

A Simulation and Design of a Device for Harvesting Water From Air

T. Vu Nguyen, Thanh-Tuan Pham^{*✉}, T. L. Khai Tong, P. D. Luong Nguyen, T. Bao Nguyen
University of Technology and Education – HCMUTE, Ho Chi Minh City, Vietnam

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

ARTICLE INFO

Received: 28/06/2023
Revised: 24/07/2023
Accepted: 14/08/2023
Published: 28/02/2024

KEYWORDS

Harvesting water from air;
Simulation of thermal exchanger;
Air conditioner;
Efficiency of energy;
Condenser of water vapor.

ABSTRACT

In this study, a simulation and a design of a system that is used to harvest water from the air are introduced in detail. In this system, the air is guided to the condenser chamber through an air filter (including pre-filter, HEPA filter H13, and activated carbon filter layer) to clean up the air before condensing. This clean airflow is contacted by the coil of the evaporator consisting of the surface of the coils with the fins. The heat exchange process between the airflow and the cooling coil of a single-stage refrigeration system will be simulated from which to calculate the characteristic parameters of the inlet and outlet of the airflow. The airflow characteristics are used to calculate the amount of condensable water in the system. The calculation of affecting the condensate output is investigated. The system is then designed, installed, and measured in practice. The results show that at a flow rate of 400 m³/h, the output water capacity is 5.5 l/h with a stable humidity of about 81 %.

Mô Hình Hoá và Tính Toán Thiết Kế Hệ Thống Chiết Tách Nước Sạch Từ Không Khí

Nguyễn T. Vũ, Phạm Thanh Tuấn^{*✉}, Tống L. T. Khải, Nguyễn P. Đ. Lương, Nguyễn T. Bảo
Đại học Sư phạm Kỹ thuật Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

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

THÔNG TIN BÀI BÁO

Ngày nhận bài: 28/06/2023
Ngày hoàn thiện: 24/07/2023
Ngày chấp nhận đăng: 14/08/2023
Ngày đăng: 28/02/2024

TỪ KHÓA

Chiết tách nước từ không khí;
Mô phỏng trao đổi nhiệt;
Máy lạnh một cấp;
Hiệu quả năng lượng;
Ngưng tụ hơi ẩm.

TÓM TẮT

Trong nghiên cứu này, hệ thống chiết tách nước từ không khí sử dụng nguyên lý hoạt động của máy lạnh truyền thống được giới thiệu. Trong hệ thống này hơi nước từ không khí sẽ được đưa vào buồng ngưng tụ qua bộ lọc không khí (bao gồm: lớp lọc thô, màng lọc HEPA H13 và lớp lọc than hoạt tính) để tạo ra nguồn không khí sạch, nguồn không khí sạch này được đưa vào để tiếp xúc với dàn coil của thiết bị bay hơi đang được cấp dịch làm lạnh. Dòng không khí chứa hơi ẩm được đưa vào để tiếp xúc với bề mặt của dàn coil gắn cánh tản nhiệt. Quá trình trao đổi nhiệt giữa dòng không khí và dàn coil lạnh của hệ thống máy lạnh một cấp sẽ được mô phỏng để từ đó tính toán được các thông số đặc trưng của đầu vào và đầu ra của dòng khí trước. Các thông số đặc trưng của dòng khí được sử dụng để tính toán ra lượng nước có thể ngưng tụ được trong hệ thống. Và cũng thông qua việc tính toán này mà các điều kiện ảnh hưởng đến sản lượng nước ngưng tụ được khảo sát. Sau đó hệ thống được thiết kế, lắp đặt và đo đạc thực tế. Kết quả cho thấy tại lưu lượng 400 m³/h thì công suất nước đầu ra là 5.5 l/h với độ ẩm ổn định khoảng 81 %.

Doi: <https://doi.org/10.54644/jte.2024.1429>

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. Introduction

Theo ước tính của hiệp hội địa chất học của Mỹ [1] thì lượng nước trên trái đất là 1,386,000,000 km³ và chiếm hơn 70% bề mặt của trái đất. Tuy nhiên chỉ có khoảng chưa đến 3 % trong số đó là nước ngọt mà con người có thể sử dụng trong sinh hoạt, canh tác nông nghiệp và các quá trình phát triển kinh tế và sản xuất. Trong số 3 % ít ỏi đó thì có đến 2/3 lượng nước ngọt tồn tại dưới dạng băng đá ở hai cực

của trái đất mà con người không thể khai thác. Vì vậy để đáp ứng nhu cầu cuộc sống và phát triển sản xuất, con người thường khai thác nước ngọt từ hai nguồn chính là nước ngầm và nước mặt. Và hầu hết các nhu cầu nước ngọt của con người hiện nay được đáp ứng từ nguồn nước mặt tồn tại trong các sông suối, ao hồ,... mặc dù nó chỉ chiếm 0.007 % lượng nước trên trái đất tương đương với 93,100 km³. Hai nguồn nước ngọt là nước mặt và nước ngầm về lý thuyết là có thể đáp ứng tốt nhu cầu hiện tại của con người, tuy nhiên chúng lại không phân bố đều, trong đó 72% lượng nước mặt nằm trong ba hồ chứa nước ngọt lớn trên thế giới là African Great Lakes, Baikal Lake và North American Great Lakes [2]. Vì vậy trong thực tế nước ngọt thiếu hụt ở rất nhiều nơi trên thế giới. Nhưng việc thiếu nước ngọt không chỉ đơn thuần là do sự phân bố nước ngọt không đồng đều mà chủ yếu lại do các nguyên nhân từ các hoạt động của con người.

