

DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.024

ĐIỀU KHIỂN GIÁM SÁT VÀ TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG KHO LẠNH

Huỳnh Thị Ngọc Cương¹, Tô Hoài Thanh¹, Tăng Hoàng Phong¹, Nguyễn Chánh Nghiệm², Huỳnh Quốc Khanh² và Nguyễn Chí Ngôn^{2*}

¹Trường Cao đẳng nghề Sóc Trăng

²Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Chí Ngôn (email: ncngon@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 26/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 08/12/2022

Ngày duyệt đăng: 11/12/2022

Title:

Supervisory control to save energy for the cold storage system

Từ khóa:

Giải nhiệt bình ngưng Kho lạnh, Tiết kiệm năng lượng, Xả đá bằng gas nóng, Xả đá bằng điện trở

Keywords:

Cold storage, Condenser cooling, Energy saving, Hot gas defrosting, Resistance defrosting

ABSTRACT

In order to improve efficiency and save the cost of operating the old generation cold storage, the study proposes a solution to improve the two cooling modes and the defrosting mode of the warehouse. In cooling mode, domestic water is used instead of water supplied from the cooling tower to help the refrigerant easily liquefy at the condenser while taking advantage of the hot water source to restore for production. In defrost mode, hot gas is compressed alternately for one of the two indoor units. Experimental results with a warehouse system consisting of two indoor units with two 40 Hp motors pulling two air compressors and condensers, show that the use of domestic supply water to cool the system is more efficient than the Use water from cooling tower. The hot gas defrosting process consumes 12 kWh of electricity, saves more than 45% compared to the old system, stabilizes the warehouse temperature. As such, the proposed solution is highly feasible and can be applied to improve many of the same old-generation cold storages being used in production.

TÓM TẮT

Để nâng cao hiệu suất, tiết kiệm chi phí vận hành kho lạnh thế hệ cũ, nghiên cứu đề xuất giải pháp cải tiến chế độ làm lạnh và xả đá của kho. Ở chế độ làm lạnh, sử dụng nước sinh hoạt thay cho nước cấp từ tháp giải nhiệt để giúp môi chất lạnh dễ dàng hóa lỏng tại bình ngưng đồng thời tận dụng nguồn nước nóng hồi về phục vụ sản xuất. Ở chế độ xả đá, gas nóng được nén luân phiên cho một trong hai dàn lạnh. Kết quả thực nghiệm với một hệ thống kho gồm hai dàn lạnh với 2 động cơ 40 Hp kéo 2 máy nén khí, bình ngưng, cho thấy sử dụng nước cấp sinh hoạt để giải nhiệt hệ thống đạt hiệu quả cao hơn so với việc dùng nước cấp từ tháp giải nhiệt. Quá trình xả đá bằng gas nóng tiêu thụ điện năng 12 kWh, tiết kiệm hơn 45% so với hệ thống cũ, ổn định nhiệt độ kho. Như vậy, giải pháp có tính khả thi và có thể được áp dụng để cải tiến nhiều kho lạnh thế hệ cũ đang sử dụng.

1. GIỚI THIỆU

Nghiên cứu các giải pháp để tiết kiệm năng lượng điện và tài nguyên nước là mục tiêu cấp thiết trong công nghiệp sản xuất hiện nay: bảo vệ môi

trường, giảm chi phí sản xuất, giảm nhân công lao động (Savchenkova & Manukov, 2020). Theo khảo sát các cơ sở sản xuất thực phẩm và chế biến thủy hải sản, nhu cầu sử dụng điện năng cho hệ thống kho

lạnh cấp đông chiếm khoảng 2/3 tổng điện năng tiêu thụ toàn cơ sở (Yadav, 2010); hệ thống sử dụng nước giải nhiệt và nguồn nước nóng sau giải nhiệt thường bị loại bỏ. Tối ưu hóa hệ thống này sẽ góp phần giảm đáng kể chi phí sản xuất (Friso, 2014). Với mong muốn điều khiển hệ thống kho lạnh theo hướng tiết kiệm năng lượng, chúng tôi tập trung vào hai nội dung chính: giải nhiệt hệ thống và xả đá khi dàn lạnh bám tuyết.

Hệ thống kho lạnh cấp đông ở các cơ sở sản xuất hiện nay hầu hết vẫn đang vận hành theo kiểu truyền thống: công nhân trực vận hành thao tác bằng tay, thường xuyên tiếp xúc với môi trường bụi bẩn, tiếng ồn, các thông số không được giám sát thường xuyên giải nhiệt hệ thống không hiệu quả dẫn đến giảm công suất làm lạnh; việc xả đá dàn lạnh bằng điện trở (Wang et al., 2017) tuy đơn giản nhưng lại kém hiệu quả do tiêu tốn nhiều điện năng để đốt nóng điện trở, thời gian xả đá kéo dài do băng được làm tan gián tiếp, nhiệt độ trong kho tăng cao làm ảnh hưởng đến chất lượng hàng hóa trong kho.

