

SỐ HÓA QUẢN LÝ VẬN HÀNH HỆ THỐNG MÁY NÉN KHÍ ĐEM LẠI HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG CÔNG NGHIỆP

NGUYỄN ĐÌNH TUẤN PHONG

Khoa Quản lý Công nghiệp và Năng lượng, Trường Đại học Điện lực
Faculty of Industrial and Energy Management, Electric Power University
Email: phongndt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 1/6/2026
Ngày sửa bài: 12/6/2026
Ngày duyệt đăng bài: 23/6/2026

Tóm tắt:

Trong các nhà máy công nghiệp hiện nay, hệ thống máy nén khí là một trong những phụ tải tiêu thụ điện năng lớn, chiếm từ 10 - 30% tổng điện năng sản xuất tùy theo đặc thù ngành nghề. Tuy nhiên, nhiều hệ thống khí nén vẫn đang được vận hành theo phương thức truyền thống, thiếu khả năng giám sát liên tục và phân tích dữ liệu, dẫn đến tổn thất năng lượng đáng kể. Sự phát triển của công nghệ số, Internet vạn vật công nghiệp (IoT), điện toán đám mây và trí tuệ nhân tạo (AI) đã mở ra cơ hội mới trong việc số hóa quản lý năng lượng đối với hệ thống máy nén khí. Nghiên cứu này tập trung phân tích hiện trạng tiêu thụ năng lượng của hệ thống khí nén, giới thiệu mô hình số hóa giám sát và quản lý hiệu quả năng lượng, đồng thời đánh giá các lợi ích về kinh tế, kỹ thuật và môi trường khi áp dụng giải pháp số hóa trong công nghiệp.

Từ khóa: máy nén khí, quản lý năng lượng, chuyển đổi số, IoT, AI, hiệu quả năng lượng, giám sát năng lượng.

Digitalizing compressed-air system operations management to improve industrial energy efficiency

Abstract:

Compressed-air systems are major electricity consumers in industrial plants, accounting for approximately 10 - 30% of total production electricity depending on the industry. Many systems are still operated conventionally without continuous monitoring or data analytics, resulting in substantial energy losses from leakage, heat, idle operation, and inefficient pressure control. This study analyzes compressed-air energy consumption, introduces a digital monitoring and energy-management model based on the Industrial Internet of Things, cloud computing, and artificial intelligence, and evaluates its economic, technical, and environmental benefits. Digital monitoring enables real-time performance assessment, early fault detection, leakage identification, predictive maintenance, and optimized equipment scheduling. The proposed approach can reduce energy waste, operating costs, and greenhouse-gas emissions while improving system reliability and industrial competitiveness.

Keywords: air compressors, energy management, digital transformation, IoT, artificial intelligence, energy efficiency, energy monitoring.

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh giá năng lượng ngày càng gia tăng và yêu cầu giảm phát thải khí nhà kính theo cam kết Net Zero của Việt Nam đến năm 2050, việc sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả đang trở thành nhiệm vụ trọng tâm của các doanh nghiệp công nghiệp.

Trong hơn 10 năm qua, Việt Nam luôn nằm trong top đầu về chỉ số tăng trưởng GDP, với mức trung bình từ 7% - 8%, trong đó có phần đóng góp không hề nhỏ của phát triển công nghiệp. Trong giai đoạn tăng tốc tới đây, Việt Nam hướng tới mục tiêu tăng trưởng hai con số điều đó đồng nghĩa với cần có những sự bứt phá không hề nhỏ của tăng trưởng công nghiệp.

Hiện nay, trên bản đồ các khu công nghiệp, Việt Nam nổi lên như một “công xưởng” mới của thế giới. Nhờ chính sách ưu tiên, thu hút đầu tư vào các khu công nghiệp của các tỉnh thành; hàng loạt các thương hiệu, nhãn hàng lớn đã đặt nhà máy tại Việt Nam như Honda, Toyota, Sam Sung, LG,... các nhà máy gia công, lắp ráp thu hút một lực lượng lao động lớn đồng thời tiêu tốn một lượng điện năng không hề nhỏ, ước tính luôn ở mức trên 50% tổng tiêu thụ năng lượng điện. Mặt khác, trong hầu hết các nhà máy, xí nghiệp, để hoạt động sản xuất diễn ra một cách linh hoạt, liên tục, việc sử dụng khí nén đáp ứng các nhu cầu sản xuất, tối ưu hóa vận hành hiện diện ở tất cả các công đoạn. Khí nén trở thành chất xúc tác, mạch máu cho sự vận hành của các dây chuyền máy móc.