Việc thiếu hụt nước ngọt trên thế giới chủ yếu do các nguyên nhân chính sau đây [3]-[5]:

- Dân số thế giới tăng lên cộng với nhu cầu nước ngọt cho quá trình phát triển sản xuất nông nghiệp, công nghiệp cũng tăng lên ở hầu hết tất cả các quốc gia.
- Nguồn nước mặt tại các ao, hồ, sông, suối bị ô nhiễm do các hoạt động của con người nên dù nhiều nơi có nước ngọt nhưng không thể sử dụng cho các nhu cầu cuộc sống của con người.
- Do nạn chặt phá rừng, làm cho các hệ thống cung cấp điều tiết nước tự nhiên bị phá vỡ dẫn đến lượng nước mất đi lớn hơn lượng nước ngọt được bù đắp làm tình trạng thiếu nước diễn ra.
- Khai thác các nguồn nước ngầm một cách triệt để thiếu bền vững cộng với ảnh hưởng của biến đổi khí hậu làm nước biển dâng lên dẫn đến việc xâm nhập mặn ở nhiều nơi cũng góp phần vào tình trạng thiếu nước ngọt diễn ra trên thế giới.
- Do quá trình khai thác thủy điện, kinh tế đối với nguồn nước mặt không hợp lý và không có sự bảo tồn tương thích cho các nguồn nước ngọt.

Việc thiếu nước ngọt sạch phục vụ cho các nhu cầu đời sống của con người vẫn đang và sẽ tiếp tục là một trong những thách thức lớn nhất mà con người phải đối mặt trong thế kỷ 21. Hậu quả của việc thiếu nước ngọt sạch là hơn 2.5 triệu người chết mỗi năm trên thế giới mà trong đó hầu hết lại là trẻ em và hiện nay có khoảng 780 triệu người không thể tiếp cận được với các nguồn nước ngọt sạch trên thế giới [6].

Nhu cầu nước ngọt sạch không ngừng tăng lên trong khi nguồn cung cấp có giới hạn lại bị ảnh hưởng nặng nề do các hoạt động kinh tế của con người nên nhiều khu vực nhu cầu nước ngọt sạch đã vượt quá khả năng tự cung cấp của khu vực đó. Để giải quyết vấn đề này con người đã nỗ lực tìm kiếm các nguồn nước ngọt sạch khác để bù đắp vào khoảng trống bị thiếu hụt. Và tất nhiên các đại dương với lượng nước khổng lồ đã được chú ý tới. Các công nghệ xử lý, lọc nước ngọt từ nước biển được phát triển và triển khai mạnh tại nhiều vùng trên thế giới [7]. Các công nghệ lọc nước biển về cơ bản được chia làm ba nhóm chính: (i) các phương pháp sử dụng màng lọc để khử muối, (ii) các phương pháp sử dụng nhiệt năng để chưng cất, (iii) các phương pháp hóa học và sinh học [8], [9]. Trong đó phương pháp sử dụng màng lọc R.O (Reverse osmosis desalination) đang được áp dụng phổ biến nhất vì chúng có ưu thế là có thể cung cấp nước ngọt với công suất lớn trong thời gian ngắn và liên tục [10]. Tuy nhiên công nghệ này chỉ có hiệu quả kinh tế khi triển khai ở quy mô lớn và chỉ phù hợp cho các khu vực tập trung dân cư. Các khu vực xa vùng biển hoặc dân cư thưa thớt thì việc vận chuyển và phân phối sẽ làm cho công nghệ này trở nên không khả thi. Bên cạnh đó các tác động về mặt môi trường của các nhà máy lọc nước biển quy mô lớn đến hệ sinh thái biển xung quanh nơi đặt nhà máy cũng là điều khiến các nhà khoa học quan ngại.

Trong nỗ lực tìm kiếm các nguồn nước ngọt sạch bổ sung cho lượng nước ngọt bị thiếu hụt và có khả năng đáp ứng phổ quát cho nhiều khu vực bị tách biệt với các nguồn nước ngọt truyền thống, các nhà khoa học đang chú ý rất nhiều đến nguồn nước sạch khổng lồ từ không khí. Lượng nước tồn tại dưới dạng hơi ẩm trong không khí dù chỉ mới được chú ý nghiên cứu trong các năm gần đây, tuy nhiên nó được hứa hẹn là một nguồn nước ngọt sạch lý tưởng cho các nhu cầu nhỏ lẻ bởi vì nó có mặt ở khắp mọi nơi với tổng lượng nước ngọt tồn tại ở dạng hơi ẩm trong không khí vào khoảng 13,000 km³ tương đương với 0.001% lượng nước trên toàn thế giới [11]. Tuy nhiên lượng nước dưới dạng hơi ẩm trong không khí là dạng linh động nên thực tế lượng nước lưu chuyển từ các đại dương vào các lục địa của trái đất vào khoảng 45,500 km³ mỗi năm [12]. Bên cạnh đó, nhiệt độ của bầu khí quyển giảm xuống

theo chiều cao, có nghĩa là hầu hết nước trong khí quyển tồn tại gần bề mặt trái đất. Điều đó cho thấy nguồn nước ngọt từ trong không khí là rất dồi dào và tiềm năng.

Trong tự nhiên, một số vùng điều kiện không cho phép việc lắng đọng hơi nước diễn ra một cách tự nhiên nên khó xuất hiện các cơn mưa dẫn đến việc các nơi đó sẽ trở nên thiếu nước. Nếu nguồn nước từ không khí được lắng đọng chủ động bởi con người có thể cung cấp nước ngọt cho các nhu cầu đời sống một cách ổn định và bền vững. Vì vậy nước từ không khí chắc chắn sẽ trở thành nguồn cung cấp nước ngọt cho các nhu cầu cuộc sống của con người tại nhiều vùng trên thế giới và đặc biệt rất phù hợp với những vùng cách biệt với các nguồn nước ngọt truyền thống hoặc các vùng dân cư thưa thớt.

Để lắng đọng hơi nước từ không khí cần phải cung cấp năng lượng để làm lạnh hơi nước trong không khí dưới nhiệt độ lắng đọng (dew point). Trong quá trình đó phần lớn năng lượng được cung cấp cho việc làm lạnh không khí. Khoảng 52 % năng lượng được sử dụng cho việc làm lạnh không khí và chỉ có 42 % năng lượng được sử dụng để ngưng tụ và làm lạnh nước. Có 4 loại công nghệ chủ yếu được sử dụng để ngưng tụ hơi nước từ không khí: (i) sử dụng chất hút ẩm [13]-[15], (ii) sử dụng màng hấp thụ chọn lọc hơi nước (water vapor selective membranes) [16], (iii) sử dụng các hệ trao đổi nhiệt với không khí dựa theo nguyên tắc hoạt động của máy lạnh [17] và (iv) và các công nghệ tạo ra các bề mặt thụ động để lắng đọng hơi nước [18].