Mục tiêu của nghiên cứu này: (1) hạ thấp nhiệt độ của nguồn nước giải nhiệt cho hệ thống (Ketwong et al., 2021) bằng việc bổ sung nguồn nước từ hệ thống nước sinh hoạt thay cho tháp giải nhiệt, nhiệt độ nước sinh hoạt ở khu vực thử nghiệm luôn ổn định, dao động từ 26°C đến 28°C, giúp cho hệ thống lạnh hoạt động hiệu quả hơn. (2) Áp dụng kỹ thuật xả đá bằng gas nóng (Hoffenbecker et al., 2005), giúp tiết kiệm điện năng và ổn định nhiệt độ kho lạnh. Nghiên cứu này “Điều khiển, giám sát và tiết kiệm năng lượng kho lạnh” giúp cho việc điều khiển và giám sát các thông số của hệ thống thường xuyên hơn, đồng thời tập trung vào điều khiển hệ thống theo hướng tiết kiệm năng lượng.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Giải pháp thực hiện

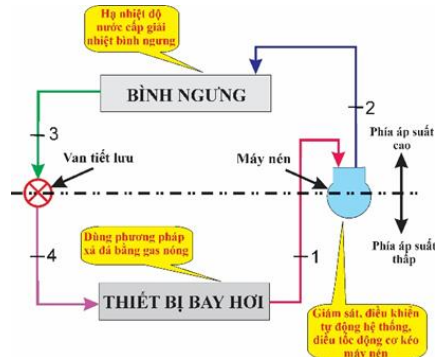
Dựa trên nguyên lý hoạt động như mô tả, các phương pháp điều khiển, giám sát và tiết kiệm năng lượng được đề xuất theo (Hình 1) như sau:

- Điều tốc động cơ điện bằng biến tần để tiết kiệm năng lượng trong một số giai đoạn như: nhiệt

Nhiệt độ kho đã đạt độ lạnh, ổn định áp suất nén đường ống, giảm áp suất đường nén trong chế độ xả đá dàn lạnh (Zhao et al., 2019)

- Sử dụng bổ sung nước sinh hoạt để giải nhiệt cho dàn ngưng (Jamil et al., 2021), nước nóng được đưa về bình chứa cấp cho hệ thống nước nóng sinh hoạt và nước cấp lò hơi phục vụ nhu cầu sử dụng nước nóng của nhà xưởng. Nhiệt độ nước lấy từ nguồn nước sinh hoạt luôn thấp hơn nhiệt độ tháp giải nhiệt. Tại đây có một phần năng lượng tiết kiệm được sử dụng cho việc gia nhiệt hệ thống nước nóng phục vụ nhu cầu hoạt động sản xuất sinh hoạt của nhà xưởng.

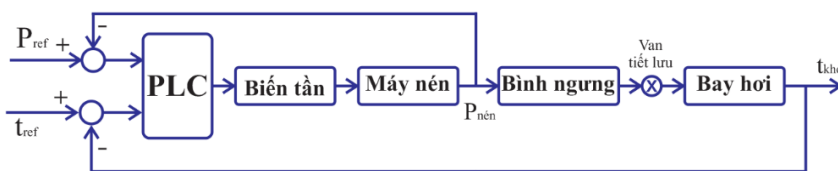
- Thực hiện xả đá giàn lạnh dùng gas nóng, là giải pháp hiệu quả nhất trong các giải pháp xả đá dàn lạnh trong các kho lạnh (Hoffenbecker et al., 2005); trần nhiệt độ kho tăng đối với giải pháp xả đá bằng điện trở đốt nóng và tiêu thụ điện cao, kém hiệu quả về mặt vật lý.



Hình 1. Nguyên lý hoạt động của kho lạnh và ý tưởng thực hiện

2.2. Thiết kế hệ thống

Dựa trên nền tảng lý thuyết chuyên ngành tự động hóa và công nghệ kỹ thuật lạnh, nghiên cứu đưa ra các giải pháp nhằm cải thiện các yếu tố không tốt về hiện trạng kho lạnh hiện tại. Sơ đồ khối tổng quát của hệ thống điều khiển kho lạnh được mô tả ở Hình 2. Giá trị áp suất tham chiếu, thông số điều tốc máy nén cài đặt cho biến tần được cài đặt dựa trên kết quả khảo sát thực nghiệm và kinh nghiệm vận hành. Năng lượng tiêu thụ trong quá trình vận hành được đo với đồng hồ đo đa năng Selec MFM384C.



Hình 2. Sơ đồ tổng quát hệ thống điều khiển kho lạnh

Để thực hiện được giải pháp sử dụng nguồn nước sinh hoạt để giải nhiệt cho hệ thống, một tuyến đường ống bổ sung nguồn nước giải nhiệt cho hệ thống từ nguồn nước sinh hoạt và đường ống hồi nước về khu vực sản xuất. Ngoài ra, một tuyến đường ống gas lạnh được thiết kế nhằm đảo hướng đi của gas nóng và dòng cấp dịch bay hơi trên dàn lạnh.

Từ sơ đồ nguyên lý trên kết hợp các thông tin của thiết bị hiện hữu, thông số vận hành của hệ thống kho, quy trình hoạt động làm lạnh của hệ thống kho lạnh và quá trình hoạt động sản xuất toàn nhà máy, ba giải pháp đưa ra được thực hiện để bổ sung vào hoạt động của kho lạnh. Căn cứ vào phương thức vận hành hệ thống lạnh sẽ có các chế độ (Hình 3):

