

NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG BỘ TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ THÔNG MINH CỦA CÁC NHÀ MÁY CÔNG NGHIỆP

Phạm Thị Hoài Thu, Trần Doãn Hiếu, Trần Sơn Ninh¹

Bộ môn Quản lý khoa học và công nghệ
Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn

Tóm tắt:

Cùng với sự phát triển của khoa học và công nghệ, xu thế xây dựng nhà máy thông minh đang diễn ra mạnh mẽ trên toàn thế giới, trong đó có Việt Nam. Tuy nhiên, hiện tại có nhiều cách hiểu và đánh giá không thống nhất về mức độ thông minh của một nhà máy. Bằng việc tổng hợp các nghiên cứu quốc tế đã công bố cùng với khảo sát ý kiến chuyên gia, trên cơ sở công cụ phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP), nhóm tác giả đã đề xuất xây dựng bộ tiêu chí nhằm đánh giá định lượng mức độ thông minh của các nhà máy công nghiệp. Bộ tiêu chí đóng vai trò như một công cụ giúp các nhà quản lý hoạch định chiến lược thông minh hoá, xác định mức độ đầu tư (thông minh) phù hợp trong từng giai đoạn phát triển để vừa duy trì sản xuất kinh doanh trong hiện tại, vừa tạo dư địa phát triển trong tương lai.

Từ khóa: Nhà máy thông minh; Bộ tiêu chí đánh giá; AHP.

Mã số: 23011701

RESEARCH FOR ESTABLISHING A SET OF CRITERIA FOR ASSESSING THE INTELLIGENCE LEVEL OF MANUFACTURING FACTORIES

Summary:

Along with the development of science and technology, building smart factories is a trend that is spreading strongly all over the world, including Vietnam. There are currently many inconsistent interpretations and assessments of how smart a factory is. By combining published worldwide studies and expert opinion surveys, the authors recommended a set of criteria for assessing the intelligence level of manufacturing factories using the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique. The set of criteria serves as a tool for managers to design smart strategies and establish the necessary degree of smart investment in each development stage to both maintain production and company in the present while allowing for future growth.

Keyword: Smart factories; Evaluation metrics; AHP.

¹ Liên hệ tác giả: transonnhin@gmail.com

1. Tổng quan về nhà máy thông minh

Cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học và công nghệ, các nhà máy sản xuất hiện nay đang đối mặt với rất nhiều thách thức. Nhu cầu đa dạng từ phía khách hàng đặt ra yêu cầu tùy biến đối với sản phẩm, dẫn đến quy mô các lô sản xuất nhỏ hơn, thay đổi thường xuyên hơn, từ đó, gây lãng phí nhiều hơn nếu vận hành theo cách thức truyền thống. Để cạnh tranh, các nhà máy sản xuất cần phải tối ưu hóa công suất của các trang thiết bị, giảm lãng phí, giảm thời gian lưu kho, sử dụng hiệu quả các nguồn lực của doanh nghiệp,... Tất cả các vấn đề này sẽ được giải quyết bằng giải pháp thông minh hóa các nhà máy sản xuất.

Sau khi thu thập các ấn phẩm đã được xuất bản trên các tạp chí quốc tế có uy tín, chúng tôi nhận thấy có rất nhiều khái niệm khác nhau về “nhà máy thông minh” đã được đưa ra tùy theo quan điểm nghiên cứu. Căn cứ vào phạm vi ảnh hưởng và mức độ chi tiết của các khái niệm, có thể phân chia chúng thành 3 nhóm chính: Theo cách tiếp cận kỹ thuật và công nghệ; Theo cách tiếp cận vận hành; Theo cách tiếp cận vĩ mô.

Theo cách tiếp cận kỹ thuật và công nghệ, nhà máy thông minh là nhà máy được trang bị các thiết bị thông minh và công nghệ hiện đại như Internet of Things (IoT), hệ thống Cyber Physical System (CPS), các cảm biến,... Chúng có thể kết nối và chia sẻ dữ liệu với nhau để thiết lập một hệ thống ảo bên cạnh hệ thống thực. Cách tiếp cận này có ưu điểm là chỉ ra được các công nghệ và phương tiện sản xuất cụ thể cho nhà máy thông minh. Tuy nhiên, nhược điểm là chưa quan tâm đến hiệu quả đầu tư cũng như những tác động vĩ mô và vi mô mà nhà máy thông minh mang lại. Điều này có thể dẫn đến các khoản đầu tư quá lớn, quá nhỏ hoặc không tập trung. Đại diện của cách tiếp cận này là B. Chen và cộng sự (2018), Navid Shariatzadeh và cộng sự (2016), Chui Young Yoon (2019),...

