

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP MCDM LAI CHO VIỆC LỰA CHỌN ROBOT KHAI THÁC MỎ DỰA TRÊN PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH THỨ BẬC

A HYBRID MCDM APPROACH FOR MINING ROBOT SELECTION BASED ON ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

Nguyễn Công Hùng¹, Bùi Thanh Lâm², Trần Ngọc Tiến^{3,*}

¹Trường Cao đẳng nghề Kỹ thuật Công nghệ

²Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Khoa Cơ khí - Ô tô và Xây dựng, Trường Đại học Điện lực

*Email: tientn@epu.edu.vn

TÓM TẮT

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, những tiến bộ công nghệ đã mở ra nhiều cơ hội to lớn nhằm nâng cao mức độ tự động hóa trong các quy trình sản xuất. Việc tích hợp robot để thay thế lao động con người được xem là một bước phát triển then chốt. Ngày nay, robot đã trở nên phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau, đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao độ chính xác, tốc độ và khả năng kiểm soát chất lượng trên các dây chuyền sản xuất. Tuy nhiên, sự đa dạng về chủng loại robot với các đặc tính khác nhau như tải trọng, tốc độ và chi phí đã khiến việc lựa chọn robot phù hợp cho một ứng dụng cụ thể trở nên khó khăn. Để giải quyết vấn đề này, việc áp dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making – MCDM) đã nổi lên như một chiến lược hiệu quả nhằm hỗ trợ quá trình ra quyết định. Trong những nghiên cứu gần đây, các kỹ thuật MCDM đã được sử dụng để đánh giá và so sánh robot dựa trên nhiều tiêu chí khác nhau. Thông qua việc áp dụng các phương pháp này, các ngành công nghiệp có thể tối ưu hóa quá trình lựa chọn robot, từ đó nâng cao hiệu quả vận hành. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một phương pháp MCDM lai mới, kết hợp phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để xác định trọng số với các phương pháp Additive Ratio ASsessment (ARAS), Complex PROportional ASsessment (COPRAS) và Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS) nhằm đánh giá và xếp hạng robot khai thác mỏ. Phương pháp này xây dựng các trọng số dựa trên ý kiến chuyên gia, đồng thời xem xét tầm quan trọng của việc so sánh cặp các tiêu chí. Kết quả nghiên cứu cho thấy robot số 7 là lựa chọn tối ưu nhất, trong khi robot số 2 được xếp hạng thấp nhất, với sự nhất quán về kết quả trên cả ba phương pháp được đề xuất. Kết quả mang ý nghĩa cung cấp định hướng thiết yếu trong việc giải quyết mạng lưới phức tạp các yếu tố khi lựa chọn robot đáp ứng yêu cầu sản xuất.

Từ khóa: Robot khai thác mỏ; Phương pháp MCDM; Phương pháp AHP.

ABSTRACT

Amidst the 4.0 industrial revolution, technological advancements have created vast 

opportunities for enhancing automation within manufacturing processes. The integration of robots to supplant human labor stands as a pivotal development. These robots, now ubiquitous across various sectors, are instrumental in bolstering precision, speed, and quality control in production lines. However, the multiplicity of different robotic kinds with differing characteristics like load capacity, speed, and cost makes it difficult to choose the best robot for a given application. To address this issue, the adoption of multi-criteria decision-making (MCDM) methods has emerged as a valuable strategy for facilitating informed choices. Recent research endeavors have leveraged MCDM techniques to assess and compare robots across a spectrum of criteria. By employing these methodologies, industries can optimize robot selection processes, thereby enhancing operational efficiency. In our current investigation, we introduce a novel hybrid MCDM approach that amalgamates analytic hierarchy process (AHP) weighting with Additive Ratio Assessment (ARAS), Complex Proportional Assessment (COPRAS), and Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) methodologies to evaluate and rank mining robots. This methodology involves constructing weights based on expert insights, while also acknowledging the significance of pairwise criterion comparisons. Our findings indicate that robot 7 emerges as the most favorable choice, while robot 2 ranks as the least optimal option, demonstrating consistent outcomes across all three proposed methodologies. These findings have significant ramifications for manufacturers, providing them with crucial direction in negotiating the complex network of factors involved in choosing robots that meet production requirements.

Keywords: Mining robot; MCDM methods; AHP method.

