

Effect of Environmental Conditions on Thermodynamic Parameters of a Water Extraction System From Atmospheric Air

Thanh Huy Phan¹, Quang Huy Le², Minh Nhut Le^{1*}

¹Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam

²Cao Thang Technical College, Vietnam

*Corresponding author. Email: nhutlm@hcmute.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 16/07/2025
Revised: 06/08/2025
Accepted: 18/08/2025
Published: 28/11/2025

KEYWORDS

Water extraction;
Atmospheric air;
Refrigeration R290;
Efficiency of energy;
Thermodynamic.

ABSTRACT

This paper presents the experimental results of water extraction from atmospheric air by using small refrigeration system and refrigerant R290. In this study, a small capacity refrigeration system employing refrigerant R290 was designed, manufactured, and installed in Ho Chi Minh City to evaluate the influence of weather conditions on the thermodynamic parameters of the system in the process of water extraction from the atmospheric air. Experimental results under real weather conditions showed that when the ambient temperature and humidity ranged from 29,9 °C to 37 °C and 38% to 70%, the condensing temperature and pressure ranged from 41 °C to 49 °C and 13 to 15.8 bar, while the evaporating temperature and pressure ranged from 3.6 °C to 6.2 °C and 4.3 to 4.7 bar. Furthermore, the amount of water collected from 8 a.m. to 4 p.m. was 7.85 liters, which corresponded to a 7.55 kWh power usage.

Ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống thu nước ngọt từ không khí

Phan Thanh Huy¹, Lê Quang Huy², Lê Minh Nhựt^{1*}

¹Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ. Email: nhutlm@hcmute.edu.vn

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 16/07/2025
Ngày hoàn thiện: 06/08/2025
Ngày chấp nhận đăng: 18/08/2025
Ngày đăng: 28/11/2025

TỪ KHÓA

Tách nước;
Không khí;
Môi chất lạnh R290;
Hiệu quả năng lượng;
Nhiệt động.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả thực nghiệm thu nước ngọt từ không khí khi sử dụng hệ thống lạnh công suất nhỏ dùng môi chất lạnh R290. Trong nghiên cứu này, một hệ thống lạnh công suất nhỏ sử dụng một chất lạnh R290 được thiết kế, chế tạo và lắp đặt tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh để đánh giá sự ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống này trong quá trình thu nước ngọt từ không khí. Kết quả thí nghiệm ở điều kiện trời nắng cho thấy rằng, khi nhiệt độ và độ ẩm môi trường giao động trong khoảng từ 29,9 °C đến 37 °C và 38% đến 70%, thì nhiệt độ và áp suất ngưng tụ dao động từ 41 °C đến 49 °C và 13 đến 15,8 bar, trong khi đó nhiệt độ và áp suất bay hơi lần lượt là 3,6 °C đến 6,2 °C và 4,3 đến 4,7 bar. Trong khi đó, lượng nước thu được trong ngày thí nghiệm từ 8h đến 16h là 7,85 lít ứng với điện năng tiêu thụ là 7,55 kWh.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2025.1966>

Copyright © JTE. This is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium for non-commercial purpose, provided the original work is properly cited.

1. Giới thiệu

Trong những năm trở lại đây, khí hậu ở khu vực miền Nam Việt Nam có những thay đổi thất thường, tình trạng hạn hán, xâm nhập mặn không còn là câu chuyện xa lạ ở các tỉnh thành Tây Nam bộ. Tình trạng thiếu nước ngọt, ngập mặn đã trở nên thường xuyên hơn, dẫn đến sự thiếu nước ngọt cho sinh hoạt và phục vụ đời sống ngày càng nghiêm trọng. Để giải quyết các vấn đề trên, đã có nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước về thu nước ngọt từ nước biển, không khí để phục vụ đời sống người dân vùng kho hạn và ngập mặn. Vũ và cộng sự [1] đã chế tạo hệ thống chiết tách nước từ không khí có sử dụng mô-đun màng chọn lọc hơi nước, lượng nước thu được trung bình đạt 85mlít/ 5ph (1,02 lít/h) trong điều kiện trời nắng ở nhiệt độ môi trường ở 32°C và độ ẩm môi trường đạt 65%. Tân và các cộng sự [2] nghiên cứu chung cất nước biển sử dụng bộ thu năng lượng mặt trời là đĩa Parabol và bơm tự động sử dụng năng lượng mặt trời để lấy nước biển vào nồi chung cất và chất xúc tác hạt nanotitan nitrua (TiN) với năng suất 20 ÷ 30 lít trong 7 ÷ 8h làm việc. Joshi và các cộng sự [3] báo cáo nghiên cứu thử nghiệm máy tạo nước ngọt dựa trên nguyên lý của hiệu ứng nhiệt điện với điều kiện thí nghiệm có nhiệt độ không khí từ 22 ÷ 32°C và độ ẩm khoảng 90%. Tuy nhiên, sản lượng thu được thấp với 240 mlít với khoảng 10h thực nghiệm. Cendoya và các cộng sự [4] đã đánh giá hệ số chiết tách nước từ không khí bằng mô hình thí nghiệm hệ thống lạnh với cơ chế truyền thống và hydric, kết quả cho thấy điện năng tiêu thụ khi thu 1 lít nước từ không khí dao động từ 0,572 ÷ 1,22 kWh/lít với hệ thống lạnh truyền thống, và 0,461 ÷ 0,78 kWh/lít với hệ thống lạnh hydric. Hệ thống thu hồi nước ngọt từ không khí có thể hoạt động ở chế độ làm mát trực tiếp và chế độ làm mát hỗ trợ bằng bánh xe hút ẩm, công suất từ 50 ÷ 200 kg/ngày và thời gian hoạt động tối đa từ 6 ÷ 10h [5]. Bagheri [6] đã nghiên cứu hệ thống thu hồi nước ngọt từ không khí, kết quả cho thấy điện năng tiêu thụ hệ thống đạt 1,02 kWh/lít trong điều kiện nóng ẩm và 6,23 kWh/lít trong điều kiện khí hậu lạnh. Bên cạnh đó, để giải quyết vấn đề thiếu nước ngọt do biến đổi khí hậu, hiện nay cũng có nhiều nghiên cứu liên quan vấn đề này [7]– [14]. Máy lạnh công suất nhỏ sử dụng môi chất R290 thay thế R22 cũng được nghiên cứu chỉ ra rằng lượng môi chất R290 nạp ít hơn R22, và hệ số COP của môi chất R290 cao hơn R22 [15].