Theo thống kê, hệ thống khí nén đóng vai trò quan trọng thứ tư trong các nhà máy sau điện, nước và hơi. Tuy nhiên, hiệu suất tổng thể của hệ thống khí nén thường chỉ đạt từ 20 - 30%, phần lớn năng lượng đầu vào bị thất thoát dưới dạng nhiệt năng, rò rỉ khí nén hoặc vận hành không tối ưu.

Tại nhiều doanh nghiệp, việc quản lý hệ thống khí nén chủ yếu dựa trên kinh nghiệm vận hành, chưa có hệ thống giám sát trực tuyến, chưa theo dõi được suất tiêu hao năng lượng theo thời gian thực. Điều này làm cho việc phát hiện sự cố, đánh giá hiệu suất và xây dựng các giải pháp tiết kiệm năng lượng gặp nhiều khó khăn.

Chính từ những lý do đó, việc ứng dụng các công nghệ số nhằm xây dựng hệ thống quản lý năng lượng thông minh cho máy nén khí là giải pháp quan trọng giúp nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm chi phí sản xuất và nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp.

2. Phương pháp nghiên cứu

Bài viết sử dụng phương pháp nghiên cứu thống kê, nghiên cứu định tính và nghiên cứu định lượng để phân tích các lý thuyết nền tảng, cũng như tham khảo từ những tài liệu, báo cáo trên thế giới và Việt Nam. Nghiên cứu tài liệu từ các tiêu chuẩn ISO 50001, ISO 11011 và các báo cáo năng lượng trong công nghiệp; phân tích định lượng thông qua các chỉ tiêu tiêu thụ điện năng của hệ thống máy nén khí; Phương pháp mô hình hóa hệ thống giám sát số hóa dựa trên nền tảng IoT và AI.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Tổng quan về tiêu thụ năng lượng của hệ thống máy nén khí

Máy nén khí là thiết bị chuyển đổi điện năng thành năng lượng khí nén để phục vụ các quá trình sản xuất. Trong nhiều ngành công nghiệp như dệt may, thực phẩm, điện tử, xi măng, thép và chế biến gỗ, khí nén là nguồn năng lượng không thể thiếu.

Cơ cấu tiêu thụ năng lượng của hệ thống khí nén thường bao gồm: Máy nén khí: 70 - 80%, hệ thống sấy khí: 5 - 10%, quạt làm mát: 3 - 8%, tổn thất do rò rỉ và vận hành không tải: 15 - 30%.

Nhiều nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ rò rỉ khí nén trong các nhà máy có thể lên tới 20 - 30% lưu lượng khí sản xuất, gây lãng phí điện năng rất lớn. Nguyên nhân chủ yếu, khí nén sử dụng trong công nghiệp thường sử dụng với mức áp suất trung bình trong khoảng từ 6 bar - 8 bar, dẫn đến hệ thống khí nén dễ bị rò rỉ tại các vị trí khớp nối, van, mặt bích,... đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa, độ ẩm cao như ở nước ta.

Mặt khác, việc kiểm soát môi trường bố trí hệ thống máy nén khí, về nhiệt độ khí nén cấp đầu vào, khả

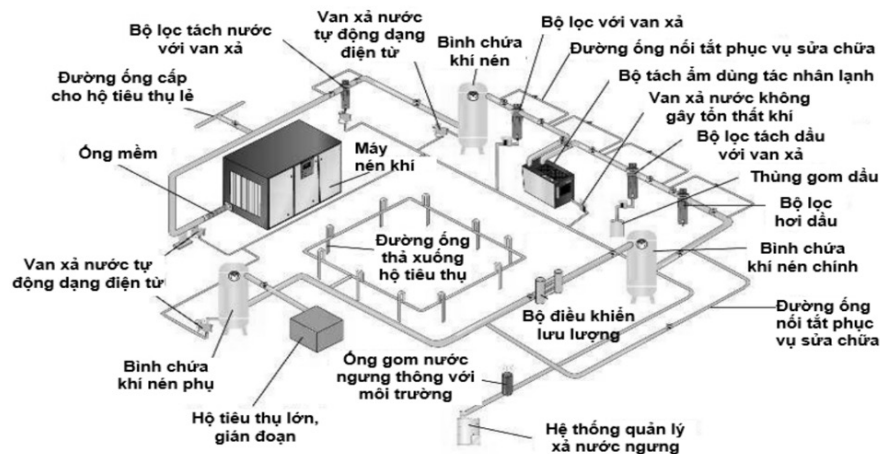
năng giải nhiệt của không gian, môi trường đối lưu khí nóng,... Cơ chế vận hành, điều khiển máy nén khí 1 cách trực tiếp, thủ công cũng là một nguyên nhân chính khiến cho hiệu suất vận hành hệ thống máy nén khí không cao.

