

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP CURLI ĐỂ LỰA CHỌN VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÁNH RĂNG

SELECTION OF MATERIAL GEAR MANUFACTURING BY CURLI METHOD

Đỗ Đức Trung^{1,*}, Dương Văn Đức¹,
Nguyễn Hoài Sơn¹, Nông Thị Thanh Nga¹

DOI: <https://doi.org/10.57001/huivh5804.2024.019>

TÓM TẮT

CURLI (Collaborative Unbiased Rank List) là một phương pháp ra quyết định đa tiêu chí mà khi sử dụng nó ta không cần phải chuẩn hóa số liệu cũng như không cần xác định trọng số cho các tiêu chí. Phương pháp CURLI đã được sử dụng để lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng trong nghiên cứu này. Hai trường hợp khác nhau đã được thực hiện trong bài viết này là lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng, và lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình. Trong cả hai trường hợp, kết quả xếp hạng các loại vật liệu chế tạo bánh răng bằng phương pháp CURLI đều đã được so sánh với kết quả xếp hạng khi sử dụng các phương pháp ra quyết định đa tiêu chí khác. Kết quả cho thấy phương pháp CURLI hoàn toàn có thể đảm bảo độ tin cậy khi được sử dụng để lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng.

Từ khóa: Ra quyết định đa tiêu chí, phương pháp CURLI, vật liệu chế tạo bánh răng.

ABSTRACT

CURLI (Collaborative Unbiased Rank List) is a multi-criteria decision-making method that does not require normalizing the data or determining the weights for the criteria. The CURLI method was utilized to select the gear material in this study. Two distinct cases are discussed in this article: the selection of gear materials for heavy loads and the selection of materials for gears with medium loads. In both cases, the ratings of gear materials by the CURLI method were compared with the ratings using other multi-criteria decision-making methods. The results demonstrate that the CURLI method can ensure reliability when used to select gear materials.

Keywords: Multi-criteria decision making, CURLI method, gear material.

¹Trường Cơ khí - Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: doductrung@hauivn

Ngày nhận bài: 28/6/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 27/9/2023

Ngày chấp nhận đăng: 20/01/2024

1. GIỚI THIỆU

Ra quyết định đa tiêu chí (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) là hành động xếp hạng các phương án để lựa chọn được phương án tốt nhất trong số nhiều phương án có sẵn, ở đó mỗi phương án được miêu tả bởi nhiều tiêu chí khác nhau [1]. Ngày nay, số lượng các phương pháp

MCDM đã vượt quá con số 200 và chúng đã được sử dụng rất nhiều để lựa chọn phương án tốt nhất trong số các phương án có sẵn ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau [2]. Các phương pháp MCDM được chia thành bốn nhóm chính, nhóm thứ nhất là các phương pháp cần chuẩn hóa số liệu và cần xác định trọng số cho các tiêu chí (gọi là nhóm I), nhóm thứ hai là các phương pháp cần chuẩn hóa số liệu nhưng không cần xác định trọng số cho các tiêu chí (nhóm II), nhóm thứ ba là các phương pháp không cần chuẩn hóa số liệu nhưng cần xác định trọng số cho các tiêu chí (nhóm III), nhóm thứ tư là các phương pháp không cần chuẩn hóa số liệu cũng như không cần xác định trọng số cho các tiêu chí (nhóm IV).

Số lượng các phương pháp thuộc nhóm I chiếm tỷ lệ nhiều nhất. Có thể kể tên một số phương pháp thuộc nhóm này như phương pháp TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) [3], phương pháp PIV (Proximity Indexed Value) [4], phương pháp MOORA (Multiobjective Optimization On the basis of Ratio Analysis) [5], phương pháp MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) [6], phương pháp CRADIS (Compromise Ranking of Alternatives from Distance to Ideal Solution) [7],... Khi sử dụng các phương pháp thuộc nhóm I, người ra quyết định phải thực hiện đồng thời hai nhiệm vụ là chuẩn hóa số liệu và xác định trọng số cho các tiêu chí. Đây là một việc làm tương đối phức tạp, vì nếu việc lựa chọn phương pháp chuẩn hóa số liệu và phương pháp xác định trọng số không phù hợp sẽ dẫn đến việc xếp hạng các phương án không chính xác [8].