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, sự phát triển nhanh chóng của khoa học và công nghệ đã mở ra nhiều cơ hội nhằm nâng cao mức độ tự động hóa trong sản xuất [1]. Trong đó, việc nghiên cứu và ứng dụng robot để thay thế lao động con người trong các hoạt động khai thác hầm mỏ ngày càng trở nên cấp thiết [2]. Tuy nhiên, để đạt được hiệu quả tối ưu, bảo đảm chất lượng sản phẩm và nâng cao hiệu quả vận hành, việc lựa chọn loại robot phù hợp với yêu cầu cụ thể của từng điều kiện sản xuất là yếu tố then chốt. Quyết định lựa chọn robot không chỉ nhằm giảm chi phí vận hành và gia tăng hiệu suất mà còn hướng tới việc tối ưu hóa nhiều khía cạnh khác của quá trình sản xuất, bao gồm an toàn lao động, năng suất, chất lượng sản phẩm, hiệu quả sử dụng không gian và tài nguyên, tính linh hoạt cũng như rút ngắn thời gian hoàn thành [3].

Ngược lại, việc lựa chọn robot không phù hợp có thể dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng, làm suy giảm khả năng cạnh tranh của các nhà máy khai thác mỏ. Những hậu quả này bao gồm giảm năng suất và tác động trực tiếp đến chất lượng sản phẩm, khiến sản phẩm không đáp ứng được các tiêu chuẩn về chất lượng [4]. Do đó, việc lựa chọn robot phù hợp không chỉ là một bước quan trọng trong đầu tư và triển khai công nghệ mới mà còn là yếu tố then chốt đảm bảo sự thành công và năng lực cạnh tranh của các cơ sở khai thác mỏ trong bối cảnh công nghiệp hiện nay [5]. Việc lựa chọn robot cần xem xét nhiều tiêu chí, bao gồm các yếu tố liên quan đến hiệu suất như tải trọng, tốc độ vận hành, độ chính xác và độ lặp lại, mức độ tự động hóa yêu cầu, khả năng tương thích với hệ thống hiện có, độ bền trong điều kiện làm việc thực tế và khả năng nâng cấp trong tương lai. Đồng thời, các tiêu chí liên quan đến chi phí cũng cần được xem xét, bao gồm chi phí đầu

tư ban đầu, chi phí vận hành và bảo trì, độ tin cậy, khả năng hoạt động liên tục, mức độ hỗ trợ kỹ thuật từ nhà cung cấp robot và yêu cầu đào tạo cho việc vận hành và bảo trì robot [6, 7]. Sự phức tạp và đa dạng của các yếu tố này khiến quá trình ra quyết định lựa chọn robot trở nên khó khăn. Để giải quyết vấn đề này, các phương pháp MCDM được sử dụng như những công cụ hiệu quả nhằm đưa ra các quyết định tối ưu. MCDM cho phép đánh giá và so sánh nhiều yếu tố và tiêu chí khác nhau, từ đó hỗ trợ lựa chọn phương án tốt nhất dựa trên cách tiếp cận toàn diện và có hệ thống [8]. Trong lĩnh vực lựa chọn robot, nhiều nghiên cứu gần đây đã áp dụng các phương pháp MCDM để đánh giá và so sánh các tiêu chí như tải trọng, tốc độ vận hành, chi phí và độ chính xác nhằm đảm bảo lựa chọn robot tối ưu. Trong [9], các tác giả đã sử dụng các phương pháp VIKOR và ELECTRE để đánh giá và so sánh robot dựa trên nhiều tiêu chí. Trong [10], EDAS được áp dụng cho việc lựa chọn robot công nghiệp, cho thấy hiệu quả và độ chính xác cao trong việc xếp hạng robot với các tiêu chí phức tạp và xung đột. Trong một nghiên cứu khác [11], hai mô hình MCDM lai mới (TOPSIS-ARAS và COPRAS-ARAS) đã được phát triển để đánh giá và xếp hạng 12 robot thay thế dựa trên năm tiêu chí lựa chọn, với sự hỗ trợ của công cụ xác định trọng số CRITIC. Một phương pháp lai khác, BW-EDAS, đã được áp dụng để lựa chọn robot công nghiệp tối ưu, chứng minh tính ổn định và độ tin cậy cao thông qua phân tích độ nhạy và so sánh với các phương pháp MCDM khác như TOPSIS và VIKOR [12]. Các tác giả trong [13] đã sử dụng phương pháp MOORA kết hợp với phương pháp Entropy để lựa chọn robot cho ngành công nghiệp ô tô, giải quyết các tiêu chí xung đột và yêu cầu phức tạp từ các nhà sản xuất robot. Phần lớn các phương pháp này đơn giản hóa quá trình ra quyết định, phù hợp với các bài toán ra quyết định đơn giản hoặc khi các tiêu chí có mức độ quan trọng

