

УДК 621.91

Поддержка выбора технологических решений по механической обработке деталей при помощи метода PROMETHEE

Чуприна Екатерина Дмитриевна hanalora07@yandex.ru
Никоноров Алексей Игоревич ainikonorov@bmstu.ru
SPIN-код: 7896-6212

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В контексте проблематики вопросов выбора технологических решений показано применение метода PROMETHEE. Рассмотрен перечень технологических решений, предлагаемых для механической обработки детали «корпус рулевого нако- нечника» в условиях крупносерийного производства. Приведены цели, возможные критерии оценки предлагаемых решений и функции предпочтения. Произведен анализ исходных данных, получены рейтинговые списки с учетом различных условий потен- циального внедрения технологических решений. Полученные результаты проанали- зированы, сделаны выводы о применимости метода при выборе технологических решений по механической обработке на предпроектных этапах.

Ключевые слова: методы многокритериального принятия решения, технологическое решение, метод PROMETHEE, принятие решений, механическая обработка

The technology selection problem support for machining parts using the PROMETHEE method

Chuprina Ekaterina Dmitrievna hanalora07@yandex.ru
Nikonorov Aleksey Igorevich ainikonorov@bmstu.ru
SPIN-code: 7896-6212

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. In the context of the problems of selecting technological solutions, the application of the PROMETHEE method is shown. The list of technological solutions proposed for me- chanical processing of the part “steering tip housing” in large-scale production conditions is considered. The goals, possible criteria for evaluating the proposed solutions and prefer- ence functions are given. The analysis of the initial data is performed, rating lists are ob- tained taking into account various conditions for the potential implementation of techno- logical solutions. The obtained results are analyzed, conclusions are made about the applicability of the method when selecting technological solutions for mechanical pro- cessing at pre-design stages.

Keywords: multi-criteria decision-making method, technological solution, PROMETHEE method, decision-making, machining

Введение. Принятие технологических решений (ТР) является основополагающим процессом, результаты которого определяют решение важных задач проектирования технологических комплексов (ТК) и технологической подготовки машиностроительных производств. Под ТР понимается принятая совокупность технологических объектов, содержательно раскрывающих понятия и определяющих информационную структуру технологического процесса и его составляющих [1]. Наибольшая сложность и ответственность процесса принятия ТР связана с ранними этапами проектирования ТК, при большом количестве рассматриваемых ТП для последующего внедрения [2]. Необходимость сокращения времени на принятие ТР и повышение качества ТР требуют совершенствования методической поддержки процесса, основанной на методах многокритериального принятия решений (ММПР). Анализ публикаций по применению ММПР [3, 4] показывает недостаточную проработанность процесса принятия решений в рамках предметной области технологии машиностроения, что определяет актуальность проводимого исследования.

Материалы и методы. К наиболее применяемым ММПР относятся: TOPSIS [5], метод анализа иерархий (АИР) [6], метод ELECTRE [7], метод PROMETHEE [8] и другие. В данной работе рассмотрено применение метода PROMETHEE.

Метод PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) был разработан в начале 1980-х годов французским ученым Жан-Луи Винклером. Отличительной особенностью данного метода является использование функций предпочтения, определяемой для разности значений показателей объектов по выбранному критерию. Рейтинги формируются по рассчитанным потокам с учетом весов и функций. Алгоритм метода изложен в работе [9]. Ранжирование строится по убыванию чистых потоков:

$$\phi(A_i) = \phi^+(A_i) - \phi^-(A_i), i = 1, \dots, n,$$

где $\phi(A_i)$ — идеальный поток; $\phi^+(A_i)$ — положительный опережающий поток; $\phi^-(A_i)$ — отрицательный опережающий поток; n — количество ТР.

В качестве примера применения метода PROMETHEE решается задача выбора ТР для детали «Корпус рулевого наконечника», ранее приведенная в работе [10]. Для получения рейтинга были выбраны 5 ТР, характеризующиеся как использованием специальных агрегатных станков, так и широко применяемого оборудования с ЧПУ: ТР1 — агрегатный станок; ТР2 — 2 агрегатных станка; ТР3 — 2 агрегатных станка и станок токарный с ЧПУ; ТР4 — токарный станок с ЧПУ и вертикально-фрезерный станок с ЧПУ; ТР5 — токарно-фрезерный станок с ЧПУ. Сравнение решений проведено по критериям: станкостроительная мощность T , мин/шт; используемая производственная площадь S , м²; производительность технологической системы Π , шт/год; эксплуатационные затраты A , руб. Значения критериев по перечню решений представлены в табл. 1.

