

THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ CÁC THÔNG SỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN HIỆU QUẢ VẬN HÀNH CỦA HỆ THỐNG WATER CHILLER

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE PARAMETERS AFFECTING THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF A WATER CHILLER SYSTEM

Nguyễn Chí Khanh^{1,2}, Lê Nhật Quang^{1,2}, Đặng Thế Vinh^{1,2}, Phan Thành Nhân^{1,2,*}

¹Bộ môn Công nghệ Nhiệt Lạnh, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Quốc gia
Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

*Email tác giả liên hệ: phannhan@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các thông số vận hành như tần số bơm và tốc độ quạt AHU đến hiệu suất hệ thống chiller, nhằm tối ưu hóa hệ số hiệu quả COP. Đồng thời, nghiên cứu xem xét tác động môi trường bằng cách cưỡng bức thay đổi điều kiện xung quanh dàn ngưng thông qua phương pháp phun sương trực tiếp. Quy trình thực nghiệm bao gồm: giảm tần số bơm từ 50 Hz xuống 30 Hz, hạ lưu lượng gió qua AHU từ 2000 L/s xuống 1600 L/s bằng cách giảm tốc độ quạt, và phun sương vào không khí trước dàn ngưng. Kết quả cho thấy khi giảm tần số bơm sẽ làm tăng độ chênh nhiệt độ tại dàn bay hơi, qua đó cải thiện COP. Tuy nhiên, giảm tốc độ quạt làm giảm hiệu suất trao đổi nhiệt, khiến nước lạnh hồi về nóng hơn, dẫn đến chiller vận hành ở chế độ giảm tải và COP giảm nhẹ. Ngoài ra, phương án phun sương trước dàn ngưng giúp giảm nhiệt độ không khí sau dàn, từ đó hạn chế tác động tiêu cực đến môi trường. Kết quả thực nghiệm phù hợp với xu hướng của mô phỏng lý thuyết, dù giá trị thực tế thấp hơn do điều kiện thực không lý tưởng. Nghiên cứu cho thấy tiềm năng tiết kiệm năng lượng đáng kể khi điều chỉnh hợp lý các thông số vận hành chiller. Phương pháp này được đề xuất như một giải pháp khả thi nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng cho các hệ thống HVAC trong tương lai.

Từ khóa: Water chiller; COP; Tần số bơm; Tốc độ quạt AHU; Giải nhiệt phun sương.

ABSTRACT

The study evaluates the impact of operating parameters such as pump frequency and AHU fan speed on the performance of a chiller system, intending to optimize the coefficient of performance (COP). At the same time, it considers environmental effects by actively altering the conditions around the condenser through a direct water-spray method. The experimental procedure included reducing the pump frequency from 50 Hz to 30 Hz, lowering the airflow rate through the AHU from 2000 L/s to 1600 L/s by decreasing fan speed, and spraying water mist into the air before the condenser. Results show that lowering the pump frequency increases the temperature difference across the evaporator, thereby improving COP. However, reducing fan speed decreases heat transfer efficiency, causing higher chilled-water return temperature and leading the chiller

to operate under partial load, slightly reducing COP. In addition, spraying water mist before the condenser lowers the air temperature after the coil, thus mitigating negative environmental impacts. The experimental results align with theoretical simulation trends, although actual values are lower due to non-ideal conditions. The study demonstrates significant energy-saving potential when chiller operating parameters are properly adjusted and proposes this method as a feasible solution for improving energy efficiency in future HVAC systems.

