

## NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG QUẢ CẦU TÍCH LẠNH TỰ SẢN XUẤT TRONG NƯỚC ĐỂ TIẾT GIẢM CHI PHÍ NĂNG LƯỢNG CHO HỆ THỐNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ TRUNG TÂM

Nguyễn Thế Bảo<sup>(1)</sup>, Nguyễn Duy Tuệ<sup>(2)</sup>, Đào Huy Tuấn<sup>(3)</sup>

(1) Trường Đại Học Bách Khoa, ĐHQG TP.HCM

(2) Trường Đại Học Tôn Đức Thắng

(3) Trường Cao đẳng Nghề GTVT TWIII

(Bài nhận ngày 10 tháng 12 năm 2012, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 07 tháng 06 năm 2013)

**TÓM TẮT:** Phương pháp tích trữ lạnh đã được sử dụng rất nhiều trên thế giới nhưng lại rất hạn chế ở Việt Nam với lý do là giá thành nhập khẩu khá cao làm tăng chi phí đầu tư. Vì vậy, trong bài báo này tác giả sẽ nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm quả cầu tích lạnh với mong muốn làm cơ sở cho việc chế tạo và sử dụng rộng rãi tại Việt Nam góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của đất nước

### 1. TỔNG QUAN

Trong những năm gần đây, các công trình cao ốc đã được xây dựng nhiều ở Việt Nam. Điều đó gắn liền với việc sử dụng hệ thống điều hòa không khí trung tâm tại những nơi này. Thế nhưng sự tiêu hao năng lượng cho nó lại chiếm đến khoảng 40% năng lượng sử dụng của tòa nhà. Điều này làm tăng chi phí vận hành cũng như gia tăng nhu cầu sử dụng điện năng trong giờ cao điểm, dẫn đến tình trạng mất cân bằng việc tiêu thụ điện rất lớn giữa giờ cao điểm và thấp điểm. Ngoài ra chưa kể đến các công trình điều hòa không khí thường được thiết kế ở điều kiện phụ tải đỉnh cũng làm giảm hiệu quả kinh tế khi sử dụng. Một trong những phương pháp mang lại hiệu quả cho việc sử dụng điện năng cũng như làm giảm thiểu sự phát thải CO<sub>2</sub> để bảo vệ môi trường chính là phương án tích trữ lạnh với một số công nghệ tích trữ lạnh thường sử dụng trong thực tế như sau: công nghệ tích trữ lạnh bằng nước, công

nghệ tích trữ băng tan chảy bên ngoài ống, công nghệ tích trữ lạnh sử dụng tháp đá, công nghệ tích trữ băng dạng bột, công nghệ sử dụng quả cầu tích trữ lạnh

Việc nghiên cứu tích trữ lạnh đã được tiến hành nhiều trên thế giới chẳng hạn như: Bo He, Fredrik Setterwall [1] đã nghiên cứu sử dụng chất Paraffin để nâng cao hiệu quả cho việc tích trữ lạnh; Frank Bruno [2] nghiên cứu các phương pháp nhằm tăng hiệu quả bộ tích trữ lạnh; Amir Faghri [3] nghiên cứu việc làm tăng hiệu quả truyền nhiệt bộ tích trữ lạnh bằng việc sử dụng các cánh trao đổi nhiệt; Bo He [4] nghiên cứu vật liệu biến đổi pha để sử dụng trong hệ thống tích trữ lạnh; M. Heling [5] nghiên cứu sử dụng vật liệu composit có hệ số dẫn nhiệt lớn làm chất biến đổi pha.... Ngoài ra, việc tích trữ lạnh đã được nhiều công ty sản xuất như: Crisophia (Pháp), Calmac, Fafco, Dunham-Bush, MaximICE... của Mỹ. Các sản phẩm của các hãng nổi tiếng của Trung Quốc