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về thu nước ngọt từ không khí, tuy nhiên vẫn chưa có nghiên cứu sự liên quan của môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống thu nước ngọt từ không khí. Vì vậy, trong nghiên cứu này, sự ảnh hưởng của môi trường đến các thông số nhiệt động hệ thống lạnh sử dụng môi chất lạnh R290 để thu nước ngọt từ không khí được đánh giá. Bên cạnh đó, sự ảnh hưởng của môi trường đến hiệu quả thu nước ngọt và năng lượng tiêu thụ cũng được phân tích.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Cơ sở lý thuyết

Lý thuyết thu nước ngọt từ không khí là khi không khí qua dàn bay hơi được làm lạnh giảm nhiệt độ và hơi nước trong không khí ngưng tụ thành nước. Hơi nước trong không khí chuyển đổi trạng thái từ pha khí sang pha lỏng bởi quá trình đọng sương, điều này diễn ra do nhiệt độ của không khí chứa hơi ẩm giảm nhiệt độ xuống thấp hơn hoặc bằng nhiệt độ đọng sương của không khí. Từ cơ sở lý thuyết không khí, các thông số tính toán đối với không khí ẩm được xác định bởi các công thức sau [16], [17]:

Áp suất bão hòa tại điều kiện môi trường:

$$P_{bh} (mt) = 610,94 \times e^{\frac{17,625 \times t_{mt}}{243,04 + t_{mt}}}, \text{ bar} \quad (1)$$

Trong đó:

t_{mt} là nhiệt độ không khí, °C

Độ chứa hơi của không khí ẩm tại nhiệt độ môi trường:

$$d_{(mt)} = 0,621 \frac{\varphi_{(mt)} \times P_{bh} (mt)}{1 - \varphi_{(mt)} \times P_{bh} (mt)}, \text{ kg/kg}_{kk} \quad (2)$$

Trong đó:

φ_{mt} là độ ẩm của không khí, %

Áp suất bão hòa tương ứng với nhiệt độ đọng sương:

$$P_{bh}(t_{ds}) = \frac{P \times d_{(mt)}}{0,621 + d_{(mt)}}, \text{ bar} \quad (3)$$

Trong đó:

P là áp suất khí trời, bar

$d_{(mt)}$ là độ chứa hơi của không khí, $\text{kg}_{\text{âm}}/\text{kg}_{\text{kkk}}$.

Nhiệt độ đọng sương t_{ds} của không khí:

$$t_{ds} = \frac{243,04 \times \ln\left(\frac{P_{bh}(t_{ds})}{610,94 \times 10^{-5}}\right)}{17,625 - \ln\left(\frac{P_{bh}(t_{ds})}{610,94 \times 10^{-5}}\right)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Enthalpy của không khí được xác định:

$$i_{kk(mt)} = 1,004 \times t_{(mt)} + d_{(mt)} \times (2500 + 1,842 \times t_{(mt)}) \quad (5)$$

Tại nhiệt độ đọng sương t_{ds} của không khí ẩm, áp suất riêng phần của không khí được tính:

$$P_h(ds) = e^{\left(12 - \frac{4026,42}{235,5 + t_{ds}}\right)}, \text{ bar} \quad (6)$$

Khối lượng riêng không khí khô được tính:

$$\rho_{kkk} = \frac{\rho_{kk}}{1 + \frac{t_{ds}}{273}}, \text{ kg/m}^3 \quad (7)$$

Khối lượng riêng không khí ẩm:

$$\rho_{kka} = \rho_{kkk} - 0,176 \times \frac{P_{h(ds)}}{T}, \text{ kg/m}^3 \quad (8)$$

Lưu lượng khối lượng không khí cấp vào dàn lạnh:

$$G_{kk} = \frac{G_n}{d_{(mt)} - d_{(ra)}}, \text{ kg/s} \quad (9)$$

Lưu lượng thể tích không khí cấp vào dàn lạnh:

$$G_{kk} = G_{v(kk)} \times \rho_{kka}. \text{ Suy ra, } G_{v(kk)} = \frac{G_{kk}}{\rho_{kka}}, \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

Trong đó: $G_{v(kk)}$ là lưu lượng thể tích không khí lý thuyết, (m^3/s)

Năng suất lạnh hệ thống:

$$Q_0 = G_{kk} \times (i_{kk(mt)} - i_{kk(ra)}), \text{ kW} \quad (11)$$

Trong đó: $i_{kk(ra)}$: Enthalpy không khí ra khỏi dàn lạnh, kJ/kg.

Hệ số hiệu quả chiết tách nước dùng để ước tính ảnh hưởng của thông số môi trường đến sự hoạt động của hệ thống làm mát không khí:

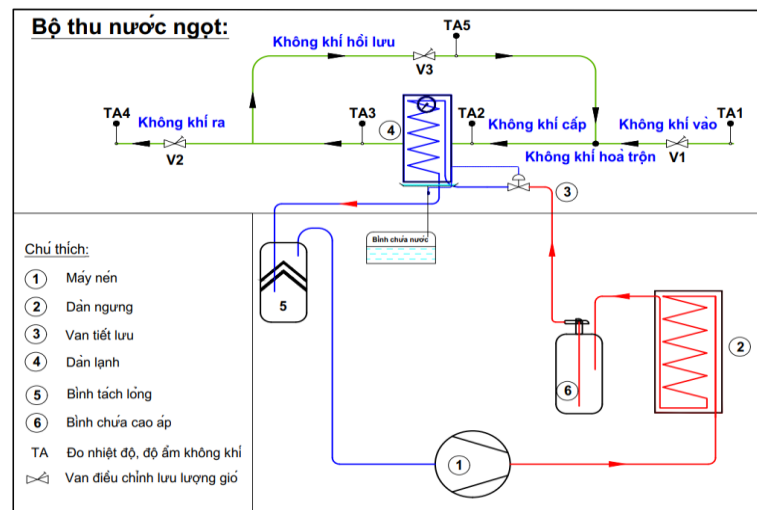
$$SY_{\text{Water}} = \frac{G_n}{P} \quad (12)$$

Trong đó: G_n (lít) là lượng nước chiết tách được và P (kWh) là điện năng tiêu thụ của hệ thống. Giá trị G_n và P thu được từ thực nghiệm.