tương đương. Tuy nhiên, các phương pháp này có thể không phân biệt được mức độ quan trọng tương đối giữa các tiêu chí. Khi tất cả các tiêu chí được đối xử như nhau mà không có sự ưu tiên, những yếu tố thực sự quan trọng có thể bị đánh giá thấp hoặc không được xem xét đầy đủ, dẫn đến các quyết định chưa tối ưu trong những trường hợp mà các tiêu chí có tầm quan trọng khác nhau.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một phương pháp ra quyết định đa tiêu chí lai mới. Cụ thể, phương pháp phân tích thứ bậc AHP được sử dụng để xác định trọng số của các tiêu chí đánh giá robot công nghiệp. Năm tiêu chí được xem xét bao gồm: khối lượng cơ học của robot, độ lặp lại, tải trọng, tầm với tối đa và mức tiêu thụ năng lượng. Quá trình thực hiện bắt đầu bằng việc xác định mục tiêu và các tiêu chí đánh giá, xây dựng cấu trúc phân cấp, tiến hành so sánh cặp giữa các tiêu chí, tính toán trọng số và kiểm tra tính nhất quán của ma trận so sánh. Sau khi xác định được trọng số các tiêu chí, ba phương pháp MCDM khác nhau (ARAS, COPRAS, MARCOS) được áp dụng để đánh giá và xếp hạng các robot. Việc tích hợp trọng số xác định bằng AHP với các phương pháp MCDM giúp đảm bảo tính khách quan và độ chính xác trong việc xác định tầm quan trọng của các tiêu chí.

2. PHƯƠNG PHÁP VÀ VẬT LIỆU

2.1. Phương pháp ARAS

Phương pháp ARAS được thiết kế để đánh giá các phương án ra quyết định theo các bước sau:

Bước 1: Xây dựng ma trận quyết định có kích thước $n \times m$, trong đó n là số phương án và m là số tiêu chí: 

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định. Đối với các tiêu chí dạng lợi ích sử dụng công thức (2) và đối với các tiêu chí dạng chi phí sử dụng công thức (3). Trong nghiên cứu này, phương pháp chuẩn hóa theo tổng được sử dụng.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=0}^m x_{ij}} \quad (2)$$

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sum_{i=0}^m \frac{1}{x_{ij}}} \quad (3)$$

Bước 3: Xây dựng ma trận quyết định v_{ij} có xét đến trọng số, thông qua quá trình gán trọng số và chuẩn hóa:

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (4)$$

Bước 4: Xác định giá trị của hàm tối ưu:

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (5)$$

Bước 5: Tính toán mức độ hữu ích K_i :

$$K_i = \frac{S_i}{S_0} \quad (6)$$

Trong đó: S_i và S_0 là các giá trị của tiêu chí tối ưu.

2.2. Phương pháp COPRAS

Phương pháp COPRAS được thiết kế

để đánh giá các phương án ra quyết định theo các bước sau:

Bước 1: Tính toán ma trận quyết định đã được chuẩn hóa bằng công thức:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (7)$$

Bước 2: Tính toán ma trận quyết định chuẩn hóa có trọng số, được xác định bằng cách nhân các phần tử của ma trận chuẩn hóa với các hệ số trọng số tương ứng theo công thức:

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij} \quad (8)$$

Bước 3: Xác định tổng các giá trị chuẩn hóa có trọng số đã được tính toán trước đó. Công thức (9) được sử dụng cho các tiêu chí dạng lợi ích và công thức (10) được sử dụng cho các tiêu chí dạng chi phí.

$$S_{+i} = \sum_{j=1}^k v_{ij} \quad (9)$$

$$S_{-i} = \sum_{j=k+1}^n v_{ij} \quad (10)$$

Trong đó, k là số lượng tiêu chí cần được tối đa hóa. Các tiêu chí còn lại từ $k+1$ đến n là các tiêu chí ưu tiên giá trị nhỏ hơn. Các giá trị S_{+i} và S_{-i} thể hiện mức độ đạt được mục tiêu của từng phương án. Giá trị S_{+i} càng lớn thì phương án càng tốt, đồng thời giá trị S_{-i} càng nhỏ cũng cho thấy phương án càng ưu việt.