Nhóm thứ II bao gồm một số phương pháp như: PSI (Preference Selection Index) [9], PEG (Pareto-Edgeworth Grierson) [10]. Khi sử dụng những phương pháp thuộc nhóm này, người ra quyết định vẫn cần thiết phải thực hiện việc chuẩn hóa số liệu, do đó những sai lầm trong việc xếp hạng các phương án vẫn có thể xảy ra [8].

Nhóm thứ III gồm một số phương pháp như FUCA (Faire Un Choix Adéqua) [11], R (Ranking of the attributes and alternatives) [12], v.v. Khi sử dụng những phương pháp thuộc nhóm này, người ra quyết định có thể mắc phải những sai lầm trong việc lựa chọn trọng số của các tiêu chí, điều này

cũng có thể dẫn đến những sai lầm trong việc xếp hạng các phương án [8].

CURLI là phương pháp duy nhất thuộc nhóm IV. Khi sử dụng phương pháp này, người ra quyết định không cần chuẩn hóa số liệu cũng như không cần xác định trọng số cho các tiêu chí. Chính vì vậy kết quả xếp hạng các phương án không phụ thuộc vào suy nghĩ chủ quan của người ra quyết định [13]. Gần đây, phương pháp này đã được sử dụng nhiều để xếp hạng các phương án trong nhiều lĩnh vực khác nhau, như xếp hạng các phương án của một quá trình mài [14], xếp hạng các phương án của một quá trình tiện [15], xếp hạng các loại vật liệu để chế tạo tấm bảo vệ trên ô tô [16, 17], xếp hạng các loại dầu cắt gọt [18], lựa chọn đá mài và lựa chọn nhà cung cấp [19]. Tuy nhiên, cho đến nay chưa thấy phương pháp này được áp dụng để xếp hạng các loại vật liệu chế tạo bánh răng. Đây là lý do mà nghiên cứu này được thực hiện.

2. PHƯƠNG PHÁP CURLI

Trình tự để áp dụng phương pháp CURLI như sau [13]:

Bước 1: Với mỗi một tiêu chí, lập một ma trận vuông cấp m và tiến hành chấm điểm các phương án. Việc chấm điểm các phương án (đối với mỗi tiêu chí) được thực hiện như sau. Ví dụ tại ô tương ứng với cột 1 và hàng 2 mà giá trị của phương án 1 tốt hơn của phương án 2 thì tại ô đó chấm điểm 1. Một ví dụ khác, nếu tại ô tương ứng với cột 2 và hàng 1 mà giá trị của phương án 2 tốt hơn của phương án 1 thì tại đó chấm điểm -1. Thêm một ví dụ khác, nếu tại ô ứng với cột 2 và hàng m mà giá trị của phương án 2 bằng của phương án m thì tại đó chấm điểm 0,... Điểm 0 cũng sẽ được điền vào những ô thuộc đường chéo chính của ma trận. Ma trận chấm điểm cho tiêu chí j được ký hiệu là ma trận Q_j.

Bước 2: Ma trận chấm điểm các phương án cho tất cả các tiêu chí sẽ được hình thành bằng cách cộng tất cả các ma trận Q_j lại với nhau. Ma trận này được ký hiệu là ma trận Q_A, tức là Q_A = Q₁ + Q₂ + ... + Q_j + ... + Q_n.

Bước 3: Sắp xếp ma trận Q_A bằng cách thay đổi vị trí các hàng và các cột sao cho số ô có giá trị không dương nằm phía trên đường chéo chính là nhiều nhất. Sau khi sắp xếp, phương án được xếp vào hàng 1 (cũng chính là phương án được xếp vào cột 1) được coi là phương án tốt nhất.

3. ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP CURLI ĐỂ LỰA CHỌN VẬT LIỆU CHẾ TẠO BÁNH RĂNG

3.1. Lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng

Trong bảng 1 đã tổng hợp thông số về tám loại vật liệu thường được sử dụng để chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng. Bảy tiêu chí đã được sử dụng để miêu tả cho mỗi loại vật liệu gồm [20]:

- TC1: Độ bền đứt (N/cm²);
- TC2: Độ đàn dãi tương đối (%);
- TC3: Độ thắt (%);
- TC4: Độ nóng chảy (MPa);
- TC5: Độ cứng (HB);
- TC6: Độ dai va đập (KJ/m²);
- TC7: Giá thành (đồng/kg).

Trong đó, TC7 là dạng tiêu chí càng nhỏ càng tốt, tất cả các tiêu chí còn lại đều thuộc dạng càng lớn càng tốt.

Bảng 1. Một số loại vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng [20]

Tiêu chí / Vật liệu	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5	TC6	TC7
Vật liệu 1	780	18	55	635	229	880	22000
Vật liệu 2	880	15	50	735	225	390	30000
Vật liệu 3	930	13	45	785	269	590	31000
Vật liệu 4	980	15	45	785	217	600	22000
Vật liệu 5	980	12	45	835	250	950	24000
Vật liệu 6	1080	12	50	930	220	960	22000
Vật liệu 7	885	12	40	685	195	970	21000
Vật liệu 8	750	12	45	400	179	940	20000

Quan sát số liệu trong bảng 1 cho thấy, TC1 có giá trị lớn nhất thuộc về loại vật liệu 6; hai tiêu chí TC2 và TC3 có giá trị lớn nhất thuộc về vật liệu 1; TC4 có giá trị lớn nhất thuộc về loại vật liệu 6; TC5 có giá trị lớn nhất thuộc về vật liệu 5; TC6 có giá trị lớn nhất thuộc về vật liệu 6; TC7 (giá thành) nhỏ nhất thuộc về vật liệu 8. Như vậy rõ ràng không tồn tại một loại vật liệu nào mà nó đảm bảo cả bảy tiêu chí đều là tốt nhất. Ta chỉ có thể tìm được một loại vật liệu mà tất cả các tiêu chí của nó đều được coi là "tốt nhất". Dĩ nhiên, việc này cũng không thể được thực hiện nếu chỉ dựa vào việc quan sát số liệu trong bảng 1. Để xác định được loại vật liệu được coi là tốt nhất thì cần thiết phải áp dụng các phương pháp MCDM. Hai phương pháp SAW và MARCOS cũng đã được áp dụng để giải bài toán này trong nghiên cứu trước đó [20]. Kết quả xếp hạng các loại vật liệu bằng hai phương pháp SAW và MARCOS sẽ được sử dụng để so sánh với kết quả xếp hạng bằng phương pháp CURLI trong nghiên cứu này.

Tiến hành xếp hạng các loại vật liệu bằng phương pháp CURLI.

Áp dụng bước 1 của phương pháp CURLI đã chấm điểm được các phương án đối với từng tiêu chí như trong các bảng từ bảng 2 đến bảng 8.

Bảng 2. Ma trận Q₁ (chấm điểm cho tiêu chí TC1)

Điểm / Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	1	1	1	1	1	1	-1
Vật liệu 2	-1	0	1	1	1	1	1	-1
Vật liệu 3	-1	-1	0	1	1	1	-1	-1
Vật liệu 4	-1	-1	-1	0	0	1	-1	-1
Vật liệu 5	-1	-1	-1	0	0	1	-1	-1
Vật liệu 6	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1
Vật liệu 7	-1	-1	1	1	1	1	0	-1
Vật liệu 8	1	1	1	1	1	1	1	0

Bảng 3. Ma trận Q₂ (chấm điểm cho tiêu chí TC2)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 2	1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 3	1	1	0	1	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 4	1	0	-1	0	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 5	1	1	1	1	0	0	0	0
Vật liệu 6	1	1	1	1	0	0	0	0
Vật liệu 7	1	1	1	1	0	0	0	0
Vật liệu 8	1	1	1	1	0	0	0	0