Keywords: *Water chiller; Coefficient of Performance (COP); Pump frequency; AHU fan speed; Spray cooling (condenser mist cooling).*

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh nhu cầu năng lượng và lượng khí thải carbon toàn cầu, các tòa nhà chiếm tỉ lệ khá lớn, trong đó hệ thống HVAC đóng góp một nửa lượng tiêu thụ này. So với việc trang bị thêm hệ thống trên diện rộng, việc dự đoán chính xác nhu cầu năng lượng và xây dựng chiến lược vận hành hợp lý cho hệ thống làm mát dựa trên thiết bị hiện có có thể tiết kiệm năng lượng với chi phí hiệu quả hơn. Trong hệ thống làm mát của các tòa nhà thương mại hoặc căn hộ lớn, chiller thường tiêu thụ nhiều năng lượng hơn so với các thiết bị khác như tháp giải nhiệt và bơm, chiếm trên 40% tổng năng lượng tiêu thụ của nhà máy làm mát. Do đó, các nghiên cứu gần đây ngày càng tập trung vào việc tối ưu hóa khả năng vận hành để tìm ra các thông số hoạt động phù hợp và tối ưu thiết bị làm lạnh để cải thiện hiệu quả cũng như tiết kiệm năng lượng. Nguyễn Đình Vịnh cùng các cộng sự đã có những nghiên cứu giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều hòa không khí chiller bằng phương pháp phân phối phụ tải tối ưu [1], phương pháp tối ưu hóa để vận hành hệ thống lạnh trung tâm chiller [2] và tối ưu hóa chế độ vận hành hệ thống lạnh trung tâm chiller có lưu lượng nước thay đổi [3].

Yixing Chen nghiên cứu tối ưu hóa hoạt động của nhà máy làm lạnh đa chức năng dựa trên mô phỏng hiệu suất năng lượng [4].

Zhiyang Jia và các cộng sự đã đưa ra phương pháp lựa chọn cấu hình công suất mạnh mẽ của hệ thống nhiều máy làm lạnh liên quan đến sự không chắc chắn của hồ sơ tải hàng giờ, hàng năm [5]. Yiqun Zhu tìm hiểu và đưa ra chiến lược kiểm soát tiên tiến để tối ưu hóa trạng thái hoạt động của máy làm lạnh với công nghệ lưu trữ lạnh trong trung tâm dữ liệu [6]. Shaobo Sun đưa ra một chiến lược kiểm soát trình tự mạnh mẽ trực tuyến cho các máy làm lạnh giống hệt nhau sử dụng phương pháp xác suất liên quan đến sự không chắc chắn về phép đo lưu lượng [7]. Si Wu đánh giá hiệu suất làm lạnh theo mùa bằng cách sử dụng dữ liệu vận hành [8]. Pawel Olszewski phân tích thực nghiệm về máy làm lạnh công nghiệp điều khiển bằng biến tần và ON/OFF hướng tới hoạt động tiết kiệm năng lượng [9]. Syed A. Tirmizi phân tích hiệu suất của hệ thống nước lạnh với nhiều sơ đồ bơm khác nhau [10]. J.A. Borja-Conde đã nghiên cứu quản lý hiệu quả các hệ thống HVAC thông qua hoạt động phối hợp của các đơn vị làm lạnh song song: một phương pháp kiểm soát dự đoán kinh tế [11]. Kun He tối ưu hóa kiểm soát dự đoán của nhà máy làm lạnh dựa trên học tăng cường sâu [12]. F.W. Yu tối ưu hóa hệ thống làm lạnh nước với điều khiển tốc độ dựa trên tải [13].

Qua các nghiên cứu trên cho thấy việc tối ưu hóa khả năng vận hành để tiết kiệm năng lượng cho hệ thống lạnh nhận được sự quan

tâm rất lớn của các nhà nghiên cứu. Do đó, bài báo này tập trung nghiên cứu đánh giá thực nghiệm dựa trên sự thay đổi tần số bơm nước lạnh cũng như thay đổi tốc độ quay của quạt AHU để đánh giá hiệu quả năng lượng, cũng như thời gian vận hành ổn định của hệ thống water chiller thực tế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cơ sở lý thuyết

2.1.1. Thời gian vận hành ổn định của water chiller giải nhiệt gió

Chế độ vận hành ổn định của water chiller giải nhiệt gió là trạng thái mà các thông số vận hành chính là nhiệt độ không khí cấp, nhiệt độ động sương, nhiệt độ nước ra khỏi water chiller duy trì ở mức ổn định và ít biến động. Thời gian để đạt trạng thái này được gọi là thời gian ổn định, là một chỉ số quan trọng đánh giá hiệu quả khởi động và khả năng phản ứng của hệ thống trước các thay đổi về điều kiện không khí bên ngoài.

