NÂNG CAO HIỆU SUẤT HỆ THỐNG LẠNH NH_3: TỪ GÓC NHÌN TỐI ƯU MÁY NÉN ĐẾN TIẾP CẬN TOÀN DIỆN HỆ THỐNG

Enhancing Energy Efficiency in Ammonia Refrigeration Systems: Moving Beyond Compressor Optimization to Comprehensive System Integration

Tác giả: Phạm Ngọc Thành | CEO, Thanh Trading JSC | Chair of Refrigeration, Ashrae Vietnam Chapter - ASHRAE Vietnam chapter - Email: Thanh.Pn@thanhtradingjsc.com

ThS. Lê Minh Văn | HVAC Leader | CTTC Chair & Refrigerant Co-Chair Ashrae Vietnam Chapter - ASHRAE Vietnam chapter - Email: leminhvan.com@gmail.com

Tóm tắt

Hệ thống lạnh amoniac (NH_3) là hạ tầng quen thuộc của các nhà máy chế biến thủy sản, thực phẩm và kho lạnh tại Việt Nam, nơi điện năng tiêu thụ đã được quản lý bằng định mức tiêu hao năng lượng theo Thông tư 52/2018/TT-BCT. Bài viết đề xuất cách tiếp cận toàn hệ thống để nâng cao hiệu suất: thay vì chỉ hỏi có nên thay máy nén hay không, người vận hành hỏi vì sao máy nén tiêu thụ nhiều điện và làm sao giảm điện năng trên mỗi đơn vị lạnh. Phương pháp là tổng hợp các tài liệu kỹ thuật công khai có thể tra cứu (Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge, ACEEE, ACHR News và văn bản pháp quy Việt Nam), đặt chúng vào chuỗi đánh giá "tải lạnh - dàn bay hơi - tổn thất áp suất - máy nén - dàn ngưng - điều khiển", đồng thời ghi rõ điều kiện và giới hạn của từng số liệu. Bài không công bố số đo hiện trường mới. Các số liệu công bố cho thấy: mỗi 1 °C tăng nhiệt độ hút có thể giảm khoảng 3,6 % điện năng máy nén, mỗi 1 °C giảm nhiệt độ ngưng giảm khoảng 2,7 %; nước lẫn trong NH_3 buộc phải hạ áp suất hút để giữ cùng nhiệt độ bay hơi; lớp cáu dày khoảng 0,4 mm có thể làm dàn ngưng thấp hơn khoảng 15 % công suất thiết kế; quạt dàn ngưng dùng biến tần tiết kiệm 5-10 % so với điều khiển đóng/ngắt, nhưng ở khí hậu nóng ẩm hiệu quả phụ thuộc vào cách điều khiển nhiệt độ ngưng theo nhiệt độ bầu ướt. Bài viết kết thúc bằng thứ tự ưu tiên sáu bước, từ đo lường đến thay đổi cấu hình hệ thống, và bộ chỉ số cần theo dõi để xây dựng lộ trình tối ưu vừa kỹ thuật vừa kinh tế.

Từ khóa: hệ thống lạnh NH_3; amoniac; hiệu suất năng lượng; COP; điện năng riêng (SEC); nhiệt độ ngưng tụ; áp suất hút; tối ưu toàn hệ thống; vòng đời.

Abstract

Ammonia (NH_3) refrigeration is common in seafood and food processing plants and cold stores in Vietnam, where electricity use is already regulated through specific energy consumption norms under Circular 52/2018/TT-BCT. This article proposes a whole-system approach to efficiency. Instead of asking whether the compressor should be replaced, operators should ask why the compressor draws so much power and how to lower electricity use per unit of cooling.