2.2. Hệ thống và phương pháp thí nghiệm

Nguyên lý hoạt động của hệ thống tách nước ngọt từ không khí được mô tả như hình 1. Đối với hệ thống lạnh, hơi môi chất lạnh R290 áp suất thấp được hút về máy nén (1) sau đó nén thành hơi quá nhiệt đi vào thiết bị ngưng tụ (2). Tại đây, môi chất được làm mát, chuyển thành lỏng cao áp rồi đi vào bình chứa cao áp (6). Sau đó lỏng cao áp đi qua van tiết lưu (3), tại đây môi chất giãn nở giảm áp suất và nhiệt độ đến trạng thái hơi bão hoà ẩm có áp suất, nhiệt độ thấp rồi đi vào dàn lạnh (4). Sau khi môi chất đi vào dàn lạnh nhận nhiệt từ không khí cấp từ môi trường chuyển pha hoá hơi rồi vào bình tách lỏng (5) để tách lỏng ra khỏi dòng hơi trước khi về lại máy nén, chu trình cứ thế tiếp diễn.

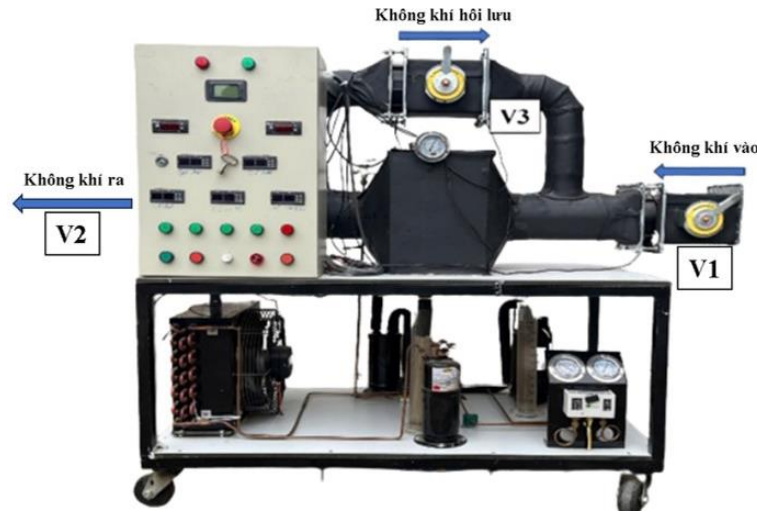
Đối với không khí ẩm thực hiện tách nước ngọt như sau: không khí ẩm từ môi trường có nhiệt độ t_{mt} , độ ẩm φ_{mt} đi qua van điều chỉnh lưu lượng V1 rồi qua dàn lạnh (4), được làm lạnh đến nhiệt độ đọng sương, hơi nước trong không khí ngưng tụ và chảy qua bình chứa nước. Sau đó, không khí ra khỏi dàn lạnh và đi qua van điều chỉnh lưu lượng V2 ra môi trường bên ngoài.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống tách nước ngọt từ không khí sử dụng môi chất lạnh R290

Hệ thống thu nước ngọt từ không khí sử dụng môi chất R290 được chế tạo, lắp đặt và thực nghiệm tại Thành phố Hồ Chí Minh. Mô hình thí nghiệm được thể hiện như hình 2. Nhiệt độ và độ ẩm không khí được đo bằng thiết bị SCT-3028 có độ chính xác là $\pm 1^\circ\text{C}/\pm 0,1\%$. Áp suất và nhiệt độ của môi chất lạnh ở dàn ngưng tụ và dàn bay được đo bởi thiết bị đồng hồ đo áp suất bestcool (Freon) có độ chính xác là $\pm 1\%$. Lượng nước ngọt thu được tại bình chứa nước được đo bằng thiết bị ống nghiệm Onelab (500ml) có độ chính xác là $\pm 5\text{ml}$. Điện năng tiêu thụ của hệ thống lạnh được đo bởi thiết bị Digital AC Power Meter, có độ chính xác là $\pm 1\%$. Trước khi thực hiện ghi dữ liệu, hệ thống được vận hành trước 15 phút để ổn định các thông số cần đo. Dữ liệu thí nghiệm được đo 5 phút 1 lần, sau đó lưu vào file Excell để xử lý tính toán và phân tích. Thí nghiệm trong bài báo được thực hiện ngày 07/02/2025,

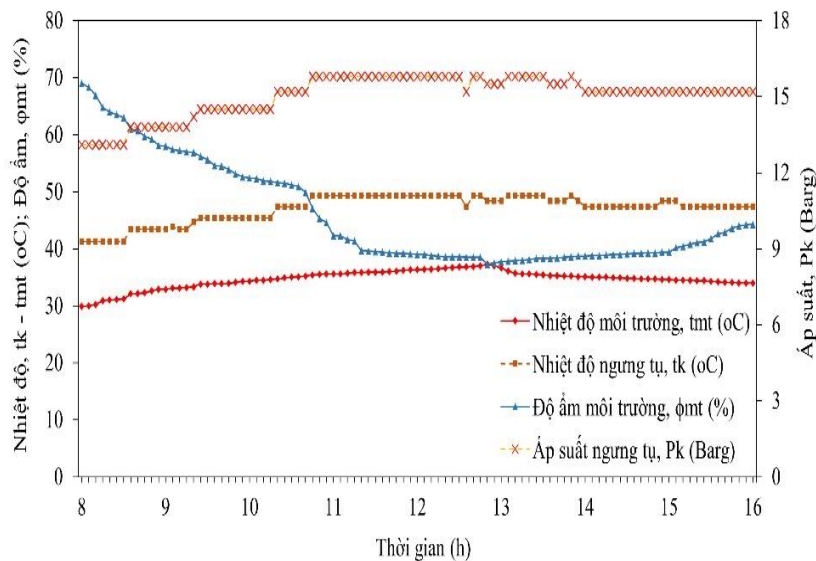
đây là ngày nắng tốt để phân tích đánh giá sự ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống thu nước ngọt sử dụng môi chất lạnh R290.