2.1.2. Xác định hiệu quả vận hành của hệ thống water chiller khi thay đổi biến tần bơm

Năng suất lạnh:

$$Q = G_n \times C_{pn} \times \Delta T_n \quad (1)$$

Hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống:

$$EER = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

Năng suất giải nhiệt của dàn ngưng:

$$Q_k = G_{kk} \times \Delta I_{kk} \quad (3)$$

COP của chiller:

$$COP = \frac{Q_o}{W} \quad (4)$$

2.1.3. Xác định sự tác động khi thay đổi lưu lượng gió qua AHU đến hệ thống water chiller

Nhiệt độ không khí trong buồng hòa trộn:

$$t_{\text{hòa trộn}} = t_{OA} \times a + (1 - a) \times t_{\text{phòng}} \quad (5)$$

Enthalpy của không khí trong buồng hòa trộn:

$$I_{\text{mix}} = \frac{L_{OA} \times I_{OA} + L_{\text{hồi}} \times I_{\text{hồi}}}{L} \quad (6)$$

Năng suất lạnh AHU:

$$Q_{AHU} = G \times (I_{\text{hòa trộn}} - I_{SA}) \quad (7)$$

2.2. Mô hình thực nghiệm

Hệ thống water chiller giải nhiệt gió model CGAT085 như hình 1 với năng suất lạnh 25,3 kW, sử dụng môi chất lạnh R407C và nguồn điện 380-450/3/50 do hãng Trane sản xuất, được lắp đặt tại Bộ môn Công nghệ Nhiệt Lạnh, Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG TP. Hồ Chí Minh. Máy nén là loại xoắn ốc kín, dàn bay hơi dạng tấm, dàn ngưng tụ ống cánh kết hợp van tiết lưu nhiệt. Quạt dàn ngưng là loại hướng trục với lưu lượng gió 5768 cfm (≈ 2722 l/s), công suất động cơ 320 W. Toàn bộ hệ thống có kích thước 1050×950×1080 mm và khối lượng 204 kg, đáp ứng cơ bản các tiêu chuẩn để tiến hành thí nghiệm.



Hình 1. Hệ thống water chiller



Dụng cụ đo:

- Máy đo tốc độ gió Testo 416 $\pm 0,1$ m/s;
- Máy đo nhiệt độ datalogger Extech SDL200, $\pm 0,1^\circ\text{C}$;
- Thiết bị Airflow TSI EBT721: Đo lưu lượng, áp suất, nhiệt độ, ẩm độ, $\pm 3\%$;
- Hệ thống đo lường tích hợp trên hệ thống (bao gồm cảm biến và phần mềm giám sát).

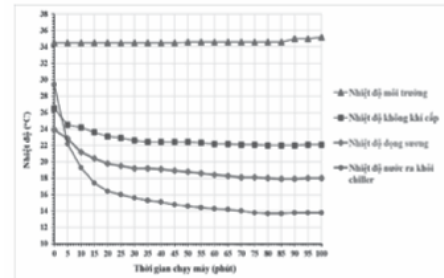
Cỡ mẫu và phương pháp thu thập dữ liệu: Mỗi trường hợp thử nghiệm được lặp lại 3 lần để đảm bảo tính lặp lại và độ tin cậy của dữ liệu.

Phạm vi thí nghiệm:

- Chế độ cài đặt:
 - Nhiệt độ gió cấp: 22°C ;
 - Nhiệt độ động sương: 18°C .
- Khảo sát thời gian vận hành ổn định của hệ thống qua 3 chế độ làm việc:
 - Chế độ 1: Giải nhiệt bằng không khí tần số bơm 50 Hz;
 - Chế độ 2: Giải nhiệt bằng không khí tần số bơm 40 Hz;
 - Chế độ 3: Giải nhiệt bằng không khí phun sương tần số bơm 50 Hz.
- Thay đổi tần số bơm nước cấp: 50Hz, 45Hz, 40Hz, 35Hz, 30Hz.
- Lưu lượng gió cấp qua AHU: 2000 m^3/h , 1800 m^3/h , 1700 m^3/h , 1600 m^3/h .