Các công nghệ sử dụng bề mặt thụ động để lắng đọng hơi nước có ưu điểm là đơn giản, chi phí rẻ nhưng lại đòi hỏi diện tích bề mặt lớn. Bên cạnh đó chất lượng nước khó được đảm bảo vì hệ thống không được che chắn. Công nghệ sử dụng chất hút ẩm có ưu điểm là nó hoạt động như là thiết bị thụ động và nó có thể tận dụng nhiệt độ môi trường thay đổi trong ngày để duy trì quá trình hấp thụ và giải hấp thụ. Tuy vậy các chất hút ẩm này thường bị suy giảm hiệu suất hấp thụ nhanh làm giảm lượng nước sản sinh ra sau một thời gian ngắn sử dụng. Trong khi đó, công nghệ dùng màng hấp thụ chọn lọc hơi nước có khuyết điểm là phải sử dụng các thiết bị chủ động như bơm, tuy nhiên nó lại mang lại độ ổn định cao, hoạt động trong khoảng nhiệt độ rộng và cung cấp công suất nước đầu ra lớn hơn nhiều so với công nghệ sử dụng chất hút ẩm. Việc sử dụng công nghệ màng chọn lọc hơi nước rất phù hợp cho các vùng có không khí khô, vì tăng được hiệu quả sử dụng năng lượng trong việc làm lạnh không khí. Tuy nhiên với điều kiện Việt Nam có độ ẩm lớn nếu chỉ sử dụng màng chọn lọc hơi nước để chiết tách nước thì không hiệu quả về mặt năng lượng. Bên cạnh đó trong điều kiện Việt Nam chỉ sử dụng công nghệ chiết tách nước sử dụng theo nguyên lý máy lạnh thì trong một số trường hợp độ ẩm thấp việc sử dụng năng lượng là không hiệu quả.

Vì vậy trong nghiên cứu này, công nghệ chiết tách nước từ không khí sử dụng nguyên tắc hoạt động của hệ thống điều hoà không khí và hướng tới việc kết hợp với việc sử dụng màng chọn lọc hơi nước sẽ đảm bảo cho hệ thống có thể hoạt động ổn định và sử dụng hiệu quả năng lượng. Trước khi hệ thống được lắp đặt và thử nghiệm trong điều kiện thực tế, hệ thống được mô phỏng để tính toán các điều kiện tối ưu về mặt lưu lượng và có thể dự đoán được sản lượng nước ngọt đầu ra của hệ thống.

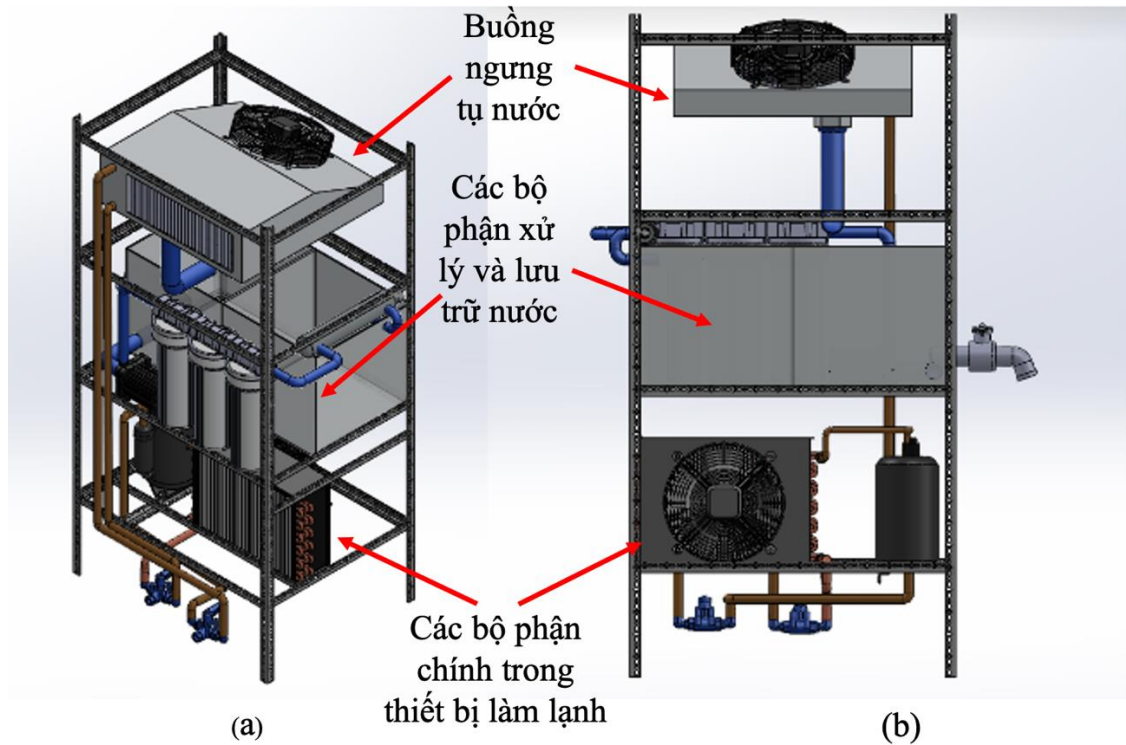
2. Thiết lập hệ thống

Hệ thống chiết tách nước từ không khí gồm 3 module chính: (i) hệ thống làm lạnh không khí sử dụng nguyên lý máy lạnh, (ii) buồng trao đổi nhiệt giữa hệ thống coil lạnh và không khí có quạt được điều khiển để thay đổi lưu lượng không khí qua coil lạnh, và (iii) là các thiết bị liên quan đến xử lý và lưu trữ nước sau khi chiết tách. Hình 1 thể hiện cấu tạo của hệ thống chiết tách nước gồm có các bộ phận được thiết kế trong SolidWorks.