Методом опроса экспертов были вычислены веса критериев для следующих условий потенциального внедрения ТР: 1 — предпочтительно изготовление продукции в кратчайшие сроки; 2 — изготовление в течение длительного

времени по плану; 3 — изготовление с минимальным бюджетом. Получены следующие распределения важности критериев:

для первого условия внедрения ТР:

$$\omega_1 = 0,376, \omega_2 = 0,101, \omega_3 = 0,208, \omega_4 = 0,316;$$

для второго условия внедрения ТР:

$$\omega_1 = 0,173, \omega_2 = 0,074, \omega_3 = 0,347, \omega_4 = 0,406;$$

для третьего условия внедрения ТР:

$$\omega_1 = 0,121, \omega_2 = 0,106, \omega_3 = 0,086, \omega_4 = 0,687,$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ — вес станкостроения, вес используемой производственной площади, вес производительности технологической системы и вес эксплуатационных затрат соответственно (см. рисунок).

Таблица 1

Значения критериев ТР

Технологическое решение	T , мин/шт	S , м ²	Π , шт/год	A , руб
ТР1	0,92	30,6	216 000	73 773 450
ТР2	0,61	43,5	325 770	111 475 000
ТР3	1,75	45,1	106 457	43 634 180
ТР4	4,35	10,6	34 262	20 130 000
ТР5	2,89	25,8	64 464	38 540 000

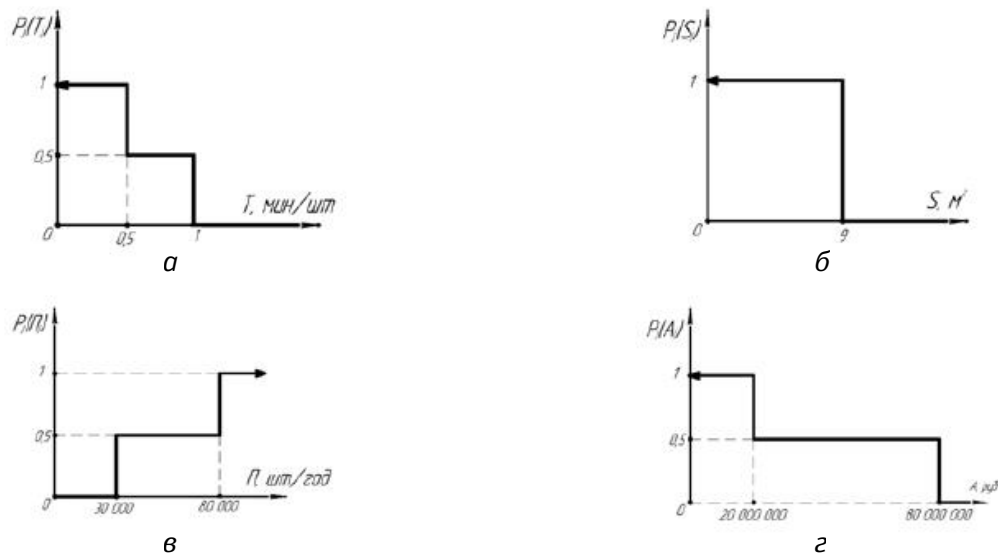
Для реализации метода требуется задать функции предпочтения разницы между альтернативами $P_j(d_j)$ и пороговые значения для них:

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j \geq 1 \\ 0,5, & 0,5 \leq d_j < 1 \\ 1, & d_j < 0,5 \end{cases} \text{ — функция предпочтения для } T, \text{ мин/шт;}$$

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j \geq 9 \\ 1, & d_j < 9 \end{cases} \text{ — функция предпочтения для } S, \text{ м}^2;$$

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j \leq 30\,000 \\ 0,5, & 30\,000 < d_j \leq 80\,000 \\ 1, & d_j > 80\,000 \end{cases} \text{ — функция предпочтения для } \Pi, \text{ шт/год;}$$

$$P_j(d_j) = \begin{cases} 0, & d_j \geq 80\,000\,000 \\ 0,5, & 20\,000\,000 \leq d_j < 80\,000\,000 \\ 1, & d_j < 20\,000\,000 \end{cases} \text{ — функция предпочтения для } A, \text{ руб.}$$



Функции предпочтения:

a — для станкоемкости T , мин/шт; *б* — для используемой производственной площади S , м²; *в* — для производительности технологической системы Π , шт/год; *г* — для эксплуатационных затрат A , руб.