Bảng 4. Ma trận Q₃ (chấm điểm cho tiêu chí TC3)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 2	1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1
Vật liệu 3	1	1	0	0	0	1	-1	0
Vật liệu 4	1	1	0	0	0	1	-1	0
Vật liệu 5	1	1	0	0	0	1	-1	0
Vật liệu 6	1	0	-1	-1	-1	0	-1	-1
Vật liệu 7	1	1	1	1	1	1	0	1
Vật liệu 8	1	1	0	0	0	1	-1	0

Bảng 5. Ma trận Q₄ (chấm điểm cho tiêu chí TC4)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	1	1	1	1	1	1	-1
Vật liệu 2	-1	0	1	1	1	1	-1	-1
Vật liệu 3	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1
Vật liệu 4	-1	-1	0	0	1	1	-1	-1
Vật liệu 5	-1	-1	-1	-1	0	1	-1	-1
Vật liệu 6	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1
Vật liệu 7	-1	1	1	1	1	1	0	-1
Vật liệu 8	1	1	1	1	1	1	1	0

Bảng 6. Ma trận Q₅ (chấm điểm cho tiêu chí TC5)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-1	1	-1	1	-1	-1	-1
Vật liệu 2	1	0	1	-1	1	-1	-1	-1
Vật liệu 3	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1
Vật liệu 4	1	1	1	0	1	1	-1	-1
Vật liệu 5	-1	-1	1	-1	0	-1	-1	-1
Vật liệu 6	1	1	1	-1	1	0	-1	-1
Vật liệu 7	1	1	1	1	1	1	0	-1
Vật liệu 8	1	1	1	1	1	1	1	0

Bảng 7. Ma trận Q₆ (chấm điểm cho tiêu chí TC6)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-1	-1	-1	1	1	1	1
Vật liệu 2	1	0	1	1	1	1	1	1
Vật liệu 3	1	-1	0	1	1	1	1	1
Vật liệu 4	1	-1	-1	0	1	1	1	1
Vật liệu 5	-1	-1	-1	-1	0	1	1	-1
Vật liệu 6	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	-1
Vật liệu 7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1
Vật liệu 8	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0

Bảng 8. Ma trận Q₇ (chấm điểm cho tiêu chí TC7)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-1	-1	0	-1	0	1	1
Vật liệu 2	1	0	-1	1	1	1	1	1
Vật liệu 3	1	1	0	1	1	1	1	1
Vật liệu 4	0	-1	-1	0	-1	0	1	1
Vật liệu 5	1	-1	-1	1	0	1	1	1
Vật liệu 6	0	-1	-1	0	-1	0	1	1
Vật liệu 7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1
Vật liệu 8	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0

Áp dụng bước 2 của phương pháp CURLI đã xây dựng được ma trận Q_A như trong bảng 9.

Bảng 9. Ma trận Q_A (chấm điểm cho tất cả các tiêu chí)

Điểm Vật liệu	Đ1	Đ2	Đ3	Đ4	Đ5	Đ6	Đ7	Đ8
Vật liệu 1	0	-3	-1	-2	1	0	1	-3
Vật liệu 2	3	0	1	2	3	2	-1	-3
Vật liệu 3	1	-1	0	3	2	3	-3	-2
Vật liệu 4	2	-2	-3	0	1	4	-3	-2
Vật liệu 5	-1	-3	-2	-1	0	4	-2	-3
Vật liệu 6	0	-2	-3	-4	-4	0	-2	-4
Vật liệu 7	-1	1	3	3	2	2	0	-2
Vật liệu 8	3	3	2	2	3	4	2	0

Thực hiện thay đổi vị trí các hàng và vị trí các cột của ma trận Q_A theo như bước 3 của phương pháp CURLI, kết quả được trình bày trong bảng 10.