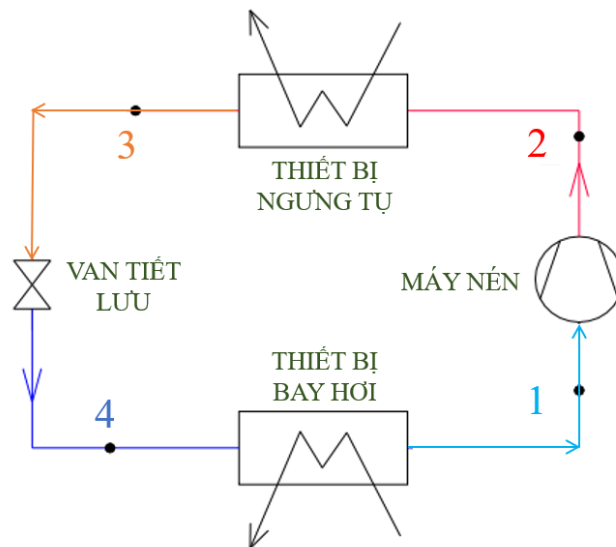
Trong hệ thống này việc chiết tách nước được diễn ra là do quá trình trao đổi nhiệt giữa dàn lạnh của máy lạnh một cấp với dòng không khí đi nó. Nguyên lý hoạt động của máy lạnh một cấp trong hệ thống này được thể hiện qua Hình 2 gồm có các quá trình sau:

- Trạng thái 1: Khi môi chất lạnh di chuyển qua thiết bị bay hơi, nơi không khí nóng trao đổi nhiệt với môi chất lạnh và chuyển qua chúng thành hơi.
- Trạng thái 2: Sau khi môi chất lạnh được hút về máy nén, và được nén lên với áp suất và nhiệt độ của nó được tăng lên đến mức hơi quá nhiệt.
- Trạng thái 3: Khi môi chất di chuyển qua thiết bị ngưng tụ, nơi nó được trao đổi nhiệt với môi trường và ngưng tụ thành lỏng.

- Trạng thái 4: Sau khi môi chất di chuyển qua van tiết lưu, nơi giảm áp suất của môi chất lạnh. Nó sẽ hạ nhiệt độ của môi chất và sau đó sẽ biến môi chất lỏng thành hỗn hợp lỏng/hơi (hơi bão hòa ẩm) để đi tới dàn lạnh. Kết thúc một chu trình làm việc và sẵn sàng quay lại giai đoạn đầu.



Hình 1. Các bộ phận chính của hệ thống chiết tách nước từ không khí với a) hình chiếu xiên và b) hình chiếu ngang của hệ thống



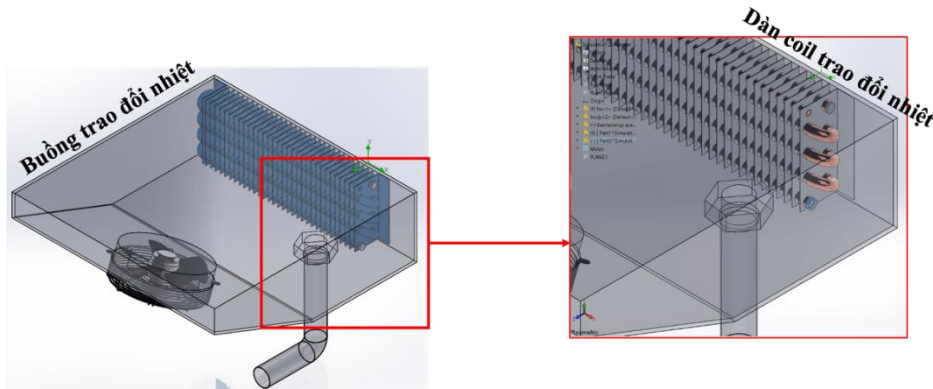
Hình 2. Nguyên lý hoạt động và các điểm nút của hệ thống máy lạnh một cấp được sử dụng trong hệ thống chiết tách nước từ không khí

Hơi sau thiết bị bay hơi là hơi bão hòa khô trạng thái (1) được máy nén hút về, nén đoạn nhiệt ($s = \text{const}$) lên thành hơi có nhiệt độ cao, áp suất cao trạng thái (2). Sau đó môi chất đi vào thiết bị ngưng tụ, nhà nhiệt đẳng áp cho môi trường làm mát ngưng tụ thành lỏng cao áp trạng thái (3). Môi chất tiếp tục đi qua thiết bị tiết lưu, tiết lưu giảm áp giảm nhiệt đạt trạng thái (4). Sau cùng đi vào thiết bị bay hơi nhận nhiệt của đối tượng cần làm lạnh, sôi hóa hơi, hơi sau khi ra khỏi thiết bị bay hơi lại được máy nén hút về. Chu trình cứ thế tiếp diễn.

Trong hệ thống chiết tách nước từ không khí thì quá trình trao đổi nhiệt giữa dàn coil lạnh và không khí là quá trình vô cùng quan trọng. Việc mô phỏng quá trình trao đổi này được thực hiện trong SolidWork với các bước sau:

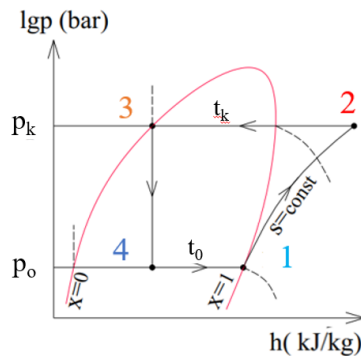
- Thiết lập mô hình hệ thống gồm quạt hút, dàn coil, buồng trao đổi nhiệt,...
- Chọn lựa vật liệu cho các bộ phận, chọn môi chất,...
- Chia lưới cho hệ thống, thiết lập các quá trình trao đổi nhiệt, các điều kiện biên,...
- Thay đổi lưu lượng dòng khí và nhiệt độ dòng khí đầu vào và tiến hành mô phỏng.