Như vậy, việc nghiên cứu đánh giá và tìm ra cách vận hành tối ưu hệ thống máy nén khí sẽ giúp cải thiện đáng kể hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống máy nén khí.

3.2. Thực trạng quản lý năng lượng hệ thống khí nén

Sơ đồ nguyên lý của một hệ thống khí nén điển hình được thể hiện tại Hình 1.

Hình 1. Nguyên lý cấu tạo của hệ thống khí nén



(Nguồn: Sách hướng dẫn tối ưu hóa hệ thống khí nén công nghiệp - Bộ Công Thương)

Hệ thống khí nén sẽ bao gồm các thiết bị chính: Máy nén khí, bình tích áp, máy sấy khí, hệ thống đường ống phân phối, các van, thiết bị đo lường, giám sát điều khiển,... Để hoạt động của nhà máy vận hành liên tục trơn tru, đòi hỏi việc vận hành hệ thống khí nén, phối hợp các thiết bị phải diễn ra một cách nhịp nhàng tối ưu. Bên cạnh đó, việc vận hành tối ưu hệ thống khí nén có thể tiết kiệm từ 20% - 30% năng lượng của hệ thống.

Hiện nay, phần lớn doanh nghiệp chỉ theo dõi điện năng tiêu thụ tổng thông qua công tơ điện mà chưa thực hiện giám sát các thông số vận hành quan trọng, như:

- Áp suất đường ống;
- Lưu lượng khí nén;
- Nhiệt độ không khí đầu vào, khí nén đầu ra;
- Điện năng tiêu thụ của từng máy;
- Thời gian vận hành có tải và không tải;
- Suất tiêu hao năng lượng riêng (m^3/kWh).
- Việc thiếu dữ liệu vận hành theo thời gian thực dẫn đến:
- Khó phát hiện rò rỉ khí nén;
- Không đánh giá được hiệu suất từng máy;
- Khó tối ưu chế độ vận hành nhiều máy nén khí;
- Tăng chi phí bảo trì và sửa chữa.

Việc vận hành điều khiển hệ thống máy nén khí còn quá thô sơ, chưa tương xứng với vai trò quan trọng của hệ thống khí nén trong nhà máy. Việc theo dõi, giám sát, điều khiển thủ công chủ yếu bằng kinh nghiệm dẫn đến hệ quả tất yếu là tổn thất một lượng năng lượng khá lớn mà doanh nghiệp không hề hay biết, không thể kiểm soát và đo lường được hiệu suất vận hành của các máy nén khí.

Để cải thiện thực trạng này, các doanh nghiệp cần có những cách đánh giá, quản lý một cách sát sao và hiệu quả với hệ thống bằng việc:

Lắp đặt hệ thống cảm biến, đồng hồ đo đếm để giám sát các chỉ số quan trọng ở trên: Nhiệt độ, lưu lượng, áp suất,...

Tận dụng tối đa sự phát triển vượt bậc của công nghệ thông tin, chuyển đổi số, Big DATA, khả năng kết nối không dây, AI, IoT,... trong việc giám sát, điều khiển hệ thống hiệu quả, từ đó tối ưu hóa về năng lượng sử dụng.

3.3. Mô hình số hóa quản lý hiệu quả năng lượng hệ thống máy nén khí

Mô hình số hóa quản lý năng lượng cho hệ thống máy nén khí cho các nhà máy sẽ gồm 4 lớp chính:

❖ *Lớp thu thập dữ liệu*

Các cảm biến thông minh được lắp đặt trên hệ thống để thu thập:

Công suất điện (kW);

Điện năng tiêu thụ (kWh);

Áp suất khí nén;

Lưu lượng khí;

Nhiệt độ dầu;

Độ ẩm khí nén;

Trạng thái vận hành thiết bị.