Cách tiếp cận vận hành tập trung vào đánh giá hiệu quả hoạt động như chất lượng sản phẩm, thời gian phản ứng, tính linh hoạt của tổ chức sản xuất,... khi triển khai nhà máy thông minh. Cách tiếp cận này cho rằng: Nhà máy thông minh là nhà máy có sự kết nối toàn diện bên trong nhà máy và sự kết nối với khách hàng, đối tác bên ngoài. Nó có hệ thống tự động nhận và phân tích dữ liệu, cấu hình lại để đáp ứng nhu cầu của khách hàng và các thông số môi trường một cách tối ưu. Ưu điểm của cách làm này là vừa đáp ứng được yêu cầu cụ thể của khách hàng, vừa giảm chi phí sản xuất, hay nói cách khác là tối đa hóa lợi nhuận của nhà máy, giảm thiểu thời gian hoàn vốn đầu tư và nâng cao uy tín. Tuy nhiên, cách làm này không chỉ rõ đầu tư vào cái gì và tác động vĩ mô ra sao. Đại diện của cách tiếp cận này là Jung và cộng sự (2021), Mabkhot và cộng sự (2018),...

Theo cách tiếp cận vĩ mô, nhà máy thông minh là nhà máy đáp ứng được nhu cầu của khách hàng một cách nhanh chóng và tối ưu nhằm tiết kiệm nguồn lực cho xã hội, bảo vệ môi trường, duy trì lợi thế trong cạnh tranh và nâng cao năng lực cạnh tranh của ngành và quốc gia. Cách tiếp cận này sẽ có lợi với các mục tiêu dài hạn và phạm vi rộng, nhưng nó lại là thách thức đối với các doanh nghiệp vừa và nhỏ (SME), đặc biệt là những doanh nghiệp có tiềm năng hạn chế. Đại diện cho quan điểm này là Jay Lee (2015) khi nhấn mạnh lợi ích của nhà máy thông minh đối với các bên liên quan và tác động kinh tế-xã hội.

Mặc dù các tác giả có những cách nhìn khác nhau về nhà máy thông minh, mỗi tác giả đã đưa ra các quan điểm và định nghĩa riêng, tuy nhiên, giữa chúng có những điểm chung nhất định. Sau khi phân tích các quan điểm này, chúng tôi đưa ra định nghĩa về nhà máy thông minh là sự kết hợp của cả 3 cách tiếp cận: kỹ thuật và công nghệ, vận hành và vĩ mô như sau: “Nhà máy thông minh là nhà máy được trang bị máy móc tự động, cơ sở vật chất, cảm biến và con người có kinh nghiệm. Các hệ thống người-máy đó được kết nối với nhau, cũng như kết nối với các thực thể bên ngoài để nhà máy có thể tự động hoặc bán tự động thu thập và phân tích thông tin về môi trường, nhu cầu của khách hàng và đối tác. Hệ thống có khả năng tự cấu hình hoặc tự tái cấu hình cho phù hợp nhằm tối ưu hóa quy trình sản xuất, tiết kiệm tài nguyên, bảo vệ môi trường và nâng cao năng lực cạnh tranh của nhà máy cũng như của ngành và quốc gia”.

Có thể nhận thấy sự khác biệt của nhà máy thông minh so với các nhà máy truyền thống thông qua các lợi ích của nó, bao gồm:

- Nhà máy thông minh có khả năng chủ động phát hiện và phản hồi các sự kiện giúp cải thiện chất lượng, năng suất, giảm thời gian ngừng sản xuất, đồng thời, nâng cao hiệu quả tổng thể của trang thiết bị. Thông qua việc ứng dụng các công nghệ kỹ thuật số, có thể mô phỏng trước các sản phẩm mới, đánh giá được các nút thắt sẽ gặp phải. Nhà máy thông minh cho phép chủ động thay đổi chuỗi cung ứng và lưu kho linh hoạt, tối ưu hóa hoạt động hậu cần khác của nhà máy bao gồm đóng gói và vận chuyển. Nhà máy thông minh có thể mở ra cơ hội kinh doanh mới, các dòng doanh thu và tạo lợi thế cạnh tranh bền vững. Ngoài ra, nó cũng có thể tự động hóa việc sắp xếp và dự báo các lỗi của sản phẩm, từ đó, tiến hành bảo trì, phòng ngừa nhằm ngăn chặn sự cố phải dừng hoạt động. Với nhà máy thông minh, chúng ta có thể xử lý và phân tích dữ liệu trong thời gian thực gần thời điểm tạo dữ liệu để phản ứng nhanh chóng với các dị thường của quy trình sản xuất;
- Trong hoạt động tiếp thị và bán hàng, các công nghệ của sản xuất thông minh cho phép doanh nghiệp có thể hiểu thị trường, dự đoán và thích ứng

được với sở thích, xu hướng và nhu cầu của khách hàng. Trong quản lý chuỗi cung ứng, thông qua hoạt động phân tích dữ liệu IoT, sản xuất thông minh có thể dự báo nhu cầu, tối ưu hóa hàng tồn kho và giám sát các nhà cung cấp cũng như đầu mỗi tiêu thụ;

- Nhà máy thông minh giúp nâng cao chất lượng sản phẩm và quy trình sản xuất, đáp ứng nhu cầu của khách hàng thông qua hoạt động kiểm soát các quy trình thông kê, quản lý năng suất chất lượng và phân tích độ tin cậy. Với việc ứng dụng chữ ký điện tử trong phê duyệt và xác thực các quy trình trực tuyến trong sản xuất, nó có thể giúp tuân thủ quy định để tiêu chuẩn hóa, tự động hóa và giám sát chất lượng theo thiết kế (Quality Function Deployment - QFD).