Bước 4: Tính toán mức độ quan trọng tương đối của các phương án:

$$Q_i = S_{+i} + \frac{S_{-min} \cdot \sum_{i=1}^m S_{-i}}{S_{-i} \cdot \sum_{i=1}^m \left(\frac{S_{-min}}{S_{-i}} \right)} \quad (11)$$

Bước 5: Xếp hạng cuối cùng các phương án được thực hiện dựa trên giá trị U_i :

$$U_i = \frac{Q_i}{Q_i^{max}} \cdot 100\% \quad (12)$$

Trong đó: Q_i^{max} là giá trị lớn nhất của hàm hữu ích. Phương án có giá trị U_i càng lớn thì càng tốt.

2.3. Phương pháp MARCOS

Phương pháp MARCOS được thiết kế để đánh giá các phương án ra quyết định theo các bước sau:

Bước 1: Dựa trên ma trận quyết định ban đầu, xây dựng ma trận quyết định mở rộng bằng cách bổ sung phương án lý tưởng (AI) ở hàng cuối cùng và phương án phản lý tưởng (AAI) ở hàng đầu tiên.

$$M = \begin{bmatrix} x_{aa1} & x_{aa2} & \cdots & x_{aan} \\ x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \\ x_{ai1} & x_{ai2} & \cdots & x_{ain} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Giá trị của phương án lý tưởng và phương án phản lý tưởng đối với các tiêu chí chi phí (C) và lợi ích (B) được xác định như sau:

$$AAI = \begin{cases} \min x_{ij} & \text{if } j \in B \\ \max x_{ij} & \text{if } j \in C \end{cases} \quad (14)$$

$$AI = \begin{cases} \max x_{ij} & \text{if } j \in B \\ \min x_{ij} & \text{if } j \in C \end{cases} \quad (15)$$

Bước 2: Chuẩn hóa ma trận quyết định mở rộng.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{x_{ai}} & \text{if } j \in C \\ \frac{x_{ai}}{x_{ij}} & \text{if } j \in B \end{cases} \quad (16)$$

Bước 3: Xây dựng ma trận có trọng số dựa trên các giá trị của ma trận quyết định mở rộng đã được chuẩn hóa theo công thức (17).

$$v_{ij} = w_i(n_{ij} + 1) \quad (17)$$

Bước 4: Tính toán mức độ hữu ích của các phương án K_i so với phương án lý tưởng và phản lý tưởng:

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (18)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{aii}} \quad (19)$$

Trong đó: $S_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ là tổng các phần tử của ma trận có trọng số v_{ij} .

$$S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (20)$$

Bước 5: Xác định hàm hữu ích cho các phương án được xem xét theo công thức (21).

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ + K_i^-}{1 + \frac{1 - f(K_i^+)}{f(K_i^+)} + \frac{1 - f(K_i^-)}{f(K_i^-)}} \quad (21)$$

Trong đó: $f(K_i^-)$ biểu thị hàm hữu ích tương ứng với phương án phản lý tưởng, còn $f(K_i^+)$ biểu thị hàm hữu ích tương ứng với phương án lý tưởng. Các hàm này có thể được xác định lần lượt theo các công thức (22) và (23).

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (22)$$

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (23)$$

2.4. Phương pháp AHP

Bước 1: Dựa trên ý kiến của các chuyên gia và sử dụng thang đánh giá từ 1-9 được trình bày trong Bảng 1, tiến hành so sánh cặp giữa các tiêu chí nhằm đánh giá tầm quan trọng tương đối của từng tiêu chí và xây dựng ma trận so sánh.

Bảng 1. Thang đo về mức độ quan trọng

Thang đo	Định nghĩa
1	Mức độ quan trọng ngang nhau
2, 3	Mức độ quan trọng thấp
4, 5	Mức độ quan trọng trung bình
6, 7	Mức độ quan trọng cao
8, 9	Mức độ quan trọng rất cao

Bước 2: Xác định ma trận trọng số trung bình, trong đó trọng số của mỗi tiêu chí được tính toán dựa trên giá trị trung bình của từng hàng trong ma trận so sánh.