Hình 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm và hệ thống chiết tách nước từ không khí sử dụng môi chất R290

3. Kết quả và bàn luận

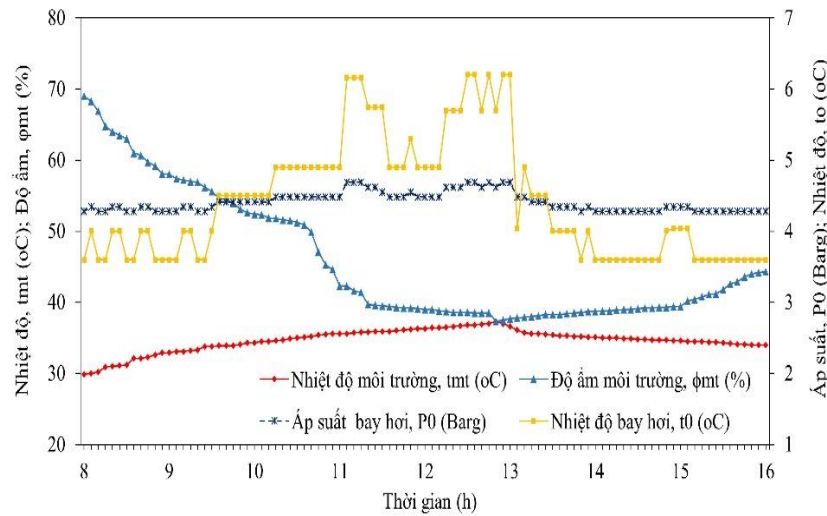
Trong nghiên cứu này, thiết bị được đặt tại Thành phố Hồ Chí Minh và thực hiện thí nghiệm trong ngày nắng tốt, thời gian thí nghiệm và ghi số liệu là từ 8h sáng đến 16h chiều để đánh giá sự ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống thu nước ngọt từ không khí.



Hình 3. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến nhiệt độ và áp suất ngưng tụ của hệ thống theo thời gian.

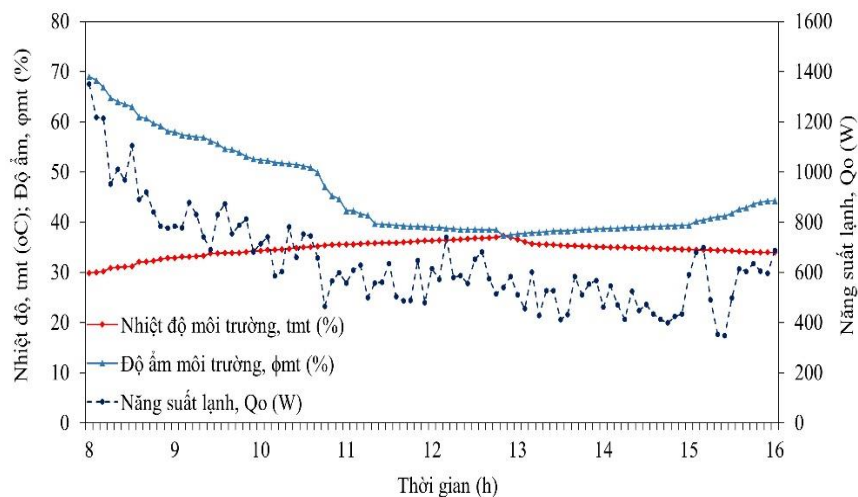
Từ kết quả hình 3 cho thấy, khi thực nghiệm ở điều kiện trời nắng trong khoảng thời gian từ 8h đến 13h, nhiệt độ môi trường t_{mt} tăng cao $29,9^{\circ}\text{C}$ đến 37°C và độ ẩm môi trường ϕ_{mt} giảm từ 70% xuống còn 38,3%, áp suất ngưng tụ P_k tăng từ 13 barg đến 15,7 barg, sau giảm dần xuống 14,8 barg tại 16h. Áp suất ngưng tụ hệ thống trung bình ngày $P_{ktb} = 14,7$ barg. Đồng thời, nhiệt độ ngưng tụ t_k môi thay đổi theo áp suất ngưng tụ, giá trị cao nhất $t_{kmax} = 49,29^{\circ}\text{C}$ ở 13h, thấp nhất với giá trị $t_{kmin} = 41,31^{\circ}\text{C}$ vào 8h và nhiệt độ ngưng tụ trung bình trong thời gian thí nghiệm là $t_{ktb} = 46,21^{\circ}\text{C}$. Từ đó ta thấy, áp suất ngưng tụ hệ thống chịu sự ảnh hưởng trực tiếp bởi sự thay đổi điều kiện môi trường theo thời gian, khi nhiệt

độ môi trường tăng cao thì áp suất ngưng tụ hệ thống tăng, dẫn đến hệ thống sẽ tiêu tốn điện năng hơn. Ngược lại, khi nhiệt độ môi trường giảm, hệ thống sẽ tiêu tốn năng lượng ít hơn do công nén giảm.



Hình 4. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến nhiệt độ và áp suất bay hơi của hệ thống theo thời gian.