Như vậy, thông minh hóa nhà máy là một xu hướng tất yếu nếu các nhà máy và doanh nghiệp sản xuất muốn tồn tại và phát triển trong thời đại Cách mạng công nghiệp 4.0. Tuy nhiên, thông minh hóa cần một nguồn vốn đầu tư rất lớn nên nếu không tính toán một cách chi tiết thì nhà máy có thể phá sản trước khi gia tăng lợi nhuận. Do đó, bài toán đặt ra cho người quản lý là xác định mức độ đầu tư (thông minh) phù hợp trong từng giai đoạn phát triển để vừa duy trì sản xuất kinh doanh hiện tại, vừa tạo ra dư địa phát triển trong tương lai. Do đó, bộ tiêu chí đánh giá mức độ thông minh của nhà máy đóng vai trò như một công cụ đo lường giúp các nhà quản lý hoạch định chiến lược thông minh hóa cho nhà máy của mình.

2. Đề xuất các tiêu chí đánh giá mức độ thông minh của nhà máy

Như khái niệm đã nêu ở phần trước, dù thông minh hóa nhà máy cũ hoặc đầu tư mới hoàn toàn thì vẫn phải đảm bảo yêu cầu chung là chúng có thể tự động hoặc bán tự động ra quyết định tùy thuộc vào điều kiện môi trường. Quyết định ở đây bao gồm cả cấp chiến lược, cấp quản trị vận hành hoặc tham số cấu hình của máy móc và thiết bị. Môi trường ở đây bao gồm cả môi trường bên trong và bên ngoài của nhà máy như yêu cầu của khách hàng, khả năng của các đối tác cung ứng, điều kiện và độ chính xác của máy móc, thiết bị sản xuất, trình độ công nhân,...

Jay Lee (2015) đã đưa ra mô hình để đánh giá các cấp độ nhà máy thông minh. Trong đó, cấp 1 là khả năng kết nối của các phần tử trong toàn hệ thống. Cấp 2, dữ liệu thu thập được bởi các cảm biến phải được chuyển đổi thành các thông tin hữu ích có thể xử lý được. Cấp 3, khả năng chia sẻ, đồng bộ trên hệ thống mạng; ở cấp độ này, tất cả các thông tin được xử lý, so sánh, chia sẻ,... trong toàn hệ thống, trên cơ sở đó có thể dự báo hoạt động trong tương lai. Cấp 4, khả năng tự nhận thức, trên cơ sở dữ liệu giám sát, hệ thống tự nhận thức từ đó hỗ trợ người quản lý ra quyết định. Cấp 5, khả năng tự cấu

hình, trên cơ sở nhận thức được, hệ thống có thể tự cấu hình để đáp ứng với các nhiệm vụ của nhà máy.

Mabkhot và cộng sự (2018) đã đưa ra bộ yêu cầu 2 cấp đối với nhà máy thông minh. Trong đó, có 6 yêu cầu cấp 1 (gồm các khả năng như: mô đun hóa, tương tác, phân tán, ảo hóa, định hướng dịch vụ và đáp ứng thời gian thực) và 26 yêu cầu cấp 2 tương ứng với các yêu cầu cấp 1 này. Năm 2019, Iman Abdul Waheed và cộng sự đã sử dụng bộ yêu cầu cấp 1 này để đề xuất mô hình thiết kế cơ bản của nhà máy thông minh.

Baotong Chen và cộng sự (2017) sử dụng mô hình thứ bậc đề xuất mô hình nhà máy thông minh được cấu thành bởi 4 lớp, bao gồm: lớp đầu vào (nhập dữ liệu đầu vào); lớp ứng dụng lưu trữ (đám mây, máy chủ); lớp mạng kết nối (kết nối toàn nhà máy); lớp trang thiết bị phân cứng. Philipp Osterrieder và cộng sự (2019) đã đưa ra mô hình nhà máy thông minh gồm 4 lớp: Lớp điều khiển, kiểm soát (lớp cao nhất trong nhà máy thông minh); lớp đám mây và xử lý thông minh; lớp dữ liệu; lớp vật lý (gồm trang thiết bị sản xuất trực tiếp như rô bốt). Đồng thời, đưa ra mô hình nghiên cứu nhà máy thông minh tương ứng trên 8 lĩnh vực gồm: ra quyết định; hệ thống mạng - thiết bị vật lý; xử lý dữ liệu; cơ sở hạ tầng công nghệ thông tin; chuyển đổi số; tương tác người - máy; kết nối vạn vật; các dịch vụ và sản xuất đám mây.

Rabab Benotsmane và cộng sự (2019) đã so sánh các đặc điểm giữa nhà máy truyền thống và nhà máy thông minh, đồng thời, đề cập tới các thành tố chính tạo nên nhà máy thông minh gồm: tiến trình sản xuất thông minh; cung ứng thông minh; các ứng dụng thông minh; phân tích dữ liệu; nhân lực; các trang thiết bị và sản phẩm. Trong đó, tất cả phải được kết nối đồng bộ bởi công nghệ vạn vật kết nối.