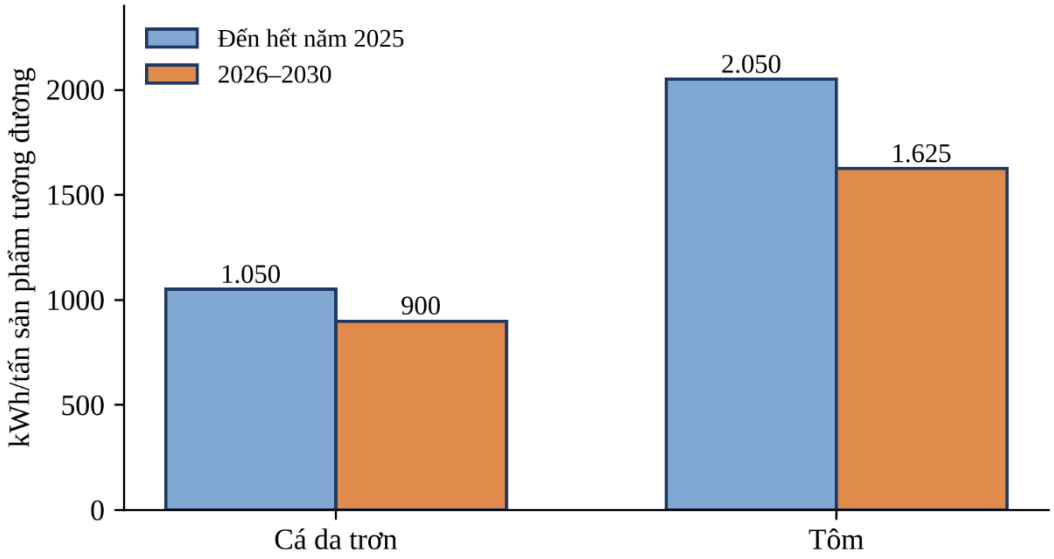
The method is a synthesis of publicly available technical sources (Oak Ridge National Laboratory, ACEEE, ACHR News and Vietnamese regulations), placed in an evaluation chain of cooling load, evaporator, pressure losses, compressor, condenser and controls, with the conditions and limits of every figure stated. No new field measurements are reported. Published figures indicate that each 1 °C rise in suction temperature may cut compressor power by about 3.6 %, and each 1 °C drop in condensing temperature by about 2.7 %. Water in the ammonia forces a lower suction pressure to hold the same evaporating temperature. A scale layer about 0.4 mm thick may leave a condenser about 15 % below design capacity. Variable-speed condenser fans are reported to save 5-10 % compared with on/off control, but in hot and humid climates the benefit depends on controlling the condensing temperature against the wet-bulb temperature. The article closes with a six-step priority order, from measurement to changing the system configuration, and a set of indicators for building an optimization roadmap that is both technically and economically sound.

Keywords: ammonia refrigeration; NH_3; energy efficiency; COP; specific energy consumption (SEC); condensing temperature; suction pressure; whole-system optimization; life cycle.

1. Mở đầu

Hệ thống lạnh amoniac (NH_3) là hạ tầng quen thuộc của các nhà máy chế biến thủy sản, thực phẩm và kho lạnh tại Việt Nam. Điện năng của hệ thống này không còn chỉ là chuyện nội bộ của từng nhà máy. Với ngành chế biến cá da trơn và tôm, Bộ Công Thương đã ban hành định mức tiêu hao điện năng theo từng giai đoạn, và cơ sở có suất tiêu hao cao hơn định mức phải lập và thực hiện kế hoạch nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng [1]. Nói cách khác, giảm điện năng riêng của hệ thống lạnh vừa là bài toán kinh tế, vừa là yêu cầu quản lý.

Hình 1 trình bày các mức định mức trong Thông tư 52/2018/TT-BCT: đến hết năm 2025 là 1.050 kWh/tấn cá da trơn và 2.050 kWh/tấn tôm; giai đoạn 2026-2030 giảm còn 900 và 1.625 kWh/tấn [1]. Sản lượng được quy đổi về "tấn sản phẩm tương đương" theo kiểu cấp đông, ví dụ cá phi lê cấp đông IQF và tôm tươi IQF có hệ số 1,00. Thông tư áp dụng cho cơ sở từ 300 tấn sản phẩm/năm trở lên.



Hình 1. *Định mức tiêu hao điện năng trong chế biến cá da trơn và tôm theo Thông tư 52/2018/TT-BCT (vẽ lại từ số liệu của [1]).*

Phụ lục của thông tư cũng liệt kê các biện pháp nâng cao hiệu quả: hạn chế chạy không tải hoặc non tải dây chuyền IQF và máy nén, xả tuyết kho lạnh đúng quy trình, duy trì áp suất hút hợp lý, cân nhắc hệ thống lạnh trung tâm dùng NH_3, lắp biến tần và thiết bị thu hồi nhiệt [1]. Bài viết này đi sâu vào cơ sở kỹ thuật phía sau những biện pháp đó.

Câu hỏi thường được đặt ra là: "Có nên thay máy nén bằng loại hiệu suất cao hơn không?" Câu hỏi đúng hơn là: "Vì sao máy nén đang tiêu thụ nhiều điện như vậy, và làm sao giảm được công suất điện trên mỗi đơn vị lạnh?" Máy nén là nơi chúng ta nhìn thấy điện năng, nhưng nguyên nhân có thể nằm ở dàn bay hơi, đường ống, dàn ngưng hay cách điều khiển. Mục tiêu của tối ưu hóa là tạo ra cùng một công suất lạnh, đúng nhiệt độ và đúng yêu cầu công nghệ, với điện năng thấp hơn và chi phí vòng đời hợp lý hơn.

