dẫn đến vấn đề quản lý nhu cầu phụ tải trở nên phức tạp. Thêm vào đó, phụ tải đa phần được thiết kế theo cấu trúc hệ thống; điển hình như tổ hợp hệ thống điện, khí tự nhiên và điều hòa không khí của các trung tâm thương mại, tòa nhà cao tầng giúp thuận lợi hơn cho quá trình quản lý, phân phối năng lượng. Nhiều mô hình đã được giới thiệu nhằm phù hợp hơn với điều kiện sử dụng mới. Những mô hình đã được đề xuất trước đây có sự hỗ trợ qua lại giữa điện năng và nhiệt năng dẫn đến tăng khả năng linh hoạt và độ tin cậy của mô hình [9], [10].

Tại Việt Nam, Energy hub và Energy internet vẫn là những khái niệm còn khá mới mẻ, chưa có một dự án thực tế nào được triển khai mà mới chỉ dừng lại ở các nghiên cứu về mặt học thuật [11]-[13]. Khu vực Khánh Hòa và các tỉnh vùng duyên hải Nam Trung bộ có nguồn tài nguyên lớn nhất là du lịch và kinh tế biển, vị trí địa lý thuận lợi, cơ sở hạ tầng đáp ứng nhu cầu của các nhà đầu tư; chính vì thế, nhu cầu sử dụng năng lượng theo thời gian cũng có những bước tăng đột biến và đa dạng. Hơn nữa, với vị trí địa lý đặc thù của mình, khu vực này cũng có tiềm năng lớn để khai thác các dạng năng lượng mới và tái tạo như năng lượng mặt trời và gió (Hình 1).

Hình 1. *Bản đồ địa lý tỉnh Khánh Hòa*

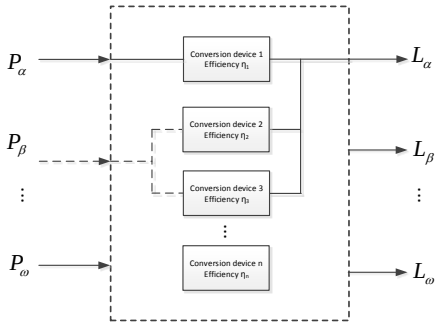
Vì vậy, bài báo này sẽ tiến hành phân tích, đưa ra mô hình EH áp dụng vào thực tiễn, đáp ứng đồng thời nhu cầu sử dụng điện, nhiệt và lạnh; đồng thời giải quyết bài toán vận hành tối ưu dựa trên cơ sở áp dụng biểu giá năng lượng hiện nay đối với khu vực phụ tải sinh hoạt phục vụ cho du lịch. Mô hình toán được xây dựng với hàm mục tiêu tổng chi phí năng lượng là nhỏ nhất; các ràng buộc bao gồm:

giới hạn công suất thiết bị, cân bằng năng lượng, biểu giá năng lượng. Kết quả tính toán là cơ sở dữ liệu đáng tin cậy trong việc vận hành tối ưu hệ thống năng lượng; từ đó, tiết kiệm chi phí cho người sử dụng, đồng thời góp phần nâng cao độ tin cậy và hiệu suất quản lý nhu cầu sử dụng nhờ cắt giảm đỉnh của đồ thị phụ tải điện.

2. Mô hình Energy hub

2.1. Mô tả

Khái niệm và cấu trúc của EH đã được tổng hợp ở nghiên cứu [14]; theo đó, EH sử dụng bộ định tuyến năng lượng làm trung tâm điều khiển, chuyển đổi tối ưu năng lượng với năng lượng đầu ra là điện, nhiệt, lạnh vv. Mục tiêu của mô hình nhằm chuyển đổi lẫn nhau giữa các nguồn năng lượng khác nhau để có thể tận dụng tối đa năng lượng hiệu quả, hợp lý và thân thiện với môi trường, đáp ứng nhu cầu đa dạng của người sử dụng. Do đó, một cách tổng quát, EH được xem như một nút trong mạng lưới năng lượng với nhiều đầu vào và đầu ra.

