УДК 51-74

Использование методов многокритериального принятия решений для оптимизации подбора оборудования

Мамонов Максим Андреевич maksimmamonov15@gmail.com
Мусохранов Марсель Владимирович marsel@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассматриваются методы многокритериального принятия решения на примере подбора наиболее предпочтительного оборудования для раскроя листового металла на одном из предприятий г. Калуга. Использовались следующие методы: метод сумм взвешенных значений критериев, метод TOPSIS, *метод* ELECTRE I. *По результатам расчетов был сделан вывод, что все методы дают правильный результат и решение об использовании конкретного метода в другой работе лежит на человеке, принимающем решение.*

***Ключевые слова*:** *лазерные станки, координатно-пробивные станки, методы многокритериального принятия решения, метод сумм взвешенных значений критериев, метод* TOPSIS, *метод* ELECTRE I

На одном из калужских машиностроительных предприятий имеется штамповочный участок с 3 станками для раскроя листового металла: лазерные комплексы Salvagnini L5 (сталь толщиной до 20 мм) и AMADA QUATTRO II (сталь толщиной менее 1 мм), и координатно-пробивной пресс с ЧПУ Amada AC 2510 NT (получение рифтов, отбортовок, вентиляционных отверстий). Следовательно, ни один из представленных на предприятии станков не может быть полностью заменен другим.

Главным технологом была поставлена задача: составить алгоритм подбора оборудования для облегчения работы технологического отдела и более быстрого обучения молодых специалистов. Задача будет выполняться методами многокритериального принятия решения.

Исходными данными для решения будут табл. 1, 2.

Таблица 1

Альтернативы и их критерии

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	**Amada QUATTRO II**	**Amada AC 2510 NT**
1	Точность обработки, мм	0,08	0,02	0,2
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки, кг	80	40	60
3	Скорость обработки, мм/с	100	15	26,7
4	Максимальная толщина листа (сталь), мм	20	12	3,2

Окончание табл. 1

№	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
5	Мощность, кВт	3	2	10
6	Погрешности позиционирования, мм	0,1	0,3	0,2
77	Габариты станка, объем, $м^3$	24,84	16,5	44,98
88	Масса станка, т	4,5	3,75	13

Таблица 2

Относительный вес критериев

№ п п	Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма приоритетов, w_i	Относительный вес, $w_{i\text{ОТН}}$
1	Точность		1	0,5	0,5	0	0	1	1	4	0,14
2	Масса заг.	0		0	0,5	0	1	1	1	3,5	0,12
3	Скорость	0,5	1		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,2
4	Толщина	0,5	0,5	0,5		1	1	1	1	5,5	0,2
5	Мощность	1	1	0,5	0		1	1	1	5,5	0,2
6	Погрешность	1	0	0	0	0		1	1	3	0,1
7	Габариты	0	0	0	0	0	0		0,5	0,5	0,02
8	Масса	0	0	0	0	0	0,5	0		0,5	0,02

Для решения методом сумм взвешенных значений критериев значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду. Для этого необходимо отобразить значения каждого критерия в диапазоне от 0 до 1, сохраняя все пропорции между отдельными значениями [1]. Так, для критерия «Точность обработки», значения для альтернатив примет следующий вид (табл. 3).

Таблица 3

Нормализация значений критериев

Критерий	Модель станка		
	Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
Точность обработки, мм	0,08	0,02	0,2
Нормализованное значение	0,33	1	0

После этого полученные нормализованные значений критериев умножаются на относительный вес критериев из табл. 2. Ранжирование производится

путем сравнений сумм полученных значений критериев для каждой альтернативы. Чем выше полученная сумма, тем более предпочтительно выбирать конкретную альтернативу [1].

Таблица 4

Решение методом сумм взвешенных значений критериев

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Альтернативы		
		Salvagnini L5	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT
1	Точность обработки, мм	0,05	0,33	0
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки, кг	0,12	0	0,06
3	Скорость обработки	0,2	0	0,03
4	Максимальная толщина листа (сталь), мм	0,2	0,073	0
5	Мощность, кВт	0,03	0	0,2
6	Погрешности позиционирования, мм	0,1	0	0,05
7	Габариты станка, объем, $м^3$	0,014	0,02	0
8	Масса станка, т	0,018	0,02	0
Сумма оценок		0,732	0,443	0,34
Ранг (место) альтернативы		1	2	3