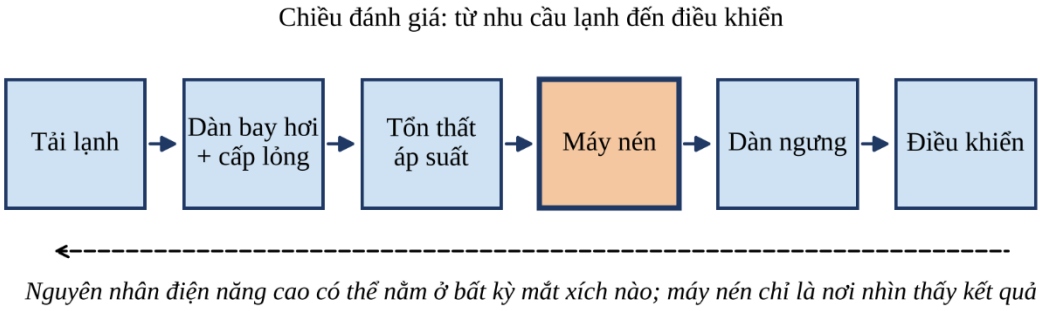
Trong các tài liệu được xem xét, số liệu về từng giải pháp thường rời rạc và ít khi nêu rõ điều kiện áp dụng. Bài viết này (i) tập hợp các số liệu công khai có thể tra cứu, (ii) nêu rõ điều kiện và giới hạn của từng số liệu, và (iii) đặt chúng vào một khung đánh giá toàn hệ thống mà kỹ sư vận hành có thể áp dụng ngay.

2. Cơ sở kỹ thuật và phương pháp tiếp cận

2.1. Chuỗi đánh giá toàn hệ thống

Công suất điện của máy nén được quyết định bởi điều kiện mà toàn bộ hệ thống tạo ra cho nó: nhiệt độ bay hơi, nhiệt độ ngưng tụ và lượng hơi cần nén. Vì vậy, việc đánh giá nên đi theo chuỗi tải lạnh - dàn bay hơi và cấp lỏng - tổn thất áp suất - máy nén - dàn ngưng - điều khiển

(Hình 2). Mỗi mắt xích đều có thể buộc máy nén làm việc với tỷ số nén cao hơn, hoặc nén thêm lượng hơi không tạo ra lạnh hữu ích.



Hình 2. *Chuỗi tư duy đánh giá hiệu suất hệ thống lạnh NH_3, từ tải lạnh đến điều khiển.*

2.2. Chỉ số đo và công thức

Các đại lượng cần đo và theo dõi gồm:

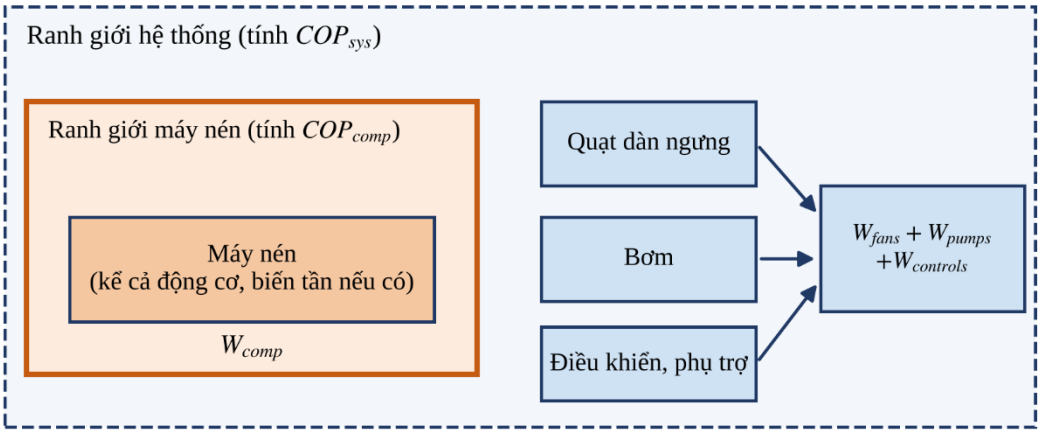
- Công suất điện máy nén (kW) và công suất lạnh (kW);
- Hệ số hiệu quả COP của máy nén và của hệ thống;
- Điện năng riêng trên một đơn vị lạnh (kWh điện/kWh lạnh) hoặc trên một tấn sản phẩm (kWh/t);
- Áp suất hút, nhiệt độ bay hơi, áp suất và nhiệt độ ngưng tụ;
- Mức tải thực tế và thời gian vận hành ở các mức tải khác nhau.

COP của máy nén chỉ tính công suất điện của máy nén, còn COP của hệ thống tính thêm các phụ tải phụ trợ (Hình 3):

$$COP_{comp} = \frac{Q_e}{W_{comp}} \quad (1)$$

$$COP_{sys} = \frac{Q_e}{W_{comp}+W_{fans}+W_{pumps}+W_{controls}} \quad (2)$$

Trong đó Q_e là công suất lạnh (kW), các số hạng W là công suất điện (kW). Ranh giới đo của W_{comp} (có tính tổn thất động cơ và biến tần hay không) cần được nêu rõ mỗi khi so sánh số liệu.