Bước 3: Kiểm tra tính hợp lý của các giá trị tiêu chí trong ma trận bằng cách tính tỷ số nhất quán. Chỉ số nhất quán của ma trận so sánh được xác định theo công thức sau:

$$C.I. = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (24)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong quá trình ra quyết định đa tiêu chí nhằm đánh giá và lựa chọn các phương án, vai trò của các chuyên gia có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Hội đồng chuyên gia của nghiên cứu này bao gồm những cá nhân có nhiều năm

kinh nghiệm trong lĩnh vực robot công nghiệp. Kiến thức chuyên môn sâu rộng cùng với kinh nghiệm thực tiễn phong phú của họ bảo đảm rằng các quyết định được đưa ra trên cơ sở khoa học và thực tiễn vững chắc, qua đó góp phần tối ưu hóa kết quả lựa chọn cuối cùng (Bảng 2).

Bảng 2. Danh sách các chuyên gia đánh giá

Người ra quyết định	Tuổi	Kinh nghiệm trong lĩnh vực (năm)
Chuyên gia 1 (DM1)	45	>15
Chuyên gia 2 (DM2)	40	>10
Chuyên gia 3 (DM3)	42	>10

Tiếp theo, năm tiêu chí được thiết lập để lựa chọn robot: Tiêu chí thứ nhất, Khối lượng cơ khí (C1), được đo bằng kilôgam (kg). Khối lượng của robot thường tỷ lệ thuận với khả năng mang tải của nó: robot càng nặng thì khả năng mang tải càng lớn. Điều này có nghĩa là robot có khối lượng lớn thường có thể nâng và vận chuyển các vật nặng hơn, đáp ứng yêu cầu của các ứng dụng công nghiệp phức tạp đòi hỏi lực làm việc cao. Do đó, đây được xem là một tiêu chí lợi ích; Tiêu chí thứ hai, Độ lặp lại (C2), đề cập đến khả năng của robot thực hiện cùng một nhiệm vụ nhiều lần với độ chính xác cao và được đo bằng milimét (\pm mm). Độ lặp lại càng cao thì độ chính xác trong các thao tác lặp càng lớn, vì vậy đây cũng là một tiêu chí lợi ích; Tiêu chí thứ ba, Khả năng mang tải (C3), là tải trọng tối đa mà robot có thể xử lý trong một lần thao tác, được đo bằng kilôgam (kg). Khả năng mang tải lớn hơn cho phép robot xử lý các vật nặng hơn, do đó tiêu chí này cũng được xếp vào tiêu chí lợi ích; Tiêu chí thứ tư, Tầm với tối đa (C4), biểu thị khoảng cách lớn nhất mà cánh tay robot có thể vươn tới để thực hiện nhiệm vụ, được đo bằng milimét (mm). Tầm với lớn hơn giúp robot tiếp cận và làm việc trong không gian rộng hơn, vì vậy đây là một

tiêu chí lợi ích; Cuối cùng, tiêu chí thứ năm, Mức tiêu thụ công suất trung bình (C5), phản ánh mức tiêu thụ năng lượng điện trung bình của robot, được đo bằng kilowatt (kW). Mức tiêu thụ công suất thấp hơn giúp giảm chi phí vận hành và tiết kiệm năng lượng, do đó tiêu chí này được phân loại là tiêu chí chi phí (Bảng 3).

Bảng 3. Danh sách các tiêu chí đánh giá

STT	Tiêu chí	Đơn vị	Ký hiệu
1	Khối lượng cơ khí	kg	C1
2	Độ lặp lại	(+/-) mm	C2
3	Khả năng mang tải	kg	C3
4	Tầm với tối đa	mm	C4
5	Mức tiêu thụ công suất trung bình	kW	C5

Sau khi xác định các tiêu chí cần thiết để đánh giá việc lựa chọn robot hàn hồ quang công nghiệp, tám phương án thay thế đã được liệt kê cùng với các giá trị tương ứng cho từng tiêu chí. Mỗi robot được đánh giá dựa trên các tiêu chí chính như khối lượng cơ khí, độ lặp lại, khả năng mang tải, tầm với tối đa và mức tiêu thụ công suất trung bình. Các thông số này đã được thu thập và phân tích một cách cẩn thận nhằm đưa ra quyết định tối ưu nhất cho nhu cầu sản xuất (Bảng 4).