Bảng 10. Ma trận Q_A sau khi đã sắp xếp lại

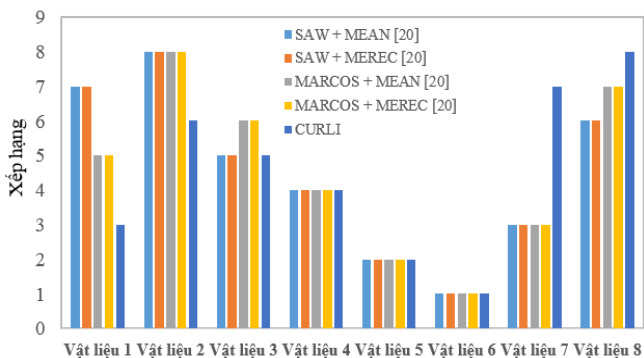
Điểm Vật liệu	Đ6	Đ5	Đ1	Đ4	Đ3	Đ2	Đ7	Đ8
Vật liệu 6	0	-4	0	-4	-3	-2	-2	-4
Vật liệu 5	4	0	-1	-1	-2	-3	-2	-3

Vật liệu 1	0	1	0	-2	-1	-3	-1	-3
Vật liệu 4	4	1	2	0	-3	-2	-3	-2
Vật liệu 3	3	2	1	3	0	-1	-3	-2
Vật liệu 2	2	3	3	2	1	0	-1	-3
Vật liệu 7	2	2	1	3	3	1	0	-2
Vật liệu 8	4	3	3	2	2	3	2	0

Trong bảng 10, tất cả các ô có giá trị âm đều nằm phía trên đường chéo chính của ma trận, và tất cả các ô có giá trị dương đều nằm phía dưới đường chéo chính của ma trận. Như vậy, việc thay đổi vị trí các hàng và vị trí các cột đã hoàn thành. Theo đó, thứ tự ưu tiên khi lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng là: Vật liệu 6 > Vật liệu 5 > Vật liệu 1 > Vật liệu 4 > Vật liệu 3 > Vật liệu 2 > Vật liệu 7 > Vật liệu 8.

Trong hình 1 là biểu đồ so sánh kết quả xếp hạng các loại vật liệu khi sử dụng phương pháp CURLI với khi sử dụng hai phương pháp MCDM khác (SAW và MARCOS). Trong đó khi sử dụng hai phương pháp SAW và MARCOS, trọng số của các tiêu chí đã được tính theo hai phương pháp khác nhau là phương pháp trọng số MEAN và phương pháp trọng số MEREC [20].

Quan sát hình 1 cho thấy các loại vật liệu xếp hạng 1, hạng 2, hạng 4 là hoàn toàn trùng khớp nhau khi sử dụng các phương pháp MCDM khác nhau. Trong trường hợp này ta khẳng định phương pháp CURLI có hiệu quả tương đương với hai phương pháp SAW và MARCOS trong việc lựa chọn loại vật liệu tốt nhất. Theo đó, trong số tám loại vật liệu đã khảo sát thì loại vật liệu số 6 được xác định là loại tốt nhất để chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng.



Hình 1. Xếp hạng các loại vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng

3.2. Lựa chọn vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình

Trong bảng 11 là thông số về chín loại vật liệu thường được dùng để chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình. Các thông số gồm độ dẻo (TC1); độ bền (TC2); độ bền mỏi (TC3); độ bền uốn (TC4) và độ bền kéo (TC5) đã được sử dụng làm các tiêu chí để đánh giá cho mỗi loại vật liệu. Cả năm tiêu chí này đều thuộc dạng tiêu chí càng lớn càng tốt [21-23].

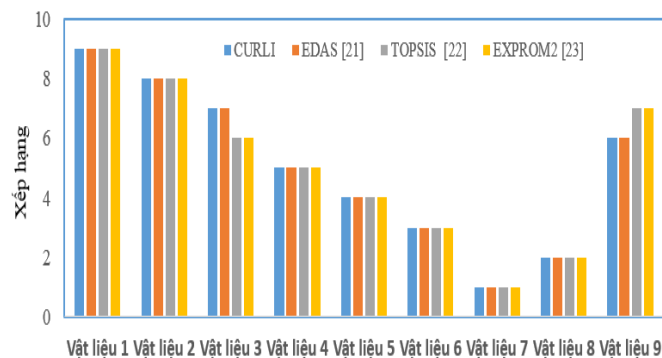
Quan sát số liệu trong bảng 11 ta thấy TC1 có giá trị lớn nhất ứng với hai loại vật liệu 7 và 8; TC2 tốt nhất ứng với loại