Từ kết quả hình 4 cho thấy, khi nhiệt độ môi trường tăng, môi chất nhận lượng nhiệt lớn từ không khí cấp, áp suất bay hơi P_0 tăng từ 4,3 barg đến 4,7 barg dẫn đến nhiệt độ bay hơi t_0 môi chất tăng dần từ $3,6 \div 6,2$ °C trong khoảng thời gian từ 8h đến 11h15. Sau đó giảm dần và ổn định trong khoảng $3 \div 4$ °C theo chiều giảm dần của nhiệt độ môi trường và đạt giá trị trung bình $t_{0tb} = 4,4$ °C ứng với áp suất bay hơi trung bình $P_{0tb} = 4,4$ barg. Từ đó ta thấy, sự thay đổi điều kiện môi trường gây ảnh hưởng đến áp suất và nhiệt độ bay hơi của hệ thống theo thời gian, khi nhiệt độ môi trường tăng thì áp suất bay hơi hệ thống tăng, dẫn đến nhiệt độ bay hơi hệ thống tăng do nhận lượng nhiệt lớn từ không khí cấp. Ngược lại, khi nhiệt độ môi trường giảm thì môi chất nhận lượng nhiệt ít hơn, áp suất bay hơi và nhiệt độ bay hơi giảm. Điều này sẽ tác động sự thay đổi năng suất lạnh hệ thống trong quá trình thực nghiệm.

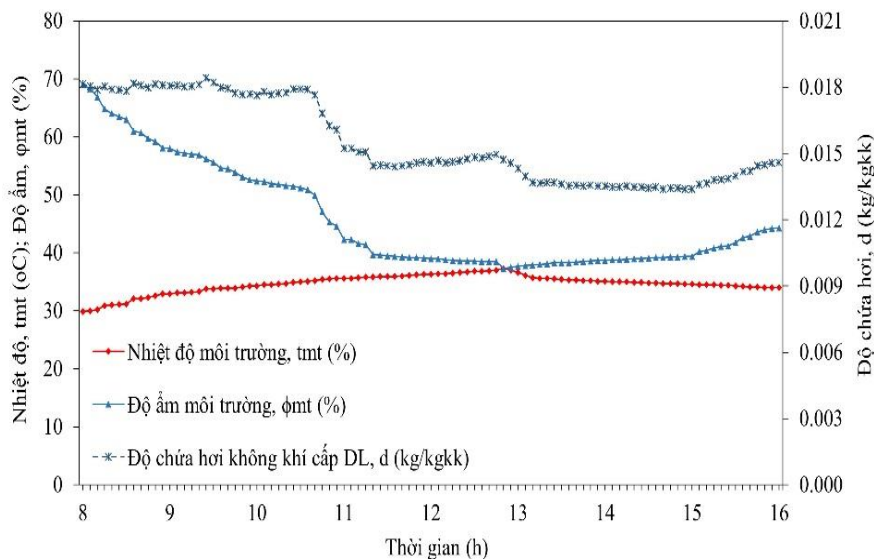


Hình 5. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến năng suất lạnh của hệ thống theo thời gian.

Từ kết quả hình 5 cho thấy, trong khoảng thời gian từ 8h đến 10h30, khi nhiệt độ môi trường tăng từ 29,9°C đến 35°C, độ ẩm môi trường giảm từ 69% xuống còn 51,2% thì năng suất lạnh Q_0 hệ thống dao động trong khoảng $1011,2 \div 1350,7$ W tương ứng với thời điểm 8h đến 8h30, sau đó nhanh chóng giảm từ 1011,2 W xuống còn 659,9 W tại 10h30. Trong khoảng thời gian từ 10h30 đến 13h thì nhiệt độ môi

trường tăng lên đến $t_{mt} = 36,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ và độ ẩm môi trường giảm xuống thấp nhất $\varphi_{mt} = 37,7\%$, dẫn đến năng suất lạnh hệ thống giảm mạnh từ 659,9W xuống còn 455,7W. Sau đó tăng dần và duy trì ở giá trị $Q_0 = 640,8\text{W}$ tại 16h. Điều này có thể giải thích rằng khi nhiệt độ môi trường thấp và độ ẩm môi trường cao thì năng suất lạnh hệ thống lớn là do tải lạnh dùng để làm lạnh không khí và tách ẩm lớn dẫn đến năng suất lạnh hệ thống lớn. Ngược lại, Khi nhiệt độ môi trường tăng, độ ẩm môi trường giảm thì không khí trở nên khô hơn, tải lạnh tách ẩm giảm dẫn đến năng suất lạnh hệ thống giảm. Chính sự tăng hay giảm năng suất lạnh hệ thống ảnh hưởng đến hệ số hiệu quả năng lượng của hệ thống theo thời gian.

Sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến độ chứa hơi không khí cấp vào hệ thống theo thời gian được thể hiện như hình 6. Hình 6 chỉ ra rằng trong khoảng thời gian 8h đến 10h30, khi nhiệt độ và độ ẩm môi trường dao động lần lượt trong khoảng $t_{mt} = 29,9 \div 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\varphi_{mt} = 51,2 \div 69\%$, thì độ chứa hơi dao động trong khoảng từ $0,01791 \div 0,01813\text{ kg/kg}_{kk}$, và sau đó có xu hướng giảm mạnh và duy trì ở mức $d = 0,01433\text{ kg/kg}_{kk}$ tại 16h. Có thể thấy được rằng trong khoảng thời gian từ 8h đến 10h30, độ chứa hơi không khí ẩm dao động trong khoảng $0,01791 \div 0,01813\text{ kg/kg}_{kk}$, sau đó độ chứa hơi không khí giảm đáng kể và duy trì ở giá trị thấp trong suốt thời gian thực nghiệm đến 16h. Điều này là do nhiệt độ môi trường tăng dần đến độ ẩm bão hoà không khí ẩm tăng, khi độ ẩm môi trường giảm thì độ chứa hơi không khí cấp vào hệ thống giảm theo chiều giảm dần độ ẩm môi trường và ngược lại. Từ đó có thể thấy, chính sự tăng hay giảm độ chứa hơi không khí ẩm ảnh hưởng trực tiếp đến lượng nước tách được từ hệ thống trong suốt thời gian thực nghiệm trong điều kiện trời nắng.