Như vậy, các tiêu chí đánh giá mức độ thông minh của nhà máy đã được các nhà nghiên cứu đưa ra tập trung vào 3 nhóm tiêu chí: đầu tư hạ tầng công nghệ; khai thác vận hành và đảm bảo các chỉ tiêu hiệu quả tổng hợp của một nhà máy thông minh. *Trước hết*, đầu tư hạ tầng công nghệ là khâu đầu tiên và cốt lõi để xây dựng nhà máy thông minh. Thật vậy, cơ sở của nhà máy thông minh phải do máy móc, công nghệ thực hiện thay con người. Nhờ đặc tính làm việc liên tục và mở rộng không giới hạn nên máy móc có thể xử lý và thực hiện được khối lượng thông tin lớn trong khoảng thời gian ngắn mà con người không làm được. Cũng như các hệ thống khác, nhà máy thông minh cần có các cảm biến, bộ phận thu thập thông tin, phần xử lý thông tin (các chip xử lý, lưu trữ) ra quyết định, bộ phận chấp hành và hệ thống kết nối (mạng). Ngoài các phần cứng thì các công nghệ và phần mềm cũng phải được ứng dụng như Cyber Physical System (CPS), Industrial Internet of Things (IIoT), BigData, Artificial Intelligence (AI),... *Thứ hai*, mặc dù đầu tư hạ tầng

công nghệ rất quan trọng nhưng việc sử dụng chúng trong điều hành, quản lý sản xuất mới quyết định đến sự thành công của nhà máy thông minh. Một nhà máy được đầu tư rất tốt nhưng không tích hợp được quy trình vào hệ thống thì không được gọi là thông minh. Do đó, các tiêu chí về khả năng khai thác vận hành cũng đóng vai trò quyết định trong việc thông minh hóa nhà máy. Cuối cùng, các chỉ tiêu về hiệu quả là các chỉ tiêu định lượng minh chứng cho sự thành công của việc xây dựng nhà máy thông minh. Nếu đầu tư tốt, khai thác tốt nhưng chỉ tiêu về hiệu quả không có quá nhiều khác biệt so với các nhà máy truyền thống thì cũng không được gọi là nhà máy thông minh. Dựa vào các phân tích trên, nhóm tác giả đề xuất ba nhóm tiêu chí cấp I tương ứng với ba mặt của vấn đề. Tiếp tục tiến hành phân tích rẽ nhánh, nhóm tác giả đề xuất các tiêu chí cấp II. Chẳng hạn: từ nhóm tiêu chí thứ nhất về đầu tư hạ tầng công nghệ, chúng tôi đề xuất các công nghệ điển hình cần đầu tư cho nhà máy thông minh (gồm 05 công nghệ), tương tự như vậy đối với nhóm tiêu chí số 2 và số 3. Bộ tiêu chí đầy đủ đánh giá mức độ thông minh của nhà máy được đề xuất theo Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Bộ tiêu chí (đề xuất) đánh giá nhà máy thông minh

TT	Tiêu chí cấp I	Tiêu chí cấp II
1	Nhóm tiêu chí về đầu tư hạ tầng (A1)	Số hóa các trang thiết bị (A11)
2		Mô đun hóa và chuẩn hóa giao tiếp, kết nối (A12)
3		Kết nối và chia sẻ dữ liệu (A13)
4		Trang bị khả năng tự xử lý cho các thiết bị (A14)
5		Mức độ ứng dụng công nghệ CPS (A15)
6	Nhóm tiêu chí về khai thác vận hành (A2)	Trình độ nhân lực trong hiểu biết và vận hành nhà máy thông minh (A21)
7		Số hóa và thông minh hóa quy trình (A22)
8		Công tác lập, thực hiện và điều chỉnh kế hoạch (A23)
9		Quản lý chuỗi cung ứng và dự báo (A24)
10		Thu thập, phân tích dữ liệu vận hành (A25)
11	Nhóm tiêu chí về hiệu quả (A3)	Khả năng xử lý các thay đổi bất ngờ (A31)
12		Thời gian lập và điều chỉnh kế hoạch (A32)
13		Chất lượng của sản phẩm (A33)
14		Thị phần của nhà máy (A34)
15		Lợi nhuận đơn vị và tổng lợi nhuận (A35)

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả

Sau khi đề xuất bộ tiêu chí dự thảo, nhóm tác giả tiến hành lấy ý kiến chuyên gia để xác nhận và bổ sung các tiêu chí khác (nếu có). Chuyên gia được khảo sát là các nhà nghiên cứu, lãnh đạo các nhà máy sản xuất,... đã có kinh nghiệm làm việc trong lĩnh vực ít nhất 5 năm. Các câu hỏi được thiết kế tổng hợp bao gồm có đồng ý với tiêu chí đã đưa hay không và cuối mỗi nhóm tiêu chí cấp I và cấp II có câu hỏi mở để bổ sung tiêu chí.