vật liệu 8; các tiêu chí TC3, TC4 và TC5 tốt nhất là của vật liệu 7. Như vậy rõ ràng nếu chỉ quan sát vào số liệu trong bảng 11 ta cũng không thể xác định được vật liệu nào là loại tốt nhất. Để thực hiện được nhiệm vụ này thì các phương pháp MCDM phải được áp dụng. Ba phương pháp gồm EDAS, TOPSIS và EXPROM2 cũng đã được áp dụng để giải bài toán này trong những nghiên cứu trước đây [21-23]. Những kết quả xếp hạng các loại vật liệu bằng ba phương pháp này sẽ được sử dụng để so sánh với kết quả xếp hạng khi sử dụng phương pháp CURLI trong nghiên cứu này.

Bảng 11. Một số loại vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình [21-23]

Tiêu chí \ Vật liệu	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5
Vật liệu 1	200	200	330	100	380
Vật liệu 2	220	220	460	360	880
Vật liệu 3	240	240	550	340	845
Vật liệu 4	270	270	630	435	590
Vật liệu 5	270	270	670	540	1190
Vật liệu 6	240	585	1160	680	1580
Vật liệu 7	315	700	1500	920	2300
Vật liệu 8	315	750	1250	760	1250
Vật liệu 9	185	500	430	430	625

Thực hiện xếp hạng các loại vật liệu trong bảng 11 bằng phương pháp CURLI tương tự như trong phần 3.1. Trong hình 2 là biểu đồ so sánh kết quả xếp hạng các loại vật liệu bằng các phương pháp MCDM khác nhau.



Hình 2. Xếp hạng các loại vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình

Quan sát hình 2 cho thấy:

- Kết quả xếp hạng các loại vật liệu bằng phương pháp CURLI hoàn toàn trùng khớp so với khi sử dụng phương pháp EDAS.
- Các loại vật liệu xếp hạng 1, hạng 3, hạng 4, hạng 5, hạng 8 và hạng 9 là hoàn toàn trùng nhau khi sử dụng bốn phương pháp MCDM khác nhau.
- Khi sử dụng bốn phương pháp MCDM khác nhau nhưng loại thép số 7 luôn được xác định là loại tốt nhất.

Trong trường hợp này ta cũng khẳng định phương pháp CURLI có hiệu quả tương đương với ba phương pháp EDAS,

TOPSIS và EXPROM2 trong việc tìm ra được loại vật liệu tốt nhất. Theo đó, trong số chín loại vật liệu đã khảo sát thì loại vật liệu số 7 là loại tốt nhất để chế tạo bánh răng chịu tải trọng trung bình.