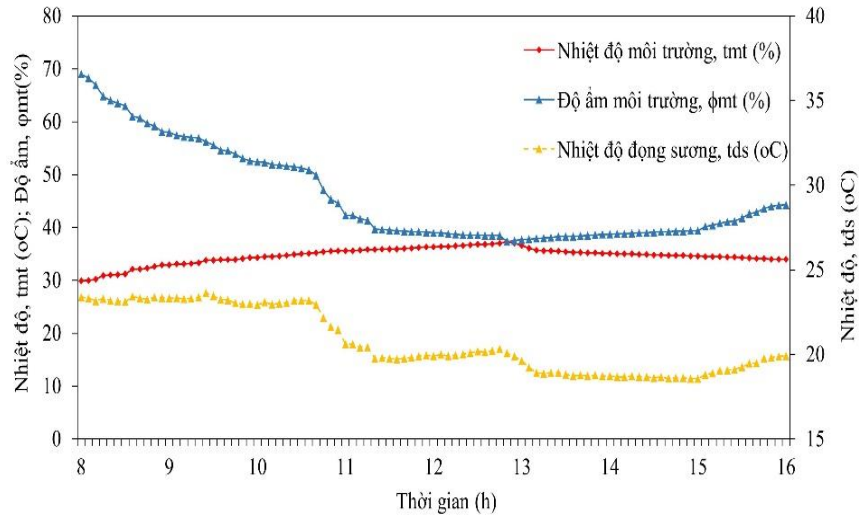


Hình 6. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến độ chứa hơi không khí cấp vào hệ thống theo thời gian.

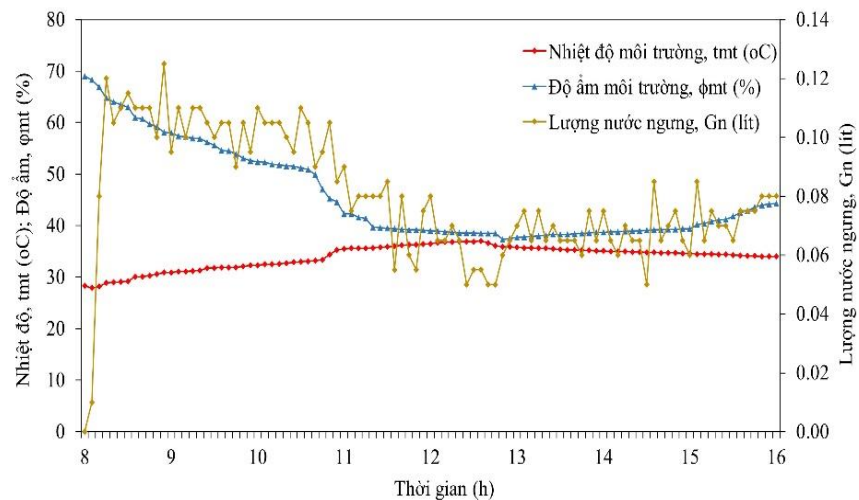
Sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến nhiệt độ đọng sương không khí cấp vào hệ thống theo thời gian thể hiện như hình 7. Kết quả cho thấy khi nhiệt độ, độ ẩm môi trường dao động trong khoảng $t_{mt} = 29,9 \div 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ và $\varphi_{mt} = 51,2 \div 69\%$, thì nhiệt độ đọng sương dao động $22,9 \div 23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ và sau đó có xu hướng giảm mạnh và duy trì ở $t_{ds} = 19,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ tại 16h. Từ đó cho thấy, khi nhiệt độ môi trường tăng thì khả năng giữ hơi nước thực tế của không khí ẩm tăng lên, tuy nhiên độ ẩm môi trường giảm mạnh dẫn đến khả năng giữ hơi nước thực tế trong không khí giảm và nhiệt độ đọng sương giảm. Khi nhiệt độ đọng sương cao, hệ thống nhanh chóng làm lạnh không khí ẩm đạt nhiệt độ đọng sương và quá trình tách ẩm diễn ra nhanh hơn. Ngược lại, khi nhiệt độ đọng sương thấp, không khí trở nên khô hơn thì quá trình làm lạnh và tách ẩm diễn ra lâu hơn, chi phí điện năng cao.

Hình 8 cho biết ảnh hưởng của điều kiện môi trường đến lượng nước G_n tách được của hệ thống trong suốt thời gian thực nghiệm. Trong khoảng thời gian 8h đến 10h45, lượng nước tách trung bình của hệ thống ở mức $G_{ntb} = 101\text{ mlít/5ph}$, sau đó giảm mạnh trong thời điểm 10h45 đến 14h30 với $G_{ntb} = 70\text{ mlít/5ph}$ và tăng trở lại vào cuối ngày ở mức $G_n = 73\text{ mlít/5ph}$, lượng nước chiết tách trung bình ngày

đạt $G_{ntb} = 81$ mlít/5ph. Từ những biến động lượng nước chiết tách được qua mỗi thời điểm khác nhau được thể hiện trên hình 8, thấy được khi nhiệt độ môi trường thấp và độ ẩm môi trường cao, nhiệt độ đọng sương cao, độ chứa hơi không khí ẩm lớn dẫn đến nước chiết tách được từ hệ thống cao. Ngược lại, khi nhiệt độ môi trường tăng cao dẫn đến độ ẩm môi trường giảm mạnh, nhiệt độ đọng sương giảm sẽ giúp cho quá trình làm lạnh và ngưng tụ hơi ẩm diễn ra nhanh hơn nhưng độ chứa hơi không khí giảm, ảnh hưởng trực tiếp đến sản lượng nước chiết tách của hệ thống.