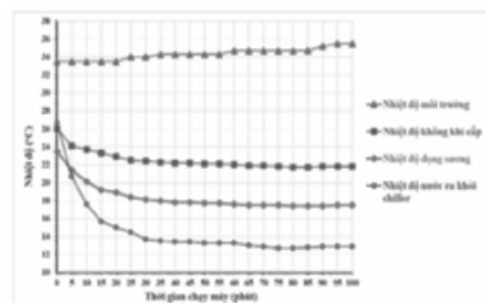
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Xác định thời gian vận hành ổn định của hệ thống

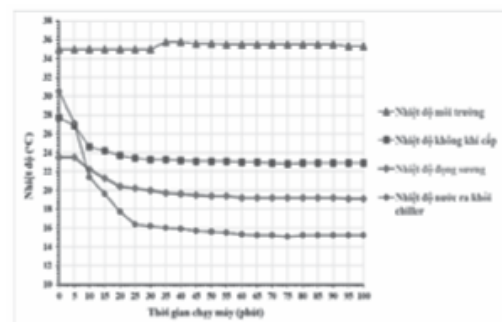


Hình 2. Thông số thực nghiệm chế độ 1

Hình 2 trình bày sự thay đổi của các thông số vận hành của chế độ 1, với môi trường bên ngoài ban đầu có nhiệt độ $34,5^\circ\text{C}$ và độ ẩm 58,8%, nhiệt độ nước ra khỏi chiller giảm từ $29,4^\circ\text{C}$ xuống $15,6^\circ\text{C}$ sau 30 phút vận hành và ổn định ở $15,6-13,7^\circ\text{C}$. Nhiệt độ không khí cấp giảm từ $26,5^\circ\text{C}$ xuống 22°C .

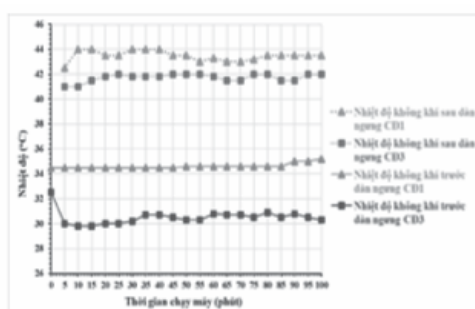


Hình 3. Thông số thực nghiệm chế độ 2



Hình 4. Thông số thực nghiệm chế độ 3

Ở chế độ 2 trên hình 3 cho thấy nước ra khỏi chiller giảm từ 26,7°C xuống 12,7°C sau 30 phút; không khí cấp giảm từ 26°C xuống 21,7°C sau 25 phút; Trên hình 4, sự thay đổi của các thông số vận hành của chế độ 3, nước ra khỏi chiller giảm từ 30,5°C xuống 15,1°C và ổn định sau 25 phút; không khí cấp giảm từ 27,7°C xuống 22,8°C và ổn định ở 23,4-22,8°C sau 25 phút.



Hình 5. So sánh nhiệt độ không khí trước và sau dàn ngưng của chế độ 1 và 3

Hình 5 cho thấy ảnh hưởng rõ rệt của phun sương đến hiệu quả vận hành của water chiller. Khi giải nhiệt dàn ngưng bằng không khí khô, nhiệt độ trước và sau đều cao hơn so với khi phun sương, buộc hệ thống làm việc ở áp suất ngưng tụ lớn, dẫn đến tiêu thụ năng lượng và phát thải nhiệt nhiều hơn. Ngược lại, khi phun sương làm giảm nhiệt độ không khí khoảng 5°C so với môi trường, hệ thống đạt hiệu suất cao hơn, giảm tải cho máy nén và