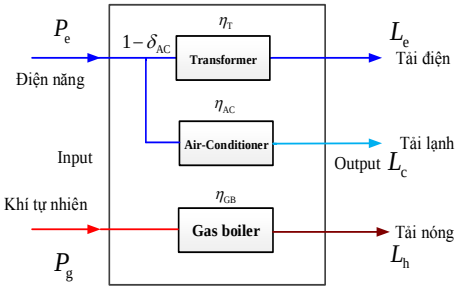


Hình 2. *Mô hình trung tâm năng lượng (Energy hub)*

Các trung tâm năng lượng được mô tả như Hình 2. Trong đó, α, β, ...ω đại diện cho một dạng năng lượng. *P, L* ký hiệu năng lượng đầu vào, ra của các dạng năng lượng tương ứng. Mô hình EH được sử dụng với n thiết bị chuyển đổi tương ứng với hiệu suất η_1, η_2... đến η_n.

2.2. Mô hình EH đề xuất

Như đã giới thiệu ở phần mở đầu, để thuận tiện hơn cho việc quản lý năng lượng, thành phần phụ tải hiện nay được phân tách khá rõ. Mô hình sử dụng năng lượng truyền thống trước đây chủ yếu thông qua hệ thống lưới điện phân phối; trong đó, nhiệt năng được cung cấp bởi các thiết bị chuyển hóa từ năng lượng điện một cách nhỏ lẻ không tập trung dẫn đến vấn đề quản lý nhu cầu phụ tải trở nên phức tạp. Được nâng cấp ở mức độ cao hơn, phụ tải nhiệt khu vực dân cư được cung cấp riêng từ mạng lưới khí tự nhiên như ở Hình 3.



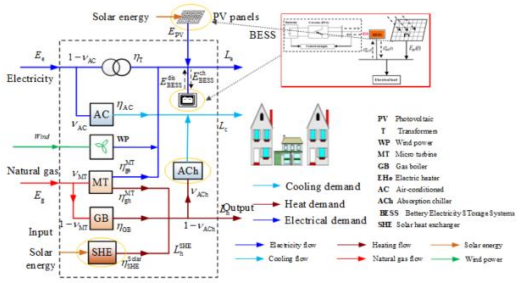
Hình 3. *Một mô hình cung cấp năng lượng truyền thống*

Quá trình chuyển hóa năng lượng từ điện năng $P_e(t)$ và khí tự nhiên $P_g(t)$ tại thời điểm t đáp ứng nhu cầu sử dụng điện năng, nhiệt năng, và nhiệt lạnh của phụ tải lần lượt là: $L_e(t)$, $L_h(t)$, và $L_c(t)$ thông qua máy biến áp (Transformer), máy lạnh trung tâm AC (Air-Conditioner) và nồi hơi GB (Gas boiler) được mô tả như sau:

$$\begin{aligned} P_e(t) &= L_e(t)/\eta_T + L_c(t)\eta_{AC} \\ P_g(t) &= L_h(t)/\eta_{GB} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó, η_{AC}, η_{GB}, η_T lần lượt là hiệu suất làm việc của các thiết bị AC, GB, và máy biến áp. Mô hình được giới thiệu nêu trên mặc dù phân tách riêng biệt hệ thống cung cấp điện, nhiệt, và lạnh cho phụ tải tuy nhiên lại chưa có sự liên kết, trao đổi giữa điện năng và khí tự nhiên, dẫn đến độ tin cậy và khả năng linh hoạt tương đối thấp. Do đó, để khắc phục nhược điểm này, đồng thời có thể khai thác triệt để các ứng dụng năng lượng tái tạo và hệ thống tích trữ năng lượng điện, nhóm

nghiên cứu đề xuất sử dụng mô hình EH có cấu trúc được giới thiệu như Hình 4.



Hình 4. *Mô hình EH đề xuất*

Mô hình đề xuất đảm bảo mục tiêu đáp ứng nhu cầu (điện, nhiệt, lạnh) đa dạng của phụ tải khu du lịch với năng lượng đầu vào bao gồm điện năng E_e và khí tự nhiên E_g. Một phần năng lượng điện được cung cấp bổ sung thông qua PV và WP. BESS đóng vai trò lưu trữ và phát điện tùy theo chế độ vận hành của mô hình. Năng lượng đầu ra của mô hình EH bao gồm điện, nhiệt và lạnh. Trong đó: năng lượng điện L_e được cung cấp chủ yếu thông qua mạng lưới điện, turbin khí MT (Micro turbine) và PV. Lượng nhiệt lạnh L_c được cung cấp bởi một phần máy lạnh trung tâm AC và thiết bị nhiệt lạnh ACh; nhiệt năng L_h được cung cấp từ MT, GB và một phần từ SHE. Như vậy, có thể thấy thông qua mô hình này, nhu cầu sử dụng năng lượng điện nhiệt, lạnh có sự chuyển đổi qua các thiết bị khá linh hoạt, đồng thời có thể khai thác triệt để các ứng dụng từ nguồn năng lượng mặt trời.