như YUANPAI, WANGPAI, TONGFANG... Thế nhưng, các sản phẩm này khá tốn kém khi sử dụng tại Việt Nam nên để ứng dụng là một điều khá khó khăn. Trước vấn đề trên, các tác giả Nguyễn Thế Bảo & Trương Hồng Anh [6] đã nghiên cứu chế tạo bình tích trữ lạnh dạng băng tan ngoài ống để làm giảm chi phí sản xuất, giúp cho việc ứng dụng tích trữ lạnh rộng rãi hơn. Thế nhưng, phương pháp tích trữ dạng băng tan chảy có một số hạn chế như: tổn thất áp suất về phía chất tải khá lớn khi nạp tải nếu như công suất bình lớn, tổn diện tích lắp đặt, không linh hoạt khi cần thay đổi công suất, phải sử dụng thiết bị khuấy nước khi xả tải. Do đó trong bài viết này, tác giả sẽ nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm để đánh giá khả năng sử dụng quả cầu tích trữ lạnh với PCM ( phase change material ) là nước tự sản xuất trong nước với những ưu điểm hơn so với phương pháp băng tan chảy bên ngoài như: tổn thất áp suất rất thấp khi chất tải lạnh chảy qua lớp cầu lúc nạp tải [7], không tốn nhiều diện tích lắp đặt, linh hoạt khi cần thay đổi công suất, không cần phải sử dụng thiết bị khuấy nước khi xả tải

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Chúng tôi tiến hành việc nghiên cứu lý thuyết để tìm ra thời gian đông đặc nước trong quả cầu, cũng như xây dựng công thức tính toán chọn lựa quả cầu tích trữ lạnh. Sau đó, những lý thuyết này sẽ được kiểm nghiệm từ mô hình thực tế

### 2.1. Tính toán thời gian đông đặc nước trong quả cầu

Việc xác định thời gian đông đặc của nước là việc quan trọng khi tính toán hệ thống tích trữ lạnh. Thời gian đông đặc phải đảm bảo không được vượt quá thời gian phụ tải đáy của ngành điện lực vì khoảng thời gian đó giá thành điện năng giảm. Thời gian đông đặc của nước sẽ phụ thuộc vào đường kính quả cầu mà ta sử dụng. Ngoài ra còn phụ thuộc vào nhiệt độ chất tải lạnh khi nạp tải. Vì vậy, ta phải lựa chọn nhiệt độ chất tải lạnh và đường kính quả cầu sao cho mang lại hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cao nhất. Vì nhiệt trở của lớp kim loại làm quả cầu tích lạnh rất nhỏ nên ta có thể bỏ qua ảnh hưởng của bề dày vật liệu; do đó ta có công thức tính thời gian tạo băng theo [8] như sau:

$$\tau = \frac{L \cdot \delta_d^2}{2 \cdot \lambda_d \cdot |t|} \quad (2.1)$$

Trong đó:

$\tau$  : là thời gian đông đặc ( s )

$t$  : nhiệt độ chất tải lạnh (  $^{\circ}\text{C}$  )

$L$  : nhiệt ẩn hóa rắn của nước đá theo thể tích  $306.10^6$  ( J/m<sup>3</sup> )

$\lambda_d$ : hệ số dẫn nhiệt của đá 2,32 ( W/m.độ )

$\delta_d$ : bề dày đá ( m )

Như vậy, ta sẽ đánh giá độ chính xác của công thức trên dựa trên các kết quả thí nghiệm ở phần sau

### 2.2. Công thức tính toán quả cầu tích lạnh sử dụng nước làm chất đông đặc

Thể tích chứa nước của quả cầu:

$$V_{nuoc} = \frac{4 \cdot \pi \cdot R^3}{3} \cdot 0,9 \quad (2.2)$$

Với :

$R$  : là bán kính của quả cầu, ( m )

$0,9$  : là hệ số điền đầy thể tích

Năng suất lạnh khi biến đổi pha của quả cầu:

$$Q_{cầu1} = \frac{V_{nước} \cdot \delta \cdot 336}{3600} \quad (2.3)$$

Với:

$Q_{cầu1}$  : Năng suất lạnh khi biến đổi pha của quả cầu, ( kWh/trái )

$\delta$  : Khối lượng riêng của nước, ( kg/m<sup>3</sup> )

$V_{nước}$ : Thể tích chứa nước trong quả cầu, ( m<sup>3</sup> )

Năng suất lạnh nhiệt hiện ở trạng thái lỏng của quả cầu:

$$Q_{cầu2} = \frac{C_p \cdot (t_{cc} - t_{dd}) \cdot V_{nước} \cdot \delta}{3600} \quad (2.4)$$