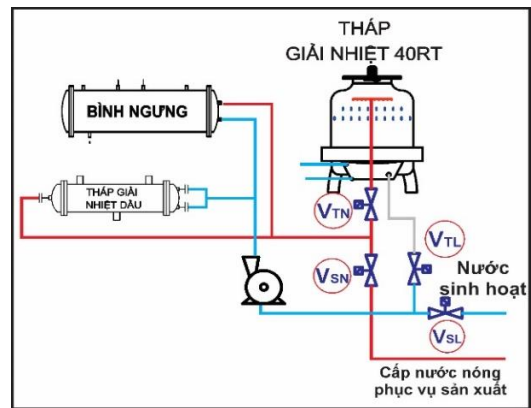


Hình 3. Các chế độ vận hành của hệ thống lạnh

- Chế độ 1: dùng nước sinh hoạt làm mát hệ thống.
- Chế độ 2: dùng nước từ tháp giải nhiệt làm mát hệ thống. Hai chế độ này sẽ hoạt động luân phiên tùy thuộc vào nhu cầu sử dụng nước nóng của nhà máy. Khi có nhu cầu sử dụng nước nóng, hệ thống sẽ hoạt động ở chế độ 1, bình thường hệ thống hoạt động ở chế độ 2.
- Chế độ 3: dàn lạnh 1 xả đá, dàn lạnh 2 làm lạnh.
- Chế độ 4: dàn lạnh 2 xả đá, dàn lạnh 1 làm lạnh. Hai chế độ này được hoạt động luân phiên sau 12 giờ.
- Chế độ 5: xả đá dàn lạnh dùng điện trở nung nóng, chế độ này là chế độ dự phòng và được thao tác bằng tay khi trường hợp chế độ xả đá gas nóng không làm việc được.

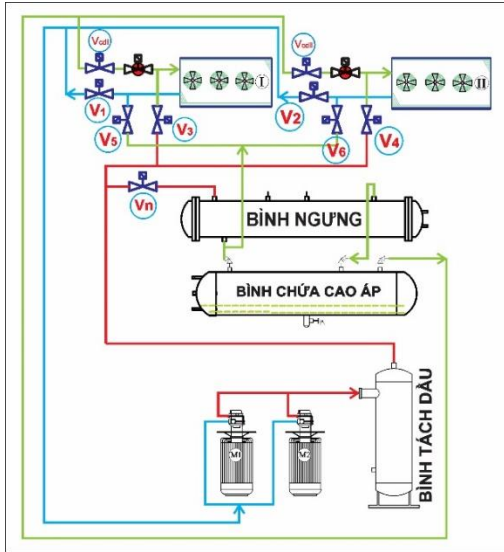
Ngoài ra hệ thống cũng linh hoạt cho phép công nhân lựa chọn thao tác vận hành bằng tay hoặc vận hành tự động.

Bình thường nước giải nhiệt được bơm tuần hoàn về tháp giải nhiệt RT40; trường hợp cấp nước nóng phục vụ sinh hoạt trong nhà máy thì nước cấp vào hệ thống giải nhiệt được lấy từ hồ chứa nước sinh hoạt đồng thời nước nóng sau khi giải nhiệt bình ngưng được bơm về bình chứa nước nóng của hệ thống nước nóng nhà máy (Hình 4). Trường hợp nước tuần hoàn qua tháp giải nhiệt 40RT để giải nhiệt bình ngưng và giải nhiệt dầu, trường hợp này dựa trên hoạt động của hệ thống cũ. Trường hợp công tắc mực nước nóng nhà máy nhu cầu bổ sung tác động trạng thái giải nhiệt dùng tháp giải nhiệt chuyển về trạng thái giải nhiệt bằng cách bơm nước lạnh sinh hoạt giải nhiệt lấy nước nóng hồi về sử dụng cho nhà máy. Trạng thái này tháp giải nhiệt 40RT được xem như không hoạt động hoàn toàn. Hiệu quả giải nhiệt trong trường hợp này gồm hai yếu tố là: nước sinh hoạt cấp vào có nhiệt độ thấp hơn so với trường hợp nước từ tháp 40RT từ 6°C đến 8°C, giúp môi chất lạnh dễ hóa lỏng tại bình ngưng (Jamil et al., 2021); nước nóng lấy về ở nhiệt độ từ 50°C - 55°C được xem là phần năng lượng tiết kiệm nhiệt lượng đun nước nóng từ 26°C lên đến 55°C tương ứng với lượng nước nóng cần dùng. Trong chế độ vận hành bình thường hệ thống tự động đảo nguồn nước giải nhiệt và hồi nước nóng về sinh hoạt tác động theo tín hiệu nhu cầu nước nóng của nhà xưởng, tức trạng thái này sẽ được thường xuyên đảo bởi các van điện từ nước.



Hình 4. Sơ đồ van cấp nước giải nhiệt hệ thống

Hoạt động xả đá dùng gas nóng được thực hiện bằng cách đảo các van điện từ gas lạnh thay đổi hướng môi chất lạnh (Hình 5) làm cho dàn lạnh cần xả đá lúc này có chức năng nhiệm vụ như bình ngưng tự (Xi et al., 2021) để tỏa nhiệt và làm lỏng gas nóng áp suất cao. Hoán đổi xả đá cho 2 dàn lạnh luân phiên trong 12h, ngoài ra được thiết kế mạch riêng trong trường hợp thao tác bằng tay do tình hình sử dụng mở cửa kho lạnh để vận chuyển xuất nhập hàng hóa.