Hình 3. *Ranh giới đo của COP máy nén và COP hệ thống.*

Điện năng riêng (SEC) theo thời gian phải được tính từ năng lượng tích lũy, không lấy trung bình các COP tức thời. Gọi E_{el} là điện năng tiêu thụ (kWh), E_c là nhiệt lượng lạnh sinh ra (kWh) và m_{sp} là khối lượng sản phẩm (t) trong cùng khoảng thời gian:

$$\mathrm{SEC}_C = \frac{\mathrm{E}_{el}}{E_C} \tag{3}$$

$$\mathrm{SEC}_{sp} = \frac{\mathrm{E}_{el}}{m_{sp}} \tag{4}$$

Phương trình (4) cho giá trị cùng đơn vị kWh/t với định mức trong Hình 1, nên có thể đối chiếu trực tiếp khi cùng quy đổi sản lượng như thông tư [1].

2.3. Nguồn dữ liệu và phạm vi

Bài viết không dùng số đo hiện trường của tác giả. Số liệu được lấy từ sáu tài liệu công khai [1]-[6]. Mỗi số liệu được ghi kèm điều kiện nêu trong nguồn. Giá trị đổi từ °F sang °C và từ psi sang kPa do tác giả tính lại (1 °F tương ứng khoảng 0,56 °C). Các quy tắc kinh nghiệm chỉ dùng để xếp thứ tự ưu tiên, không thay cho đo đạc tại nhà máy.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nhiệt độ bay hơi và áp suất hút

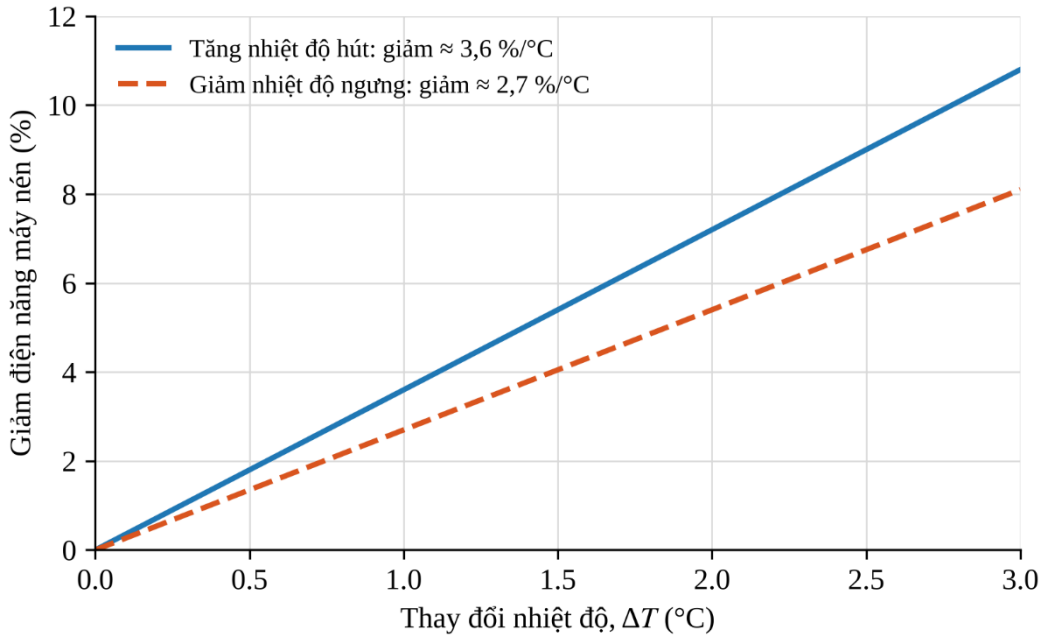
Mục tiêu là đạt nhiệt độ bay hơi cao nhất có thể trong giới hạn yêu cầu của sản phẩm và quá trình. Muốn vậy cần xem xét tổn thất áp suất trên đường hút, khả năng truyền nhiệt của dàn bay hơi, phân phối NH_3 lỏng, dầu và chế độ xả băng. Khi điều kiện hút được cải thiện, máy nén làm việc với tỷ số nén thấp hơn.

Một quy tắc kinh nghiệm trong tài liệu tập huấn do Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge (ORNL) công bố cho biết cứ tăng khoảng 0,56 °C (1 °F) nhiệt độ hút thì tiết kiệm khoảng 2 %

điện năng máy nén, tương đương khoảng 3,6 %/°C [2]. Nguồn không nêu điều kiện áp dụng, nên con số này chỉ có giá trị định hướng.