Hình 3 cho thấy các bộ phận và mô hình buồng trao đổi nhiệt gồm có quạt hút không khí vào, dàn coil lạnh trao đổi nhiệt với không khí và ống thu lượng nước lắng đọng được từ dàn coil lạnh.



Hình 3. Buồng trao đổi nhiệt giữa không khí và dàn coil lạnh nơi xảy ra quá trình ngưng tụ nước từ không khí

Chế độ làm việc của một hệ thống lạnh một cấp sử dụng môi chất lạnh R22 được đặc trưng bằng 4 nhiệt độ sau: Nhiệt độ sôi của môi chất lạnh t_0 , nhiệt độ ngưng tụ của môi chất lạnh t_k , nhiệt độ quá lạnh của lỏng trước van tiết lưu t_{ql} , nhiệt độ hơi hút về máy nén (nhiệt độ quá nhiệt) t_{qn} . Trong đó các nhiệt độ này được tính toán tương ứng với với đồ thị được thể hiện trong Hình 4 và được lập thành các thông số trong Bảng 1.



Hình 4. Đồ thị $\log P-h$ của máy lạnh 1 cấp được sử dụng trong hệ thống thu nước từ không khí

Bảng 1. Các thông số điểm nút của máy lạnh 1 cấp trong hệ thống chiết tách nước từ không khí

Thông số	Nhiệt độ (°C)	Áp suất (bar)	Entanpi (kJ/kg)
1	-5	4.22	403.1
2	67.5	17.3	438.6
3	45	17.3	256.5
4	-5	4.2	256.5



Hình 5. Mô hình hệ thống được chế tạo trong thực tế

Hình 5 miêu tả hệ thống chiết tách nước từ không khí trong thực tế. Trong đó hệ thống bao gồm 3 module chính gồm: buồng ngưng tụ nước, hệ thống lưu trữ và xử lý nước và bộ phận trao đổi nhiệt và thành phần của hệ thống lạnh 1 cấp. Việc thiết kế phân cấp theo dạng module là cho việc lắp ráp, thay đổi và nâng cấp các thành phần với nhau trở nên dễ dàng hơn.

3. Kết quả và thảo luận

Để có thể xác định được lượng nước ngưng tụ được trong những điều kiện khác nhau, chúng tôi mô phỏng quá trình trao đổi nhiệt giữa không khí và hệ coil làm lạnh của dàn lạnh. Sau đó thông qua các thông số đầu vào và thông số đầu ra của không khí sau khi đi vào và đi ra khỏi buồng trao đổi nhiệt, lượng nước hoàn toàn có thể được xác định được bằng cách xác định thông số độ chứa hơi ẩm của không khí.

$$d = \frac{G_{hn}}{G_{kkk}} = \frac{\text{Khối lượng nước}}{\text{Khối lượng không khí khô}} \quad (1)$$

Trong đó ta có:

$$G_{hn} = \frac{p_{hn}V}{R_{hn}T} \quad (2)$$

$$G_{kkk} = \frac{p_{kkk}V}{R_{kkk}T} \quad (3)$$

Từ đó ta có:

$$d = \frac{p_{hn}}{p_{kkk}} \frac{R_{kkk}}{R_{hn}} = \frac{p_{hn}}{p_{kkk}} \frac{8314/29}{8314/18} \quad (4)$$

Trong đó $p = p_{hn} + p_{kkk}$

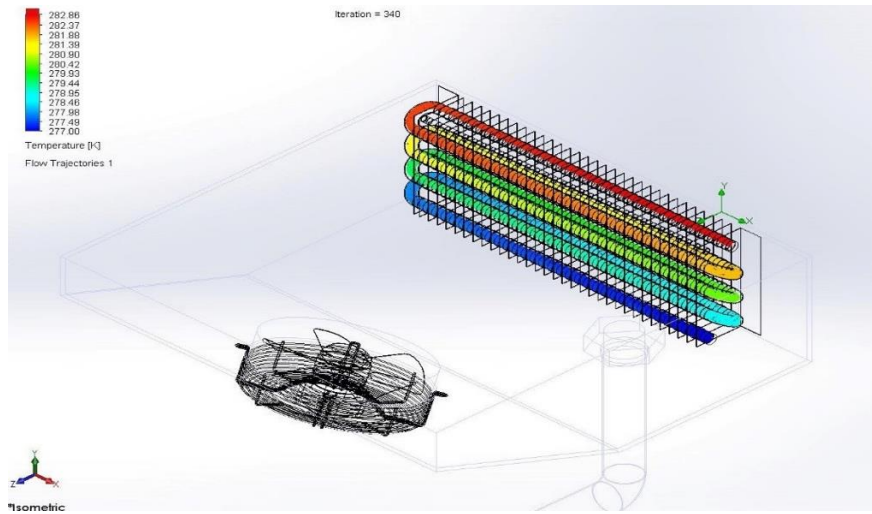
$$d = 0.622 \frac{p_{hn}}{p - p_{hn}} \quad (5)$$

Trong đó d là độ chứa hơi ẩm; G_{hn} , G_{kkk} lần lượt là khối lượng hơi nước và khối lượng không khí khô trong dòng không khí có thể tích V ; p_{hn} , p_{kkk} là áp suất riêng phần của hơi nước và của không khí khô trong không khí thể tích V ; T là nhiệt độ không khí; R_{kkk} , R_{hn} là hằng số khí lý tưởng; p là áp suất toàn phần của không khí có thể tích V .