Hình 5. Sơ đồ van phục vụ xả đá

Giải pháp xả đá dùng gas nóng được xem như thực hiện nguyên tắc đường ống gas được chuyển đổi sao cho đảm bảo lúc này dàn lạnh có chức năng như bình ngưng tụ. Đưa gas nóng áp suất cao về dàn lạnh cần xả đá để gia nhiệt làm tan đá bám trên dàn lạnh đồng thời hóa lỏng gas về bình chứa cao áp (Savchenkova & Manukov, 2020). Trạng thái này dưới tác động của sự chênh lệch áp suất đường hút và đường nén đẩy dịch cấp về dàn lạnh còn lại qua van tiết lưu ở chế độ làm lạnh bình thường. Sự khác biệt ở đây khả năng giải nhiệt của dàn lạnh tốt hơn nước giải nhiệt tại bình ngưng tụ trong trạng thái giải nhiệt bình thường do dàn lạnh đang bị đóng kín đá ở nhiệt độ tương đương nhiệt độ lạnh của kho. Quá trình hóa lỏng của môi chất lạnh tại dàn lạnh trong trường hợp này sẽ diễn ra nhanh hơn tại bình ngưng tụ. Nhiệt lượng tỏa ra trực tiếp tại ống dẫn gas nên quá trình xả đá dùng gas nóng hiệu quả hơn việc sử dụng điện trở đốt nóng được lắp trên dàn lạnh.

2.3. Lắp đặt hệ thống điều khiển

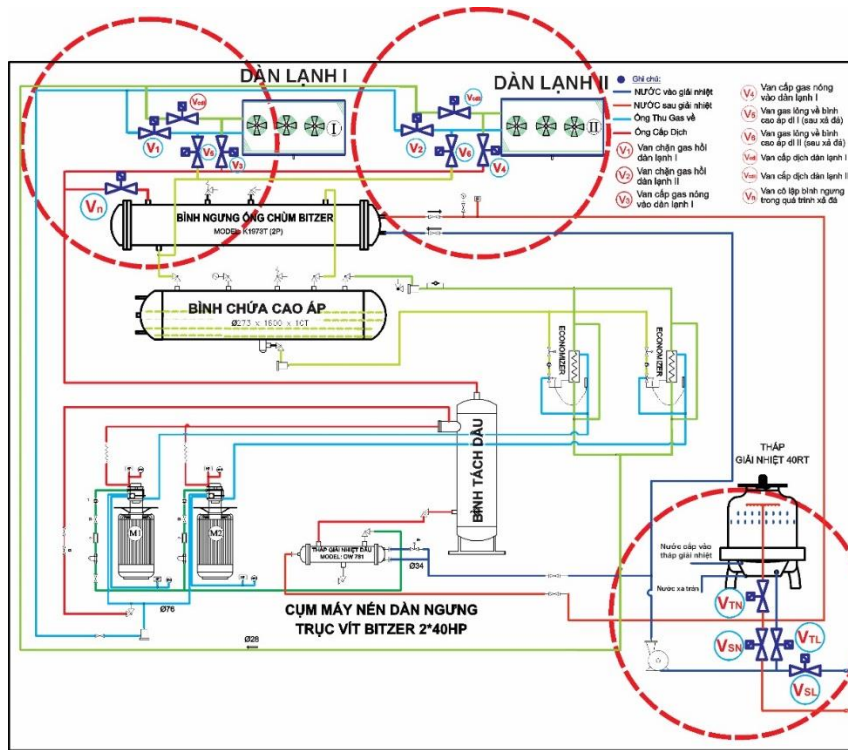
Nghiên cứu này được phát triển dựa trên hệ thống kho lạnh đã có trước đây, được dùng bảo quản

thực phẩm thực hiện theo sơ đồ cấu trúc cơ bản như sau: Hệ thống gồm 2 dàn lạnh và 2 động cơ 40 Hp kéo 2 đầu nén khí Bitzer OSN 5361-K. Dàn ngưng dùng “bình ngưng ống chùm Bitzer K1973-T”. Hệ thống giải nhiệt dùng nước qua thiết bị tháp giải nhiệt 40RT. Kiểm soát thông số hoạt động kho lạnh qua 2 bộ điều khiển nhiệt độ dàn lạnh I và dàn lạnh II. Các bảo vệ nhiệt độ dầu, nhiệt độ đầu nén, áp suất đường hút đường nén, bảo vệ động cơ quá tải, các bảo vệ và liên động mạch điện. Kỹ thuật xả đá dàn lạnh dùng điện trở nhiệt làm nóng dàn lạnh lên đến nhiệt độ trong phạm vi 125°C đến 140°C, điện trở xả đá dàn lạnh tổng công suất 47 kW/dàn lạnh. Kèm thêm các thiết bị phụ, quạt dàn lạnh, quạt tháp giải nhiệt, sấy dầu, thiết bị lạnh phụ trợ hóa lỏng hoàn toàn môi chất.

Hệ thống lạnh của nghiên cứu này được thiết kế trên nền tảng nguyên lý hoạt động của hệ thống lạnh cũ. PLC S7 – 1200 được sử dụng để điều khiển (Ye et al., 2021) và các mô đun mở rộng sau được bổ sung vào hệ thống:

- Hai van đảo chiều cho nguồn lạnh nước cấp vào làm mát bình ngưng và giải nhiệt dầu “V_{TL}”, “V_{SL}”;
- Hai van đảo chiều cho nước nóng đi ra sau khi đã làm mát bình ngưng và bình giải nhiệt dầu “V_{TN}”, “V_{SN}”;
- Van chặn đường gas nóng áp suất cao tại đầu vào bình ngưng “V_n”;
- Hai van chặn đường gas hồi về đường hút tại dàn lạnh I và dàn lạnh II “V₁”, “V₂”;
- Đường ống cấp gas nóng và O2 van đóng/ngắt đường ống gas nóng cho dàn lạnh I và dàn lạnh II “V₅”, “V₆”;
- Đường ống gas lỏng và O2 van đóng/ngắt đường ống gas lỏng hồi về từ chế độ xả đá dùng gas nóng “V₃”, “V₄”.