3.2. Nhiệt độ ngưng tụ

Dàn ngưng phải đủ khả năng thải nhiệt và được giữ trong tình trạng trao đổi nhiệt tốt. Cần quan tâm đến cáu cặn, chất lượng nước, vòi phun, quạt, bơm và phương thức điều khiển. Cũng trong tài liệu [2], cứ giảm khoảng 0,56 °C (1 °F) nhiệt độ ngưng thì tiết kiệm khoảng 1,5 % điện năng máy nén, tương đương khoảng 2,7 %/°C. Hình 4 vẽ hai quy tắc này trong khoảng thay đổi nhỏ vài kelvin. Các đường thẳng chỉ biểu diễn quy tắc kinh nghiệm, không phải kết quả đo, và cần thận trọng khi ngoại suy ra ngoài khoảng đó.



Hình 4. *Mức giảm điện năng máy nén theo quy tắc kinh nghiệm của* [2] *khi nâng nhiệt độ hút hoặc hạ nhiệt độ ngưng.*

Tuy vậy, hạ nhiệt độ ngưng đòi hỏi thêm công suất quạt và bơm, nên mục tiêu là cực tiểu tổng công suất của hệ thống, không phải cực tiểu nhiệt độ ngưng. Nghiên cứu của D'Antonio và cộng sự ghi nhận chính xu hướng này: áp suất ngưng thấp hơn làm giảm công suất máy nén nhưng làm tăng điện năng quạt và bơm; đồng thời dàn ngưng có thể chiếm 15-20 % điện năng của một hệ lạnh công nghiệp [3].

3.3. Điều khiển dàn ngưng trong khí hậu nóng ẩm

Cùng nghiên cứu [3] cho biết quạt dàn ngưng dùng biến tần có thể tiết kiệm 5-10 % năng lượng so với điều khiển đóng/ngắt. Tuy nhiên, hiệu quả của biến tần không tách rời cách đặt điểm điều khiển. Mohammed và Kissock mô phỏng một hệ NH_3 ở nhiều địa điểm và thấy rằng ở Miami, một khí hậu nóng ẩm, biến tần đơn thuần hiếm khi tiết kiệm điện vì hệ thống không thể

xuống tới áp suất ngưng tối thiểu. Khi kết hợp biến tần với điều khiển nhiệt độ ngưng theo nhiệt độ bầu ướt (wet-bulb approach control), tỷ suất hoàn vốn (ROI) trong trường hợp nghiên cứu đạt khoảng 80 % [4].

Một ví dụ trong [4]: ở nhiệt độ bầu ướt 23,9 °C (75 °F) và độ chênh (approach) 5,6 °C (10 °F), điểm đặt nhiệt độ ngưng là 29,4 °C (85 °F). Cũng trong hệ được nghiên cứu, công suất thực của dàn ngưng thấp hơn khoảng 40 % so với định mức của nhà sản xuất, một dấu hiệu cho thấy dàn ngưng đang xuống cấp hoặc làm việc ngoài điều kiện định mức. Việt Nam có khí hậu nóng ẩm gần như quanh năm; suy luận của tác giả là các kết quả trên gợi ý nên kiểm tra điểm đặt nhiệt độ ngưng theo nhiệt độ bầu ướt địa phương trước khi đầu tư biến tần. Suy luận này cần được kiểm chứng bằng số liệu thực tế của từng nhà máy.

3.4. Tổn thất áp suất và vận hành ở tải một phần

Mọi tổn thất trên đường ống, van, bộ lọc, lưới lọc, van một chiều, van điều áp và cụm van đều cần được xem xét. Việc chọn van chỉ theo đường kính danh nghĩa mà không kiểm tra lưu lượng và tổn thất áp suất có thể khiến hệ thống phải trả giá bằng điện năng trong suốt thời gian vận hành.

Không nên đánh giá hiệu suất chỉ tại điểm thiết kế. Cần xem xét biểu đồ tải thực tế, điều chỉnh công suất, phối hợp nhiều máy nén, sử dụng biến tần khi phù hợp và chế độ tải tối thiểu. Mục tiêu là đưa máy nén vào vùng làm việc hiệu quả trong phần lớn thời gian vận hành. Thông tư 52/2018/TT-BCT cũng nêu việc hạn chế chạy non tải máy nén trong danh mục biện pháp [1].

3.5. Dàn bay hơi, dầu, van và phân tầng nhiệt độ

Dàn bay hơi cần sạch, trao đổi nhiệt tốt và được cấp NH_3 lỏng ổn định. Cần kiểm soát mức lỏng, phân phối lỏng, khí giãn áp (flash gas), dầu tích tụ, luồng gió, bám tuyết và xả băng. Nên bố trí xả băng vào thời gian ít ảnh hưởng đến sản xuất và tránh để độ ẩm cao xâm nhập vào phòng lạnh, phù hợp với yêu cầu xả tuyết đúng quy trình trong [1].

Dầu trong hệ thống có thể ảnh hưởng đến truyền nhiệt. Cần chú ý tách dầu, hồi dầu, xả dầu và tình trạng dầu trong các thiết bị trao đổi nhiệt. Việc kiểm tra và duy trì hệ thống dầu nên được xem là một phần của quản lý hiệu suất, không chỉ là công việc bảo trì.