Для решения методом TOPSIS значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду по формуле (1):

$$R_{ki} = \frac{r_{ki}}{\sqrt{\sum r_{ki}^2}}, \quad (1)$$

где r_{ki} — значение критерия для i-ой альтернативы. Из полученных значений выявляется наилучшее R_j^+ и наихудшее R_j^- значение [2]. Далее определяются расстояния альтернатив от наихудшего и наилучшего решения по формулам (2) и (3) соответственно:

$$d^+ = \sqrt{\sum\left(R_{ki} - R_j^+\right)^2}; \quad (2)$$

$$d^- = \sqrt{\sum\left(R_{ki} - R_j^-\right)^2}. \quad (3)$$

В конце для каждой из альтернатив определяется относительная удаленность от наихудшего решения по формуле (4):

$$S_{d^-} = \frac{d^-}{d^+ + d^-} \quad (4)$$

Ранжирование альтернатив проводится в расположении их относительной удаленности по убыванию, чем выше относительная удаленность, тем выше ранг альтернативы [3].

Таблица 5

Решение методом TOPSIS

№ п/п	Параметры станка (критерии)	Salvagnini	Amada QUATTRO II	Amada AC 2510 NT	Rj+	Rj-
1	Точность обработки	0,05178	0,01295	0,12944	0,01295	0,12944
2	Максимальная масса обрабатываемой заготовки	0,08914	0,04457	0,06686	0,08914	0,04457
3	Скорость обработки	0,18962	0,02845	0,05689	0,18962	0,02845
4	Максимальная толщина листа (сталь)	0,16991	0,10195	0,02719	0,16991	0,02719
5	Мощность	0,05645	0,03763	0,18815	0,18815	0,03763
6	Погрешности позиционирования	0,02858	0,08572	0,04286	0,02858	0,08572
7	Габариты станка, объем	0,00921	0,00612	0,01667	0,00612	0,01667
8	Масса станка	0,00632	0,00526	0,01824	0,00526	0,01824
	d+	0,137343841	0,241872	0,22920792		
	D–	0,241203727	0,2416715	0,16062045		
	Sd-	0,637182081	0,49979267	0,41202862		
	Ранг	1	2	3		

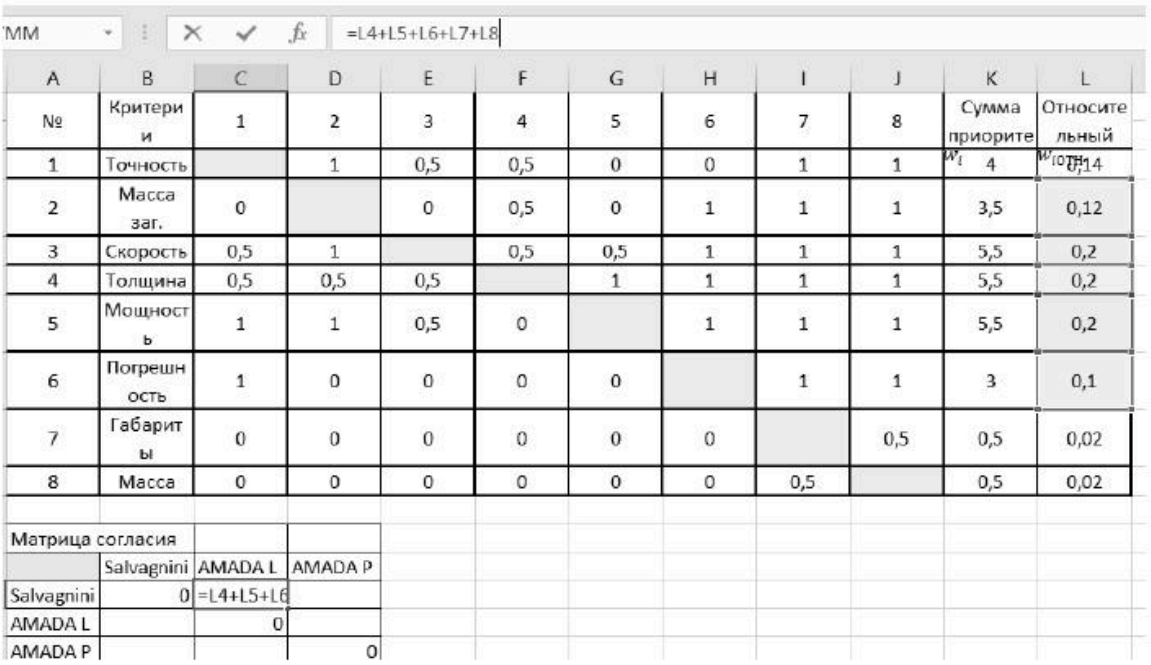
Для решения методом ELECTRE I значения всех критериев необходимо привести к нормализованному виду аналогично предыдущему методу [4].