Với :

$Q_{cầu2}$  : Năng suất lạnh nhiệt hiện ở trạng thái lỏng của quả cầu, ( kWh/trái )

$C_p$  : Nhiệt dung riêng khối lượng đẳng áp của nước, ( kJ/kg.độ )

$t_{cc}$  : Nhiệt độ cuối cùng của nước trong quả cầu, ( °C )

$t_{dd}$  : Nhiệt độ đông đặc của nước, ( °C )

Năng suất tích trữ lạnh của quả cầu ( kWh/trái ):

$$Q_{cầu} = Q_{cầu1} + Q_{cầu2} \quad (2.5)$$

Ngoài ra nếu quả cầu được tích trữ dưới nhiệt độ đóng băng ta sẽ có nhiệt hiện ở trạng thái rắn của quả cầu:

$$Q_{cầu3} = \frac{2,1 \cdot (t_{dd} - t_c) \cdot V_{nước} \cdot \delta}{3600} \quad (2.6)$$

Trong đó:

$Q_{cầu3}$  : Năng suất lạnh nhiệt hiện ở trạng thái rắn của quả cầu, ( kWh/trái )

$t_{dd}$  : là nhiệt độ đông đặc của nước, ( °C )

$t_c$  : nhiệt độ cuối cùng dưới nhiệt độ đóng băng, ( °C )

Với năng suất lạnh tối đa khi nạp tải, ta có số lượng quả cầu cần dùng:

$$n = \frac{Q_{st}}{Q_{cầu}} \quad (2.7)$$

Thể tích bồn chứa:

$$V = \frac{4 \cdot n \cdot \pi \cdot R^3}{3 \cdot \beta} \quad (2.8)$$

Trong đó:

$R$  : bán kính của quả cầu, ( m )

$n$  : số lượng quả cầu

$\beta$ : hệ số điền đầy quả cầu trong bình khoảng 0,6~0,65

$V$  : thể tích bồn chứa, ( m<sup>3</sup> )

Tổn thất áp suất của chất tải lạnh khi đi qua bình chứa quả cầu theo công thức Ergun để tính tổn thất áp suất trên 1 mét chiều cao khối đệm (Pa/m) –TL[7] :

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot v_0}{D^2 \cdot \varepsilon^3} + \frac{1,75 \cdot \delta \cdot (1 - \varepsilon) \cdot v_0^2}{D \cdot \varepsilon^3} \quad (2.9)$$

$D$  : đường kính quả cầu (m)

$\varepsilon$  : hệ số trống

$\mu$  : độ nhớt động lực học (Pa.s)

$v_0$  : vận tốc chất tải lạnh qua mặt cắt ngang bình, ( m/s )

L: chiều cao lớp quả cầu (m)

### 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ THÍ NGHIỆM VIỆC HOẠT ĐỘNG CỦA HỆ THỐNG TÍCH TRỮ LẠNH

Mô hình được thiết lập nhằm kiểm nghiệm khả năng sử dụng các công thức trên. Trong đó thời gian làm đá là một thông số quan trọng cần được đánh giá.

Ở đây quả cầu sử dụng trong thí nghiệm có đường kính 95 mm lượng nước ta sẽ nạp là 385 ml . Sử dụng công thức từ (2.2) đến (2.6) ta có các kết quả :

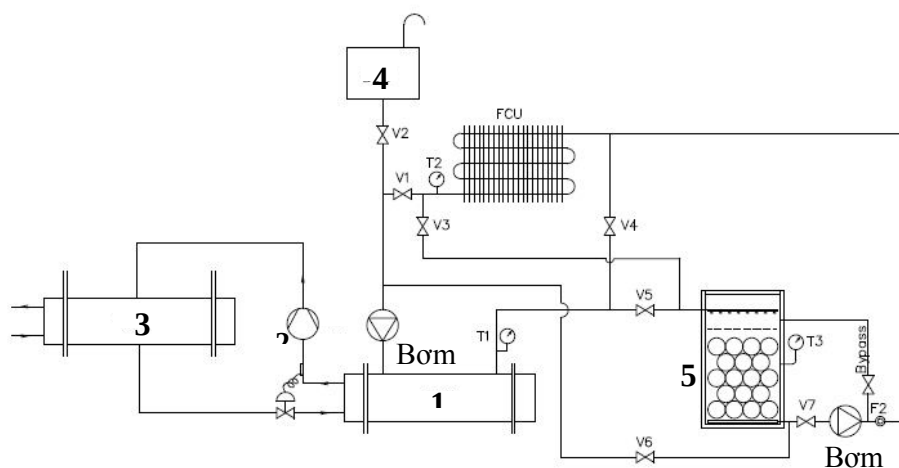
Năng suất tích trữ lạnh của quả cầu :