giảm lượng nhiệt thải ra môi trường. Kết quả thực nghiệm chỉ ra rằng ở chế độ 3, dù nhiệt độ ngoài trời cao nhất (35°C), hệ thống vẫn đạt trạng thái ổn định sau 20-25 phút, nhanh hơn 5-10 phút so với chế độ 1 (50 Hz) và chế độ 2 (40 Hz). Phun sương đã chứng minh hiệu quả trong việc tăng cường trao đổi nhiệt cường bức tại dàn ngưng, rút ngắn thời gian ổn định và tiết kiệm năng lượng cho hệ thống.

3.2. Ảnh hưởng của bơm biến tần đến hệ thống

Dựa vào Bảng 1 có thể thấy, khi giảm tần số bơm từ 50 Hz xuống 30 Hz, nhiệt độ nước ra có xu hướng giảm từ 15,3°C xuống còn 12,8°C, cho thấy khả năng làm lạnh được cải thiện. Tuy nhiên, lưu lượng nước cũng giảm mạnh từ 101,9 lít/phút xuống 68,6 lít/phút, kéo theo năng suất lạnh từ 17,1 kW lên mức cao nhất 23,4 kW ở 35 Hz rồi giảm nhẹ còn 20,3 kW ở 30 Hz. Điện năng tiêu thụ giảm đáng kể từ 11,25 kW (50 Hz) xuống 9,46 kW (30 Hz), phản ánh xu hướng tiết kiệm năng lượng khi vận hành ở tần số thấp hơn. Hiệu quả năng lượng EER tăng từ 1,71 ở 50 Hz lên 2,15 ở 30 Hz, chứng minh hệ thống hoạt động hiệu quả hơn khi tối ưu tần số bơm. Nhìn chung, dữ liệu bảng cho thấy giảm tần số bơm không chỉ tiết kiệm điện mà còn nâng cao hiệu quả trao đổi nhiệt.

Bảng 1. Hiệu quả sử dụng năng lượng hệ thống chiller sử dụng bơm biến tần

Tần số bơm	Nhiệt độ nước vào	Nhiệt độ nước ra	ΔT Nước	Lưu lượng nước	Năng suất lạnh	Điện năng tiêu thụ	Hiệu quả năng lượng EER
(hz)	(°C)	(°C)	(°C)	(l/ph)	kW)	(kW)	
50	18	15,3	2,7	101,9	19,17	11,227	1,71
45	17,8	14,6	3,2	91,5	20,41	10,168	2,01
40	17,6	14,1	3,5	80,6	19,66	9,912	1,98
35	17,5	13,4	4,1	71,3	20,38	9,735	2,09
30	17,4	12,6	4,8	60,8	20,34	9,476	2,15



Kết quả phân tích trên bảng 2 cho thấy, COP của chiller được cải thiện. Khi thay đổi tần số bơm từ 50 Hz xuống 45 Hz, COP của chiller tăng từ 2,13 lên 2,41, tương ứng mức cải thiện +13,3%, cho thấy hiệu suất hệ thống được nâng cao rõ rệt. Ở 40 Hz, COP giảm nhẹ xuống 2,15, gần như không thay đổi nhiều so với mức ban đầu (+0,9%). Tại 35 Hz, COP đạt 2,23, tăng 4,7% so với 50 Hz, còn ở 30 Hz COP đạt 2,21, tăng 3,8%. Như vậy, dữ liệu chứng minh rằng việc điều chỉnh tần số bơm hợp lý, đặc biệt ở 45 Hz, có thể tối ưu hiệu quả năng lượng cho chiller.