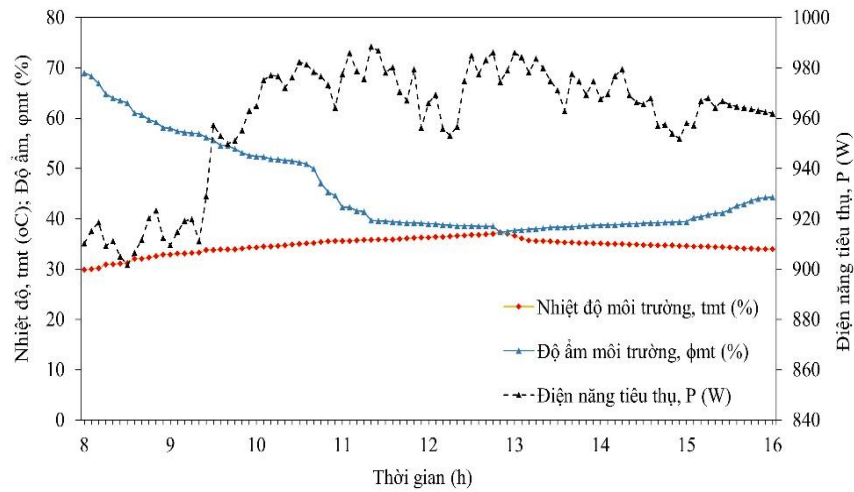


Hình 7. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến nhiệt độ đọng sương không khí cấp vào hệ thống theo thời gian.



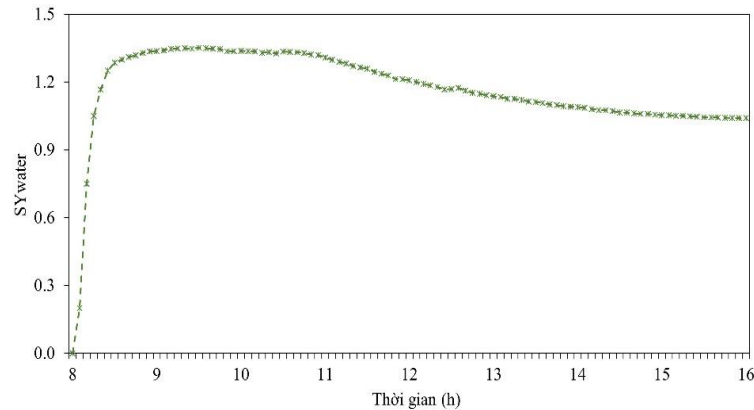
Hình 8. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến lượng nước ngưng của hệ thống theo thời gian.

Hình 9 cho thấy rằng ở điều kiện trời nắng, hệ thống tiêu thụ điện năng thấp nhất vào buổi sáng từ 8h đến 10h trong khoảng $910 \div 950$ Wh, cao nhất trong khoảng thời gian từ 11h đến 13h30, dao động ở mức $956 \div 971$ Wh, sau đó giảm dần vào giờ chiều theo độ giảm dần nhiệt độ môi trường, điện năng tiêu thụ trung bình cả ngày là $P = 959,65$ Wh. Từ đó cho thấy, khi nhiệt độ môi trường tăng cao thì áp suất ngưng tụ tăng, năng suất giải nhiệt hệ thống lớn dẫn đến hệ thống tiêu tốn điện năng. Bên cạnh đó khi nhiệt độ môi trường tăng và độ ẩm giảm theo thời gian, thiết bị bay hơi nhận vào tải nhiệt lớn và mất nhiều năng lượng để có thể làm lạnh không khí xuống nhiệt độ đọng sương trước khi chiết tách nước. Chính hai yếu tố trên đã làm cho hệ thống đã tiêu tốn điện năng ở mức cao như các số liệu đã dẫn chứng bởi đồ thị hình 9, điều này cũng dẫn đến sự dao động của hệ số SY_{water} .



Hình 9. Đồ thị thể hiện sự ảnh hưởng nhiệt độ, độ ẩm môi trường đến điện năng tiêu thụ của hệ thống theo thời gian.

Hệ số SY_{water} khi thực nghiệm ở trời nắng được thể hiện qua đồ thị Hình 10 đã thể hiện mức độ hiệu quả chiết tách nước của hệ thống. Vào thời điểm sáng từ 8h đến 9h30, nhiệt độ môi trường thấp giúp cho hiệu quả giải nhiệt tốt, năng suất giải nhiệt thiết bị ngưng tụ thấp đồng thời năng suất lạnh hệ thống vào buổi sáng cao, hiệu suất chiết tách nước đạt $SY_{water} = 1,21$. Tuy nhiên, khi vào thời điểm buổi trưa từ 9h30 đến 13h và kéo dài đến cuối ngày thì nhiệt độ môi trường tăng mạnh dẫn đến độ ẩm môi trường giảm xuống rất thấp dưới 40% trong suốt thời gian từ 11h30 đến 15h10, khi đó tải nhiệt hệ thống lớn đồng thời năng suất giải nhiệt hệ thống tăng cao bởi điều kiện khắc nghiệt môi trường, hệ số SY_{water} hệ thống giảm 0,4 lần so với buổi sáng. Hệ số SY_{water} của ngày thí nghiệm đạt 1,04.



Hình 10. Đồ thị thể hiện hiệu suất tách nước hệ thống ở điều kiện trời nắng theo thời gian.

4. Kết luận

Qua nghiên cứu này, một hệ thống chiết tách nước từ không khí sử dụng môi chất lạnh R290 được nghiên cứu, chế tạo và lắp đặt tại Thành phố Hồ Chí Minh để thực nghiệm đánh giá sự ảnh hưởng điều kiện môi trường đến các thông số nhiệt động của hệ thống, kết quả đạt được như sau:

- ✓ Khi thực nghiệm trong điều kiện trời nắng, nhiệt độ trung bình và độ ẩm trung bình của môi trường lần lượt là $t_{mtb} = 34,65^{\circ}\text{C}$ và $\phi_{mtb} = 45,81\%$, thì độ chứa hơi không khí cấp vào hệ thống trung bình ngày $d_{tb} = 0,01549 \text{ kg/kg}_{kk}$, và nhiệt độ đọng sương trung bình ngày $t_{dstb} = 20,77^{\circ}\text{C}$.
- ✓ Nhiệt độ bay hơi đạt giá trị trung bình $t_{0tb} = 4,4^{\circ}\text{C}$ ứng với áp suất bay hơi trung bình $P_{0tb} = 4,4 \text{ bar}$. Trong khi đó nhiệt độ ngưng tụ trung bình là $t_{ktb} = 46,21^{\circ}\text{C}$ và áp suất ngưng tụ trung bình là $P_{ktb} = 14,7 \text{ bar}$.