Van rò rỉ hoặc điều chỉnh không phù hợp có thể tạo dòng đi tắt. Với van khí nóng, hơi áp suất cao rò về phía hút khiến máy nén nén thêm một lượng môi chất không tạo ra công suất lạnh có ích và đưa thêm nhiệt vào dàn bay hơi. Vì vậy cần kiểm tra định kỳ van khí nóng, van hút và van điều tiết lỏng. Mức điện năng tổn thất do một van rò cụ thể phải được xác định bằng đo đạc tại hiện trường và quy đổi theo đơn giá điện của nhà máy.

Khi tải lạnh có nhiều mức nhiệt độ khác nhau, phân tầng nhiệt độ giúp tránh tạo lạnh ở nhiệt độ bay hơi thấp hơn mức cần thiết cho toàn bộ hệ thống. Kết hợp với quy tắc ở mục 3.1, mỗi °C nhiệt độ bay hơi tránh được đều có giá trị về điện năng [2]. Đây là suy luận của tác giả từ quy tắc kinh nghiệm, cần kiểm chứng bằng biểu đồ tải của từng nhà máy.

3.6. Nước lẫn trong NH_3 và khí không ngưng

Hệ NH_3 có thể chịu được lượng ẩm đáng kể trong vận hành [3], nhưng điều đó không có nghĩa là không mất điện năng. Theo Ficker, thêm 10 % nước theo khối lượng làm nhiệt độ bay hơi cao hơn khoảng 2 °C (4 °F) ở cùng áp suất hút. Nói cách khác, để giữ −20 °C, áp suất hút phải thấp hơn khoảng 0,18 bar: từ 0,90 barg với NH_3 nguyên chất xuống 0,72 barg với dung dịch chứa 10 % nước [5]. Trong ví dụ tính bằng phần mềm chọn máy của một nhà sản xuất cho máy nén tầng thấp bay hơi ở −40 °C (−40 °F) và ngưng ở −6,7 °C (+20 °F), công suất riêng tăng 7,6 % (từ 1,44 lên 1,55 hp/tấn lạnh) khi nhiệt độ bay hơi phải hạ khoảng 2,2 °C (4 °F) [5]. Đây là một điểm tính đơn lẻ, chưa thể suy ra thành hệ số tuyến tính cho mọi hệ thống. Bài viết [5] do một tác giả thuộc nhà sản xuất thiết bị tách khí viết, nên số liệu mang tính minh họa.

Khí không ngưng (không khí lọt vào hệ) làm tăng áp suất đẩy. Cũng theo [5], loại bỏ khí không ngưng có thể tiết kiệm khoảng 6 % chi phí điện cho mỗi 10 psi (khoảng 69 kPa) áp suất đẩy dư. Cả hai trường hợp, nước và khí không ngưng, đều cần được lấy mẫu và đo định kỳ thay vì chờ đến khi hệ thống suy giảm rõ rệt.

3.7. Cáu cặn trên dàn ngưng

Cáu cặn là cách "âm thầm" đẩy nhiệt độ ngưng lên. Theo một bài báo ngành, lớp cáu dày 1/64 in (khoảng 0,4 mm) làm dàn ngưng hoạt động thấp hơn khoảng 15 % so với công suất thiết kế; trong ví dụ đó, một hệ khoảng 1.000 tấn lạnh (khoảng 3.500 kW) có nhiệt độ đẩy 35 °C (95 °F) thay vì 29,4 °C (85 °F) theo thiết kế, do nhiều nguyên nhân cộng lại [6]. Đây là ví dụ minh họa của một bài báo, không phải số đo của một hệ cụ thể, và cần được kiểm chứng theo điều kiện vận hành thực tế trước khi dùng để tính đầu tư hoặc lập kế hoạch bảo trì.

3.8. Cách nhiệt và giảm tải lạnh không cần thiết

Cách nhiệt hư hỏng, cửa không kín, không khí ẩm xâm nhập hoặc rèm chắn không phù hợp đều làm tăng nhu cầu công suất lạnh. Khi tải lạnh tăng, máy nén phải tạo thêm công suất. Vì vậy giảm tải lạnh không cần thiết cũng là một giải pháp giảm điện cho máy nén. Đây là bước ít tốn kém, nên được xem xét trước khi nâng cấp thiết bị.

3.9. Tổng hợp số liệu

Bảng 1 tổng hợp các số liệu định lượng đã dẫn, kèm điều kiện và giới hạn. Các số liệu này dùng để xếp thứ tự ưu tiên, không dùng để thay cho đo đạc.

Bảng 1. Tổng hợp số liệu định lượng công bố và giới hạn áp dụng.