3. Mô hình toán

3.1. Hàm mục tiêu

Vận hành tối ưu hóa hệ thống năng lượng là hình thức phân phối tối ưu các dạng năng lượng nhằm đáp ứng các mục tiêu vận hành như: chi phí vận hành nhỏ nhất, lượng phát thải Carbon nhỏ nhất hoặc là tối đa hóa lợi ích của các dạng năng lượng mới. Đồng thời, thỏa mãn các ràng buộc về mặt kỹ thuật của hệ thống như: công suất giới hạn, cân bằng năng lượng, giới hạn chuyển đổi…vv

Mô hình tối ưu cơ bản được thể hiện dưới biểu thức (2):

$$\begin{cases} \min f(P) \\ s.t. L = CP \\ \underline{P} \le P \le \overline{P} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó, mô hình bao gồm các dạng năng lượng khác nhau sẽ có sự phân phối khác nhau. L = CP là điều kiện vận hành của bản thân EH (cân bằng năng lượng vào ra), phản ánh mối quan hệ tổng hợp giữa các dạng năng lượng trong quá trình chuyển đổi, biểu diễn các điều kiện ràng buộc về hệ thống và thiết bị vận hành… Mục tiêu của bài toán vận hành tối ưu chính là giảm thiểu tối đa chi phí thanh toán sử dụng năng lượng của hệ thống. Do vậy, nếu gọi $c_e(t)$, $c_g(t)$ lần lượt là giá 1 kWh năng lượng điện và gas tại thời điểm t [USD/kWh], ta sẽ có hàm mục tiêu chi phí như sau:

$$\text{Min EPC} = \sum_{t=1}^{24} \left[E_e(t) c_e(t) + E_g(t) c_g(t) \right] \quad (3)$$

3.2. Các ràng buộc

3.2.1. Cân bằng năng lượng

a. Ràng buộc cân bằng năng lượng của mô hình EH:

$$\begin{cases} L_e(t) = E_e(t)\left(1-\nu_{AC}(t)\right)\eta_T + E_g(t)\nu_{MT}(t)\eta_{ge}^{MT} + E_{BESS}^{dis}(t) - E_{BESS}^{ch}(t) + E_{PV}(t) + E_{WP}(t) \\ L_h(t) = \left[E_g(t)\left(\nu_{MT}\eta_{gh}^{MT} + (1-\nu_{MT})\eta_{GB}\right) + L_h^{SHE}(t) \right]\left(1-\nu_{ACh}\right) \\ L_c(t) = E_e(t)\nu_{AC}(t)\eta_e^{AC} + \left[E_g(t)\left(\nu_{MT}\eta_{gh}^{MT} + (1-\nu_{MT})\eta_{GB} \right) + L_h^{SHE}(t) \right]\nu_{ACh}\eta_h^{ACh} \end{cases} \quad (4)$$

b. Ràng buộc cân bằng năng lượng của BESS

$$\begin{cases} \sum_{t=1}^{H_1} \eta_{BESS} E_{BESS}^{ch}(t) = \sum_{t=1}^{H_2} E_{BESS}^{dis}(t) \\ H_1 + H_2 = 24 \end{cases} \quad (5)$$

3.2.2. Thời gian phóng, nạp của BESS

$$\begin{cases} \delta_{BESS}^{ch}(t_i) E_{BESS}^{ch}(t_i) > 0 \Leftrightarrow \delta_{BESS}^{ch}(t_i) = 1 \\ \delta_{BESS}^{dis}(t_i) E_{BESS}^{dis}(t_i) > 0 \Leftrightarrow \delta_{BESS}^{dis}(t_i) = 1 \\ \delta_{BESS}^{dis}(t_i) + \delta_{BESS}^{ch}(t_i) = 1 \\ \delta_{BESS}^{dis}(t_i) \times \delta_{BESS}^{ch}(t_i) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

3.2.3. Giới hạn công suất

$$0 \le E_e(t), E_e(t) \le E_e^{\max} \quad (7)$$

$$0 \le E_{BESS}^{dis}(t), E_{BESS}^{ch}(t) \le E_{BESS}(max) \quad (8)$$

3.2.4. Giới hạn chuyển đổi

$$0 \le \nu_{AC}(t), \nu_{MT}(t), \nu_{ACh}(t) \le 1 \quad (9)$$

3.2.5. Biểu giá năng lượng

Biểu giá điện cho khu vực dân cư được xác định theo biểu giá TOU [15]. TOU giá là hình thức đơn giản nhất của giá năng động. Mục tiêu chính của chương trình định giá là để khuyến khích việc giảm tiêu thụ năng lượng trong giờ cao điểm.