$$Q_{\text{cầu}} = Q_{\text{cầu1}} + Q_{\text{cầu2}} = 0,042 \text{ ( kWh/trái )}$$

Hệ thống được thiết kế với năng suất lạnh 2637 W có khả năng xả tải trong 4 giờ. Do đó, năng suất lạnh cần tích trữ là  $Q_{\text{st}} = 10548 \text{ Wh}$

Số lượng quả cầu cần sử dụng  $n=251$  trái.

Để bù trừ tổn thất lạnh qua bình tích trữ, đường ống, bơm ... ta chọn số lượng quả cầu là 290 trái. Quả cầu được chế tạo bằng Inox, dày 0,3mm; được gia công bằng máy dập để tạo thành 2 nửa hình cầu; sau đó hàn lại.



Hình 2. Sơ đồ thí nghiệm hệ thống tích trữ lạnh

Ghi chú:

1 : Bình bay hơi; 2 : Máy nén lạnh; 3 : Thiết bị ngưng tụ; 4 : Bình dẫn nở; 5 : Bình tích trữ lạnh  
F2 : lưu lượng kế; V1...7 : các van chặn; T1...3 : nhiệt kế

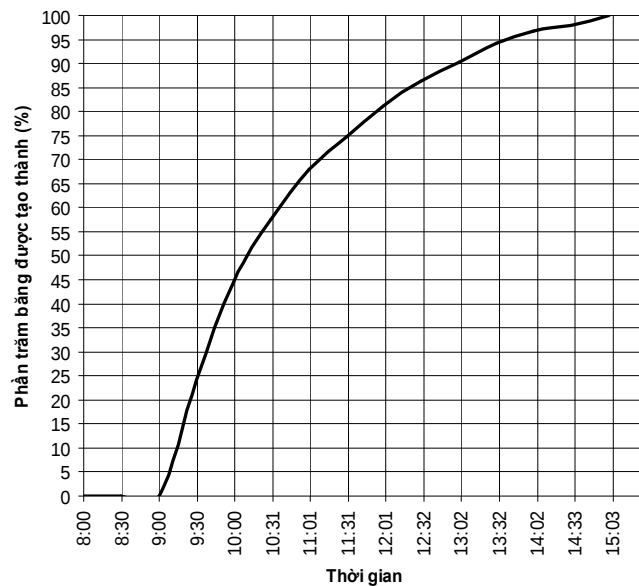


Hình 3. Mô hình hệ thống Chiller có sử dụng bình tích trữ lạnh

#### 4. BÀN LUẬN CÁC KẾT QUẢ ĐẠT ĐƯỢC

Hệ thống vận hành với các kết quả thu được tương đối ổn định, không có sự khác biệt

nhiều. Ta tiến hành đánh giá một số thông số sau:



Hình 4. Biểu đồ biểu diễn tốc độ tạo băng trong quả cầu

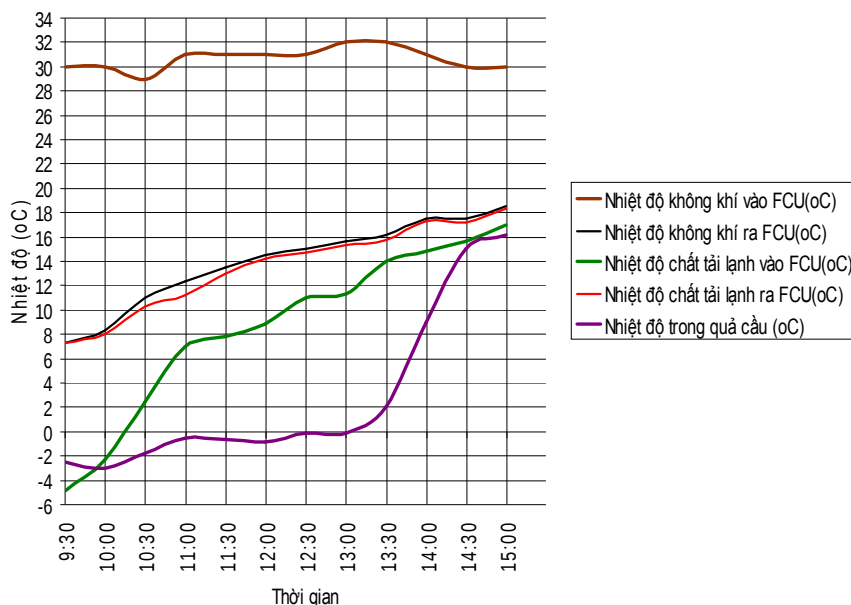
##### 4.1. Việc đánh giá thời gian tạo băng được kiểm nghiệm khi đo đạc trong thực tế

Nhiệt độ glycol thay đổi trong khoảng từ  $-3^{\circ}\text{C}$  đến  $-6^{\circ}\text{C}$ . Tốc độ tạo băng trong quả cầu tăng rất nhanh trong 2 giờ đầu (từ 9:15 đến

11:00), đá được hình thành đến khoảng 70% khối lượng cần thiết. Nhưng do quá trình đóng băng diễn ra từ ngoài vào trong với lớp đá ngoài cùng ngày càng dày, làm giảm hệ số truyền nhiệt của quả cầu nên lớp đá ở bên trong

được tạo thành trở nên chậm dần, phải mất khoảng 4 giờ sau thì đá mới đông băng hoàn toàn trong quả cầu. Như vậy, tổng thời gian để đông đặc nước là 7 giờ. Trong đó thời gian hạ nhiệt độ nước ở nhiệt độ ban đầu cho đến khi

bắt đầu đông băng là 1giờ, thời gian để nước đông đặc hoàn toàn là 6giờ. Nhanh hơn 1 tiếng so với công thức tính toán. Như vậy, có thể sử dụng công thức trên để tính toán thời gian đông đặc nước



**Hình 5.** Biểu đồ biểu diễn sự thay đổi nhiệt độ của chất tải lạnh và không khí trong quá trình xả tải

Tốc độ tạo băng của quả cầu tích lạnh này cũng tương đồng so với thông số của hãng Cryoge. Quả cầu của hãng này được chế tạo bằng nhựa với đường kính 103mm; có thể nở ra khi băng tạo ra hoàn toàn.

#### 4.2. Phân tích và đánh giá số liệu trong quá trình xả tải

Ban đầu, nhiệt độ chất tải lạnh khá thấp khoảng  $-5^{\circ}\text{C}$  được đưa qua dàn FCU, trao đổi nhiệt với không khí đi qua và làm lạnh không khí xuống  $7,3^{\circ}\text{C}$ . Nhưng sau khoảng 45 phút thì nhiệt độ chất tải lạnh vào FCU là  $0^{\circ}\text{C}$ . Vì đây là quá trình trao đổi nhiệt hiện nên thời gian