Kết quả khảo sát chuyên gia được tổng hợp trong Bảng 2 dưới đây:

Bảng 2. Kết quả khảo sát chuyên gia về đề xuất tiêu chí

Tiêu chí	A11	A12	A13	A14	A15	A21	A22	A23
Đồng ý	99%	98%	100%	97%	98%	96%	99%	95%
Tiêu chí	A24	A25	A31	A32	A33	A34	A35	
Đồng ý	97%	100%	97%	98%	96%	99%	95%	

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả

Với kết quả trên, nhóm tác giả kết luận ý kiến đa số đã đồng ý với các tiêu chí đề xuất và không có sự bổ sung các tiêu chí khác.

Tuy nhiên, bộ tiêu chí như trên mới cho phép hình dung sơ bộ về nhà máy thông minh nhưng chưa đủ để xem xét mức độ thông minh của nhà máy. Do mỗi tiêu chí có đóng góp khác nhau và mức độ khó khăn khác nhau để thực hiện chúng.

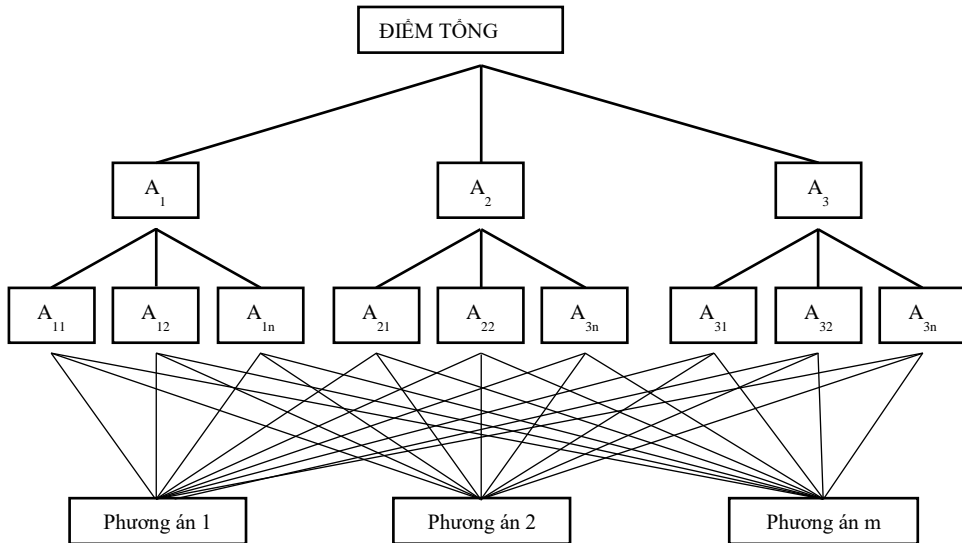
Khắc phục những nhược điểm trên và hướng tới bộ tiêu chí định lượng để đánh giá các nhà máy, chúng tôi sử dụng công cụ phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP) nhằm đánh giá mức độ quan trọng (hay trọng số) của mỗi tiêu chí, từ đó, xây dựng thang điểm tổng hợp. Quá trình phân tích chi tiết sẽ được trình bày trong mục 3 của bài báo này.

3. Ứng dụng phương pháp phân tích thứ bậc AHP tổng hợp bộ tiêu chí

Phương pháp phân tích thứ bậc AHP (Analytic Hierarchy Process) là một phương pháp ra quyết định đa mục tiêu được đề xuất vào năm 1980 bởi Thomas L. Saaty. Đây là phương pháp phân tích định lượng thường được sử dụng để lựa chọn phương án tối ưu trên cơ sở phân tích các chỉ tiêu so sánh. Trong trường hợp bài toán đặt ra, mục tiêu là tìm ra được giá trị trọng số phản ánh đóng góp riêng phần của tiêu chí vào thang điểm tổng hợp về nhà máy thông minh. Dựa trên so sánh cặp, AHP có thể được mô tả với 3 nguyên tắc chính: Phân tích, đánh giá và tổng hợp theo các bước cụ thể như sau:

Bước 1: Xây dựng cây phân cấp AHP

Mục tiêu của bước này là phân cấp các tiêu chí đến mức đủ chi tiết để đánh giá định lượng được. Do mỗi tiêu chí sẽ có mức độ khó khăn khi thực hiện khác nhau nên để thể hiện sự khác nhau này, AHP sử dụng trọng số để đánh giá. Trong mô hình, các phương án 1, ..., phương án m chính là bộ giá trị các trọng số khác nhau.



Nguồn: Deng và cộng sự (1989)

Hình 1. Mô hình cây phân cấp AHP.

Bước 2: Xây dựng ma trận so sánh mức độ quan trọng giữa các tiêu chí

Mục đích của bước này là so sánh chéo giữa các cặp tiêu chí, từ đó, đánh giá được mức độ quan trọng tương đối giữa các tiêu chí trong một cặp. Cụ thể, nhóm tác giả thực hiện lấy ý kiến chuyên gia về mức độ quan trọng của các tiêu chí thông qua phiếu khảo sát. Số liệu sau đó được xử lý thống kê về giá trị trung bình và phương sai. Nếu phương sai mẫu nhỏ hơn giá trị tiêu chuẩn thì giá trị được chấp nhận, nếu không thì tiếp tục thực hiện phỏng vấn sâu.