Bảng 4. Ma trận quyết định

Phương án	C1	C2	C3	C4	C5
Robot 1	145	0.02	12	1441	1
Robot 2	27	0.018	7	911	0.5
Robot 3	170	0.05	4	1500	0.6
Robot 4	272	0.04	20	1650	3.4
Robot 5	250	0.02	25	2409	2
Robot 6	230	0.05	10	1925	5.6
Robot 7	501	0.15	6	4368	2.5
Robot 8	215	0.08	8	1801	5.05

Trước hết, ba chuyên gia đã sử dụng thang đánh giá trong Bảng 1 để xây dựng ma trận so sánh cặp giữa các tiêu chí. Ma trận so sánh cặp trung bình được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Ma trận so sánh cặp trung bình của các tiêu chí

Phương án	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	1/3	1/5	1/4	6
C2	3	1	1/6	1/7	6
C3	5	6	1	1/3	7
C4	4	7	3	1	4
C5	1/6	1/6	1/7	1/4	1

Trọng số của từng tiêu chí được xác định chi tiết bằng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP). Các trọng số này được trình bày rõ ràng trong Bảng 6.

Bảng 6. Trọng số của các tiêu chí

Tiêu chí	C1	C2	C3	C4	C5
w_j	0.084	0.116	0.323	0.442	0.035

Sau khi xác định trọng số của từng tiêu chí trong Bảng 6, ma trận quyết định (Bảng 4) được sử dụng để đánh giá và xếp hạng các phương án. Kết quả xếp hạng thu được từ các phương pháp được trình bày trong Bảng 7.



Bảng 7. Xếp hạng kết quả

Phương pháp		Robot 1	Robot 2	Robot 3	Robot 4	Robot 5	Robot 6	Robot 7	Robot 8
ARAS	K_i	0.353	0.237	0.303	0.499	0.619	0.401	0.731	0.389
	Rank	6	8	7	3	2	4	1	5
COPRAS	U_i	0.480	0.323	0.415	0.678	0.838	0.546	1.0	0.532
	Rank	6	8	7	3	2	4	1	5
MARCOS	F_{k_i}	0.350	0.231	0.293	0.495	0.618	0.395	0.710	0.378
	Rank	6	8	7	3	2	4	1	5

Cả ba phương pháp đều xếp Robot 7 ở vị trí cao nhất, với các giá trị tương ứng lần lượt là 0,731, 1,0 và 0,710. Điều này cho thấy Robot 7 là lựa chọn ưu tiên hàng đầu cho các nhiệm vụ hàn hồ quang, thể hiện hiệu suất vượt trội trên toàn bộ các tiêu chí đánh giá. Robot 5 và Robot 4 lần lượt đứng ở vị trí thứ hai và thứ ba trong cả ba phương pháp, cho thấy sự đồng thuận cao về hiệu suất của chúng. Cụ thể, Robot 5 đạt các giá trị 0,619 (ARAS), 0,838 (COPRAS) và 0,618 (MARCOS), trong khi Robot 4 đạt 0,499, 0,678 và 0,495. Những kết quả này cho thấy hai robot này cũng là những lựa chọn tốt, tuy nhiên vẫn không thể sánh được với ưu thế vượt trội của Robot 7. Ngược lại, Robot 2 luôn được xếp hạng thấp nhất trong cả ba phương pháp, với các giá trị 0,237 (ARAS), 0,323 (COPRAS) và 0,231 (MARCOS). Điều này cho thấy Robot 2 có hiệu suất thấp hơn so với các robot còn lại trong cùng điều kiện đánh giá. Nhìn chung, sự nhất quán trong kết quả xếp hạng thu được từ các phương pháp ARAS, COPRAS và MARCOS cho thấy mức độ tin cậy cao của kết quả đánh giá. Robot 7 nổi bật rõ ràng là lựa chọn tối ưu, trong khi Robot 2 nên được xem xét lại hoặc loại bỏ. Sự đồng thuận này giúp quá trình ra quyết định trở nên thuận lợi, rõ ràng và đáng tin cậy hơn, bảo đảm lựa chọn được robot phù hợp và hiệu quả nhất.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, ba phương pháp MCDM (ARAS, COPRAS, MARCOS) đã được áp dụng kết hợp với các trọng số tiêu chí xác định bằng phương pháp AHP nhằm đánh giá và lựa chọn robot khai thác. Việc tận dụng thế mạnh của AHP trong xác định trọng số tiêu chí cùng với việc áp dụng đồng thời ba kỹ thuật MCDM khác nhau đã bảo đảm một quá trình đánh giá toàn diện. Mỗi phương pháp, với cách tiếp cận tính toán riêng, đã cung cấp những góc nhìn bổ trợ, qua đó củng cố độ tin cậy của quá trình ra quyết định tổng thể. Phương pháp MCDM lai được đề xuất không chỉ hỗ trợ hiệu quả trong việc xác định các lựa chọn robot tối ưu mà còn cung cấp một khung phân tích linh hoạt. Việc áp dụng phương pháp này giúp giảm thiểu sai số đánh giá, nâng cao hiệu quả sản xuất và cải thiện chất lượng sản phẩm. Hơn nữa, cách tiếp cận được đề xuất mở ra nhiều cơ hội nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực kỹ thuật và sản xuất công nghiệp, góp phần hướng tới sự phát triển bền vững và hiệu quả. Khung phân tích linh hoạt và chính xác của phương pháp có thể được áp dụng rộng rãi, giúp cải thiện quá trình đánh giá và lựa chọn trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Việc triển khai phương pháp này không chỉ nâng cao hiệu suất sản xuất mà còn