Mức giá điện khác nhau theo 3 cấp độ như sau:

$$c_e(t) = \begin{cases} c_e^{\max} & \text{(On-peak)} \\ c_e^{normal} & \text{(Mid-peak)} \\ c_e^{\min} & \text{(Off-peak)} \end{cases} \quad (10)$$

Biểu giá năng lượng đóng vai trò quan trọng trong hàm mục tiêu (3). Vấn đề tối ưu hóa được xem xét trên giá khí tự nhiên (Nartural gas) và giá điện. Trong đó, giá khí đốt tự nhiên đối với khu vực dân cư là không đổi và được xác định theo [16]:

$$c_g(t) = \text{const} \ [\$/kWh] \quad (11)$$

Vậy, yêu cầu của hệ thống là giải bài toán tối ưu để tìm tập nghiệm

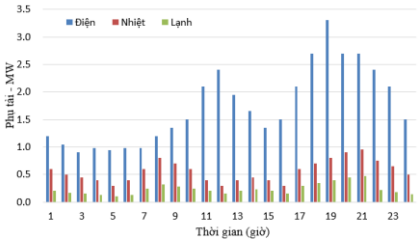
X={$E_g(t)$, $E_e(t)$, $\nu_{ACh}(t)$, $\nu_{AC}(t)$, $\nu_{MT}(t)$, $E_{BESS}^{dis}(t)$, $E_{BESS}^{ch}(t)$ } thỏa mãn hàm mục tiêu (3) với các ràng buộc (4-10).

4. Tính toán áp dụng

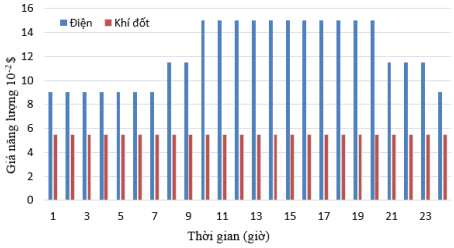
Để làm rõ tính ưu việt của mô hình, bài báo tiến hành tính toán nhu cầu năng lượng đầu vào mua từ hệ thống và chi phí năng lượng/ngày giữa hai mô hình được giới thiệu ở Hình 4 và Hình 3 với cùng dữ liệu tính toán như sau:

4.1. Dữ liệu tính toán

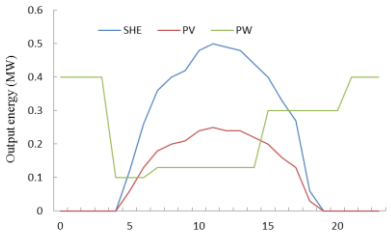
Dữ liệu tính toán gồm nhu cầu sử dụng năng lượng (Hình 5); biểu giá năng lượng (Hình 6); công suất phát của PV, SHE và WP (Hình 7).



Hình 5. *Nhu cầu tiêu thụ năng lượng điện, nhiệt, lạnh trong ngày của phụ tải*



Hình 6. *Biểu giá năng lượng điện và khí tự nhiên*



Hình 7. *Công suất phát của PV, SHE và WP - một ngày điển hình*

Thông số thiết bị và giới hạn công suất hệ thống được trình bày lần lượt trên Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. *Hiệu suất thiết bị*

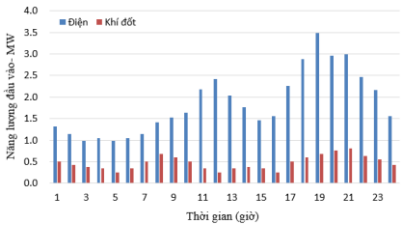
η_e^{AC}	η_{ge}^{MT}	η_{GB}	η^{T}	η_{gh}^{MT}	η_h^{ACh}
0.85	0.4	0.88	0.95	0.5	0.9