- ✓ Sản lượng nước tách được cho ngày thí nghiệm từ 8h sáng đến 16h chiều là 7,85 lít và lượng điện năng tiêu thụ là 7,55 kWh. Trong khi hệ số hiệu quả năng lượng hệ thống trong ngày thí nghiệm là $SY_{\text{water}} = 1,04$.

Lời cảm ơn

Xin trân trọng cảm ơn trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ nhóm tác giả trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu này.

Xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. V. Nguyen, T. Pham, T. L. K. Tong, P. D. L. Nguyen, and T. B. Nguyen, "A Simulation and Design of a Device for Harvesting Water From Air," *J. Tech. Educ. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 29–39, 2024.
- [2] R. V. S. Madhuri, Z. Said, I. Ihsanullah, and R. Sathyamurthy, "Solar energy-driven desalination: A renewable solution for climate change mitigation and advancing sustainable development goals," *Desalination*, vol. 602, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.desal.2025.118575.
- [3] V. P. Joshi, V. S. Joshi, H. A. Kothari, M. D. Mahajan, M. B. Chaudhari, and K. D. Sant, "Experimental Investigations on a Portable Fresh Water Generator Using a Thermoelectric Cooler," *Energy Procedia*, vol. 109, pp. 161–166, 2017.
- [4] A. Cendoya, C. Cuevas, and E. Wagemann, "Numerical evaluation of a hybrid atmospheric water harvesting system for human consumption," *J. Water Process Eng.*, vol. 56, 2011, doi: 10.1016/j.jwpe.2023.104464.
- [5] Q. Zhang, R. Tu, and M. Liu, "Performance analyses and optimization studies of desiccant wheel assisted atmospheric water harvesting system under global ambient conditions," *Energy*, vol. 283, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128477.
- [6] F. Bagheri, "Performance investigation of atmospheric water harvesting systems," *Water Resour. Ind.*, vol. 20, pp. 23–28, 2018.
- [7] H. Nikkhal et al., "A comprehensive review on atmospheric water harvesting technologies: From thermodynamic concepts to mechanism and process development," *J. Water Process Eng.*, vol. 53, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103728.
- [8] S. Zolfagharkhani, M. Zamen, and M. M. Shahmardan, "Thermodynamic analysis and evaluation of a gas compression refrigeration cycle for fresh water production from atmospheric air," *Energy Convers. Manag.*, vol. 170, pp. 97–107, 2018.
- [9] R. Tu and Y. Hwang, "Reviews of atmospheric water harvesting technologies," *Energy*, vol. 201, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117630.
- [10] A. Kumar and A. Agrawal, "Atmospheric water extraction based on solar air heater encapsulated with phase change material: An experimental investigation," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.*, vol. 269, 2024, doi: 10.1016/j.solmat.2024.112764.
- [11] W. Wang, S. Xie, Q. Pan, Y. Dai, R. Wang, and T. Ge, "Air-cooled adsorption-based device for harvesting water from island air," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110802.
- [12] S. Konghuayrob and K. Khositkullaporn, "Performance Comparison of R32, R410A and R290 Refrigerant in Inverter Heat pumps application," *International Compressor Engineering, Refrigeration and Air Conditioning, and High Performance Buildings Conferences*, pp. 1–10, 2016.
- [13] V. Jawale S., "Experimental performance study of R290 as an alternative to R22 refrigerant in a window air conditioner," *Int. Conf. Mech., Mater. Renew. Energy*, vol. 377, pp. 1–8, 2018.
- [14] B. Habeebullah, "Potential use of evaporator coils for water extraction in hot and humid areas," *Desalination*, vol. 237, pp. 330–345, 2009.
- [15] T. Y. Wenwen Wang, "All-day freshwater production enabled by an active continuous sorption-based atmospheric water harvesting system," *Energy Conversion and Management*, vol. 264, 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.115745.
- [16] N. D. Huan. *Giáo trình Thông gió. Nhà xuất bản Xây dựng*, 2015, tr. 7 - 13.
- [17] Refrigeration and Air conditioning. *40 lesson on refrigeration and air conditioning from IIT Kharagpur. Useful training material for mechanical engineering student/College, or as reference for engineer*. EE IIT, Kharagpur, ver. 1, pp. 553–558, 2008

Thanh Huy Phan graduated as an engineer in thermal engineering technology from Ho Chi Minh City University of Technology and Education in 2019. He is a master student in Thermal Engineering Technology, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam.

Email: phanthanhhuy@caothang.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9547-1990>

Quang Huy Le received his Bachelor of Science in Heat and Refrigeration Technology from Danang University of Technology in 1998 and Master of science degrees in Thermal Engineering from Vietnam National University, Ho Chi Minh City University of Technology in 2008. After that, he obtained the Ph.D. degree in mechanical engineering from Ho Chi Minh City University of Agriculture and Forestry, Vietnam in 2018. Currently, he is Dean of Faculty of Heat and Refrigeration Technology at Cao Thang Technical College.

Email: lequanghuy@caothang.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7044-3224>.

Minh Nhut Le is Deputy Director of Office of Science and Technology at Ho Chi Minh City University of Technology and Education, Vietnam. He received his B. S in Heat and Refrigeration Technology from Danang University of Technology in 2003 and M. S degrees in Thermal Engineering from Vietnam National University, Ho Chi Minh City University of Technology in 2007, respectively. He then received his Ph.D degree from Jeju National University, Republic of Korea in 2014. His fields of interest include thermal systems, boilers and thermal power plants, renewable energy, and drying technology.

Email: nhutlm@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0603-8689>