thúc đẩy phát triển bền vững, tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên và cải thiện chất lượng trong các hoạt động khai thác tài nguyên thông qua công nghệ robot. ❖

Ngày nhận bài: **23/12/2025**

Ngày phản biện: **05/01/2026**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Rosário, A.T., Dias, J.C., “How industry 4.0 and sensors can leverage product design: opportunities and challenges”. *Sensors* 23, 1165 (2023).
- [2]. Barosz, P., Gołda, G., Kampa, A., “Efficiency analysis of manufacturing line with industrial robots and human operators”. *Applied Sciences* 10, 2862 (2020).
- [3]. Khouja, M., Felix Offodile, O., “The industrial robots selection problem: literature review and directions for future research”. *IIE transactions* 26, 50-61 (1994).
- [4]. Rao, R.V., Patel, B.K., Parnichkun, M., “Industrial robot selection using a novel decision making method considering objective and subjective preferences”. *Robotics and Autonomous Systems* 59, 367-375 (2011).
- [5]. Guo, Q., Su, Z., “The application of industrial robot and the high-quality development of manufacturing industry: From a sustainability perspective”. *Sustainability* 15, 12621 (2023).
- [6]. Zhao, J., Sui, Y., Xu, Y., Lai, K., “Industrial robot selection using a multiple criteria group decision making method with individual preferences”. *Plos one* 16, e0259354 (2021).
- [7]. Koulouriotis, D., Ketipi, M., “Robot evaluation and selection Part A: an integrated review and annotated taxonomy”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 71, 1371-1394 (2014).
- [8]. Tran, N.-T. (2024), “Application of the multi-criteria analysis method MAIRCA, SPOTIS, COMET for the optimization of sustainable electricity technology development”. *EUREKA: Physics and Engineering*, 1, 180-188.
- [9]. Chatterjee, P., Athawale, V.M., Chakraborty, S., “Selection of industrial robots using compromise ranking and outranking methods”. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 26, 483-489 (2010).
- [10]. Yalçın, N., Uncu, N., “Applying EDAS as an applicable MCDM method for industrial robot selection”. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences* 37, 779-796 (2019).
- [11]. Goswami, S.S., Behera, D.K., Afzal, A., Razak Kaladgi, A., Khan, S.A., Rajendran, P., Subbiah, R., Asif, M., “Analysis of a robot selection problem using two newly developed hybrid MCDM models of TOPSIS-ARAS and COPRAS-ARAS”. *Symmetry* 13, 1331 (2021).
- [12]. Rashid, T., Ali, A., Chu, Y.-M., “Hybrid BW-EDAS MCDM methodology for optimal industrial robot selection”. *Plos one* 16, e0246738 (2021).
- [13]. Gamal, A., Mohamed, M., “A hybrid MCDM approach for industrial robots selection for the automotive industry”. *Neutrosophic Systems with Applications* 4, 1-11 (2023).