Далее строится матрица согласия. Для этого необходимо попарно сравнить каждую альтернативу по каждому критерию и суммировать относительные веса тех критериев, по которым альтернатива 1 превосходит альтернативу 2 [5].

Аналогично находятся индексы согласия для каждой пары станков. Далее производится суммирование индексов по строкам и столбцам (рис. 2).

Для ранжирования станков необходимо получить таблицу превосходства (рис. 3). Значения для этой таблицы получаются путем вычитания суммы индексов согласия строки из суммы индексов согласия столбца. Чем выше значение полученной разности, тем выше ранг станка [6].

Рассмотренные методы принятия решения показали одинаковый результат в отношении альтернативы для 1 ранга. Каждый из методов отличается уровнем расчетов и трудоемкостью процесса, тем не менее, все рассмотренные варианты показали, что с их помощью можно с высокой точностью выбрать наиболее предпочтительную альтернативу. Поэтому ответственность за выбор конкретного метода для решения конкретной задачи лежит на человеке, принимающем решение.



MM =L4+L5+L6+L7+L8

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	№	Критерии	1	2	3	4	5	6	7	8	Сумма приорите	Относительный
	1	Точность		1	0,5	0,5	0	0	1	1	4	0,14
	2	Масса заг.	0		0	0,5	0	1	1	1	3,5	0,12
	3	Скорость	0,5	1		0,5	0,5	1	1	1	5,5	0,2
	4	Толщина	0,5	0,5	0,5		1	1	1	1	5,5	0,2
	5	Мощность	1	1	0,5	0		1	1	1	5,5	0,2
	6	Погрешность	1	0	0	0	0		1	1	3	0,1
	7	Габариты	0	0	0	0	0	0		0,5	0,5	0,02
	8	Масса	0	0	0	0	0	0	0,5		0,5	0,02

Матрица согласия			
	Salvagnini	AMADA L	AMADA P
Salvagnini	0	=L4+L5+L6	
AMADA L		0	
AMADA P			0

Рис. 1. Построение матрицы согласия



28	Матрица согласия				
29		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
30	Salvagnini	0	0,82	0,8	=СУММ(B
31	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
32	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
33		0,38	1,44	1,18	3

28	Матрица согласия				
29		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
30	Salvagnini	0	0,82	0,8	1,62
31	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
32	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
33		=СУММ(B	1,44	1,18	3

Рис. 2. Нахождение суммы индексов



56	Матрица согласия				
57		Salvagnini	AMADA L	AMADA P	
58	Salvagnini	0	0,82	0,8	1,62
59	AMADA L	0,18	0	0,38	0,56
60	AMADA P	0,2	0,62	0	0,82
61		0,38	1,44	1,18	3
62					
63	Превосходство		Ранг		
64	Salvagnini	=E58-B61	1		
65	AMADA L	-0,88	3		
66	AMADA P	-0,36	2		

Рис. 3. Ранжирование оборудования

Литература

[1] Кини Р.Л., Райфа Х. *Принятие решений при многих критериях*: *предпочтения и замещения*. Москва, Радио и связь, 1981, 294 с.

[2] Ewa R., Trzaskalik T., Wachowicz T. Multi-criteria decisionmaking models by applying the TOPSIS method to crisp and interval data. Multiple Criteria Decision Making, Katowice, the University of Economics, 2011, pp. 200–230.

[3] *Наукоемкие технологии в машиностроении*. Москва, Машиностроение, 2012, 528 с.

[4] Кузнецов М.А., Нгуен Т.У.Н. Использование методов ELECTRE в задачах принятия решения. *Прикаспийский журнал*: *Управление и высокие технологии*, 2010, № 2, с. 40–46.

[5] Chen S.J., Hwang C.L. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York, Springer, 1992. https://doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4

[6] José F., Greco S. Matthias Ehrgott Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. New York, Springer Science + Business Media, 2005.

Using multi-criteria decision-making methods to optimize the equipment selection

Mamonov Maxim Andreevich maksimmamonov15@gmail.com

Musokhranov Marcel Vladimirovich marsel@bmstu.ru

Kaluga branch of BMSTU, Kaluga, Russia

The methods of multi-criteria decision-making are considered using the example of selecting the most preferred equipment for cutting sheet metal at one of the Kaluga enterprises. The following methods were used: the method of sums of weighted values of criteria, the TOPSIS method, the ELECTRE I method. Based on the results of the calculations, it was concluded that all methods give the correct result and the decision to use a particular method in another work lies with the person making the decision.

Keywords: laser machines, coordinate punching machines, methods of multi-criteria decision-making, method of sums of weighted values of criteria, TOPSIS method, ELECTRE I method