Chi tiết phân cứng hệ thống được mô tả ở Hình 6.



Hình 6. Bản vẽ thiết kế hệ thống phần cứng tổng thể kho lạnh khi hoàn thành các nội dung thực hiện

2.4. Lắp đặt kho thực nghiệm

Kho giả lập được lắp đặt trên nền của hệ thống kho đã có sẵn, tận dụng lại các panel cách nhiệt làm nền kho, trần kho và vách kho, dung tích kho 180m³, phù hợp đặt thử nghiệm 2 dàn lạnh, panel cách nhiệt đảm bảo cách nhiệt tốt, không trao đổi nhiệt với môi trường bên ngoài; tận dụng cửa kho của hệ thống cũ, đạt yêu cầu đóng mở, độ chắc chắn, độ kín (Hình 7).



Hình 7. Bên trong kho

Các tủ điều khiển được lắp đặt theo kết cấu kho cũ, bổ sung thêm các thiết bị giám sát, đặt bên ngoài, cách kho 3m, ngăn cách với kho bởi vách tường bê tông, nền cao, khô ráo, có mái che, đảm bảo an toàn cho công nhân trong quá trình vận hành thử nghiệm, đảm bảo các thiết bị không hư hỏng do tác động của

thời tiết; tận dụng lại hệ thống tủ và các thiết bị sẵn có, bổ sung mới các thiết bị điều khiển: PLC và các module mở rộng, biến tần, các cảm biến đo nhiệt độ, cảm biến áp suất, thiết bị đọc đo thông số hệ thống, phụ kiện đường ống (Hình 8).



Hình 8. Tủ điều khiển

Cụm máy nén, động cơ kéo máy nén, bình ngưng, bình tách dầu, bình chứa cao áp được tận dụng từ hệ thống cũ (Hình 9); các đường ống thay mới một phần, di chuyển từ vị trí cũ đến vị trí lắp đặt kho giả lập bằng xe cẩu. Cụm máy nén đạt các tiêu chuẩn vận hành, thay mới một phần các đường ống bị rỉ sét do lâu ngày ngừng sử dụng, không được bảo trì, bảo dưỡng đúng cách.



Hình 9. Cụm máy nén

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả điều khiển vận hành

Hệ thống điều khiển chạy ổn định với lập trình PLC S7-1200 và các module mở rộng của S7-1200. Các chế độ hoàn toàn tự động và ghi số liệu, có hệ thống cảnh báo bất thường và sự cố của hệ thống, ghi nhận số liệu và điều khiển từ xa; tạo điều kiện thuận lợi cho công nhân vận hành, tiết giảm nhân lực. Đáp ứng công tác đo ghi năng lượng, hỗ trợ đánh giá, giám sát quản lý các hoạt động tiết kiệm năng lượng nội bộ nhà máy. Thông số hiển thị qua máy tính hoặc màn hình Human Machine Interface (HMI) trực quan, sinh động hơn, dễ quan sát hơn. Phòng trực vận hành có thể đặt xa khu vực máy nén tránh ồn của hệ thống máy nén vận hành, an toàn trong lúc vận hành, cải thiện môi trường làm việc cho công nhân vận hành.

3.2. Kết quả quá trình làm lạnh

Kết quả được thực nghiệm với hệ thống đã lắp đặt hoàn chỉnh, kho 180 m³ hoạt động ở chế độ không tải. Bảng 1 tóm tắt kết quả khảo sát sự thay đổi nhiệt độ nước cấp vào giải nhiệt bình ngưng tụ, giải nhiệt dầu bằng giải pháp dùng nguồn nước sinh hoạt và nguồn nước từ tháp giải nhiệt. Kết quả cho

thấy hiệu quả của việc giải nhiệt sử dụng nguồn nước sinh hoạt chịu ảnh hưởng bởi nhiệt độ môi trường. Tuy nhiên, nhiệt độ nước sinh hoạt ở khu vực thử nghiệm không có sự thay đổi lớn. Nước sinh hoạt có nhiệt độ thường thấp hơn nhiệt độ nước từ tháp giải nhiệt dẫn đến kết quả dầu được giải nhiệt tốt hơn. Để hoạt động bôi trơn đạt hiệu quả tốt, nhiệt độ dầu bôi trơn được khuyến nghị duy trì trong khoảng nhiệt độ 75°C – 77°C. Sau 60 phút thử nghiệm sử dụng nước sinh hoạt có nhiệt độ trong khoảng từ 24,7°C đến 27,4°C, nhiệt độ dầu chỉ tăng đến 72,3°C, vẫn đảm bảo hoạt động bôi trơn diễn ra hiệu quả. Sử dụng nguồn nước từ tháp giải nhiệt cho thấy hiệu quả kém hơn do nhiệt độ dầu giải nhiệt tăng đến 92,4°C. Do bản chất nước từ tháp giải nhiệt có nhiệt độ cao hơn nước sinh hoạt, việc sử dụng nước từ tháp giải nhiệt trong thời gian dài sẽ cho hiệu quả giải nhiệt dầu kém hơn, ảnh hưởng đến công suất làm lạnh và hao tổn năng lượng hơn. Xu hướng tăng suất làm lạnh và hao tổn năng lượng đáng kể. Kết quả thực nghiệm với thời gian hoạt động dài hơn 60 phút cho thấy nhiệt độ dầu tăng cao hơn nhưng duy trì trong khoảng từ 74°C đến 79°C, vẫn đảm bảo cho hoạt động bôi trơn hiệu quả. Trong khi đó, nhiệt độ dầu có thể tăng đến 95°C nếu sử dụng nước từ tháp giải nhiệt trong thời gian dài hơn.