Hiện tượng	**Giá trị công bố**	**Điều kiện / giới hạn**	**Nguồn**
Tăng nhiệt độ hút	Giảm khoảng 3,6 %/°C (≈ 2 %/°F) điện năng máy nén	Quy tắc kinh nghiệm, không nêu điều kiện	[2]
Giảm nhiệt độ ngưng	Giảm khoảng 2,7 %/°C (≈ 1,5 %/°F) điện năng máy nén	Quy tắc kinh nghiệm; chưa tính thêm điện quạt, bơm	[2]
Dàn ngưng trong hệ lạnh công nghiệp	Chiếm 15-20 % điện năng hệ thống	Nêu chung cho hệ công nghiệp	[3]
Quạt dàn ngưng dùng biến tần	Tiết kiệm 5-10 % so với điều khiển đóng/ngắt	Cần kiểm tra phạm vi tính phần trăm trong nguồn gốc	[3]
Biến tần ở khí hậu nóng ẩm	Đơn thuần hiếm khi tiết kiệm; kết hợp điều khiển theo bầu ướt, ROI ≈ 80 %	Mô phỏng một hệ NH_3, trường hợp Miami	[4]
10 % nước theo khối lượng trong NH_3	Nhiệt độ bay hơi cao hơn ≈ 2 °C ở cùng áp suất; giữ −20 °C cần hạ áp suất hút 0,18 bar	Dung dịch NH_3 - nước; bài do nhà sản xuất thiết bị viết	[5]
Nước trong NH_3, ví dụ tính	Công suất riêng tăng 7,6 % (1,44 → 1,55 hp/tấn lạnh)	Một điểm tính, tầng thấp, −40 °C bay hơi	[5]
Khí không ngưng	≈ 6 % chi phí điện/10 psi (≈ 69 kPa) áp suất đẩy dư	Ước tính trong bài báo ngành	[5]
Cáu cặn dàn ngưng	Lớp cáu 1/64 in (≈ 0,4 mm): thấp hơn ≈ 15 % công suất thiết kế	Ví dụ minh họa, hệ ≈ 1.000 tấn lạnh	[6]

4. Từ tối ưu kỹ thuật đến bài toán đầu tư

Một giải pháp nâng hiệu suất chỉ thực sự có giá trị khi chứng minh được hiệu quả kinh tế. Mỗi đề xuất nên được xem xét theo chuỗi: chi phí đầu tư (CAPEX) → tiết kiệm năng lượng → tiết kiệm chi phí vận hành → thời gian hoàn vốn → chi phí vòng đời. Cần thiết lập đường cơ sở (baseline) gồm chuỗi dữ liệu đủ dài, tải lạnh và điều kiện môi trường, làm cơ sở chuẩn hóa mọi so sánh sau này. Sau can thiệp, mức tiết kiệm phải được kiểm chứng bằng dữ liệu ở tải và điều kiện so sánh được với đường cơ sở.

Bảng 2 đề xuất thứ tự ưu tiên thực hiện. Nguyên tắc sắp xếp là làm trước những việc ít tốn kém và có thể kiểm chứng nhanh, rồi mới đến những việc cần vốn lớn.

Bảng 2. Thứ tự ưu tiên thực hiện các giải pháp nâng cao hiệu suất.

Ưu tiên	**Giải pháp**	**Mục đích**
1	Đo lường và xác định tổn thất	Biết chính xác điện năng đang tiêu thụ ở đâu và tại điều kiện nào.

Ưu tiên	Giải pháp	Mục đích
2	Tối ưu điều kiện vận hành	Điều chỉnh các thông số có thể cải thiện mà chưa cần đầu tư lớn.
3	Tối ưu điều khiển	Điều chỉnh máy nén, quạt, bơm và áp suất theo tải thực tế.
4	Giảm tổn thất hệ thống	Van, đường ống, trao đổi nhiệt, dầu, nước, khí không ngưng và các điểm đi tắt.
5	Nâng cấp thiết bị	Chỉ đầu tư khi có số liệu chứng minh mức tiết kiệm và thời gian hoàn vốn.
6	Thay đổi cấu hình hệ thống	Xem xét khi tải, nhiệt độ và mô hình vận hành cho thấy lợi thế rõ ràng về chi phí vòng đời.

Các chỉ số cuối cùng cần hướng tới gồm:

- kW máy nén trên một đơn vị công suất lạnh;
- COP hệ thống tại các điều kiện vận hành thực tế;
- kWh trên một đơn vị lạnh và kWh trên một tấn sản phẩm (đối chiếu định mức [1]);
- Chi phí điện năng hằng năm, chi phí bảo trì và phụ tùng;
- Chi phí vòng đời của toàn bộ hệ thống.