4. KẾT LUẬN

Phương pháp CURLI lần đầu tiên đã được sử dụng để xếp hạng các loại vật liệu chế tạo bánh răng chịu tải trọng nặng và chịu tải trọng trung bình trong nghiên cứu này. Trong mỗi trường hợp, loại vật liệu tốt nhất được xác định khi sử dụng phương pháp CURLI luôn trùng khớp với khi sử dụng các phương pháp MCDM khác trong các tài liệu đã công bố. Điều này tạo niềm tin vững chắc rằng các loại vật liệu đã lựa chọn là tốt nhất. Phương pháp CURLI cũng hứa hẹn sẽ thành công trong việc lựa chọn các loại vật liệu để chế tạo các chi tiết máy khác (trục, vỏ hộp số, thanh truyền,...).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. E. K. Zavadskas, J. Antucheviciene, P. Chatterjee, "Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) Techniques for Business Processes Information Management," *Information*, 10(4), 1-7, 2019.
- [2]. M. Baydas, T. Eren, Z. Stevic, V. Starcevic, R. Parlakkaya, "Proposal for an objective binary benchmarking framework that validates each other for comparing MCDM methods through data analytics," *The open access journal for computer science*, 2023.
- [3]. C. L. Hwang, Y. J. Lai, T. Y. Liu, "A new approach for multiple objective decision making," *Computers & Operations Research*, 20, (8), 889-899, 1993.
- [4]. S. Mufazzal, S. M. Muzakkir, "A New Multi-Criterion Decision Making (MCDM) Method Based on Proximity Indexed Value for Minimizing Rank Reversals," *Computers & Industrial Engineering*, 1-39, 2018.
- [5]. W. Brauers, *Optimization methods for a stakeholder society. A revolution in economic thinking by multi-objective optimization*. Springer, 2004.
- [6]. Z. Stevic, D. Pamucar, A. Puska, P. Chatterjee, "Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution (MARCOS)," *Computers & Industrial Engineering*, 140, 1-33, 2020.
- [7]. A. Puska, Z. Stevic, D. Pamuca, "Evaluation and selection of healthcare waste incinerators using extended sustainability criteria and multi-criteria analysis methods," *Environment, Development and Sustainability*, 24, 11195-11225, 2022.
- [8]. C. Zopounidis, M. Doumpos, *Multiple Criteria Decision Making - Applications in Management and Engineering*. Springer, 2017.
- [9]. K. Maniya, M. G. Bhatt, "A selection of material using a novel type decision-making method: Preference selection index method," *Materials and Design*, 31, 1785-1789, 2010.
- [10]. S. R. Besharati, V. Dabbagh, H. Amini, A. A. D. Sarhan, J. Akbari, M. Hamdi, Z. C. Ong, "Multi-objective selection and structural optimization of the gantry in a gantry machine tool for improving static, dynamic, and weight and cost performance," *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 24(1), 83-93, 2016.
- [11]. M. Baydas, D. Pamucar, "Determining Objective Characteristics of MCDM Methods under Uncertainty: An Exploration Study with Financial Data," *Mathematics*, 10(1115), 1-25, 2022.
- [12]. R. V. Rao, J. Lakshmi, "R-method: A simple ranking method for multi-attribute decisionmaking in the industrial environment," *Journal of Project Management*, 6, 223-230, 2021.
- [13]. R. K. James, J. A. David, "A new method for group decision making and its application in medical trainee selection," *Medical Education*, 50, 1045-1053, 2016.
- [14]. D. D. Trung, N. N. Ba, D. H. Tien, "Application of the CURLI method for multi-critical decision of grinding process," *Journal of Applied Engineering Science*, 20(3), 634-643, 2022.
- [15]. D. D. Trung, "Multi-criteria decision making of turning operation based on PEG, PSI and CURLI methods," *Manufacturing review*, 9(9), 1-12, 2022.
- [16]. T. V. Dua, "Application of the collaborative unbiased rank list integration method to select the materials," *Applied Engineering Letters*, 7(4), 133-142, 2022.
- [17]. T. V. Dua, "Development of a new multi-criteria decisionmaking method," *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 123(3), 33-38, 2023.
- [18]. H. X. Thinh, N. T. Mai, N. T. Giang, V. V. Khiem, "Applying multicriteria decisionmaking methods for cutting oil selection," *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 123(3), 52-58, 2023.
- [19]. A. T. Nguyen, "The Improved CURLI Method for multicriteria Decision Making, Engineering," *Technology & Applied Science Research*, 13(1), 10121-10127, 2023.
- [20]. N. Q. Cuong, N. T. Cuong, B. C. Duc, "Optimize design and establish technological process for machining straight-tooth bevel gear pairs". Graduation Thesis, Hanoi University of Industry, Hanoi, 2023.
- [21]. P. Chatterjee, A. Banerjee, S. Mondal, S. Boral, S. Chakraborty, "Development of a Hybrid Meta-Model for Material Selection Using Design of Experiments and EDAS Method," *Engineering Transactions*, 66(2), 187-207, 2018.
- [22]. A. S. Milani, A. Shaniyan, R. Madoliat, J. A. Nemes, "The effect of normalization norms in multiple attribute decision making models: a case study in gear material selection," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 29(4), 312-318, 2005.
- [23]. P. Chatterjee, S. Chakraborty, "Material selection using preferential ranking methods," *Materials & Design*, 35, 384-393, 2012.

AUTHORS INFORMATION

Do Duc Trung, Duong Van Duc, Nguyen Hoai Son, Nong Thi Thanh Nga
School of Mechanical and Automotive Engineering, Hanoi University of Industry, Vietnam