Bảng 1. Kết quả khảo sát sự thay đổi nhiệt độ nước cấp vào giải nhiệt bình ngưng tụ, giải nhiệt dầu bằng giải pháp dùng nguồn nước sinh hoạt và nguồn nước từ tháp giải nhiệt

Thời gian khảo sát	Nhiệt độ nước giải nhiệt cấp cho bình ngưng tụ (°C)		Nhiệt độ dầu bôi trơn (°C)	
	Khi dùng nước sinh hoạt	Khi dùng nước từ tháp giải nhiệt	Khi dùng nước sinh hoạt	Khi dùng nước từ tháp giải nhiệt
Bắt đầu	24,7	26,0	57,1	78,6
Sau 10 phút	25,2	26,8	60,6	81,3
Sau 20 phút	26,5	28,2	64,4	84,2
Sau 30 phút	27,2	30,1	67,7	86,2
Sau 45 phút	27,0	32,2	69,7	89,2
Sau 60 phút	27,5	33,1	72,3	92,4

Bảng 2 tóm tắt kết quả làm lạnh của giải pháp dùng nước sinh hoạt và nước từ tháp giải nhiệt thông qua việc khảo sát nhiệt độ dàn lạnh I và nhiệt độ kho lạnh. Việc cấp nước lạnh sinh hoạt giải nhiệt bình ngưng tụ có nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ nước từ tháp giải nhiệt 6°C÷8°C đã giúp dàn lạnh hoạt động hiệu

quả hơn. Sau 60 phút hoạt động với chế độ không tải, dàn lạnh giảm từ nhiệt độ 27°C xuống -11,1°C, nhiệt độ kho từ 30,1°C được hạ xuống 5,7°C. Trong khi đó, nếu dùng nước luân chuyển từ tháp giải nhiệt, nhiệt độ dàn lạnh từ 22,2°C chỉ giảm đến -7,3°C và đặc biệt là nhiệt độ kho chỉ được hạ đến 19,0°C.

Bảng 2. Kết quả khảo sát hiệu quả làm lạnh kho

Thời gian khảo sát	Nhiệt độ dàn lạnh I (°C)		Nhiệt độ kho (°C)	
	Khi dùng nước sinh hoạt	Khi dùng nước từ tháp giải nhiệt	Khi dùng nước sinh hoạt	Khi dùng nước từ tháp giải nhiệt
Bắt đầu	27,9	22,2	30,1	33,1
Sau 10 phút	12,5	14,2	18,9	29,8
Sau 20 phút	-0,3	4,3	15,2	27,6
Sau 30 phút	-4,1	0,7	10,4	24,3
Sau 45 phút	-8,8	-3,5	8,4	21,5
Sau 60 phút	-11,1	-7,3	5,7	19,0

– Quá trình giải nhiệt tại bình ngưng tụ càng hiệu quả cũng là giúp tiết kiệm thêm một phần năng lượng cho bình ngưng trung gian do không cần hoặc ít hơn phải thực hiện hoá lạnh bổ sung thêm cho môi chất lạnh trước khi vào van tiết lưu dàn lạnh.

– Quá trình sử dụng nước sinh hoạt giải nhiệt hệ thống nguồn năng lượng cấp cho nước lên đến nhiệt độ 45°C ÷ 51°C cho các khu vực có nhu cầu sử dụng nước nóng tại nhà máy chưa được tính toán chi tiết; tức năng lượng để làm nóng nước sinh hoạt từ (22°C ÷ 26°C) lên (45°C ÷ 51°C) tương ứng lượng nước nóng nhu cầu dùng toàn nhà máy (250m³÷350m³/ngày). Kết quả thông số vận hành được trình bày ở Bảng 1 và Bảng 2.

Việc hạ thấp nhiệt độ nước giải nhiệt dàn ngưng giúp quá trình ngưng tụ tại bình ngưng tụ tốt hơn, thời gian lỏng của môi chất lạnh nhanh hơn, hiệu quả lạnh sâu sẽ tốt hơn theo định luật bảo toàn năng lượng của môi chất lạnh. Nhiệt lượng sinh ra tại dàn ngưng làm nóng giai đoạn đầu cho nước tiêu thụ sinh hoạt sản xuất tại nhà máy, tại đây hiệu quả của sự tiết kiệm năng lượng cho nhu cầu dùng nước nóng của nhà máy đặt biệt là nước cấp cho lò hơi và nước cấp cho rửa vệ sinh thiết bị chế biến thực phẩm. Nước nóng đi ra từ dàn ngưng dùng sinh hoạt rửa thiết bị chế biến thực phẩm giúp cho việc hạn chế sử dụng hóa chất tẩy rửa, góp phần vệ sinh môi trường, giảm lưu lượng hóa chất hòa tan trong nước thải sản xuất. Tham gia vào tiêu chí an toàn vệ sinh thực phẩm trong công nghệ chế biến và bảo quản thực phẩm, tham gia vào tiêu chí tiết kiệm & sử dụng năng lượng hiệu quả trong hoạt động sản xuất kinh doanh.