5. Kết luận và khuyến nghị

Máy nén là nơi chúng ta nhìn thấy điện năng, nhưng nguyên nhân làm máy nén tiêu thụ nhiều điện có thể nằm ở bất kỳ đâu trong hệ thống NH_3. Vì vậy không chỉ tối ưu máy nén mà cần tối ưu toàn hệ thống để máy nén làm việc hiệu quả nhất. Từ các số liệu công khai đã dẫn, tác giả rút ra các khuyến nghị sau cho kỹ sư vận hành và thiết kế:

- Bắt đầu bằng đo lường. Lập đường cơ sở về công suất điện, công suất lạnh, nhiệt độ bay hơi và ngưng tụ, mức tải thực tế; tính SEC theo phương trình (3) và (4) và so với định mức trong [1].
- Dùng quy tắc kinh nghiệm để xếp ưu tiên: mỗi °C tăng nhiệt độ hút (≈ 3,6 %) hoặc giảm nhiệt độ ngưng (≈ 2,7 %) có giá trị cao hơn nhiều khoản đầu tư thiết bị, nhưng phải kiểm chứng bằng số đo và phải xét thêm điện quạt, bơm [2], [3].
- Ưu tiên các biện pháp chi phí thấp: vệ sinh dàn ngưng, kiểm tra van rò, tách nước và khí không ngưng, tối ưu xả băng và điều khiển [5], [6].
- Trước khi lắp biến tần cho quạt dàn ngưng, kiểm tra điểm đặt nhiệt độ ngưng theo nhiệt độ bầu ướt địa phương, vì biến tần đơn thuần có thể không tiết kiệm được điện [4].
- Xem xét phân tầng nhiệt độ khi biểu đồ tải cho thấy nhiều mức nhiệt độ cần lạnh.

– Mọi đề xuất đầu tư lớn phải được chứng minh bằng tính toán tiết kiệm, thời gian hoàn vốn và chi phí vòng đời dựa trên dữ liệu thực tế của nhà máy.

Thông điệp chính: tối ưu toàn hệ thống để máy nén làm việc hiệu quả nhất là con đường bền vững để giảm điện năng và nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống lạnh NH_3.

Khai báo sử dụng công cụ AI

Tác giả đã sử dụng công cụ AI để hỗ trợ kiểm tra văn phong, thể hiện ngôn ngữ. Nội dung kỹ thuật, nguồn trích dẫn và kết luận do tác giả chịu trách nhiệm. Không có tài liệu độc quyền của ASHRAE được nhập vào công cụ AI.

Các từ viết tắt

Viết tắt	**Giải nghĩa**
NH_3	Amoniac (Ammonia)
COP	Hệ số hiệu quả (Coefficient of Performance)
SEC	Điện năng riêng (Specific Energy Consumption)
CAPEX	Chi phí đầu tư (Capital Expenditure)
ROI	Tỷ suất hoàn vốn (Return on Investment)
IQF	Cấp đông rời từng miếng (Individually Quick Frozen)
ORNL	Phòng thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge (Oak Ridge National Laboratory)
ACEEE	Hội đồng Mỹ về Kinh tế Năng lượng Hiệu quả (American Council for an Energy-Efficient Economy)
HVAC	Hệ thống sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)
TT-BCT	Thông tư - Bộ Công Thương
kW	Kilowatt (đơn vị công suất)
kWh	Kilowatt-giờ (đơn vị điện năng)
kPa	Kilopascal (đơn vị áp suất)
psi	Pound trên inch vuông (pound-force per square inch, đơn vị áp suất)

Tài liệu tham khảo

[1] Bộ Công Thương, "Thông tư 52/2018/TT-BCT quy định định mức tiêu hao năng lượng trong ngành công nghiệp chế biến thủy sản." Dec. 25, 2018. Accessed: Nov. 01, 2026. [Online]. Available: http://chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=196258

[2] Oak Ridge National Laboratory, "Refrigeration System Virtual In-Plant Training, Session 3 (Condensers)." Oak Ridge National Laboratory, Nov. 03, 2020. Accessed: Nov. 01, 2026. [Online]. Available: https://bptraining.ornl.gov/wp-content/uploads/2021/04/Ammonia-VINPLT-Session-3-2020-Slides.pdf

[3] M. D'Antonio, S. Moray, B. McCowan, G. Epstein, L. Drake, and R. Dixon, "Optimization of Industrial Refrigeration Plants: Including a Case Study at Stonyfield Farm Yogurt," in *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE). [Online]. Available: https://www.aceee.org/files/proceedings/2005/data/papers/SS05_Panel01_Paper02.pdf

[4] A. Q. Mohammed and K. Kissock, "Energy Efficient Design, Retrofit and Control of Evaporative Condensers in Ammonia Refrigeration Systems".

[5] "Water Contamination and Removal in Ammonia Refrigeration Systems | ACHR News." Accessed: Nov. 01, 2026. [Online]. Available: https://www.achrnews.com/articles/97801-water-contamination-and-removal-in-ammonia-refrigeration-systems

[6] B. A. Checket-Hanks, "Down With Pressure, Up With Efficiency | ACHR News," *ACHR News*, Nov. 18, 2002. Accessed: Nov. 01, 2026. [Online]. Available: https://www.achrnews.com/articles/89874-down-with-pressure-up-with-efficiency