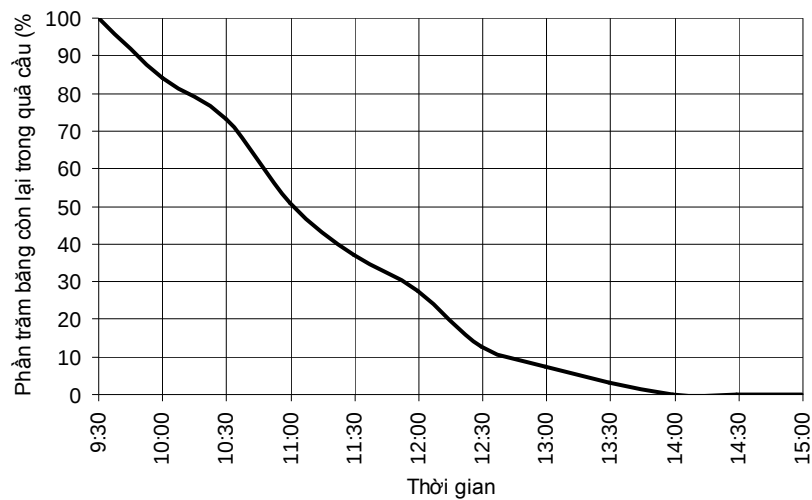
tăng nhiệt độ khá nhanh. Sau đó quá trình tăng nhiệt độ chậm dần vì được trao đổi nhiệt với quả cầu tích lạnh. Khoảng 4giờ sau thì nhiệt độ lại tăng khá nhanh do đá trong quả cầu đã tan hoàn toàn, lúc này chỉ còn trao đổi nhiệt hiện với nước lạnh trong quả cầu, cho đến cuối quá trình xả tải thì nhiệt độ chất tải lạnh đi vào FCU tăng đến  $17^{\circ}\text{C}$ . Độ chênh lệch nhiệt độ chất tải lạnh đi vào và ra khỏi FCU trong khoảng từ 3~5 K trừ trường hợp lúc đầu khi xả tải do nhiệt độ chất tải lạnh trong bình tích lạnh rất thấp làm năng suất lạnh của FCU tăng cao, kết quả là độ chênh lệch nhiệt độ vào và ra khỏi FCU tăng đến 10K. Càng về cuối quá trình xả

tải thì năng suất lạnh của FCU giảm dần do đá tan gần hết nên nhiệt độ chất tải lạnh vào FCU tăng cao.

Như vậy nhiệt độ không khí ra khỏi FCU trong quá trình xả tải biến thiên từ  $7^{\circ}\text{C} \sim 18^{\circ}\text{C}$ . Trong 4 giờ đầu do đá vẫn chưa tan hết nên nhiệt độ không khí ra khỏi FCU cao nhất là  $15^{\circ}\text{C}$ , sau 2 giờ thì nhiệt độ không khí tăng lên đến  $18^{\circ}\text{C}$  do đá đã tan hoàn toàn. Nhìn chung

thì độ chênh lệch nhiệt độ giữa không khí vào và ra khỏi dàn lạnh nằm trong khoảng  $12 \sim 18$  K. Điều này rất phù hợp khi ứng dụng cho hệ thống điều hòa không khí trung tâm, đảm bảo cho sự trao đổi nhiệt giữa không khí cấp vào phòng và không khí trong phòng để đạt nhiệt độ thích hợp trong không gian điều hòa.

#### 4.3. Ngoài ra ta xét đến tốc độ tan băng trong quả cầu theo các thông số thực nghiệm sau



Hình 6. Tốc độ tan băng trong quả cầu tích lạnh theo thời gian

Trong 2 giờ đầu, tốc độ tan băng rất nhanh khoảng 60% do diện tích trao đổi nhiệt của băng trong quả cầu còn lớn, sau 2 giờ còn lại tốc độ tan băng giảm dần do diện tích bề mặt của băng trong quả cầu càng nhỏ lại. Khi đó nhiệt độ chất tải lạnh đi vào FCU tăng khoảng  $3 \sim 4^{\circ}\text{C}$  nhưng nhiệt độ nước trong quả cầu vẫn giữ gần như không thay đổi khoảng  $0^{\circ}\text{C}$  cho đến khi tan băng hoàn toàn thì nhiệt độ trong quả cầu tăng lên.

## 5. KẾT LUẬN

Bài viết này, tác giả có một số nhận xét về việc sử dụng quả cầu tích lạnh như sau:

a. Nhiệt độ chất tải lạnh dùng để nạp tải trong khoảng  $-5 \sim -6^{\circ}\text{C}$  là hợp lý vì đảm bảo cho thời gian đông đặc của quả cầu ngắn, cũng như không làm hệ số COP giảm nhiều. Đường kính quả cầu nên trong khoảng từ 90 mm đến 100mm nhằm giảm thời gian đông đá dưới 10h ( đây là thời gian phụ tải đáy của ngành điện )

cũng như giá thành chế tạo quả cầu không quá cao

b. Thời gian tạo băng của quả cầu tự sản xuất tương đồng so với quả cầu của hãng Cryogel. Do đó, đảm bảo trong việc ứng dụng trong thực tế