Реализуя метод PROMETHEE по алгоритму, изложенном в работе [9], получаем рейтинговый список по величине идеального потока.

Результаты. Рейтинговые списки технологических решений для трех условий внедрения представлены в табл. 2.

Обсуждение полученных результатов. Полученные результаты позволяют сделать вывод об устойчивости рейтинговых списков для условий изготовления в кратчайшие сроки и по плану, что связано с высоким значением веса критериев, определяющих производительность. При сравнении трех рейтингов между собой стоит обратить внимание на наиболее устойчивые позиции в списках. Так, TP3 занимает 3 место в рейтинге для всех трех случаях, что может говорить о том, что данное решение является не наилучшим вариантом для одного конкретного условия внедрения TP, но будет стабильно рабочим вариантом при изменении условий.

Таблица 2

Рейтинг TP

Позиция рейтинга	Предпочтительно изготовление продукции в кратчайшие сроки		Изготовление в течение длительного времени по плану		Изготовление с минимальным бюджетом	
		Значение $\phi(A_i)$		Значение $\phi(A_i)$		Значение $\phi(A_i)$
1	TP1	1,14	TP1	0,795	P4	1,06
2	TP2	0,866	TP2	0,671	P5	0,37
3	TP3	−0,165	TP3	−0,279	P3	0,001
4	TP5	−0,750	TP5	−0,560	P1	−0,106
5	TP4	−1,09	TP4	−0,626	P2	−1,32

Заключение. Следует отметить отсутствие затруднений при автоматизации построения рейтинговых списков и возможности использования традиционного программного обеспечения для проведения табличных вычислений. Наибольшую трудоемкость при реализации метода занимает процесс опроса экспертов, а также процесс разработки функций предпочтения и вычисления пороговых значений. Задание пороговых значений и функций предпочтения, также как и экспертный опрос, повышает субъективность полученных результатов. Метод может быть полезен для получения экспресс-оценок в условиях недостатка времени при доступности экспертов, а также сокращения множества обследуемых альтернативных решений, однако требует определенной квалификации при задании функций предпочтения для получения наиболее предпочтительных результатов.

Список источников

- [1] Кондаков А.И., Нефедов А.А. Оценивание преимущества технологических решений. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2006, № 5, с. 65–72.
- [2] Никоноров А.И. *Разработка метода проектирования технологических процессов механической обработки на основе статистической оценки производительности*. Дис. ... канд. техн. наук, Москва, 2024, 130 с.
- [3] Шевченко А.А. *Технологические решения в производстве: анализ и выбор*. Москва, Изд-во РГУТиС, 2021.
- [4] Лойко А.О. Применение систем поддержки принятия решений на промышленных предприятиях. *Вестник МФЮА*, 2019, № 2, с. 119–132.
- [5] Yurdakul M., Tansel İç Y. Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, vol. 209, iss. 1, pp. 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.02.006>
- [6] Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, Радио и связь, 1993, 278 с.
- [7] Roy B. Classement et choix en presence de points de vue multiples: La methode ELECTRE. *R.I.R.O.*, 1968, vol. 8, pp. 57–75.
- [8] Behzadian M., Kazemzadeh R.B., Albadvi A., Aghdasi M. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 2010, vol. 200, no. 1, pp. 198–215.
- [9] Стригунов В.В. Выбор средства защиты информации методами многокритериального анализа решений PROMETHEE. *Информатика и системы управления*, 2024, № 4 (82), с. 48–55.
- [10] Чуприна Е.Д. Поддержка выбора технологических решений по механической обработке деталей при помощи метода TOPSIS. *Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии. Всерос. науч.-техн. конф.: матер.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. URL: studvesna.ru?go=articles&id=4533 (дата обращения 20.06.2025).