3.3. Kết quả quá trình xả đá

Việc xả đá dàn lạnh được thực hiện khảo sát ở hai chế độ, xả đá bằng điện trở và dùng gas nóng. Ở chế độ xả đá bằng điện trở, thí nghiệm xả đá được thực hiện từng dàn và đồng thời cả hai dàn. Ở chế độ xả đá bằng gas nóng, thí nghiệm được thực hiện sau 12 giờ làm lạnh. Trong thí nghiệm này, quá trình xả đá chỉ thực hiện trên một dàn trong khi đó vẫn duy trì chế độ làm lạnh cho dàn còn lại. Sau 12 giờ thực hiện xả đá dàn đầu tiên, dàn còn lại cũng được xả đá trong 12 giờ. Kết quả thực nghiệm cho thấy xả đá dùng gas nóng tức là làm nóng trực tiếp tại đường ống thu nhiệt, lượng đá bám trên dàn được xả nhanh chóng và rơi khỏi dàn nên không cần làm tan đá hoàn toàn. Vì thế, dàn lạnh còn lại vẫn duy trì chế độ làm lạnh giúp cho trần nhiệt độ của kho có tăng nhưng không đáng kể. Kết thúc quá trình xả đá, nhiệt độ kho và nhiệt độ dàn lạnh vẫn duy trì ở mức nhiệt độ âm (Bảng 3).

Kết quả thực nghiệm cũng cho thấy ở chế độ xả đá bằng gas nóng, quá trình xả đá kết thúc khi băng rơi hết ra khỏi dàn lạnh (sau 21 phút). Lúc này, nhiệt độ dàn được xả đá là -4°C, nhiệt độ kho từ -17,9°C tăng lên đến -9,2°C. Như vậy, nhiệt độ kho vẫn được duy trì dưới -3°C nhờ duy trì hoạt động của dàn lạnh 2 nhờ đó đảm bảo điều kiện bảo quản thực phẩm. Nếu thời gian xả đá dài hơn 21 phút, trần nhiệt độ kho tăng nhưng không đáng kể, do dàn lạnh còn lại vẫn duy trì làm lạnh. Ở chế độ xả đá bằng điện trở, khảo sát trong 21 phút (bằng với thời gian xả đá bằng gas nóng) nhiệt độ dàn lạnh 1 và 2 đều tăng lên trên 8,4°C, nhiệt độ kho tăng từ -10°C đến 15,1°C (Bảng 3). Kết quả khảo sát cho thấy cần phải mất hơn 30 phút để đá trên dàn lạnh tan hoàn toàn;

lúc này nhiệt độ kho có thể lên đến 18°C, ảnh hưởng đến thực phẩm bảo quản.

Ở quá trình xả đá bằng điện trở, đá tan dần từ ngoài vào do làm nóng gián tiếp nên cần nhiều thời gian để đá trên dàn lạnh tan hoàn toàn, nhiệt độ phòng và nhiệt độ dàn lạnh tăng cao, lên đến nhiệt

độ dương, hệ thống cần phải được cung cấp năng lượng để vận hành lại cho đến khi kho đạt nhiệt độ của đầu quá trình xả đá. Do đó, điện năng tiêu thụ của quá trình xả đá bằng điện trở phải bao gồm cả năng lượng cung cấp cho điện trở xả và năng lượng để hệ thống vận hành lại.

Bảng 3. Kết quả khảo sát nhiệt độ kho trong 02 trường hợp xả đá

Khảo sát	Xả đá bằng điện trở				Xả đá bằng gas nóng			
	Nhiệt độ kho	Nhiệt độ dàn lạnh I	Nhiệt độ dàn lạnh II	Điện năng tiêu thụ (kWh)	Nhiệt độ kho	Nhiệt độ dàn lạnh I	Nhiệt độ dàn lạnh II	Điện năng tiêu thụ (kWh)
	(°C)	(°C)	(°C)		(°C)	(°C)	(°C)	
Bắt đầu	-10,0	-15,0	-13,2	0	-17,9	-23,7	-22,0	0
Lần 1 (7 phút)	-2,0	-10,5	-8,3	7,6	-17,9	-17,9	-21,6	3,6
Lần 2 (14 phút)	5,2	-2,5	1,2	17,7	-13,6	-11,2	-21,2	7,6
Lần 3 (21 phút)	15,1	8,4	13,7	29,9	-9,2	-4,0	-20,7	11,9

Quá trình xả đá dàn lạnh ứng dụng kỹ thuật nén gas nóng là giải pháp tiết kiệm điện năng và hiệu quả hơn so với cấp điện cho hệ thống điện trở nhiệt xả đá làm ổn định độ lạnh của kho, tránh độ lạnh trần của kho tăng cao, đảm bảo một số loại thực phẩm bảo quản cần hạn chế dao động nhiệt độ kho quá lớn. Quá trình ngưng tụ của môi chất lạnh trong chế độ làm việc này tốt hơn chế độ vận hành bình thường do khả năng giải nhiệt tốt hơn so với tại bình ngưng tụ nên máy nén không cần nén với áp suất cao, giảm công của động cơ kéo máy nén tiết kiệm một phần năng lượng. Là giải pháp tối ưu trong việc bảo toàn năng lượng theo chu trình nén môi chất lạnh (nếu bỏ qua tổn thất của chu trình lạnh).