Dữ liệu được thu thập liên tục với chu kỳ từ 1 đến 60 giây.

❖ *Lớp truyền thông dữ liệu*

Thông tin từ cảm biến được truyền về hệ thống trung tâm thông qua:

Modbus RTU/TCP;

Ethernet công nghiệp;

WiFi công nghiệp;

LoRaWAN;

4G/5G.

❖ *Lớp nền tảng quản lý năng lượng*

Dữ liệu được lưu trữ trên nền tảng Cloud hoặc máy chủ nội bộ và được xử lý thông qua phần mềm EMS (Energy Management System). (Hình 2)

Các chức năng chính gồm:

Dashboard thời gian thực;

Theo dõi KPI năng lượng;

Cảnh báo bất thường;

Báo cáo tự động;

Phân tích xu hướng tiêu thụ năng
ơng.

❖ *Lớp trí tuệ nhân tạo (AI)*

AI hỗ trợ:

Dư báo nhu cầu khí nén;

Phát hiện rò rỉ khí nén:

Đề xuất lịch bảo trì dự báo;

Tối ưu trình tự vận hành nhiều máy
n khí;

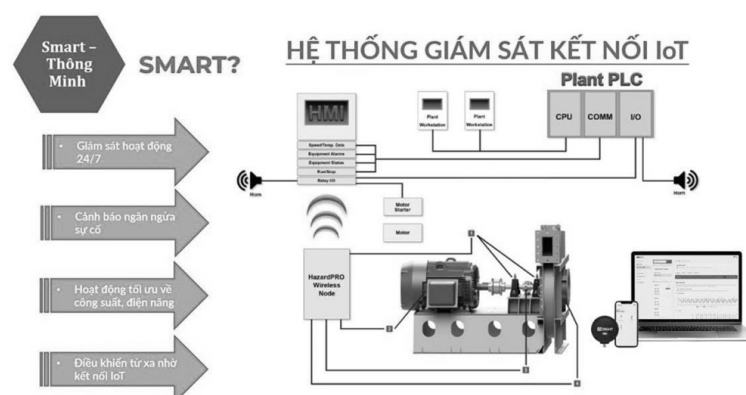
Tư đông cảnh báo suy giảm hiệu suất.

3.4. Hệ thống thông minh kiểm soát chỉ số quản lý năng lượng quan trọng

Để đánh giá hiệu quả năng lượng hệ thống khí nén cần theo dõi các KPI sau:

Suất tiêu hao năng lượng riêng

Hình 2. Nguyên lý hệ thống điều khiển khí nén thông minh



(Nguồn: <https://tomeco.vn/about-us-2/nang-luc-may-moc-cong-nghe>)

$SEC = \text{Điện năng tiêu thụ (kWh)} / \text{Lưu lượng khí nén tạo ra (Nm}^3\text{)}$

Chỉ số này càng thấp chứng tỏ hệ thống càng hiệu quả.

Tỷ lệ rò rỉ khí nén

$\text{Leakage Rate (\%)} = \text{Lưu lượng rò rỉ} / \text{Tổng lưu lượng sản xuất} \times 100\%$

Giá trị khuyến nghị dưới 10%.

Hệ số tải máy nén khí

$\text{Load Factor (\%)} = \text{Thời gian có tải} / \text{Tổng thời gian vận hành} \times 100\%$

Hiệu suất hệ thống khí nén

$\text{System Efficiency} = \text{Nm}^3 \text{ khí nén tạo ra} / \text{kWh điện tiêu thụ}.$

3.5. Hiệu quả của số hóa hệ thống khí nén

Kết quả thực tế tại nhiều nhà máy cho thấy, việc số hóa hệ thống giám sát, điều khiển và vận hành hệ thống khí nén tại các nhà máy xí nghiệp có thể đem lại hiệu quả:

Giảm tiêu thụ điện năng từ 10 - 25%;

Giảm rò rỉ khí nén từ 30 - 70%;

Giảm thời gian dừng máy ngoài kế hoạch từ 20 - 40%;

Giảm chi phí bảo trì từ 15 - 30%;

Tăng tuổi thọ thiết bị từ 10 - 20%.