Bảng 2. Kết quả tính toán COP của chiller sử dụng bơm biến tần

Tần số bơm	Entanpi vào	Entanpi ra	Năng suất giải nhiệt	Công nén	COP Chiller	% COP thay đổi
(hz)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kW)	(kW)		
50	89,545	99,229	28,17	9	2,13	0%
45	89,569	99,178	28,87	8,46	2,41	+13,3%
40	89,521	99,178	29,93	9,06	2,15	+0,9%
35	89,569	99,204	29,53	9,15	2,23	+4,7%
30	89,569	99,204	29,53	9,19	2,21	+3,8%

3.3. Ảnh hưởng của lưu lượng gió qua AHU đến hệ thống

Bảng 3. Kết quả tính toán năng suất lạnh AHU theo từng mức lưu lượng gió

Lưu lượng gió qua AHU	Lưu lượng gió hồi	Nhiệt độ hòa trộn	Entanpi hòa trộn	Năng suất lạnh AHU
(m ³ /h)	(m ³ /h)	(°C)	(kJ/kg)	(kW)
2000	1300	30,2	74,35	7,434
1800	1320	29,2	72,41	7,05
1700	1502	27,4	68,92	6,618
1600	1467	27	68,14	6,474

Từ kết quả tính toán trong bảng 3 trên, có thể thấy khi giảm lưu lượng gió qua coil lạnh, hiệu quả trao đổi nhiệt tăng do vận tốc gió giảm, làm tăng thời gian tiếp xúc giữa không khí và bề mặt coil. Điều này dẫn đến nhiệt độ gió sau coil giảm dần khi lưu lượng gió giảm từ 2000 m³/h xuống 1600 m³/h, năng suất lạnh

AHU cũng giảm từ 7,434 kW xuống còn 6,474 kW. Sự thay đổi này cho thấy năng suất lạnh tỷ lệ thuận với lưu lượng gió cấp, đồng thời nhiệt độ và entanpi hòa trộn cũng giảm nhẹ theo xu hướng tương ứng. Như vậy, việc điều chỉnh lưu lượng gió ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả làm lạnh của AHU.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã chỉ ra các thông số vận hành như nhiệt độ môi trường, gió cấp và điểm đọng sương đều ảnh hưởng rõ rệt đến thời gian hệ thống Water Chiller đạt trạng thái ổn định. Trong đó, chế độ phun sương (chế độ 3) cho thấy ưu thế khi rút ngắn thời gian ổn định xuống còn 20-25 phút nhờ tăng cường trao đổi nhiệt cưỡng bức, ngay cả khi nhiệt độ môi trường cao. Ngoài ra, việc điều chỉnh tần số bơm cũng tạo ra sự khác biệt: giảm từ 50 Hz xuống 40 Hz giúp cải thiện hiệu suất trao đổi nhiệt nhưng kéo dài thời gian ổn định, trong khi dải tần số tối ưu từ 30-50 Hz có thể nâng cao COP, tránh tình trạng thiếu lưu lượng khi dưới 30 Hz.

Bên cạnh đó, lưu lượng gió qua AHU được điều chỉnh bằng biến tần giúp cải thiện hiệu suất làm lạnh và tiết kiệm điện, tuy nhiên nếu giảm quá mức sẽ ảnh hưởng đến chất lượng vi khí hậu trong phòng. Do đó, giải pháp tối ưu là kết hợp linh hoạt giữa việc tận dụng nước ngưng từ dàn lạnh và điều chỉnh tần số bơm, lưu lượng gió bằng hệ thống điều khiển thông minh. Cách tiếp cận này vừa đảm bảo hiệu quả năng lượng, vừa duy trì sự thoải mái cho người sử dụng, qua đó tối ưu hóa hoạt động của hệ thống chiller giải nhiệt gió.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số SVTC-2024-CK-107. Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

• Danh mục viết tắt:

G_n : Lưu lượng nước chảy qua chiller, kg/s;
 C_{pn} : Nhiệt dung riêng của nước, kJ/kg.K;
 ΔT_n : Độ nhiệt độ nước vào và ra khỏi chiller, °C;
 P : Điện năng tiêu thụ;
 G_{kk} : Lưu lượng không khí qua dàn ngưng;
 ΔI_{kk} : Chênh lệch entanpi trước và sau dàn ngưng;
 W : Công của máy nén;
 t_{OA} : Nhiệt độ ngoài trời, đơn vị °C;
 a : Tỉ lệ gió tươi đối với lưu lượng gió qua AHU;
 $I_{hòa trộn}$: Entanpi của không khí hòa trộn, kJ/kg;
 L_{OA} : Lưu lượng gió tươi, đơn vị m³/s;
 $I_{hồi}$: Entanpi của không khí hồi về, kJ/kg;
 $L_{hồi}$: Lưu lượng gió hồi về, m³/s;
 L : Lưu lượng gió qua AHU, m³/s;
 Q_{AHU} : Năng suất lạnh AHU, kW;
 G : Lưu lượng không khí qua AHU (m³/s);
 I_{SA} : Entanpi của không khí cấp, kJ/kg.

• Xung đột lợi ích:

Nhóm tác giả xin cam đoan rằng không có bất kỳ xung đột lợi ích nào trong công bố bài báo.

• Đóng góp của các tác giả:

Phan Thành Nhân đề xuất ý tưởng nghiên cứu, xây dựng kế hoạch thí nghiệm, thảo luận phương pháp, chỉnh sửa và kiểm tra các mô hình toán và đồng thời chịu trách nhiệm về nội dung bài báo.

Nguyễn Chí Khanh, Lê Nhật Quang, Đặng Thế Vinh tham gia thực hiện thí nghiệm, thu thập dữ liệu, phân tích kết quả và đề xuất các phương án tối ưu hệ thống năng lượng phù hợp.❖

Ngày nhận bài: 26/8/2025

Ngày phản biện: 08/9/2025

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyễn Đình Vịnh, “Giải pháp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống điều hòa không khí chiller bằng phương pháp phân phối phụ tải tối ưu”. Luận án tiến sĩ, Đại học Bách Khoa Hà Nội, 2015.
- [2]. Nguyễn Đình Vịnh, Nguyễn Văn Mạnh, Nguyễn Văn Chung, Tạ Quốc Huy (2013), “Phương pháp tối ưu hóa để vận hành hệ thống lạnh trung tâm chiller”. Tạp chí Năng lượng Nhiệt, số 114 - 11/2013, trang 7~10.
- [3]. Nguyễn Đình Vịnh, Nguyễn Văn Mạnh (2014), “Tối ưu hóa chế độ vận hành hệ thống lạnh trung tâm chiller có lưu lượng nước thay đổi”. Tạp chí Năng lượng Nhiệt, số 119 - 9/2014, trang 18~23.
- [4]. Yixing Chen, “A robust capacity configuration selection method of multiple-chiller system concerned with the uncertainty of annual hourly load profile”. Energy Build, 2023. 

- [5]. Zhiyang Jia, “*A robust capacity configuration selection method of multiple-chiller system concerned with the uncertainty of annual hourly load profile*”. Energy Build, 2023.
- [6]. Yiqun Zhu, “*An advanced control strategy for optimizing the operation state of chillers with cold storage technology in data center*”. Energy Build, 2023.
- [7]. Shaobo Sun, “*An online robust sequencing control strategy for identical chillers using a probabilistic approach concerning flow measurement uncertainties*”. Applied Energy, 2022.
- [8]. Si Wu, “*Evaluating seasonal chiller performance using operational data*”. Applied Energy, 2024.
- [9]. Pawel Olszewski, “*Experimental analysis of ON/OFF and variable speed drive controlled industrial chiller towards energy efficient operation*”. Applied Energy, 2022.
- [10]. Syed A, Tirmizi, “*Performance analysis of a chilled water system with various pumping schemes*”. Applied Energy, 2012.
- [11]. J,A, Borja-Conde, “*Efficient management of HVAC systems through coordinated operation of parallel chiller units: an economic predictive control approach*”. Energy and Building, 2024.
- [12]. Kun He, “*Predictive control optimization of chiller plants based on deep reinforcement learning*”. Journal of Building Engineering, 2023.
- [13]. F,W, Yu, “*Optimization of water-cooled chiller system with load-based speed control*”. Applied Energy, 2008.