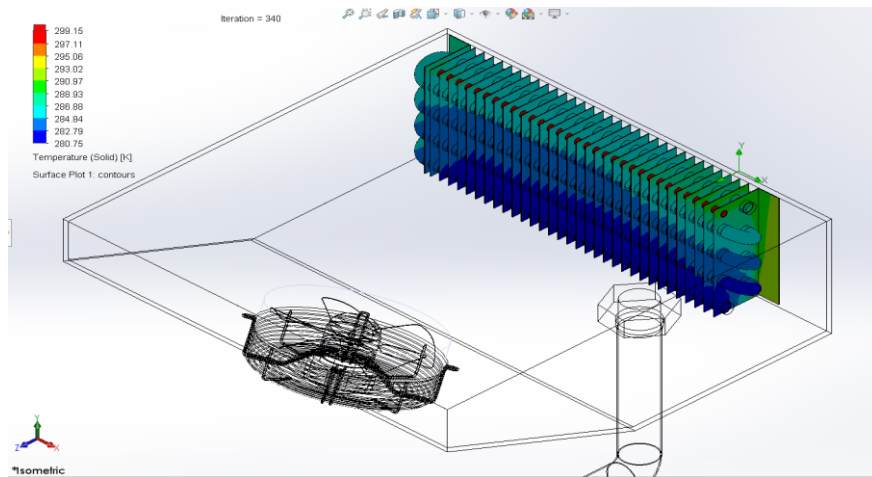
Vậy rõ ràng bằng cách xác định được nhiệt độ và độ ẩm của không khí trước và sau khi tiếp xúc với dàn coil lạnh thì lượng nước ngưng tụ hoàn toàn có thể được xác định.

Giả sử nhiệt độ không khí đầu vào là 36 °C và độ ẩm được chọn nằm trong khoảng các giá trị trung bình của các tháng tại Thành phố Hồ Chí Minh từ 60 % đến 85 %. Khi đó độ chứa hơi của không khí trong ba trường hợp với các độ ẩm thay đổi được xác định và thể hiện trong Bảng 2. Việc xác định này

được thực hiện thông qua việc mô phỏng sự trao đổi nhiệt giữa dòng không khí và dàn coil lạnh như được thể hiện trong các hình bên dưới.



Hình 6. Môi chất lạnh R22 thay đổi nhiệt độ sau khi đi vào và đi ra khỏi dàn coil lạnh



Hình 7. Nhiệt độ của dàn coil lạnh sau khi sự trao đổi nhiệt giữa dàn coil lạnh và dòng không khí.

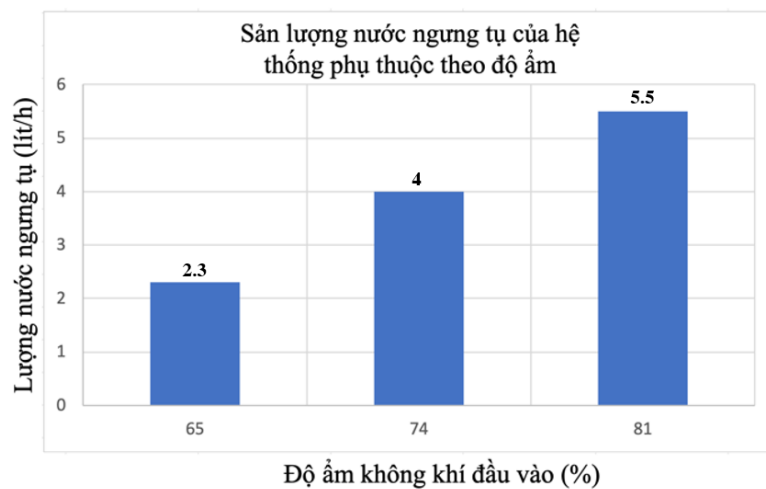


Hình 8. Dòng không khí đi vào và đi ra khỏi buồng ngưng tụ nước

Thông qua các kết quả mô phỏng cho thấy rằng nhiệt độ môi chất đầu vào và đầu ra của thiết bị bay hơi có sự chuyển biến rõ rệt. Môi chất đi qua dàn coil của thiết bị bay hơi sẽ hấp thụ nhiệt từ dòng khí có nhiệt độ của môi trường xung quanh làm cho nhiệt độ của môi chất thay đổi được thể hiện qua màu sắc của môi chất như được trình bày trong Hình 6 và Hình 7. Trong Hình 8, không khí từ môi trường xung quanh trước khi đi qua dàn ống đồng sẽ được biểu thị bằng các đường màu đỏ sau khi được hút vào buồng lắng đọng có chứa dàn coil lạnh. Không khí từ môi trường xung quanh sau khi trao đổi nhiệt độ với dàn ống đồng sẽ được biểu thị bằng các tia màu xanh. Nhiệt hấp thụ bởi môi chất lạnh trong thiết bị bay hơi sẽ làm lạnh dòng không khí tiếp xúc với nó. Khi đó hơi nước trong không khí sẽ được ngưng tụ trên bề mặt các ống đồng và các cánh tản nhiệt được bổ sung để tăng diện tích trao đổi nhiệt.

Bảng 2. Các giá trị độ chứa hơi nước được xác định thông qua thông số của không khí

Thông số	Trường hợp 1		Trường hợp 2		Trường hợp 3	
	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra	Đầu vào	Đầu ra
Nhiệt độ (°C)	36	25	36	25	36	25
Độ ẩm tương đối (%)	65	100	74	100	81	100
Độ chứa hơi (kg/kg _{kkk})	0.02512	0.0203	0.02876	0.0203	0.03183	0.0203
Lưu lượng nước (lít/h)	2.3		4		5.5	