c. Nhiệt độ không khí ra khỏi FCU khi xả tải đảm bảo tốt cho việc sử dụng cho hệ thống điều hòa không khí trung tâm. Do diện tích trao đổi nhiệt của quả cầu lớn hơn so với các phương pháp băng băng khác nên việc truyền nhiệt dễ dàng, không cần sử dụng các thiết bị khuấy trong bình tích trữ nên giảm chi phí vận hành. Ngoài ra, tổn thất áp suất qua bình trữ

lạnh thấp do đó giảm điện năng tiêu thụ cho bơm và ta có thể chế tạo bình trữ lạnh có chiều cao lớn trong trường hợp diện tích lắp đặt hẹp.

d. Ưu điểm khác khi sử dụng quả cầu tích lạnh là khả năng thay đổi công suất của bình tích trữ linh hoạt bằng cách thêm hay bớt đi những quả cầu sẵn có, cũng như việc chế tạo dễ dàng, không sử dụng các máy móc chuyên dụng như các hệ thống khác. Ngoài ra bình tích trữ lạnh sử dụng quả cầu nhỏ gọn hơn các dạng khác và việc lắp đặt cũng linh hoạt. Thế nhưng việc chế tạo các quả cầu này cần được kiểm tra kỹ lưỡng tránh bị hư hỏng, quả cầu phải đảm bảo kín để không cho chất tải lạnh tràn vào hoặc chất biến đổi pha chảy ra ngoài

## FEASIBILITY STUDY OF DOMESTIC COOLING STORAGE BALLS TO REDUCE THE ENERGY COST OF CENTRAL AIR CONDITIONING SYSTEM

Nguyễn Thế Bảo<sup>(1)</sup>, Nguyễn Duy Tuệ<sup>(2)</sup>, Đào Huy Tuấn<sup>(3)</sup>

(1) University of Technology, VNU-HCM

(2) Ton Duc Thang University

(3) The Central Vocational College of Transport No.3

**ABSTRACT:** *Although cooling storage system used broadly in the world, it is rarely applied in Viet Nam due to their high import expense that increase the initial cost. For that reason, in this article, we study on theories, and experiments about cooling storage sphere with expect to create the base for populising it in our country. That will contribute the efficiency of energy using to our country.*

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bo He, Fredrik Setterwall, *Technical grade paraffin waxes as phase change materials for cool thermal storage and cool storage systems capital cost*

*estimation*, Department of Chemical Engineering and Technology, Transport Phenomena, Royal Institute of Technology, 100, 44 Stockholm, Sweden.

- [2]. Nasrul Amri Mohd Amin, Martin Belusko, Frank Bruno, Optimisation of A Phase Change Thermal Storage System, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 56 (2009).
- [3]. Yuwen Zhang, Amir Faghri, *Heat Transfer Enhancement in Latent Heat Thermal Energy Storage System by Using an External Radial Finned Tube*, Department of Mechanical Engineering, University of Connecticut, Storrs, CT 06269-3139.
- [4]. Bo He, Fredrik Setterwall, *Technical grade paraffin waxes as phase change materials for cool thermal storage and cool storage systems capital cost estimation*, Department of Chemical Engineering and Technology, Transport Phenomena, Royal Institute of Technology, 100, 44 Stockholm, Sweden.
- [5]. M.Heling, S.Hiebler, F.Ziegler, *Latent heat storage using a PCM graphit composite material*.
- [6]. Nguyễn Thế Bảo, Trương Hồng Anh, Nghiên cứu khả năng dùng công nghệ tích trữ lạnh dạng băng tan chảy ngoài ống trong các hệ thống điều hòa không khí trung tâm, *Tạp chí Phát triển KH&CN*, Tập 10, Số 02 (2007).
- [7]. *Flow through packed beds*, University of Alberta, Department of Chemical and Materials Engineering.
- [8]. Trần Đức Ba, Nguyễn Tấn Dũng, *Các quá trình, thiết bị trong Công nghệ hóa học và thực phẩm: Kỹ thuật lạnh*, Nhà xuất bản đại học quốc gia Tp.HCM.