Mức độ quan trọng giữa các tiêu chí cấp I và giữa các tiêu chí con được thể hiện trên ma trận đối xứng. Nếu tiêu chí A_i được các chuyên gia đánh giá mức độ quan trọng là 5, tiêu chí A_j được các chuyên gia đánh giá mức độ quan trọng là 3 thì mức độ quan trọng tương đối của A_i so với A_j là $5/3$, còn mức độ quan trọng của A_j so với A_i là $3/5$. Các cặp tiêu chí được so sánh cùng cấp với nhau trong cây phân cấp AHP như các bảng ma trận dưới đây.

Bảng 3. Ma trận mức độ quan trọng giữa các tiêu chí cấp 1

Tiêu chí	A1	A2	A3
A1	1.00	1.09	1.05
A2	0.92	1.00	0.97
A3	0.95	1.04	1.00

Bảng 4. Ma trận mức độ quan trọng giữa các tiêu chí cấp 2 của tiêu chí A1

Tiêu chí	A11	A12	A13	A14	A15
A11	1.00	1.08	1.02	1.25	1.20
A12	0.92	1.00	0.94	1.15	1.11
A13	0.98	1.07	1.00	1.23	1.18
A14	0.80	0.87	0.82	1.00	0.96
A15	0.83	0.90	0.85	1.04	1.00

Bảng 5. Ma trận mức độ quan trọng giữa các tiêu chí cấp 2 của tiêu chí A2

Tiêu chí	A21	A22	A23	A24	A25
A21	1.00	0.90	1.02	1.08	1.00
A22	1.12	1.00	1.14	1.21	1.12
A23	0.98	0.88	1.00	1.06	0.98
A24	0.92	0.83	0.94	1.00	0.92
A25	1.00	0.90	1.02	1.08	1.00

Bảng 6. Ma trận mức độ quan trọng giữa các tiêu chí cấp 2 của tiêu chí A3

Tiêu chí	A31	A32	A33	A34	A35
A31	1.00	1.09	1.01	1.09	1.05
A32	0.92	1.00	0.93	1.01	0.97
A33	0.99	1.07	1.00	1.08	1.04
A34	0.92	0.99	0.93	1.00	0.96
A35	0.95	1.03	0.96	1.04	1.00

Bảng 10. Ma trận tính toán trọng số của các tiêu chí cấp 2 trong tiêu chí A3

Trọng số	A31	A32	A33	A34	A35	Trọng số (W3n)
A31	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
A32	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
A33	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
A34	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
A35	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Bước 4: Kiểm tra tính nhất quán trong cách đánh giá của các chuyên gia hoặc nhà quản lý.

Mục tiêu của bước này là kiểm tra lại tính nhất quán của dữ liệu thu thập được. Trong kỹ thuật AHP, Saaty (2008) đề nghị xem xét tỷ lệ nhất quán Consistency Ratio - CR. CR thể hiện sự nhất quán và thống nhất ý kiến của các chuyên gia và nhà quản lý trong quá trình đánh giá. Nếu $CR \leq 0,1$ (10%) kết quả được chấp nhận vì sự đánh giá của các chuyên gia tương đối nhất quán, có độ tin cậy phù hợp. Ngược lại, nếu $CR > 0,1$ sự đánh giá này không nhất quán, các phán đoán có phần ngẫu nhiên, cần được tiến hành đánh giá và xem xét lại.

$$CR = CI/RI. \tag{1}$$

Trong đó:

CI là chỉ số nhất quán (Consistency Index).

RI là chỉ số ngẫu nhiên (Random Index).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

n là số tiêu chí và λ_{max} là giá trị riêng của ma trận so sánh.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{\sum_{j=1}^n W_{1j}}{W_{11}} + \frac{\sum_{j=1}^n W_{2j}}{W_{22}} + \frac{\sum_{j=1}^n W_{3j}}{W_{33}} + \dots + \frac{\sum_{j=1}^n W_{nj}}{W_{nn}} \right] \tag{3}$$

Kiểm tra các điều kiện về tính nhất quán, nhóm tác giả kết luận các tiêu chí được chấp nhận vì sự đánh giá của các chuyên gia tương đối nhất quán.

4. Ứng dụng bộ tiêu chí đánh giá mức độ thông minh của một nhà máy

4.1. Đo lường và đánh giá mức độ đạt được trên từng tiêu chí

Mức độ thông minh của nhà máy được đánh giá bởi ba tiêu chí cấp một và 15 tiêu chí cấp hai như đã phân tích ở trên. Tuy nhiên, ngoài mức độ quan trọng đã được xác định theo phương pháp AHP, các nhà máy còn phải được đánh giá mức độ đạt được của các tiêu chí. Qua tham khảo các tài liệu đã công bố trong phần 2 cũng như ý kiến các chuyên gia, nhóm tác giả đề xuất phương pháp đo lường các tiêu chí như trong Bảng 11:

Bảng 11. Phương pháp đo lường các tiêu chí đánh giá

TT	Tiêu chí cấp I	Tiêu chí cấp II	Đo lường
1	Nhóm tiêu chí về đầu tư hạ tầng (A1)	Số hóa các trang thiết bị (A11)	Tỷ lệ các trang thiết bị được số hóa
2		Mô đun hóa và chuẩn hóa giao tiếp, kết nối (A12)	Tỷ lệ các máy (cụm máy) được mô đun hóa.
3		Kết nối và chia sẻ dữ liệu (A13)	Đo lường theo thang 5 mức: Mức 1 các máy, mô đun được kết nối hoàn toàn với nhau trên 01 mạng; Mức 2 các phần tử có thể “bắt tay” trong việc chia sẻ dữ liệu; Mức 3 các phần tử cùng tính toán và đưa ra các tham số tối ưu; Mức 4 các bộ phận chọn được tham số tối ưu; Mức 5 tự động hoàn toàn trong việc thu thập, phân tích thông tin và tự cấu hình lại một cách tối ưu.
4		Trang bị khả năng tự xử lý cho các thiết bị (A14)	Tỷ lệ các phần tử được trang bị máy vi tính bên cạnh các bộ điều khiển (PLC) để tăng khả năng thông minh.
5		Mức độ ứng dụng công nghệ CPS (A15)	CPS (Cyber physical system) là hệ thống công nghệ cho phép xây dựng một thực thể ảo trên mạng internet vạn vật công nghiệp song song với các thực thể vật lý. Điều này cho phép con người có thể quan sát và tương tác với các đối tượng vật lý thông qua

TT	Tiêu chí cấp I	Tiêu chí cấp II	Đo lường
			đối tượng ảo. Tiêu chí này đo lường mức độ (tỷ lệ) thực thể được triển khai và mức độ giống thật của các đối tượng ảo.
6	Nhóm tiêu chí về khai thác vận hành (A2)	Trình độ nhân lực trong hiểu biết và vận hành nhà máy thông minh (A21)	Tỷ lệ nhân lực đã qua đào tạo (ngắn hạn và dài hạn) về nhà máy thông minh.
7		Số hóa và thông minh hóa quy trình (A22)	Tỷ lệ các quy trình được số hóa hoặc thông minh hóa.
8		Công tác lập, thực hiện và điều chỉnh kế hoạch (A23)	Tỷ lệ các kế hoạch được lập và điều chỉnh tự động tối ưu trên máy tính hoặc bán tự động có sự trợ giúp của máy tính.
9		Quản lý chuỗi cung ứng và dự báo (A24)	Các đối tác và khách hàng được kết nối với mạng của nhà máy để thu nhận, xử lý, trao đổi và truyền thông tin theo thời gian thực.
10		Thu thập, phân tích dữ liệu vận hành (A25)	Mức độ tự động thu thập và phân tích thông tin thông qua các cơ sở dữ liệu lớn nhờ điện toán đám mây.
11	Nhóm tiêu chí về hiệu quả (A3)	Khả năng xử lý các thay đổi bất ngờ (A31)	Thời gian và mức độ tối ưu để xử lý các thay đổi.
12		Thời gian lập và điều chỉnh kế hoạch (A32)	Mức độ rút ngắn thời gian so với nhà máy truyền thống hoặc với trung bình ngành.
13		Chất lượng của sản phẩm (A33)	Mức chất lượng được cải thiện sau khi thông minh hóa.
14		Thị phần của nhà máy (A36)	Mức tăng của thị phần sau khi thông minh hóa.
15		Lợi nhuận đơn vị và tổng lợi nhuận (A37)	Mức độ tăng của lợi nhuận (sau khi trừ chi phí và khấu hao đầu tư nhà máy thông minh) sau khi thông minh hóa.

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả

4.2. Xây dựng bảng điểm và điểm tổng hợp phản ánh mức độ thông minh của nhà máy

Điểm của các tiêu chí (cấp 1 và 2) được tính trên cơ sở điểm thực tế đạt được của mỗi tiêu chí và trọng số của tiêu chí đó. Trọng số của các tiêu chí được xây dựng trong bước 3 là tỷ lệ đóng góp tính theo phần trăm của mỗi tiêu chí vào tiêu chí cấp trên. Để tính tỷ lệ đóng góp vào điểm tổng chỉ cần lấy trọng số đã tính nhân với trọng số của tiêu chí cấp trên. Bảng tỷ lệ đóng góp và cách tổng hợp điểm được thể hiện trên Bảng 12.