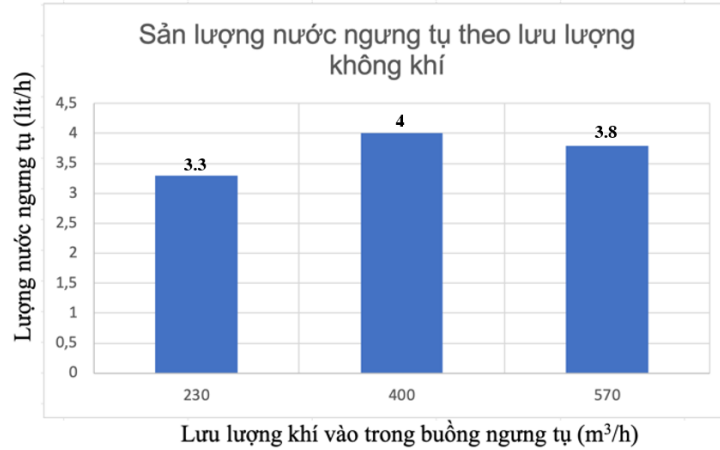


Hình 9. Sản lượng nước ngưng tụ thay đổi với các độ ẩm không khí khác nhau

Hình 9 cho thấy sản lượng nước ngưng tụ của hệ thống chiết tách nước từ không khí phụ thuộc vào độ ẩm của không khí. Khi độ ẩm của không khí đi vào buồng ngưng tụ tăng lên thì lượng nước ngưng tụ được cũng tăng lên. Điều này đã được dự đoán từ trước, tuy nhiên kết luận này sẽ cho chúng ta có thể tìm các phương pháp khác nhau để tăng độ ẩm không khí trước khi không khí ẩm tiếp xúc và trao đổi nhiệt với dàn lạnh của hệ thống lạnh.

Hình 10 cho thấy nếu độ ẩm là một hằng số không đổi (74 %) thì sản lượng nước ngưng tụ sẽ phụ thuộc theo lưu lượng không khí tiếp xúc với dàn coil lạnh của hệ thống. Với mỗi công suất lạnh khác nhau thì lưu lượng của dòng khí khi tiếp xúc với dàn coil lạnh cần được xác định thông số tối ưu. Trong trường hợp hệ thống được chế tạo thì lưu lượng 400 m³/h cho kết quả sản lượng nước ngưng tụ được là lớn nhất. Điều này có thể được giải thích phụ thuộc theo khả năng trao đổi nhiệt của dàn coil và dòng không khí. Kết quả trong Bảng 3 cho thấy khi lưu lượng không khí là nhỏ thì dàn coil nhận lượng nhiệt từ dòng khí là khá tốt giúp cho nhiệt độ dòng không khí đầu ra giảm xuống còn 22 °C. Tuy nhiên lượng

lưu lượng dòng khí nhỏ nên lượng hơi nước được làm lạnh và lắng đọng vào dàn coil sẽ nhỏ dẫn tới sản lượng nước lắng đọng là nhỏ. Trong khi đó nếu lưu lượng dòng không khí quá lớn thì quá trình trao đổi nhiệt giữa dòng không khí và dàn coil trở nên kém hiệu quả. Lượng không khí được làm lạnh xuống tới nhiệt độ Dewpoint sẽ giảm xuống và vì vậy lượng nước lắng đọng được trong trường hợp lưu lượng lớn cũng sẽ thấp. Điều này được thể hiện rõ trong kết quả của Hình 9.



Hình 10. Sản lượng nước ngưng tụ thay đổi với lưu lượng khí khác nhau

Kết quả trong Bảng 3 và Hình 9 cho thấy tầm quan trọng của việc xác định được thông số lưu lượng tối ưu cho một hệ thống chiết tách nước từ không khí. Với các độ ẩm khác nhau thì dòng lưu lượng không khí cần được tính toán để tối ưu nhất về sản lượng nước lắng đọng trong khi tối thiểu hoá được năng lượng tiêu thụ của hệ thống.

Bảng 3. Sản lượng nước ngưng tụ thay đổi theo lưu lượng khí tiếp xúc dàn coil lạnh

Thông số	Trường hợp 1		Trường hợp 2		Trường hợp 3	
	Ban đầu	Kết thúc	Ban đầu	Kết thúc	Ban đầu	Kết thúc
Lưu lượng khí (m³/h)	230		400		570	
Nhiệt độ (°C)	36	22	36	25	36	27
Sản lượng nước (l/h)	3.3		4		3.8	

Bảng 4. Tính toán mức tiêu hao nhiên liệu cho hệ thống trong 1h

STT	Tên thiết bị	Điện năng tiêu thụ
1	Thiết bị bay hơi	0.5595 (kWh)
2	Thiết bị ngưng tụ	0.5595 (kWh)
3	Máy nén	0.75 (kWh)
4	Đèn UV	0.01 (kWh)
5	Bơm tăng áp	0.0026 (kWh)
Tổng điện năng tiêu thụ		1.905 (kWh)
Hệ thống chạy 80% tải		1.524 (kWh)

Thông qua Bảng 4 cho thấy rằng mức tiêu thụ năng lượng vào khoảng 1.5 kWh để có thể tạo ra được lượng nước > 5 lít. Với sản lượng nước lắng đọng được như vậy cho thấy nếu một ngày hệ thống chạy 6 tiếng thì có thể tạo ra được khoảng 30 lít/ngày và tiêu thụ khoảng 9 kWh. Với mức tiêu thụ năng lượng như vậy các giải pháp tích hợp năng lượng tái tạo vào là khả thi. Ví dụ như một hệ thống điện mặt trời có công suất khoảng 2 kWp hoàn toàn có khả năng cung cấp đủ năng lượng cho hệ thống.

4. Kết luận

Qua kết quả mô phỏng chuyển pha, dung ẩm của không khí giảm đáng kể khi xét ở điều kiện nhiệt độ $t_1 = 36^\circ\text{C}$, $t_2 = 25^\circ\text{C}$ với độ ẩm $\text{RH}_1 = 81\%$, từ 0.03141 xuống 0.0203 cho thấy quá trình ngưng tụ nước diễn ra ổn định. Do đó việc để tạo ra sản lượng nước > 5 lít/h có tính khả thi cao khi thực hiện việc triển khai hệ thống thực nghiệm trong thời gian tới. Từ kết quả của nghiên cứu này cho thấy tính thực tiễn của hệ thống này trong thực tế. Hệ thống này sẽ là một sự lựa chọn tốt trong các trường hợp cung cấp nước cho khu vực hải đảo, các tàu đánh bắt xa bờ, hay các vùng khan hiếm nước ngọt,... Và các kết quả trong nghiên cứu này cũng là cơ sở để chúng ta có thể tìm các phương pháp khác có khả năng tăng độ ẩm của dòng không khí trước khi tiếp xúc vào dàn coil để việc ngưng tụ nước hiệu quả hơn. Ngoài ra hệ thống cũng có thể mở rộng thêm trong việc thiết lập hệ thống và chạy trong điều kiện thực tế để so sánh với các kết quả mô phỏng và tính toán từ đó chọn ra được các thông số tối ưu trong thực tế. Trong các nghiên cứu tiếp theo chúng tôi sẽ sử dụng màng chọn lọc hơi nước để giữ ổn định độ ẩm của không khí đầu vào và tích hợp thêm năng lượng tái tạo để tăng khả năng độc lập của hệ thống.