Ngoài ra, hệ thống còn hỗ trợ xây dựng báo cáo kiểm kê khí nhà kính và báo cáo ESG cho doanh nghiệp. Dưới đây là một số dự án tiêu biểu cho việc tiến hành số hóa hệ thống vận hành khí nén trong công nghiệp. (Hình 3)

Hình 3. Triển khai số hóa hệ thống khí nén nhà máy linh kiện xe máy



(Nguồn: <https://amitech.vn/du-an/giam-sat-khi-nen-khi-gas-aichi-tokei>)

Nhờ hệ thống đo lường và giám sát điều khiển khí nén mới, nhà máy đã kiểm soát tốt hơn lượng khí nén và khí gas sử dụng, từ đó giảm chi phí năng lượng và nâng cao hiệu suất thiết bị. Dữ liệu rõ ràng và tự động giúp doanh nghiệp đáp ứng tốt hơn các yêu cầu kiểm toán năng lượng và tiêu chuẩn ISO 50001 trong quản lý năng lượng. Sau lắp đặt hệ thống số hóa ước tính nhà máy tiết kiệm được 27% năng lượng tiêu thụ điện cho hệ thống khí nén, giúp nhà máy tiết giảm được một lượng chi phí đáng kể.

3.6. Định hướng phát triển trong tương lai

Xu hướng phát triển trong quản lý vận hành hệ thống khí nén trong tương lai sẽ tập trung vào:

Digital Twin cho hệ thống khí nén;

AI tối ưu hóa năng lượng theo thời gian thực;

Tích hợp với hệ thống quản lý năng lượng ISO 50001;

Kết nối với nền tảng quản trị nhà máy thông minh (Smart Factory);

Hỗ trợ tín chỉ carbon và giảm phát thải CO₂.

Việc phát triển số hóa vận hành hệ thống khí nén như vậy sẽ phù hợp với xu hướng tương lai phát triển hệ sinh thái các nhà máy thông minh, khu công nghiệp thông minh thân thiện môi trường. (Hình 4)

Hình 4. Hệ thống khí nén thông minh bằng công nghệ DeepSYS



(Nguồn: <https://amitech.vn/san-pham/giai-phap-tiet-kiem-nang-luong-cho-may-nen-khi>)

4. Kết luận

Số hóa quản lý hiệu quả năng lượng cho hệ thống máy nén khí là một trong những giải pháp quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong công nghiệp. Việc ứng dụng IoT, nền tảng dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo giúp doanh nghiệp giám sát liên tục, phân tích chính xác hiệu suất vận hành, phát hiện nhanh các tổn thất năng lượng và tối ưu hóa hoạt động của hệ thống khí nén.

Trong bối cảnh chuyển đổi số và chuyển đổi xanh đang diễn ra mạnh mẽ, số hóa hệ thống máy nén khí không chỉ mang lại hiệu quả kinh tế đáng kể mà còn góp phần thực hiện mục tiêu phát triển bền vững, giảm phát thải khí nhà kính và nâng cao năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp Việt Nam ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Bộ Công Thương. (2019). Sổ tay hướng dẫn sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả trong hệ thống khí nén. Nhà xuất bản Công Thương.
- Bộ Công Thương. (2024). Hướng dẫn kỹ thuật tối ưu hóa hệ thống khí nén công nghiệp. Nhà xuất bản Công Thương.
- Minh Hằng. (2025). Lắp đặt đồng hồ giám sát khí nén, khí gas Aichi Tokei cho nhà máy linh kiện xe máy. <https://amitech.vn/san-pham/giai-phap-tiet-kiem-nang-luong-cho-may-nen-khi>
- TOMECO. (2024). Năng lực máy móc và thiết bị hiện đại. <https://tomeco.vn/about-us-2/nang-luc-may-moc-cong-nghe>
- International Energy Agency (IEA). (2024). Energy efficiency 2024.
- ISO 50001:2018. (2018). Energy management systems - Requirements with guidance for use.
- ISO 11011:2024. (2024). Compressed air energy assessment.
- Schneider Electric. (2024). Smart energy management for industrial utilities.
- Siemens AG. (2024). Digitalization in industrial compressed air systems.
- U.S. Department of Energy (DOE). (2023). Improving compressed air system performance.