4. KẾT LUẬN

4.1. Kết luận

Các giải pháp thực hiện điều khiển, giám sát, tiết kiệm năng lượng đã đạt được yêu cầu đặt ra về cải thiện khả năng vận hành hệ thống điều khiển kho lạnh, giảm tiêu thụ năng lượng trong hệ thống lạnh, về vận dụng giải pháp trong bảo toàn năng lượng; sử dụng hiệu quả nguồn năng lượng hoạt động nhà máy phục vụ sản xuất kinh doanh. Kết quả đạt được so với hệ thống trước khi cải tiến:

- Tiết kiệm ít nhất 15% ÷ 20% công làm lạnh toàn phần của kho lạnh hiện hữu kiểu truyền thống cùng công suất sản lượng điện thực tế tiêu thụ cho hoạt động kho lạnh tại nhà máy này là 3.950.000 kWh/năm.

- Việc ứng dụng kỹ thuật xả đá dùng gas nóng đưa vào thực hiện cho trường hợp cùng một kho lạnh có 02 dàn lạnh (01 dàn xả đá, 01 dàn làm lạnh; và

hoán vị ngược lại) được xem như bảo toàn nhiệt lượng $Q_{thu\ vào} = Q_{thải\ ra}$ (nếu bỏ qua tổn thất vận hành). Ổn định nhiệt độ dàn lạnh $\leq -3^{\circ}C$ (nhiệt độ kho $-5^{\circ}C$) trong chế độ xả đá dàn lạnh. Yếu tố này góp phần cải thiện một trong các tiêu chuẩn về phạm vi dao động nhiệt độ trong bảo quản thực phẩm.

- Thực tế hệ thống có thể cung cấp một lượng nước với $250\ m^3 \div 350\ m^3/ngày$ ở nhiệt độ $50^{\circ}C \div 55^{\circ}C$ phục vụ nhu cầu dùng nước nóng trong sản xuất; sử dụng năng lượng hiệu quả cho quá trình sản xuất khép kín, giảm tổn thất năng lượng, vệ sinh an toàn thực phẩm, cải thiện chỉ số ô nhiễm nước thải sinh hoạt do dùng chất tẩy rửa.

4.2. Đề xuất

Nhóm nghiên cứu đã chứng minh được hiệu quả trong việc tiết kiệm năng lượng và sử dụng hiệu quả nguồn nước của hệ thống kho lạnh cấp đông. Tuy nhiên, hệ thống cần phải được vận hành và khảo sát thêm nhiều yếu tố, cần nhiều thời gian để có số liệu cụ thể.

Nghiên cứu thích hợp áp dụng đối với hệ thống lạnh lớn, chi phí cao, nên cần được doanh nghiệp quan tâm đầu tư chi phí ban đầu. Hệ thống cần được đầu tư thiết bị chất lượng đảm bảo vận hành lâu dài. Ngoài ra các hệ thống lạnh vừa và nhỏ cũng cần được quan tâm nghiên cứu theo hướng vận hành tối ưu.

Chính phủ và các cơ sở sản xuất cần quan tâm và có hành động quyết liệt hơn trong việc áp dụng các tiến bộ khoa học kỹ thuật vào sản xuất nhằm mục tiêu tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Friso, D. (2014). Energy saving with total energy system for cold storage in Italy: Mathematical modeling and simulation, exergetic and economic analysis. *Applied Mathematical Sciences*, 8(129–132), 6529–6546. <https://doi.org/10.12988/ams.2014.46443>
- Hoffenbecker, N., Klein, S. A., & Reindl, D. T. (2005). Hot gas defrost model development and validation. *International Journal of Refrigeration*, 28(4), 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2004.08.016>
- Jamil, A., Javed, A., Wajid, A., Zeb, M. O., Ali, M., Khoja, A. H., & Imran, M. (2021). Multiparametric optimization for reduced condenser cooling water consumption in a degraded combined cycle gas turbine power plant from a water-energy nexus perspective. *Applied Energy*, 304(April), 117764. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117764>
- Ketwong, W., Deethayat, T., & Kiatsiriroat, T. (2021). Performance enhancement of air conditioner in hot climate by condenser cooling with cool air generated by direct evaporative cooling. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(January), 101127. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101127>
- Savchenkova, N. M., & Manukov, A. S. (2020). Energy Saving in Refrigerating Equipment. *Proceedings of the 2nd 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2020, May*, 6–8. <https://doi.org/10.1109/REEPE49198.2020.9059107>
- Wang, D., Jiang, J., Tao, L., Kou, Z., & Yao, L. (2017). Experimental investigation on a novel cold storage defrosting device based on electric heater and reverse cycle. *Applied Thermal Engineering*, 127, 1267–1273. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.122>
- Xi, Z., Yao, R., Li, J., Du, C., Yu, Z., & Li, B. (2021). Experimental studies on hot gas bypass defrosting control strategies for air source heat pumps. *Journal of Building Engineering*, 43(August), 103165. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103165>
- Yadav, V. (2010). Cold Storage: A View of Energy Efficient Technologies and Practices. *Int. Conf. on Clean Energy Technologies and Energy Efficiency for Sustainable Development*, August. <https://doi.org/10.13140/2.1.3937.6009>
- Ye, Z., Wang, Y., Yin, X., Song, Y., & Cao, F. (2021). Comparison between reverse cycle and hot gas bypass defrosting methods in a transcritical CO₂ heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 196(July), 117356. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117356>
- Zhao, S., Yang, Z., Zhang, L., Luo, N., & Chen, A. (2019). Intelligent control and energy efficiency analysis of the multi-functional freezing and refrigerated storage system. *International Journal of Green Energy*, 16(15), 1381–1390. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1671403>