Bảng 12. Sử dụng bộ tiêu chí đề xuất đánh giá mức độ thông minh của nhà máy

TT	Tiêu chí cấp I	Tiêu chí cấp II	Trọng số	Giá trị	Điểm thành phần
1	Nhóm tiêu chí về đầu tư hạ tầng (A1)	Số hóa các trang thiết bị (A11)	7.66		
2		Mô đun hóa và chuẩn hóa giao tiếp, kết nối (A12)	7.08		
3		Kết nối và chia sẻ dữ liệu (A13)	7.55		
4		Trang bị khả năng tự xử lý cho các thiết bị (A14)	6.15		
5		Mức độ ứng dụng công nghệ CPS (A15)	6.39		
6	Nhóm tiêu chí về khai thác vận hành (A2)	Trình độ nhân lực trong hiểu biết và vận hành nhà máy thông minh (A21)	6.38		
7		Số hóa và thông minh hóa quy trình (A22)	7.12		
8		Công tác lập, thực hiện và điều chỉnh kế hoạch (A23)	6.26		
9		Quản lý chuỗi cung ứng và dự báo (A24)	5.89		
10		Thu thập, phân tích dữ liệu vận hành (A25)	6.38		
11	Nhóm tiêu chí về hiệu quả (A3)	Khả năng xử lý các thay đổi bất ngờ (A31)	6.94		
12		Thời gian lập và điều chỉnh kế hoạch (A32)	6.40		
13		Chất lượng của sản phẩm (A33)	6.86		
14		Thị phần của nhà máy (A34)	6.35		
15		Lợi nhuận đơn vị và tổng lợi nhuận (A35)	6.60		
Điểm tổng hợp					

Nguồn: Tổng hợp của nhóm tác giả

Như vậy, với một nhà máy cụ thể, người đánh giá xem xét và chấm điểm theo Bảng 11. Sau khi có điểm sẽ đưa vào cột giá trị trên Bảng 12. Điểm của từng tiêu chí (điểm thành phần) được tính bằng cách nhân cột trọng số và cột giá trị. Tổng điểm thành phần của các tiêu chí sẽ được điểm tổng hợp về mức độ thông minh của nhà máy.

5. Kết luận

Bài báo bước đầu cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng Bộ tiêu chí đánh giá mức độ thông minh của các nhà máy công nghiệp (chỉ số sẵn sàng tiếp cận sản xuất thông minh của doanh nghiệp). Khi được nghiên cứu và phát triển, đây sẽ là công cụ giúp các nhà quản lý xác định thời điểm bắt đầu, cách thức mở rộng quy mô của doanh nghiệp cũng như xây dựng chiến lược và kế hoạch duy trì tăng trưởng và chuyển đổi toàn diện lên sản xuất thông minh tại Việt Nam.

Để đánh giá được mức độ thông minh, các nhà máy cần căn cứ vào nội dung thực tế đang thực hiện tại nhà máy, tham chiếu tiêu chuẩn đo lường trong Bảng 11. Sau khi có điểm đánh giá thực trạng, nhân với trọng số trong Bảng 12 và tính điểm tổng hợp. Điểm tổng hợp trên tổng 100 điểm phản ánh mức độ thông minh của nhà máy, ví dụ: nếu điểm đạt 100/100 thì nhà máy đã hoàn toàn thông minh.

Như vậy, so với mục tiêu ban đầu, bài báo cơ bản đã làm rõ được khái niệm nhà máy thông minh, đồng thời, sử dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP), tính toán đưa ra được bộ chỉ số và trọng số của từng tiêu chí làm cơ sở để thông minh hóa các nhà máy. Tuy nhiên, bộ tiêu chí mới được tổng hợp dựa trên các công bố quốc tế và tính toán dựa trên ý kiến của các chuyên gia nên còn mang tính lý thuyết, mặc dù đã đảm bảo độ nhất quán. Để tăng tính thực tế của nghiên cứu, cần mở rộng các cuộc điều tra số liệu với đầy đủ các nhà máy gồm nhà máy đã thông minh một phần, nhà máy cũ đầu tư từ lâu, nhà máy có vốn đầu tư nước ngoài (FDI), nhà máy thuộc các chuyên ngành khác nhau./.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Baotong Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee and B. Yin (2018). "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges." *IEEE Access* 6 (2018).
2. Chui Young Yoon (2019). "Measurement Model of Smart Factory Technology in Manufacturing Fields based on IIoT and CPS". *Association for Computing Machinery*.

3. Deng, J.-Y.; Tzeng, G.-H (1989). "The Analytic Hierarchy Process: Concepts, Techniques and Applications (I)". *J. Chin. Stat. Assoc.* 1989, 27, 13707-13724.
4. Jay Lee (2015). "Smart Factory Systems". *Informatik Spektrum* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg).
5. Jung Woo-Kyun, Kim Dong Ryul, and Lee Hyun su (2021). "Appropriate Smart Factory for SMEs: Concept, Application and Perspective". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22 (2021).
6. Mabkhot Mohammed M., Al-Ahmari Abdulrahman M., Salah Bashir, and Alkhalefah Hisham (2018). "Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective". *Machines* 23, No. 6 (2018).
7. Navid Shariatzadeh, Lindberg Lars, and Sivard Gunilla (2016). "Integration of digital factory with smart factory based on Internet of Things". *Procedia CIRP*, Vol. 50.
8. Philipp Osterrieder, Lukas Budde, and Thomas Friedli (2019). "The Smart Factory as a key construct of Industry 4.0: A systematic literature review". *International Journal of Production Economics* (Elsevier).
9. Rabab Benotsmane, György Kovács, and László Dudás (2019). "Economic, Social Impacts and Operation of Smart Factories in Industry 4.0 Focusing on Simulation and Artificial Intelligence of Collaborating Robots." *Social sciences*.