Bảng 2. *Công suất giới hạn của hệ thống*

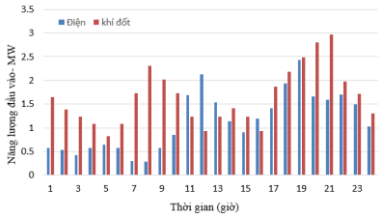
E_e^{max} (MW)	E_g^{max} (MW)
5	3

4.2. Kết quả tính toán

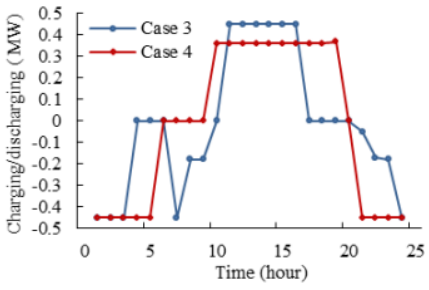
Mô hình đề xuất được lập chương trình tính toán bằng ngôn ngữ lập trình GAMS, sử dụng solver MINOS. GAMS là ngôn ngữ lập trình cho phép lập các bài toán tối ưu với những mô hình lớn và phức tạp [17]. Mô hình được trình bày ngắn gọn và đơn giản, cho phép sử dụng những liên hệ đại số độc lập với giải thuật tính toán.



Hình 8. *Nhu cầu năng lượng từ hệ thống theo mô hình truyền thống*



Hình 9. *Nhu cầu năng lượng điện và khí tự nhiên từ hệ thống theo mô hình EH đề xuất*



Hình 10. *Thời gian phóng nạp của BESS*

Năng lượng đầu vào được xác định theo công thức (3) cho kết quả như Hình 8. Kết quả tính toán năng lượng đầu vào của mô hình EH đề xuất được thể hiện ở Hình 9. Đặc tính phóng nạp của hệ thống BESS như Hình 10.

Từ kết quả tính toán, ta có nhận xét như sau:

Hiệu quả chuyển đổi năng lượng: Vào giờ thấp điểm, hệ thống vẫn chủ yếu sử dụng năng lượng điện; các giờ bình thường và cao điểm, lượng nhiệt năng có xu hướng được sử dụng nhiều hơn. Cụ thể, giờ cao điểm từ 9h đến 20h, nhu cầu điện năng giảm đáng kể. Nhu cầu điện năng lớn nhất từ 3.5 MW giảm xuống còn 2.4 MW.

Hiệu quả kinh tế: Chi phí năng lượng (3) theo ngày do đó cũng giảm thiểu đáng kể từ 6,363 USD theo mô hình cung cấp năng lượng truyền thống giảm xuống còn 5,137 USD. Mỗi ngày hệ thống tiết kiệm được số tiền là:

$$\Delta = 6{,}363 - 5{,}137 = 1{,}226 \text{ (USD)}$$

Kết quả tính toán cho thấy mô hình EH đề xuất hoàn toàn đáng tin cậy và phù hợp với phụ tải khu vực dân cư, các khu du lịch có nhu cầu sử dụng tải đa dạng (bao gồm điện năng, nhiệt nóng và làm mát).

5. Kết luận

Nghiên cứu, tính toán thông qua mô hình EH cho thấy mô hình mạng lưới năng lượng với nhiều dạng năng lượng khác nhau có nhiều ưu điểm hơn so với cách thức cung cấp năng lượng truyền thống. Bài báo đã thiết lập cấu trúc mới cho mô hình EH đáp ứng phù hợp với nhu cầu đặc điểm của phụ tải khu vực dân cư. Mô hình EH đề xuất khai thác triệt để hai dạng ứng dụng của năng lượng mặt trời thông qua PV và SHE, năng lượng điện gió, đồng thời xét đến sự tham gia của hệ thống tích trữ điện năng BESS là đối tượng đã được ứng dụng rất hiệu quả trong lưới điện phân phối. Kết quả tính toán tối ưu cho thấy: vào giờ

thấp điểm, phụ tải chủ yếu được cung cấp điện từ lưới điện; vào giờ bình thường và giờ cao điểm, năng lượng điện được cung cấp một phần thông qua thiết bị chuyển hóa từ năng lượng nhiệt; do đó, giúp cắt giảm đỉnh của phụ tải hệ thống và giảm chi phí thanh toán cho khách hàng. Ngoài ra, độ tin cậy cung cấp điện cũng được cải thiện do có sự hỗ trợ qua lại giữa các dạng năng lượng. Vì vậy, mô hình này hoàn toàn có khả năng áp dụng phù hợp với điều kiện thực tế tại Khánh Hòa và các tỉnh thuộc khu vực duyên hải Nam Trung bộ - nơi có điều kiện phát triển kinh tế du lịch biển và tiềm năng khai thác năng lượng mặt trời và điện gió lớn.

Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy cấu trúc của mô hình EH có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả vận hành. Vậy nên, cần tiếp tục nghiên cứu xây dựng bài toán vận hành tối ưu mô hình EH với nhiều cấu trúc khác nhau nhằm đưa ra những đánh giá cụ thể về vai trò và ảnh hưởng của từng thiết bị trong mô hình đến chế độ vận hành của hệ thống. Ngoài ra, mô hình EH trong nghiên cứu này mặc dù đã khảo sát đặc tính phát của PV và giá trị trung bình của tải theo giờ trong ngày; tuy nhiên, phụ tải điện là yếu tố có giá trị thay đổi liên tục theo thời gian và nhu cầu sử dụng; đặc tính phát của các dạng nguồn phân tán phụ thuộc rất lớn vào năng lượng sơ cấp (tốc độ gió, cường độ phân tán bức xạ, yếu tố mùa, thời tiết, khí hậu, địa lý…vv) dẫn đến kết quả tính toán tối ưu chưa hoàn toàn chính xác. Vì vậy, Mô hình EH tối ưu hóa chi phí sử dụng năng lượng có xét đến tính ngẫu nhiên của DG và phụ tải cần tiếp tục được quan tâm nghiên cứu.

Lời cám ơn

Nghiên cứu này thuộc nội dung đề tài mang mã số T2020-B16 thực hiện tại Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên, năm 2020.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

[1]. M. Moeini-Aghtaie, A. Abbaspour, and M. Fotuhi-Firuzabad, "A decomposed solution to multiple-energy carriers optimal power flow [J]," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 29, no. 2, pp. 707-716, 2014.

[2]. R. H. Lasseter, "Smart distribution: Coupled microgrids [J]," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 6, pp. 1074-1082, 2011.

[3]. Y. Li, Z. Li, and F.Wen, "Privacy-Preserving Optimal Dispatch for an Integrated Power Distribution and Natural Gas System in Networked Energy Hubs," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 4, pp. 2028-2038, 2018.

[4]. R. C. Dugan, T. E. McDermott, and G. J. Ball "Planning for distributed generation [J]," *IEEE industry applications magazine*, vol. 7, no. 2, pp. 80-88, 2001.

[5]. W. M. Jun, "Smart grid and smart energy resource gird [J]," *Power system Technology*, vol. 34, no. 10, pp. 1-5, 2010.

[6]. T. Krause, G. Andersson, and K. Froehlich, "Multiple-energy carriers: modeling of production, delivery, and consumption [J]," *Proceedings of IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 15-27, 2011.

[7]. M. Geidl, and G. Andersson, "Optimal power flow of multiple energy carriers [J]," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 145-155, 2007.

[8]. M. Geidl，and G. Andersson, "A modeling and optimization approach for multiple energy carrier power flow [C]," *Power Tech，IEEE. Russia: IEEE*，vol. 2005, pp.1-7, 2005.

[9]. M. Rastegar, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Lehtonen, "Home load management in a residential energy hub [J]," *Electric Power Systems Research*, vol. 119, pp. 322-328, 2015.

[10]. M. C. Bozchalui, C. A. Canizares, and K. Bhattacharya, "Optimal Energy Management of Greenhouses in Smart Grids [J]," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 6, no. 2, pp. 827-835, 2015.

[11]. 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.

[12]. T. H. Nguyen, and T. N. D. Pham, "The energy internet and future development," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 181, no. 05, 217-224, 2018.

[13] Electronic Port of Khanh Hoa province (2020)

.https://nhadautu.khanhhoa.gov.vn/vi/gioi-thieu-tong-quan/khanh-hoa-tiem-nang-va-trien-vong-4060. [Accessed Nov. 28 2020].

[14]. M. Mohammadi, Y. Noorollahi, and B. Mohammadiivatloo, "Energy hub: From a model to a concept – A review [J]," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1512-1527, 2017.

[15]. Gas Commodity, "Fact Sheet for Maryland Public Service Commission," 2014. [Online]. Available: http://www.psc.state.md.us/gas/. [Accessed Otc. 20, 2016].

[16]. Y. Tang, H. Song, F. Hu, and Y. Zou, "Investigating on TOU pricing principles," in *Proceeding IEEE PES Transmission Distribution Conference Expos*, Dalian, China, 2005, pp. 1-9.

[17]. A. Brooke, D. Kendrick, and A. Meeraus, *GAMS a user's guide,* GAMS development Corp, Washington, DC, 2003.