Lời cảm ơn

Tất cả các thành viên trong nhóm nghiên cứu đều có đóng góp tích cực trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

Nghiên cứu này được hỗ trợ từ đề tài T2022-02CH do Đại học Sư phạm Kỹ Thuật là cơ quan chủ trì.

Xung đột lợi ích

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

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] U.S. Geological Survey, "National Water Information System," [Online]. Available: <https://waterdata.usgs.gov/nwis>.
- [2] D. Seckler, R. Barker, and U. Amarasinghe, "Water scarcity in the twenty-first century," *International Journal of Water Resources Development*, vol. 15, no. 1-2, pp. 29-42, 1999.
- [3] M. A. Shannon *et al.*, "Science and technology for water purification in the coming decades," in *Nanoscience and Technology: A Collection of Reviews from Nature Journals*, 2010, pp. 337-346.
- [4] I. A. Shiklomanov, *World Water Resources: A New Appraisal and Assessment for the 21st Century: A Summary of the Monograph World Water Resources*. UNESCO, 1998.
- [5] A. Boretti and L. Rosa, "Reassessing the projections of the World Water Development Report," *npj Clean Water*, vol. 2, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [6] H. Cooley *et al.*, "Global water governance in the twenty-first century," in *The World's Water*, Washington, DC: Island Press, 2014, pp. 1-18.
- [7] M. Elimelech and W. A. Phillip, "The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment," *Science*, vol. 333, no. 6043, pp. 712-717, 2011.
- [8] J. S. Sangwai *et al.*, "Desalination of seawater using gas hydrate technology-current status and future direction," in *XVIII Conference on Hydraulics*, 2013.
- [9] H. E. Dessouky and H. Ettouney, *Fundamentals of Seawater Desalination*, Elsevier, 2002.
- [10] L. F. Greenlee *et al.*, "Reverse osmosis desalination: water sources, technology, and today's challenges," *Water Research*, vol. 43, no. 9, pp. 2317-2348, 2009.
- [11] P. H. Gleick, *Water in crisis*, Pacific Institute for Studies in Development, Environment & Security. Stockholm Env. Institute, Oxford Univ. Press. 473, p. 9, 1993.
- [12] T. Oki and S. Kanae, "Global hydrological cycles and world water resources," *Science*, vol. 313, no. 5790, pp. 1068-1072, 2006.
- [13] L. Mei and Y. J. Dai, "A technical review on use of liquid-desiccant dehumidification for air-conditioning application," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 3, pp. 662-689, 2008.
- [14] N. C. Srivastava and I. W. Eames, "A review of adsorbents and adsorbates in solid-vapour adsorption heat pump systems," *Applied Thermal Engineering*, vol. 18, no. 9-10, pp. 707-714, 1998.
- [15] H. Kim *et al.*, "Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight," *Science*, vol. 356, no. 6336, pp. 430-434, 2017.
- [16] R. W. Baker, J. G. Wijmans, and J. H. Kaschemekat, "The design of membrane vapor-gas separation systems," *Journal of Membrane Science*, vol. 151, no. 1, pp. 55-62, 1998.
- [17] J. Lord *et al.*, "Global potential for harvesting drinking water from air using solar energy," *Nature*, vol. 598, pp. 611-617, 2021.
- [18] X. Liu, D. Beysens, and T. Bourouina, "Water harvesting from air: current passive approaches and outlook," *ACS Materials Letters*, vol. 4, no. 5, pp. 1003-1024, 2022.



Nguyen Tuan Vu graduated as an engineer in thermal engineering technology from Ho Chi Minh City University of Technology and Education. And he is studying for a master's program at this school in 2022. He is currently researching a topic related to the efficient use of energy for water harvesting systems from the air chaired by Ho Chi Minh City University of Technology and Education under topic no.T2022-02CH supported by Ph.D. Pham Thanh Tuan. Email: 2081009@student.hcmute.edu.vn



Pham Thanh Tuan received the Bachelor of Science with Honor program in Physics, from University of Science – Vietnam National University, Ho Chi Minh city, in 2009 and Master degree in Optics, in 2013. He joined the Applied Material Science Institute (IAMS) – Vietnam Academy Science and Technology (VAST) in 2009. He had worked as a researcher in IAMS from 2009 to 2015 before studying Doctoral Program in Myongji University - Korea. He hold Ph.D. degree in 2019 in Myongji University. After that he worked as a Professor Reseacher in the same University. Currently, he is a Lecturer at University of Technology and Education – HCMUTE at Renewabke Energy Department. He have published 28 papers in International Journals and International Conference. Furthermore, He have three Patents in Industry about Photovoltaic technology and Optics. His current research interests include daylighting, photovoltaic system, thin film, optical material and material for batteries for large scale energy storage. Email address: tuanpt@hcmute.edu.vn. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2682-1427>

Tống Lê Trường Khải. Email: 17147044@student.hcmute.edu.vn; **Nguyễn Phùng Đức Lương**. Email: 17147050@student.hcmute.edu.vn; **Nguyễn Thái Bảo**. Email: 17147004@student.hcmute.edu.vn are students of the Faculty of Vehicle Energy Engineering. They have finished their undergraduate major in Thermal Energy Engineering which is one of three main undergraduate training and education programs in The Faculty. Their current interest is some topics relating to Renewable Energy and Energy Saving for Building and Air Conditioning System for Industrial Sector.